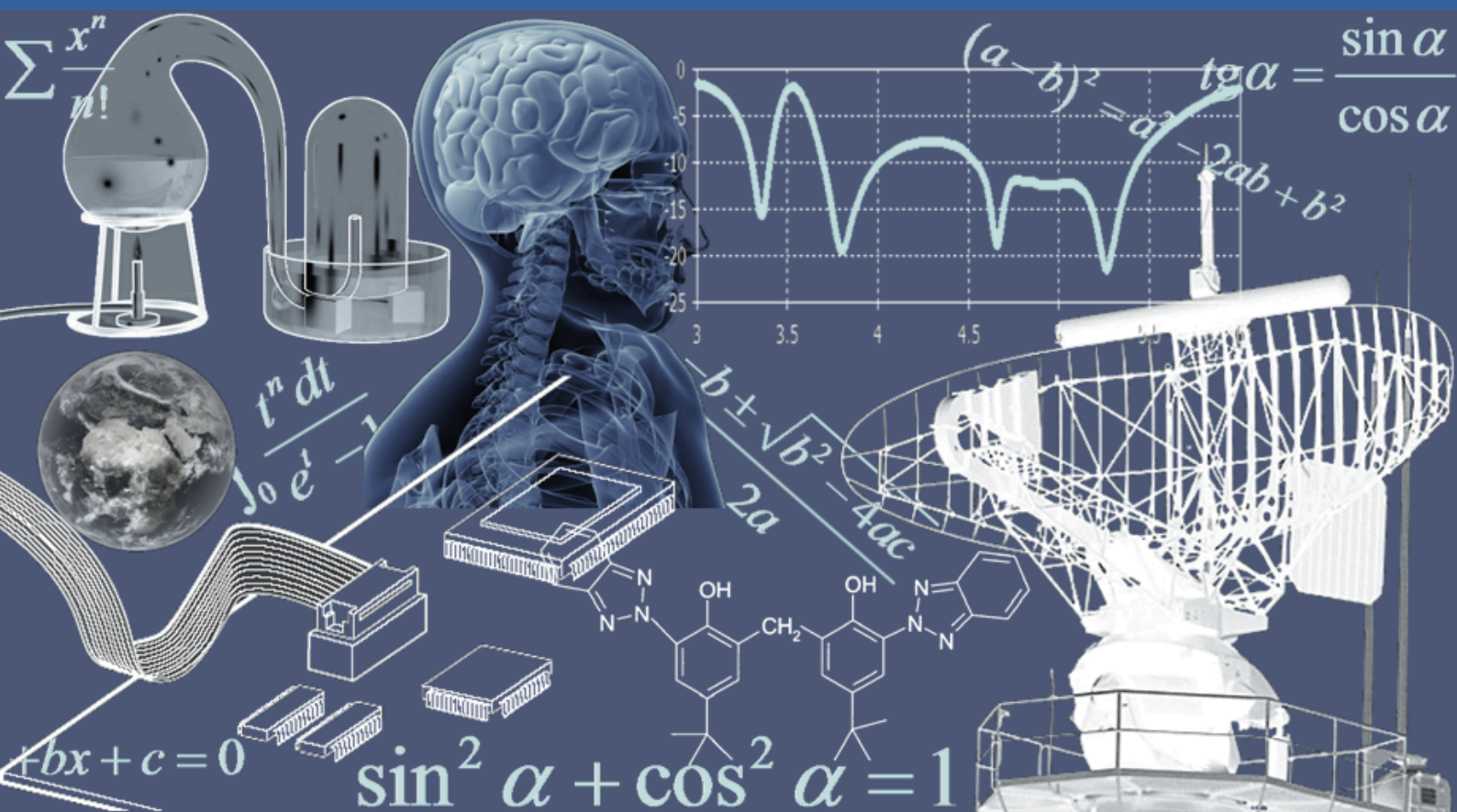


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 46 N. 4 October 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 Antioxidant (Ascorbic Acid, AsA) on Maize (<i>Zea mays</i> L.) Growth <i>Farhana Ilyas Khan and Tayyaba Fatima</i>	629-637
Linking Perception and Measurement: Real-World Validation of a Fuzzy Logic Model for Patient Satisfaction <i>Amadou Diabagate and Awa Fofana</i>	638-655
Comparative analysis of the anthropometric characteristics of young Senegalese U18 and U20 handball players with young handball players from other African and global nations: Towards an optimal morphological profile for high-level competition <i>Ndarao Mbengue, Mountaga Diop, El Hadji Mama Guène, Ndiack Thiaw, Papa Serigne Diène, Daouda Diouf, Mame Ngéné Bèye, El Hadji Mamouthiam Diop, Amadou Diouf, Thierno Diouf, Abdoulaye Ba, and Abdoulaye Samb</i>	656-664
Productivité en eau du soja (<i>Glycine max</i>) sous application combinée de biochar et de fumier dans la commune de Parakou <i>Pierre G. TOVIHOUDJI, Berteulot L. S. Dossounon, and Sissou Zakari</i>	665-669
Study of Phytoplankton Composition in the Bays of Plateau, Cocody, Koumassi, and Vridi, Located in the Ébrié Lagoon, Côte d'Ivoire <i>LOZO Roméo N'Guessan, KOMOE Koffi, and KONAN Estelle Séverine</i>	670-675
Eaux des forages en RD Congo: Une résilience urbaine socio-écologique salubre et suicidaire <i>Jean Rufin MUNKUOMO GONZALEZE</i>	676-695
Etude comparative de précédents culturels de soja (<i>Glycine max</i> L.) et de haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i>) sur les populations de macroinvertébrés et quelques propriétés chimiques d'un sol agricole dans la localité de Karamokola, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire <i>N'Dakou Koua Ambroise, Guéi Arnauth Martinez, N'Ganzoua Kouamé René, Toure Bessimory, Zro Bi Gohi Ferdinand, Dogniméton Soro, and Sidiky BAKAYOKO</i>	696-704
Fréquence, caractérisation et sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées des infections urinaires au cours de la grossesse à Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo: Cas des femmes enceintes fréquentant la CPN au Centre Hospitalier SALAMA <i>KILEKA MANGALA Daniel, MUNGUROMO JAKISA Camille, TIBASIMA DHESSA Liévin, MADIRA ADRONGA Raphaël, KAMUHANDA BUGASAKI Jacob, and MIMILYABO SEZABO Pascal</i>	705-709
The feeling of psychological loneliness among elderly residents in a social welfare institution: Field study in Meknes city, Morocco <i>Fatima FAOUZI, Mohammed IDMOULID, and Ahmed ELBOUZZAOUI</i>	710-715
Pratiques alimentaires et caractérisation socioéconomique des élevages de petits ruminants de la zone péri-urbaine de Bouaké, Côte d'Ivoire <i>Kouadio Kouakou Eugène, Kreman Kouabena, Kouadja Gouagoua Severin, BAMBA L. Kalo, KOUAME Adam Camille, and SORO Dofara</i>	716-724
Utilisation de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans la cartographie des bas-fonds dans le département de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire) <i>COULIBALY Léréyaha, Ismaïla Ouattara, Koné Brahima, OUEDRAOGO Moussa, Amidou Dao, SORO Gneneyougo Emile, and Kamagate Bamory</i>	725-741
Evaluation de l'effet de l'incorporation de <i>Moringa oleifera</i> et de <i>Carica papaya</i> , dans la ration sur les performances zootechniques des lapins (<i>Oryctolagus cuniculus</i>) <i>Barkwendé Jethro Delma, Alice Gisèle Sidibe-Anago, Denté Fidèle Tianhoun, Jean Sawadogo, and Valérie Bougouma-Yameogo</i>	742-752

Effect of Antioxidant (Ascorbic Acid, AsA) on Maize (*Zea mays* L.) Growth

Farhana Ilyas Khan and Tayyaba Fatima

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 (AsA), an antioxidant form of vitamin C, helps the plants in photosynthesis as an enzyme's cofactor. It also increases the rate at which plants grow, produce, and germinate. The main goal of this study was to find out how ascorbic acid affects the growth of maize (*Zea mays* L.) while applying on rooting medium. First, a trial experiment was performed to determine the most effective dose of AsA application for maize plants to adopt in the main experiments. A single variety of maize, Golden, was grown in sand under pot conditions. Hoagland's nutrient solution was applied every week and four doses of AsA (0, 0.5, 1, 1.5, and 2 mM) were applied in root medium of maize seedlings every three days for two weeks. Then, in the main experiment conducted at the Botanical Garden at the University of Agriculture Faisalabad, two cultivars of maize i.e., Golden and Sadaf, were grown in the soil inside a wire house. The selected optimal dosage of vitamin C from trial experiment (1 mM) was applied to roots of maize plants for five weeks after every three days at seedling stage. Growth and physiological parameters were measured and statistically analyzed with the help of COSTAT software using analysis of variance (ANOVA) technique. When compared with the control plants, all plant parameters (root length, shoot length, leaf area, fresh and dry biomass, chlorophyll a and b content, soluble carbohydrates, osmotic potential, Potassium, Calcium, and Phosphorus content) were observed to be enhanced with AsA treatment. On the other hand, application of ascorbic acid decreased the sodium content of both roots and shoots of the treated plants. Moreover, genotype Sadaf demonstrated relatively better results in comparison to genotype Golden.

KEYWORDS: Maize, ascorbic acid (AsA), vitamin C, root application, growth, physiological, statistical analysis.

1 INTRODUCTION

Maize (corn, *Zea mays* L.) is an important species of the Poaceae family. Word **Zea** comes from Greek word meaning, "sustaining life" and **mays** is word of Taino language meaning "life giver". It is the third most important cereal crop in Pakistan, after wheat (*Triticum aestivum*) and rice (*Oryza sativa*). It has annual production of ~3.037 million tons with an average grain yield of 2,864 kilograms per hectare (Tariq and Iqbal, 2010), of which ~97% is produced in Punjab and KPK (formally NWFP) provinces of Pakistan. KPK alone accounts for ~57% of total cultivation area and ~68% of the total yield (Khan *et al.*, 2016).

Maize is a very healthy food with significant nutritional value containing ~72% starch, ~10% protein, ~8% fibre, ~4% oil, ~3% sugar, and ~1.72% ash (Chaudhary, 1983). It is chief food source for millions of people and is integral part of global food security (Campos *et al.*, 2004). It is a great source of vitamins A, B, and E and other important minerals. Research shows that a diet enriched in maize may lower the risk of high blood pressure and prevent from neural tube defects at birth (Bushra *et al.*, 2019). Maize grains are greatly used to produce cornflakes, cornstarch, grain cake, corn oil, dextrose, gluten, lactic acid, and acetone, which are used in several industries including textile, fermentation, foundry, and food industries (Mahama, 2021). It is also used to produce polymers, antibiotics, and ethanol.

Water, salt, and temperature stresses are the three main abiotic factors most likely to slow or hinder crop growth and healthy development resulting into nutritional imbalance, reduced water uptake and crop yield (Tommasi *et al.*, 2001). The increasing severity of pollution, soil erosion and degradation, and water scarcity are all steadily contributing towards the increase in the abiotic stresses (Suman and Kalpana, 2013).

Ascorbic acid or vitamin C acting as an enzyme cofactor is one of the greatest scavengers to shield plants from environmental stresses (Amin *et al.*, 2009). It helps in electron transport reactions in the cell membrane or plastids (Noctor and Foyer, 1998). Ascorbate (anionic form of AsA) is an effective antioxidant and is known due to its inimitable functions as plants suffer less from reactive oxygen species in

the presence of ascorbate (Asada and Takahashi, 1987). Ascorbate elongates the root system of plants (Xuewen *et al.*, 2018) and helps plants to better withstand periods of drought stress (Darvishan *et al.*, 2013). Treatment of maize with 0.5mM salicylic acid, 0.5mM ascorbic acid, and 0.1% Tween-20 relieved the detrimental effects of drought stress and improved cob diameter, biological yield, and grain production (Qasim *et al.*, 2019).

Different physiological parameters of plants comprising index of seed resistance, germination ratio, size of hypocotyl and radicle and water content were noted to increase by applying AsA (Reishi and Hassan, 2013). Khadr *et al.*, (2021) found that applying 200 mg/L of vitamin C to wheat seedlings helped reduce the negative effects of water deprivation stress on the plants' physical, morphological, and chemical characteristics. In response to Lead (Pb) stress, plants that were given ascorbic acid exogenously, had higher levels of relative water content (RWC), Rubisco activity, ATP sulfurylase (ATP-S), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg), and less chlorophyll degradation (Alamri *et al.*, 2018). Exogenously applied AsA induced enhanced osmo-protection and regulation of antioxidant defense system (Farooq *et al.*, 2020). Ascorbic acid also plays an important role in controlling the cell division and signal transduction (Pignocchi *et al.*, 2003; Kerk *et al.*, 1995).

Ascorbic acid can be applied on plants exogenously in many ways, such as by spraying the leaves, pre-soaked treatment or in root medium. Based on the literature study, most of the researcher has investigated the effects of exogenously applied AsA under stressed conditions on maize plants. However, in Pakistan, it is usually grown in areas with abundant fresh water and normal soil conditions. Therefore, this study intends to examine the effectiveness of AsA application in rooting medium as a growth regulator to enhance the health and productivity of maize plants under normal cultivated conditions. The main objectives of this study are (i) to find the optimal dosage of AsA that can enhance the yield of maize under normal conditions, (ii) to quantify the effectiveness of different concentrations of AsA on different physiological and growth parameters on two maize cultivars i.e., Sadaf and Golden. The result of this study would benefit to understand the plant behavior in terms of various growth parameters and to optimize the dosage for maximizing the crop yield under normal conditions.

2 MATERIALS AND METHODS

First, an optimization experiment was performed to find the most effective dose of Ascorbic acid (AsA) application for maize plants. 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 and 2 mM) were tested by applying to the roots of the maize seedlings after every 3 days for 2 weeks. The solution was made by mixing ascorbic acid in distilled water along with Tween-20 as a surfactant. The level at which maximum growth occurred was selected to continue in the main experiments to investigate the influence of applying ascorbic acid on two varieties of maize i.e., Golden and Sadaf. Seeds of maize were sown in plastic pots containing 10 kg soil. Total 12 pots were taken, 6 for each variety (3 for control and 3 for treatment with ascorbic acid). Each pot had 6 plants. Ascorbic acid treatment was started at 3 leaf (seedling) stage of growth and was applied after every 3 days for 5 weeks. The growth and physiological parameters described in Sections 2.1 and 2.2 were recorded after 5 weeks treatment of ascorbic acid.

2.1 GROWTH PARAMETERS

The plants were harvested five weeks after ascorbic acid was applied to the rooting medium. A meter rod was used for root and shoot length measurements (in centimeters). The fresh weight (in grams) of plants was calculated using an electronic/digital balance. Dry weight (in grams) was recorded after samples were dried in an oven until their weight became constant. Area of the leaves (in square centimeters), was determined by using the 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):

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

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

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

$$Acar = [(OD\ 480) + 0.114 (OD\ 663) - 0.638 (OD\ 645)]$$

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

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.

Calculations of total soluble carbohydrates were performed using the method of Hedge and Hofreiter (1962). Samples of leaves were frozen at -20°C for seven days. After the frozen leaves were thawed, and the cell sap was taken out. An osmometer (VAPRO) was used to find Osmotic potential of the sap. A flame photometer was used to measure the concentration of Sodium, Potassium, and Calcium ions, while a spectrophotometer (Hitachi-U2001, Tokyo, Japan) was used to measure the concentration of Phosphate ions.

2.3 STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analysis of the data was determined using the technique of analysis of variance (ANOVA) in COSTAT software. Least Significant Difference (LSD) was calculated to get the differences among the means (Steele *et al.*, 1997).

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 INITIAL OPTIMIZATION EXPERIMENT

When different concentrations of vitamin C (ascorbic acid) (0, 0.5, 1, 1.5 and 2 mM) were applied to the maize plants, a noticeable increase was detected in all growth parameters including shoot length (cm), root length (cm), fresh weight (g) and dry weight (g). The most prominent increase was observed at the level of 1mM application of ascorbic acid (Figure 1). This dosage was selected as optimal within the current scope of study for main experiments.

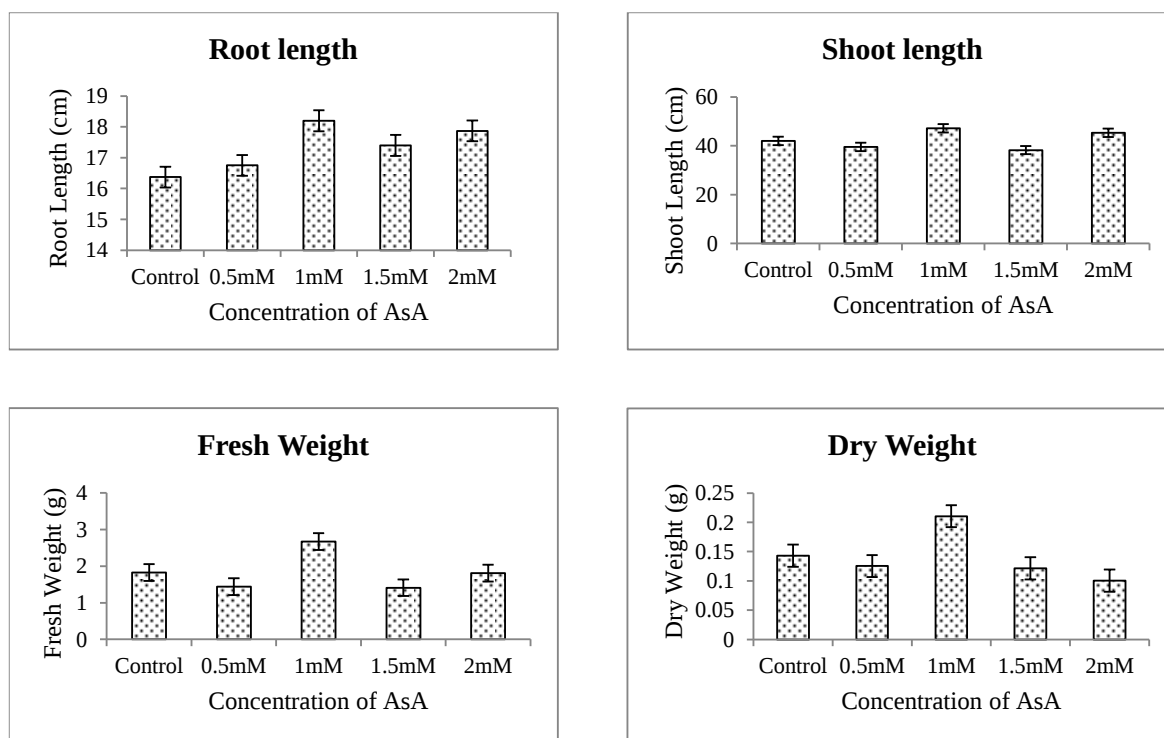


Fig. 1. Comparative impact of different concentrations of ascorbic acid (0.5mM, 1mM, 1.5mM and 2mM) by applying in rooting medium on various growth parameters

3.2 MAIN EXPERIMENT

A deeper and longer root system is considered advantageous for crop survival under severe environmental conditions (Conklin, 2001). For the same reasons, having longer shoots results in a healthier plant growth, particularly during the vegetative stage when the plant can absorb more light and produce more simple sugars (Bakry *et al.*, 2013). In the present study, an increase was detected in both root and shoot lengths indicating ascorbic acid as a better growth regulator when applied in rooting medium in 1 mM concentration.

(Figure 2; Table 1). Larger plant roots and stems may be facilitated by vitamin C's association with increased meristematic cell division (Liso *et al.*, 1998). Several researchers have reported the similar results including Fazlali *et al.* (2013), Razaji *et al.* (2012), Khan *et al.* (2010), and Farhat *et al.* (2011) who noted the similar effect of ascorbic acid in terms of root and shoot growth on pumpkin, safflower, broccoli, and *Monstera deliciosa*, respectively.

Enhancement in fresh and dry biomass directs healthier look of maize plants (Behairy *et al.*, 2012). Both varieties of maize demonstrated an increased biomass in this experimental study, but Sadaf showed slightly higher growth (Figure 2; Table 1). Khan *et al.* (2006) and Hassan *et al.* (2021) also reported that fresh and dry weight of root and shoot was improved by action of ascorbic acid in wheat and *Hordeum vulgare* L, respectively. Similarly, higher photosynthesis potential is directly related to larger leaf area (Wright *et al.*, 2006). In this research, vitamin C application to the roots enhanced the leaf area of treated plants than those in the control group for both varieties. Ejaz *et al.* (2012) and El-Quesni *et al.* (2009) also reported similar findings in their experiments on *Saccharum spp.* and *Hibiscus rosa sinuses* L, respectively.

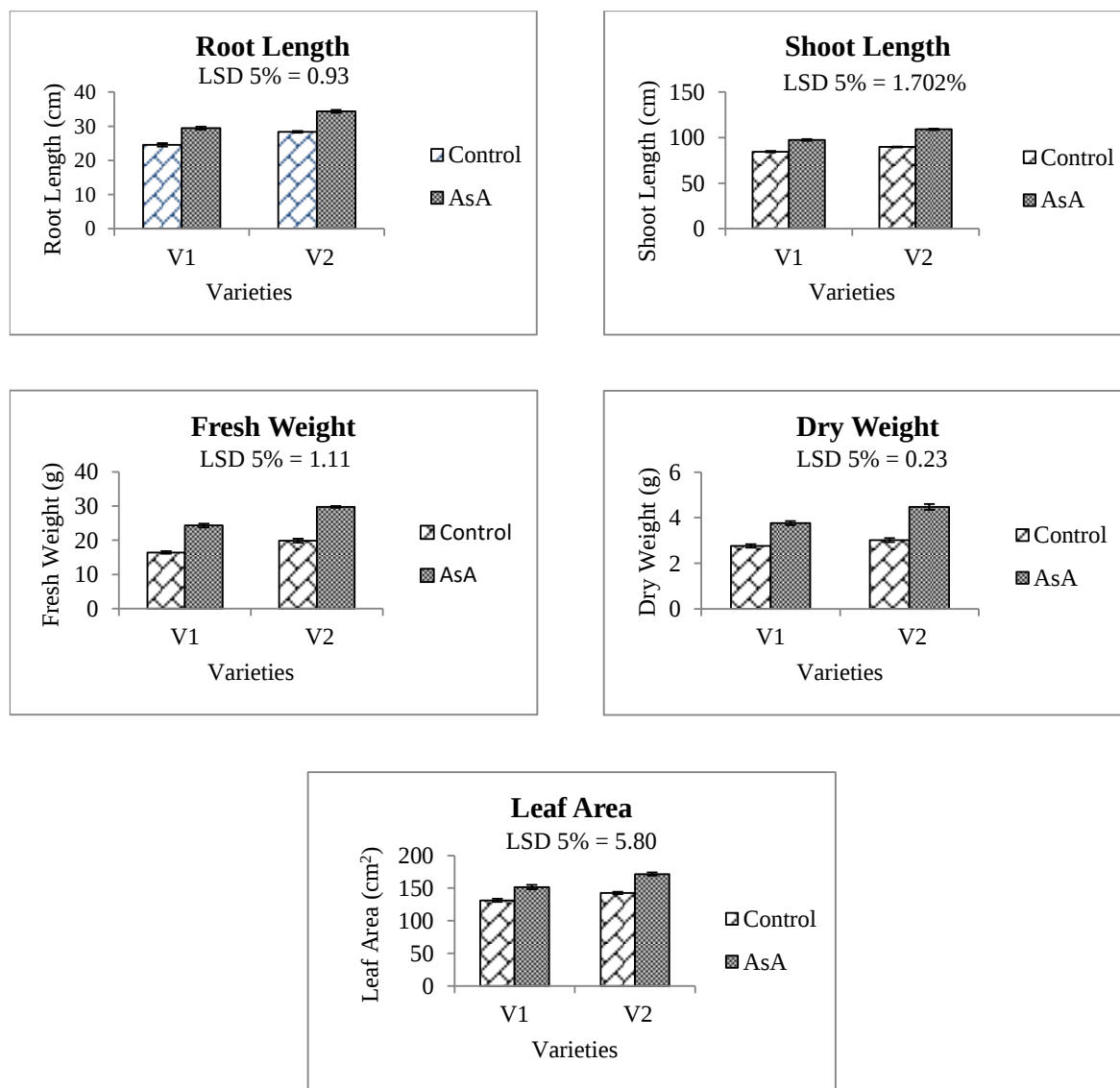


Fig. 2. Results of exogenously applied 1 Mm ascorbic acid via rooting medium on various growth parameters under normal cultivated conditions (Note: V1 and V2 are Golden and Sadaf varieties, respectively)

Table 1. Mean squares by ANOVA for various growth parameters under normal cultivated conditions for both genotypes

Source	df	Root Length	Shoot Length	Fresh Weight	Dry Weight	Leaf Area
Main effects						
Genotype	1	56.7675***	210.0033333***	59.541075***	0.684083**	732.3406273***
AsA	1	89.1075***	774.4133333***	236.47440***	4.5510083***	1810.8188***
Interaction						
Genotype × AsA	1	0.800833333*	32.01333333**	2.970075 ns	0.151875 ns	2.8078137 ns

Note: ns = non-significant, *, **, *** = Values at 5%, 1% and 0.1% significant levels, respectively.

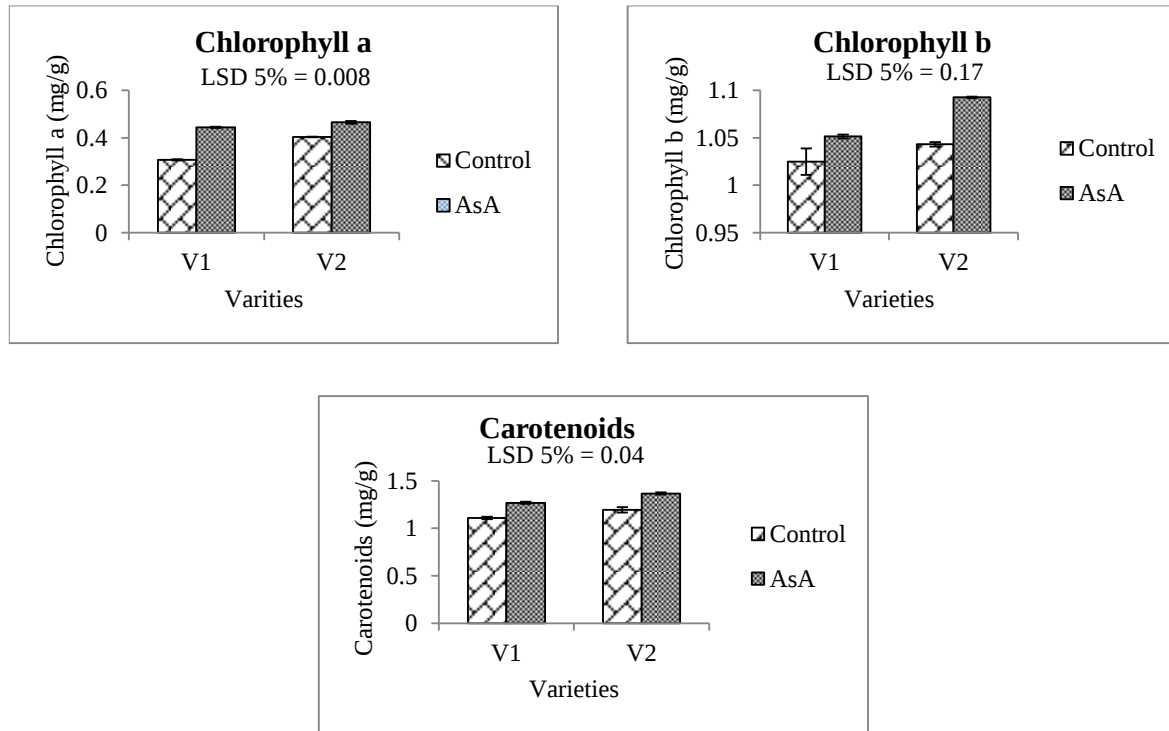


Fig. 3. Results of exogenously applied 1 Mm ascorbic acid via rooting medium on Chloroplast pigments and Carotenoids (Note: V1 and V2 are Golden and Sadaf varieties, respectively)

The green pigments chlorophyll a and b found in chloroplasts are important for photochemical processes and rate of photosynthesis (Tappel, 1977; Taiz and Zieger, 2006). An increase in photosynthetic rate leads to the increased plant growth. In this investigation, with the application of AsA, both Sadaf and Golden varieties developed increased chlorophyll a, b, and carotenoid contents, with the former showing slightly better results (Figure 3; Table 2). An increase in photosynthetic pigments might be due to the fact that as an antioxidant, ascorbic acid has the capability to alleviate the damaging impacts of stress on plants by nullifying damaging oxidants that are reported to harm membranes of cell such as the thylakoid membranes in chloroplasts (Dolatabadian *et al.*, 2009). These results are in agreement with studies conducted by other investigators e.g., Tuna *et al.*, (2013) in maize, Dolatabadian and Jouneghani (2009) in wheat, Gaafar *et al.*, (2020) in the bean plants and Hassan *et al.* (2021) in *Hordeum vulgare* L., who also found that application of ascorbic increased the photosynthetic efficiency of plants in comparison with non-treated ones.

Table 2. Mean squares by ANOVA for chlorophyll a and b, carotenoids, osmotic potential, and soluble carbohydrates for both genotypes

Source	Df	Chl a	Chl b	Carotenoids	Osmotic Potential	Soluble Carbohydrates
Main effects						
Genotype	1	0.10356 ***	0.0026572**	0.0156288**	0.0017256**	0.0029687***
AsA	1	0.029512***	0.00431824***	0.103039***	0.0821182***	0.3924527***
Interaction						
Genotype × AsA	1	0.004295***	3.9401e ⁻⁴ ns	0.0019757 ns	3.0984e ⁻⁴ ns	1.0089e ⁻⁵ ns

Note: ns = non-significant, *, **, *** = Values at 5%, 1% and 0.1% significant levels, respectively.

Plants get most of their energy from carbohydrates made during photosynthesis. Plants store them in the form of starch for later use (Stephen G. Pallardy, 2008). In the form of polysaccharides, carbohydrates take part in the construction of cellular structure, particularly cellulose makes a solid wall around the plant cell which provide the framework enabling the plant to stand and extend. A notable increase was detected in carbohydrates content with vitamin C application in the present study in both varieties of maize under normal conditions (Figure 4; Table 2). Farhat *et al.*, (2017) and Sadak *et al.*, (2010) also detected a rise in the carbohydrate contents of *Monstera deliciosa* and faba bean in their experiments.

Osmotic regulation is needed for plant cells to stay alive. Turgidity of cell is required for existence and appropriate working of plant metabolism (Taiz and Zeiger, 2006) as all the main reactions in plants occur with water availability (Khanna-Chopra & Selote, 2007). Osmotic potential keeps the plant cell turgid. Present study indicated a considerable increase in osmotic potential by applying ascorbic acid in root medium (Figure 4; Table 2). Farouk *et al.* (2011) also demonstrated in their research that under salinity, the osmotic potential of wheat increased by the application of ascorbic acid at 100 mg/L.

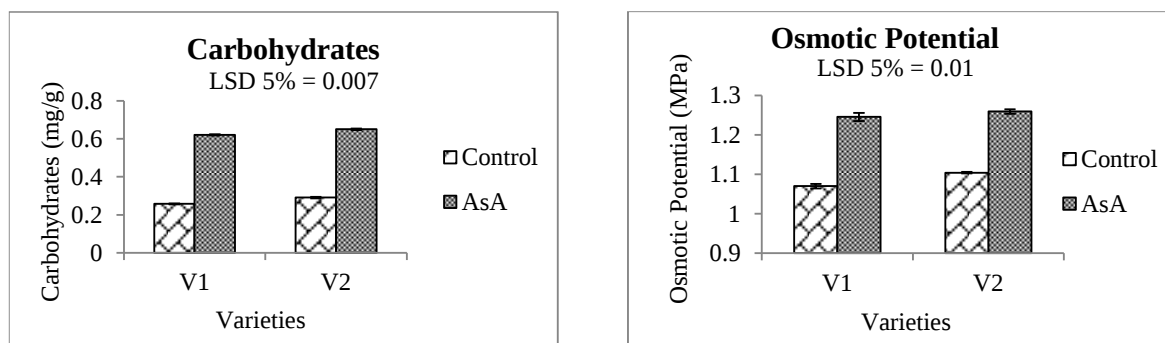


Fig. 4. Results of exogenously applied 1 Mm ascorbic acid via rooting medium on Carbohydrates content and Osmotic potential of both varieties (Note: V1 and V2 are Golden and Sadaf varieties, respectively)

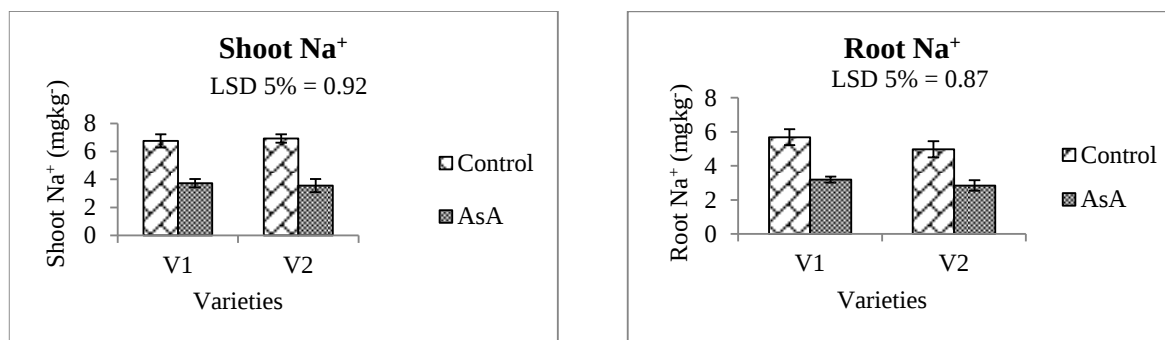


Fig. 5. Results of exogenously applied 1 Mm ascorbic acid via rooting medium on Root and shoot sodium (Na⁺) content of both genotypes (Note: V1 and V2 are Golden and Sadaf varieties, respectively)

Table 3. Mean squares by ANOVA for Sodium (Na⁺) and Potassium (K⁺) contents in root and shoot of both genotypes of maize

Source	df	Root Na ⁺	Shoot Na ⁺	Root K ⁺	Shoot K ⁺
Main effects					
Genotype	1	0.852267 ns	0 ns	15.047201***	2.4075520 ns
AsA	1	16.00368***	30.681612***	53.182826***	18.875208***
Interaction					
Genotype × AsA	1	0.0947 ns	0.0946963 ns	0.0240755 ns	0.096302 ns

Note: ns = non-significant, *, **, *** = Values at 5%, 1% and 0.1% significant levels, respectively.

Large quantity of soluble salts in plant tissues disturbs the normal growth and function of vital crops, particularly in glycophytes grown under salt stressed habitat. Exogenously applied ascorbic acid has positive effect against salt stress in improvement of plant growth (Hussein and Alva, 2014; Barus *et al.*, 2015). In this study a decrease in sodium (Na) content was observed especially in variety Golden (Figure 5; Table 3). Munir *et al.*, (2013) also supported this role of ascorbic acid as they studied AsA effect on callus culture of sugarcane grown under salinity. Aliniaiefrad *et al.*, (2016) also proved that ascorbic acid reduced the concentration of Na⁺ in olive plants.

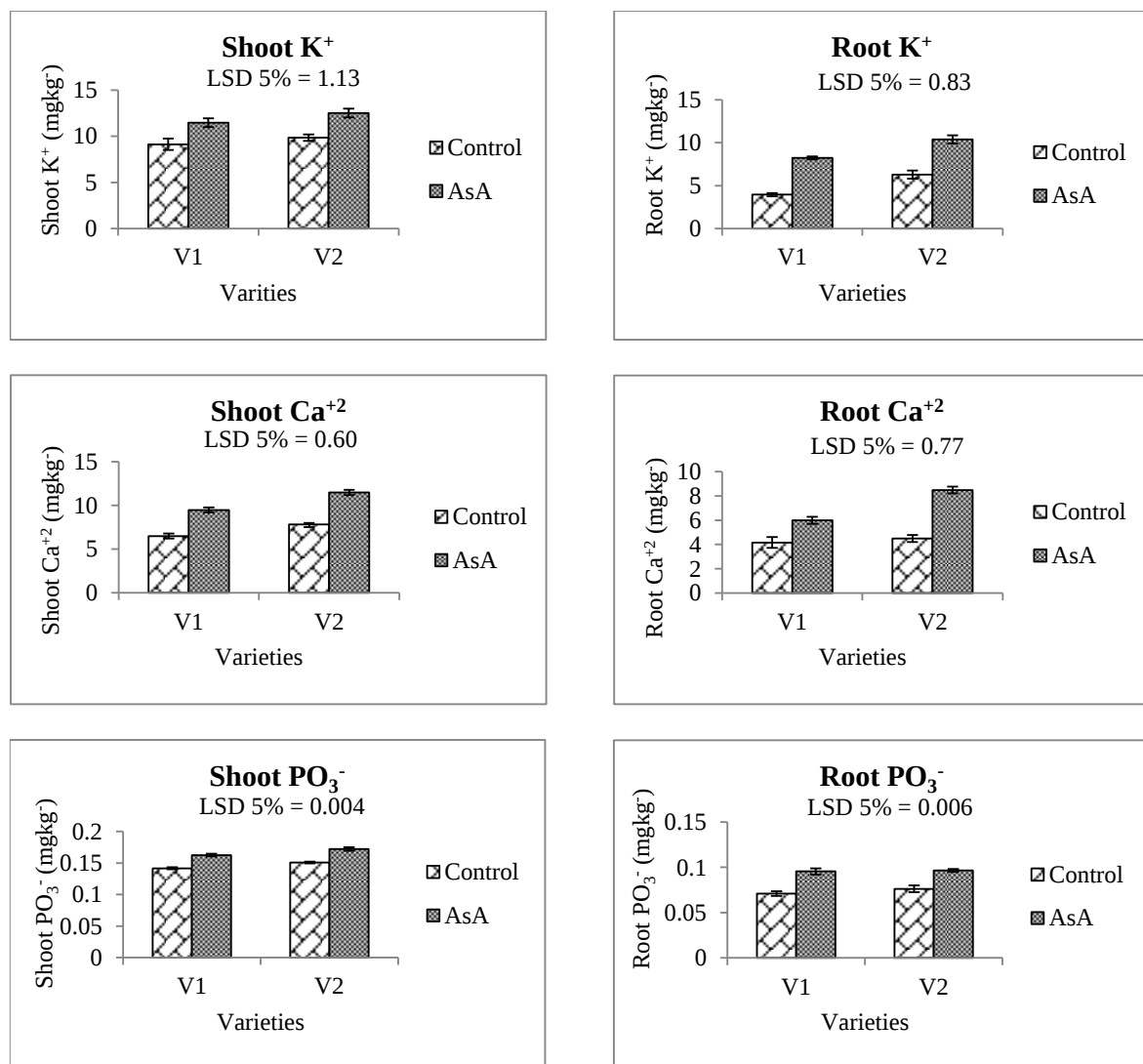


Fig. 6. Results of exogenously applied 1 Mm ascorbic acid via rooting medium on Potassium, Calcium and Phosphate contents of root and shoot (Note: V1 and V2 are Golden and Sadaf varieties, respectively)

Plants need Calcium (Ca) to make strong cell walls and cell membranes. While deficiency of Ca leads to breakdown of cell walls and membranes and susceptibility to different diseases (Robert Norton, 2013). Potassium (K) is abundantly found cation and growth regulator in plants (White and Karley, 2010). It is an activator of numerous vital reactions like protein synthesis, transport of sugar, metabolism of Ca and N and photosynthesis. It is also a key factor in yield and quality of plant (Marschner, 2012; Oosterhuis *et al.*, 2014). Phosphorous (P) plays vital role in construction and expansion of root system, ultimately in crop yields (Bén *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2016). In present investigation, an increase was detected in Ca, P and K content of both cultivars especially in variety Sadaf (Figure 6; Tables 3 and 4). This result is analogous to Farhat *et al.*, (2017), who indicated that foliar spray of vitamin C increased Phosphorus (P) and Potassium (K) content of *Monstera deliciosa*. Elwan *et al.*, (2007) also presented in their studies that application of AsA improved the Potassium and Calcium content of treated eggplant leaves as compared to non-treated ones. The concentration of K⁺ was reported to increase by AsA application on olive leaves as well (Aliniaieifrad *et al.*, 2016).

Table 4. Mean squares by ANOVA for Calcium (Ca⁺²) and Phosphate (PO₃) contents in root and shoot of both genotypes of maize

Source	Df	Root Ca ⁺²	Shoot Ca ⁺²	Root PO ₃ ⁻¹	Shoot PO ₃ ⁻¹
Main effects					
Genotype	1	6.0087976**	8.316675***	2.9994e ⁻⁵ ns	2.5846e ⁻⁴ ***
AsA	1	25.469817***	33.2667***	10.001496***	0.00113374***
Interaction					
Genotype × AsA	1	3.513705*	0 ns	1.3764e-5ns	3.1212e ⁻⁸ ns

Note: ns = non-significant, *, **, *** = Values at 5%, 1% and 0.1% significant levels, respectively.

4 CONCLUSION

This study investigated the effectiveness of ascorbic acid (AsA) as a growth regulator by applying in the root medium to enhance the health and productivity of maize under normal conditions. All the growth and physiological attributes including root and shoot length, leaf area, plant fresh and dry biomass, chlorophyll pigments, soluble carbohydrates, Osmotic potential and mineral (Potassium, Calcium and Phosphate) contents of root and shoot showed significant increase. On the other hand, the Sodium content of both root and shoot was lessened by application of AsA in both genotypes of maize (i.e., Golden and Sadaf). Genotype Sadaf showed better results compared to Golden. Based on these findings, ascorbic acid can be exogenously applied to increase the growth and productivity of maize plants in Pakistan under normal conditions. Also, genotype Sadaf can be utilized to achieve better results with ascorbic acid application in root medium.

REFERENCES

- [1] Alamri, A. S., M. H. Siddiqui, M. Y.Y. Al-Khaishany, M. N. Khan, H. M. Ali, I.A. Alaraidh, A. A. Alsahli, H. Al-Rabiah and M. Mateen. 2018. Ascorbic acid improves the tolerance of wheat plants to lead toxicity. *J. Plant Interaction*. 13 (1): 409–419.
- [2] Aliniaiefard, S., J. Hajilou, S. J. Tabatabaei and M. Sifi-Kalhor. 2016. Effects of Ascorbic Acid and Reduced Glutathione on the Alleviation of Salinity Stress in Olive Plants. *Int. J. fruit Sci.*, 4: 395-409.
- [3] Amin, B., G. Mahlegah, H.M.R. Mahmood and M. Hossein. 2009. Evaluation of interaction effect of drought stress with ascorbate and salicylic acid on some of physiological and biochemical parameters in okra (*Hibiscus Esculentus* L.). *Res. J. Biol. Sci.* 4: 380-387.
- [4] Asada, K. and M. Takahashi. 1987. Production and scavenging of active oxygen in photosynthesis. In: Kyle D.J, Osmond, C.B., Antzen, C.J, eds. *Photoinhibition*. Amsterdam: Elsevier, pp. 227-287.
- [5] 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.
- [6] Barus, W. A., A. Rauf, and C. H. Rosmayati. 2015. Improvement of salt tolerance in some varieties of rice by ascorbic acid application. *Int. J. Sci. Technol. Res.* 4, 2277–8616.
- [7] Bén, É, C., M. Barange, R. Subasinghe, P. Pinstup-Andersen, G. Merino, G. I. Hemre, et al. 2015. Feeding 9 billion by 2050—putting fish back on the menu. *Food Sec.* 7, 261–274. doi: 10.1007/s12571-015-0427-z.
- [8] Campos, H., M. Cooper, J. E. Habben, G. O. Edmeades and J. R. Schussler. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crops Res.*, 90: 19-34.
- [9] Chaudhary, A. R. 1983. Maize in Pakistan, Punjab Agriculture Research Coordination Board, Univ. of Agric., Faisalabad.
- [10] Conklin, P.I. 2001. Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. *Plant Cell Environ.* 24: 383-94.
- [11] Darvishan, M., H. R. T. Moghadam and H. Zahedi. 2013. The effects of foliar application of ascorbic acid (vitamin C) on physiological and biochemical changes of corn (*Zea mays* L) under irrigation withholding in different growth stages. *Maydica* 58 (2): 195-200.
- [12] Dolatabadian, A., A. M. Sanavy and M.S. Harifi. 2009. Effect of ascorbic acid (Vitamin C) leaf feeding on antioxidant enzymes activity, proline accumulation and lipid peroxidation of canola (*Brassic napus* L.) under salt stress condition. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 13: 611-620.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] El-Quesni, F. E. M., Abd El-Aziz, G. Nahed and M. K. Magda. 2009. Some studies on the effect of ascorbic acid and α -tocopherol on the growth and some chemical composition of *Hibiscus rosa sineses* L. at Nubaria. *Oz. J. Appl. Sci.*, 2: 160-167.
- [16] El-Sahookie, M.M. (1985). A shortcut method for estimating plant leaf area in maize *Z. Acker und pflanzenbau*. 154: 157.
- [17] Farhat, M. M., N. G. Abdel Aziz, K. I. Hashish and A. A. M. Mazhar. 2017. Effect of ascorbic acid on growth and chemical constituents of *Monstera deliciosa* under lead pollutant conditions. *CIGR J., Special issue*: 239–244.
- [18] Farouk S. 2011. Ascorbic acid and α -tocopherol minimize salt-induced wheat leaf senescence. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 7: 58-79.
- [19] 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.
- [20] Gaafar, A. A., S. I. Ali, M. A. El-Shawadfy, Z. A. Salama, A. Sekara, C. Ulrichs and M. T. Abdelhamid. 2020. Ascorbic Acid Induces the Increase of Secondary Metabolites, Antioxidant Activity, Growth, and Productivity of the Common Bean under Water Stress Conditions. *Plants* 9 (5), 627; <https://doi.org/10.3390/plants9050627>.
- [21] 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.
- [22] Huma, B., M. Hussain, C. Ning, Y. Yuesuo. 2019. Human Benefits from Maize. *Sch. J. appl. Sci.Res.* 2: 2.
- [23] Hussein, N. M., Hussein, M. I., Gadel Hak, S. H., and Hammad, M. A. 2014. Effect of two plant extracts and four aromatic oils on tuta absoluta population and productivity of tomato cultivar gold stone. *Nat. Sci.* 12: 108–118.

- [24] Kerk, N. M. and L. J. Feldman. 1995. A biochemical model for the initiation and maintenance of the quiescent center: Implications for organization of root meristems. *Development*. 121 (9): 2825–2833.
- [25] Khadr. S.A., S. M. El-Hamamsy, H. A. Elkhamsi and Z.H. Saad. 2021. The effect of ascorbic acid treatment on wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under drought stress. *Egypt. J. Appl. Sci.*, 36 (1).
- [26] Khan, A., I. Iqbal, A. Shah. 2010. Alleviation of adverse effects of salt stress in brassica (*Brassica campestris*) by pre-sowing seed treatment with ascorbic acid. *Amer. Eur. J. Agric. Environ. Sci.*, 7: 557-560.
- [27] Khan, A., M. S. A. Ahmad, H. Athar and M. Ashraf. 2006. Interactive Effect of Foliary Applied Ascorbic acid and Salt Stress on Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the Seedling Stage. *Pak. J. Bot.*, 38: 1407-1414.
- [28] Khan, M. U., Majeed, M., Tayyab, M., Shariati, M. A., & Rashidzadeh, S. 2016. Chemical and Nutritional Properties of Some Commercial Available Corn and Wheat Products. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 6 (2): 863-866.
- [29] Khanna-Chopra, R. and D.S. Selote. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivars under field conditions. *Environ. Exp. Bot.* 60: 276-283.
- [30] Liso, R. G., A. M. Innocenti, A. Bitonti and O. Arrigoni. 1998. Ascorbic acid-induced progression of quiescent center cells from G1 to S phase, *New Phytologist*, 110: 469-471.
- [31] Mahama, S. 2021. The effects of water supply on the viability, growth, yield, physiology, and quality of maize (*Zea mays* L.). Doctoral (PhD) Dissertation. University Of Debrecen.
- [32] Marschner, H. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Cambridge, MA: Academic press.
- [33] Munir, N., S. Naz, F. Aslam, K. Shahzadi, and S. Javad. 2013. Effect of various levels of ascorbic acid pretreatment on alleviation of salt stress in salt sensitive sugarcane genotype SPF-213. *J. Agric. Res.* 51: 267–276.
- [34] Noctor, G. and C.H. Foyer. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 49: 249-79.
- [35] Norton, R. (2013). Focus on Calcium: Its role in crop production. GRDC Updates Pap.: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2013/02/focus-on-calcium-its-role-in-crop-production> (accessed on 25 September 2022).
- [36] Oosterhuis, D., D. Loka, E. Kawakami, and W. Pettigrew. 2014. The physiology of potassium in crop production. *Adv. Agron.* 126, 203–234. doi: 10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1.
- [37] Pignocchi, C. and C. H. Foyer. 2003. Apoplastic ascorbate metabolism and its role in the regulation of cell signaling. *Current Opinion in Plant Biology*. 6 (4): 379–389.
- [38] Qasim, M., M. Aziz, F. Nawaz and M. Arif. 2019. Role of salicylic acid and ascorbic acid in alleviating the harmful effects of water stress in Maize (*Zea mays* L.). *Asian J. Agric & Biol.* 7 (3): 442-449.
- [39] 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.
- [40] Reiahi, N. and F. Hasan. 2013. Ascorbate and drought stress effects on germination and seedling growth of sorghum. *Int. J. Agric. Plant Prod.*, 4: 901-910.
- [41] 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.
- [42] Stephen G. Pallardy. 2008. in *Physiology of Woody Plants* (Third Edition).
- [43] Suman, K. and A. Kalpana. 2013. Effects of heavy metal stress on callus induction and regeneration of finger millet (*Eleusinecoracana* L.). *J. Res. Recent Sci.* 2: 22-28.
- [44] Sun, L., L. Song, Y. Zhang, Z. Zheng, and D. Liu. 2016. Arabidopsis PHL2 and PHR1 act redundantly as the key components of the central regulatory system controlling transcriptional responses to phosphate starvation. *Plant Physiol.* 170: 499–514. doi: 10.1104/pp.15.01336.
- [45] Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*, 4th edition, Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- [46] Tao, H., H. Brueck, K. Dittert, C. Kreye, S. Lin and B. Sattelmacher. 2006. Growth and yield formation for rice (*Oryza sativa* L.) in the water saving ground. *Field Crops Res.*, 95: 1-12.
- [47] Tariq, M., & Iqbal, H. (2010). Maize in Pakistan—an overview. *Agriculture and Natural Resources*, 44 (5), 757-763.
- [48] Tommasi, F., C. Paciolla, M.C.D. Pinto and L.D. Gara. 2001. A comparative study of gultathinoe ascorbate metabolism during during germination of *Pinus pinea* L. seeds. *J. Exp. Bot.*, 52: 1647-1654.
- [49] 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.
- [50] White, P. J., and A. J. Karley,. 2010. *Potassium Cell Biology of Metals and Nutrients*. Berlin: Springer, 199–224.
- [51] Wright, I. J., D. S. Falste, M. Pickup, M. Westoby. 2006. Cross-species patterns in the coordination between leaf and stem traits, and their implications for plant hydraulics. *Physiologia Plantarum* 127: 445– 456.
- [52] Xuewen Li, M. Makavitskaya, V. Samonkhina, 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 sig. behav.* 13 (9): e1514895.

Linking Perception and Measurement: Real-World Validation of a Fuzzy Logic Model for Patient Satisfaction

Amadou Diabagate¹ and Awa Fofana²

¹Faculty of Mathematics and Computer Science, University Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Faculty of Medicine, University Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 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: In modern healthcare, patient satisfaction is widely recognized as a cornerstone of healthcare quality assessment, influencing not only clinical outcomes but also institutional reputation and patient loyalty. Yet, its inherently subjective and multifaceted nature makes it difficult to capture with conventional tools. This study introduces an inference system, developed within the framework of artificial intelligence, to provide a more nuanced evaluation of patient-centered care. The model examines eight qualitative indicators of patient experience, including communication, accessibility, staff competence, and perceived treatment outcomes, translating them into measurable outputs through linguistic variables. Relying on a Mamdani approach combined with centroid defuzzification, the system generates an interpretable satisfaction score on a 0–10 scale. Applied to real-world clinical data, this approach proves effective in managing uncertainty, improving decision support, and offering a refined perspective for patient experience evaluation, ultimately supporting more responsive and human-centered healthcare delivery.

KEYWORDS: Patient-centered care, Inference system, Artificial intelligence, Healthcare quality assessment, Centroid defuzzification, Patient experience evaluation.

1 INTRODUCTION

Patient satisfaction has emerged as a central performance indicator in contemporary healthcare systems, directly influencing institutional accreditation, reimbursement schemes, and public trust [1], [2], [3]. Numerous studies have highlighted its association with improved adherence to treatment protocols, lower readmission rates, and better health outcomes [4]. However, measuring satisfaction remains a persistent challenge, as it encompasses inherently subjective perceptions, emotional responses, and culturally mediated expectations that elude rigid quantitative frameworks [5], [6].

Conventional evaluation methods, typically based on Likert-scale questionnaires or fixed-response surveys, are often criticized for their inability to capture the nuanced and non-linear nature of patient experience [7], [8], [9]. Factors such as communication clarity, staff empathy, waiting time, infrastructure, and billing transparency interact in complex and sometimes asymmetric ways, shaping each individual's satisfaction in ways not easily reducible to scalar ratings [10], [11].

In this context, fuzzy logic has emerged as a promising mathematical framework for handling linguistic uncertainty and qualitative judgment. By assigning partial membership values to concepts like “good,” “moderate,” or “poor,” fuzzy systems can process vague or approximate information while maintaining computational rigor [12], [13]. This capability has already been applied in various healthcare domains, from clinical decision-making to resource allocation. Yet, its application to patient satisfaction remains relatively underexplored, especially when models are validated on real-world clinical data, which is essential to ensure robustness, credibility, and applicability in practical healthcare settings [14], [15].

This study presents a comprehensive fuzzy logic-based model specifically designed to evaluate patient satisfaction across eight key dimensions of the healthcare experience. Unlike prior works that rely exclusively on simulated data, our validation

uses empirical data collected from multiple hospital departments, allowing for a realistic assessment of the model's interpretability, adaptability, and relevance to patient-centered quality management. The proposed system defines and calibrates a set of fuzzy linguistic variables grounded in the literature and reviewed by healthcare professionals, and employs a rule-based Mamdani inference engine with centroid defuzzification to produce a continuous satisfaction score.

The originality of this work lies in its operational modeling of patient experience through a fully implemented fuzzy inference system, tested against authentic patient-reported feedback. This approach ensures that the generated scores are not only mathematically consistent but also reflective of real clinical contexts, making them more actionable for healthcare administrators and policy-makers.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 reviews the conceptual foundations and challenges associated with measuring patient satisfaction. Section 3 provides an overview of relevant literature on fuzzy logic applications in healthcare. Section 4 details the methodology, including input variable selection, fuzzy rule design, and system implementation. Section 5 reports the results of empirical validation with real-world data. The discussion in Section 6 addresses broader implications, limitations, and prospects for refinement. Finally, Section 7 concludes by summarizing the main contributions and suggesting avenues for future research.

2 PATIENT SATISFACTION IN HEALTHCARE: CONCEPTS AND CHALLENGES

Patient satisfaction has become a cornerstone metric for assessing healthcare quality, reflecting patients' perceptions of care across dimensions such as clinical effectiveness, clarity of communication, service responsiveness, and the emotional climate in which care is delivered [16]. Beyond its role as a performance indicator, it is closely linked to treatment adherence, health outcomes, and the reputation of healthcare institutions [17]. However, its measurement remains inherently complex due to its subjective, multidimensional, and culturally sensitive nature.

Conceptual models have been instrumental in shaping assessment practices. The SERVQUAL framework, for instance, identifies five dimensions: tangibility, reliability, responsiveness, assurance, and empathy. In healthcare, these have been adapted to capture critical touchpoints such as appointment scheduling, waiting time, patient-staff interactions, and the physical environment of the facility [18], [19]. Similarly, Donabedian's structure, process and outcome model situates satisfaction within a broader framework of healthcare system performance, linking infrastructure and processes to patient-perceived outcomes [20].

Despite their utility, standardized instruments such as Likert-scale surveys often fall short of capturing the full richness of patient experience. Differences in cultural interpretation, individual expectations, and emotional state can lead to inconsistencies, while ceiling effects, where scores cluster at the upper end, limit the capacity to identify areas needing improvement [21], [22]. Moreover, satisfaction is dynamic, shaped not only by clinical results but also by prior encounters with the healthcare system.

Recent studies advocate for more adaptive and nuanced evaluation tools. While narrative feedback and open-ended responses offer deep insights, they remain difficult to process systematically. This has led to growing interest in computational approaches, notably fuzzy logic, which can capture the imprecision and gradations inherent in patient feedback [23]. Unlike binary or rigid categorical ratings, fuzzy models allow degrees of satisfaction to be expressed and aggregated, offering a representation more aligned with human reasoning.

Furthermore, fuzzy inference systems can integrate multiple dimensions of satisfaction into a single, interpretable score without oversimplifying the underlying complexity [24]. Such capabilities make them highly relevant for decision-support tools aimed at enhancing service delivery, identifying improvement priorities, and tailoring care pathways [25], [26], [27], [28].

3 RELATED WORK

Assessing patient satisfaction remains a persistent challenge in healthcare, largely due to its inherently subjective, multidimensional, and linguistically nuanced nature. Conventional assessment methods, typically based on crisp numerical scores or rigid ordinal surveys, have often been criticized for oversimplifying complex human perceptions and neglecting contextual subtleties [29], [30]. In this regard, fuzzy logic has emerged as a particularly attractive alternative, offering a formal mechanism to represent uncertainty and capture linguistic granularity in patient feedback [31].

Over the past decade, several studies have demonstrated the versatility of fuzzy logic in modeling diverse dimensions of healthcare quality. Alkafaji and Al-Shamery proposed a fuzzy inference framework to assess satisfaction across multiple hospital departments [14], while Alonso and Magdalena provided a comprehensive review of fuzzy applications in healthcare

decision-making, highlighting their interpretability and flexibility [15]. In a similar vein, Djam and Kimbi designed a fuzzy expert system for malaria management, effectively encapsulating the uncertainty inherent in medical diagnoses [32]. Yao and Kumar further illustrated the adaptability of fuzzy rule-based systems by optimizing clinical care pathways [33].

More recent research has explored integrating fuzzy logic with intelligent systems and multi-agent modeling. Cui and Tan developed a fuzzy decision support system for hospital service quality management, emphasizing multi-criteria evaluation and service improvement [34]. Ortiz-Barrios et al. applied a hybrid fuzzy multi-criteria decision-making approach to achieve a balanced assessment of both quantitative and qualitative healthcare indicators [35]. Neto et al. embedded fuzzy decision layers within intelligent diagnostic systems to enhance robustness and transparency [36], while Hernandez-Leal et al. investigated fuzzy logic-based triage decision-making under strict time constraints [37].

In the context of mobile and digital health, fuzzy logic has been increasingly used to interpret sensor-derived data, analyze real-time patient feedback, and deliver adaptive recommendations [38]. For example, Abdalla et al. combined fuzzy rule bases with IoT-enabled monitoring to improve home care services [39], and Tkachenko and Kovalyshyn designed a fuzzy-logic-driven platform to synthesize patient satisfaction across physical, emotional, and procedural domains [40]. These applications highlight the value of fuzzy reasoning in enabling personalized and adaptive care delivery.

The explainability of fuzzy systems is particularly critical in healthcare, where transparent reasoning fosters trust and accountability [41], [42]. Herrera and Verdegay have argued that fuzzy linguistic modeling not only offers mathematical rigor but also aligns closely with the way humans naturally express judgments [43]. This interpretability has inspired the development of satisfaction models tailored to specific cultural and linguistic contexts. For instance, Oluwagbemi et al. created a multilingual fuzzy-based decision support system for HIV diagnosis in indigenous South African communities, demonstrating the importance of culturally sensitive approaches in sub-Saharan healthcare [44].

Hybrid frameworks that combine fuzzy logic with machine learning are also gaining traction. Ala explored fuzzy-based multi-agent architectures to simulate outpatient appointment scheduling, showing their potential to optimize patient flow and resource allocation [45]. Improta et al. applied a fuzzy logic-based clinical decision support system to assess renal function in post-transplant patients, offering a design that could be adapted for satisfaction analysis in similar clinical settings [46]. Other researchers have proposed combining fuzzy systems with neural networks or evolutionary algorithms to improve parameter optimization and model adaptability [47].

Despite these advances, many previous works still rely on generic satisfaction criteria, use inflexible survey instruments, or remain detached from institutional implementation realities. Few models offer a modular fuzzy architecture that can be directly customized by healthcare professionals to reflect the specific needs of their patient population.

The present work addresses these limitations by introducing a modular fuzzy logic-based satisfaction evaluation framework grounded in eight rigorously selected criteria from validated literature. Each input is represented through tailored membership functions, and the inference engine generates a global satisfaction score based on linguistically interpretable rules. A distinctive feature of this contribution is its ability to produce automated, near-instantaneous scores, enabling smooth integration into interactive tools or decision-support dashboards. By emphasizing adaptability, transparency, and operational relevance, the proposed model provides a reproducible and customizable alternative to more rigid approaches, thereby advancing the state of patient-centered quality assessment.

4 METHODOLOGY

Fuzzy logic provides a robust paradigm for modeling subjective and linguistically imprecise assessments, making it particularly suitable for evaluating patient satisfaction. Unlike rigid numerical scoring, fuzzy systems enable the translation of nuanced human perceptions, often expressed in qualitative terms, into mathematically tractable formats [48]. This section describes the methodological framework used to design and implement the fuzzy satisfaction system. It details the process of selecting and normalizing variables, building membership functions and inference rules, implementing the computational engine, and performing evaluations based on real-world clinical data.

4.1 SELECTION AND NORMALIZATION OF LINGUISTIC VARIABLES

The model relies on eight main input variables, identified through exploratory consultations with healthcare professionals and an extensive literature review [13], [49]. Each variable corresponds to a thematic dimension commonly discussed in the literature on patient satisfaction and collectively integrates 30 elementary indicators [14], [50]. This design balances system simplicity with comprehensive coverage of key aspects of patient experience.

All variables were derived from actual measurements and patient feedback collected in the clinical setting, then normalized to a $[0; 10]$ interval to ensure consistency among membership functions and comparability across heterogeneous dimensions. Table 1 presents the eight input variables and the output variable used in the fuzzy system.

Table 1. Overview of Linguistic Variables

No.	Variable Name	Universe of Discourse	Justification
1	Communication and Information	$[0; 10]$	Clarity, active listening, and staff responsiveness to patient inquiries.
2	Reception and Accessibility	$[0; 10]$	Ease of access, waiting time, and admission flow.
3	Staff Competence	$[0; 10]$	Clinical expertise, professionalism, and empathy.
4	Environment and Infrastructure	$[0; 10]$	Comfort, hygiene, and physical condition of the facilities.
5	Perceived Treatment Outcome	$[0; 10]$	Patient-perceived effectiveness of received care.
6	Cost and Billing Transparency	$[0; 10]$	Value for money and transparency of billing.
7	Patient Involvement and Personalized Care	$[0; 10]$	Patient participation in medical decision-making.
8	Intention to Return and Recommend	$[0; 10]$	Loyalty and likelihood of recommending the clinic.
9	Overall Patient Satisfaction (output)	$[0; 10]$	Fuzzy aggregate output reflecting the perceived level of satisfaction.

To maintain coherence, variables originally expressed in different units (such as minutes or local currency) were converted from actual recorded values using linear transformations and context-specific thresholds. This approach preserves semantic meaning while ensuring compatibility with fuzzy inference and an intuitive scale from 0 (total dissatisfaction) to 10 (maximum satisfaction) [51], [52].

4.2 DEFINITION OF MEMBERSHIP FUNCTIONS

The shape of each membership function was selected based on the perceptual nature of the corresponding criterion:

- **Triangular functions** were used for criteria with clearly linear progression, such as communication or overall satisfaction.
- **Trapezoidal shapes** were chosen for dimensions with broader zones of acceptability (e.g., reception, infrastructure).
- **Gaussian functions** were applied to model staff competence, reflecting an ideal-centered subjective evaluation.
- **Sigmoid and inverse-sigmoid functions** were used for variables with progressive or asymmetric trends, such as perceived cost or treatment effectiveness.

These choices are grounded in both theoretical and applied fuzzy logic literature [47], [48], [49], [50], and were calibrated through expert feedback and academic references, including seminal works by Suzuki and Negishi [23] and Bouchon-Meunier and al [51]. The corresponding membership functions are illustrated in the figures 1.

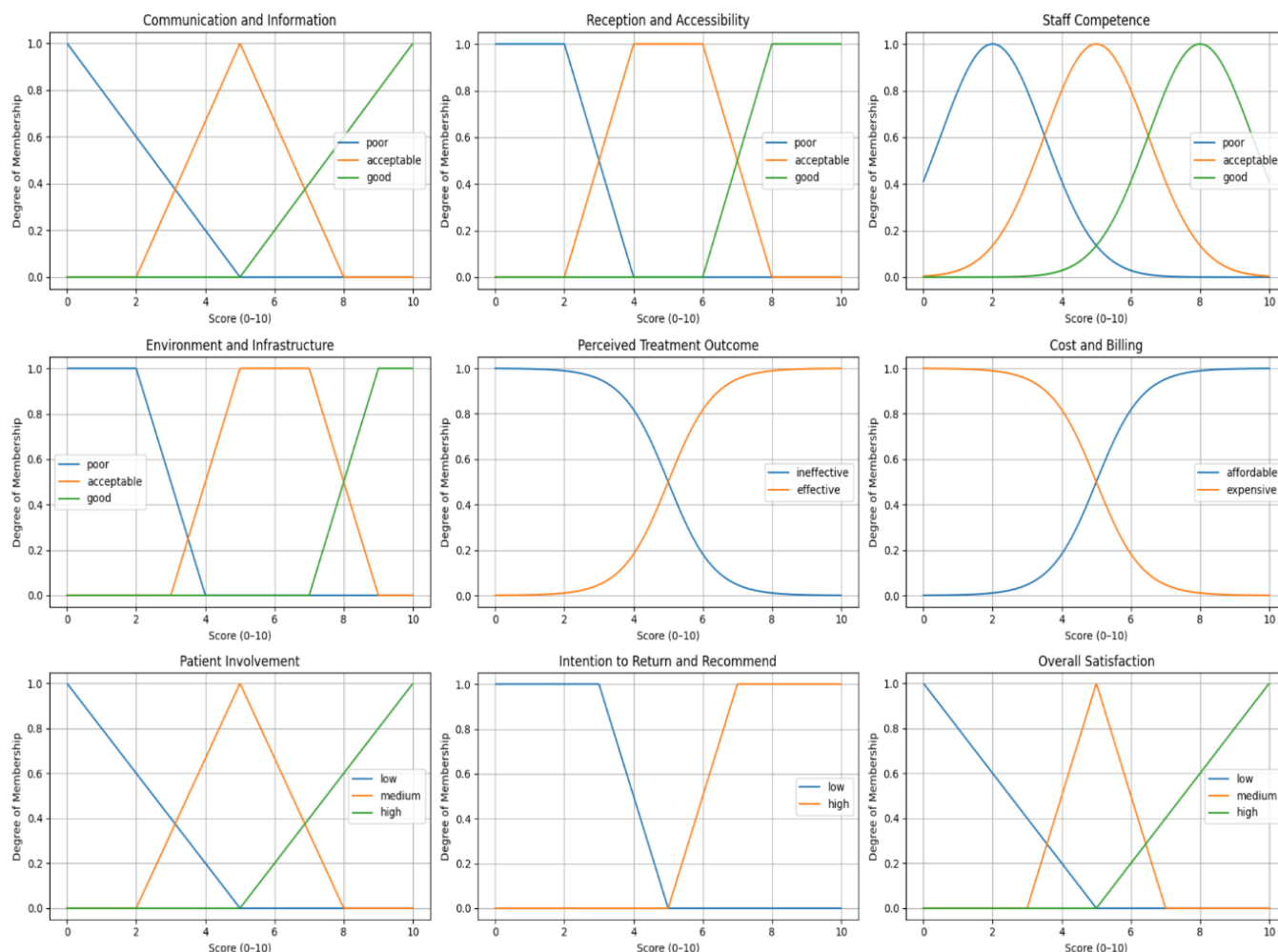


Fig. 1. Membership functions for the eight entry variables and the output variable

4.3 CONSTRUCTION OF THE RULE BASE

The fuzzy rule base defines the logical relationships between input variables and the system's output. It consists of predicates and conclusions expressed as combinations of propositions and logical operators [53]. The 15 representative rules were formulated using patterns observed in the real patient satisfaction data and supported by established theoretical models such as those of Donabedian and Parasuraman et al. [18], [19], [20]. These rules reflect qualitative associations frequently observed in clinical practice and align with current AI-driven healthcare evaluation approaches [54].

Table 2 presents a total of 15 fuzzy rules, selected as most representative of common clinical scenarios in the evaluation of patient satisfaction.

Table 2. Fifteen Representative Rules in the Fuzzy Inference Base

Rule	IF Clause (Predicates)	THEN Satisfaction
R1	IF Communication and Information is high AND Perceived Treatment Outcome is high AND Reception is high	High
R2	IF Communication and Information is low OR Perceived Treatment Outcome is low	Low
R3	IF Environment and Infrastructure is poor AND Reception and Accessibility is poor	Low
R4	IF Cost and Billing is expensive AND Perceived Treatment Outcome is low	Low
R5	IF Communication and Information is medium AND Perceived Treatment Outcome is medium	Medium
R6	IF Patient Involvement is high AND Communication and Information is high	High
R7	IF Intention to Return is low OR Environment and Infrastructure is poor	Low
R8	IF Reception and Accessibility is acceptable AND Perceived Treatment Outcome is high	Medium
R9	IF Cost and Billing is acceptable AND Treatment Outcome is medium AND Communication and Information is medium	Medium
R10	IF Communication and Information is low AND Reception is poor AND Cost is expensive	Low
R11	IF Intention to Return is high AND Patient Involvement is high	High
R12	IF Perceived Treatment Outcome is medium AND Environment and Infrastructure is high	Medium
R13	IF Communication and Information is high AND Cost and Billing is affordable	High
R14	IF Communication is medium AND Treatment Outcome is high	High
R15	IF Patient Involvement is low AND Reception is poor	Low

4.4 INFERENCE MECHANISM AND DEFUZZIFICATION

A Mamdani-type fuzzy inference engine was adopted due to its transparency and suitability for linguistic reasoning in clinical contexts. The reasoning process involves four classical stages:

Each input, based on actual patient-derived values, is transformed into a fuzzy set using its respective membership functions.

- 1. Fuzzification:** Each input, based on actual patient-derived values, is transformed into a fuzzy set using its respective membership functions.
- 2. Rule Evaluation:** Activation levels of the fuzzy rules are computed by applying the minimum operator to the degrees of membership of the rule's antecedents. This conjunctive approach aligns with clinical reasoning under uncertainty.
- 3. Aggregation:** The output fuzzy sets of all activated rules are aggregated using the max–min composition method, ensuring that the system captures multiple interacting influences on satisfaction.
- 4. Defuzzification:** The final output is derived through the centroid method (center of gravity), which calculates the balance point of the aggregated fuzzy area. This method was chosen for its robustness and widespread acceptance in medical fuzzy systems [32], [39].

This mechanism ensures interpretability, continuity, and alignment with the cognitive models through which human evaluators articulate satisfaction. Furthermore, the Mamdani framework supports rule traceability and explainability, which are essential for trust in clinical applications [55].

In future work, alternative inference mechanisms such as Sugeno-type systems may be explored to allow for more computational efficiency in embedded or real-time deployments, although they may offer less intuitive interpretability.

4.5 SYSTEM IMPLEMENTATION

The fuzzy satisfaction evaluation system was implemented in Python using the scikit-fuzzy library. Its modular, object-oriented design allows updates to membership functions, the rule base, or the inference engine without affecting the rest of the system.

Each patient profile corresponds to a real-world case collected from the participating healthcare facility, based on the eight normalized satisfaction dimensions. These variables were derived from patient survey responses and service performance indicators, then preprocessed to ensure completeness and consistency before integration into the fuzzy inference engine.

The Mamdani-type system processes these inputs, applying fuzzification, rule evaluation, aggregation, and defuzzification via the centroid method to produce a final satisfaction score between 0 and 10. Average computation time remains under 50 milliseconds per patient, ensuring suitability for integration into clinical dashboards or patient monitoring tools.

Grounded in actual patient feedback and operational data, the system produces outputs that are mathematically coherent and contextually meaningful, enabling healthcare managers to monitor satisfaction trends and support decision-making.

4.6 MATHEMATICAL COMPONENTS OF THE FUZZY SYSTEM

The fuzzy system developed in this study is built upon a Mamdani-type inference mechanism, a well-established framework in applications requiring subjective and qualitative decision-making. The inference process follows a structured sequence comprising four fundamental stages.

Stage 1: Input Fuzzification

Each input variable $x_i \in [0,10]$ is mapped to a fuzzy value using a membership function $\mu_{A_i}(x_i)$.

For instance, for the linguistic category *Good* of a variable such as *Communication and Information*:

$$\mu_{Good}(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq 4, \\ \frac{x-4}{2}, & \text{if } 4 < x < 6, \\ 1, & \text{if } x \geq 6. \end{cases} \quad (1)$$

Stage 2: Evaluation of Fuzzy Rules

A fuzzy rule can be intuitively expressed as:

$$R_k : \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^k \text{ AND... AND } x_n \text{ is } A_n^k, \text{ THEN } y \text{ is } B^k \quad (2)$$

Formally, for any number of inputs:

$$R_k : \text{IF } \bigwedge_{i=1}^n [(x_i \text{ is } A_i^k)] \text{ THEN } y \text{ is } B^k \quad (3)$$

The activation degree α_K of rule R_k is given by :

$$\alpha_k = \min_{i=1 \dots n} \mu_{A_i^k}(x_i) \quad (4)$$

Stage 3: Aggregation of Rule Outputs

The fuzzy outputs of activated rules are aggregated using a max–min composition:

$$\mu_B(y) = \max_k [(\min_k [(\alpha)_k, \mu_{B^k}(y)])] \quad (5)$$

where $\mu_{B^k}(y)$ denotes the membership function of output B^k .

Stage 4: Defuzzification

The final, crisp output y^* , representing the estimated level of satisfaction, is obtained via the centroid method:

$$y^* = \frac{\int y \mu_B(y) dy}{\int \mu_B(y) dy} \quad (6)$$

This rigorous modeling translates linguistic judgments into operational reasoning, making it suitable for implementation within an AI-based system focused on patient satisfaction. It ensures reproducibility, transparency, and mathematical coherence, thereby facilitating seamless software integration.

5 EMPIRICAL VALIDATION WITH REAL-WORLD CLINICAL DATA

This section reports the empirical validation of the fuzzy logic–based patient satisfaction model using real-world clinical data, assessing its alignment with patient-reported experiences.

5.1 STUDY DESIGN AND PARTICIPANTS

The patient satisfaction survey was carried out in seven hospital departments, gynecology, dermatology, cardiology, medical emergency, ophthalmology, cancerology, gastroenterology, and ENT (Ear, Nose, and Throat), during routine clinical activity. These departments were deliberately selected to cover a broad spectrum of medical specialties, ensuring diversity in patient profiles, frequent direct contact between healthcare providers and patients, and a representative range of clinical situations relevant to satisfaction assessment.

Data were collected over a four-week period in 2025, encompassing both weekdays and weekends to reflect typical variations in hospital activity. Participation was open to adult patients aged 18 years and above who could understand the purpose of the study and provide informed consent. Patients in critical condition, those with severe cognitive impairment, or anyone unable to complete the questionnaire were excluded to ensure reliable self-reported responses.

In total, 80 adult patients took part in the survey on a voluntary basis. All participants were informed about the objectives of the study before providing consent, and their responses were recorded in complete anonymity to guarantee confidentiality and full adherence to ethical principles for research involving human subjects. The sample included 43 men (53.8%) and 37 women (46.2%), with ages ranging from 18 to 84 years (mean 36.7, SD 15.5). The departmental distribution was as follows: gynecology (18.8%), dermatology (17.5%), ENT (16.3%), medical emergency (12.5%), gastroenterology (10.0%), cancerology (7.5%), cardiology (6.3%), and ophthalmology (5.0%).

The dataset obtained from this survey provides a unique opportunity to compare patient-reported satisfaction scores with those generated by the fuzzy logic model, using the eight input dimensions described earlier in the study. This direct comparison forms the basis for the empirical validation presented in the following sections.

5.2 DATA COLLECTION AND PROCESSING

The evaluation covered eight key dimensions of patient satisfaction: communication and information, accessibility and reception, staff competence, environment and infrastructure, perceived care outcome, perception of cost and billing, patient involvement, and intention to return and recommend the facility. For each patient, two overall satisfaction scores were recorded: a self-declared score directly provided by the patient during the interview, and a score generated by the fuzzy logic system using the eight dimensions as inputs. All responses were collected in a structured questionnaire administered by trained staff, and numeric values were normalized to a 0–10 scale before integration into the fuzzy inference system.

The main descriptive statistics for the eight satisfaction dimensions and the two overall scores are presented in Table 3.

Table 3. Descriptive statistics of input dimensions and global scores

Variable	Sample Size (N)	Mean Score	Standard Deviation	Minimum Score	Median Score	Maximum Score
Communication and Information	80	6.88	1.76	2.0	7.0	10.0
Accessibility and Reception	80	5.85	1.99	2.0	6.0	10.0
Staff Competence	80	6.4	1.59	3.0	6.0	10.0
Environment and Infrastructure	80	5.9	1.83	2.0	6.0	10.0
Perceived Care Outcome	80	6.59	2.13	0.0	7.0	10.0
Cost and Billing Perception	80	6.25	1.45	3.0	6.0	10.0
Patient Involvement	80	6.18	1.85	3.0	6.0	10.0
Intention to Return and Recommend	80	5.96	1.94	2.0	6.0	10.0
Patient-Reported Satisfaction	80	5.75	2.00	1.0	6.0	10.0
Fuzzy-Generated Satisfaction	80	5.08	1.78	2.0	5.2	9.0

Descriptive analysis of the eight evaluated dimensions shows mean values ranging from 5.08 to 6.88 on a 0–10 scale, indicating generally high satisfaction levels reported by patients. Staff competence recorded the highest mean score, followed closely by intention to return and recommend, while perception of cost and billing showed the lowest mean and the highest standard deviation, reflecting greater variability in opinions on this aspect. The two global indicators, the fuzzy-generated score and the patient-reported score, presented similar averages (5.08 and 5.75 respectively), highlighting a general convergence between automated assessment and patients' subjective experience.

5.3 COMPARATIVE ANALYSIS OF SATISFACTION SCORES

Descriptive statistics for the fuzzy-generated and patient-reported satisfaction scores are summarized in Table 4. These values provide an initial overview of the central tendencies and variability in both datasets before examining their distributional patterns.

Table 4. Descriptive statistics for fuzzy-generated and patient-reported satisfaction scores

	Fuzzy-Generated Satisfaction	Patient-Reported Satisfaction
Sample Size	80	80
Mean Score	5.08	5.74
Standard Deviation	1.78	2.00
Minimum Score	2.00	1.00
Median Score	5.18	6.00
Maximum Score	8.97	10.00

As presented in Table 4, the fuzzy generated scores are slightly lower on average compared with the patient reported scores, with respective means of 5.08 and 5.74. The standard deviation of the fuzzy generated results, which is 1.78, is also smaller than the 2.00 observed for the patient scores. This smaller dispersion suggests that the fuzzy system produces values that are less spread out, which indicates a tendency to moderate extreme evaluations.

To better understand these numerical differences, Figure 2 presents a visual comparison of the distributions through overlapping histograms. This representation provides a clear view of the central tendency and the spread of the two types of scores.

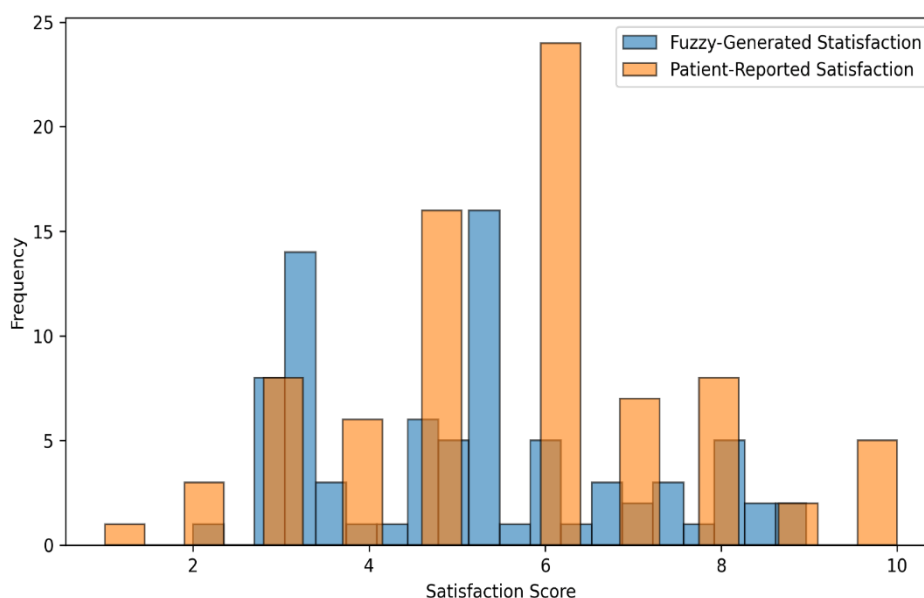


Fig. 2. Comparative histograms of fuzzy-generated and patient-reported satisfaction scores

The visual patterns reveal that the fuzzy generated scores are more tightly grouped around their mean, with fewer cases at the lowest and highest ends of the scale. In contrast, patient reported scores exhibit a wider spread, with a noticeable number of high ratings close to the maximum of 10. This behaviour indicates that the fuzzy logic approach, based on standardised evaluation criteria and balanced rule aggregation, generates results that are more stable and consistent. In comparison, patient reported scores are more likely to be influenced by personal perceptions, emotions, and situational factors.

5.4 CORRELATION, ERROR METRICS, AND INTERPRETATION

The relationship between fuzzy-generated and patient-reported satisfaction scores was examined using Pearson's correlation coefficient, the mean absolute error, and the root mean square error. The analysis revealed a strong and statistically significant positive correlation between the two sets of scores (Pearson $r = 0.76$, $p < 0.001$). On average, the difference between the two scoring methods was modest, with a mean absolute error of 1.12 and a root mean square error of 1.48, indicating that most predictions were close to the patient-reported values. The fuzzy system tended to underestimate satisfaction by approximately 0.66 points on a 0–10 scale. This tendency may be linked to the structured, criteria-based nature of the fuzzy inference system, which smooths extreme evaluations, and to patient-related factors such as individual interpretation of questionnaire items or the possible influence of healthcare staff during the reporting process.

Figure 3 visually illustrates this relationship, showing that most predictions cluster near the identity line, confirming the alignment between the two scoring approaches.

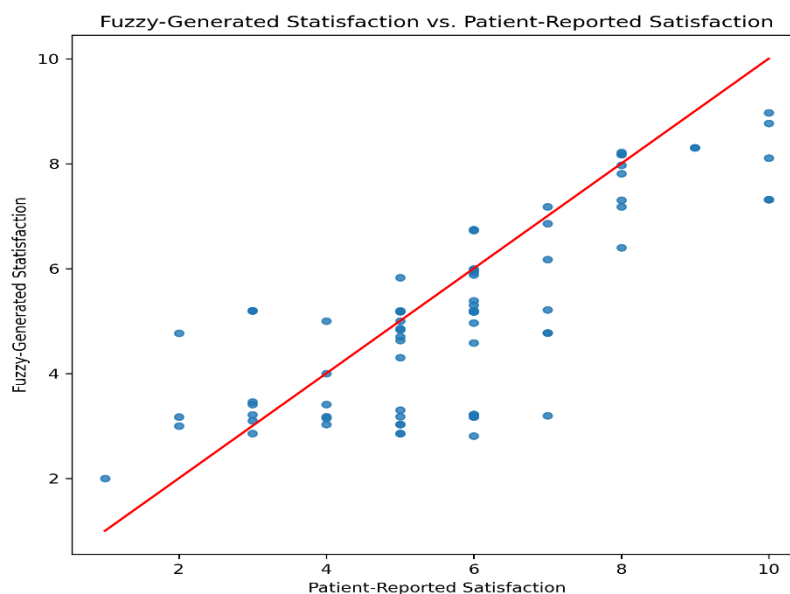


Fig. 3. Scatter plot of fuzzy-generated vs. patient-reported satisfaction scores

The observed agreement levels are consistent with, and in some cases exceed, those reported in similar fuzzy logic-based healthcare satisfaction assessment studies. A more detailed comparison with the literature is presented in the Discussion section.

5.5 COMPARATIVE ANALYSIS WITH CONVENTIONAL METHODS

To better understand the value of the fuzzy logic system, its results were compared with three other approaches: a simple average of the eight satisfaction dimensions, a linear regression model, and a decision tree. Each method was evaluated against the patients' reported overall satisfaction using three indicators: Pearson's correlation (r), mean absolute error (MAE), and root mean square error (RMSE). The results are shown in Table 5.

Table 5. Comparative performance of different approaches in predicting overall satisfaction

Method	Pearson r	MAE	RMSE
Mean of 8 criteria	0.902	0.900	1.091
Linear Regression	0.950	0.488	0.619
Decision Tree	1.000	0.000	0.000
Fuzzy System (proposed)	0.760	1.127	1.480
Cross-validated (5-fold)	Pearson r	MAE	RMSE
Linear Regression	0.931	0.566	0.729
Decision Tree	0.837	0.775	1.151

The picture that emerges is clear. Linear regression provided the best balance between accuracy and stability: it maintained a strong correlation ($r = 0.95$ in-sample, $r = 0.93$ under cross-validation) while keeping errors relatively low. The decision tree, on the other hand, appeared perfect in-sample ($r = 1.00$, zero error), but its performance dropped substantially once cross-validation was applied, confirming that it had overfitted the training data. Even the simple average of the eight criteria performed surprisingly well, showing that patients' global satisfaction is closely aligned with the mean of their individual ratings.

Compared with these methods, the fuzzy system achieved lower predictive accuracy ($r = 0.76$). Yet, this result must be interpreted in context. The goal of the fuzzy framework is not only to maximize statistical performance but also to offer something the other models lack: transparency, interpretability, and adaptability to expert knowledge. Unlike regression coefficients or tree splits, fuzzy rules can be understood and adjusted by clinicians, making the system more trustworthy and easier to adapt to local cultural or institutional contexts.

In this sense, the fuzzy system should not be seen as competing with regression or machine learning, but rather as complementary. It brings interpretability where black-box models fall short, and it offers a way to capture linguistic nuances that numbers alone cannot express. Future research may even explore hybrid approaches that combine the accuracy of statistical models with the transparency of fuzzy logic.

5.6 ANALYSIS OF FUZZY INFERENCE SURFACES

In order to gain deeper insight into the way the fuzzy logic system integrates different aspects of patient experience, four fuzzy inference surfaces were generated from the simulation dataset. Each surface provides a three-dimensional view of how two key variables interact to shape overall satisfaction. The variable pairs were selected as the most influential combinations based on both statistical results and expert assessment. Together, they encompass all eight input variables used in the model, ensuring that the analysis reflects its full decision-making scope.

Figure 4 (a) illustrates the relationship between Communication and Information, which had a mean score of 7.59, and Perceived Treatment Outcome, with a mean score of 7.79. When both variables receive ratings above 9, the predicted satisfaction approaches 9.8 out of 10. Conversely, if either variable fall below 5, satisfaction declines to about 5.5, even if the other remains high.

Figure 4 (b) examines the combination of Staff Competence, with a mean score of 8.15, and Patient Involvement and Personalized Care, averaging 7.71. High ratings in both dimensions yield satisfaction scores close to 9.7, while lowering either to around 5 reduces the predicted score to approximately 6.2. This underlines the importance of uniting strong clinical expertise with genuine personal engagement.

Figure 4 (c) explores the interplay between Cost and Billing Transparency, which averaged 7.13, and Intention to Return and Recommend, which averaged 7.99. The model predicts satisfaction levels above 9 when patients view financial processes as transparent and express strong loyalty. However, if transparency drops to 5 or lower, satisfaction decreases to around 6.0, even if loyalty remains high.

Figure 4 (d) shows the interaction between Reception and Accessibility, with a mean score of 7.65, and Environment and Infrastructure, averaging 7.73. Ratings above 9 in both factors produce satisfaction scores close to 9.6, while reducing either to 5 lowers the result to about 6.4. This confirms that first impressions and physical comfort play a decisive role in shaping patient perceptions.

Collectively, these four surfaces reveal how the fuzzy inference system produces gradual and interpretable variations in predicted satisfaction. They highlight that patient satisfaction is not driven by a single element but emerges from the combined effect of technical quality, interpersonal relationships, and environmental conditions. The findings suggest that the most effective improvement strategies are those that strengthen these factors together rather than focusing on them individually.

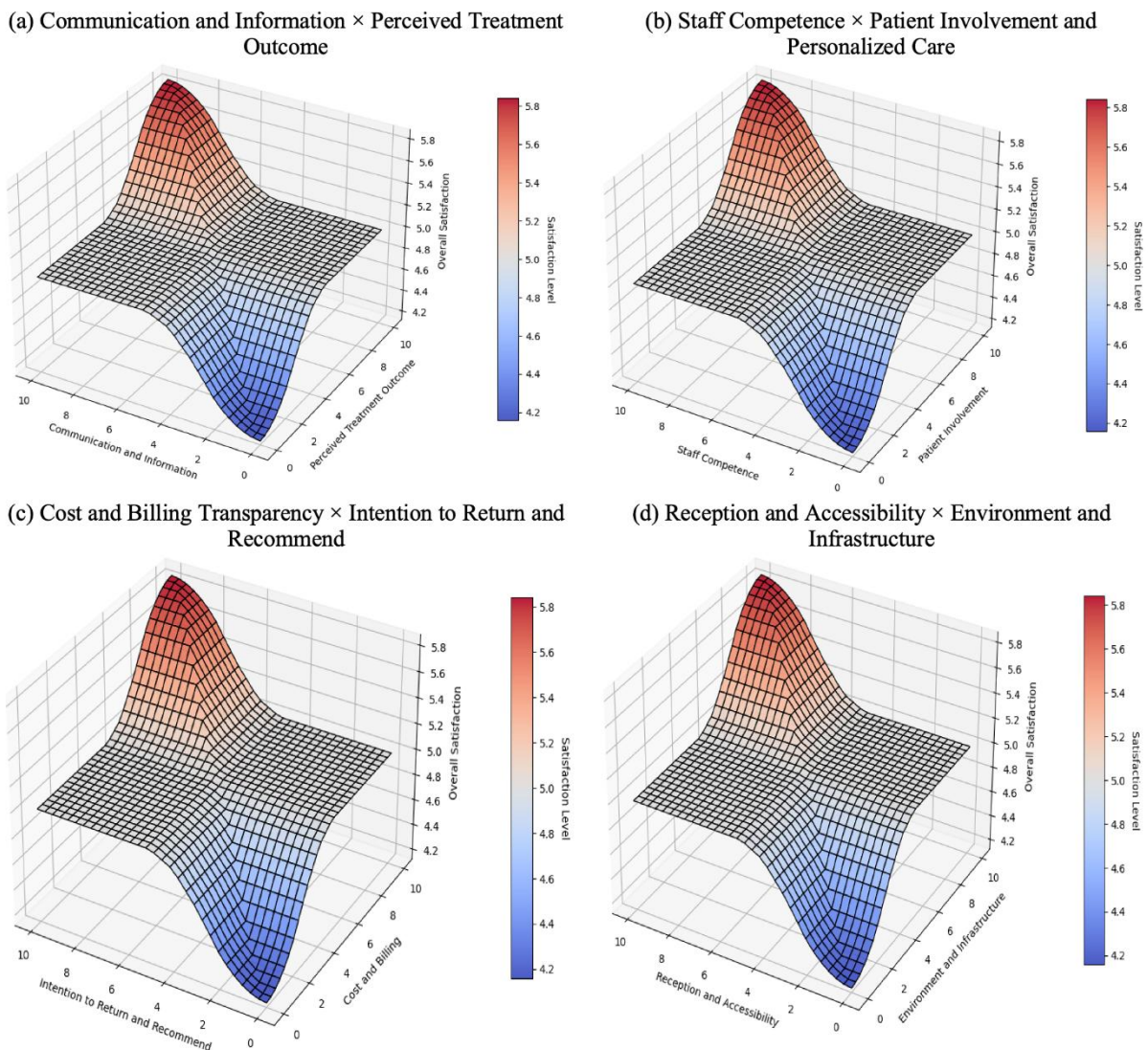


Fig. 4. Fuzzy inference surfaces showing the variation of fuzzy-generated satisfaction for four variable pairs encompassing all eight input variables

6 DISCUSSION

This study presents an original, interpretable, and computationally efficient fuzzy logic framework for evaluating patient satisfaction in healthcare settings. Unlike many existing approaches that rely solely on simulated or survey-based data, the proposed system has been validated using real-world patient feedback collected from clinical practice. This empirical validation reinforces its practical relevance, ensuring that the generated satisfaction scores reflect authentic patient experiences rather than hypothetical scenarios. By integrating eight carefully selected dimensions, the framework delivers a rich and multidimensional representation of patient perceptions, addressing a crucial yet often under-measured aspect of healthcare quality.

6.1 CONTRIBUTIONS TO PATIENT SATISFACTION ASSESSMENT

Conventional approaches to measuring satisfaction often depend on Likert-scale questionnaires or aggregated scores, which tend to oversimplify the complexity of patient perceptions [44]. The model developed in this study overcomes these limitations by applying fuzzy logic to transform subjective evaluations into mathematically coherent satisfaction scores. The use of real-world patient data in the validation process strengthens these contributions, as it demonstrates that the model can operate effectively in authentic clinical environments where responses are influenced by linguistic ambiguity, cultural diversity, and emotional subjectivity [56], [57]. One of its key advantages lies in its capacity to capture intermediate satisfaction levels, such as “moderately satisfied,” which are frequently lost in binary or ordinal scoring systems. This capability is particularly valuable for detecting incremental improvements in care quality and identifying the point at which interventions begin to positively influence patient perception. Although this study does not include a direct comparison with other techniques such as linear scoring systems or opaque machine learning models, the deliberate use of fuzzy logic aligns with the inherently subjective nature of patient satisfaction, preserving adaptability, interpretability, and cultural sensitivity.

6.2 COMPARATIVE PERSPECTIVE AND ORIGINALITY OF THE PROPOSED APPROACH

Beyond numerical performance, the strength of the proposed fuzzy logic framework lies in the way it captures the complexity of patient satisfaction. Whereas conventional surveys or regression models often reduce perceptions to linear or overly simplified scores, fuzzy logic can represent intermediate levels of satisfaction and account for non-linear interactions between different aspects of care. This allows for a more nuanced and realistic picture of patient experience.

Another distinctive element of this study is the type of data used. While many previous works rely on simulated or highly specific datasets, the present framework was validated on real patient-reported data collected across several hospital departments. This choice not only enhances the credibility of the results but also demonstrates the system’s ability to align algorithmic evaluations with lived experiences of care.

The model itself was designed with transparency and ease of use in mind. It is built on eight clearly defined dimensions and guided by membership functions and rules informed by both literature and expert knowledge. This makes the system adaptable to diverse institutional and cultural contexts without requiring extensive datasets or complex retraining. Its ability to generate outputs in just a few milliseconds also makes it suitable for seamless integration into hospital dashboards or patient feedback platforms.

Compared with hybrid approaches that combine fuzzy logic with machine learning, the proposed framework maintains a unique advantage in terms of explainability. While hybrid models can sometimes achieve higher predictive accuracy, they often do so at the cost of interpretability, which remains essential in healthcare contexts where decisions must be transparent and understandable.

Table 6 provides a synthetic overview of how the proposed framework positions itself among alternative approaches [17], [18], [21], [49], highlighting its balance between methodological rigor, empirical grounding, and practical applicability.

Table 6. Comparative Overview of Patient Satisfaction Assessment Approaches

Approach	Data Type	Ability to Handle Linguistic Uncertainty	Interpretability	Need for Large Training Dataset	Real-World Validation	Operational Feasibility	Notable Limitations
Likert-Scale Surveys	Patient-reported ordinal scores	✗	High (direct scores)	✗	✓	High	Oversimplifies nuanced perceptions; prone to ceiling effects
Classical Regression Models	Numerical variables	✗	Medium	✓	✓	Medium	Assumes linearity; limited handling of qualitative feedback
Fuzzy Logic with Simulated Data	Artificial datasets	✓	High	✗	✗	High	Lacks empirical grounding
Hybrid Fuzzy + Machine Learning	Real or large datasets	✓	Medium–Low	✓	✓	Medium–Low	Reduced interpretability
Proposed Fuzzy Logic Framework	Real patient data	✓	High	✗	✓	High	Slight underestimation of extreme values

By uniting methodological rigor with transparency and real-world validation, the proposed framework emerges as a distinctive and practical tool to enhance patient-centered quality assessment.

6.3 INTERPRETABILITY AND TRUSTWORTHINESS

A defining strength of the proposed system lies in its interpretability, which is often missing from more complex predictive models. Each satisfaction score is produced through clearly defined rules and membership functions, enabling healthcare professionals to understand both the results and the underlying reasoning. In clinical environments, where decisions have direct consequences for patient well-being, such transparency is essential [41,58]. This interpretability fosters trust among clinicians and administrators, increasing the likelihood of adoption, especially when the system is adapted to local contexts. The integration of expert knowledge into the rule base ensures that the framework aligns with institutional realities and can be seamlessly adjusted to a wide variety of healthcare settings, from urban hospitals to rural clinics.

6.4 OPERATIONAL RELEVANCE AND STRATEGIC DEPLOYMENT

From an operational perspective, the model offers significant advantages. Its evaluation time is under half a second, making it compatible with integration into hospital information systems, management dashboards, or patient feedback platforms. This speed facilitates continuous monitoring of perceived service quality and supports timely decision-making to enhance care delivery. The rule-based structure removes the dependency on large training datasets and reduces the workload associated with long surveys, while still providing actionable insights. Furthermore, the visual outputs generated by the system, such as satisfaction distribution curves and interaction surfaces, help decision-makers pinpoint areas requiring improvement in communication, infrastructure, or clinical procedures. The use of real patient feedback further enhances these operational benefits by ensuring that improvement strategies are grounded in actual patient experiences.

6.5 LIMITATIONS AND AREAS FOR FUTURE RESEARCH

While this study demonstrates clear strengths, it is important to acknowledge certain limitations, without in any way undermining its validity or scientific relevance. The current validation relied on real patient data drawn from several hospital

departments, including gynecology, dermatology, ENT (Ear, Nose and Throat), medical emergency, gastroenterology, cancerology, cardiology, and ophthalmology [10]. To further strengthen the robustness and generalizability of the model, future work should broaden this diversity by integrating data from other cultural settings and a wider range of clinical contexts [17]. Another limitation is that the fuzzy logic framework did not achieve the same level of predictive accuracy as purely statistical or machine learning models. However, this should not be viewed as a weakness. The true strength of fuzzy logic lies not in outperforming numerical models, but in offering interpretability, adaptability, and transparency, qualities that black-box methods often lack. Future research could explore hybrid approaches that combine the predictive power of statistical techniques with the clarity and usability of fuzzy logic, leveraging the strengths of both paradigms.

Because patient satisfaction is deeply shaped by cultural norms, expectations, and personal experiences, cross-cultural validation would make it possible to better capture the richness and variability of perceptions while adapting inference rules to reflect local realities [8]. Additionally, designing specialized model versions for specific patient groups, such as older adults, individuals with chronic illnesses, or those receiving palliative care, could lead to more precise and context-sensitive assessments [39].

Taken together, these perspectives open promising avenues for enhancing and refining this methodological framework while further consolidating its value as a practical tool for improving patient-centered care [16].

7 CONCLUSION AND FUTURE WORK

This study introduced a fuzzy logic-based framework for evaluating patient satisfaction, validated with real data collected from several hospital departments. Grounded in eight well-defined dimensions and implemented through a Mamdani-type inference engine, the system translates subjective patient experiences into structured and interpretable satisfaction scores.

A key strength of this framework is its ability to deliver transparent and immediate results that capture the nuances of patient perception without oversimplification. By integrating linguistic variables, carefully designed membership functions, and a clear rule base, the model ensures both adaptability across diverse clinical settings and usability for healthcare professionals.

Its modular design makes it suitable for integration into hospital dashboards, feedback platforms, and quality monitoring systems. Tests with both simulated and real data demonstrated its ability to identify subtle variations in patient experience and provide actionable insights for service improvement.

Future work could include expanding the rule base through ongoing collaboration with healthcare experts, adopting adaptive learning mechanisms to reflect evolving patient expectations, and validating the system across different clinical contexts. Embedding the model into patient-facing digital tools and linking it with hospital information systems would further enhance its real-world applicability.

While statistical and machine learning models may sometimes achieve higher predictive accuracy, they often lack the transparency and interpretability that make fuzzy logic particularly valuable in healthcare. More than a computational tool, this framework serves as a decision-support system that provides clarity and trust where black-box models fall short.

By uniting interpretability, adaptability, and operational relevance, this fuzzy logic framework stands as a distinctive and scalable solution for patient-centered quality assessment, with the potential to play a central role in the next generation of intelligent healthcare systems.

DATA AND CODE AVAILABILITY

Due to privacy and ethical restrictions concerning patient data, the raw survey data used to validate the fuzzy subsystem are not publicly available. However, anonymized and aggregated data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request. Requests will be evaluated in accordance with the ethical approval granted for this research and applicable data protection regulations.

REFERENCES

- [1] Alemu, A.T., Bogale, E.K., Bogale, S.K., *al.*: Patient satisfaction and associated factors with inpatient health services at public hospitals in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis. *BMC Health Serv Res* 24. (2024). <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11552-5>.
- [2] Boudreaux, E.D., Mandry, C.V., Wood, K.: Patient satisfaction data as a quality indicator: a tale of two emergency departments. *Acad Emerg Med*. (2003). <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2003.tb02000.x>.
- [3] Liu, L., Gauri, D.K., Jindal, R.P.: The Role of Patient Satisfaction in Hospitals' Medicare Reimbursements. *Journal of Public Policy & Marketing* (2021). <https://doi.org/10.1177/0743915620984723>.
- [4] Hoffmann, O., Paul, F., Haase, R., Kern, R., Ziemssen, T.: Preferences, Adherence, and Satisfaction: Three Years of Treatment Experiences of People with Multiple Sclerosis. *Patient Preference and Adherence* (2024). <https://doi.org/10.2147/PPA.S452849>.
- [5] Shoshanna Sofaer, Kirsten Firminger.: Patient perceptions of the quality of health services. *Annual Review of Public Health* (2005). <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.25.050503.153958>.
- [6] Priebe, S., Miglietta, E.: Assessment and determinants of patient satisfaction with mental health care. *World Psychiatry* (2019). <https://doi.org/10.1002/wps.20586>.
- [7] Baker, D.L., Melnikow, J., Shultz, J., Niederhauser, V., Diaz-Escamilla, R.: Translation of Health Surveys Using Mixed Methods. *Journal of Nursing Scholarship* (2010). <https://doi.org/10.1111/j.1547-5069.2010.01368.x>.
- [8] Masino, C., Lam, T.C.M.: Choice of Rating Scale Labels: Implication for Minimizing Patient Satisfaction Response Ceiling Effect in Telemedicine Surveys. *Telemedicine and e-Health* (2014). <https://doi.org/10.1089/tmj.2013.0350>.
- [9] Johnson, R.L., Saha, S., Arbelaez, J.J. *et al.*: Racial and ethnic differences in patient perceptions of bias and cultural competence in health care. *Journal of General Internal Medicine* (2004). <https://doi.org/10.1111/j.1525-1497.2004.30262.x>.
- [10] Helena Vinagre, M. and Neves, J.: «The influence of service quality and patients' emotions on satisfaction», *International Journal of Health Care Quality Assurance* (2008). <https://doi.org/10.1108/09526860810841183>.
- [11] Nottingham, Q. J., Johnson, D. M., & Russell, R. S.: The Effect of Waiting Time on Patient Perceptions of Care Quality. *Quality Management Journal* (2018). <https://doi.org/10.1080/10686967.2018.1404368>.
- [12] Dunsch, F., K Evans, D., Macis, M., Wang, Q.: Bias in patient satisfaction surveys: a threat to measuring healthcare quality. *BMJ Global Health* (2018). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2017-000694>.
- [13] Singh, A., & Prasher, A.: Measuring healthcare service quality from patients perspective: using Fuzzy AHP application. *Total Quality Management & Business Excellence* (2017). <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1302794>.
- [14] Alkafaji, M. K., Al-Shamery, E. S.: A Fuzzy Assessment Model for Hospitals Services Quality based on Patient Experience. *Karbala International Journal of Modern Science* (2020). <https://doi.org/10.33640/2405-609X.1734>.
- [15] Gupta, K., Kumar, P., Upadhyaya, S., Poriye, M., Aggarwal, S.: Fuzzy logic and machine learning integration: Enhancing healthcare decision-making. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*. 16 (3), 20-20 (2024).
- [16] Mularczyk-Tomczewska, P., Gujski, M., Koperdowska, J.M., Wójcik, J., Silczuk, A.: Factors Influencing Patient Satisfaction with Healthcare Services in Poland. *Med Sci Monit* (2025). <https://doi.org/10.12659/MSM.948225>.
- [17] Ferreira, D. C., Vieira, I., Pedro, M. I., Caldas, P., Varela, M. (2023). Patient Satisfaction with Healthcare Services and the Techniques Used for its Assessment: A Systematic Literature Review and a Bibliometric Analysis. *Healthcare* (2023). <https://doi.org/10.3390/healthcare11050639>.
- [18] Parasuraman, A., Zeithaml, V.A., Berry, L. L.: Servqual: A multiple-item scale for measuring consumer perc. *Journal of Retailing*. 64, 12–40 (1988).
- [19] Doyle, C., Lennox, L., & Bell, D.: A systematic review of evidence on the links between patient experience and clinical safety and effectiveness. *BMJ Open* (2013). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001570>.
- [20] Donabedian, A.: The quality of care: how can it be assessed?. *Jama* (1988). <https://doi.org/10.1001/jama.1988.03410120089033>.
- [21] Dagger, T. S., Sweeney, J. C., Johnson, L. W.: A hierarchical model of health service quality: scale development and investigation of an integrated model. *Journal of service research* (2007). <https://doi.org/10.1177/1094670507309594>.
- [22] Otani, K., Waterman, B., Faulkner, K.M., Boslaugh, S., Burroughs, T.E., Dunagan, C. W.: Patient satisfaction: focusing on excellent. *Journal of healthcare management*. 54, 93-102 (2009).
- [23] Suzuki, A., Negishi, E.: Fuzzy Logic Systems for Healthcare Applications. *Journal of Biomedical and Sustainable Healthcare Applications* (2024). <https://doi.org/10.53759/0088/JBSHA20240401>.
- [24] Leite, C.R., Sizilio, G.R., Neto, A.D., Guerreiro, A. M.: A fuzzy model for processing and monitoring vital signs in ICU patients. *BioMed Eng OnLine* (2011). <https://doi.org/10.1186/1475-925X-10-68>.

- [25] Peleg, M., Tu, S.: Decision support, knowledge representation and management: Decision support, knowledge representation and management in medicine. *Yearbook of medical informatics* (2006). <https://doi.org/10.1055/s-0038-1638482>.
- [26] Shakshuki, E., Reid, M.: Multi-Agent System Applications in Healthcare: Current Technology and Future Roadmap. *Procedia Computer Science* (2015). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.071>
- [27] Geman, O., Turcu, C. O., Graur, A.: Parkinson's disease assessment using fuzzy expert system and nonlinear dynamics. *Advances in Electrical and Computer Engineering*. 13, 41-46 (2013).
- [28] Ianculescu, M., Constantin, V. Ş., Guşatu, A. M., Petrache, M. C., Mihăescu, A. G., Bica, O., Alexandru, A.: Enhancing connected health ecosystems through IoT-enabled monitoring technologies: A case study of the monit4healthy system. *Sensors* (2025). <https://doi.org/10.3390/s25072292>.
- [29] Zadeh, L. A.: Fuzzy sets. *Information and Control* (1965). [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
- [30] Bellman, R. E., Zadeh, L. A.: Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science* (1970). <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>.
- [31] Morente-Molinera, J. A., Pérez, I. J., Ureña, M. R., Herrera-Viedma, E.: On multi-granular fuzzy linguistic modeling in group decision making problems: A systematic review and future trends. *Knowledge-Based Systems* (2015). <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.11.001>
- [32] Djam, X. Y., Kimbi, Y. H.: A fuzzy expert system for malaria management. *Artificial Intelligence in Medicine*. 52, 1–9 (2011).
- [33] Yao, W., Kumar, A.: CONFlexFlow: integrating flexible clinical pathways into clinical decision support systems using context and rules. *Decision Support Systems* (2013). <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.10.008>
- [34] Cui, H., Tan, Q.: A fuzzy decision support system for medical service quality management in hospitals. *Int J Comput Intell Syst* 18, 57 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44196-025-00773-z>.
- [35] Ortiz Barrios, M., et al.: A fuzzy hybrid MCDM approach for assessing healthcare services. *Sci Rep* 13, 4591 (2023). <https://doi.org/10.3390/ijerph20054591>.
- [36] Neto, A.B.L., Andrade, J.P.B., Loureiro, T.C.J., de Campos, G.A.L., Fernandez, M.P.: A Multi-agent System Using Fuzzy Logic Applied to eHealth. In: Novais, P., et al. *Ambient Intelligence – Software and Applications – 9th International Symposium on Ambient Intelligence. ISAmI2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing* (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-030-01746-0_25.
- [37] Hernandez-Leal, F., Alanis, A., Patiño, E., Jimenez, S.: Multiagent Emergency Triage Classification System for Health Monitoring. In: Jezic, G., Chen-Burger, J., Kusek, M., Sperka, R., Howlett, R.J., Jain, L.C. (eds) *Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications 2021. Smart Innovation, Systems and Technologies* (2021). https://doi.org/10.1007/978-981-16-2994-5_30.
- [38] Jayalakshmi, M., Garg, L., Maharajan, K., Jayakumar, K., Srinivasan, K., Bashir, A. K., Ramesh, K.: Fuzzy logic-based health monitoring system for COVID'19 patients. *Computers, Materials and Continua*, (2021). <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.015352>.
- [39] Abdalla, A. Y., Abdalla T. Y., Chyaid, A. M.: «Internet of Things-Based Fuzzy Systems for Medical Applications: A Review,» in *IEEE Access* (2024). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3487812>.
- [40] Tkachenko, R., Kovalyshyn, O.: A method of assessing of clinic patients feedback with fuzzy logic. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/view/141> (2018).
- [41] Amann, J., Blasimme, A., Vayena, E., Frey, D., Madai, V. I.: Explainability for Artificial Intelligence in Healthcare: A Multidisciplinary Perspective. *BMC Medical Informatics and Decision Making* (2022). <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01332-6>.
- [42] Chen, T., Shang, C., Su, P., Keravnou-Papailiou, E., Zhao, Y., Antoniou, G., Shen, Q.: A decision tree-initialised neuro-fuzzy approach for clinical decision support. *Artificial Intelligence in Medicine* (2021). <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2020.101986>.
- [43] Herrera, F., Verdegay, J. L.: Linguistic assessments in group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*. 88, 49–58 (1997).
- [44] Oluwagbemi OO, Oluwagbemi FE, Jatto A, Hui C. MAVSCOT: A fuzzy logic-based HIV diagnostic system with indigenous multi-lingual interfaces for rural Africa. *PLoS One*. 2020 Nov 6; 15 (11): e0241864. doi: 10.1371/journal.pone.0241864. PMID: 33156877; PMCID: PMC7647102.
- [45] Golmohammadi, D., Zhao, L., Dreyfus, D.: Using machine learning techniques to reduce uncertainty for outpatient appointment scheduling practices in outpatient clinics. *Omega* 120, 102907 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.omega.2023.102907>.
- [46] Improtà, G., Mazzella, V., Vecchione, D., Santini, S., Triassi, M.: Fuzzy logic-based clinical decision support system for the evaluation of renal function in post-transplant patients. *J Eval Clin Pract* 26 (4), 1224–1234 (2020). <https://doi.org/10.1111/jep.13302>.
- [47] Siddique, N., Adeli, H.: *Computational intelligence: synergies of fuzzy logic, neural networks and evolutionary computing*. John Wiley & Sons (2013).

- [48] Purandhar, N., Ayyasamy, S., Saravana Kumar, N.M.: Strategic real time framework for healthcare using fuzzy C-means systems. *Autom Softw Eng* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10515-021-00302-048>.
- [49] Endeshaw, B.: Healthcare service quality-measurement models: a review. *Journal of Health Research*, (2021). <https://doi.org/10.1108/JHR-07-2019-0152>.
- [50] Demir, M. O., Basaran, M. A., Simonetti, B.: Determining factors affecting healthcare service satisfaction utilizing fuzzy rule-based systems. *Journal of Applied Statistics* (2016). <https://doi.org/10.1080/02664763.2016.1181727>.
- [51] Bouchon-Meunier, B., Marsala, C.: Fuzzy logic, principles, decision support. *Hermès - Lavoisier*. (2003).
- [52] Arboleda A. M.: Reprint of: Satisfaction with life and perception of healthcare services. *International Journal of Hospitality Management* (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2023.103516>.
- [53] Magdalena, L.: Fuzzy Rule-Based Systems. In: Kacprzyk, J., Pedrycz, W. (eds) Springer Handbook of Computational Intelligence. Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg (2015). https://doi.org/10.1007/978-3-662-43505-2_13.
- [54] Pedrycz, W.: Fuzzy modelling: paradigms and practice. Springer Science & Business Media (1996).
- [55] Salinas, M., Velandia, D., Mayeta-Revilla, L., Bertini, A., Querales, M., Pardo, F., Salas, R.: An Explainable Fuzzy Framework for Assessing Preeclampsia Classification. *Biomedicines*, (2025). <https://doi.org/10.3390/biomedicines13061483>.
- [56] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, 8 (3), 199–249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5).
- [57] Asghar, M. Z., Ullah, I., Shamshirband, S., Kundi, F. M., Habib, A.: Fuzzy-Based Sentiment Analysis System for Analyzing Student Feedback and Satisfaction. Preprints (2019).
- [58] <https://doi.org/10.20944/preprints201907.0006.v1>.
- [59] Fukami, T.: Enhancing Healthcare Accountability for Administrators: Fostering Transparency for Patient Safety and Quality Enhancement. *Cureus* 2024. <https://doi.org/10.7759/cureus.66007>.

Comparative analysis of the anthropometric characteristics of young Senegalese U18 and U20 handball players with young handball players from other African and global nations: Towards an optimal morphological profile for high-level competition

Ndarao Mbengue¹, Mountaga Diop¹, El Hadji Mama Guène¹, Ndiack Thiaw¹, Papa Serigne Diène¹, Daouda Diouf², Mame Ngoné Bèye¹, El Hadji Mamouthiam Diop¹, Amadou Diouf², Thierno Diouf², Abdoulaye Ba², and Abdoulaye Samb²

¹Research Laboratory in Science and Technology of Physical and Sports Activities, Youth and Leisure at the National Higher Institute of Popular Education and Sport at Cheikh Anta Diop University in Dakar, Senegal

²Physiology and Functional Explorations Laboratory, Faculty of Medicine, Pharmacy and Odontostomatology, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Senegal

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

ABSTRACT: This study analyses the anthropometric characteristics of young Senegalese handball players (U18 and U20 categories) in order to determine the extent to which their morphological profile is compatible with the demands of high-level handball. Based on measurements of height, weight, body mass index (BMI), wingspan and hand span, the data collected from a representative sample were compared with data from young international handball players who participated in the 10th World Youth Handball Championship (U19) in Croatia in 2023. The results show that while the height and wingspan of Senegalese players are broadly in line with African and European benchmarks, their weight, BMI and hand span are lower. The study concludes that a morpho-functional approach is needed in the detection and training of young handball players.

KEYWORDS: Handball, Anthropometry, Young handball players, Morphology, Talent detection.

1 INTRODUCTION

In the current context of increasingly demanding international competition, performance in handball relies heavily on morphological profiles suited to specific roles in the game. Many researchers have emphasized the importance of anthropometric characteristics in sporting success, particularly in high-intensity team sports such as handball [1], [2]. According to Carter and Heath [3], morphology plays an essential predictive role in directing athletes towards disciplines where their physical profile can be optimized.

Senegal, although rich in raw talent, struggles to compete with the major handball nations such as Egypt, Tunisia, France and Germany. This situation can be explained in particular by a lack of knowledge or underutilization of anthropometric parameters in training programs. As noted by Milanese and al [4], morphological analysis makes it possible to identify optimal profiles for different playing positions, thereby contributing to better collective performance.

The aim of this article is therefore to analyze the morphological data of young Senegalese handball players and compare them with those of young African and world-class players who participated in the 10th World Youth Handball Championship in 2023 in Croatia in order to define a profile that meets the requirements of high-level competition and formulate practical recommendations for talent identification and training.

2 METHODOLOGY

The study is based on a rigorous anthropometric measurement protocol applied to a sample of young Senegalese handball players (U18 and U20) from national teams and data collected from the literature during the World Youth Championship (U19) in Croatia in 2023. Height (in cm), weight (in kg), body mass index (BMI, in kg/m²), wingspan (distance between the two ends of the outstretched arms) and hand span (distance between the thumb and little finger) were measured only in young Senegalese handball players. The

variables for young people from other countries were collected from the International Handball Federation (IHF) website during the World Youth Handball Championship in Croatia in 2023. The tools used included a wall-mounted height gauge for height, electronic scales, and a flexible measuring tape for arm span and hand span. The results were processed using descriptive statistics, intergroup comparisons (young Senegalese handball players and the rest of the world), box plots, correlations and Ward's algorithm dendrogram.

2.1 EQUIPMENT

The study was conducted at the INSEPS STAPS/JL laboratory, which was mobilized during the U18 and U20 team training camp organized from 3rd to 5th March 2024 to collect the players' anthropometric data.

2.1.1 SAMPLE

Our sample consisted of 33 players, 16 of whom belonged to the U18 team and 17 to the U20 team. All participants were called up to the national team and gave their informed consent in accordance with the ethical requirements of the research.

Our sample includes handball players aged between 16 and 20, with a valid federal license for the 2023–2024 season, officially selected for the U18 or U20 national team, and who gave their written consent.

2.2 METHODS

2.2.1 WEIGHT MEASUREMENT

Anthropometric measurements were taken according to a rigorous protocol. Weight was measured using a SECA electronic scale, graduated from 0 to 150 kg. The player, barefoot and in underwear, stood upright with arms at their sides eyes looking straight ahead. A single weighing was performed. The ideal weight of each player was then calculated using the Lorentz formula:

$$\text{Ideal weight} = 50 + (\text{height in cm} - 150) \times 0.75.$$

2.2.2 HEIGHT MEASUREMENT

Height is measured using a GIMA metal height gauge. The player stands upright with their back straight, heels together and gaze fixed horizontally. The experimenter moves the cursor until it touches the head. The height value is then read.

2.2.3 MEASURING SPAN

Hand span is defined as the maximum distance between the thumb and little finger when the hand is fully open. The player stands upright with their dominant arm extended horizontally, and the measurement is taken with a tape measure between the two extremities.



Photo 1. Span measurement taken during the experiment

2.2.4 MEASURING ARM SPAN

The wingspan is measured with the arms stretched out to the sides, middle fingers aligned, and the back against a wall. Marks are made with chalk and the measurement is taken between the two ends using a tape measure.



Photo 2. Measurement taken and published with the player's consent

3 RESULTS

MAIN CORRELATIONS

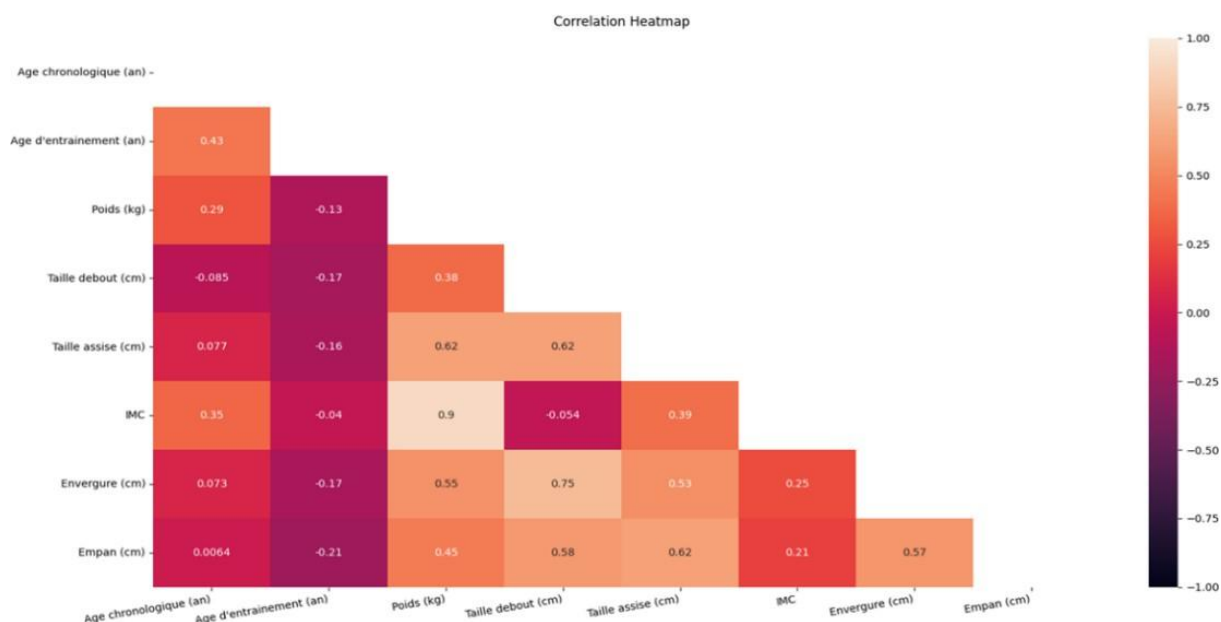


Fig. 1. Correlations between anthropometric variables – consistency between measurements reinforces the benchmarks for morphological selection

The analyses reveal a strong correlation between weight and BMI (0.90), between standing height and wingspan (0.75), and between hand span and sitting height (0.62). These correlations indicate the importance of body segments in handball performance, particularly for ball handling and defensive duels.

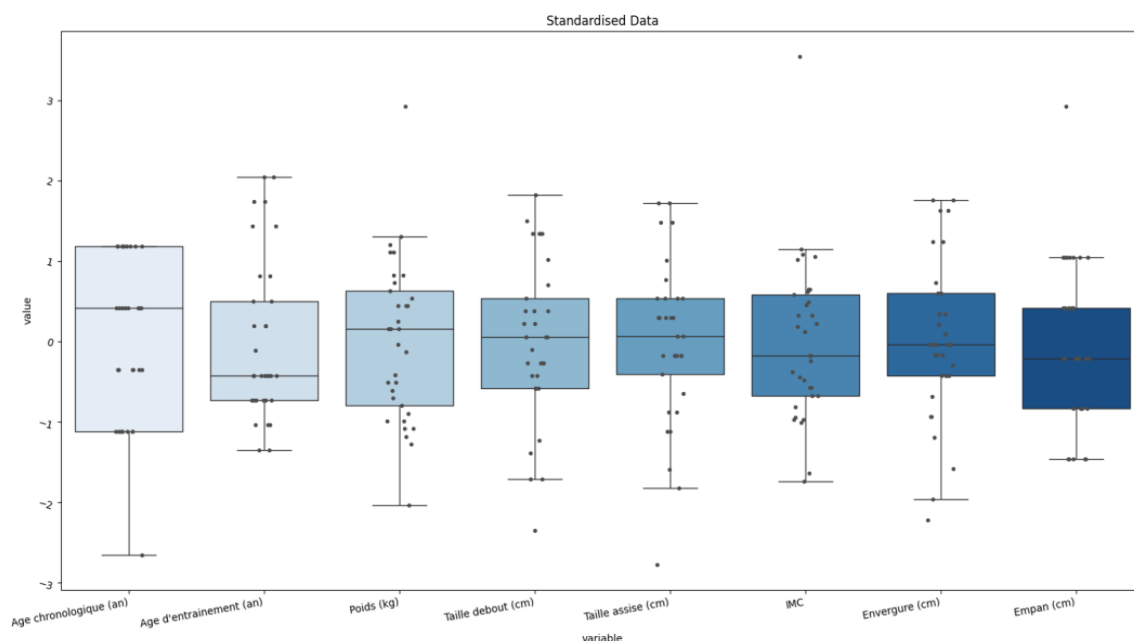


Fig. 2. Boxplot of anthropometric variables for young Senegalese handball players in the U18 and U20 national teams

The overall boxplot of standardized variables provides an overview of the distributions of the players' various morphological characteristics, among which weight, standing height, BMI, wingspan and hand span are mainly studied. The scale is standardized and allows for direct comparison of distributions.

Weight and standing height show a narrower distribution with a median close to zero, indicating that these variables are relatively homogeneous among players. However, a few extreme values are observed, reflecting certain individual disparities in terms of morphology. Body Mass Index (BMI) and hand span also show a concentration around the median with scattered values, suggesting differences in body composition among players, possibly due to variability in muscle mass and fat distribution and the presence of atypical profiles that could influence performance.

Wingspan, on the other hand, shows a relatively balanced distribution, although there are a few extreme values, which could indicate players with atypical body types for their category. These observations suggest that some players have morphological characteristics that may give them an advantage in specific aspects of the game. This can be interpreted as a sign of uniformity in player selection criteria or in their physical development over years of training.

GOALKEEPERS BETWEEN DEFICITS AND POTENTIAL

Table 1. Average values of anthropometric variables for young goalkeepers from different countries

Player	Age (years)	Weight (kg)	Height (cm)	BMI (kg/m ²)
Senegal (average)	18.8	78.6	180.8	24.02
Algeria	18.5	87.0	186.7	24.98
Egypt	19.0	85.7	190.0	24.44
Morocco	17.7	73.7	171.7	24.33
Burundi	16.5	62.5	183.5	18.54
Rwanda	18.0	73.0	183.0	21.77
Germany	19.0	89.0	189.0	24.91
Denmark	19.0	101.5	196.5	26.29
Spain	19.0	88.0	191.0	24.15
Croatia	19.0	94.0	195.0	25.63
Portugal	18.5	104.0	192.3	28.50
South Korea	18.5	88.0	185.0	25.15
USA	18.0	79.3	186.7	23.30

Analysis of the anthropometric data of goalkeepers from different countries reveals several significant trends. Young Senegalese goalkeepers have an average height of 180.8 cm, which is below international standards (>190 cm), and a lower weight (78.6 kg compared to 90-100 kg). This may hinder their ability to cover the goal, but it does give them agility and speed. The average body mass index (BMI) is 24.56 kg/m^2 which is within the normal range for athletes. However, the standard deviation of 3.33 indicates variations in the body composition of goalkeepers. Some have a relatively low BMI (minimum 18.3 kg/m^2), corresponding to a slimmer profile, while others have a higher BMI (maximum 36.6 kg/m^2), indicating a high body mass that may be related to developed musculature or excess weight.

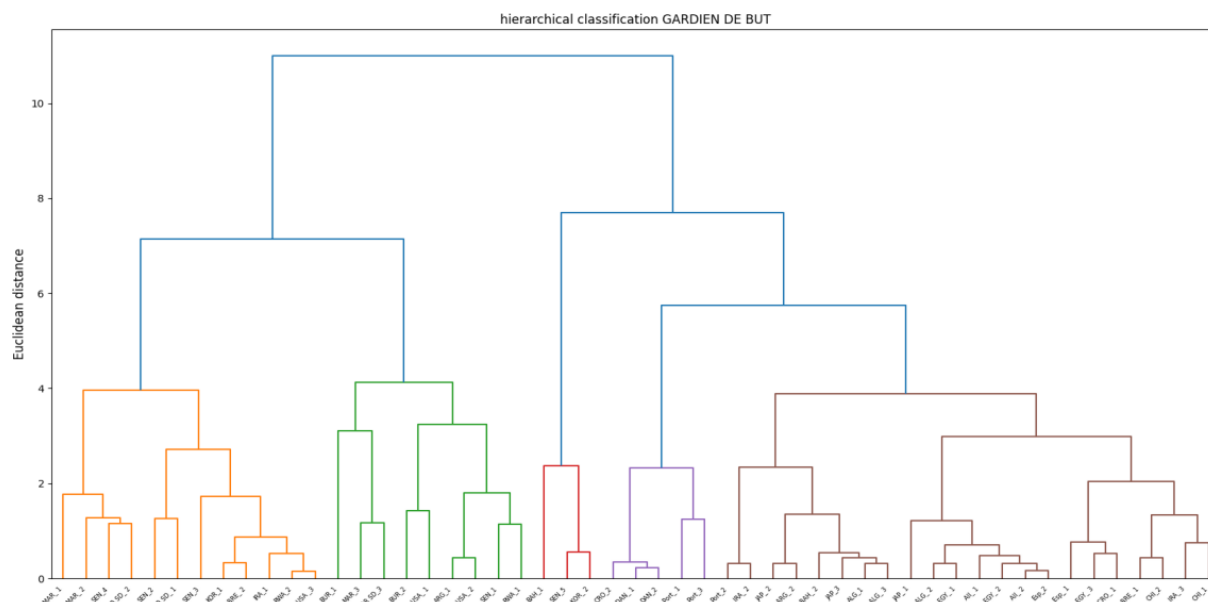


Fig. 3. *Ward's classification dendrogram of anthropometric variables for young goalkeepers from Senegal and other handball nations around the world*

The tree diagram shows the goalkeepers grouped into several distinct clusters, indicated by different colors. The hierarchical analysis generally classifies goalkeepers into three categories:

Physical and dominant goalkeepers with a height ≥ 195 cm, weight ≥ 95 kg and BMI $\geq 26 \text{ kg/m}^2$. This makes them excellent players for blocking long-range shots and controlling the air zone. An ideal asset for solid defensive systems requiring powerful and well-anchored goalkeepers. This is the case for goalkeepers from European countries such as Denmark, Croatia, Portugal and Germany, who are ready to provide stability in goal.

Mobile and responsive goalkeepers between 180 and 190 cm tall, weighing ≤ 85 kg and with a BMI $< 25 \text{ kg/m}^2$. They are very quick on their feet and have excellent reflexes, making a significant contribution to high, aggressive defenses that require quick reactions. This is the case for the goalkeepers of South Korea, Brazil and Japan, who are more agile but sometimes less imposing.

Versatile goalkeepers who are around 185 and 195 cm tall and weigh between 85 and 95kg strike a good balance between size and speed, allowing them to adapt to different playing systems and the demands of the match. Goalkeepers from countries such as Senegal, Algeria and Egypt belong to this group in terms of their versatility but sometimes lack specialization.

From a practical point of view, this analysis allows coaches and physical trainers to adapt their strategies according to the profiles identified. For example, if a cluster includes goalkeepers with a high BMI, specific work on mobility and agility could be considered. Conversely, a cluster of lighter goalkeepers may require muscle strengthening or weight gain training.

PLAYMAKERS WITH AGILE BUT LIGHTWEIGHT PROFILES

Table 2. Average values of anthropometric variables for young back centers from different countries

Player	Age (years)	Weight (kg)	Height (cm)	BMI (kg/m²)
Senegal (average)	18.2	62.7	179.3	19.65
Algeria	18.5	81.5	183.5	24.19
Egypt	19.0	80.0	184.0	23.79
Morocco	18.0	71.7	174.0	23.64
Burundi	17.5	66.0	176.0	21.31
Rwanda	18.7	71.7	176.7	22.84
Germany	19.0	88.0	188.7	24.75
Denmark	18.5	84.5	185.5	24.53
Spain	18.7	83.7	186.7	24.18
Croatia	18.5	80.0	183.7	24.08
Portugal	18.5	82.5	187.0	23.60
South Korea	18.7	77.6	181.0	24.07
USA	18.3	78.0	182.0	22.75

Analysis of this data highlights the significant differences between Senegalese center-backs and international standards, particularly in terms of their size. With an average height of 179.3 cm, they are smaller than center-backs from major European nations, who generally measure between 183 cm and 188 cm. This difference in size may limit their defensive reach and their ability to shoot from a distance, which is crucial for this position. In addition, their average weight of 62.7 kg is significantly lower than the 80 to 90 kg observed among the world’s best players, which reduces their resistance to contact and their physical impact in one-on-one situations. With an average BMI of 19.65 kg/m² young Senegalese handball players have a deficit in muscle mass. This affects their impact in duels, despite their great mobility, which is useful in fast phases of play.

THE PLAYMAKERS: CORRECT HEIGHT BUT INSUFFICIENT MUSCLE MASS

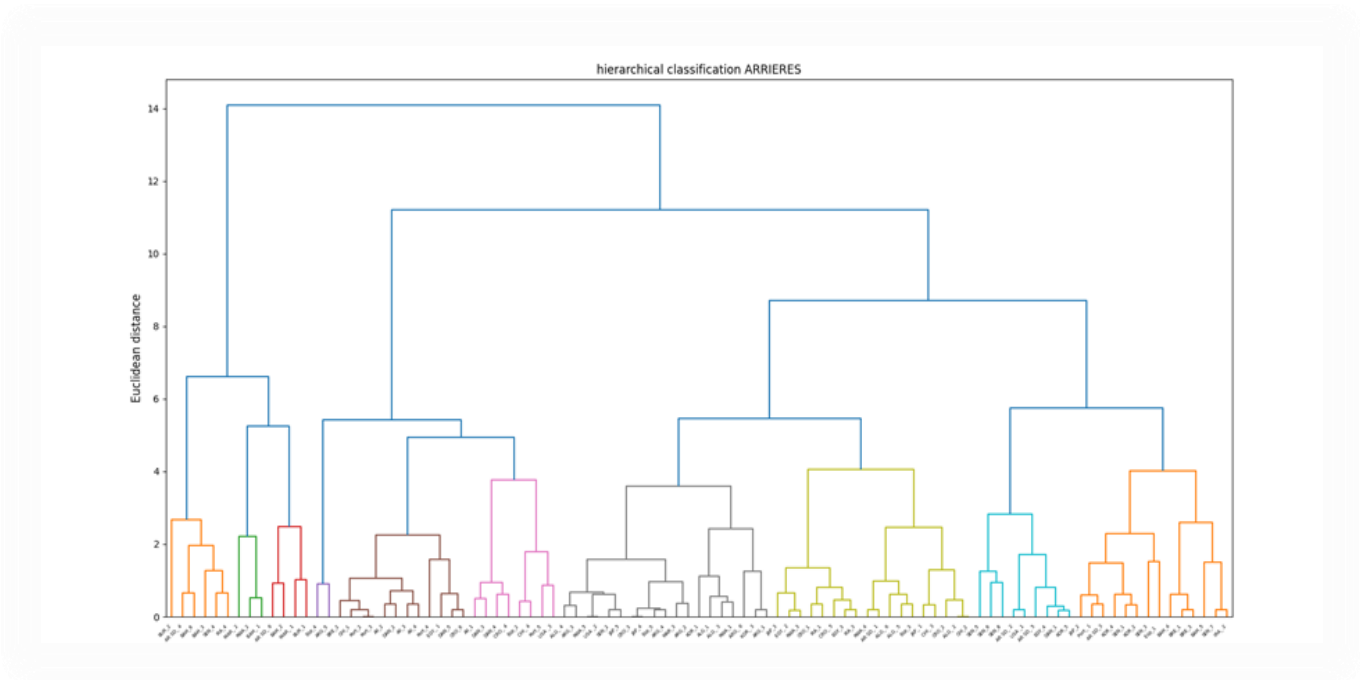


Fig. 4. Hierarchical classification dendrogram according to Ward's algorithm of young Senegalese back players and other playing handball nations

The results show an average height of 180.3 cm for the U20s compared to 176.8 cm for the U18s, which places the young Senegalese in the upper African average, but slightly below European standards (1.88 to 1.90 m). The average weight is 73.41 kg for the U20s and 67.13 kg for the U18s, which is below the Maghreb and European benchmarks, which range between 75 and 85 kg. BMI follows the same trend, with an average of 22.6 for the U20s and 21.5 for the U18s. The average wingspan is considered satisfactory (approximately 184 cm for the U20s), while the hand span remains below the optimal standards for ball handling and control.

Analysis of the dendrogram reveals three distinct groups:

The first group comprises physical and powerful back players, characterized by a height of over 190 cm, a weight exceeding 90 kg and a high BMI (≥ 25 kg/m²). These players are particularly effective in physical duels and long-range shots, making them essential in solid defenses and set attacks. This profile is dominant in European nations such as Germany, Denmark, Spain, Croatia and Portugal, where tall, heavy players are favored to ensure maximum power on the pitch.

The second group is full of mobile and fast defenders, who are distinguished by their moderate weight (75-85 kg) and great agility and explosiveness. These players excel in quick transitions and are suited to teams that favor fast, fluid play. This profile is particularly evident among Asian (South Korea, Japan) and South American (Brazil, Argentina) players, who rely on speed of execution and technical finesse rather than raw power.

The third group consists of versatile full-back players who are of average height (185-190 cm) and moderate weight (80-90 kg). These players have a balance of strength and mobility, allowing them to adapt to different styles of play. They are capable of playing both in attack and defense, depending on the needs of the team. This profile is typical of African and North African players, particularly those from Senegal, Algeria and Egypt, who are highly adaptable and can fit into several playing systems.

With an average height of 186 cm, Senegalese full-back players are close to international standards. However, their lower BMI reflects a lack of power, which can be compensated with targeted training.

FRAIL AND SMALL WINGERS

Table 3. Average values for anthropometric variables (height, weight, BMI) for wing players from different handball nations

Nation	Average height (cm)	Average weight (kg)	Average BMI (kg/m²)
Senegal	177.2	63.8	20.99
Algeria	186.2	84.3	24.3
Egypt	185.0	78.0	22.7
Morocco	173.0	70.5	23.0
Burundi	167.5	60.8	21.3
Rwanda	175.3	66.2	21.9
Germany	186.8	81.3	23.4
Denmark	187.3	82.5	23.6
Spain	186.7	80.5	22.9
Croatia	180.5	77.7	24.3
Brazil	184.5	75.7	22.1
South Korea	177.5	76.5	24.3

Analysis of the data shows that Senegalese wingers are smaller and lighter than players from other handball nations. Compared to the wingers from Algeria, Germany, Denmark and Spain, who are more imposing in stature, Senegalese players are smaller and lighter, which may affect their performance in physical duels and contact situations.

In modern handball, wingers must be fast, explosive and able to withstand physical challenges. However, the results obtained highlight several weaknesses among Senegalese wingers. First, there is a deficit in muscle mass, with an average weight 10 kg lower than the best nations, which reduces their ability to absorb shocks and impose themselves in duels. Secondly, they are slightly shorter, with a difference of 5 to 10 cm compared to European and North African players, which can limit their effectiveness in aerial duels and reduce their shooting range. Finally, their average BMI is less than 22 kg/m² which is insufficient to guarantee optimal performance in a sport where physical impact plays a key role.

However, this smaller stature can also be an asset in certain aspects of the game. A lighter build promotes greater mobility and agility, allowing players to be more responsive and move quickly on the pitch.

SMALL AND LESS POWERFUL PIVOTS

Table 4. Average values for anthropometric variables for different handball nations

Player	Age (years)	Weight (kg)	Height (cm)	BMI (kg/m ²)
Senegal (average)	18.6	78.0	184.0	22.73
Algeria	18.5	86.5	187.0	24.72
Egypt	18.0	96.5	194.5	25.52
Morocco	17.5	73.0	182.5	21.94
Burundi	17.3	67.3	176.0	20.40
Rwanda	18.5	79.0	183.5	23.64
Germany	18.7	102.3	190.0	29.19
Denmark	18.5	107.0	192.0	28.27
Spain	18.7	98.0	195.0	24.24
Croatia	18.7	96.7	195.0	25.34
Portugal	18.5	101.5	196.0	27.30
South Korea	18.6	88.5	187.3	26.15
USA	18.5	85.0	188.0	24.39

Analysis of the data shows that Senegalese pivots are lighter and slightly smaller than those of the top handball nations.

One of the first weaknesses identified is their height, which is below international standards. On average, Senegalese pivots measure 184 cm, while the global benchmarks for this position range from 190 to 196 cm. This difference in size may limit their ability to intercept balls, control play in the pivot zone and impose a dominant physical presence in defense. In a position where power and impact are essential, this height deficit can be a hindrance when facing more imposing opponents.

The weight and muscle mass of Senegalese playmakers are also a limiting factor. With an average weight of 78 kg, they are significantly lighter than their European counterparts, who generally weigh between 98 and 107 kg.

The BMI of Senegalese playmakers confirms these observations. With an average of 23.53 kg/m² it is below international standards, which range from 25 kg/m² to 29 kg/m² for a high-performing center.

4 DISCUSSION

The results of this study confirm that anthropometric characteristics play a crucial role in handball performance, as highlighted by Ziv and Lidor [1] and Nikolaidis and al [2]. Indeed, height, wingspan, weight and BMI are all factors that influence power, range of motion, defensive coverage and performance in one-on-one situations.

Firstly, although the average height of young Senegalese handball players increases with age (176.8 cm for U18s compared to 180.3 cm for U20s), it remains below European standards, particularly for positions requiring strong physical coverage such as backs and goalkeepers. According to Reilly and al. [5], high-intensity team sports require above-average size to optimize movement efficiency and defensive reach. This observation is particularly critical for goalkeepers, whose average height (180.8 cm) remains well below the 190 cm threshold considered optimal [6].

Furthermore, low body mass and reduced BMIs, particularly among center-halves (average BMI of 19.65), suggest a deficit in muscle development. However, several studies [7, 4] have shown that muscle mass is essential for repeated efforts, contact and powerful shots in offensive phases. Such a deficiency could limit the physical impact of these players in high-level competitions.

The profile of Senegalese players seems to be more akin to an ectomorphic somatotype (thin and slender), which is not conducive to contact, and this could justify early intervention in functional weight training to increase body density. This could be an advantage in terms of speed and agility, as demonstrated by the work of Marques and al. [8], which showed that lighter players benefit from shorter reaction times, greater agility and faster movement speeds, all of which are essential qualities during rapid transitions and diagonal runs towards the zone.

With regard to hand span, the results indicate an average value below international standards. However, this indicator is fundamental to gripping, ball control and the ability to perform feints or long passes [1]. Its development could be integrated into specific programs from the youth categories onwards, in conjunction with hand-eye coordination.

The difference between U18 and U20 players, particularly in terms of weight (+6.28 kg) and height (+3.5 cm), is consistent with the natural growth curve, but also suggests that the 16–20 age group is strategic for optimizing morpho-functional development, as highlighted by Souleyman and al. [9] in a study of handball players in sub-Saharan Africa.

Finally, the lack of rigorous differentiation by position in the talent identification process could explain the heterogeneity observed in the profiles. In this regard, Milanese et al. [4] emphasize the need for morphological profiling by position, incorporating both body dimensions and role requirements (speed, power, coverage).

When considering all handball positions, young Senegalese handball players show deficits in anthropometric variables compared to other nations that dominate African and world handball.

The main recommendations arising from this analysis are the systematic integration of anthropometric measurements into the detection cycles, the positional orientation of players according to their morphology, and the implementation of individualized muscle and postural development programs. Closer collaboration with research centers such as HIPE Human Lab or specialized institutes could enable better modelling of high-performance profiles.

5 CONCLUSION

This study reveals that young Senegalese U18 and U20 handball players have morphological characteristics that are partially aligned with international standards. While their height and wingspan are relatively satisfactory, weaknesses remain in terms of weight, muscle mass (BMI) and hand span, affecting their physical competitiveness. These shortcomings highlight the importance of structured morpho-functional support between the ages of 16 and 20, a key period for athletic development.

The analysis revealed differences in the anthropometric characteristics of young Senegalese handball players according to their playing positions and those of the best African and world handball nations. Given the importance of morphological profiles, it is useful to identify them during detection and specialization by position. It is therefore recommended that anthropometric measurements be included in regular assessments, targeted strength training programs be reinforced, and movement coordination be improved from an early age.

Finally, enhanced scientific collaboration between local institutions and international centers is essential to establish more comprehensive performance profiles that integrate physical and physiological dimensions. A national detection strategy based on these data would strengthen the competitiveness of Senegalese handball on the world stage.

REFERENCES

- [1] Ziv G., Lidor R. Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports Medicine*, no 39 (7), pp. 547–568, 2009.
- [2] Nikolaidis P. T., Ingebrigtsen J., Jeffreys I., Leprêtre P. M. Physical and physiological characteristics of elite handball players: Position-specific analysis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, no 54 (4), pp. 414–420, 2014.
- [3] J.E.L Carter, B.H Heath. Somatotyping: Development and Applications. Cambridge University Press 1990.
- [4] Milanese C., Piscitelli F., Lampis C., Zancanaro C. Anthropometry and body composition of female handball players according to competitive level or the playing position. *Journal of Sports Sciences*, no 29 (12), pp.1301–1309, 2011.
- [5] Reilly T., Bangsbo J., Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, no18 (9), pp.669–683, 2000.
- [6] Massuca L. M., Branco B. H., Fragoso I. C. Anthropometric and physiological profile of elite male handball players according to playing position: Relevance for selection process. *Journal of Human Kinetics*, no 46, pp.219–228, 2015.
- [7] Gorostiaga E. M., Granados C., Ibanez J., Izquierdo M. Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International Journal of Sports Medicine*, no 26 (3), pp.225–232, 2005.
- [8] Marques M. C., Van den Tillaar R., Vescovi J. D., González-Badillo J. J. Changes in strength and power performance in elite senior female professional volleyball players during the in-season: a case study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, no 23 (5), pp.1510–1514, 2009.
- [9] Souleyman M., et al. Comparative study of the anthropometric and biomechanical profiles of young handball players in sub-Saharan Africa. *African Journal of Sports Science*, no 13 (2), pp.45–58, 2018.

Productivité en eau du soja (Glycine max) sous application combinée de biochar et de fumier dans la commune de Parakou

[Water productivity of soybean (Glycine max) under combined application of biochar and manure in the commune of Parakou]

Pierre G. Tovihoudji, Berteulot L. S. Dossounon, and Sissou Zakari

University of Parakou, Faculty of Agronomy (UP, FA), Laboratory of Hydraulics and Environmental Modeling (HydroModE Lab), 03 PO
Box 351 Parakou, 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: Numerous innovative climate-smart agricultural practices are being implemented across Africa, contributing to increased productivity and enhanced resilience. However, their efficiency remains relatively low at the continental and even regional levels. This study aims to assess the water use efficiency (WUE) of soybean (Glycine max) under the combined application of biochar and manure. A randomized complete block design (RCBD) with three replications was used for the experiment. The factor studied was organic amendment, with four levels: no amendment (T0), manure (T1), biochar (T2), and a combination of biochar and manure (T3). The methodology included rainfall and soil moisture measurements to monitor water availability in each experimental unit. Data on growth and yield parameters were collected. Analysis showed that manure, particularly when combined with biochar, significantly improved growth parameters. Furthermore, the biochar-manure treatment enhanced soybean grain yield by up to 37.34% compared to the control (i.e., 1642 kg/ha). It also resulted in the highest water use efficiency, with an improvement of up to 37.03%. Therefore, applying manure combined with biochar appears beneficial for soybean cultivation. The combination reduces nutrient loss by limiting leaching, thanks to the biochar's retention capacity. Further research involving different application rates of biochar and manure would help determine the optimal quantities for maximizing water use efficiency.

KEYWORDS: Biochar, Efficiency, Manure, Soybean, Parakou.

RESUME: De nombreuses pratiques agricoles climato-intelligentes innovantes sont mises en œuvre en Afrique et permettent d'augmenter la productivité et de développer la résilience, mais restent relativement non efficiente à l'échelle continentale ou même régionale. Cette étude tente d'évaluer l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) du soja (Glycine max) sous application combinée de biochar et de fumier. A cet effet le dispositif expérimental utilisé a été un bloc aléatoire complet (BAC) avec trois répétitions. Le facteur étudié a été l'amendement organique avec quatre (04) niveaux: sans amendement organique (T0), fumier (T1), biochar (T2) et biochar combiné au fumier (T3). La méthodologie adoptée pour atteindre notre objectif a porté sur des mesures pluviométriques et d'humidités du sol pour voir l'évolution du stock en eau de chaque unité expérimentale. Les données sur les paramètres de croissance et les paramètres de rendement ont été collectés. D'après les analyses, le fumier et surtout le fumier combiné au biochar ont amélioré les paramètres de croissance. En outre, le traitement de fumier combiné au biochar a amélioré le rendement en grain du soja jusqu'à 37.34% comparativement à un sol sans amendement soit 1642 kg/ha. Le fumier combiné au biochar a été le traitement qui a permis une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau avec une amélioration jusqu'à 37.03%. Ainsi, l'application du fumier combiné au biochar semble nécessaire pour la culture du soja. Le Biochar combiné avec du fumier (source d'élément nutritif) réduit la perte de ces derniers en limitant le lessivage. Il serait intéressant d'appliquer différente quantité de biochar et de fumier afin de trouver la quantité optimale qui permettrait une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau.

MOTS-CLEFS: Biochar, efficacité, fumier, soja, Parakou.

1 INTRODUCTION

Le changement climatique et le déclin de la matière organique du sol (MOS) contribuent à plusieurs processus de dégradation des sols, notamment l'érosion, le compactage, la salinisation, la carence en nutriments, la perte de biodiversité et la désertification, qui s'accompagnent tous d'une réduction de la fertilité des sols ([1]). Le biochar en tant qu'amendement de sol peut améliorer les propriétés physico-chimiques des sols dégradés ou appauvris en nutriments.

Selon ([2]) la production des cultures telles que le maïs, le mil, le sorgho, le riz, et le soja baissera avec les changements climatiques à l'horizon 2050. Il serait donc important de mettre en œuvre des politiques d'adaptation adéquates. L'utilisation des engrais organiques pourrait faciliter le développement des infrastructures d'irrigation pouvant permettre aux agriculteurs d'aller vers le contrôle partiel ou total de l'eau et de rendre la production végétale moins dépendante des conditions climatiques ([2]).

Le biochar est un produit riche en carbone obtenu de la décomposition thermique des matières organiques en absence d'oxygène [3]. En raison des avantages irremplaçables, tels qu'une grande surface spécifique, une forte capacité d'adsorption, une teneur et une stabilité élevées en carbone, une richesse de divers nutriments, le biochar est largement utilisé pour l'amélioration du sol et la production d'engrais à base de carbone ([4], [5]). Les résultats de certaines recherches indiquent des changements significatifs dans la qualité du sol, notamment des augmentations du pH, du carbone organique, des cations échangeables et de l'efficacité d'utilisation des engrais N ([6], [7]).

La présente étude sur le soja vise à déterminer l'efficacité d'utilisation de l'eau du soja sous application combinée de biochar et de fumier dans la commune de Parakou en régime pluvial. De façon spécifique, il s'agit d'évaluer l'effet du fumier et du biochar sur quelques paramètres de croissance et de rendement du soja et d'évaluer l'effet du fumier et du biochar sur le stock en du sol eau et l'efficacité d'utilisation de l'eau.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

La présente étude est réalisée au Bénin dans la commune de Parakou située dans la zone 2°42 longitudes Est et 9°18 latitude Nord (Fig.1). Le climat de type soudanien, est caractérisé par des fluctuations de température avec une pluviométrie moyenne de 1200 mm par an. Le dispositif expérimental a été un bloc aléatoire complet (BAC) avec trois répétitions. Le facteur étudié a été l'amendement organique avec quatre (04) niveaux: sans amendement organique (T0), fumier (T1), biochar (T2) et fumier combiné au biochar (T3). Les traitements ont été appliqués en poquet; 5 g de biochar par poquet soit 500 kg /ha, 10 g de Fumier par poquet soit 1 t /ha et la combinaison du biochar et du fumier (5g de biochar + 10g de Fumier).

La hauteur et le diamètre au canopée ont été pris sur cinq (05) poquets à deux (02) plants chacun considérés fixes par parcelle à une fréquence de 15 jours. La biomasse totale humide a été prise sur un poquet échantillonné au hasard sur chaque parcelle à chaque collecte. La récolte a été effectuée sur un carré de densité de 1m² installé sur les lignes au milieu de chaque unité expérimentale. Le rendement en grains a été donc estimé et exprimé en kg/ha.

Sur chaque parcelle l'humidité est prise au niveau de deux points considérés à 10 et 20 cm de profondeur. Le stock (St) en eau pour chaque traitement sur 0- 20 cm de profondeur est déterminé et a permis à estimer l'évapotranspiration réelle (ETR) de chaque parcelle. L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) sous chaque traitement a été estimée avec la formule suivante: $EUE (kg/ha/mm) = \frac{\text{Rendement en grain (kg/ha)}}{\text{Evapotranspiration réelle (mm)}}$

Le modèle d'analyse de variance sous logiciel Statistical Package of Social Science (SPSS) 21 a été utilisé pour voir la différence entre les effets des traitements sur les paramètres de croissance et de rendement ainsi que sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le test de Tukey pour voir les liens de significativités entre les traitements.

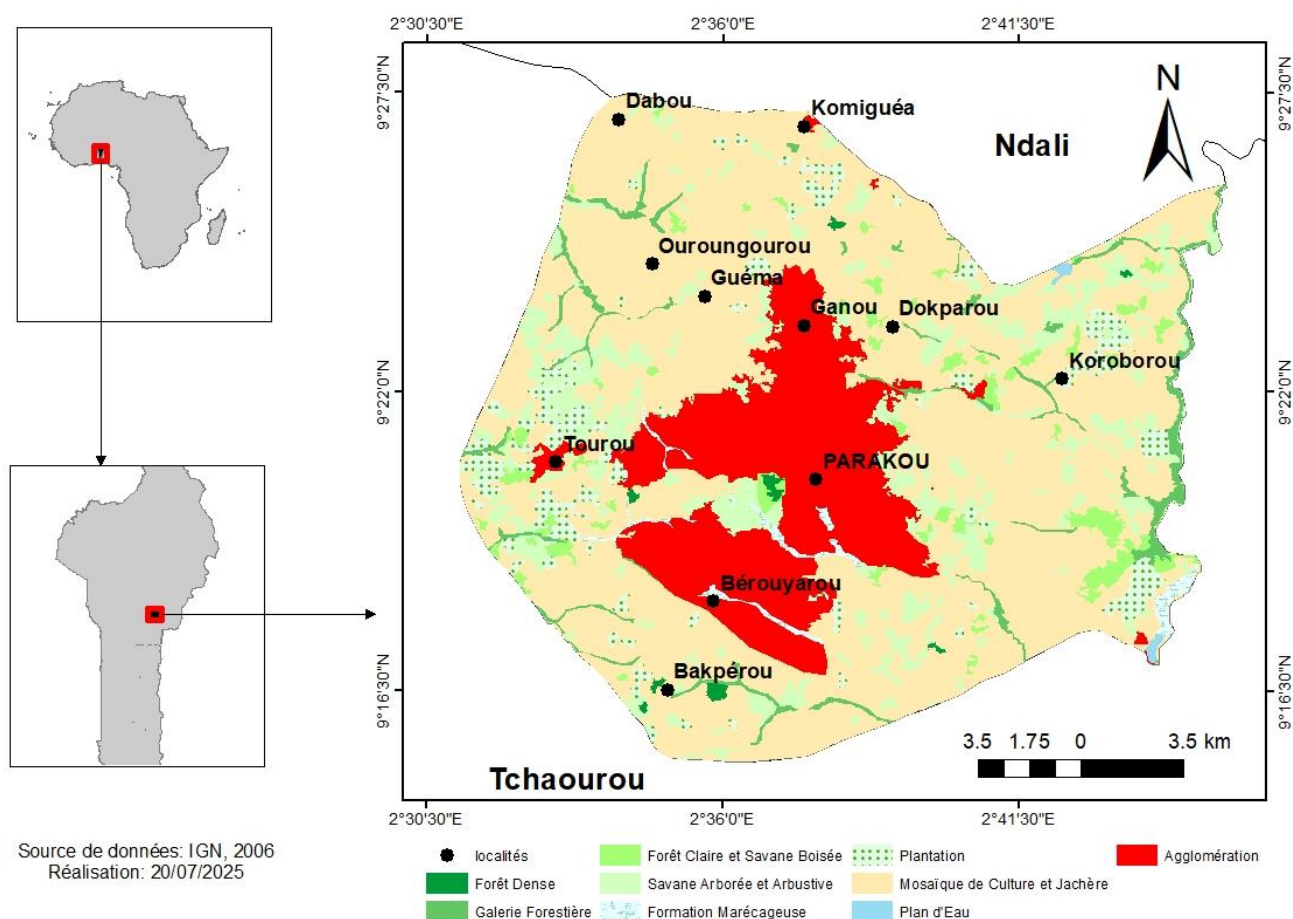


Fig. 1. Carte géographique de la commune de Parakou

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES PARAMETRES DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT DU SOJA.

L'analyse statistique effectuée révèle que les traitements appliqués pour la culture du soja ne sont pas significativement différents l'un de l'autre en termes d'amélioration de la biomasse humide racinaire et de la biomasse totale des plants du soja ($p > 0.05$) (fig1). Par contre la différence entre les traitements a été significative pour la croissance en hauteur et diamètre de la canopée des plants du soja à partir du 30 à 60 JAS et 45 à 90 JAS respectivement. Les hauteurs les plus élevées ont été observées dans les parcelles qui ont reçu le fumier combiné au biochar avec une hauteur moyenne de 56,6 cm au 45ème JAS et 86,3 cm au 60ème JAS suivi du traitement T2 avec une hauteur moyenne de 50,8 cm au 45ème jour après semis et 78,8 cm au 60ème JAS. Les grands diamètres ont été observés dans les parcelles des traitements T3, T2, et T1 avec des diamètres moyens respectifs de 65,8 cm, 63,4 cm, 63,4 cm au 90ème JAS et les petits ont été observés dans la parcelle témoin T0 (Fig. 1). Ce résultat pourrait s'expliquer par l'application du biochar qui permet de limiter les pertes par lessivage fortifiant ainsi l'impact de l'apport de matière organique dans le sol ([8]). Les traitements ont un effet significatif au seuil de 5% sur le rendement en grain ($p < 0,05$) avec les rendements en grains les plus élevés dans les parcelles à T3 et dans les parcelles à T1 avec des moyennes respectives de 1642 kg/ha et 1453,6 kg/ha. Les faibles rendements moyens ont été observés dans les parcelles des traitements T2 et T0 avec des moyennes respectives de 1200,9 kg/ha et 1030,3 kg/ha (Tableau 1). Pour le rendement en fanes l'analyse révèle que les traitements ne sont pas significativement différents au seuil de 5% ($p > 0,05$).

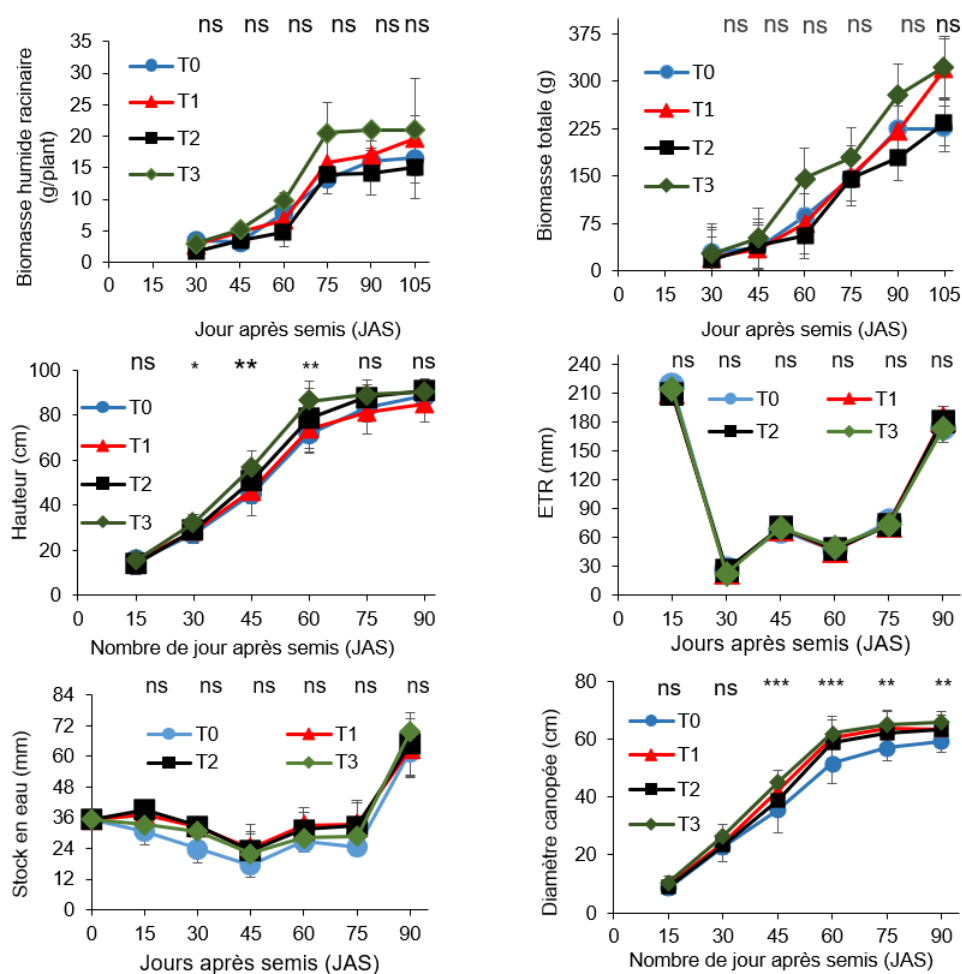


Fig. 2. Effet des traitements sur les paramètres de croissance du soja

Légende: sans fertilisation organique (T0), Fumier (T1), Biochar (T2) et Biochar combiné au fumier (T3), différence non significative au seuil de 5% (ns), différence significative au seuil de 5%, les barres d'erreur représentent les écarts types

3.2 EFFET DES TRAITEMENTS SUR LE STOCK EN EAU, LE RENDEMENT ET L'EFFICACITÉ D'UTILISATION DE L'EAU

Sur le stock en eau du sol et l'évapotranspiration, les traitements ne sont pas significativement différents ($p > 0.05$). Ce qui n'est pas le cas selon ([8]) qui ont trouvé que l'addition du biochar au fumier permet non seulement de rendre disponible les éléments minéraux mais permet aussi une augmentation de la capacité de rétention en eau du sol. Le résultat trouvé pour notre cas serait à cause de la quantité de biochar et de fumier appliqué. Sur l'efficacité d'utilisation de l'eau, les traitements ne sont pas significativement différents au seuil de 5% ($p < 0,05$) avec les meilleures EUE dans les parcelles qui ont reçu le traitement de biochar combiné au fumier (2,7 kg/ha/mm) et dans les parcelles qui ont reçu uniquement de fumier (2,4 kg/ha/mm) (Tableau 1). Ce qui corrobore le résultat de ([8]) qui ont trouvé que le biochar associé avec la matière organique, source d'éléments nutritifs, il va permettre de limiter les pertes par lessivage fortifiant ainsi l'impact de l'apport de matière organique.

Tableau 1. Rendements en grains et en fanes et l'efficience d'utilisation de l'eau des quatre traitements

Traitements	Rendement grains (kg/ha)		Rendement fanes (kg/ha)		Efficience d'utilisation de l'eau (kg/ha/mm)	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
T0	1030,3a	158,6	1645,78a	143,36	1,7a	0,3
T1	1453,6bc	77,0	2385,2b	322,98	2,4bc	0,1
T2	1200,9ab	51,2	1944,4ab	257,86	2ab	0,0
T3	1642c	151,8	1840ab	317,60	2,7c	0,3
p-value	0,001		0.51		0.001	

Légende: sans fertilisation organique (T0), Fumier (T1), Biochar (T2) et Biochar combiné au fumier (T3)

4 CONCLUSION

Les amendements organiques testés sur les paramètres de croissance et rendement du soja et sur l'efficience d'utilisation de l'eau ont montré des améliorations significatives sur ces paramètres comparativement aux parcelles qui n'ont reçu aucun traitement. Toutes fois ces améliorations diffèrent selon le type de matière organique apportée au sol. Dans ce cas l'utilisation du fumier combiné au biochar semble très prometteuse à la vue des résultats obtenus pour ce traitement. Mais les rendements obtenus avec les différents traitements restent toujours inférieurs au rendement potentiel de la variété du soja qui est de 2,4 tonnes/ha. Pour lutter contre la baisse de la fertilité des terres et le changement climatique qui sont à la base de la baisse du rendement du soja dans la commune de Parakou, l'utilisation du fumier combiné au biochar serait une solution adéquate. De plus l'utilisation des matières organiques devra être intégrée dans les pratiques culturales pour améliorer la fertilité des terres. Il reste à déterminer l'effet de ces différents traitements dans le temps sur la fertilité et la rétention en eau des terres. Il reste à déterminer également la quantité du fumier combiné au biochar qu'il faut apporter à l'hectare pour conserver la quantité d'eau maximale dans le sol et pour obtenir un meilleur rendement satisfaisant du soja sans pour autant compromettre la fertilité des terres.

REFERENCES

- [1] R. Lal, «Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture,» *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 70, no. 3, pp. 55A-62A, 2015.
- [2] I. Akponikpe et al., Etude de Vulnérabilité Sectorielle face aux changements climatiques au Bénin - Secteur Agriculture. 2019.
- [3] M. Zhang and Y. S. Ok, «Biochar soil amendment for sustainable agriculture with carbon and contaminant sequestration,» *Carbon Management*, vol. 5, no. 3, pp. 255–257, 2014.
- [4] A. El-Naggar et al., «Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects,» *Geoderma*, vol. 337, pp. 536–554, 2019.
- [5] C. Li, Y. Xiong, Z. Qu, X. Xu, Q. Huang, and G. Huang, «Impact of biochar addition on soil properties and water-fertilizer productivity of tomato in semi-arid region of Inner Mongolia, China,» *Geoderma*, vol. 331, pp. 100–108, 2018.
- [6] B. Glaser, J. Lehmann, and W. Zech, «Ameliorating Physical and Chemical Properties of Highly Weathered Soils in the Tropics with Charcoal – a Review,» *Biology and Fertility of Soils*, vol. 35, pp. 219–230, 2002.
- [7] D. Laird, P. Fleming, B. Wang, R. Horton, and D. Karlen, «Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil,» *Geoderma*, vol. 158, no. 3–4, pp. 436–442, 2010.
- [8] W. Montaigne, H. DeBon, A.-M. Domenach, and J.-C. Roggy, «Gestion durable de la fertilité des sols par l'utilisation de matières organiques ; retours d'expérience en Guyane française. Innovations Agronomiques 64, 71-82,» 2018.

Study of Phytoplankton Composition in the Bays of Plateau, Cocody, Koumassi, and Vridi, Located in the Ébrié Lagoon, Côte d'Ivoire

LOZO Roméo N'Guessan¹, KOMOE Koffi¹, and KONAN Estelle Sévérine²

¹Félix Houphouët-Boigny University, Laboratory of Natural Environments and Biodiversity Conservation, UFR Biosciences, 22 BP 582
Abidjan, Côte d'Ivoire

²Oceanological Research Center, BP V 18 Abidjan, 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: Most major urban centers in Sub-Saharan Africa are located along the shores of estuaries, lakes, or lagoons which, due to their high biodiversity, are often subjected to significant anthropogenic pressures, particularly waste pollution. This study aims to analyze the phytoplankton community structure of the Ébrié Lagoon, an ecosystem heavily impacted by human activities. Phytoplankton samples were collected between February and November 2020 using a 20- μ m mesh plankton net, targeting specific areas of the lagoon exposed to intense anthropogenic pressure. A total of 53 taxa belonging to five phyla were identified: Heterokontophyta, Dinophyta, Cyanoprokaryota, Euglenophyta, and Chlorophyta. Among these groups, Heterokontophyta exhibited the highest diversity, accounting for 58% of the total abundance. Furthermore, Cocody Bay emerged as the most biodiverse site, with 45 species recorded, representing 46% of all identified taxa. These findings highlight the ecological importance of the Ébrié Lagoon as a phytoplankton habitat and emphasize the urgent need for management strategies to safeguard this fragile ecosystem against increasing urbanization.

KEYWORDS: composition, phytoplankton, bays, Ébrié Lagoon, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Lagoons account for approximately 13% of the world's coastline [1] and are of exceptional ecological and socio-economic importance [2]. They are characterized by high biological richness while simultaneously serving as areas of intense and diverse human exploitation [3]. In addition to receiving freshwater inflows from their watersheds, lagoons are increasingly subjected to the negative impacts of growing anthropogenic pressures [4]. Like many African lagoons, the water quality of the Ébrié Lagoon has markedly deteriorated over the past decades [5]. Anthropogenic stressors on aquatic ecosystems have harmful effects on water quality and on the organisms inhabiting these environments. Among the most affected are phytoplankton communities, whose distribution and abundance are directly influenced by human activities. Phytoplankton play a pivotal role in aquatic ecosystems, acting as primary producers through carbon fixation and serving as a fundamental food source for fish and zooplankton [6], [7]. This study aims to analyze the structure of phytoplankton communities in selected areas of the Ébrié Lagoon, with a view to supporting depollution efforts and the sustainable protection of this fragile ecosystem.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The Ébrié Lagoon, with a surface area of 566 km² and an estimated average volume of 2,7.109 m³ is the largest lagoon system in Côte d'Ivoire. It also represents the most extensive coastal ecosystem in West Africa [8], [9]. The lagoon extends over 130 km along the coastline, between 3°40'- 4°50' W longitude and 5°10'-5°20' N latitude. Sampling was conducted at four stations (Fig. 1) distributed across the lagoon: Koumassi (an area of dredging and traditional soap production), Cocody Blockhauss (a densely populated zone with intensive cassava semolina processing), Plateau (near the Lagoon Transport Company, STL), and Vridi Zimbabwe (a port area adjacent to a large fishing community).

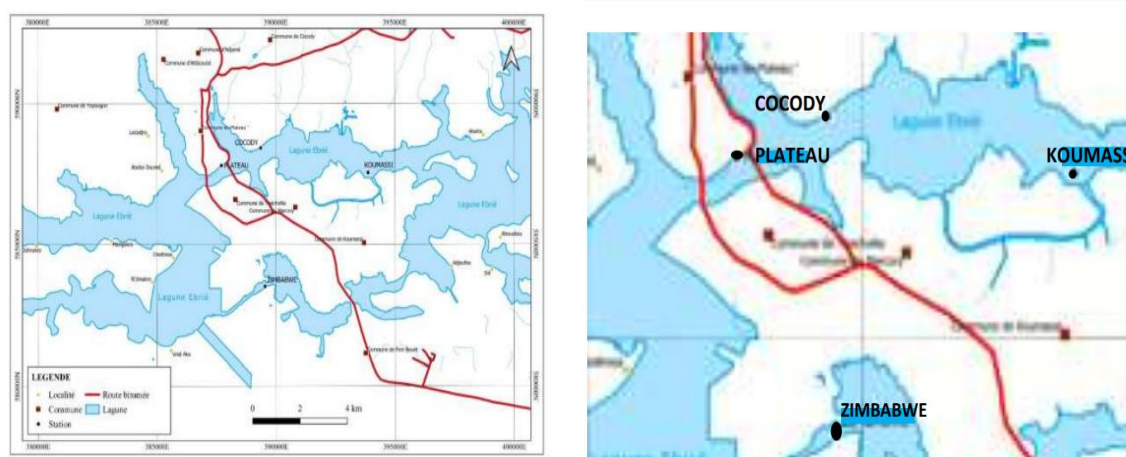


Fig. 1. Sampling Stations in the Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire

2.2 SAMPLING OF MICROALGAE

Qualitative sampling of phytoplankton communities was carried out using a plankton net with a 20- μ m mesh size at the different stations of the Ébrié Lagoon. Surface water samples were collected with a 15-L bucket and poured ten times through the net to ensure adequate concentration of organisms. The concentrated sample was then drained through the net's outlet into a 33-mL vial specifically prepared for this purpose. Commercial formalin, previously neutralized to eliminate acidity, was added to the vial with a pipette to achieve a final concentration of 5%.

2.3 OBSERVATION AND IDENTIFICATION OF MICROALGAE

Observations were conducted in the laboratory. A drop of the sedimented fraction from each vial was collected with a pipette, mounted on a glass slide with a coverslip, and examined under a light microscope (Olympus CXK 41). Phytoplankton species were identified using taxonomic keys and reference works: [10], [11], [12], [13], [14], [15]. Species descriptions followed the classification system established by [16], with additional guidance from the aforementioned authors.

3 RESULTS

Microscopic observations revealed a total of 53 taxa within the phytoplankton population of our study area, categorized into 5 phyla, 7 classes, 27 families, and 34 genera. The Heterokontophyta exhibit the highest diversity, comprising 31 taxa, or 58% of the total count. Following them are the Dinophyta with 9 taxa (17%), Cyanoprokaryota with 6 taxa (11%), Chlorophyta with 4 taxa (8%), and Euglenophyta with 3 taxa (6%) (Fig. 2). Among the 53 phytoplankton taxa documented in the Ebrié Lagoon, 47 were classified as incidental, 5 as accessory, and only 1 as constant (Table 1). The frequency of the incidental taxa included 26 Heterokontophyta, 9 Dinophyta, 5 Cyanoprokaryota, 4 Chlorophyta, and 3 Euglenophyta. In terms of accessory taxa, only 4 Heterokontophyta and 1 Cyanoprokaryota were recorded. The sole constant taxon was found within the Heterokontophyta phylum.

Table 1. Distribution of taxa by station (FO: Frequency of occurrence; *: Incidental taxa; **: Accessory taxa; ***: Constant taxa)

Taxons	St1	St2	St3	St4	FO
Cyanoprokaryota					
Cyanophyceae					
Oscillatoriaceae					
<i>Oscillatoria limosa</i>			X	X	*
<i>Oscillatoria anguinis</i>	X	X	X		**
<i>Oscillatoria</i> sp.	X	X			*
<i>Spirulina major</i>	X	X			*
Chroococcaceae					
<i>Chroococcus dispersus</i>		X	X		
<i>Microcystis</i> sp.	X		X		*

Heterokontophyta					
Coscinodiscophyceae					
Melosiraceae					
<i>Aulacoseira</i> sp.		X	X	X	**
<i>Melosira italica</i>		X	X		*
Heliopeltaceae					
<i>Actinoptychus adriaticus</i>			X	X	*
Coscinodiscaceae					
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	X	X	X	X	***
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	X	X	X	X	***
<i>Coscinodiscus</i> sp.	X		X		*
Rhizosoleniaceae					
<i>Rhizosolenia bergonii</i>			X		*
<i>Guinardia flaccida</i>			X		*
<i>Guinardia striata</i>		X			*
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>			X		*
Skeletonemaceae					
<i>Skeletonema costatum</i>	X	X	X	X	***
Mediophyceae					
Anaulaceae					
<i>Terpsinoe musica</i>		X	X		*
Attheyaceae					
<i>Attheya</i> sp.			X		*
Bellerophyceae					
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>			X		*
Chaetocerotaceae					
<i>Chaetoceros brevis</i>			X		*
<i>Chaetoceros curvisetus</i>			X	X	*
<i>Chaetoceros compressus</i>			X	X	*
<i>Chaetoceros decipiens</i>			X	X	*
<i>Chaetoceros lauderi</i>			X		*
<i>Chaetoceros subtilis</i>			X	X	*
<i>Chaetoceros</i> sp.1			X		*
<i>Chaetoceros</i> sp.2		X	X		*
<i>Chaetoceros</i> sp.3			X		*
Hemiaulaceae					
<i>Hemiaulus</i> sp.			X		*
Lauderiaceae					
<i>Lauderia annulata</i>		X			*
Triceratiaceae					
<i>Odontella sinensis</i>			X		*
Paraliaceae					
<i>Paralia</i> sp.	X	X	X		*
Bacillariophyceae					
Naviculaceae					
<i>Donkinia</i> sp.	X				*
Pleurosigmataceae					
<i>Gyrosigma balticum</i>	X			X	*
Surirellaceae					
<i>Surirella</i> sp.1	X	X	X		**

<i>Surirella</i> sp.2			X	X	*
Euglenophyta					
Euglenophyceae					
Euglenales					
Euglenaceae					
<i>Phacus longicauda</i>			X	X	
<i>Euglena proxima</i>	X				
<i>Trachelomonas scabra</i>	X		X		*
Chlorophyta					
Chlorophyceae					
Chlorococcales					
Hydrodictyaceae					
<i>Pediastrum duplex</i>	X		X		
Scenedesmaceae					
<i>Coelastrum</i> sp.			X		*
<i>Desmodesmus disciformis</i>			X	X	*
<i>Desmodesmus quadricauda</i>			X		*
Dinophyta					
Dinophyceae					
Protopteridiniaceae					
<i>Protopteridinium</i> sp.1			X	X	*
<i>Protopteridinium</i> sp.2	X		X		*
<i>Protopteridinium</i> sp.3			X	X	*
Pyrophacaceae					
<i>Pyrodinium</i> sp.			X	X	*
Dinophysaceae					
<i>Dinophysis caudata</i>		X		X	*
<i>Dinophysis rotundata</i>		X	X		*
Prorocentraceae					
<i>Prorocentrum micans</i>		X	X		*
Ceratiaceae					
<i>Ceratium furca</i>			X	X	*
Podolampadaceae					
<i>Podolampas</i> sp.			X	X	*
Total =	53	15	18	45	20

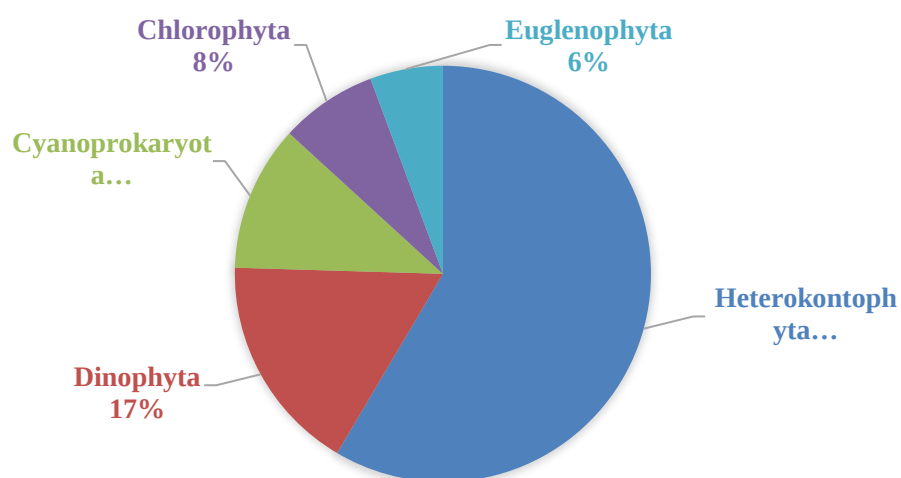


Fig. 2. Proportion of the different phyla observed in the Ebrié Lagoon

In terms of the spatial distribution of taxa (Fig. 3), the highest number (45 taxa or 46%) was recorded at station 3 (Cocody Bay). Station 4 recorded 20 taxa (21%), station 2 recorded 18 taxa (18%), and finally, station 1 recorded 15 taxa (15%). The values of the Jaccard similarity index coefficient ranged between 0.15 and 0.27. The highest value (0.27) was observed between stations 2 and 4, with 6 common taxa. The lowest index (0.15) was recorded between stations 1 and 3, with 7 common taxa.

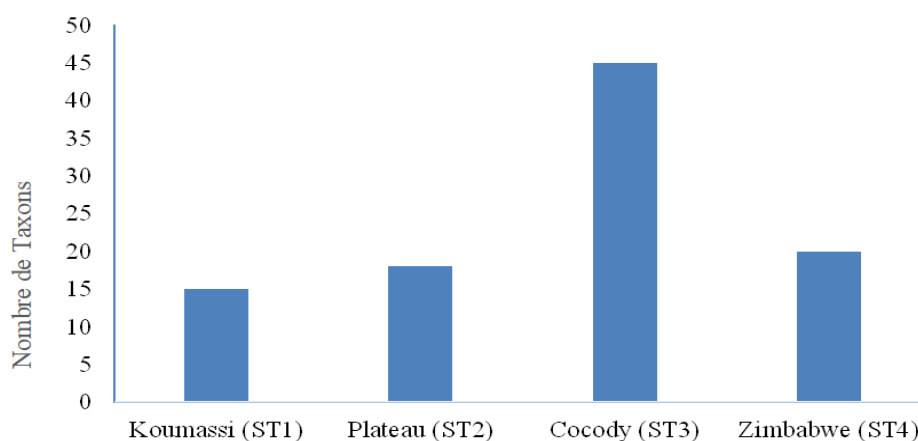


Fig. 3. Distribution of taxa based on sampling stations

4 DISCUSSION

The study of phytoplankton communities in the Ebrié Lagoon identified a total of 53 taxa. These numbers can be considered quite low in terms of species richness when compared to the work of [17] and [14], who documented 138 and 122 taxa, respectively, in the same lagoon. This limited diversity may be attributed to a short sampling duration as well as unfavorable conditions for certain phytoplankton groups, such as Chlorophyta and Euglenophyta. Indeed, extreme variations in physicochemical parameters, including pH, salinity, and temperature, can restrict the survival of certain phytoplankton species. Temperature fluctuations, for instance, can impact the life cycles and reproduction of algae [18]. The observed low diversity could also be explained by the alteration of aquatic habitats due to human activities, such as urbanization, which may create unfavorable conditions for phytoplankton. Habitat destruction and changes in hydrological regimes can lead to reduced diversity [19]. The phytoplankton composition showed a dominance of Heterokontophyta, likely due to the influx of freshwater from rivers that have introduced these diatoms into the lagoon system. In fact, the freshwater bodies in Côte d'Ivoire are rich in various diatoms [20]. Studies conducted by [17] and [14] on the Ebrié Lagoon also reported a dominance of Heterokontophyta. However, when extending this comparison to the work of [21] on the same lagoon, it was found that Cyanophyta were more predominant. Additionally, research by [22] in a lagoon in Lagos also demonstrated a dominance of Heterokontophyta. Overall, our findings indicate that the phytoplankton community is predominantly represented by marine taxa. The Ebrié Lagoon is characterized as an open system (parallel to the marine environment), where the influence of marine waters is significant [14], potentially facilitating the influx of marine taxa into the lagoon. The opening of the Vridi Canal further explains this abundance of marine taxa. The presence of a few freshwater species can be attributed to the influence of freshwater from the Comoé River and the Mé and Agnéby Rivers, which has favored the presence of these freshwater organisms. The frequency of occurrence analysis revealed that the majority of taxa collected from the Ebrié Lagoon were incidental. This abundance of incidental taxa may be due to the fact that most of the collected taxa were introduced via runoff, fishing net transport, or detachment from fixed taxa. In contrast, constant taxa were able to adapt to the varying physicochemical characteristics of the environment. The presence of accessory taxa can be justified by the strong pressure from human activities that alter environmental parameters, preventing these taxa from remaining consistently in the lagoon. The similarity index values were low, remaining below 0.5, indicating a high degree of heterogeneity within the algal community. This could be attributed to the selection of sampling sites based on the diverse anthropogenic activities that vary from one site to another, generating different effluents that can influence the development of algal taxa.

5 CONCLUSION

This study has enhanced our understanding of the phytoplankton community in the Ebrié Lagoon, revealing the richness and relative diversity of this aquatic ecosystem. In total, we documented 53 taxa distributed across 5 phyla, 7 classes, 27 families, and 34 genera. Among them, Heterokontophyta stands out as the most diverse phylum, representing 58% of the total count with 31 taxa. This is

followed by Dinophyta with 9 taxa, Cyanoprokaryota with 6 taxa, Chlorophyta with 4 taxa, and finally Euglenophyta with 3 taxa. This analysis highlights the importance of the Ebrié Lagoon as a habitat for phytoplankton, underscoring the need for further research to better understand the ecological dynamics of this lagoon.

REFERENCES

- [1] J. E. Cromwell, Barrier coast distribution: a worldwide survey. Second National coastal and shallow water research conference, Abstr. vol., 50: p. 408, 1971.
- [2] B. Kjerfve, Coastal Lagoon Processes. Elsevier, *Oceanography Series*: Amsterdam: p. 577, 1994.
- [3] J.C. Lacaze, L'eutrophisation des eaux marines et continentales: causes, manifestations, conséquences et moyens de lutte. Ellipse, Paris, p. 191, 1996.
- [4] M.S. Romdhane and A. Ben Rejeb-Jenhani, Impact des perturbations Anthropiques sur l'évolution du phytoplancton de la lagune de Boughrara, (Tunisie), 2002.
- [5] K. M. Yao, B. S. Métongo, A. Trokourey and Y. Bokra, La pollution des eaux de la zone urbaine d'une lagune tropicale par les matières oxydables (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Science*, 3 (4): 755-770, 2009.
- [6] E. Angelier, Écologie des eaux courantes. Éditions Technique et Documentation, Paris, p.199, 2000.
- [7] O. Schlumberger and N. Bouretz, Réseaux trophiques et production piscicole en étangs fertilisés (Dordogne, France). *Journal of Water Science*, 15 (1): 177-192, 2002.
- [8] D. Guiral and A. Ferhi, Caractérisation ionique et isotopique d'un système hydrologique tropical: la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Oceanologica Acta*, 12 (1): 47-55, 1989.
- [9] P.A.G.M. Scheren, C. Kroeze, F.J.J.G. Janssen, L. Hordijk and K.J. Ptasiński, Integrated water pollution assessment of the Ebrié Lagoon, Ivory Coast, West Africa. *Journal of Marine Systems*, 44: 1-17, 2004.
- [10] P. Compère, Algues de la région du lac Tchad. II: Cyanophycées. *Cahier O.R.S.T.O.M., Série d'Hydrobiologie*, 8 (3): 165-198, 1974.
- [11] A. Iltis, Les algues. In: Durand J.R. & Lévêque C. (Éds). Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-soudanienne. Tome I. Éditions O.R.S.T.O.M. Collection Initiation- Documents Techniques n° 44, Paris, pp. 9-61, 1980.
- [12] A.R.E. Adou, Contribution à la connaissance des Algues de la lagune Tendo à N'Guémé (Côte d'Ivoire). Mémoire de D.E.A., U.F.R. Biosciences, Université de Cocody, Abidjan, p. 96, 1999.
- [13] K. Komoé, Diversité du phytoplancton du complexe lagunaire de Grand-Lahou en Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p.197, 2010.
- [14] N.M. Seu-Anoi, Structuration spatiale et saisonnière des peuplements phytoplanctoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de Côte-d'Ivoire (Aby, Ebrié et Grand-Lahou). Thèse de Doctorat de l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), p.137, 2012.
- [15] E.S. Konan, Distribution spatio-temporelle du peuplement phytoplanctonique en relation avec les facteurs abiotiques de la lagune de Fresco (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p.197, 2014.
- [16] C. Van den Hoek, D.G. Mann and H.M. Jahns, Algae. An introduction to phycology Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 623, 1995.
- [17] D. Maurer, Phytoplancton et pollution: la lagune Ebrié (Abidjan), le secteur de Cortiou (Marseille). Thèse de Doctorat de 3eme Cycle d'Océanographie biologique, p.121, 1978.
- [18] C.S. Reynolds, «The ecology of phytoplankton.» *Cambridge University Press*, p.524, 2006.
- [19] B.S. Halpern, S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, and R. Watson, A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319 (5865), pp. 948-952, 2008.
- [20] N.M. Seu-Anoi, A. Ouattara, Y.J.M. Koné and G. Gourène, Répartition saisonnière du phytoplancton dans le système lagunaire Aby, (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest). *Afr. J. Aquatique Science* 36: 321-330, 2011.
- [21] A. Iltis, Biomasses phytoplanctoniques de la lagune Ebrié (Cote d'Ivoire). *Revue d'Hydrobiologie tropicale*, 118: 153-175, 1984.
- [22] I.C. Onyemazéa and D.I. Nwankwo, An incidence of substratum discolouration in a tropical West African lagoon. *Journal of American Science*, 5 (1): 44-48, 2010.

Eaux des forages en RD Congo: Une résilience urbaine socio-écologique salubre et suicidaire

[Borehole water in the DR Congo: A salubrious and suicidal socio-ecological urban resilience]

Jean Rufin Munkuomo Gonzaleze

Professeur, Université Pédagogique Nationale (UPN), Département de Géographie-Sciences de l'Environnement, 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: Water is essential to life, and the health status of a population largely depends on the quality and accessibility of drinking water services. In the Democratic Republic of the Congo, urban populations face significant challenges in accessing safe drinking water. REGIDESO, the national water supply company, is unable to meet the needs of the entire population due to rapid demographic growth and the deterioration of its infrastructure.

In response to this socio-environmental crisis, a large proportion of households (82%) in the town of Idiofa rely on borehole water. However, this water, which is often untreated and insufficiently protected, is a major source of waterborne diseases such as amoebic dysentery, cholera, malaria, bilharzia, and typhoid fever. Children are particularly vulnerable to these health risks.

This study proposes appropriate solutions aimed at ensuring sustainable production, consumption, and management of drinking water, in order to strengthen urban resilience and reduce environmental vulnerability within the urban ecosystem of Idiofa.

KEYWORDS: environment, urban ecosystem, borehole, drinking water, environmental vulnerability, urban resilience.

RESUME: L'eau constitue un élément essentiel à la vie, et l'état de santé d'une population dépend en grande partie de la qualité et de l'accessibilité des services d'approvisionnement en eau potable. En République Démocratique du Congo, les populations urbaines font face à d'importantes difficultés d'accès à l'eau potable. La REGIDESO, société nationale chargée de la distribution de l'eau, ne parvient pas à desservir l'ensemble de la population en raison de la forte croissance démographique et de la vétusté de ses infrastructures.

Face à cette crise socio-environnementale, une grande majorité des ménages (82 %) de la cité d'Idiofa ont recours à l'eau issue des forages. Toutefois, cette eau, souvent non traitée et insuffisamment sécurisée, constitue une source de nombreuses maladies hydriques telles que la dysenterie amibienne, le choléra, le paludisme, la bilharziose et la fièvre typhoïde. Les enfants figurent parmi les principales victimes de cette situation.

Cette étude propose des solutions appropriées visant à assurer une production, une consommation et une gestion durables de l'eau potable, afin de renforcer la résilience urbaine et de réduire la vulnérabilité environnementale dans l'écosystème urbain d'Idiofa.

MOTS-CLEFS: environnement, écosystème urbain, forage, eau potable, vulnérabilité environnementale, résilience urbaine.

1 INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre des objectifs du développement durable (ODD 2015-2030), également appelés objectifs mondiaux, qui est une invitation lancée par l'Organisation des Nations Unies aux Etats à travailler et à agir pour l'amélioration de la qualité de vie de la population afin que tous les citoyens aient accès à l'eau potable (objectif N°6) d'ici 2030.

En effet, l'état de santé d'une population dépend entre autres, de la qualité des services en eau potable. Un accès fiable à l'eau garantit la santé publique, le bien-être social et le développement économique.

L'eau est un élément essentiel à la vie et au fonctionnement de l'environnement. Elle est au cœur des écosystèmes naturels et de la régulation climatique. L'eau recouvre plus de 70% de la surface totale de la terre (PNUD. 2023)

Jouant un rôle crucial dans presque tous les processus biologiques, elle est utilisée pour de nombreuses applications, notamment: la consommation, la cuisine, le transport, le sport, l'assainissement et l'hygiène ainsi que dans de nombreux processus industriels (Aouissi, 2018)

Aujourd'hui, un des enjeux principaux auxquels l'humanité fait face est le risque de contamination et la dégradation de la qualité de l'eau potable. Cette détérioration constitue un problème de santé publique majeur, entraînant chaque année la mort de plusieurs personnes.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2022) affirme que 2,5 millions de personnes dans le monde meurent en raison des maladies d'origine hydrique (hépatite, choléra, dysenterie, cryptosporidiose, giardas, diarrhée, typhoïde, bilharziose, amibe, etc.)

Le Ministère de la santé en RDC (2011), dans son rapport sur eau, hygiène et assainissement fait mention « de l'insalubrité des milieux urbains causé par la mauvaise évacuation des eaux et des déchets, la présence des vecteurs ainsi que le manque d'eau potable » qui rendent vulnérables la population et favorisent des maladies à potentielle épidémie dont la plupart sévissent dans les zones de santé: choléra, maladies diarrhéiques, paludisme, etc. Pour le Ministère de la santé, tous ces facteurs environnementaux de morbidité ne permettent pas de vivre dans la dignité, la bonne santé et la sécurité environnementale. Au contraire, ils accroissent le risque des décès dans plusieurs ménages exposés.

Pour cette Institution de santé, le plus grand danger auquel est exposée l'eau de boisson est celui d'une contamination par des eaux d'égout ou des excréments humains ainsi que celui de la contamination d'origine animale. Par ailleurs, les causes de la contamination bactérienne sont attribuables à l'absence des structures d'assainissement.

La République Démocratique du Congo, bien qu'elle soit un potentiel hydraulique important, avec 52 % des ressources d'eau douce de l'Afrique, elle fait face à de nombreuses difficultés concernant l'accès à l'eau potable. Ce problème vulnérabilise les zones urbaines, les zones rurales, les populations les plus pauvres, les femmes ainsi que les enfants de moins de 5ans.

La Regideso, la société nationale ayant en charge la distribution d'eau potable ne parvient pas à desservir toute la population suite à la forte expansion démographique et à la vétusté de ses matérielles.

Cette situation est la raison de la prolifération des forages dans les milieux urbains, des zones où la desserte en eau s'avère insuffisante ou inexistante pour contourner la carence en eau potable.

Tel est le cas dans la cité d'Idiofa dans la province de Kivu. Les observations, les investigations, les enquêtes qualitatives et quantitatives ainsi que les différentes analyses que nous avons initiées attestent que cet écosystème urbain est confronté à une crise environnementale (accès difficile à l'eau potable) Les résultats de l'étude attestent que plus de 80% de ménages dans la cité d'Idiofa ont de difficultés pour avoir accès à l'eau potable. Pour faire face, à ce défi environnemental. Les ménages se contentent des eaux de pluies, de sources et de forages (figure 1). Malheureusement, l'entretien de la plupart de ces puits est mal assuré, par manque de services appropriés exposent la population aux risques de maladies hydriques (amibe, bilharziose, cholera, diarrhée, gale, hépatite, paludisme, etc.) Ceux qui ont des moyens financiers se contentent des eaux en sachets plastiques appelés "eau pure" par la population.



Fig. 1. La vue de la pénurie d'eau potable à Idiofa sur l'avenue Ngoso au quartier « Manding », pendant la saison sèche.

Source: Résultats de terrain, 2025

Face à cette crise environnementale à laquelle est confrontée la population d'Idiofa, il est aujourd'hui urgent de penser à un développement durable de cet écosystème urbain. La durabilité environnementale est un ensemble de pratiques devant remplacer les conditions précaires par celles jugées bonnes et très efficaces (Agenda 21). Elle vise le bien être communautaire qualitativement et quantitativement en sécurisant également des générations futures.

2 MÉTHODOLOGIE ET MILIEU D'ÉTUDE

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Nos investigations ont eu lieu à Idiofa, un écosystème urbain, situé dans la province de Kuilu en République Démocratique du Congo. La cité d'Idiofa est le chef-lieu du territoire d'Idiofa.

Couvrant une superficie de 14Km², et reffermant 2.002769 habitants, la cité d'Idiofa compte 7 quartiers (.Minampala, N'gompos, Mapela, Ebao, Zaire (actuellement Congo), ainsi que Mobutu, plus Idiofa village qui est autonome). La cité d'Idiofa est habitée par plusieurs groupes ethniques dont les peuples importants sont: les Bunda, les Dinga, les Pende, les Wongo et les Ngoli.

Les activités principales sont: l'agriculture, le commerce, la santé et l'enseignement

Dans la cité d'Idiofa, le réseau hydrographique est faible. L'on compte deux sources aménagées par les privés (Eba et Mapela). La rivière « Musanga » est sous-utilisé en raison de la distance qui la sépare de la cité d'Idiofa.

2.2 MÉTHODOLOGIE

Pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé les méthodes d'observation directe, d'analyse et l'approche systémique.

La méthode systémique a permis d'analyser la problématique de l'utilisation de eaux de forages dans la cité d'Idiofa et proposer des solutions concrètes afin d'améliorer la qualité de l'eau et de service de forages dans ce milieu urbain.

Les méthodes ont été appuyé par les techniques d'enquête qualitative et quantitative dans quatre quartiers par un questionnaire auprès de 160 personnes ressources (40 sujets par quartier), afin d'appréhender la crise qui vulnérabilise les habitants de cet écosystème urbain. Ensuite, les informations d'enquêtes ont été complétées et enrichies par la technique d'interview.

Pour déterminer la qualité de l'eau de forages dont se servent les ménages, la méthode d'analyse a permis d'analyser au laboratoire 4 échantillons de différents forages.

L'analyse physique a permis de déterminer la température, l'odeur, la saveur, la couleur, les goûts. et la turbidité de l'eau de différents forages.

L'analyse chimique a servi à déterminer les qualités de substances chimiques qui se trouvent dans l'eau. La composition chimique de l'eau diffère d'un forage à un autre.

3 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Dans cette section, nous présentons les généralités sur l'eau. Il s'agit : des différents types d'eau, les propriétés de l'eau, les caractères organoleptiques, les normes microbiologiques de la qualité de l'eau, les paramètres bactériologiques et la pollution de l'eau.

3.1 DIFFÉRENTES TYPES DE L'EAU

L'approvisionnement en eau pour la population peut se faire à partir de deux sources aux caractéristiques bien différentes. Il s'agit des eaux souterraines (puits, sources) et les eaux superficielles (lacs, rivières, barrage). Celles-ci, exposées à l'environnement sont susceptibles de pollutions. Les eaux souterraines représentent 30% de l'eau de la planète ; Elles ont leur origine dans les eaux superficielles qui filtrent à travers les différentes couches de la terre et passent à la nappe aquifère, ce système de filtration naturelle permet que l'eau soit purifiée. Par opposition, les eaux de surface sont des eaux qui sont stockées à la surface des continents, elles proviennent soit par des nappes souterraines soit par les eaux de ruissellement (fleuve, rivières barrages, mares,). Sa température varie en fonction du climat et de saisons.;

Cependant ces eaux de surface sont vulnérables face aux diverses pollutions. La pollution de cette eau peut provoquer de nombreuses maladies, telles que: cholera, amibe, typhoïde, bilharziose et intoxications chimiques. Elles devraient subir des modifications physiques chimiques et biologiques qui le rendant potables.

Tableau 1. Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Caractéristiques	Eau surface	Eau souterraine
Température	Variable suivant saisons	Relativement constant
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée aux matières en solution (acides humiques)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets.... etc	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même regain
Fer et Magnésium dissout	Généralement absent	Généralement présent
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présent dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absent mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Éléments vivants	Bactéries, virus	Ferro, bactéries fréquentes

Source: Degremont, 1989.

3.2 PROPRIÉTÉS DE L'EAU

L'eau est Indispensable à la vie, Elle occupe une place particulièrement importante dans notre vie. On la retrouve dans toutes les activités qui rythment notre quotidien: cuisine, toilette, lavages diverses, évacuation des déchets. Une eau propre réduit les risques sanitaires et améliore la santé globale.

L'eau joue aussi un rôle essentiel dans le maintien des écosystèmes et de la biodiversité, ainsi que dans l'atténuation des effets du changement climatique.

L'eau est catalyseur de nombreuses réactions chimiques. L'eau existe dans les trois états: liquide (eau proprement dite), solide (glace), et gazeux (vapeur d'eau). Ces trois phases coexistant dans la nature, elle se transforme selon les conditions de température et de pression. Parmi les propriétés de l'eau il y a propriété physique et propriété chimique.

3.2.1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Une propriété physique est une propriété que l'on peut observer à l'œil nu ou à l'aide de mesures sans modifier la nature de la substance. L'eau possède plusieurs propriétés physiques importantes. C'est un liquide incolore, inodore et sans saveur à température ambiante. Son point d'ébullition est de 100 degrés Celsius et son point de congélation est de 0 degré Celsius. Les trois états physiques de l'eau sont: liquide, gazeux et solide

3.2.2 PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

Les propriétés chimiques de l'eau découlent de la structure moléculaire. L'eau (H₂O) est une molécule polaire, ce qui signifie qu'elle possède une charge partielle négative sur l'atome d'oxygène et une charge partielle positive sur les atomes d'hydrogène. Cette polarité est due à l'électronégativité plus élevée de l'oxygène. Les principales propriétés chimiques de l'eau sont:

- *solvant universel*: l'eau est capable de dissoudre un grand nombre de substances, notamment les composés ioniques et les molécules polaires
- *réaction acido-basique*: l'eau peut agir à la fois comme un acide et comme une base, c'est-à-dire qu'elle peut donner ou accepter des protons (H⁺)
- *formation des liaisons hydrogène*: les molécules d'eau peuvent former des liaisons hydrogène entre elles.
- *Electrolyse*: l'eau peut être décomposée en ses éléments constitutifs, l'hydrogène et l'oxygène, par le passage d'un courant électrique, un processus appelé électrolyse.

La différence entre les propriétés physiques et chimiques explique du fait que pour les propriétés physiques les caractéristiques peuvent être qualitatives (observables grâce aux sens) ou quantitatives (mesurées avec précision à l'aide d'instruments). Les propriétés chimiques se rapportent plutôt à la réaction qu'une substance aura au contact d'une autre substance.

3.3 CARACTÈRES ORGANOLEPTIQUES

3.3.1 COULEUR

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité (0,45). Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (Rodier.J, 2009).

3.3.2 ODEUR

L'odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Les sens olfactif peut seul, parfois, les déceler (Rodier.J, 2009).

3.3.3 GOUT

Le gout peut être définie comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lors de la boisson dans la bouche.

3.4 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU

3.4.1 LA TEMPÉRATURE

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduelles chaudes.

3.4.2 LE PH

Le PH mesurant d'acidité d'une solution, est défini par l'expression): $-\log H^+$ ou (H^+) est l'activité de l'ion hydrogène H^+ dans la solution. Les équilibres physicochimiques sont conditionnés par le pH. Il intervient avec d'autres paramètres comme la durée, l'alcalinité et la température, habituellement il varie entre 7,2 et 7,6. Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent la concentration d'ammoniac, toxique pour les poissons (Degremont, 2005).

3.4.3 LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE

L'eau pure est peu conductrice de courant électrique car elle contient que très peu de particules chargées électroniquement (ions), susceptibles de se déplacer dans un champ électrique. L'unité de conductivité est le micro-siemens par centimètre. L'unité de conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température.

3.4.4 LA TURBIDITÉ

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) Une faible part de la turbidité peut être également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. La turbidité résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi déviée dans toutes les directions. Ce sont des particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière.

Leur origine peut être extrêmement variable: érosion des roches, entrainement des matières minérales ou organiques du sol, déversement d'eaux usées domestiques ou industrielles riches en matières en suspension grossières (Derwiche, Et al, 2010).

3.4.5 LE NITRATE

L'azote des nitrates, comme celui des nitrites et de l'ammoniac, est un des éléments nutritifs des plantes et à ce titre il donné lieu, au même titre qu'au phosphore (Kadiri, 2005). Soluble dans l'eau, le nitrite est utilisé dans la fabrication d'explosifs et dans l'industrie chimique comme oxydant, et comme conservateur dans les denrées alimentaires.

Les eaux naturelles non polluées contiennent peu de nitrates, dans les eaux superficielles leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3mg/L, et varie de 0.1 à 1mg/Actuellement il dépasse 50 mg/L, ce qui est la norme approuvée pour les eaux souterraines par l'OMS (2011).

Dans l'estomac, les nitrates sont convertis en nitrites, ce qui entraine la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. La consommation d'eau chargée en nitrates ou en nitrites est l'origine de la cyanose, notamment chez les nourrissons (Laferrere. M; Nadeau. A; Malenfant. G.1995).

3.4.6 L'ALCALINITÉ

Dans l'eau naturelle, l'alcalinité est principalement causée par la présence d'hydrogénocarbonate et d'hydroxydes de carbonate. Contrairement à l'acidité, l'alcalinité de l'eau correspond à la présence de bases et de sels d'acide faible (Rodier et al, 2009).

Et correspond aussi à sa capacité de réagir avec les ions H^+ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO_3^- , CO_3^{3-} , OH^- . On distingue deux types d'alcalinité:

- Alcalinité totale (ou titre alcoométrique totale complet)
- Alcalinité composite (ou titre alcoométriques)

Il n'existe pas de normes concernant l'alcalinité. C'est un paramètre important car sa valeur peut donner à l'eau un caractère agressif ou incrustant (A.AL-Rawajfeh et E.M.AL-Shamaileh, 2007).

3.4.7 LE CHLORURE

Les chlorures sont présents en grande quantité dans l'eau de mer. Leur concentration dans l'eau de pluie est approximativement de 3mg/L. Les chlorures sont très répandus dans la nature généralement sous forme de sels du sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂) (Ayad, 2016).

Les teneurs en chlorures (Cl⁻) des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes non polluées ont souvent une teneur en chlorure. Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé.

3.4.8 LES SULFATE

Elle se présente sous formes de sulfates de magnésium et calcique dans l'eau. Une forte concentration des sulfates dans l'eau peut provoquer des gastro-intestinaux (en particulier chez les enfants) ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable.

Les normes de l'OMS préconisent pour les sulfates une concentration maximale acceptable de 200mg/L et une concentration maximale admissible de 400 mg/L (SO₄⁻²). Une teneur supérieure à 400mg/L. rend l'eau impropre à la consommation.

3.4.9 LES RÉSIDUS SECS

Dans leur parcours naturel, au contact des sols et des roches, les eaux minérales se chargent en sels minéraux et oligo-éléments à l'abri de toute pollution. Pour savoir si une eau est peu ou fortement minéralisée, il suffit de regarder ses résidus secs. Cet indicateur permet de déterminer le taux de minéraux recueillis après évaporation d'1litre d'eau soumis à 180°C. Plus une eau est minérale, plus son résidu sec est élevé.

3.4.10 DURETÉ TOTALE DE L'EAU

La dureté totale de l'eau est la mesure de calcium et des magnésiums contenus dans l'eau. Le principal problème d'un niveau de dureté totale élevée de l'eau est que des dépôts peuvent se former dans la tuyauterie et les rendre moins efficaces. Si l'eau est très dure, cela peut également provoquer une diminution de l'efficacité des savons et détergents et affecter le goût de l'eau.

3.4.11 CHLORE

Le chlore total est l'ensemble des espèces chimiques renfermant du chlore à l'état oxydé.

Le chlore libre est la quantité de chlore présent dans l'eau sous forme de gaz dissous (Cl₂), d'acide hypochloreux (HOCl) et/ou d'ion hypochlorite (OCl⁻) qui n'est pas lié à l'ammoniac ni d'autres composés.

Le risque de trouver du chlore libre dans les eaux de surface est très limité dans la mesure où cette molécule est très réactivée. Le chlore libre peut se combiner à des substances organiques pour former des formes halogénées (chloroforme par exemple) qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface.

3.4.12 LE FER

Le fer se trouve de manière importante dans les eaux souterraines car c'est un élément de la croûte terrestre à raison de 4,5 à 5%. Sa présence dans l'eau dépend des conditions physiques et hydrologiques. Une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir plus de 0,3mg/L de fer (Potelon J.L et Zysman K; 1998).

3.4.13 NITRATES ET NITRITES

Nitrates (ON_3) et nitrites (ON_2), les composés azotés les plus nocifs. Une concentration élevée de nitrites indique une contamination bactérienne due à l'oxydation de l'ammoniac. Ces composés peuvent provoquer des troubles graves chez les nourrissons, provoquer une hypertension artérielle et sont des précurseurs de nitrosamine cancérogènes (W.Ayad, 2017).

3.4.14 LE PLOMB

Le plomb est un métal toxique avec des risques cumulatifs. On le trouve en abondance, il est très rependu dans la croute terrestre et on ne le retrouve jamais dans l'eau potable pour assurer une bonne qualité de l'eau à la population. La présence de plomb dans le robinet est due à l'oxydation des circuits de distribution publics et privés, le plomb provient de canalisations ou des branchements, et aussi de l'oxydation d'alliages, des soudures, voire de plastiques contenant du plomb.

Même de faibles doses peuvent affecter les développements physiques, intellectuels et psychomoteurs chez les enfants, notamment des effets indésirables neurologiques, cardiovasculaires, rénaux, développementaux et reproductifs, il peut également nuire au développement du cerveau de l'enfant et avoir des effets négatifs sur le système nerveux et comportement (M.S.Sankhla et al, 2017; J.Xue et al; 2018).

3.4.15 SODIUM ET POTASSIUM

Le sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région à une autre. Il n'existe pas de danger dans l'absorption des quantités relativement importantes de sodium sauf pour les malades hypertendus. Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau il n'y a pas de valeur limitée standard:

Cependant les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un gout désagréable.

Le teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15mg/L. à cette concentration, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Le seuil de perception gustative est variable suivant le consommateur, se situe aux environs de 40mg/L pour les chlorures de potassium (Hoffmann F; Auly T; Meyer A-M; 2014).

3.4.16 MANGANÈSE

Le manganèse est un élément métallique constituant environ 0,1% de la croute terrestre. Il existe 11 états d'oxydation du manganèse, allant de -3 à +7, mais le Mn^{2+} , Mn^{4+} et Mn^{7+} demeurent les plus courants. Le manganèse et ses composés se manifestent sous forme solide dans le sol et sous forme dissoute, colloïdale ou particulier dans l'eau. La plupart des sels de manganèse, sauf le phosphate et carbonate, sont facilement solubles dans l'eau, contrairement aux oxydes (dioxyde et trioxyde), qui sont peu solubles. Le manganèse se retrouve également dans l'air sous forme de particules de poussières (Rodier et al; 1996). Par ailleurs, lorsque sa concentration dans l'eau est de plus de 0,02mg/L, le manganèse peut:

- Modifier le gout, l'odeur et la couleur de l'eau;
- Tacher les vêtements lavés et les appareils électroménagers.

3.5 PARAMÈTRES BACTÉRIOLOGIQUES

La vérification de la qualité microbiologique de l'eau de boisson comprend la recherche d'*Escherichia coli* en tant qu'indicateur de pollution fécale. La présence d'*E. coli* apporte la preuve incontestable d'une pollution récente et ce micro-organisme doit être totalement absent de l'eau de boisson. Dans la pratique, la recherche de bactéries coliformes thermo tolérantes est souvent une solution de remplacement acceptable. *E. coli* constitue un indicateur utile, mais non universel. Les virus entériques et les protozoaires sont plus résistants à la désinfection. En conséquence, l'absence d'*E. coli* n'indique pas nécessairement que l'eau est exempté de ces organismes. Dans certaines situations, il peut être souhaitable de rechercher davantage de micro-organismes résistants, tels que des bactériophages et / ou des spores bactériennes. Il s'agit notamment des cas où l'on utilise une eau de source dont la contamination par des virus ou par des parasites énergétiques et connue ou de ceux où la communauté est fortement touchée par une maladie virale ou parasitique (OMS, 2004).

On cite parmi ces bactéries: les coliformes fécaux (CF), les coliformes totaux et l'*Escherichia coli*.

3.6 LES NORMES MICROBIOLOGIQUES DE LA QUALITE DE L'EAU

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies, qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte des matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur Globalement, la qualité de l'eau doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale.

Plusieurs normes existent à l'échelle internationale en particulier celle de l'OMS. Les normes internationales (OMS, 2017), relatives à la qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine sont récapitulées dans le tableau 1.

Tableau 2. Normes internationales de la qualité microbiologique des eaux potables

Paramètres	OMS (2017)
Coliformes totaux	0 UFC/ 100 ml
Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	0 UFC/ 100 ml
Streptocoques fécaux	0 UFC/ 100 ml
Clostridium sulfite réducteurs	0 UFC / 100 ml

Source: OMS (2023)

Tableau 3. Normes des paramètres physico-chimiques de l'eau potable

Paramètres	Unité	Normes OMS
Ph	Ph	9
Conductivité	Us/cm	2100
Température	°C	25
Résidu sec	Mg/L	1500
Turbidité	NTU	2,5
Dureté total	Mg/L	500
Calcium	Mg/L	270
Magnésium	Mg/L	50
Sodium	Mg/L	150
Potassium	Mg/L	20
Sulfate	Mg/L	400
Chlorure	Mg/L	250
Nitrate	Mg/L	50
Nitrite	Mg/L	0,1
Aluminium	Mg/L	0,2
Phosphate	Mg/L	0,5
Ammonium	Mg/L	0,5
Fer	Mg/L	0,3
Manganèse	Mg/L	0,4

Source: OMS, (2023)

3.7 POLLUTION DE L'EAU

La pollution de l'eau est l'altération de sa qualité à cause d'insertion de produits polluants. Les pollutions de l'eau peuvent se présenter sous différentes formes: chimique, bactériologiques, etc.

Plusieurs polluants altèrent la qualité de l'eau. Il s'agit des polluants physiques, biologiques et chimiques. Les principaux polluants mis en cause dans la pollution chimique sont: les métaux lourds (préférentiellement le plomb), les oxydes de carbone (monoxyde de carbone ou CO, le dioxyde de carbone CO₂), les oxydes d'azote (dioxyde d'azote NO₂), les oxydes de soufre (dioxyde de SO₂), les hydrocarbures (méthane CH₄ et benzène C₆H₆), l'ozone (O₃) résultant de la combinaison de Composés Organiques Volatils (COV) et du contexte climatique...

Tous ces polluants exposent la population à plusieurs pathologies métaboliques, respiratoires, infectieuses, etc.

4 RESULTATS

Cette partie de l'étude a deux tâches: la première tâche consiste à présenter les résultats par rapport aux aspects relatifs à l'approvisionnement de l'eau potable par les ménages dans la cité d'Idiofa, et la seconde tâche d'analyser la qualité des eaux de forages dont se servent les ménages.

4.1 ASPETS RELATIFS A L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE PAR LES MENAGES

4.1.1 DE GENRE DES SUJETS ENQUÊTÉS

Selon l'OMS (2001), la maîtrise du genre des sujets enquêtés est un indice indispensable dans la gestion de l'environnement dans la mesure où il permet d'apprécier le niveau de responsabilité de deux sexes en matière.

Tableau 4. Identification de sujets enquêtés par rapport au genre

Genre	Fréquence	%
Masculin	112	70%
Féminin	48	30%
Total	160	100

Source: les résultats de terrain, 2025

Il se dégage de l'analyse du tableau IV.4 que la majorité d'enquêté est constitué d'hommes (70%). Deux raisons peuvent entre autres expliquer cela. D'abord la disponibilité des hommes d'accepter de répondre volontiers au questionnaire. Ensuite, les femmes ont été méfiantes et réservées. Cette attitude s'explique tout d'abord par la culture africaine qui accorde la prééminence à l'homme. Pour beaucoup de femmes, il n'était pas possible d'accueillir l'enquêteur et de répondre au questionnaire à l'absence de leur mari. Ensuite, pour beaucoup de femmes, elles n'étaient pas disponibles d'accueillir les enquêteurs de peur de se laisser emballer dans les aventures politiques ou amoureuses compromettant leur foyer

Etant donné que les hommes comme responsable de ménage sont victimes de la crise que traverse le pays, beaucoup d'entre eux ont accueilli favorablement cette enquête, dans le souci de mettre en évidence cette situation néfaste de la vie sociale. Ainsi, par cette enquête beaucoup de sujets enquêtés, particulièrement les femmes ont dénoncé la pénurie de l'eau potable à Idiofa en attribuant la responsabilité à l'Etat congolais.

4.1.2 DE L'ETAT MATRIMONIAL DES SUJETS ENQUETES

Selon le PNUD (2011), la maîtrise de l'état matrimonial constitue un indice important dans une enquête sociale. Il a un impact sur la gestion de l'environnement.

Tableau 5. Etat matrimonial des sujets enquêtés

Etat matrimonial	Fréquence	%
Marié	107	66,87
Célibataire	32	20,00
Veuf (ve)	10	06,25
Divorcé	06	03,75
Union libre	05	03,12
Total	160	100

Source: Les résultats de terrain, 2025

Au regard des résultats du tableau 5 un grand nombre de sujets enquêtés sont les mariés (66,87%). Ces données sont au regard de la responsabilité familiale qu'ils possèdent confronté aux problèmes de vulnérabilités suite à la crise socio-économique que traverse le pays. Surtout les problèmes de pénurie d'eau potable dans leur foyer suite à leur incapacité à prendre en charge totalement leur responsabilité. Les célibataires (20%), ont des difficultés d'avoir accès à l'eau potable par

manque d'une partenaire qui peuvent puiser de l'eau pour eux. Les veufs (ves) (6,25%) et les divorcés (3,75%) sont également un nombre important. La crise de l'eau potable vulnérabilise et expose cette catégorie à plusieurs stress et maladies

4.1.3 DE LA TAILLE DES MENAGES DES SUJETS ENQUETES

Autre l'aspect matrimonial, nous avons pris soin de connaître la taille de ménages des sujets enquêtés. En effet, la taille de ménage a un impact sur l'environnement biophysique et humain.

Tableau 6. Identification des enquêtés par rapport à la taille de ménage

Taille de ménage	Fréquence	%
1 à 2 personne	01	0,62
3 à 4 personnes	13	8,12
5 à 6 personnes	24	15
7 personnes et plus	122	76,25
Total	50	100

Source: enquête sur le terrain 2025

D'après les résultats du tableau 6 l'entassement dans les ménages est probablement l'une des causes de la crise de l'eau potable dans les ménages à Idiofa. En effet, 76,25% des ménages enquêtés ont une taille de plus de 7 personnes. Cette densification résulte de la forte natalité liée à la culture africaine, la prise en charge de membre de la famille élargie, du séjour prolongé des enfants à l'âge adulte dans le toit paternel par manque d'emploi. Cette taille élevée (plus de 7 personnes) a un impact sur le budget alloué par le ménage pour l'approvisionnement en eau potable.

4.1.4 DIFFERENTES SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE

Avant d'aborder la question relative à la précarité urbaine, il nous a paru opportun d'évaluer les différentes sources dont se servent les ménages à Idiofa.

Tableau 7. Différentes sources d'approvisionnement en eau potable à Idiofa

Sources d'approvisionnement	Fréquence	%
Eau de la régideso	00	00
Eau de forage	132	82,5
Eau de pluie	08	05
Eau de ruisseaux et sources	20	12,5
Total	160	100

Source: Résultats de terrain, 2025

En se référant aux résultats de tableau 7, la principale source d'approvisionnement en 'eau potable à Idiofa c'est le forage. (82,5%). En effet, la Régideso, la société nationale ayant en charge la distribution d'eau potable ne parvient pas à desservir toute la population suite à la carence des infrastructures. Cette défaillance de la Régideso est la raison de la prolifération des forages dans la cité d'Idiofa. Cette eau non traitée régulièrement et non sécurisée est source de plusieurs maladies hydriques: amibes, choléra, paludisme, bilharziose, typhoïde, etc.

Pour le degré de satisfaction des résiliences des eaux de forages, 72,02% des ménages trouvent une relative satisfaction à ces initiatives des privés qui soulagent tant soit peu.

4.1.5 DU REVENU MENSUEL DES SUJETS ENQUETES

Dans cette section l'étude a cherché à connaître les revenus des sujets enquêtés. Les revenus ont un impact sur le budget prévu pour l'achat de l'eau potable auprès des propriétaires de forages.

Tableau 8. Identification des enquêtés par rapport au revenus mensuels

Revenus mensuels	Fréquence	%
1 de 99\$	41	25,62
100 à 199\$	87	54,37
200\$ et plus	32	20,1
Total		

Source: résultats de terrain (2024)

Après l'analyse du tableau 8 il apparait que 79,99% de ménages à Idiofa disposent d'un revenu mensuel faible, inférieur à 200\$. Outre, la fiabilité des avis de sujets enquêtés, cette situation s'explique entre autres par le manque de politique salariale. et le mauvais traitement dont sont victimes certaines catégories socio-professionnelles (enseignant, police, militaire, fonctionnaire de l'Etat, etc) de la part de leur employeur, l'Etat congolais. D'où la plupart de ménages ont des difficultés pour satisfaire les besoins essentiels des ménages (difficile accès à l'eau potable).

Les rares sujets ayant un revenu mensuel supérieur à 200\$ sont en nombre réduit (20%). La plupart d'entre eux évoluent dans des métiers libéraux: commerçant, médecin, architecte, ingénieur, etc). et des sociétés privées. Cette catégorie a un niveau de vie acceptable pour faire face aux divers problèmes de la vie entre autres l'approvisionnement en eau potable...

4.1.6 BUDGET ALLOUE POUR L'APPROVISIONNEMENT EN EAU DE FORAGES

L'eau de forages se vend journalière ment. Les prix sont fixés par bidon. Les ménages sont voués à payer de l'eau de forages chaque jour au bien tous les deux jours. D'où, ceci nécessite un budget convenable, de peur qu'on se retrouve dans le ménage sans seau.

Tableau 9. Budget journalier alloué pour l'approvisionnement en eau potable

budget journalier	Fréquence	%
1000fc	27	16,87
2000fc	33	20,62
3000fc	92	57,50
4000fc	6	3,75
5000fc et plus	2	1,25
Total	160	100

Source: résultats de terrain 2025

Il ressort des résultats de l'étude que (1,25 %) dépensent plus de 5000fc journalière ment. pour l'approvisionnement en eau potable, suivi de (3,75%) qui dépensent 4000fc et (57,50%%) dépensent 3000fc. (20,62%) dépensent 2000fc et enfin, (16,87%) dépensent 1000fc/ jour. Le montant varie par rapport à la taille de ménage. Pendant la saison sèche le prix d'un bidon d'eau varie selon la demande des clients.

Tableau 10. Différentes causes de vulnérabilités en eau potable relevé par les sujets enquêtés

Les causes de vulnérabilité	Fréquence	%
Surpopulation dans le quartier	11	6,87
Démision de l'Etat congolais	123	76,87
Défaillance de la Regideso	00	00
Insolvabilité des clients	00	00
Nombre réduit des forages	26	16,25
Total	160	100

Source: résultats de terrain, 2025

Après l'analyse du tableau 10 la majorité de sujets enquêtés attribuent la cause principale de la précarité d'eau potable à la mauvaise volonté et l'incompétence de l'Etat congolais. (76,87%). Par incompétence, nous attendons un leadership

irresponsable, caractérisé par le manque de volonté politique tourné vers l'action et d'intérêt collectif dans la perception de processus de développement national durable. Pour un groupe de sujets, ils attribuent la principale cause à la surpopulation (6,87%) et à l'insuffisance (16,25%) des forages dans le quartier.

Tableau 11. Les conséquences relatives à la précarité d'eau potable

Conséquences	Fréquence	%
Risque sanitaire	20	12,5
Impact sur le budget familiale	84	52,5
Impact sur l'hygiène corporel	56	35
Total	160	100

Source: résultats de terrain, 2025

Le tableau et 11 énumère les conséquences due à l'accès difficile à l'eau potable: Impact négatif sur le budget familial (52,5%), impact sur l'hygiène corporel (35%) et le risque sanitaire (12,5%).

Toutes ces conséquences relevé quartier par quartier, selon leur importance, montrent le visage multiple de la vulnérabilité et de ses effets sur l'environnement global de ce milieu urbain.

Tableau 12. Les suggestions formulées par les sujets enquêtés pour l'amélioration du service de l'eau de forage

Suggestions	Fréquence	%
Assurer un approvisionnement régulier	15	9,37
Améliorer la qualité de l'eau	36	22,50
Restaurer l'autorité de l'Etat	99	61,87
Modérer le prix de vente	10	6,25
Total	160	100

Source: résultats de terrain 2025

Sur la base des réalités obtenues, les différentes suggestions des sujets enquêtés se regroupent en éléments essentiels suivants:

Restauration de l'autorité de l'Etat (61,87%) afin d'assurer la perfection sociale des citoyens en améliorant et développer les infrastructures urbaines qui concourent au bien-être de la population. L'Etat congolais devrait réhabiliter les infrastructures de la société Régideso afin d'épargner la population des eaux de forages.

Amélioration de la qualité de l'eau de forage (22,50%): aux responsables de forages, de veiller à l'entretien des équipements et au traitement régulier de l'eau afin d'améliorer la qualité et d'épargner la population aux diverses maladies hydriques. Un groupe de sujets enquêtés suggéré aux responsables de forages d'assurer un approvisionnement régulier (9,3%) à la population, surtout pendant la saison sèche et de modérer le prix de vente (6,25%) en tenant compte de revenu mensuel précaire des ménages...

4.2 ASPECTS RELATIFS AUX ANALYSES BACTERIOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU DE FORAGES UTILISEES PAR LES MENAGES A IDIOFA

Dans cette partie de l'étude, nous avons analysé au laboratoire quatre échantillons des eaux de forages. du point de vue microbiologique et physico-chimique. Pour la fiabilité de l'analyse, nous avons fait recours aux normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS, 2017). D'après ces normes, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir les coliformes fécaux, les coliformes totaux, et *Escherichia coli*; soit OUF/mL.

4.2.1 TESTS ORGANOLEPTIQUES

Avant de procéder aux analyses physico-chimiques et bactériologiques, l'examen préalable de l'eau a été réalisé, notamment les aspects suivants: la couleur, l'odeur et le goût.

Les propriétés organoleptiques de différents échantillons analysés sont présentées dans le tableau (13).

Tableau 13. Propriétés organoleptiques des échantillons de l'eau

Echantillons d'eau	Couleur	Odeur	Saveur
EK	Incolore	Inodore	Salé
EBA	Incolore	Inodore	Peu salé
EL	Incolore	Inodore	Insipide
EIN	Incolore	Inodore	Salé

4.2.2 ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

4.2.2.1 LES COLIFORMES FÉCAUX

Les résultats relatifs au dénombrement des coliformes fécaux sur le milieu endo-agar sont donnés dans le tableau (14).

Tableau 14. Dénombrement des coliformes fécaux sur le milieu

Echantillons	Milieu	Incubation	Inoculum/ml	Dilution	Volume à diluer/ml	Colonies	UFC/ml
EK2	Endo-agar	44°C	1	100	1	297	29 700 000
EK3	Endo-agar	44°C	1	1000	1	375	375 000 000
EBA2	Endo-agar	44°C	1	100	1	253	25 300 000
EBA3	Endo-agar	44°C	1	1000	1	300	300 000 000
EL2	Endo-agar	44°C	1	100	1	293	29 300 000
EL3	Endo-agar	44°C	1	1000	1	260	260 000 000
EIN2	Endo-agar	44°C	1	100	1	300	30 000 000
EIN3	Endo-agar	44°C	1	1000	1	287	287 000 000
7							

Légende: EK= Echantillon d'eau kimvuidi; EBA= Echantillon d'eau bamboma; EL= Echantillon d'eau luila; EIN=Echantillon inana.

A la lumière de ce tableau, on constate la présence de coliformes fécaux dans tous les échantillons de l'eau consommés à Idiofa. La plus forte densité des coliformes fécaux est observé dans l'échantillon (EK3) soit 375 000 000 bactéries par ml d'eau; la densité moyenne est observé dans l'échantillon (EBA3) soit 300 000 000 bactéries par ml d'eau et la faible densité est observé dans l'échantillon (EBA2) soit 25 300 000 bactéries par ml d'eau, aux dilutions analysés.

4.2.2.2 LES ESCHERICHIA COLI

Les résultats liés au dénombrement d'*Escherichia coli* sont données au tableau (15).

Tableau 15. Dénombrement d'*Escherichia coli*

Echantillons	Milieu	Incubation	Inoculum/ml	Dilution	Volume à diluer/ml	Colonies	UFC/ml
EK2	MAC	37°C	1	100	1	250	25 000 000
EK3	MAC	37°C	1	1000	1	355	355 000 000
EBA2	MAC	37°C	1	100	1	101	10 100 000
EBA3	MAC	37°C	1	1000	1	253	253 000 000
EL2	MAC	37°C	1	100	1	268	26 800 000
EL3	MAC	37°C	1	1000	1	113	113 000 000
EIN2	MAC	37°C	1	100	1	310	31 000 000
EIN3	MAC	37°C	1	1000	1	215	215 000 000

Le tableau 15 montre la présence des *Escherichia coli* dans tous les échantillons de l'eau consommés dans la cité d'Idiofa. La plus forte densité des *E. coli* dans l'échantillon (EK3) soit 355 000 000/ ml d'eau, la densité moyenne est observée dans

l'échantillon (EBA3) soit 253 000 000 bactéries/ml d'eau et la plus faible densité est observée dans l'échantillon (EB2) soit 10 100 000 bactéries /ml d'eau.

4.2.2.3 LES COLIFORMES TOTAUX

Les résultats après recherche et dénombrement des coliformes totaux sur le milieu endo-agar sont présentés dans le tableau (16).

Tableau 16. *Dénombrement des coliformes totaux dans l'eau de forage sur le milieu*

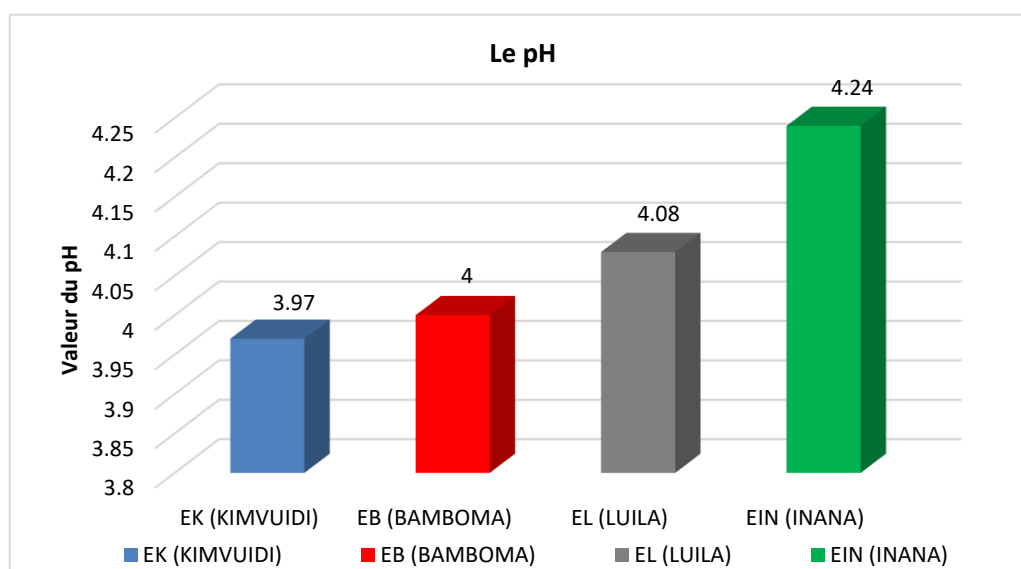
Echantillons	Milieu	Incubation	Inoculum/ml	Dilution	Volume à diluer/ml	Colonies	UFC
EK2	Endo-agar	T° Ambiante	1	100	1	90	9 000 000
EK3	Endo-agar	T° Ambiante	1	1000	1	119	119 000 000
EBA2	Endo-agar	T° Ambiante	1	100	1	151	15 100 000
EBA3	Endo-agar	T° Ambiante	1	1000	1	81	81 000 000
EL2	Endo-agar	T° Ambiante	1	100	1	11	1 100 000
EL3	Endo-agar	T° Ambiante	1	1000	1	198	198 000 000
EIN2	Endo-agar	T° Ambiante	1	100	1	112	11 200 000
EIN3	Endo-agar	T° Ambiante	1	1000	1	89	89 000 000

Le tableau ci-haut montre que les échantillons de l'eau analysés contiennent les coliformes totaux aux dilutions analysées. La densité la plus élevée est observée dans l'échantillon (EL3) soit 198 000 000 bactéries par ml d'eau; la densité moyenne dans l'échantillon (EL3) soit 119 000 000 bactéries par ml et la plus faible densité est observée dans l'échantillon (EL2) soit 1 100 000 bactéries par ml d'eau.

4.2.3 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

4.2.3.1 LE PH

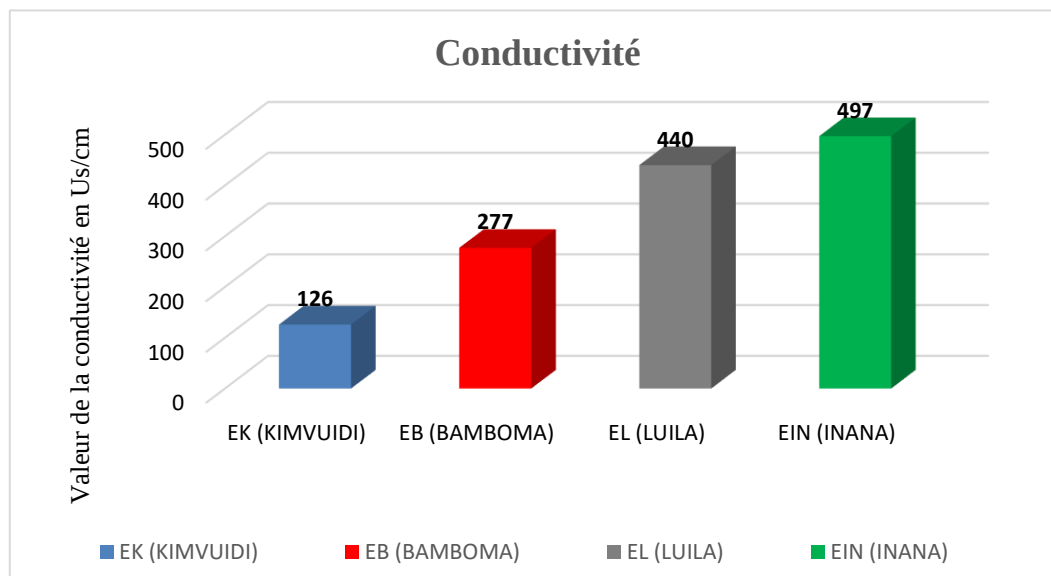
Les résultats de pH de différents échantillons des eaux de forage analysés dans cette étude sont présentés dans la figure (1).



Tous les échantillons analysés présentent un pH acide qui varie entre 3,97 et 4,24.

4.2.3.2 LA CONDUCTIVITÉ

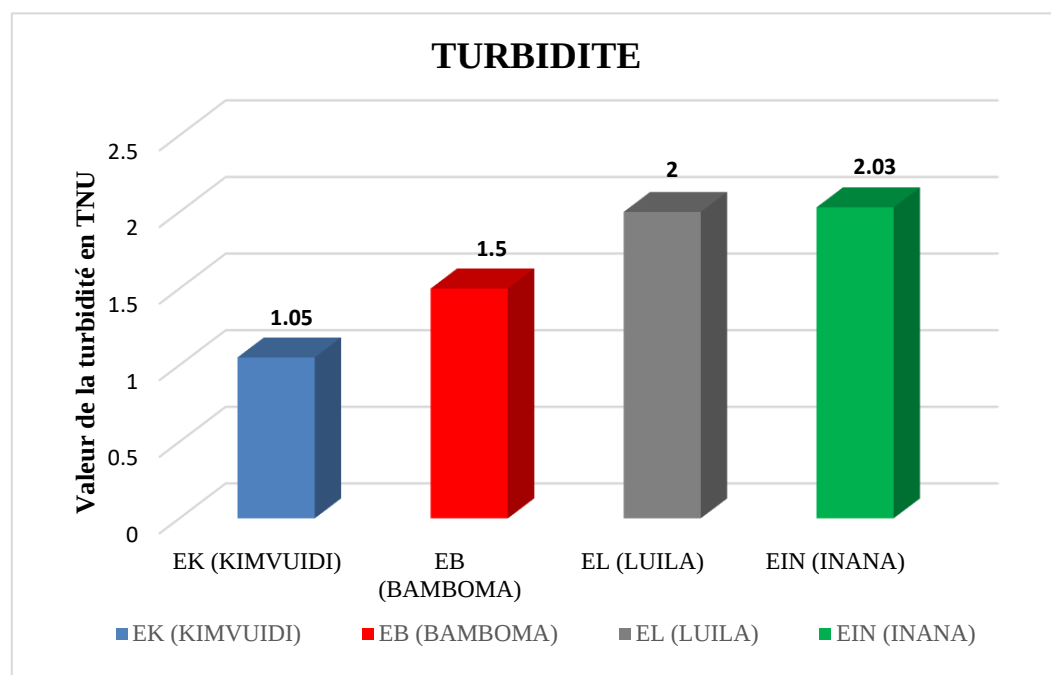
La conductivité de différents échantillons analysés sont présentées dans la figure III.



Il se dégage de cette figure que la conductivité de différents échantillons d'eaux analysés varie de 126Us/cm à 497Us/cm.

4.2.3.3 LA TURBIDITÉ

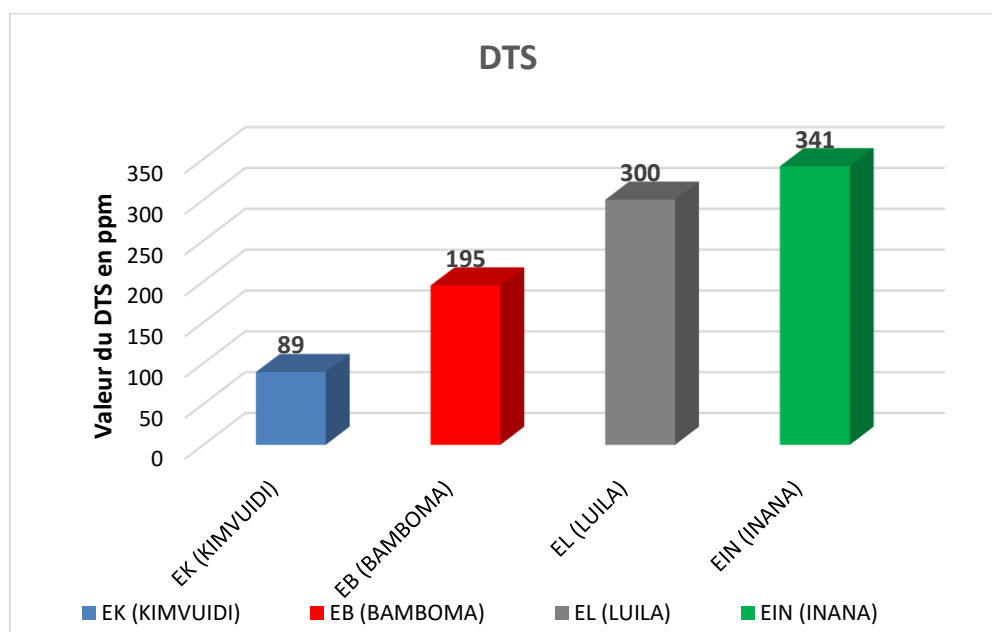
Les résultats liés à la turbidité des échantillons d'eaux analysés sont présentés dans la figure (2).



Tous les échantillons étudiés présentent une turbidité qui varie de 1,05NTU à 2,03NTU.

4.2.3.4 TDS

Les résultats relatifs au TDS de différents échantillons d'eaux analysés sont présentés dans la figure (3).



5 LES EAUX DE FORAGES FACE AUX ENJEUX DU DEVELOPPEMENT DURABLE

5.1 DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le concept du Développement durable a été créé en 1980 par l'Union Internationale de la Conservation pour la Nature (UICN, en sigle). En 1987, le concept est repris par le rapport Brundtland. Selon ce rapport, le Développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs (Fonkoua et Toukam, 2007).

Ce concept prône le bien-être, la bonne gouvernance et la sécurité communautaire durables. Pour Musibono (2009), le Développement durable est un processus multidimensionnel. Pour y accéder, il faut des politiques environnementales, économiques, budgétaires, commerciales, énergétiques, agricoles, industrielles et autres conçues de manière à favoriser un mode de développement économiquement, socialement et écologiquement durable.

Le développement durable est un ensemble de pratiques devant remplacer les conditions de vie précaires par celles jugées bonnes et très efficaces. Par exemple, les femmes du village Muefo, dans le territoire d'Idiofa, dans la province de Bandundu, en cherchant à abandonner les mortiers et les pilons, au profit du moulin, sont conduites par les impératifs du développement durable. Cette technologie leur permet de sécuriser les espèces ligneuses de la forêt de la destruction méchante et de gagner du temps, en dépensant moins d'énergie physique, pour une meilleure performance. En ce sens, le Développement durable est un gain dans la conservation de la nature pour l'utilisation durable des biens et services environnementaux.

De ce point de vue, le Développement durable est un enjeu éthique. Il est un moyen pour conserver les ressources pour le bien-être des générations futures.

5.2 L'EAU DE FORAGES FACE AUX ENJEUX DE DEVELOPPEMENT DURABLE

L'eau occupe une place particulièrement importante dans vie. On la retrouve dans toutes les activités qui rythme notre quotidien: cuisine, toilette, lavages diverses, évacuation des déchets. Elle contribue à plus de propreté et de salubrité. Une eau propre réduit les risques sanitaires et améliore la santé globale.

L'eau joue un rôle essentiel dans le maintien des écosystèmes et de la biodiversité, ainsi que dans l'atténuation des effets du changement climatique.

C'est dans ce cadre que le 6^e objectif de l'OOD vise un accès universel et équitable à l'eau potable à toutes les personnes en particulier, aux personnes vulnérables d'ici 2030.

Cependant, cette invitation de l'Organisation des Nation Unies est loin d'être concrétisée à Idiofa. Les résultats de l'étude attestent que dans cet écosystème, plus de 80% de ménages ont accès difficile à l'eau potable.

La Regideso, la société nationale ayant en charge la distribution d'eau potable ne parvient pas à desservir toute la population suite à la forte croissance démographique et à la vétusté de ses matérielles.

Cette situation est la raison de la prolifération des forages dans la cité d'Idiofa ou la desserte en eau s'avère insuffisante ou inexistante pour contourner à la carence en eau potable.

Cependant, les résiliences des eaux de forages comme des stratégies de survie sont encore précaires dans la cité d'Idiofa, parce que le défi de la sécurité sociale est permanent. Il faut remettre en rail la durabilité environnementale pour enrayer les vulnérabilités environnementales à Idiofa.

Aujourd'hui, un des enjeux principaux auxquels les habitants d'Idiofa font face est le risque de contamination et la dégradation de la qualité de l'eau de forages.

Sur le plan microbiologique, les résultats de nos analyses ont montré une forte population de coliformes totaux dans tous les échantillons d'eaux dont le nombre le plus élevé est de 198 000 000 soit 198.10^6 bactéries par ml.

La présence de ces germes dans les échantillons d'eaux est les signes de contamination environnementale par::

- Ruissellement des eaux de pluie à travers les sols contaminés,
- La présence de biofilms (communautés bactériennes) dans les canalisations,
- La dégradation de la qualité des sources d'eau,
- Insuffisance de désinfection (chloration, UV),

Après avoir comparés les valeurs, les échantillons d'eaux que nous avons analysés ne réponds pas aux normes, en ce qui concerne les coliformes totaux et fécaux.

Les résultats de l'étude ont montré la présence d'*Escherichia coli* et des coliformes fécaux dans tous les échantillons analysés. La présence de ces germes dans l'eau est un signe de contamination fécale ou encore de la présence des germes pathogènes. En effet, selon Sina (1992), *E.coli* est considéré comme un bio indicateur fidèle de *Salmonella*.

- Cette contamination pourrait refléter une mauvaise gestion des excréta ou de fosses septiques, infiltrations d'eaux de surface contaminés et des eaux usées non traitées.
- Défaillance des systèmes d'assainissement (fosses septiques, égouts),
- Déjections animales (élevage, faune sauvage) entraînés par les pluies vers les sources d'eaux
- Rejets des eaux usées non traitées.

Quant aux **paramètres physico-chimiques** mesurés, il se dégage que les valeurs de pH de ces échantillons sont toutes très basses, se situant entre 3,97 et 4,24. Cela signifie que l'eau est fortement acide. L'OMS prévoit une valeur de pH limite de 9 (OMS, 2003). Les valeurs obtenues indiquent que ces échantillons d'eaux ne sont pas conformes aux normes de potabilité en raison de leur acidité élevée. Cette acidité peut signifier la présence de dioxyde de carbone dissous, d'acides organiques ou des polluants industriels mais aussi la nature géologique du sol.

La conductivité déterminée varie de 126Us/cm et 497Us/cm. Les normes (OMS, 2003) prévoit une valeur de la conductivité égale à 210Us/cm; ce qui signifie que ces échantillons d'eau respecte les normes de la conductivité pour l'eau potable.

Pour la turbidité trois échantillons sur quatre soit (EK, EBA, et EL) respectent les normes de l'OMS pour la turbidité de l'eau potable qui doit être inférieure ou égale à 2,5NTU (OMS, 2003). Seule échantillon (EIN) qui ne respecte pas les normes de l'OMS cette turbidité élevée peut indiquer la présence de contaminants microbiens qui peuvent se fixer aux particules en suspension.

Ainsi, face à la précarité de la qualité de l'eau qui vulnérabilise la population d'Idiofa il est aujourd'hui urgent de penser à un développement durable de cet écosystème urbain, afin de le placer sur l'orbite de la durabilité environnementale. La durabilité environnementale est un ensemble de pratiques devant remplacer les conditions précaires par celles jugées bonnes et très efficaces (Agenda 21). Elle vise le bien être communautaire qualitativement et quantitativement en sécurisant également des générations futures.

En effet, la durabilité de l'eau fait recherche à la disponibilité d'une eau propre qui alimente les générations présentes et alimenter les générations futures pour la consommation, les processus agricoles, la biodiversité et tant d'autres services. Les principes d'une gestion durable de l'eau comprennent la conservation, la prévention de la pollution, la réutilisation de l'eau et la protection des écosystèmes.

Dans cette optique, l'éducation environnementale s'avère importante. Elle est un outil indispensable de lutte contre la dégradation de l'environnement et du milieu de vie. Comme l'avait dit Eric Lambin, (2009) Le bonheur écologique est un résultat qui se construit dans la manière des hommes à vivre dans un environnement sain et avoir accès facile à l'eau potable.

D'où, pour améliorer les conditions de vie, pour une durabilité environnementale urbaine dans la cité d'Idiofa, l'étude recommande ce que suit:

- **Au niveau politique:**

L'Etat doit veiller: à la restauration de son autorité dans l'administration de la cité d'Idiofa, afin de lui permettre de jouer son rôle de premier partenaire du développement durable. La crise environnementale qui vulnérabilise le peuple congolais en particulier, les habitants d'Idiofa provient de la mauvaise gouvernance, et de l'absence d'une politique de protection sociale. D'où, il faudrait restaurer un état de droit susceptible de mettre en place des institutions justes, pour une protection sociale réelle et efficace de la population ou des communautés locales urbaines.

En effet, la décentralisation c'est un moyen pour que la population se saisisse des questions sociales à la base tout en assumant convenablement son rôle d'acteur de développement humain durable. La décentralisation pourrait servir au renforcement de l'autonomie et à la pratique de gestion de proximité. Par cette dernière, il est possible de voir et d'agir directement sur le problème de précarité: abri décent, sécurité alimentaire, sanitaire, éducationnelle, adduction d'eau potable, réhabilitation des infrastructures, etc.

- **Modernisation des infrastructures de la Régideso:**

Dans la cité d'Idiofa, il s'observe depuis quelques décennies, l'acense de la société publique de la distribution de l'eau potable (Régideso) suite à la mauvaise foi et l'incapacité du gouvernement congolais. Aujourd'hui, avec une croissance démographique continue, il est crucial de placer et moderniser les infrastructures (usines de traitement d'eau, réseaux de distribution) pour garantir une meilleure qualité de l'eau et une couverture plus étendue dans la cité d'Idiofa.

Investissement dans des technologies innovantes

Pour répondre à la demande en eau potable dans la cité d'Idiofa, l'une des stratégies est à mettre en place des solutions adaptées comme les filtres à sable, les stations de purification communautaires ou des systèmes scolaires pour la désinfection de l'eau, organiser la collecte et gestion des eaux de pluie.

Soutien financier et partenariat public-privé:

Une autre solution est de renforcer les investissements publics et privés: Mobiliser des fonds publics et privés pour soutenir la construction des infrastructures et la gestion des services d'eau potable.

Encourager le développement de partenariat avec des ONG et collaborer avec des institutions Internationales: pour obtenir du financement et de l'expertise technique afin d'améliorer la gestion de l'eau.

- **Mise en place de systèmes de gestion participative:**

Il s'agit ici de l'Implication des communautés locales: Encourager la participation des habitants dans la gestion et la surveillance de l'approvisionnement en eau pour renforcer l'appropriation locale du service et favoriser la maintenance des infrastructures.

La création de comités locaux de gestion de l'eau: Ces comités, en partenariat avec les autorités locales et les opérateurs privés, pourraient superviser la gestion de l'eau et sensibiliser la population à la conservation de cette ressource.

- **Éducation et sensibilisation à l'hygiène et à la gestion de l'eau:**

Confronté à l'accès difficile à l'eau potable, l'une des questions qui devrait poser « qu'est-ce que l'on fait » ? Par cette question, l'on comprend que l'enjeu la crise est entièrement éthique.

Il faut que les habitants d'Idiofa comprennent qu'ils sont responsables de leur environnement et qu'ils ne doivent pas le considérer comme une fatalité. Il s'agit de promouvoir une prise de conscience conventionnelle qui peut être mise en œuvre par une bonne éducation environnementale. En d'autres termes, il faut une révolution culturelle, individuelle et collective, grâce à la culture verte.

L'on doit par exemple, organiser des programmes de sensibilisation pour éduquer la population sur la conservation de l'eau, les bonnes pratiques d'hygiène, et la gestion des ressources en eau potable.

Organiser la formation continue des acteurs locaux: former les gestionnaires des ressources en eau, les opérateurs privés, et les responsables municipaux sur les bonnes pratiques de gestion et d'entretien des infrastructures d'eau.

Toutes les pistes et propositions susmentionnées sont des solutions susceptibles d'amener les habitants de la cité d'Idiofa d'améliorer durablement la production et la commercialisation de l'eau potable, en assurant à la fois la qualité et l'accessibilité de cette ressource pour toutes les populations.

6 CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude avait comme problématique « l'eau de forages à Idiofa: une résilience socio-environnementale salubre et suicidaire ».

En effet, si boire un verre d'eau, ouvrir un robinet et prendre un bain dans une douche sont des gestes du quotidien, ceci n'est pas le cas pour les habitants de la cité d'Idiofa. La population d'Idiofa a d'énormes difficultés pour avoir accès à l'eau potable (80%, avis de sujets enquêtés). A la place de l'eau potable de la régideso, les ménages recourent à d'autres sources d'approvisionnement/: forage, puits, sources, l'eau de pluie, etc.

Ces eaux non traitées et non sécurisées sont sources de plusieurs maladies hydriques: dysenterie amibienne, bilharziose, cholera, fièvre typhoïde, etc.

Les causes principales de la pénurie de l'eau dans la cité d'Idiofa sont: l'irresponsabilité et la démission de l'Etat congolais (76,87%) ainsi que le nombre très réduit de forages dans le quartier (16,25%).

Les conséquences dues à la pénurie d'eau sont multiples, en outre : risques sanitaires (15,5%); impact sur le budget familial (52,5%), impact sur l'hygiène sanitaire (35%).

Les résultats de l'étude traités statistiquement, et analysés au laboratoire ont proposé des réponses adéquates.; Les pistes et propositions susmentionnées sont des solutions susceptibles d'amener les habitants de la cité d'Idiofa à vivre dans un environnement durable et à consommer l'eau de bonne qualité.

REFERENCES

- [1] isimwa, S. (2015), la gestion de l'eau potable en République Démocratique du Congo: Problèmes et enjeux, Kinshasa.
- [2] IKOLO, P (2019), Problématiques liées à l'approvisionnement en eau potable à Matadi: Approche intégrée de gestion durable, Université de Lubumbashi (UNILU), Faculté des Sciences Agronomiques.
- [3] Lumbala, P. M. (2019) - l'eau potable en République Démocratique du Congo: Défis de la production et de la distribution, édition de l'Harmattan, Paris.
- [4] Kambala, A. M. (2014) l'accès à l'eau potable en milieu urbain et rural en RDC: Une analyse des politiques publiques, Kinshasa.
- [5] Kabangu, J. (2012) - la gestion durable.
- [6] de l'eau potable en RDC: Vers une approche participative pour la sécurité de l'eau: édition saint Paul Afrique, Kinshasa.
- [7] Ministère de la santé (2011), rapport sur eau, hygiène et assainissement à Kinshasa, Kinshasa.
- [8] MUNKUAMO GONZALEZE (2022), Notions d'environnement, GSE, UPN, Kinshasa.
- [9] NIENIE ALEXIS (2022), Gestion des ressources urbaines, GSEUPN Kinshasa.
- [10] NKIALA, S. (2017), la gestion de l'eau potable en RDC: Étude de cas sur la commune de Lukolela à Kikwit», Université Protestante au Congo (UPC), Faculté des Sciences et Techniques, Kinshasa.
- [11] NSWALA, A. (2018), les impacts socio-économiques de la commercialisation de l'eau potable: cas de la commune de Lukolela», Université de Kikwit (UK) Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Kikwit.
- [12] Ngunga, J. A. (2017) - «L'impact de la privatisation des services d'eau potable en RDC: Études de cas de Kinshasa et Lubumbashi»; Lubumbashi.

Etude comparative de précédents culturels de soja (*Glycine max* L.) et de haricot (*Phaseolus vulgaris*) sur les populations de macroinvertébrés et quelques propriétés chimiques d'un sol agricole dans la localité de Karamokola, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire

[Comparative study of soybean (*Glycine max* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris*) crop precedents on macroinvertebrate populations and certain chemical properties of agricultural soil in the Karamokola area, central-western Côte d'Ivoire]

N'Dakou Koua Ambroise¹, Guéi Arnautth Martinez¹, N'Ganzoua Kouamé René¹, Touré Bessimory², Zro Bi Gohi Ferdinand¹, Soro Dogniméton¹, and Bakayoko Sidiky¹

¹Département d'Agropédologie UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Département de pédologie UFR Sciences de la Terre et des ressources minières, Université Alassane Ouattara Bouaké 01BP 18 Bouaké 01, 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: In response to the continuing decline in the fertility of tropical agricultural soils, the use of grain legumes has been developed as an alternative form of organic fertilization, as it integrates the conservation and sustainable management of biodiversity. The present study, conducted in the Karamokola area in central-western Côte d'Ivoire, falls within this framework and aims to compare the effect of two legume crops (soybean: *Glycine max* and bean: *Phaseolus vulgaris*) on soil macroinvertebrates. To this end, an experimental design consisting of four randomized blocks comparing four treatments (beans, soybeans, beans and soybeans, and a control) was set up on two fallow plots that were more than five years old. The results showed that the plots with a previous monoculture of beans and a previous mixed crop (beans and soybeans) harbored 15 taxonomic groups, compared to 10 groups for the control. In addition, there was a greater abundance of macroinvertebrates, with 675.75 individuals per m² (previous bean monoculture) and 653.25 individuals per m² (previous bean-soybean intercropping). Furthermore, soybean monoculture hosted an intermediate abundance of macroinvertebrates of 156.12 individuals per square meter. In addition, bean monoculture significantly improved ($p < 0.05$) the organic matter content (OM = 1.82%), carbon (C = 1.06%), and nitrogen (N = 0.09%) content of the soil compared to the other treatments (soybean monoculture and bean-soybean combination), which recorded statistically identical values (OM = 1.00% soybean and 1.17% bean-soybean); C = 0.58% soybean and 0.68% bean-soybean; N = 0.05% soybean and 0.06% bean-soybean). The positive correlations ($r \geq 0.85$) between soil organic status and macroinvertebrate density, taxonomic richness, and Shannon diversity index suggest a synergistic relationship between these two compartments (soil organic status and density). The mechanisms governing the increases in abundance and diversity under the bean and bean-soybean treatments are discussed, and we recommend that farmers grow beans or bean-soybeans before planting any other crops in the Karamokola area of Béré in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: Leguminous seeds, macroinvertebrates, organic matter, taxonomic richness, and Shannon diversity index.

RESUME: Face à la baisse continue de la qualité des sols agricoles tropicaux en fertilité, l'usage des légumineuses à graines a été développé comme une alternative de fertilisation organique car intégrant la conservation et la gestion durable de la biodiversité. La présente étude réalisée dans la localité de Karamokola au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire s'inscrit dans ce cadre et se veut de comparer l'effet de deux cultures de légumineuses (le soja: *Glycine max* et le haricot: *Phaseolus vulgaris*) sur les macroinvertébrés du sol. Pour ce faire, un dispositif expérimental de 4 blocs randomisés comparant quatre traitements (haricot, soja, haricot-soja et un témoin) a été installé dans deux parcelles de jachère âgées de plus de 5 ans. Les résultats ont montré que les parcelles à précédent monoculture haricot et à précédent cultural associé (haricot et soja) ont abrité 15 groupes taxonomiques contre 10 groupes pour le témoin. En outre, on a eu une abondance

plus importante de macroinvertébrés de l'ordre de 675,75 individus.m⁻² (précédant monoculture haricot) et 653,25 individus.m⁻² (précédent cultural associé haricot-soja). Par ailleurs, le soja en monoculture a hébergé une abondance de macroinvertébrés intermédiaire de 156,12 individus.m⁻². En outre, la monoculture du haricot a significativement amélioré ($p < 0,05$) la teneur en matière organique (MO = 1,82%), en carbone (C = 1,06%) et en azote (N = 0,09%) du sol les plus élevées comparativement aux autres traitements (monoculture de soja et association haricot-soja) qui ont enregistré des valeurs statistiquement identiques (MO = 1,00% soja et 1,17% haricot-soja; C = 0,58% soja et 0,68 haricot-soja; N = 0,05% soja et 0,06% haricot-soja). Les corrélations positives ($r \geq 0,85$) entre le statut organique du sol et la densité, la richesse taxonomique et l'indice de diversité de Shannon des macroinvertébrés suggèrent de l'existence d'une relation synergétique entre ces deux compartiments (lesquels le statut organique du sol et la densité). Les mécanismes régissant les augmentations d'abondance et de diversité sous les traitements haricot et haricot-soja sont discutés et nous recommandons aux producteurs les précédents culturaux haricot ou haricot-soja avant mise en place de toutes sortes de culture dans la zone de Karamokola dans le Béré en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Légumineuses à graines, macroinvertébrés, matière organique, richesse taxonomique et indice de diversité de Shannon.

1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire est un pays essentiellement agricole qui concentre une superficie agricole de 200 350 km² sur une superficie totale du territoire de 322 463 km² [1]; soit plus de 60% de la superficie totale. Cette pression agricole sur les terres arables provoque une dégradation importante de la ressource sol. En effet, la jachère qui était autrefois le moyen traditionnel de restauration de la fertilité des sols, devient de moins en moins pratiquée, à cause de la forte demande en terres cultivables [2]. La jachère de longue durée a tendance à disparaître au profit d'une jachère de courte durée, ce qui ne permet pas une meilleure restauration de la fertilité des sols agricoles [2], [3].

L'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture pour inverser cette tendance à la dégradation de la fertilité des sols est souvent citée comme une alternative [4]. En effet, les légumineuses peuvent ainsi être utilisées comme des solutions durables à intégrer dans le système de culture car combinant des agents fixateurs d'azote et assurant le recyclage de la matière organique [5], [6]. Plusieurs études ont démontré l'importance des légumineuses dans l'amélioration des physico-chimiques et biologique des sols [7], [5], [6], [8]. Celles-ci permettent en effet d'augmenter l'abondance et la diversité de la pédofaune, et d'assurer le bon fonctionnement du sol [9], [10].

La macrofaune du sol qui renferme tous les organismes de la pédofaune dont la taille est supérieure à 2 mm [11], décompose la litière, assure son ingestion et son mélange avec les particules du sol [11]. Elle contrôle également les communautés et activités microbiennes [12], affectant ainsi le taux de décomposition de la litière et la minéralisation des nutriments dans le sol [13]. Toutefois, les mécanismes qui régissent l'amélioration des peuplements de cette faune dans la pédosphère sont peu documentés, alors qu'une meilleure compréhension de ces actions pourrait être nécessaire pour mieux conduire à des stratégies de gestion durable des sols. La présente étude qui a pour objectif général de restaurer la productivité des sols agricoles par l'utilisation des jachères à base de légumineuses à graines. Spécifiquement, il s'agit d'une part de déterminer les effets des précédents culturaux de soja (*Glycine max*) et de haricot (*Phaseolus vulgaris*) sur l'abondance et la diversité des macroinvertébrés, et d'autre part d'établir le lien entre la matière organique du sol et ces paramètres de peuplement des macroinvertébrés.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée dans la localité de Karamokola, dans le département de Mankono, au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Cette localité est à une altitude moyenne de 390 m, et délimitée par une latitude de 8°7'22 Nord et une longitude de 6°10'4 Ouest. Le climat est de type soudanien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1000 mm et une température moyenne annuelle est de 26,1°C [13]. La saison pluvieuse est oppressante et nuageuse dans l'ensemble alors que la saison sèche est humide et partiellement nuageuse. Le sol est généralement de la classe des dystric Ferralsols [14], [15], [16]. C'est une zone de production traditionnelle de manioc [17].

2.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

2.2.1 LÉGUMINEUSES UTILISÉES

Le soja vert (*Glycine max* L.) variété haricot mungo et le haricot (*Phaseolus vulgaris*) variété écosses aux grains blancs et aux yeux noirs ont été utilisés comme matériel végétal dans cette expérimentation (Figure 1). Ils proviennent de la collection des semences vulgarisées

par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké. Ce sont des variétés à cycles physiologiques courts respectivement de 3-4 mois avec un rendement moyen de 1,2 -2 t/ha pour le soja et de 1,5 à 2 t/ha pour le haricot [18]. Ces variétés ont été choisies pour leur performance agronomique, leur capacité à restaurer le sol et surtout leur saveur gustative fortement appréciée par la population.



Fig. 1. Légumineuses utilisées

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Les essais ont été réalisés sur deux cycles de cultures de légumineuses de combien de 90 jours en 2022 sur deux jachères de plus 2 ans. Le premier cycle (90 jours) a eu lieu dans le courant avril-juin 2002 et le second cycle (90 jours) d'août à octobre de la même année 2022. Sur chaque parcelle de jachère, un dispositif expérimental de 4 blocs (26 m x 38 m) comportant chacun 4 traitements randomisés a été mis en place (Figure 2). Chaque bloc d'une longueur de 38 m comprenait trois traitements tests ou parcelles élémentaires de 12 m² (4 m x 3 m) de monoculture haricot (MonoH), monoculture soja (MonoS) et de cultures associées haricot-soja (AssHS) comparés à un traitement (T) témoin sans légumineuses. Ainsi, on a :

- MonoH: Sol à monoculture haricot;
- MonoS: Sol à monoculture soja;
- AssHS: Sol à association de culture haricot-soja;
- Tém: Sol témoin sans légumineuse.

Les trois traitements tests ont été cultivés de légumineuses sur deux cycles de 90 jours soit 3 mois chacun, en raison de deux pseudo-réplicats par bloc. A la fin de chaque cycle, les prélèvements n'ont concerné que les gousses de soja et d'haricot sont récoltés pour la consommation et la biomasse (pied et feuillage) est déterrée et laissée sur place pour être décomposée sur les différents traitements pour le cycle suivant.

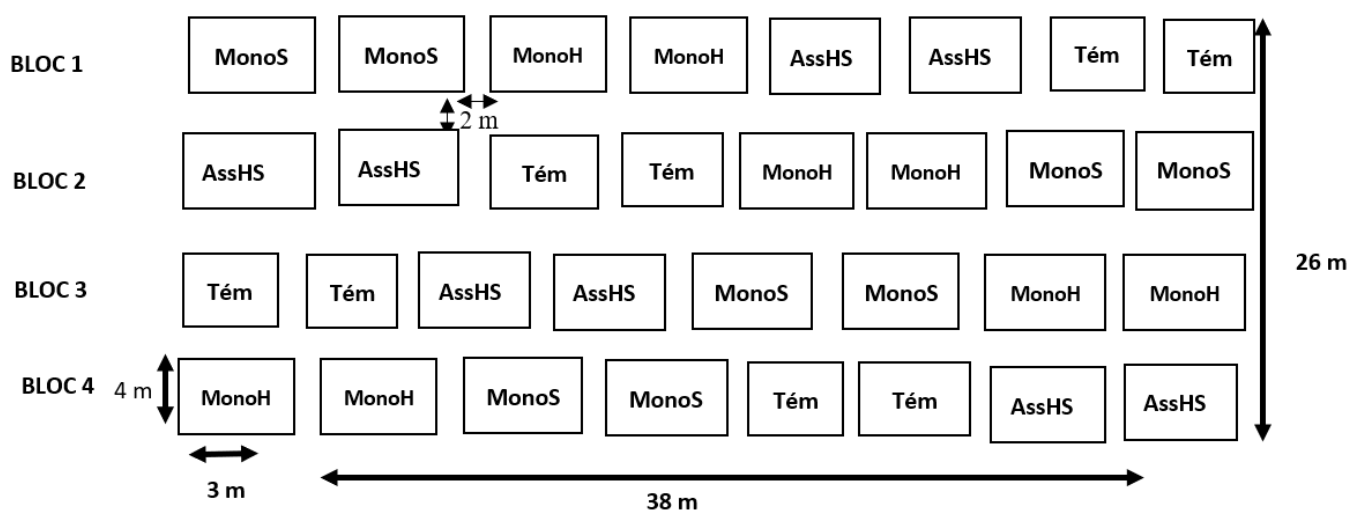


Fig. 2. Dispositif expérimental

2.4 ECHANTILLONNAGE DES MACROINVERTÉBRÉS DU SOL

Les macroinvertébrés du sol étudié ont concerné tous les invertébrés du sol dont la taille est comprise entre 4 et 80 mm. Ils regroupent trois taxons à savoir, les vers de terre, les termites et les fourmis désignés sous l'appellation « ingénieurs de l'écosystème » à cause de leur intense activité sur la structure du sol, la création d'habitats pour les autres organismes du sol, la régulation de la distribution spatiale de la matière organique et le transfert de l'eau [19]. Les peuplements de macroinvertébrés ont été échantillonnés dans 32 pseudo répliquats ou sous parcelle, répartis entre les quatre traitements (MonoH; MonoS, AssHS et Tém). Un cadre métallique de 50 cm de côté a servi à matérialiser l'emplacement du monolithe de sol. La litière délimitée par le cadre métallique est prélevée dans les seaux et triée dans l'objectif d'y récolter la macrofaune litércole. Deux monolithes de dimension 50 x 50 x 30 cm et opposés par la diagonale sont ainsi isolés par sous parcelle. L'échantillon de sol issu de chaque monolithe est trié manuellement pour en extraire tous les organismes visibles à l'œil. Les invertébrés prélevés sont conservés dans de l'alcool à 70° puis transportés au laboratoire pour être identifiés suivant 15 principales unités taxonomiques: Vers de terre, Fourmis, Termites, Coléoptères, Diptères, Orthoptères, Hétéroptères, Hémiptères, Larves de coléoptères, Larves de diptères, Araignée, Diplopodes, Chilopodes, Gastéropodes, Dermaptères [20]. Après identification et comptage des individus par groupes taxonomiques, la moyenne des 4 monolithes a été préalablement calculée dans chaque bloc, puis un regroupement par traitement a été réalisé.

2.5 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DU STATUT ORGANIQUE DU SOL

Trente et deux échantillons composites de sol ont été prélevés à la tarière sur les deux parcelles, à raison de seize échantillons par parcelle. Dans chaque traitement ou sous parcelle, le sol a été échantillonné dans la couche arable à la profondeur 0-40 cm. Après séchage et tamisage, les échantillons ont été envoyés au laboratoire pour les analyses qui ont porté sur le taux du carbone organique par la méthode de [21] et la matière organique par la formule $MO = C \times 1,72$, sur le taux de l'azote total déterminé par la digestion à l'acide sulfurique de la méthode Kjeldahl [22] et le rapport carbone organique et l'azote.

2.6 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

L'analyse des données a été faite à l'aide de méthodes statistiques descriptives et d'analyses

de variance. Les différentes moyennes ont été comparées à travers une analyse de variance (ANOVA) à un facteur. Lorsqu'une différence est observée, le test post Anova LSD de Fischer au seuil de probabilité de 5% est utilisée pour les groupes homogènes. Les relations entre la matière organique du sol et les paramètres de peuplement des macroinvertébrés ont été établies à travers le coefficient de Bravais Pearson au seuil de 5%. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R version 4.2.1.

3 RÉSULTATS

3.1 DIVERSITÉ TAXONOMIQUE DES MACROINVERTÉBRÉS

Le peuplement des macroinvertébrés à l'échelle de la parcelle d'étude est riche de 15 groupes taxonomiques (Tableau 1). Le traitement témoin héberge 10 taxons. Cinq (5) taxons à savoir les diptères, les hétéroptères, les hémiptères, les araignées et les gastéropodes n'ont pas été observés sur le témoin. A l'exception du témoin, les trois autres traitements à précédents culturels monoculture haricot, monoculture soja et association haricot-soja abritent tous les 15 groupes taxonomiques de macroinvertébrés.

Tableau 1. Occurrence des groupes taxonomiques (1: présence; 0: absence)

Taxons	Traitements			
	Culture Témoin	Monoculture Haricot	Monoculture Soja	Association Haricot-Soja
Vers de terre	1	1	1	1
Fourmis	1	1	1	1
Termites	1	1	1	1
Coléoptères	1	1	1	1
Diptères	0	1	1	1
Orthoptères	1	1	1	1
Hétéroptères	0	1	1	1
Hémiptères	0	1	1	1
Araignées	0	1	1	1
Diplopodes	1	1	1	1

Chilopodes	1	1	1	1
Gastéropodes	0	1	1	1
Dermaptères	1	1	1	1
Larves de coléoptères	1	1	1	1
Larves de diptères	1	1	1	1
Total	10	15	15	15

La richesse taxonomique des macroinvertébrés augmente de manière significative (Anova 1, $P < 0,05$) sous les traitements monoculture haricot et association haricot-soja (Tableau 2). Les traitements témoin ($10 \pm 0,61$ taxons.m⁻²) et monoculture soja ($9 \pm 0,49$ taxons.m⁻²) présentent les plus petits nombres de taxons, alors que les parcelles à précédents culturaux monoculture haricot et association haricot-soja offrent la plus grande richesse taxonomique. Par contre, les peuplements sont plus diversifiés sous les trois parcelles cultivées aux légumineuses. Le témoin avec un indice de Shannon de l'ordre de $1,36 \pm 0,14$, héberge le peuplement de macroinvertébrés le moins diversifié. Toutefois, il y a une grande tendance à la répartition équitable des individus entre les taxons dans la parcelle associant le haricot et le soja ($0,60 \pm 0,01$).

Tableau 2. Paramètres de diversité des peuplements de macroinvertébrés

Traitements	Richesse taxonomique	Indice de Shannon	Equitabilité
Culture Témoin	$10 \pm 0,61b$	$1,36 \pm 0,14b$	$0,45 \pm 0,09d$
Monoculture Haricot	$13,38 \pm 0,86a$	$1,90 \pm 0,17a$	$0,51 \pm 0,04b$
Monoculture Soja	$9 \pm 0,49b$	$1,77 \pm 0,22a$	$0,50 \pm 0,06b$
Association Haricot-Soja	$11,50 \pm 0,44a$	$1,8 \pm 0,22a$	$0,57 \pm 0,07a$
Anova 1, P	0,0145	$< 0,0001$	$< 0,0001$

Les chiffres en colonnes suivis par la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5%.

3.2 ABONDANCE DES MACROINVERTÉBRÉS

La densité globale des différents groupes taxonomiques augmente de manière significative (Anova 1, $p = 0,014$) du témoin aux traitements à précédents culturaux monoculture haricot, monoculture soja et association haricot-soja. Les plus fortes densités ont été récoltées sous les traitements monoculture haricot ($675,75 \pm 100,12$ Ind.m⁻²) et association haricot-soja ($653,25 \pm 116,76$ Ind.m⁻²). Le traitement à précédent cultural monosoja riche de $156,12 \pm 35,18$ Ind.m⁻² présente une densité intermédiaire tandis que le témoin ($30,12 \pm 8,33$ Ind.m⁻²) héberge la faible densité taxonomique (Figure 3).

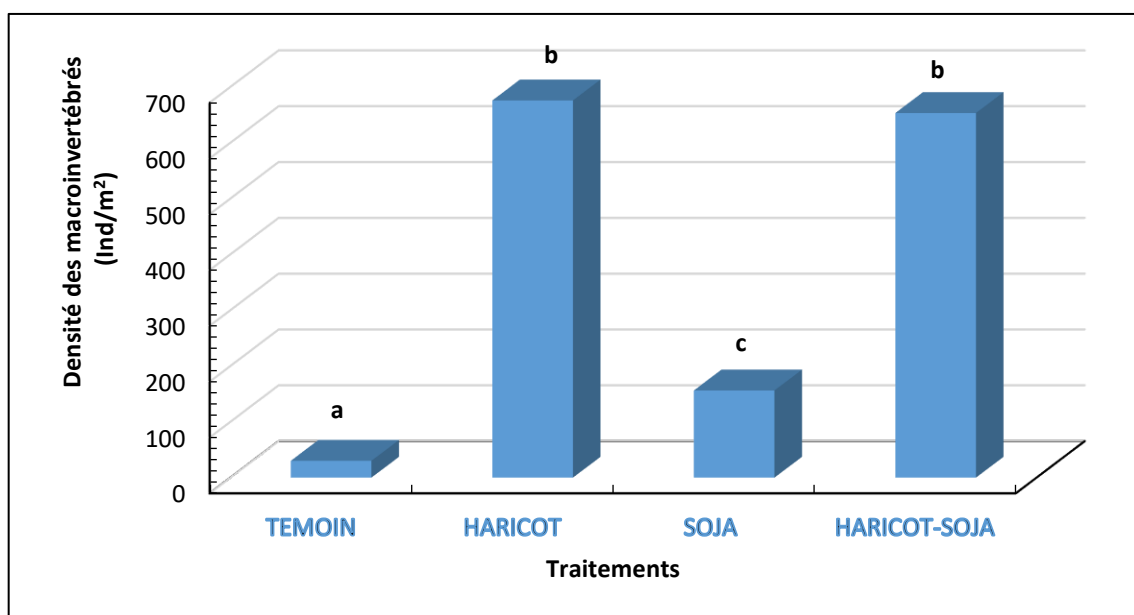


Fig. 3. Densité globale des macroinvertébrés

La densité des groupes taxonomiques pris individuellement varie de manière significative (Anova 1, $P < 0,001$) sous les quatre traitements (Tableau 3). Les vers de terre, les termites, les coléoptères et leur larve, les diplopodes, et les dermaptères sont plus abondants sur les traitements à précédents culturaux haricot et haricot-soja. Pourtant sous haricot uniquement, ce sont les fourmis, les diptères et leur larve, les orthoptères, les hétéroptères, les araignées, les chilopodes et les gastéropodes qui dominent la densité globale. Des valeurs intermédiaires de densité des taxons s'observent en général sous le traitement soja, tandis que les plus faibles valeurs sont issues du témoin.

3.3 RELATIONS ENTRE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL ET LES PARAMETRES DE PEUPLEMENT DES MACROINVERTEBRES

La matière organique (MO), le carbone organique et l'azote total varient de manière significative (Anova 1, $P < 0,01$) entre les 4 traitements (Tableau 4). Les teneurs sont plus importantes sur la parcelle à précédent cultural haricot (MO = $1,82 \pm 0,14$; C: $1,06 \pm 0,15$; N: $0,09 \pm 0,01$) alors que sur le témoin, les plus faibles valeurs sont observées (Tableau 3). Les parcelles monoculture soja et association haricot-soja présentent des teneurs intermédiaires. Contrairement à la MO, C et N, le ratio C/N ne varie pas significativement d'un traitement à un autre. Toutefois, les valeurs de C/N des 3 traitements tests de légumineuses sont dans l'ordre de 11 alors que le sol du témoin a un ratio C/N de 12.

Tableau 3. Densités relatives (Ind.m^{-2}) des différents groupes taxonomiques de macroinvertébrés

Traitements	Vdt	Four	Ter	Col	Dipt	Orth	Hét	Hémi	Lcol	Ldipt	Arai	Dipl	Chilo	Gast	Derm
Tém	6,62c	15,87d	2,62b	0,5b	0c	0,25d	0±d	0c	0,5c	0,87c	0b	0,5b	0,25c	0d	0,25c
MonoH	36,12a	283,6a	290a	7,12a	1,5a	4a	2,75a	1,37a	6,75a	5,5a	0,5a	16,75a	6a	11a	2,75a
MonoS	17,62b	82,25c	43b	1,5b	0,75b	0,87c	1c	0,25b	2,75b	1c	0,12b	1,25b	2,5b	0,37c	0,87b
AssHS	32,75a	263,6b	313,75a	6,25a	0,62b	1,37b	1,25b	0,37b	6,25a	2,5b	0,37b	12,37a	4,37a	6,25b	2,75a
Moyennes	22,86	131,81	159,41	3,34	0,70	1,32	1,02	0,32	4,00	2,37	0,80	6,46	2,92	3,84	1,66
CV	12,26	50,82	46,23	71,64	56,90	52,21	89,06	70,16	15,33	51,15	141,49	68,91	65,90	51,56	32,32
Pr > F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Les chiffres en colonnes suivis par la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5%

Tém: Culture Témoin; MonoH: Monoculture Haricot; MonoS: Monoculture Soja; AssHS: Haricot-Soja; Vdt: Vers de terre; Four: Fourmis; Ter: Termites; Col: Coléoptères; Dipt: Diptères; Orth: Orthoptères; Hét: Hétéroptères; Hémi: Hémiptères; Lcol: Larves de coléoptères; Ldipt: Larves de diptères; Arai: Araignées; Dipl: Diplopodes; Chilo: Chilopodes; Gast: Gastéropodes; Derm: Dermaptères; CV: Coefficient de variation

Le corrélogramme ci-dessous décrit les corrélations entre les paramètres biotiques des peuplements des macroinvertébrés et le statut organique du sol des parcelles (Figure 4). La densité globale du macrofaune, la richesse taxonomique et l'indice de diversité de Shannon ont une corrélation significative ($r \geq 0,85$) avec la matière organique, le carbone organique et l'azote total. Cependant, la distribution équitable des effectifs dans les différents taxons est inversement liée à la matière organique du sol. La matière organique, le carbone et l'azote total affichent des coefficients de corrélation de l'ordre de -0,99; -0,86 et -0,88 respectivement.

Tableau 4. Matières organiques des sols des différents traitements

Traitements	MO (%)	C (%)	N (%)	C/N
Témoin	$0,4 \pm 0,07b$	$0,24 \pm 0,02b$	$0,02 \pm 0b$	$12 \pm 1a$
Haricot	$1,2 \pm 0,14c$	$1,06 \pm 0,15c$	$0,09 \pm 0,01c$	$11,78 \pm 1a$
Soja	$1,00 \pm 0,15a$	$0,58 \pm 0,03a$	$0,05 \pm 0a$	$11,60 \pm 1a$
Haricot-Soja	$1,17 \pm 0,16a$	$0,68 \pm 0,09a$	$0,06 \pm 0,01a$	$11,33 \pm 0a$
Anova 1, P	< 0,01	< 0,001	< 0,001	0,129

Les chiffres en colonnes suivis par la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5%

MO: Matière organique; C: Carbone; N: azote; C/N: Rapport carbone/azote

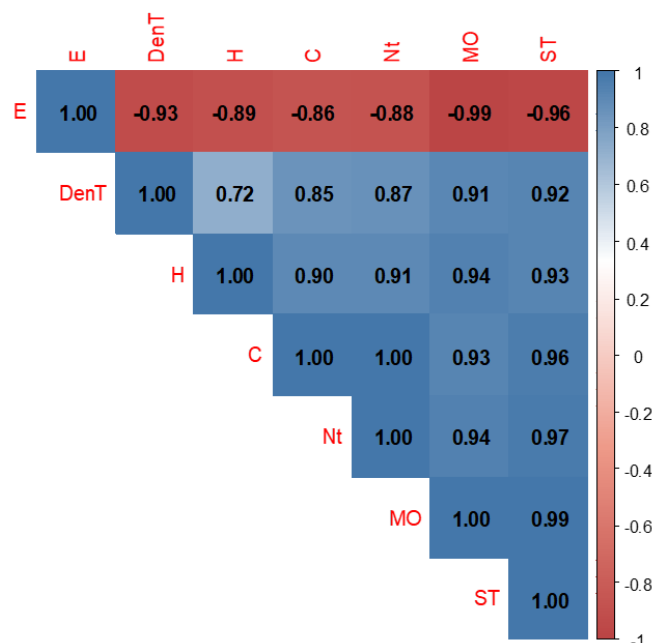


Fig. 4. Corrélogramme de Pearson montrant les relations entre la matière organique et les paramètres de peuplement des macroinvertébrés du sol

DenT: Densité taxonomique; ST: Richesse taxonomique; H: Indice de Shannon; E: Equitabilité; MO: Matière organique; C: Carbone organique; Nt: Azote total.

4 DISCUSSION

La présente étude montre que les deux espèces de légumineuses cultivées mono ou en association améliorent l'abondance et la diversité des macroinvertébrés du sol par comparaison au témoin. L'occurrence des groupes taxonomiques est plus importante sous les traitements à précédents légumineuses (15 taxons) que le témoin (10 taxons), corroborant le rôle des légumineuses dans l'amélioration de la biodiversité du sol [23], [10]. Les peuplements sont plus abondants et riches sur les parcelles cultivées avec du haricot (*Phaseolus vulgaris*) seul et associant le haricot au soja (*Phaseolus vulgaris* - *Glycine max*). Ceci peut être expliqué par un fort apport en matière organique à travers la décomposition des résidus de légumineuses, ce qui favorise l'établissement des organismes détritvires, « ingénieurs de l'écosystème » que sont les vers de terre, les fourmis et les termites [9], [6]. Ces organismes jouent un rôle clé dans le recyclage de la matière organique et la structuration du sol [19]. En effet, les fortes corrélations positives ($r \geq 0,85$) observées entre les paramètres de peuplement que sont la densité globale, la richesse taxonomique et l'indice de diversité de Shannon, et la matière organique, le carbone et l'azote total attestent de l'existence d'un cycle synergétique entre ces deux compartiments: les légumineuses stimulent les populations des macroinvertébrés, qui à leur tour accélèrent la décomposition et la minéralisation de la matière organique et vis versa. Cependant, la diminution de l'indice de répartition des individus dans les taxons ($r \leq -0,86$) avec l'augmentation de la matière organique peut s'expliquer par une compétition exclusive aboutissant à la prédominance des populations de fourmis et termites au détriment des autres taxons sous haricot et haricot-soja. Ce phénomène met en exergue la nécessité d'étudier les interactions interspécifiques entre les différents taxons afin d'optimiser les avantages agroécologiques liés à l'adoption des jachères de légumineuses [4]. Des trois traitements tests à base de légumineuses, le traitement soja montre la plus faible potentialité de restauration de l'abondance; il affiche une densité intermédiaire de la macrofaune de l'ordre de 156,12 ind./m². Cette variabilité pourrait être imputable à la qualité des résidus riches en lignine, ou à des interactions de compétition entre espèces. De plus, les exsudats des racines du soja, c'est-à-dire les composés organiques excrétés par les racines pourraient avoir des effets suppressifs sur les populations de macroinvertébrés [25], pourtant dominantes sous haricot. Les travaux réalisés par [26] ont montré que les substances organiques telles que la génistéine et la daidzéine, bien que bénéfiques pour les cultures, induisent une réduction de la croissance et de la reproduction des individus de l'espèce de vers de terre *Lumbricus terrestris* via des perturbations endocriniennes. Ces substances bioactives agissent essentiellement sur la faune du sol par des mécanismes d'allélopathie incluant des perturbations des cycles biogéochimiques, l'inhibition de l'activité enzymatique et la mobilité [27], [26], [28]. Toutefois, les effets peuvent être modulés par plusieurs facteurs tels que la composition spécifique des exsudats, la concentration, et les interactions avec la communauté microbienne du sol.

5 CONCLUSION

Cette étude met en lumière les potentialités agroécologiques des légumineuses à grains dans la restauration des sols agricoles. Les cultures du haricot (*Phaseolus vulgaris*) et son association avec le soja (*Glycine max*), ont montré une capacité à restaurer l'abondance et la richesse taxonomique des macroinvertébrés du sol, attestant ainsi de l'aptitude des légumineuses comme outil de restauration écologique des sols. De plus, l'existence d'une corrélation positive entre la présence de légumineuses et l'augmentation des teneurs en matière organique, carbone organique et azote total du sol, démontre à plusieurs titres les avantages liés à la culture des légumineuses de couverture. Elles enrichissent le sol à travers la fixation symbiotique d'azote et améliorent l'établissement des populations des macroinvertébrés grâce à l'apport de résidus végétaux. Ces essais ouvrent également des voies de recherches sur les effets à long terme des légumineuses à graines et sur la détermination de meilleures combinaisons d'espèces afin d'optimiser les bénéfices agroécologiques.

REFERENCES

- [1] Airault P. (2000). Côte d'Ivoire, les enjeux agricoles de la II^e république. *Afrique Agriculture*, 28 (287): 1-35.
- [2] Saidou A., Kossou D., Azontonde A. & Hougni D. (2009). Effet de la nature de la jachère sur la colonisation de la culture subséquente par les champignons endomycorhiziens: cas du système jachère manioc sur sols ferrugineux tropicaux du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 (3): 587-597.
- [3] Kaho F., Yemefack M., Feujio-Teguefouet P. & Tchantchouang J. (2011). Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropicultura*, 29: 39-45.
- [4] Meena R.S. & Lal R. (2018). Legumes for soil health and sustainable management. *Springer Nature*. 542p. ISBN 978-981-13-0253-4.
- [5] Gebru H. (2015). A review on the comparative advantages of intercropping to mono-cropping system. *Journal of Biology Agriculture and Healthcare*, 5: 1-13.
- [6] Wezel A., Brives H., Casagrande M., Clément C., Dufour A. & Vandenbroucke P. (2016). Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40 (2): 132-144.
- [7] Matusso J., Mugwe J. & Mucheru-Muna M. (2014). Potential role of cereal-legume intercropping systems in integrated soil fertility management in smallholder farming systems of sub-Saharan Africa. *Journal of Agriculture and Environmental Management*, 3: 162-174.
- [8] Calabi-Floody M., Medina J., Rumpel C., Condrón L.M., Hernandez M., Dumont M. & de la Luz M. (2018). Smart fertilizer as a strategy for sustainable agriculture. *Advances in Agronomy*, 119– 157.
- [9] Turbé A., De Toni A., Benito P., Lavelle P., Ruiz N., Van der Putten W.H., Labouze E. & Mudgal S. (2010). Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment). 250p.
- [10] FAO. (2024). La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2024. Pour une transformation des systèmes agroalimentaires axée sur la valeur. Rome. 191p. <https://doi.org/10.4060/cd2616fr>.
- [11] Centenaro G., Hudek C., Zanella A., Crivellaro A. (2018) Root-soil physical and biotic interactions with a focus on tree root systems: a review. *Applied Soil and Ecology*, 123: 318–327.
- [12] Oyedele O., Hougni D., Hauser S., Schut A., Woittiez S., Rusinamhodzi L., Ogunlade M., Giller K.E. (2025). Macrofauna accelerates nutrient cycling through litterfall in cocoa agroforestry systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 130: 427-443.
- [13] Lavelle P., Decaens T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie F., Mora P. & Rossi J.P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42 (1): 3–15.
- [14] Beaudou A.G., Sayol R. 1980: Etude pédologique de la région de BoundialiKorhogo (Nord de la Côte d'Ivoire); Méthodologie et typologie détaillée (morphologie et caractères analytiques). *Travaux et document de l'ORSTOM n° 112*; 281p.
- [15] Lévêque A., 1980- Les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire: leur différenciation et les principaux caractères déterminant leur fertilité. *Séminaire sur le Potassium, 21 et 22 Octobre 1980, Abidjan/Côte d'Ivoire. IIP*; pp. 5-13.
- [16] Lévêque A., 1991- La signification pédo-agronomique de la macromorphologie des sols. *Cah. Orstom, Sér. Pédol., Vol. XXVI, n°2*; pp.115-130.
- [17] Lévêque A., 1992- La structure des sols ferrallitiques et le cotonnier en Côte d'Ivoire. *Cah. Orstom, sér. Pédo., Vol. XXVII, n°2, 1992*; pp. 347-363.
- [18] ANADER (2017). Fiche technico-économique du manioc réalisée par la Direction d'Appui aux Filières Agricole, 17 p.
- [19] CNRA, 2022. La voix du maraicher. Plantation, récolte et rentabilité. <https://la voix du maraicher.fr>.
- [20] Jones C. G., Lawton J. H. & Shachk M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69: 373 – 386.
- [21] IBOY report (2001). International Biodiversity Observation Year Workshop. Bondy (France).
- [22] Walkey A. & Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sciences*, 34: 29 – 38.

- [23] Anderson J.M. & Ingram J.I.S. (1993) Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. 2nd Edition, C.A.B. International, Wallingford, UK, 221p.
- [24] Lal R. (2015) Sustainable Intensification for Adaptation and Mitigation of Climate Change and Advancement of Food Security in Africa. In: Lal R., Singh B.R., Mwaseba, D.L., Kraybill, D., Hansen, D.O. and Eik, L.O., Eds., Sustainable Intensification to Advance Food Security and Enhance Climate Resilience in Africa, Chapter 1, Springer, Berlin, 3-17. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-09360-4_1.
- [25] Wang S., Li J. & Zhao D. (2017). The impact of policy measures on consumer intention to adopt electric vehicles: Evidence from China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105: 14-26.
- [26] Li Y., Zhao C., Yan C., Mao L., Liu Q., Li Z. & He W. (2020). Effects of agricultural plastic film residues on transportation and distribution of water and nitrate in soil. *Chemosphere*, 242, 125131.
- [27] Gao M., Liu Y. & Song Z. (2019). Effects of polyethylene microplastic on the phytotoxicity of di-n-butyl phthalate in lettuce (*Lactuca sativa* L. var. ramosa Hort). *Chemosphere*, 237, 124482.
- [28] Murali M., Gowtham H.G., Brijesh Singh S., Shilpa N., Aiyaz M., Niranjana S.R., Amruthesh K.N. (2021). Bio-prospecting of ACC deaminase producing Rhizobacteria towards sustainable agriculture: A special emphasis on abiotic stress in plants. *Applied Soil Ecology*, 168: 104142.

Fréquence, caractérisation et sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées des infections urinaires au cours de la grossesse à Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo: Cas des femmes enceintes fréquentant la CPN au Centre Hospitalier SALAMA

[Frequency, characterization and sensitivity to antibiotics of bacteria isolated from urinary infections during pregnancy in Bunia: *Case of pregnant women attending the CPN at the Hospital Center SALAMA*]

KILEKA MANGALA Daniel¹, MUNGUROMO JAKISA Camile², TIBASIMA DHESSA Liévin², MADIRA ADRONGA Raphaël¹, KAMUHANDA BUGASAKI Jacob³, and MIMILYABO SEZABO Pascal¹

¹Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia, Province de l'Ituri, RD Congo

²Chef de Travaux, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia, Province de l'Ituri, RD Congo

³Chef de Travaux, Institut Supérieur Pédagogique de Bunia, Province de l'Ituri, 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 study aimed to determine the frequency, bacterial profile, and antibiotic susceptibility of urinary tract infections among pregnant women attending antenatal care at the SALAMA Hospital Center. A total of 58 pregnant women were included, constituting an exhaustive sample. The prevalence of urinary tract infections was 29.31%. *Escherichia coli* was the most frequently isolated pathogen (35.29%), followed by *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* (17.65% each). *E. coli* showed high susceptibility to levofloxacin (83.33%) and piperacillin (66.67%). *Staphylococcus aureus* was fully susceptible to piperacillin (100%), while *Klebsiella* strains showed 100% susceptibility to levofloxacin.

KEYWORDS: Frequency, characterization, susceptibility, bacteria, urinary tract infection, Bunia.

RESUME: Cette étude avait pour objectif de déterminer la fréquence, le profil bactérien et la sensibilité aux antibiotiques des infections urinaires chez les femmes enceintes fréquentant les consultations prénatales au Centre Hospitalier SALAMA. Un total de 58 femmes enceintes a été inclus, constituant un échantillon exhaustif. La prévalence des infections urinaires était de 29,31 %. *Escherichia coli* était le germe le plus fréquemment isolé (35,29 %), suivi de *Staphylococcus aureus* et de *Klebsiella pneumoniae*, chacun représentant 17,65 % des cas. Les souches d'*E. coli* ont montré une forte sensibilité à la lévofloxacine (83,33 %) et à la pipéracilline (66,67 %). *Staphylococcus aureus* était totalement sensible à la pipéracilline (100 %), tandis que les souches de *Klebsiella* présentaient une sensibilité de 100 % à la lévofloxacine.

MOTS-CLEFS: fréquence, caractérisation, sensibilité, bactérie, infection urinaire, Bunia.

1 INTRODUCTION

Depuis des années, les infections urinaires constituent un vrai problème de santé publique. Elles viennent en deuxième position après les infections respiratoires. C'est l'une des infections les plus rencontrées en pratique de ville comme en milieu hospitalier (ASSIMI, 2019).

L'infection urinaire représente une complication médicale et elle est une pathologie relativement fréquente pendant la grossesse: 5 à 10% suivant les auteurs, soit une multiplication de 2 à 2,5 fois. De nombreuses études montrent que les infections urinaires touchent environ 40 à 50% des femmes dans le décours de leur vie et qu'un tiers des femmes feront l'infection urinaire avant 24 ans (IBRAHIM, 2021).

Dans le monde, 13.000.000 des femmes sont estimées atteintes d'infection uro-génitales chaque année. Les infections urinaires peuvent toucher les reins et causer des avortements, c'est pourquoi le dépistage systématique doit être effectué au cours de la grossesse. Les infections urinaires chez les femmes enceintes méritent une bonne prise en charge. Qu'elles soient symptomatiques ou non, elles doivent être traitées en urgence (OMS, 2018).

En République Démocratique du Congo, dans la province du haut Katanga la fréquence d'infection urinaire chez les femmes enceintes est de 30,2%, elle est fréquemment causée dans la plupart de cas par les bactéries résistantes à l'instar de staphylocoques dorés et *Escherichia coli* [4]. L'examen cytotobactériologiques des urines (ECBU) qui seul permet d'affirmer le diagnostic et de guider le traitement est aussi de loin, l'examen le plus fréquemment demandé dans un laboratoire de microbiologie (RADIA, 2016).

Dans la Province de l'Ituri, en ville de Bunia, les espèces bactériennes les plus isolées dans les infections urinaires chez les femmes enceintes fréquentant la Consultation Prénatale au Centre Hospitalier de Bunia-cité sont *Escherichia coli*, soit 29,41% suivie de *Staphylococcus aureus*, soit 23,53%. Les souches d'*Escherichia coli* sont sensibles à l'amikacine et au ciprofloxacine à 60% et chloramphénicol à 100%. Les souches de *Staphylococcus aureus* étaient sensibles au ciprofloxacine (50,00%), à l'amoxycilline et à la gentamycine (75,00%) (SIFA, 2018).

Les infections urinaires sont fréquentes au cours de la grossesse, mais elles ne sont pas toujours faciles à identifier. Vu les nombreuses complications materno-fœtales de cette pathologie, l'apparition des nouvelles souches bactériennes de plus en plus résistantes aux antibiotiques usuels et l'absence d'étude particulière de cette pathologie chez les femmes enceintes dans la ville de Bunia depuis 2018, nous nous sommes proposé d'étudier la fréquence, caractérisation et sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées des infections urinaires.

2 METHODOLOGIE

La présente étude a été menée au Centre Hospitalier SALAMA de Bunia, Province de l'Ituri en République Démocratique du Congo. La population d'étude était constituée de toutes les femmes enceintes ayant fréquenté la Consultation Prénatale au Centre Hospitalier SALAMA pour l'examen cytotobactériologique de l'urine durant la période de l'étude. Un échantillon exhaustif de 58 femmes a été pris en compte.

Etant du type prospectif, cette étude a été menée grâce à la méthode transversale appuyée par les observations macroscopique et microscopique des urines.

Le diagnostic des infections urinaires repose sur les examens cytotobactériologiques des urines. D'où, les patientes participant à cette étude ont prélevé les urines du milieu du jet dans des flacons stériles avec couvercles en respectant les règles d'asepsie. Ces échantillons d'urines ont été acheminés directement au laboratoire pour les analyses.

L'examen macroscopique a permis de noter les modifications visibles à l'œil nu alors que, grâce à l'examen microscopique, nous avons décelé la présence des éléments tels que les leucocytes, les hématies et les bactéries dans les sédiments urinaires. Les échantillons avec un nombre inférieur à 5 globules blancs par champ microscopique ont été écartés alors que ceux contenant plus de 5 globules blancs par champ microscopique ont été soumis à la coloration de Gram qui a permis de distinguer les bactéries et de faire le choix de milieu de culture. Nous avons obtenu des bacilles Gram négatif et des coques Gram positif.

L'isolement des bacilles Gram négatif a été réalisé sur la gélose de Mac Conkey tandis que les coques Gram positif ont été isolées sur la gélose au sang frais et sur la gélose Chapman. L'identification des espèces a été réalisée par les méthodes classiques faisant appel aux galeries d'identification réduites de Le Minor et aux tests biochimiques.

Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de tableaux et analysés statistiquement par le calcul de l'indice de pourcentage.

3 RESULTATS

Les résultats de la présente étude sont repris dans les tableaux 1, 2 et 3 ci-dessous.

Tableau 1. Résultats des sédiments urinaires

Variables	Résultats positifs		Résultats négatifs		N	Total
	n	%	n	%		
Tranche d'âge						
15-24 ans	8	47,05	9	52,95	17	100,00
25-34 ans	7	34,43	16	69,57	23	100,00
35-44 ans	2	15,38	11	84,62	13	100,00
> 44 ans	0	0	5	100	5	100,00
Parité						
Primipare	7	20	28	80	35	100
Multipare	10	43,48	13	56,52	23	100,00
Age de la grossesse						
1 ^{er} trimestre	3	13,64	19	86,36	22	100
2 ^{ème} trimestre	8	57,14	6	42,86	14	100
3 ^{ème} trimestre	6	27,28	16	72,72	22	100
Total	17	29,31	41	70,69	58	100

Il ressort de ce tableau que 29,31% des enquêtées avaient des infections urinaires. Et cela s'est observé chez les enquêtées âgées de 15 à 24 ans (47,05%), celles qui sont multipares (43,48%) et celles qui ont été au deuxième trimestre de leurs grossesses (57,14%).

Tableau 2. Espèces bactériennes identifiées

Bactéries	Effectif	Pourcentage
<i>Enterococcus</i> sp.	2	11,76
<i>Staphylococcus aureus</i>	3	17,65
<i>Serratia</i> sp.	1	5,88
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	3	17,65
<i>Staphylococcus albus</i>	1	5,88
<i>Escherichia coli</i>	6	35,29
<i>Proteus</i> sp.	1	5,89
Total	17	100,00

Ce tableau montre que, l'espèce bactérienne la plus isolée dans les infections urinaires chez les femmes enceintes ayant fréquenté la CPN au Centre Hospitalier SALAMA est *Escherichia coli*, soit 35,29% suivie de *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae*, soit 17,65%.

Tableau 3. Sensibilité des germes trouvés face aux antibiotiques

Antibiotique		<i>E. coli</i>		<i>S. aureus</i>		<i>S. albus</i>		<i>Proteus sp.</i>		<i>Klebsiella</i>		<i>Serratia</i>		<i>Enterobacter sp.</i>	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Pipéracilline	S	4	66,66	3	100	1	100	1	100	1	3,33	0	0	0	0
	R	2	33,34	0	0	0	0	0	0	2	66,67	1	100	2	100
Levofloxacin	S	5	83,33	2	66,67	0	0	1	100	3	100	1	100	1	50
	R	1	16,67	1	33,33	1	100	0	0	0	0	0	0	1	50
Cloxacilline	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	1	100
	R	6	100	3	100	1	100	1	100	3	100	0	0	0	0
Ampicilline	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	50
	R	6	100	3	100	1	100	1	100	3	100	1	100	1	50
Clindamycine	S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100
	R	6	100	3	100	1	100	1	100	3	100	1	100	0	0
Cefotaxime	S	1	16,67	1	33,33	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	R	5	83,33	2	66,67	0	0	1	100	3	100	1	100	2	100
Total		6	100	3	100	1	100	1	100	3	100	1	100	2	100

Selon ce tableau, les souches d'*Escherichia coli* sont sensibles au levofloxacin à 83,33% et au pipéracilline à 66,66%. Les souches de *Staphylococcus aureus* sont sensibles à la pipéracilline à 100%, au levofloxacin à 66,66% et Celles de *Klebsiella pneumoniae* sont sensibles au levofloxacin à 100%,

4 DISCUSSION

Dans la présente étude, la fréquence des infections urinaires chez les femmes enceintes fréquentant la CPN au Centre Hospitalier SALAMA est de 29,31%. Ce constat est fait chez les enquêtées âgées de 15 à 24 ans (47,05%), chez les femmes multipares (43,48%) et celles qui sont au deuxième trimestre de la grossesse (57,14%).

La même observation a été faite par les auteurs (RADIA,), (HENDRICKS,) et (YAKHALF,) respectivement au Mali, à Lubumbashi et en Algérie où la fréquence des infections urinaires chez les femmes enceintes était supérieure à 25%. Avec une fréquence élevée observée chez les patientes âgées de 15 à 20 ans et chez les multipares également.

Quant à l'âge de grossesse le plus touché, le résultat de cette parait similaire à ceux des auteurs (FATOUMATA) et (HENDRICKS) qui estiment que 80 à 90% de cas des infections urinaires chez les femmes enceintes se manifestent pendant le deuxième trimestre de la grossesse.

En considérant l'espèce la plus isolée dans les infections urinaires chez les enquêtées de la présente étude, il a été constaté que *Escherichia coli* était plus fréquente (35,29%) suivie de *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae* (17,65%).

Ce résultat rejoint ceux des auteurs RANIA et al. en Algérie MBUYA et al en RDC d'EL HOUJ au Maroc, SAADOUN au Marrakech et SIFA à Bunia, qui ont tous trouvé que l'*Escherichia coli* est la bactérie la plus isolée parmi les bactéries responsables des infections urinaires chez les femmes enceintes.

Cette prédominance des infections urinaires à *Escherichia coli* se justifierait par le fait que cette espèce de bactérie est commensale du tube digestif et peut facilement passer dans la voie urinaire féminine et causer l'infection urinaire.

En ce qui concerne la sensibilité des germes trouvés, les souches d'*Escherichia coli* sont sensibles au levofloxacin à 83,33%, celles de *Staphylococcus aureus* sont sensibles à la piperacilline à 100%, et celles de *Klebsiella* sont sensibles au levofloxacin à 100%.

Ces résultats corroborent ceux obtenus par les auteurs HEYHER (2016) au Canada et SEKHRI (2016) au Népal où plus de 85% des bactéries isolées dans les urines des femmes enceintes étaient sensibles aux antibiotiques.

5 CONCLUSION

Cette recherche a porté sur la fréquence, caractérisation et sensibilité aux antibiotiques des bactéries isolées des infections urinaires au cours de la grossesse à Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo (cas des femmes enceintes fréquentant la CPN au Centre Hospitalier Salama)

Menée grâce à la méthode transversale appuyée par les observations macroscopiques et microscopiques, cette étude a été réalisée chez 58 femmes enceintes fréquentant la CPN au centre hospitalier Salama.

Les données recueillies ont été analysées statistiquement par le calcul de l'indice de pourcentage et les résultats suivants ont été escomptes:

- 29,31% des enquêtées étaient porteuses des infections urinaires causées par l'*Escherichia coli* à 35,29% suivie de *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae* à 17,65% chacune. Les enquêtées les plus touchées étaient les femmes multipares (43,48%), celles âgées de 15 à 24 ans (47,05%) et celles qui avaient la grossesse au deuxième trimestre (57,14%).
- Les souches d'*Escherichia coli* étaient sensibles au levofloxacine à 83,33% celles de *Staphylococcus aureus* étaient sensibles à la piperacilline à 100%, et celles de *Klebsiella* étaient sensible au levofloxacine à 100%.

Au vu de ces résultats, les hypothèses du départ sont confirmées tout en estimant que la pathologie des voies urinaires chez les femmes enceintes fréquentant la CPN au Centre Hospitalier SALAMA est un réel problème qui doit interpeller les responsables des institutions sanitaires.

REFERENCES

- [1] ACAR et al. (2016). *Décision en maladies infectieuses*. Vigot, 1ère édition, Masson, Paris.
- [2] ASSIMI (2021). Etude rétrospective des infections urinaires au sein du service d'urologie au Marrakech, Thèse de Médecine, Rabat.
- [3] CARRON et al. (2015). *Pyélonéphrites aiguës*. Prog. Urol., Bruyère, 18 suppl., Tunis.
- [4] CHEKROUD R. et FATHI R. (2017). Etude de profil bactériologique et de la sensibilité aux antibiotiques responsables des infections urinaires. Mémoire. Faculté de Médecine. Alger. Algérie.
- [5] CHRISTOPHER et al. (2021). Profil des examens cytotbactériologiques des urines dans le laboratoire provincial de sante publique. Mémoire. Faculté de Médecine. Sud Ubangi, RDC.
- [6] EL HOUÏ et al. (2015). *Examen cytotbactériologique des urines en milieu extrahospitalier*. Tome de Biologie et infectiologie. Rabat.
- [7] FATOUMATA B. (2019). Antibiothérapie prescrite par les sages-femmes chez la femme enceinte au cours de la consultation prénatale. Thèse de la faculté de Médecine et d'Odontostomatologie (FMOS). Bamako, Mali.
- [8] HENDRICKS et al. (2017). Incidence des infections nosocomiales urinaires et des sites opératoires dans le service de la maternité de l'Hôpital Général de Référence de KATUBA à Lubumbashi. Mémoire de Master. Université de Lubumbashi. RDC.
- [9] HEYHER (2016). Epidémiologie des infections urinaires chez les femmes enceintes. Médecine. Québec.
- [10] IBRAHIMA C. (2021). Profil bactériologique des infections urinaires sur grossesses dans le service de gynéco-obstétrique de l'Hôpital Somine Dolo de Mopti. Mémoire de master. Bamako. Mali.
- [11] LARABA (2022). *Etude cytotbactériologique des urines effectuée en Algérie*. Mémoire de master. Université d'Alger. Algérie.
- [12] MBUYA et al. (2020). *Profil bactériologique des infections urinaires diagnostiquées aux cliniquess universitaires de Lubumbashi*. Thèse de Médecine. Département des Sciences Biomédicales. Université de Lubumbashi. RDCongo.
- [13] OLUSANYA et al. (2016), Asymptomatic significant bacteriuria among pregnant and non-pregnant women in Sagamu. Jour. Med. West African, 07, Abidjan.
- [14] OMS (2018). Infections urinaires en régions tropicales. Genève.
- [15] SAADOUN (2020). Epidémiologie et niveau de résistance des bactéries responsables des infections urinaires réalisée au Marrakech. Thèse de pharmacie. Rabat, Maroc.
- [16] SCHNEEBERG et al. (2020). Intervention pour la prévention des infections urinaires récidivantes au cours de la grossesse en France. Thèse de Médecine. Marseille, France.
- [17] SEKHRI (2016), Multidrug resistant Enterobacteriaceae and extended spectrum β -lactamase producing *Escherichia coli*: A cross-sectional study. National Kidney Center, Nepal.
- [18] SIFA A. (2019). Etude de la sensibilité des bactéries des infections urinaires chez les femmes enceintes fréquentant la CPN au Centre Hospitalier de Bunia-cité. TFC. ISTM/Bunia. Inédit. Ituri, RDC.
- [19] Société Pathologique de Langue Française (2015). *Infection urinaire au cours de la grossesse*. Revue. Paris.

الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين بمؤسسة الرعاية الاجتماعية: دراسة ميدانية بمدينة مكناس، المغرب

[The feeling of psychological loneliness among elderly residents in a social welfare institution: Field study in Meknes city, Morocco]

Fatima FAOUZI, Mohammed IDMOULID, and Ahmed ELBOUAZZAQUI

Psychology Department, Faculty of Arts, Mohammed V University, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: The purpose of this study is to reveal the level of psychological loneliness experienced by older people residing in a social welfare institution and to identify gender differences among the study sample consisting of 20 elderly men and women. The study used the Russell loneliness scale adapted to the Arab context. The Welch's t- test arithmetic means and standard deviations are used for statistical analysis.

The results revealed a moderate level of psychological loneliness among the sample studied. They also showed no statistically significant gender differences. So, they do not support the study's two main hypotheses.

KEYWORDS: the psychological loneliness, the elderly, social welfare establishment, social isolation.

ملخص: تهدف هذه الدراسة إلى الكشف عن مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين بمؤسسة الرعاية الاجتماعية، والفروق بين الجنسين لدى عينة الدراسة المكونة من 20 مسناً ومسننة، وقد تم استخدام مقياس الشعور بالوحدة النفسية لراسل Russell المقنن على البيئة العربية. ولمعالجة المعطيات إحصائياً تم استخدام اختبار (ت) Test T de Welch والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية. أظهرت النتائج عن وجود مستوى متوسط من الشعور بالوحدة النفسية لدى العينة المدروسة، كما بينت عدم وجود دلالة إحصائية للفروق بين الجنسين وهذه النتائج لا تدعم الفرضيتين الرئيسيتين للدراسة.

كلمات دلالية: الشعور بالوحدة النفسية، المسنون، مؤسسة الرعاية الاجتماعية.

تقديم

الشعور بالوحدة النفسية إحساس يمكن أن يصاب به الفرد في أي مرحلة من مراحل عمره خاصة في العصر الحالي وما يشهده من تحولات في البنيات الاجتماعية والاقتصادية والثقافية والتي تفرض على الفرد التأقلم والتكيف معها وهو ما يضعه تحت تأثير التوتر والقلق باستمرار. وعلى الصعيد العالمي تشير الدراسات إلى ارتفاع غير مسبوق في أعداد الأفراد الذين يعانون من الشعور بالوحدة حيث تصيب ثلث السكان مع نسبة تأثر شديد لكل واحد من إثني عشر فرداً وبالتالي أصبح ينظر إليها على أنها ظاهرة صامتة un fléau silencieux ونعتت بالفوضى العامة لعصرنا واعتبرت بمثابة أزمة صحية كالكسري والسمنة والتدخين (Malli & Maddison, 2023, p. 72).

وتؤثر الوحدة النفسية على شخصية الفرد وتكيفه وعلاقاته الاجتماعية، ويعتبر البعض أن عدد الأصدقاء والمعارف وقوة التفاعل والتبادل معهم مؤثر على وجودها من عدمه. غير أن هناك رأي مخالف يعتبرها ليس مجرد تصور للعلاقات الاجتماعية المحصورة ولكن أيضاً المشاعر الشخصية بعدم الرضا داخل العلاقات فقد يشعر الفرد بالوحدة وهو محاط بعدد كبير من الأشخاص وبالتالي فإن التصورات الشخصية للعلاقات هي من تكشف عن تجربة الوحدة (Swan.T, 2018, p. 12).

ورغم كونها حالة عامة يمكنها أن تصيب مختلف الأعمار إلا أن العديد من الأبحاث تؤكد أن الشعور بالوحدة النفسية هو من أكثر المشكلات التي يعاني منها المسنون والتي قد ينتج عنها اضطرابات أخرى مثل القلق والخوف والاكتئاب وانخفاض تقدير الذات. وترجع أسباب ارتفاع مستويات الوحدة النفسية لديهم إلى

عدة عوامل منها الحالة النفسية بسبب تقدم السن وتدهور الحالة الصحية وضعف الحواس خاصة البصر والسمع وتناقص أفراد الجيل بسبب الموت مما يقلل من دائرة الاتصال الاجتماعي وانحصارها تدريجياً. ففقدان الدور والمكانة الاجتماعية واتساع وقت الفراغ وانخفاض الدخل وتقلص العلاقات الاجتماعية والاهتمامات والأنشطة وكذا الاعتماد على الآخرين والخضوع لهم قد يؤدي إلى العزلة (خليفة ع.، دراسات في سيكولوجية المسنين، صفحة 25) بالإضافة إلى أن اختلاف الاهتمامات بين الآباء والأبناء يساهم في نقص عمليات التفاعل الاجتماعي بين المسن والآخرين والشعور بعدم الأهمية وبالتالي الانسحاب من السياق الاجتماعي.

ويرى كارل روجرز أن سبب الوحدة النفسية هو ضغوط المجتمع الواقعة على الفرد والتي تجعله يتصرف بطرق محددة متفق عليها اجتماعياً مما يؤدي إلى التناقض بين ذات الفرد الداخلية وذاته الواضحة للآخرين بحيث يؤدي دوره المطلوب منه دون شغف أو اهتمام مما يسبب له الشعور بالفراغ، ولذلك فهو يرى بأن سبب الوحدة النفسية يكمن في التناقضات التي يعيشها الفرد وهي تجسيد للتوافق السيئ (العززي، 2010، الصفحات 31-30).

إشكالية الدراسة:

تتسم مرحلة الشيخوخة بعدة خصائص وتغيرات تميزها عن غيرها من المراحل العمرية الأخرى منها ما هو سيكولوجي وما هو بيولوجي وما هو اجتماعي، وهذه التغيرات تزيد من احتمالية شعور المسنين بالوحدة النفسية إذ إن أغلبهم يعاني من فقدان العمل والصحة وأحياناً الشريك. وتشير نتائج العديد من البحوث إلى تعرض المسن لجملة من الاضطرابات النفسية كاليأس، خاصة بعد التقاعد عن العمل وفقدان الدور الذي اعتبر من العوامل المباشرة التي تثير مشاعر الأسى ومن ثم القلق والوحدة النفسية والعزلة الاجتماعية (النبال، 1995، صفحة 26). فعدم وضوح الرؤية للمستقبل وضعف نظام المساندة الاجتماعية والتغيرات الطارئة تؤدي إلى انخفاض تقدير الذات، كما يساهم التخلي عن مجموعة من الأدوار المعتادة كدور الزوج والأب إلى إحساس المسن بالعزلة (شاذلي، 2001، صفحة 60). ويصاحب الشعور بالوحدة النفسية عدة متغيرات سلبية كالاكتئاب واللامبالاة والحزن كما أنها تؤثر على الثقة بالنفس والشعور بالسعادة.

وقد ميز يونغ Young بين ثلاثة أنواع من الوحدة النفسية وهي:

- الوحدة النفسية العابرة: تكون لدى الشخص المتوافق والذي قد تتخلل حياته فترات من الوحدة
- الوحدة النفسية التحولية: والتي تنشأ نتيجة ظروف مستجدة كالطلاق أو موت أحد المقربين
- الوحدة النفسية المزمنة: تستمر سنوات طويلة ولا يشعر فيها الفرد بأي نوع من أنواع الرضا عن علاقاته الاجتماعية (العاسمي، 2009، صفحة 216).

وقد تناولت موضوع الشعور بالوحدة النفسية مجموعة من الدراسات منها دراسة عزة عبد الكريم مبروك التي هدفت إلى التعرف على تأثير تقدير الذات على الوحدة النفسية والاكتئاب لدى المسنين وتوصلت نتائجها إلى أن الصحة النفسية للمسنين تتأثر بما يصيبهم من أمراض جسمية كما توصلت إلى انخفاض الشعور بالوحدة والاكتئاب في ظل التقييم الإيجابي للذات (مبروك، 2002). وهذه النتيجة تتفق مع ما توصلت إليه دراسة فايزة بلخير التي خلصت إلى وجود ارتباط دال إحصائياً بين مفهوم الذات لدى المسن وتكيفه اجتماعياً داخل دار العجزة (فايزة، 2012).

أما في مصر فقد أنجزت دراسة للمقارنة بين مسنات مقيمات بدور رعاية المسنين ومقيمات مع أسرهن على قائمة مينيسوتا متعددة الأوجه للشخصية وعلى قائمة للانفعالات الإيجابية والسلبية فتبين أن المسنات المقيمات بدور الرعاية كن أكثر من المقيمات مع أسرهن في كل من الانطواء والاكتئاب وكانت الفروق بين المجموعتين دالة إحصائياً ووصلت الانفعالات السلبية بدور الرعاية إلى 72 بالمائة مقابل 28 بالمائة من الانفعالات الإيجابية واليأس إلى 53 بالمائة وعدم تقدير الذات إلى 86 بالمائة (أحمد، الحرمان من البيئة الطبيعية وعلاقته بالصحة النفسية لدى عينة من المسنات بدور الرعاية الخاصة، 1991).

أما دراسة محمد غانم فقد توصلت نتائجها إلى أن الشعور بالوحدة النفسية والاكتئاب لدى المسنين المقيمين في دور الإيواء أكبر من نظرائهم الذين يعيشون داخل أسرهم (غانم، 2002). وقد تناولت دراسة لمى العوض موضوع الوحدة النفسية في علاقتها بالمساندة الاجتماعية والفروق بينهما تبعاً لعدة متغيرات وأظهرت النتائج وجود علاقة ارتباطية بينهما لدى العينة المدروسة أي أن المساندة الاجتماعية التي يتلقاها الفرد تؤثر إيجاباً على صحته النفسية (العوض، 2020).

وبالنظر إلى حجم المشاكل الكبيرة التي يمكن أن تترتب عن الشعور بالوحدة النفسية لكبير السن المقيم بمؤسسة الرعاية الاجتماعية تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على هذا الموضوع في المغرب ومن أجل ذلك تم طرح الأسئلة التالية:

1. ما هو مستوى الشعور بالوحدة النفسية [منخفض - متوسط - شديد] لدى المسنين المقيمين بمؤسسة الرعاية الاجتماعية؟
2. هل توجد فروق في مستوى الشعور بالوحدة النفسية بين الذكور والإناث المقيمين بمؤسسة الرعاية الاجتماعية؟

فرضيات الدراسة:

1. نفترض وجود شعور شديد بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين في مؤسسة الرعاية الاجتماعية.
2. نفترض وجود فروق في الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسة الرعاية الاجتماعية.

عينة الدراسة:

في إطار هذه الدراسة تم الاعتماد على عينة مكونة من 20 مسناً، منهم 09 ذكور و11 من الإناث تتراوح أعمارهم بين 60 و85 سنة وكلهم مقيمون بمؤسسة الرعاية الاجتماعية بمدينة مكناس موزعين حسب ما هو مبين في الجدول رقم (01).

الجدول رقم 01 توزيع عينة البحث حسب الحالة الاجتماعية والسن

النوع	العدد	الحالة الاجتماعية			السن	
		مطلق	أعزب	أرمل	من 71-80	من 81 فما فوق
ذكور	9	05	03	01	04	00
إناث	11	04	01	06	04	04

مفاهيم الدراسة:

1. الوحدة النفسية Loneliness: هي إحساس الفرد بوجود فجوة نفسية PSYCHOLOGICAL GAP تباعد بينه وبين الأفراد المحيطين به نتيجة افتقاده إمكانية الانخراط أو الدخول في علاقات مشبعة ذات معنى مما يؤدي إلى شعوره بعدم التقبل والنبذ وإهمال الآخرين له رغم أنه محاط بهم (مازن، 2010، صفحة 631) فهي تعتبر تجربة ذاتية فردية لعدم وجود العلاقات الإنسانية وشعورا سلبيًا يسبب ألماً لصاحبه وتتلزم في كثير من الأحيان مع ظواهر أخرى كالإكتئاب والعزلة الاجتماعية.

ويرى جوردن البورت Allport أن الشعور بالوحدة النفسية هو عدم قدرة الفرد على تحقيق امتداد الذات وانعدام الاهتمام الحقيقي في مجال العلاقات الاجتماعية مع تركيزه الكلي على دوافعه ومقاصده الخارجية مع نظرة سلبية عن نفسه بفقدان الأمن الانفعالي وعدم تقبل الذات (علي، 2012، صفحة 48)

ويرى ويس Weiss أن الشعور بالوحدة النفسية هو حالة عجز تحدث نتيجة إحساس الفرد بافتقاد الارتباط العاطفي الذي يربطه بالآخرين (عبيد، 2010، صفحة 01).

أما شيلد Child فيرى بأن الوحدة تعرف عادة على أنها عزلة اجتماعية علماً أن هذه الأخيرة هي قلة تفاعل الناس في الحياة الاجتماعية أما الوحدة النفسية فتقاس بجودة وكمية التفاعلات الاجتماعية والدعم الاجتماعي وكذا تقبل الفرد لهذه التفاعلات وشعوره تجاهها (Child & Lawton, 2019, p. 197).

وتعرفها الباحثة إجرائياً بأنها شعور المسن بافتقاد الألفة والتفاعل مع الأشخاص المحيطين به وتعتبر عنها الدرجة التي يحصل عليها في مقياس راسل للوحدة النفسية المستخدم في الدراسة والمقتن على البيئة العربية من قبل الدكتور عبد الرقيب البحيري وعلى البيئة المغاربية من قبل الباحثة خديجة حمو.

2. المسن Elder: هو الشخص الذي بلغ سن الستين أو تعداها، وقد تعددت المصطلحات المستخدمة لوصف المسن بين كبير السن والمتقدم في العمر وفئة العمر الثالثة وفئة العمر الرابعة والشيخوخة كما تعددت المقاييس المستخدمة في تحديد هذه المرحلة وشملت العمر الزمني، العمر البيولوجي العمر السيكلوجي والعمر الاجتماعي (خليفة م، بدون تاريخ، صفحة 11).

ويعرف إجرائياً بأنه: الشخص المقيم في مؤسسة الرعاية الاجتماعية بمدينة مكناس بالمغرب الذي يبلغ عمره 60 سنة فما فوق والذي طبق عليه مقياس الدراسة الحالية.

3. مؤسسة الرعاية الاجتماعية establishment social: مؤسسة مختصة تتكفل بالأشخاص المسنين بدون عائل ذكورا وإناثا وتقدم لهم خدمات الإيواء والإطعام والعلاجات شبه الطبية والتتبع الاجتماعي.

منهجية الدراسة وأدواتها:

منهجية الدراسة:

تم اعتماد المنهج الوصفي بأسلوب المقارنة حيث تجمع البيانات وتصنف وتتم معالجتها وتحليلها للكشف عن مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى عينة الدراسة ثم بعد ذلك تتم المقارنة بين الذكور والإناث.

أدوات الدراسة:

اعتمدت الدراسة على تطبيق مقياس راسل للشعور بالوحدة النفسية الذي قننه على البيئة العربية الدكتور عبد الرقيب أحمد البحيري والذي أعادت تقنيته على البيئة المغاربية الباحثة خديجة حمو. ويتكون مقياس الدراسة من 20 بنداً يقيس إحساس الفرد بالوحدة النفسية ويوجب عليه المفحوص إعطاء علامة (x) أمام إحدى الخانات الأربع وهي أبداً، نادراً، أحياناً، دائماً. تبعاً لدرجة إحساسه بالوحدة النفسية. ويصحح بتخصيص التقديرات (1-2-3-4) للإجابة على البنود التي تحمل أرقام (18،17،14،13،12،11،8،7،4،3،2) أما البنود التي تحمل أرقام (20،19،16،15،10،9،6،5،1) فيتم تصحيحها في الاتجاه العكسي للتقديرات السابقة. ويستخدم الجمع الجبري في حساب الدرجة الكلية التي يحصل عليها المفحوص على المقياس وبالتالي تتراوح الدرجة الكلية على المقياس من 20 إلى 80 والدرجة المرتفعة تشير إلى شعور شديد بالوحدة النفسية والعكس صحيح (خديجة، علاقة الشعور بالوحدة النفسية بالاكتئاب لدى عينة من المسنين المقيمين بدور العجزة والمقيمين مع ذويهم، 2012، صفحة 123).

جدول رقم 02 يوضح الدرجة التي حصلت عليها عينة الدراسة بعد تطبيق الاختبار

الرقم	الجنس	السن	الحالة الاجتماعية	النقطة
1	أنثى	61	مطلقة	42
2	أنثى	79	أرملة	50
3	أنثى	80	مطلقة	55
4	أنثى	82	أرملة	49
5	أنثى	85	أرملة	53
6	أنثى	70	مطلقة	49
7	أنثى	77	أرملة	42
8	أنثى	82	أرملة	44
9	أنثى	81	أرملة	49
10	أنثى	76	عازبة	76
11	أنثى	69	مطلقة	47
12	ذكر	75	أرمل	48
13	ذكر	60	عازب	46
14	ذكر	65	مطلق	50
15	ذكر	66	مطلق	44
16	ذكر	69	مطلق	45
17	ذكر	67	مطلق	54
18	ذكر	75	عازب	49
19	ذكر	80	مطلق	50
20	ذكر	73	عازب	46

أساليب معالجة المعطيات:

من أجل اختبار الفرضيات اعتمدت الدراسة على حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية وعلى تطبيق اختبار (ت) Test T de Welch.

عرض المعطيات الإحصائية وتحليلها:

التحقق من الفرضية الأولى:

نفترض وجود شعور شديد بالوحدة النفسية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسة الرعاية الاجتماعية.

سوف نقوم أولاً بعرض المعطيات الإحصائية التي تهم التحقق من الفرضية الأولى ولأجل ذلك قمنا بحساب الدرجة الكلية للمقياس والتي تمثل 80 درجة ومن ثم تقسيمها إلى ثلاثة مستويات كالآتي:

من 0 إلى 26 منخفض ومن 27 إلى 53 متوسط ومن 54 إلى 80 شديد.

بعد ذلك قمنا بحساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمجموع العينة كما هو موضح في الجدول رقم 03.

الجدول رقم 03 خاص بمستوى الشعور بالوحدة النفسية لمجموع العينة

الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	العدد
7,23	49,4	20

من خلال الجدول رقم 03 نلاحظ أن متوسط شعور العينة بالوحدة النفسية بلغ 49,4 وانحراف معياري متمثل في 7,23 وقيمة المتوسط الحسابي تدل على أن مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى عينة المسنين المقيمين في دور الرعاية من مستوى متوسط وتتفق هذه النتيجة مع توصلت إليه دراسة كريمة عبد الحفيظ ومهي بيده حول مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى المسن بالجزائر (كريمة وبيدة، 2022، صفحة 62).

التحقق من الفرضية الثانية:

نفترض وجود فروق في الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسة الرعاية الاجتماعية.

سوف نقوم أولاً بعرض المعطيات الإحصائية التي تهم التحقق من الفرضية الثانية وذلك من خلال القيام أولاً بعملية حساب الانحراف المعياري والمتوسط الحسابي للشعور بالوحدة النفسية للذكور ثم للإناث كما هو موضح في الجدول رقم 04 ثم تطبيق اختبار (ت) Test T de Welch كما هو موضح في الجدول رقم 05.

الجدول رقم 04 خاص بالمتوسط الحسابي للشعور بالوحدة النفسية حسب الجنس:

النوع	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري
ذكور	09	48	3,12
إناث	11	50,55	9,40

من خلال الجدول رقم 04 نلاحظ أن متوسط شعور عينة الذكور بالوحدة النفسية بلغ 48 وبانحراف معياري متمثل في 3,12 وبلغ متوسط شعور عينة الإناث بالوحدة النفسية 50,55 وبانحراف معياري يقدر ب 9,40.

الجدول رقم 05 تطبيق اختبار (ت) Test T de Welch

الجنس	العدد	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة T	درجة الحرية	مستوى الدلالة	القرار الاحصائي
أنثى	11	50,55	9,4	0,84	13	0,416	غير دال
ذكر	9	48	3,12				
المجموع	20	49,4	7,23				

لمعرفة الفروق في الشعور بالوحدة النفسية حسب الجنس تم تطبيق اختبار (ت) ونلاحظ من خلال الجدول رقم 05 أن المتوسط الحسابي للشعور بالوحدة النفسية لدى الإناث بلغ (50,55) وبانحراف معياري يقدر ب (9,4). وبلغ المتوسط الحسابي للشعور بالوحدة النفسية لدى الذكور (48) وبانحراف معياري يقدر ب (3,12). وبلغت قيمة (ت) 0,84 ومستوى دلالتها 0,416 وهو أكبر من مستوى الدلالة (0,05) وهذا يعني أنه لا توجد فروق دالة إحصائية في مستوى الشعور بالوحدة النفسية بين الذكور والإناث، وهذا يخالف ما توصل إليه رياض العاسمي الذي توصل في دراسته إلى وجود فروق دالة لصالح الإناث على الذكور (رياض، 2009).

مناقشة النتائج:

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى عينة المسنين المقيمين في دور الرعاية من مستوى متوسط وتتفق هذه النتيجة مع توصلت إليه دراسة (bekhet & zauszniewski, 2012) حول الصحة النفسية لكبار السن في مجتمع المتقاعدين حيث أظهرت النتائج أن مستوى الشعور بالوحدة لدى العينة قدرت نسبته ب 40 بالمائة. كما توصلت نتائج دراستنا إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين الجنسين على مستوى الشعور بالوحدة النفسية للمقيمين بمؤسسة الرعاية الاجتماعية بمكناس، وهذا يتفق مع ما توصلت إليه دراسة ريماء سعدي ورنيم بكداش (سعدي و بكداش، 2017) التي هدفت إلى معرفة مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين في دور الرعاية الاجتماعية بمدينة طرطوس وكشفت نتائجها عن عدم وجود فروق دالة إحصائية بين الذكور والإناث. ويمكن تفسير هذه النتيجة في ظل طبيعة هذه المرحلة العمرية وما يتسم به أصحابها من خصائص مشتركة فالمسنين عادة ما يعانون من قصور في وظيفة عضو أو أكثر وأيضاً من الأرق والشعور بالوحدة وكلها تعتبر من خصوصيات هذه المرحلة (Monfort, 2001, p. 28).

خلاصة عامة:

ظهر من نتائج هذه الدراسة أن الأشخاص المسنين المقيمين بمؤسسة الرعاية الاجتماعية بمدينة مكناس بالمغرب يعانون من الشعور بالوحدة النفسية ولكن بدرجة متوسطة دون تسجيل فروق بين الجنسين. مما يبرز ضرورة تأهيل هذه الفئة وتحسينها بأهميتها وقدرتها على العطاء من خلال تنظيم ورشات لهم داخل الدور للقيام بالأنشطة والهوايات التي يستطيعون القيام بها مع إمكانية تنظيم معارض لتسويق منتجاتهم وذلك لتحسينهم بأهميتهم مما سيترك وقعا إيجابيا على تقدير الذات لديهم ويرفع ثقتهم بأنفسهم وإحساسهم بالكفاءة والفاعلية كما سيساهم في الاتصال الاجتماعي ومحاربة الوحدة والانعزال (Ladoucette, 2011, p. 14). وهو ما يجعل حياتهم أكثر إنتاجاً وإشباعاً خلال كل مراحل العمر المختلفة وهو الهدف الذي تسعى وتعمل عليه المجتمعات في الآونة الأخيرة.

المراجع العربية:

- العاسمي رياض. (2009). الشعور بالوحدة النفسية وعلاقته بالاكئاب والعزلة والمساندة الاجتماعية. *مجلة اتحاد الجامعات العربية للتربية وعلم النفس*، المجلد 07 (02)، الصفحات 208-232.
- ايمان محمود عبيد. (2010). مقياس الشعور بالوحدة النفسية. *مجلة الإرشاد النفسي* (24).
- بلخير فايزة. (2012). مفهوم الذات وعلاقته بالتكيف الاجتماعي لدى المسنين. وهران.
- حميد محمد شاذلي. (2001). *التوافق النفسي للمسنين*. الاسكندرية: المكتبة الجامعية.
- خديجة حمو علي. (2012). علاقة الشعور بالوحدة النفسية بالاكئاب لدى عينة من المسنين المقيمين بدور العجزة والمقيمين مع ذويهم. الجزائر، كلية العلوم الاجتماعية والانسانية معهد علم النفس وعلوم التربية.
- سعدي وبكاش. (2017). مستوى الشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين المقيمين في دور الرعاية الاجتماعية في مدينتي اللدقية وطرطوس. *مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية*، الصفحات 355-369.
- سهير كامل أحمد. (أكتوبر، 1991). الحرمان من البيئة الطبيعية وعلاقته بالصحة النفسية لدى عينة من المسنات بدور الرعاية الخاصة. *دراسات نفسية*، الصفحات 579-597.
- عبد اللطيف محمد خليفة. (بلا تاريخ). *دراسات في سيكولوجية المسنين*. القاهرة: دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع.
- عزة عبد الكريم مبروك. (2002). مؤشرات التنبؤ بالتقدير الذاتي للصحة الجسمية لدى المسنين. *دراسات نفسية*، المجلد 12 (03)، صفحة 398.
- غانم محمد. (2002). المساندة الاجتماعية المدركة وعلاقتها بالشعور بالوحدة النفسية لدى المسنين والمسنات المقيمين في مؤسسات إيواء وأسر طبيعية. *دراسات عربية في علم النفس*، 01 (03).
- فارس بن حمود بن حماد العنزي. (2010). الشعور بالوحدة النفسية وعلاقته بالسلوك العدواني لدى نزلاء دار التربية الاجتماعية. الرياض.
- مایسة احمد النیال. (1995). السعادة وعلاقتها ببعض المتغيرات النفسية والشخصية لدى عينة من المسنين والمسنات. *مجلة علم النفس* (العدد 36).
- ملحم مازن. (2010). الشعور بالوحدة النفسية وعلاقتها بالعوامل الخمسة للشخصية. *مجلة جامعة دمشق*، 26 (04).
- منى العوض. (2020). الوحدة النفسية وعلاقتها بالمساندة الاجتماعية وبعض المتغيرات الديمغرافية لأسر المعاقين. *مجلة القلزم العلمية/مركز بحوث ودراسات دول حوض البحر الأحمر*، 03.
- عبد الحفيظ كريمة، و مهي بيدة. (2022). مستوى الوحدة النفسية لدى المسن.

REFERENCES

- [1] Bekhet, & zauszniwski, j. (2012). mental health of elders in retirement communities/is loneliness akey factors. *sciveres sciencedirect*, 55(01), pp. 212-234.
- [2] Child, & Lawton. (2019). Loneliness and social isolation among young and late middle- aged adults:Associations with personal networks and social participation. *Aging and MentalHealth*, 23(2), pp. 196-204.
- [3] Ladoucette, O. d. (2011, 03). Bien-être et santé mentale/des atouts indispensables pour bien vieillir. pp. 1-38.
- [4] Malli, M. A., & Maddison, j. (2023, janvier). Experiences et signification de la solitude au- dela de l age et de l identite de groupe. *Sociology of Health and Illness*, 45(01), pp. 70-89.
- [5] Monfort, J. C. (2001). Spécificité psychologiques des personnes très âgées. *Gérontologie et société*, 24(98), pp. 1-28.
- [6] S, C., & Lawton, L. (2019). Loneliness and social isolationamong young and late middle- aged adults:Associations with personal networks and social participation. *Aging and Mental Health*, 23(2), pp. 196-204.
- [7] Swan.T. (2018). The Anatomy of loneliness. *Watkins Media*.

Pratiques alimentaires et caractérisation socioéconomique des élevages de petits ruminants de la zone péri-urbaine de Bouaké, Côte d'Ivoire

[Feeding practices and socioeconomic characterization of small ruminant farms in the peri-urban area of Bouake, Cote d'Ivoire]

KOUADIO Kouakou Eugène¹, KREMAN Kouabena¹, KOUADJA Gouagoua Severin¹, BAMBA L. Kalo¹, KOUAME Adam Camille¹, and SORO Dofara²

¹Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station Elevage DRég Bouaké, 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

²Université Nangui Abrogoua (UNA), UFR Sciences de la Nature, 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The feeding practices and socio-economic characteristics of small ruminant farms in the periurban area of Bouaké were analyzed through a field survey of breeders. Over a period of 45 days, this survey was carried out on sheep and goat farms within a radius of around twenty km from the city center. It involved 26 goat breeders and 78 sheep breeders. The results obtained indicate that 84.6% of goat breeders are Muslims compared to 15.4% Christians and their main activity is breeding with 46% and 23% for commerce. In sheep farms, similarly, 97.4% of breeders are Muslim compared to 2.6% Christian and their main activity is dominated equally between breeding and commerce with 34 and 35% respectively. Production costs for males ready for sale vary from 17,450 FCFA to 45,245 FCFA depending on the breed and species. As for the selling price of animals, it essentially depends on the breed, age and sex, and varies from 20,000 FCFA to 600,000 FCFA. For feeding, natural pasture is the most used with 92.3% for goats and 53.8% for sheep. Goat breeders don't practice fattening, however 41% of sheep breeders do. Breeders use crop residues for 61.5% and 97.4%, for goats and sheep respectively to compensate for the grazing deficit. Production costs for males ready for sale vary from 17,450 FCFA to 45,245 FCFA depending on the breed and species. As for the selling price of animals, it essentially depends on the breed, age and sex, and varies from 20,000 FCFA to 600,000 FCFA.

KEYWORDS: Sheep breeding, Goat breeding, Feeding strategy, Production cost, Sales price.

RESUME: Les pratiques alimentaires et les caractéristiques socio-économiques des élevages de petits ruminants de la zone périurbaine de Bouaké ont été analysées à travers une enquête de terrain auprès des éleveurs. Sur une période de 45 jours, cette enquête a été réalisée dans les fermes ovines et caprines dans un rayon d'une vingtaine de km du centre-ville. Elle a porté sur 26 éleveurs de caprin et 78 éleveurs d'ovins. Les résultats obtenus indiquent que 84,6 % des éleveurs de caprins sont des musulmans contre 15,4 % des chrétiens et leur activité principale est l'élevage avec 46 % et 23 % pour le commerce. Dans les fermes ovines, de même, 97,4 % des éleveurs sont musulmans contre 2,6 % chrétiens et leur activité principale est dominée à part égale entre l'élevage et le commerce avec 34 et 35 % respectivement. Les coûts de production des mâles prêts à la vente varient de 17 450 FCFA à 45 245 FCFA en fonction de la race et de l'espèce. Quant au prix de vente des animaux, il dépend essentiellement de la race, de l'âge et du sexe, et varie de 20 000 FCFA à 600 000 FCFA. Pour l'alimentation, le pâturage naturel est le plus utilisé avec 92,3 % chez les caprins et 53,8 % chez les ovins. Les éleveurs de caprins ne pratiquent pas l'embouche par contre 41 % des éleveurs d'ovins la pratiquent. Les éleveurs utilisent les résidus de cultures pour 61,5 % et 97,4 %, pour respectivement les caprins et les ovins pour pallier le déficit du pâturage.

MOTS-CLEFS: Elevage ovin, Elevage caprin, Stratégie d'alimentation, Coût de Production, Prix de vente.

1 INTRODUCTION

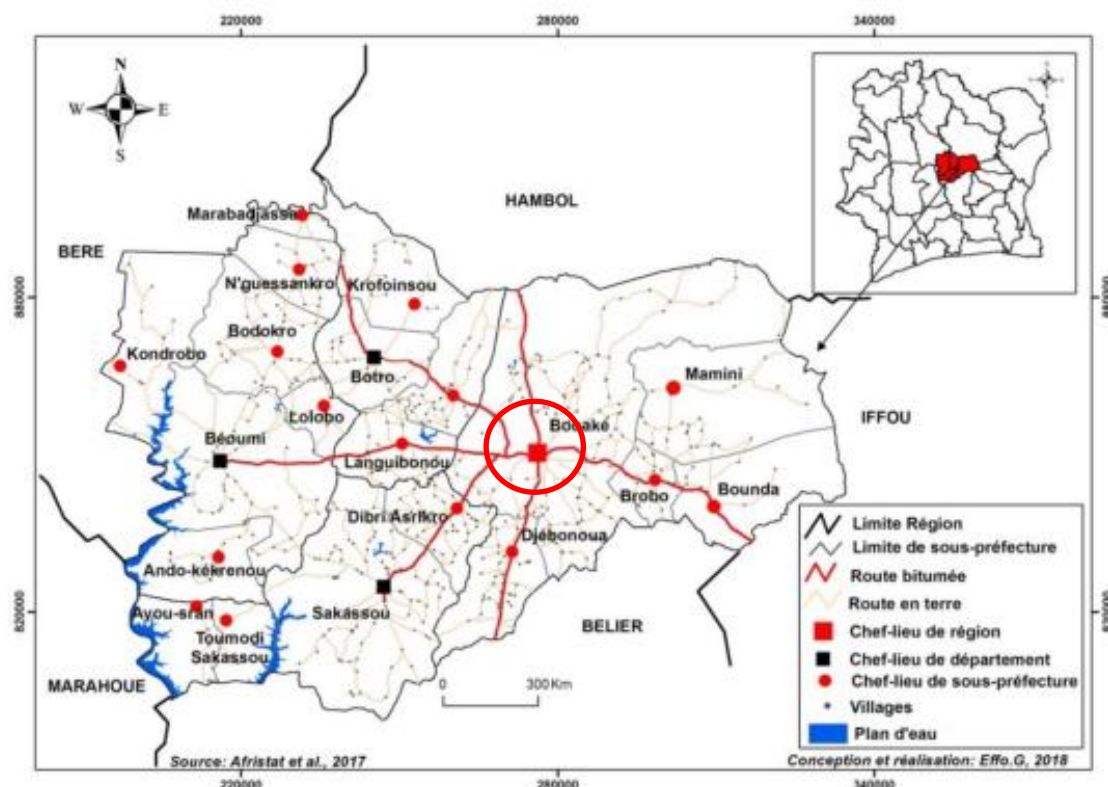
La Côte d'Ivoire à l'image de nombreux pays en développement a basé son économie sur l'agriculture. Cette volonté politique qui a contribué à la renommée de ses performances agricoles s'est faite au détriment de l'élevage qui, dans un passé assez récent était resté le secteur négligé de ce vaste domaine qui est l'agriculture [1]. De ce fait, elle a toujours été confrontée à un déficit de production en viande. Ce déficit en protéines animales est comblé par des importations de viande congelée extra-africaine (Europe, Amérique, Asie) et de bétail vif en provenance des pays sahéliens (Mali, Niger et Burkina Faso) [2]. Selon l'estimation de la Direction des Productions d'Elevage, l'activité de l'élevage était pratiquée par environ 815 000 exploitants, soit 6 % de la population agricole [3]. L'élevage urbain et périurbain de ruminants est répandu sur toute l'étendue du territoire, surtout dans les régions nord et centre du pays. Cependant, cet élevage reste basé sur les systèmes de production traditionnels extensifs [4]. Dans ce système d'élevage, l'alimentation est l'élément le plus important [5] et elle repose presque exclusivement sur la végétation herbacée et/ou arbustive présente sous forme de poches dans les villes et leurs environs [6]. Mais, face à l'urbanisation galopante, ces espaces régressent et les éleveurs sont obligés de pratiquer la complémentation alimentaire [7]. Dans ce contexte, il est utile de s'interroger et de mener une étude sur les méthodes d'alimentation des petits ruminants. La présente étude a pour objectif de déterminer caractéristiques socioéconomiques et les pratiques alimentaires dans les élevages ovins et caprins de la zone périurbaine de Bouaké.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Le site de l'enquête est le département de Bouaké, situé au Centre de la Côte d'Ivoire (Fig. 1). Il a une superficie de 4 803 Km² avec une population totale en 2021 de 1 352 900 habitants [8]. La ville de Bouaké est située à 7°41' de latitude Nord et à 5°02' de longitude Ouest sur le grand axe routier et ferroviaire joignant Abidjan au Nord du pays. La ville est étendue sur un plateau dont la particularité essentielle est sa digitation par un réseau hydrographique secondaire très dense. Son altitude moyenne est de 310 m. Elle est le Chef-lieu de la région de Gbêkê qui est une transition entre le Sud forestier et le Nord. La région est sous l'influence d'un climat assez nuancé à quatre saisons alternées. Il compte deux saisons sèches et deux saisons humides réparties comme suite: une grande saison des pluies (mars à juin), une petite saison des pluies commençant en septembre et s'achevant en octobre et une grande saison sèche qui s'étend du mois de novembre à février [9]. Sur l'année, la température moyenne à Bouaké est de 26,1°C et les précipitations sont en moyenne de 899,6 mm. La végétation est celle des savanes pré-forestières et composée essentiellement de savanes herbeuse et arborée [10].

Le matériel biologique est constitué de l'ensemble des caprins et des ovins repartis dans les différentes fermes dans la ville et ses environs. Plusieurs races ont été identifiées à savoir la Naine d'Afrique de l'Ouest (NAO) et Sahélien chez les caprins, la Djallonké et le Sahélien chez les ovins.



Lieux d'exécution de l'enquête

Fig. 1. Localité de l'étude

Source: https://www.revuegeo-univdaloa.net/sites/default/files/inline-images/A6_fig1.png

2.2 MÉTHODES

2.2.1 COLLECTE DES DONNÉES

A partir d'un questionnaire succinct et structuré, un entretien a été réalisé avec chaque éleveur préalablement informé sur l'objectif du travail. Il s'est déroulé sur une période de 45 jours allant du 19 septembre au 02 novembre 2021, sur les axes Bouaké-M'Bahiakro, Bouaké-Sakassou, Bouaké-Béoumi et Bouaké-Botro. L'enquête a porté sur 26 éleveurs de caprins et 78 éleveurs d'ovins. Ces éleveurs ont été échantillonnés sur la base du rapport annuel d'activité de la Direction régionale de Bouaké du Ministère des Ressources Animales et halieutiques qui a estimé en 2021, le nombre d'éleveurs urbains et péri-urbains de petits ruminants de la ville de Bouaké à 150 pour les ovins et à 60 pour les caprins [11] soit plus de 50 % d'éleveurs d'ovins et plus de 40 % de caprins enquêtés. Pour la collecte des données, le questionnaire a porté sur les caractéristiques socioéconomiques des éleveurs, les ressources alimentaires utilisées, les coûts de complémentation et les coûts d'achat et de vente des animaux. Le questionnaire sur les systèmes d'alimentation a porté sur: le mode d'alimentation (parcours ou à la loge), le type de pâturage (artificiel ou naturel), la complémentation (ingrédient alimentaire, quantité, période de distribution...). Aussi les éleveurs ont-ils été interrogés sur les difficultés rencontrées pour l'alimentation des animaux. Les élevages parcourus sont situés à au plus 15 km du centre-ville.

2.2.2 SAISIE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données collectées ont été enregistrées avec le tableur Excel (2010). Ce même outil a servi pour tracer des graphiques, calculer les moyennes et les écart-types.

3 RÉSULTATS

3.1 ASPECT SOCIODEMOGRAPHIQUE DES ÉLEVAGES DE CAPRINS ET OVINS

Les caractéristiques sociodémographiques des fermes sont indiquées dans le tableau 1.

Chez les caprins, l'enquête s'est réalisée sur un effectif de 26 éleveurs dont la moyenne d'âge est de 39 ans avec un maximum 77 ans et un minimum de 22 ans. Ils sont à plus de 84,6 % musulmans et résident pour 69 % d'entre eux dans la ville de Bouaké (tableau 1). L'activité principale est dominée par l'élevage avec 46 % suivie, à part égale (23 %), du commerce et autre activité (feronnier, maçon, peintre...). L'agriculture est faiblement représentée (Fig. 1A).

Chez les ovins, l'enquête s'est réalisée sur un effectif de 78 éleveurs dont la moyenne d'âge est de 37 ans avec un maximum de 77 ans et un minimum de 17 ans. Les éleveurs d'ovins sont à plus de 97,4 % musulmans et 73 % d'entre eux résident dans la ville de Bouaké (tableau 1). L'activité principale est dominée à part égale entre l'élevage et le commerce avec 34 et 35 % respectivement suivie par les autres activités qui représentent 31 %. Il est à noter qu'il n'existe pas d'éleveur d'ovin ayant comme pour activité principale l'agriculture (Fig. 1B).

Tableau 1. Caractéristiques sociodémographiques des fermes de caprins et ovins

Variables		Caprins		Ovins	
		Nombre	Taux	Nombre	Taux
Lieu de résidence	Propriétaires résidents	18	69,2 %	57	73,1 %
	Propriétaires non-résidents	8	30,7 %	21	26,9 %
Religion	Chrétien	4	15,4 %	2	2,6 %
	Musulman	22	84,6 %	76	97,4 %
Taille moyenne du troupeau		11,25 ± 4,55		19,45 ± 7,28	

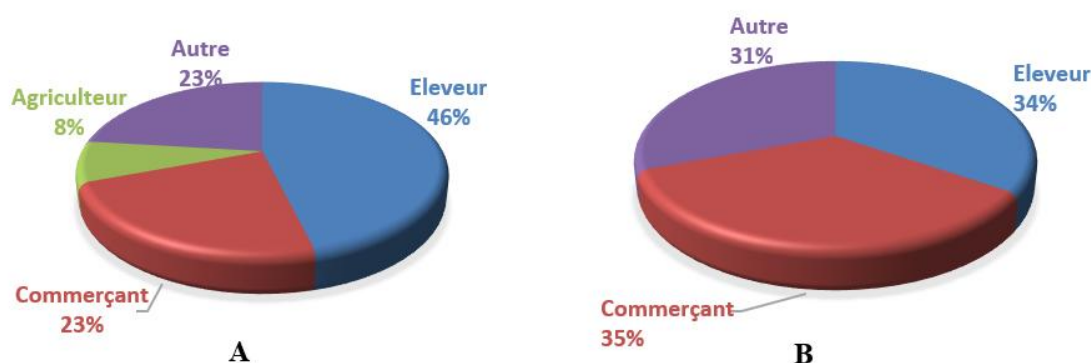


Fig. 2. Activités principales des éleveurs de caprin (A) et d'ovin (B)

3.2 ASPECT ECONOMIQUE DES ÉLEVAGES DES PETITS RUMINANTS

Au niveau financier, l'évaluation du coût de production des animaux tient compte du coût de l'aliment (fourrages achetés, sous-produits agricoles, compléments alimentaires industriels), du coût des traitements médicaux et du coût de la main d'œuvre (tableau 2). Le coût moyen de production d'un petit ruminant mâle dépend de l'espèce et de la race. Il varie de 17 450 à 24 520 FCFA pour les caprins et de 27 800 à 45 245 FCFA avec le coût de la main d'œuvre le plus élevé quel que soit l'espèce et la race.

Le prix de vente quant à lui varie en fonction de l'espèce, de la race et du sexe (tableau 3). Chez les mâles, il oscille entre 20 000 FCFA et 35 000 FCFA pour les caprins NAO (Nain d'Afrique de l'Ouest), entre 35 000 FCFA et 60 000 FCFA pour les caprins sahélien, entre 50 000 FCFA et 100 000 FCFA pour les ovins Djallonké et enfin entre 150 000 FCFA et 600 000 CFA pour les ovins sahéliens. Chez les femelles, le prix varie de 30 000 FCFA à 45 000 FCFA pour les caprins NAO, de 35 000 FCFA à 45 000 FCFA

pour les caprins sahélien, de 35 000 FCFA à 60 000 FCFA pour les ovins Djallonké et de 45 000 FCFA et 80 000 CFA pour les ovins sahéliens.

Les mâles sont vendus plus chers que les femelles sauf au niveau des caprins NAO.

Tableau 2. Coûts moyens de production des animaux mâles prêts à la vente (FCFA)

Espèce	Race	Aliment	Santé	Main d'œuvre	Total
Caprins	Nain Afrique de l'Ouest	3 230 ± 780	2 180 ± 945	12 500 ± 1370	17 450 ± 3395
	Sahélien	6 250 ± 2500	3 380 ± 315	15 250 ± 450	24 520 ± 2330
Ovin	Djallonké	4 300 ± 1200	7 800 ± 570	15 750 ± 600	27 800 ± 1200
	Sahélien	16 400 ± 3800	13 700 ± 260	15 500 ± 550	45 245 ± 1450

1USD = 554,88 FCFA (Cours moyen année 2021)

Tableau 3. Prix moyens de vente des animaux

Espèce	Race	Sexe	Prix de vente des animaux (FCFA)		
			Minimum	Maximum	Moyen
Caprin	Nain d'Afrique de l'Ouest	Mâle adulte	20 000	35 000	27 500 ± 6 455
		Femelle reformée	30 000	45 000	37 500 ± 6 455
	Sahélien	Mâle adulte	35 000	60 000	46 250 ± 11 087
		Femelle reformée	35 000	45 000	39 375 ± 4 270
Ovin	Djallonké	Mâle adulte	50 000	100 000	71 250 ± 20 966
		Femelle reformée	35 000	60 000	48 750 ± 11 087
	Sahélien	Mâle adulte	150 000	600 000	412 500 ± 193 111
		Femelle reformée	45 000	80 000	58 750 ± 15 478

1USD = 554,88 FCFA (Cours moyen année 2021)

3.3 PRATIQUES ALIMENTAIRES

Les pratiques alimentaires (embouche, utilisation de résidus de cultures) sont indiquées sur les fig. 3 et 4. Les éleveurs de caprins ne pratiquent pas l'embouche par contre 41 % des éleveurs d'ovins la pratiquent (Fig. 3). Cette embouche se fait 100 % en saison sèche et dure 5 à 12 mois en moyenne.

Les résidus ou sous-produits de cultures sont utilisés par 61,5 % d'éleveurs de caprin et 97,4 % d'éleveurs d'ovin pendant toute l'année pour la complémentation des animaux. Cependant, ces résidus agricoles et les sous-produits agricoles industriels (SPA) sont majoritairement utilisés en saison sèche que ce soit chez les ovins ou chez les caprins. Ces sous-produits les plus utilisés sont les épiluchures de manioc (54 %), les sons de céréales (28 %) et les tourteaux (10 %) (Fig. 5). L'épiluchure de manioc étant la plus disponible mais difficile à conserver sous forme fraîche, les éleveurs ont accepté à 97,4 % chez les ovins et à plus de 91 % chez les caprins, qu'elle soit séchée et mise en granulé pour une meilleure conservation en vue de l'utiliser sur toute l'année (Fig. 6).

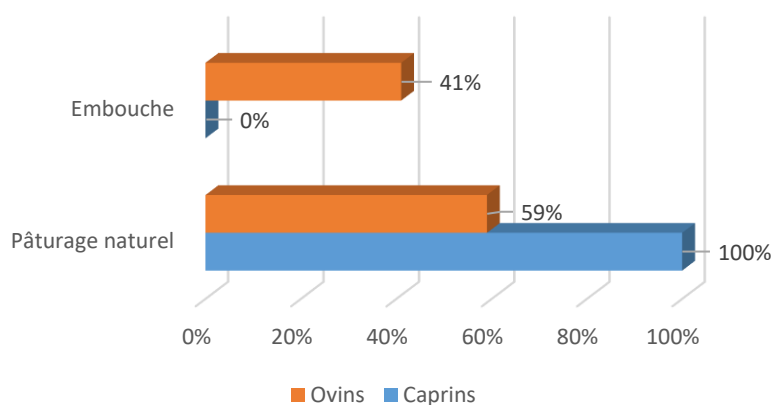


Fig. 3. *Pratique d'embouche chez les petits ruminants*

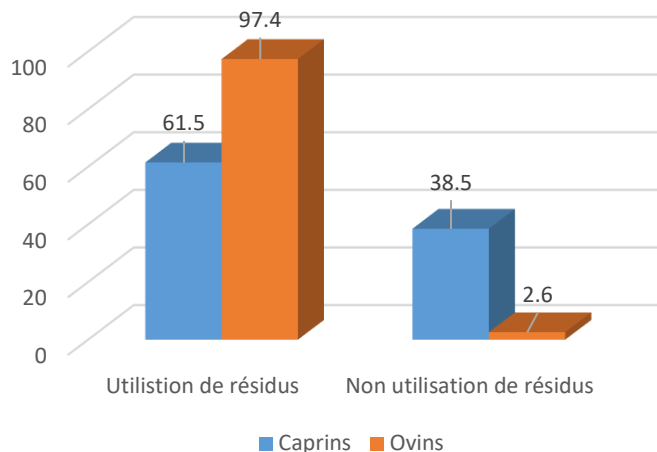


Fig. 4. *Utilisation ou non de résidus de récoltes pour l'alimentation*

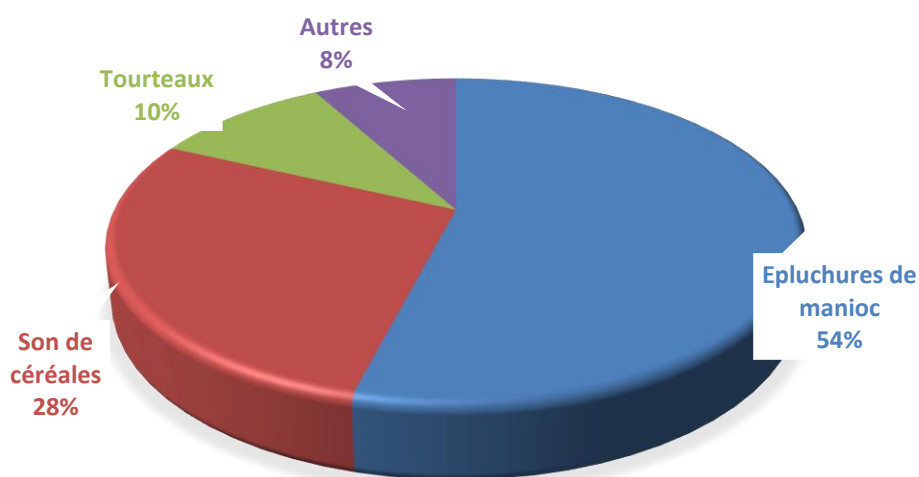


Fig. 5. *Sous-produits agricoles utilisés pour la complémentation des ovins et des caprins*

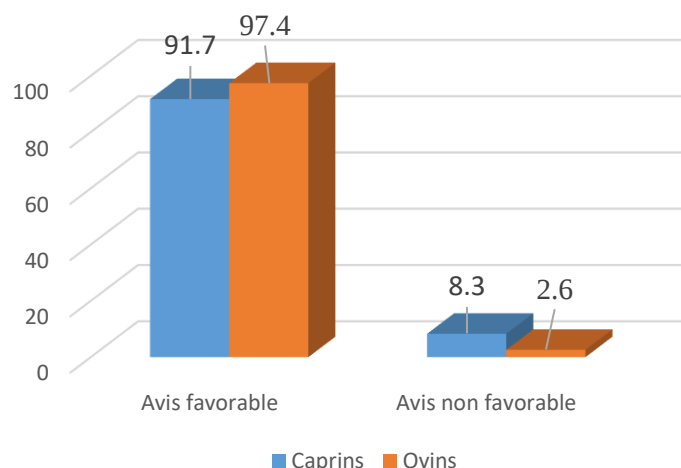


Fig. 6. Avis pour la mise des épluchures de manioc sous la forme de granulée

4 DISCUSSION

L'enquête s'est réalisée sur un effectif de 26 éleveurs de caprins dont la moyenne d'âge est de 39 ans avec un maximum 77 ans et un minimum de 22 ans. Pour les ovins, elle s'est réalisée sur un effectif de 78 éleveurs dont la moyenne d'âge est de 37 ans avec un maximum de 77 ans et un minimum de 17 ans. L'âge moyen de ces éleveurs est inférieur à celui de [12] qui, dans une analyse des pratiques paysannes de reproduction et d'exploitation des petits ruminants en zone périurbaine de la ville de Kaya l'âge moyen est de 46 ± 4 ans dont 56,67 % sont dans la fourchette d'âge de 41 à 60 ans. Ils sont à plus de 84 % musulmans pour les éleveurs de caprins et 97 % pour les éleveurs d'ovins. Ce résultat est contraire à celui de [13] où les éleveurs sont à 80 % chrétiens pour une étude menée au Cameroun. L'activité principale de ces propriétaires de troupeaux caprins est dominée par l'élevage avec 46 % suivis, à part égale, et à 23 % par le commerce et les autres activités (feronnier, maçon, peintre...) pour les caprins. Pour les ovins, le commerce est l'activité principale (35 %) suivi de l'élevage (34 %) et des autres activités (31 %). L'agriculture est faiblement représentée. Cela est contraire à l'étude de [12] selon qui, 95,33% des enquêtés ont pour activité principale l'agriculture. D'après une étude menée par [14] plus de 66 % des éleveurs exerçaient une autre activité, fonction libérale ou publique, seulement 20 % étaient des éleveurs de petits ruminants professionnels, 12 % étaient des éleveurs-agriculteurs, et environ 5 % étaient des amateurs.

La taille du troupeau est en moyenne pour cette étude est de $11,25 \pm 4,5$ pour les caprins et de $19,45 \pm 7,28$ pour les ovins ce nombre est assez faible pour une bonne maîtrise des animaux corroboré par l'étude de [12], [15] et [16] qui ont trouvé que les troupeaux sont généralement de petite taille et avaient des effectifs compris entre 1 et 12 têtes pour les caprins et de 19 et 21 têtes pour les ovins.

Le coût moyen de production d'un petit ruminant mâle dépend de l'espèce et de la race. Il varie entre 17 450 à 24 520 FCFA pour les caprins et entre 27 800 et 45 245 FCFA avec le coût de la main d'œuvre le plus élevé quel que soit l'espèce et la race.

Le prix de vente quant à lui varie en fonction de l'espèce, la race, le sexe et la période de vente. Il varie entre 20 000 FCFA et 45 000 FCFA pour les caprins NAO, entre 35 000 FCFA et 60 000 FCFA pour les caprins sahélien, entre 35 000 FCFA et 250 000 FCFA pour les ovins Djallonké et enfin entre 45 000 FCFA et 600 000 CFA pour les ovins sahéliens. La variation significative de ces prix est fonction essentiellement de la période de vente. En effet, en période de tabaski les prix flambent. Le prix varie aussi en fonction de la race et du sexe. Les races sahéliennes (caprins comme ovins) plus hautes sur pattes, sont mieux appréciées comparées aux autres d'une part et d'autre part les mâles sont vendus plus chères car utilisés pour les sacrifices, les cérémonies de mariage, de baptême etc. Cela est contraire à l'étude de [17] menée sur les caprins au Congo qui ont montré qu'un bouc est vendu 25 000 FCFA et une chèvre à 35 000 FCFA.

L'embouche qui n'est pas pratiquée chez les caprins qui sont élevés en divagation. Cela corrobore les résultats de [17] qui affirment que la divagation est le principal système d'élevage pratiqué au sein des fermes caprines. Chez les ovins l'embouche est pratiquée à 41 %. C'est une technique permettant aux éleveurs d'engraisser rapidement les ovins pour la vente pendant la fête de Tabaski.

Les résidus de culture sont utilisés par 61,5 % d'éleveurs de caprin et 97,4 % d'éleveurs d'ovin pendant toute l'année. Dans l'optique de pallier le déficit de pâturages les résidus de cultures sont d'une importance capitale. Ceux qui ne les utilisent pas se trouvent dans une zone où la végétation est présente ou sont éloignés des lieux de production. Ce résultat est comparable à l'étude de [14] qui ont trouvé que 77 % des éleveurs complémentaient par la distribution d'aliments concentrés; étant donné la qualité en général médiocre des végétaux disponibles, cette complémentation s'imposait surtout pour les femelles en production et les animaux d'engraissement, en particulier chez l'espèce ovine. Il en est de même pour [17] pour qui le complément est distribué principalement dû au manque des fourrages pendant la saison sèche.

En vue d'apporter des solutions aux différents aux difficultés alimentaires en saison sèche, les éleveurs ont accepté à 97,4 % chez les ovins et à plus de 91 % chez les caprins, que les épluchures de manioc soient mises en granulé pour une meilleure conservation et pour plus de qualité contre ceux qui se sont opposés parce que selon eux, cela va faire augmenter le prix d'achat de ce sous-produit.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il faut retenir qu'en plus du pâturage naturel les animaux sont beaucoup complémentés avec des aliments de diverses sources telles que les résidus agricoles et les sous-produits agro-industriels. Mais, la cherté, la rareté et l'inexistence de méthodes de conservation des épluchures de manioc, majoritairement utilisées, sont les difficultés rencontrées. Il est alors impérieux de trouver un moyen de conservation de ces épluchures de manioc. C'est ainsi que les éleveurs, dans leur majorité, ont soutenus que ces épluchures soient mises sous forme granulée. Une étude visant à mettre les épluchures de manioc sous forme granulée est nécessaire afin d'évaluer son impact sur l'alimentation des petits ruminants.

REFERENCES

- [1] MIRAH. «Plan stratégique de développement de l'élevage, de la pêche et de l'aquaculture». Volume I: Diagnostic – Stratégie de développement – Orientations (2014-2020), 102 P. 2014.
- [2] FAO-CEDEAO, 136 p. <http://www.fao.org/3/a-i5266f.pdf>, 2016.
- [3] MIRAH. «Politique Nationale de Développement de l'Elevage, de la Pêche et de l'Aquaculture» (PONADEPA 2022-2026), 178p. 2022.
- [4] Kouassi A. F., Aké -Assi E., N'Goran K. S. B., Ouattara D. et Tiebré M. S. «Contribution de l'élevage urbain à la sécurité alimentaire: stratégies d'adaptation des éleveurs de bovins dans le district d'Abidjan, Côte D'ivoire». *Afrique Science* 15 (6), pp 218 – 228. 2019.
- [5] Rivière R. «Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Paris: Ministère de la coopération et du Développement». Manuels et précis d'élevage: IEMVT, 9; 556 p. 1991.
- [6] Hamadou S. Tou Z. et Toé P. «Le lait, produit de diversification en zone périurbaine à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) ». *Cahiers Agricultures vol. 17*, n° 5, pp 473-478. 2008.
- [7] Kouadja G.S., Bakayoko A., N'Guessan K.A., Kouassi C.N. «Modes d'alimentation des ruminants en élevages urbains et périurbains de Bouaké (Côte d'Ivoire) ». *Revue Fourrages*. 233, pp 55-59. 2018.
- [8] INS (Institut National de la Statistique), «Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2021, Résultats globaux définitifs». Ministère du Plan et du Développement- Côte d'Ivoire. 68p. 2022.
- [9] Kouamé B., Ehounou J. N., Kassin K. E., Dekoula C. S., Yao G. F., N'Goran K. E., Kouakou B. K., Koné B. «Caractérisation des paramètres agroclimatiques clés de la saison culturale en zone de contact forêt-savane de Côte D'ivoire». *European Scientific Journal* 14 (36), p243. 2018.
- [10] CREPA. «Programme de gestion durable des déchets et l'assainissement urbain - Stratégie de gestion des boues de vidange issues des fosses septiques et des latrines dans une ville de plus de 500 000 habitants: cas de la commune de Bouaké en Côte d'Ivoire ». <https://www.ircwash.org/sites/default/files/>. 2002.
- [11] MIRAH, «Rapport annuel d'activité 2022. Direction Régionale de Gbêkê» 76p. 2023.
- [12] Tensaba R.S., Kiema A., Zongo M. et Bidigne L. «Analyse des pratiques paysannes de reproduction et d'exploitation des petits ruminants en zone périurbaine de la ville de Kaya». *Journal of Animal & Plant Sciences* Vol.53 (2), pp 9680-9688. 2022.
- [13] Tchouamo I.R, Tchoumboué J. et Thibault L. «Caractéristiques socio-économiques et techniques de l'élevage de petits ruminants dans la province de l'ouest du Cameroun». *TROPICULTURA*. 23, 4, p11. 2005.
- [14] Saidani K., Ziam H., Hamiroune M., Righi S., Benakhla A. 2019. Small ruminant rearing in Kabylia, Algeria, and prospects for its development. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 72 (2): 49-54, doi: 10.19182/remvt.31745.

- [15] Ayantunde A.A., Umutoni C., Dembele T., Koita S., Samake O. 2020. Amélioration de la production des petits ruminants dans les systèmes mixtes de cultures et d'élevage à travers des interventions sanito-alimentaires au sud du Mali. Institut International d'Agriculture Tropicale Juin 2020 www.africa-rising.net. p31.
- [16] Ndiaye B., Diouf M. N., Sambe B. S., Dayo G.K., Diop M. et Sembene M. 2019. Dynamique des Troupeaux de Petits Ruminants Sahéliens dans les Exploitations Rurales au Sénégal. European Scientific Journal October 2019 edition Vol.15, No.30 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
Doi: 10.19044/esj.2019.v15n30p183 URL: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p183>.
- [17] Wasso D.S., Akilimali J.I., Patrick B., Bajope J.B. 2018. Élevage caprin: Situation actuelle, défis et impact socioéconomique sur la population du territoire de Walungu, République Démocratique du Congo Journal of Applied Biosciences 129: 13050 -13060 ISSN 1997-59022018.<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v129i1.8>.

Utilisation de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans la cartographie des bas-fonds dans le département de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Use of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) for Mapping Low-Lying Areas in the Man County (Western Côte d'Ivoire)]

COULIBALY Léréyaha¹, OUATTARA Ismaïla¹, KONE Brahim², OUEDRAOGO Moussa¹, DAO Amidou², SORO Gneneyougo Emile², and KAMAGATE Bamory²

¹Department des mines et réservoirs, Université de Man, UFR des sciences Géologiques et Minières, Man, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The aim of this work is to identify and enhance the value of lowlands in the face of the challenges posed by climatic hazards, with a view to the sustainable use of land that represents a major challenge for agriculture in Ivory Coast. The data used in this study are sentinel-2 images for the year 2023. The various methodological approaches used consisted of the combined extraction of vegetation, moisture and topographical indices. Analysis of the results shows that our study area has lowlands covering an area of around 31,100 ha. In the department of Man, 121584 ha of wetlands have been inventoried, covering 12% of the territory. They offer opportunities for a variety of crops, particularly rice and market gardening, and play a crucial role in food security and people's livelihoods. However, their use faces challenges linked to climatic hazards, water management constraints and land pressure from urban expansion. Lowlands benefit from higher humidity and soils that are often rich in nutrients, which encourages crop growth. Farming in these areas contributes to local food security and can generate additional income for households. At times, these areas are prone to flooding and drought, which can lead to crop losses. It is important to manage these different plots in a sustainable way, taking into account the needs of the local population and the preservation of the environment. This work highlights the effectiveness of the remote sensing-GIS approach for monitoring wetland ecosystems and strategies for adapting to climate change.

KEYWORDS: Inland valleys, remote sensing, GIS, cartography, Ivory Coast.

RESUME: L'objectif de ce travail est d'identifier et de valoriser les bas-fonds face aux défis posés par les aléas climatiques en vue d'une exploitation durable des terres représentant un enjeu majeur pour l'agriculture en Côte d'Ivoire. Les données utilisées dans cette étude sont les images sentinel-2 de l'année 2023. Les différentes approches méthodologiques exploitées ont consisté à la conjugaison de l'extraction des indices de végétation, d'humidité et topographiques. L'analyse des résultats révèle que notre zone d'étude est pourvue en bas-fonds couvrant une superficie d'environ 31100 ha. Pour dans le département de Man les zones humides inventoriées sont au nombre de 121584 ha et occupent 12 % du territoire. Ils offrent des opportunités de cultures variées, notamment le riz et le maraîchage, et jouent un rôle crucial dans la sécurité alimentaire et la subsistance des populations. Cependant, leur exploitation est confrontée à des défis liés aux aléas climatiques, aux contraintes de gestion de l'eau et à la pression foncière due à l'expansion urbaine. Les bas-fonds bénéficient d'une humidité plus importante et de sols souvent riches en nutriments, ce qui favorise la croissance des cultures. L'agriculture dans ces zones contribue à la sécurité alimentaire locale et peut générer des revenus supplémentaires pour les ménages. Par moment ces zones sont sujettes aux inondations et à la sécheresse, ce qui peut entraîner des pertes de récoltes. Il est important d'aménager ces différentes parcelles de manière durable, en tenant compte des besoins des populations locales et de la préservation de l'environnement.

Ce travail met en lumière l'efficacité de l'approche télédétection-SIG pour le suivi des écosystèmes humides et aux stratégies d'adaptation aux changements climatiques.

MOTS-CLEFS: Bas-fonds, télédétection, SIG, cartographie, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, l'exploitation des bas-fonds a connu une expansion significative en Afrique de l'Ouest, tant en nombre qu'en superficie. Cette dynamique s'explique par la fertilité naturelle de leurs sols et leur caractère hydromorphe, qui les rend particulièrement attractifs dans un contexte de forte variabilité climatique et de mutations profondes des systèmes d'utilisation des terres agricoles [17]. Dans l'ensemble de l'Afrique subsaharienne, le développement agricole des zones humides – et des bas-fonds en particulier – s'est fortement accéléré ces dernières années [21]; [22] ces derniers étant de plus en plus considérés comme des espaces stratégiques pour renforcer la sécurité alimentaire et lutter contre la pauvreté rurale. Représentant environ 7 % des terres cultivables du continent [1], les bas-fonds constituent un réservoir foncier à fort potentiel pour l'intensification de certaines cultures, notamment le riz [14], en raison de leur disponibilité en eau et de leur bonne fertilité. Leur valorisation est aujourd'hui envisagée comme une réponse prometteuse aux effets du changement climatique et à la dégradation des terres agricoles [11].

En Côte d'Ivoire, les zones humides représentent un important capital naturel, particulièrement dans la bande centrale, où les bas-fonds sont abondants. Toutefois, les spécificités géomorphologiques de chaque bassin versant (Comoé, Bandama, Sassandra, Cavally), combinées aux particularités climatiques locales, confèrent aux bas-fonds des caractéristiques propres, rendant toute approche de gestion uniforme peu adaptée. L'absence de caractérisation fine de ces zones conduit bien souvent à des aménagements standardisés, inadaptés aux réalités environnementales locales. Dans ce contexte marqué par un calendrier climatique de plus en plus incertain et par des contraintes physiques complexes, les faibles capacités techniques des producteurs exacerbent les difficultés agricoles. L'élaboration de politiques d'aménagement efficaces nécessite donc un appui scientifique solide, dont la première étape consiste à établir une base de données géospatiale fiable et détaillée [20].

Si les méthodes de levés de terrain traditionnelles permettent des observations précises, elles restent chronophages et coûteuses à grande échelle. À l'inverse, les techniques de télédétection couplées aux systèmes d'information géographique (SIG) offrent une alternative efficace pour identifier, cartographier et analyser les zones humides de manière rapide, homogène et à différentes échelles d'analyse [5]; [9]; [13]; [16]; [18].

Dans ce cadre, la présente étude a pour objectif principal l'identification et la cartographie des bas-fonds dans le département de Man, à l'aide d'outils de télédétection et de systèmes d'information géographique. Il s'agit, plus précisément, de localiser et de délimiter les zones humides de type bas-fonds, d'évaluer la fiabilité et la précision des méthodes géospatiales mobilisées pour cet inventaire, et de produire une base de données géographique exhaustive pouvant servir de support à la planification territoriale et à la mise en œuvre de stratégies d'aménagement durable.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 ZONE D'ETUDE

Le département de Man, situé dans la région du Tonkpi à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, s'étend entre 07°00' et 07°40' de latitude nord et entre 07°20' et 08°00' de longitude ouest. Avec une superficie d'environ 2 692 km² et une population de 461 135 habitants [6], ce territoire se caractérise par une forte densité humaine et un environnement varié (Figure 1). Il est limité par les départements de Biankouma, Danané, Bangolo et Kouibly ainsi que Facobly respectivement au Nord, à l'Ouest, au Sud et à l'Est.

Le relief du département de Man est composé de plusieurs unités morphologiques à savoir: les sommets qui sont plus ou moins élevés, les versants et les fonds de vallées. Ces unités morphologiques sont subdivisées en deux ensembles morphologiques et d'extension inégale: un ensemble montagneux (chaîne de Toura et de Dan) et une zone de plateau [8]. Le département de Man présente ainsi des sites quasiment accidentés. En effet, c'est ici que l'on rencontre les reliefs les plus vigoureux de la Côte d'Ivoire avec des altitudes atteignant et dépassant même les 1000 m. Le département est traversé par un réseau hydrographique dense, alimenté par les affluents du fleuve Sassandra [8]. Son climat est de type tropical humide caractérisé par deux saisons: une saison sèche et une saison humide. La température varie entre 24,8°C et 28,5°C.

Les sols du département de Man sont principalement de type ferrallitique, avec une fertilité chimique moyenne [12]. On distingue plusieurs types:

- Sols remaniés sur granitoïdes à texture sablo-argileuse, présents en périphérie,
- Sols issus de migmatites caractérisés par une forte teneur en argile et adaptés aux milieux forestiers,
- Sols hydromorphes argilo-limoniques qui se développent dans les plaines alluviales.

2.1.1 DONNÉES UTILISÉES

Deux principales sources de données ont été mobilisées dans cette étude. Il s'agit, d'une part, des images Sentinel-2 datées du 21 décembre 2023, orthorectifiées et présentant une résolution spatiale comprise entre 10 et 20 mètres. Ces images sont particulièrement adaptées à l'extraction d'indices de végétation et d'humidité, tels que le NDVI ou le NDMI. D'autre part, les modèles numériques d'élévation ASTER (DEM), avec une résolution spatiale de 30 mètres, ont été utilisés pour dériver des indices topographiques tels que la pente et l'indice topographique d'humidité (TWI), essentiels pour la caractérisation des zones potentiellement humides.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 INDICE NORMALISÉ DE VÉGÉTATION (NDVI)

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un indice permettant de générer une image représentant le niveau d'activité photosynthétique et de biomasse de la couverture végétale. Il s'agit d'une mesure du bilan de l'énergie reçue et de l'énergie émise par les objets sur la Terre. Le NDVI a été utilisé dans plusieurs travaux de recherches pour définir la végétation des zones humides en général et des bas-fonds en particulier [19]; [4]. L'indice normalisé de végétation est donné par l'équation 1:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (Eq. 1)$$

Où NIR représente la réflectance dans le proche infrarouge et **R** dans le canal rouge.

Les valeurs du NDVI s'étendent de -1 à 1. L'interprétation des images est faite en tenant compte des hypothèses suivantes:

- Les valeurs très basses de NDVI (< 0,1) correspondent aux espaces sans végétation tels que les affleurements rocheux, le sable ou la neige;
- Les valeurs modérées (0,2 à 0,3) représentent les zones arbustives et de prairie, alors que les valeurs élevées (0,5 à 0,8) signalent une végétation dense abondante.

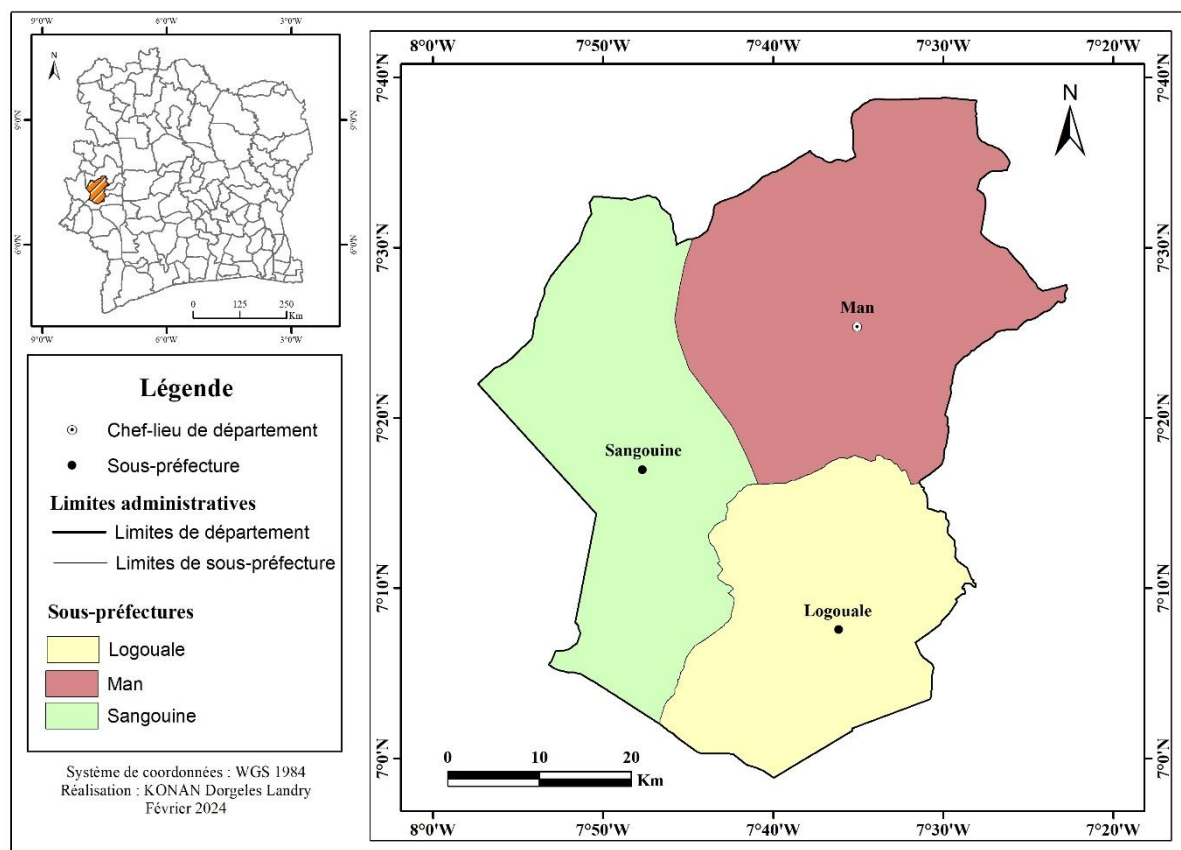


Fig. 1. Localisation du département de Man

La visualisation de la réponse a permis de distinguer la végétation, notamment celle caractéristique des milieux humides.

2.2.2 INDICES D'HUMIDITÉ (NDMI)

L'indice normalisé d'humidité indique les variations d'humidité du sol, étant fortement corrélé avec la teneur en eau de la végétation et constituant un bon indicateur du changement végétal [15]. Le NDMI est calculé en utilisant les bandes du proche infrarouge (NIR) et de l'infrarouge à ondes courtes (SWIR1), selon l'équation 2:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1} \text{ (Eq. 2)}$$

Le NDMI est un indice spectral approprié pour caractériser les variations d'humidité dans le sol et dans la végétation. Les valeurs varient de -1 à 1. Les valeurs positives et plus proches de 1 représentent un contenu en humidité élevée caractérisant une végétation saine et bien hydratée et plus proches de -1 constituent les niveaux de faible humidité qui caractérisent une végétation sèche, mettant en évidence les zones manquant d'eau.

2.2.3 INDICES TOPOGRAPHIQUES

Le TWI en français l'Indice d'Humidité Topographique connu encore sous le nom d'Indice de Beven-Kirkby (IBK) a été développé par [2]. C'est un indice classique d'intérêt dans la quantification de l'effet de la topographie sur les processus hydrologiques en particulier l'engorgement des sols. Ainsi, il permet d'évaluer l'influence de la topographie sur la potentialité d'une zone humide. Le TWI a été utilisé dans plusieurs travaux pour la détection des milieux humides [10]. Il est plus performant et recommandé dans les zones de collines à montagneuses. De plus il se révèle plus pertinent pour estimer les zones hydromorphes de bas-fonds (Aurrousseau et Squidant, 1995). L'indice d'humidité topographique s'étend de 0 à 30. Il est obtenu à partir de l'équation 3:

$$TWI = \ln\left(\frac{A}{\tan\beta}\right) \text{ (Eq. 3)}$$

A: Surface amont drainée (drainage naturel) en ce point (m²)

β: Angle en radians de la pente le long de la direction du flux.

2.3 IDENTIFICATION DES ZONES DE BAS-FONDS

Les indices de végétation, d'humidité et topographique précédemment évoqués ne peuvent être exploités de manière optimale dans l'identification des bas-fonds s'ils sont considérés isolément. Afin d'inventorier les zones humides de bas-fonds dans le département de Man et de réduire considérablement les marges d'erreur, ces indices sont combinés et superposés selon des seuils de valeurs définis. Les seuils de valeurs des indices utilisés pour identifier les zones de bas-fonds ont été définis à partir de l'interprétation visuelle des différents indices, en s'appuyant sur les quelques bas-fonds inventoriés sur le terrain et à partir de Google Earth. Le tableau 1 présente l'étendue et les valeurs retenues pour les indices considérés comme critères d'identification.

Tableau 1. Critères d'identification des zones humides de bas-fonds

Indices	Type	Étendue	Valeurs retenues
Végétation	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	-1 à 1	0,4 à 0,72
	NDMI (Normalized Difference Moisture Index)	-1 à 1	0,10 à 0,39
Humidité	TCW (Tasseled-Cap Wetness Index)	-8855,56 à -399,43	Supérieur à -2000
	MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	-1 à 1	-0,25 à 0,06
Topographique	Pente	0 à 100%	Inférieure ou égale à 2%
	TWI (Topographic Wetness Index)	0 à 30	Supérieur à 8,4

Comme indiqué précédemment, l'identification des zones potentielles de bas-fonds est réalisée à partir de la combinaison et la superposition des critères préalablement définis à partir des seuils de valeurs retenus. À cet effet les opérations booléennes du logiciel ArcGIS ont été utilisées. Du résultat issu de la combinaison des indices de végétation, d'humidité et de la topographie, sont extraits les zones de bas-fonds aménageables dont la superficie est inférieure ou égale à 25 ha selon le DIARPA [7].

3 RÉSULTATS

3.1 INDICE DE VÉGÉTATION

L'indice de végétation (NDVI) calculé à partir des images Sentinel-2 a permis de décrire l'activité chlorophyllienne et de suivre la végétation des bas-fonds dans le département de Man en période de saison sèche. La figure 2 illustre la distribution de la végétation dans le département de Man. Les zones de forte réflectance (fortes valeurs de NDVI) correspondent à la présence de végétation dense à très dense.

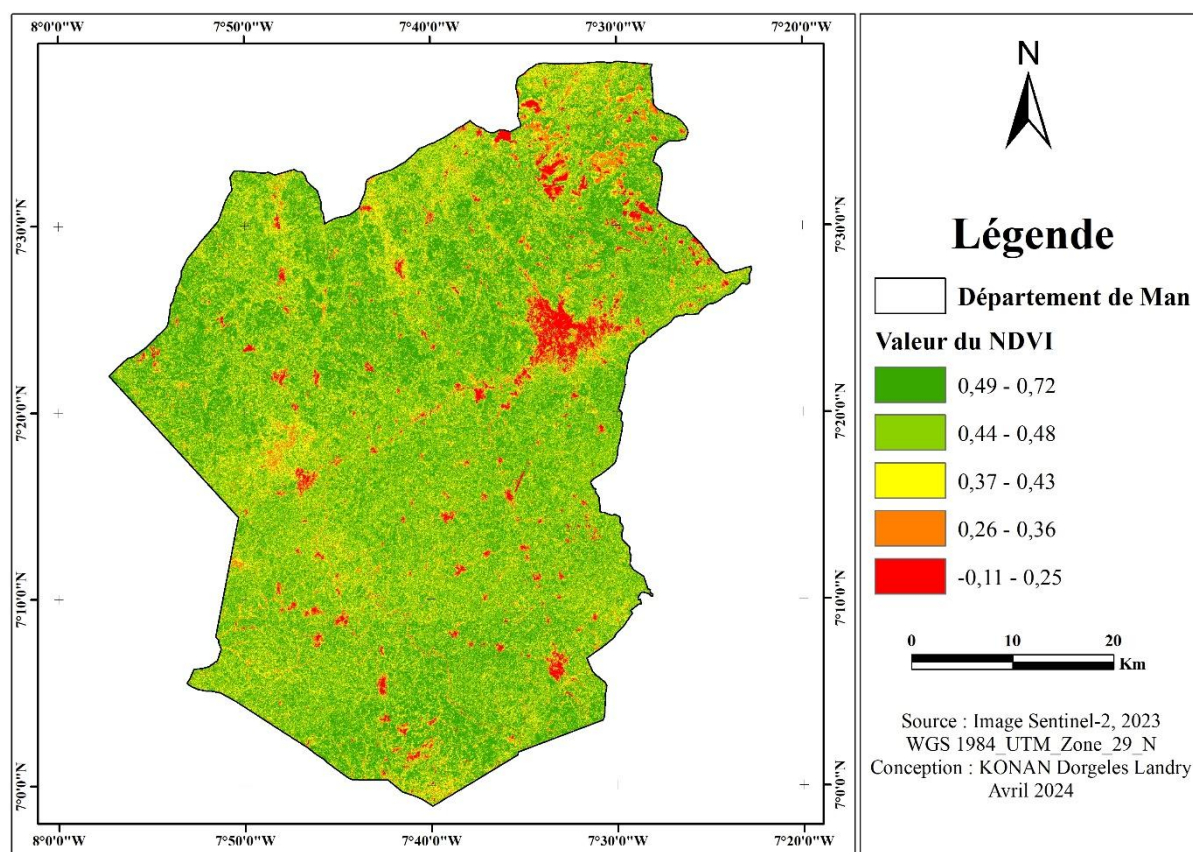


Fig. 2. Indice Normalisé de végétation de Décembre 2023 du département de Man

Dans cette étude la valeur de NDVI supérieur à 0,4 a été choisie comme seuil de valeurs pour la définition des zones de bas-fonds. La valeur de NDVI supérieur à 0,4 indique la réflectance d'une végétation dense, caractéristiques des zones de bas-fonds.

3.2 INDICE D'HUMIDITÉ

Les bas-fonds sont typiquement des zones où l'humidité du sol et de la végétation est élevée en raison de la présence de nappe proche de la surface ou de l'accumulation d'eau de ruissellement. Afin d'évaluer l'humidité du sol et de la végétation dans le département de Man en saison sèche, nous avons calculé à partir des images Sentinel-2 le NDMI, le TCW dont les résultats sont présentés ci-dessous.

La figure 3 nous présente la spatialisation de l'indice d'humidité normalisé du département de Man en saison sèche. L'analyse montre que le département de Man est une région très humide dans sa globalité. La valeur du NDMI est comprise entre -0,27 et 0,39.

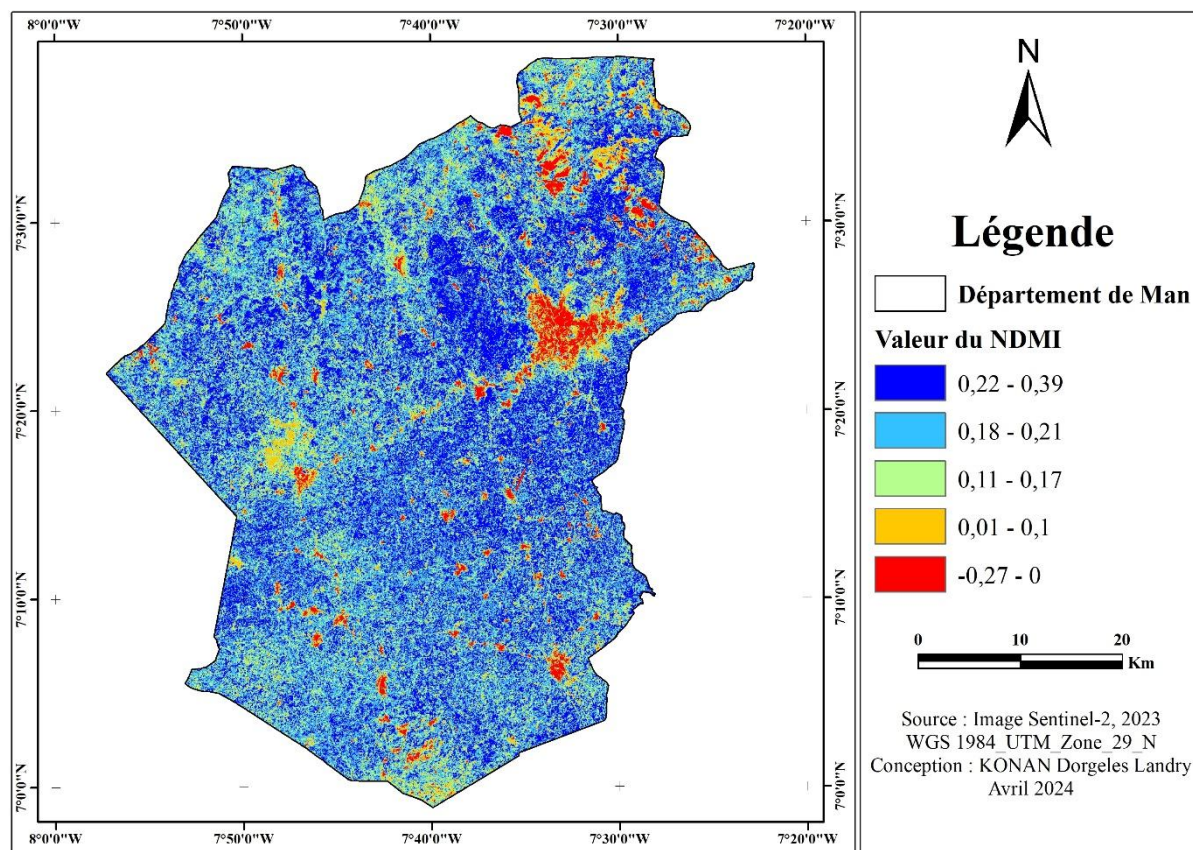


Fig. 3. Carte de la répartition spatiale du NDMI dans le département de Man

Dans notre étude, pour une identification optimale des potentielles zones de bas-fonds, le seuil de valeur de NDMI fixé est 0,10. Ainsi toutes les zones du département où la valeur du NDMI est supérieure à 0,10 ont été extraites et considérées comme nos régions humides. Ces zones occupent environ 87% du département.

La figure 4 nous présente la carte thématique du TCW qui a permis de savoir les zones qui peuvent être considérées comme des zones humides. Les valeurs les plus élevées de TCW correspondent à ces zones. Dans notre étude, le TCW calculé à partir des images Sentinel-2 du 23 décembre 2023 oscille entre -8855,56 et -399,43.

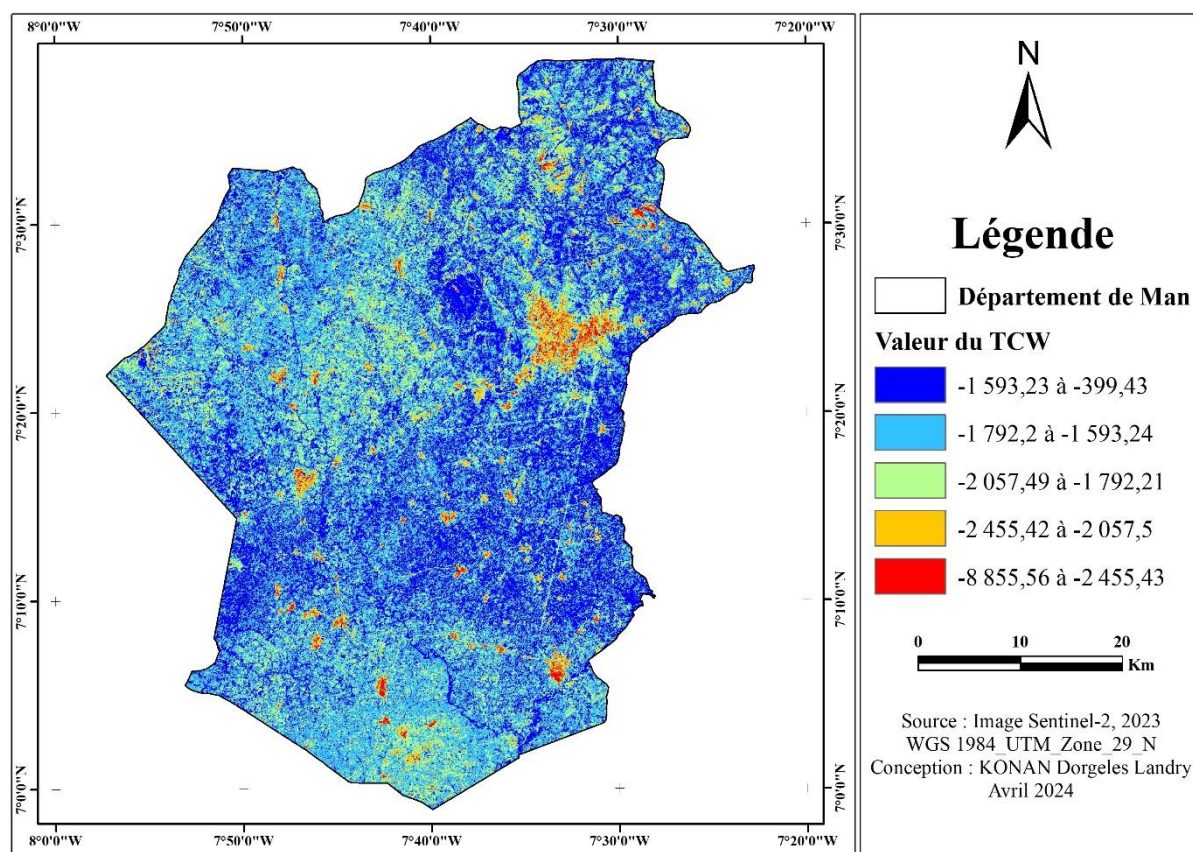


Fig. 4. Carte du TCW du département de Man en Décembre 2023

3.3 INDICES TOPOGRAPHIQUES

Les indices topographiques utilisés dans cette étude pour l'inventaire des bas-fonds dans le département de Man sont très importants. Car ils conditionnent l'accumulation d'eau ou la saturation de ces paysages de bas-fonds. Il s'agit de la pente (ondulation du relief) et le TWI (Topographic Wetness Index).

Les pentes du secteur d'étude extraites du DEM ASTER montrent les différentes facettes topographiques (endroits élevés et bas). La figure 5 présente la carte des pentes en pourcentage de notre zone d'étude. Ici, la valeur des pentes varie de 0 à 84,4% et indique la présence des ondulations de terrain qui contribuent à la mise en place des paysages de bas-fonds. La pente des bas-fonds est faible et doit être inférieure ou égale à 2 % pour faciliter la mise en place des ouvrages d'aménagements hydroagricoles techniquement et économiquement rentables. Une reclassification en pente faible (pente inférieure à 2 %) et pente forte (pente supérieure à 2 %) a été effectuée (figure 6).

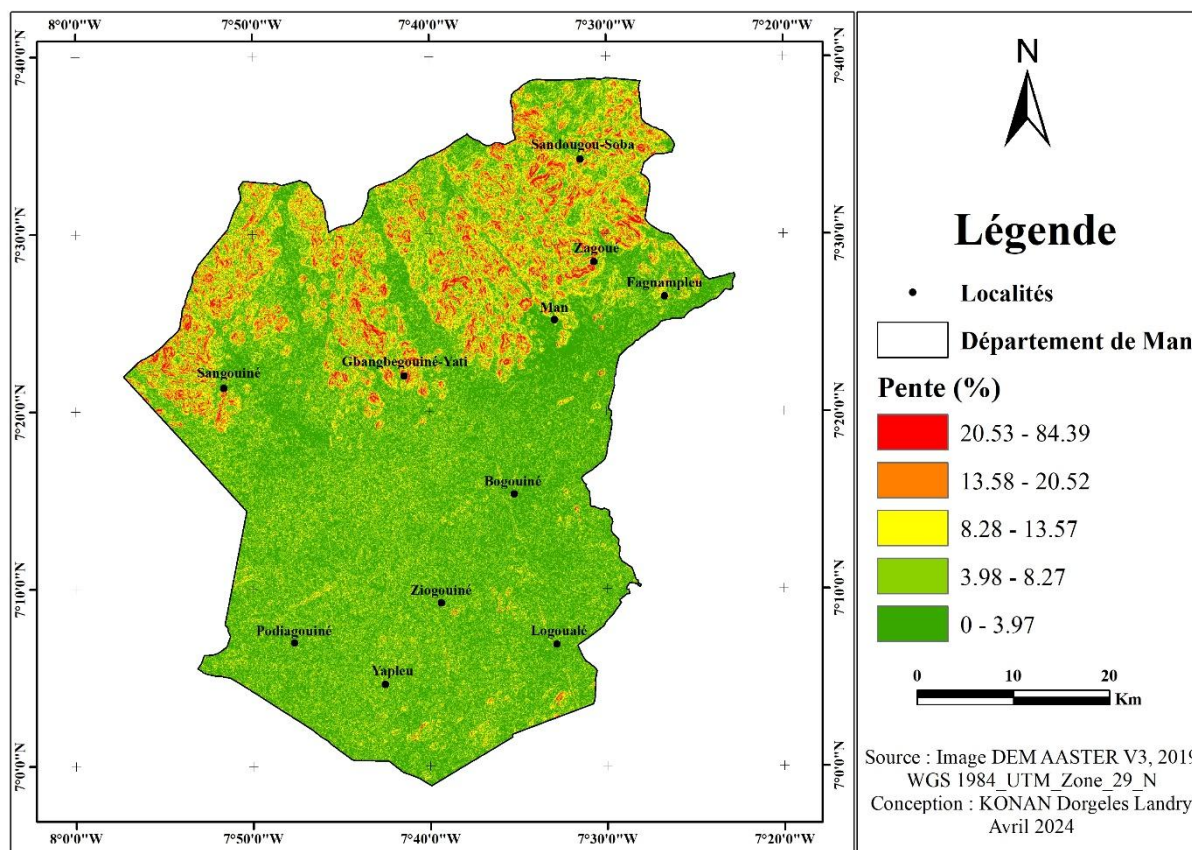


Fig. 5. Pentes en pourcentage du département de Man

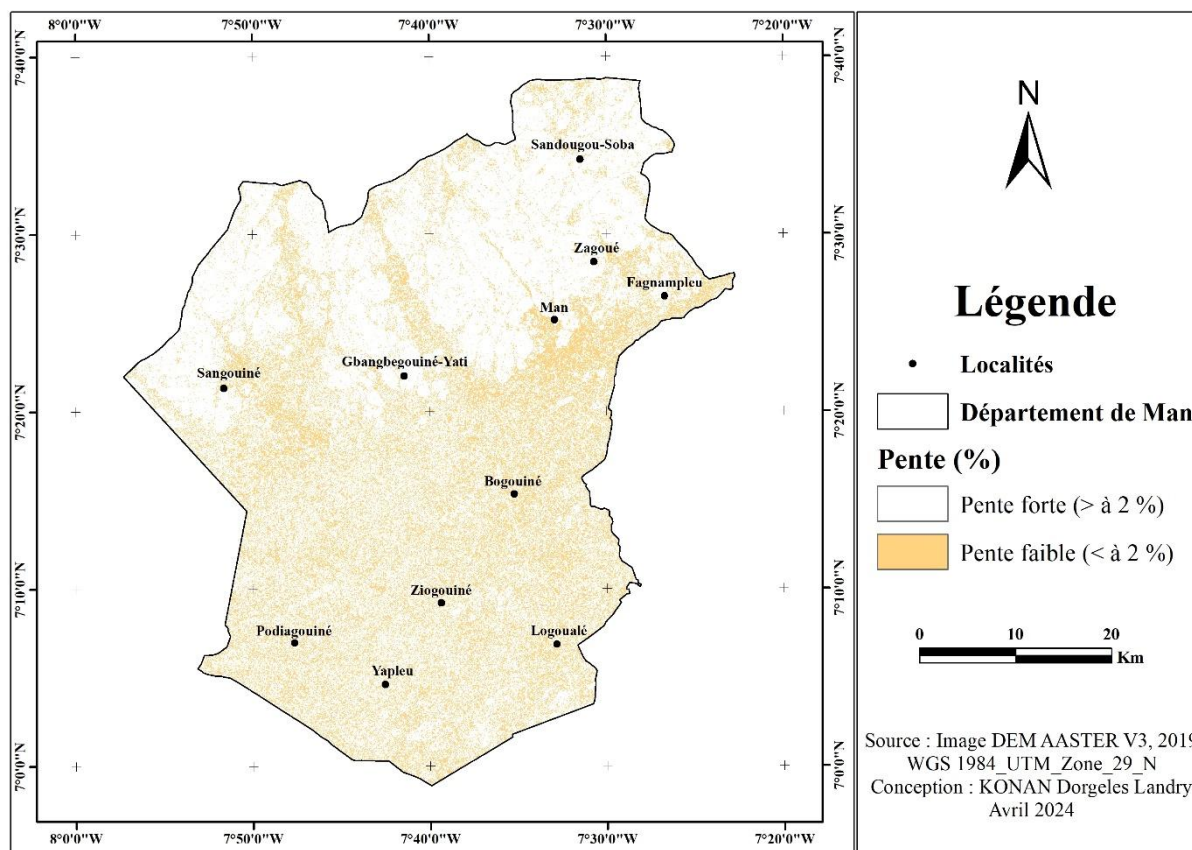


Fig. 6. Pentes reclassifiées du département de Man

La figure 7 présente les zones du département de Man capables d'être occupées par des sols hydromorphes ou non sur la base des valeurs du TWI.

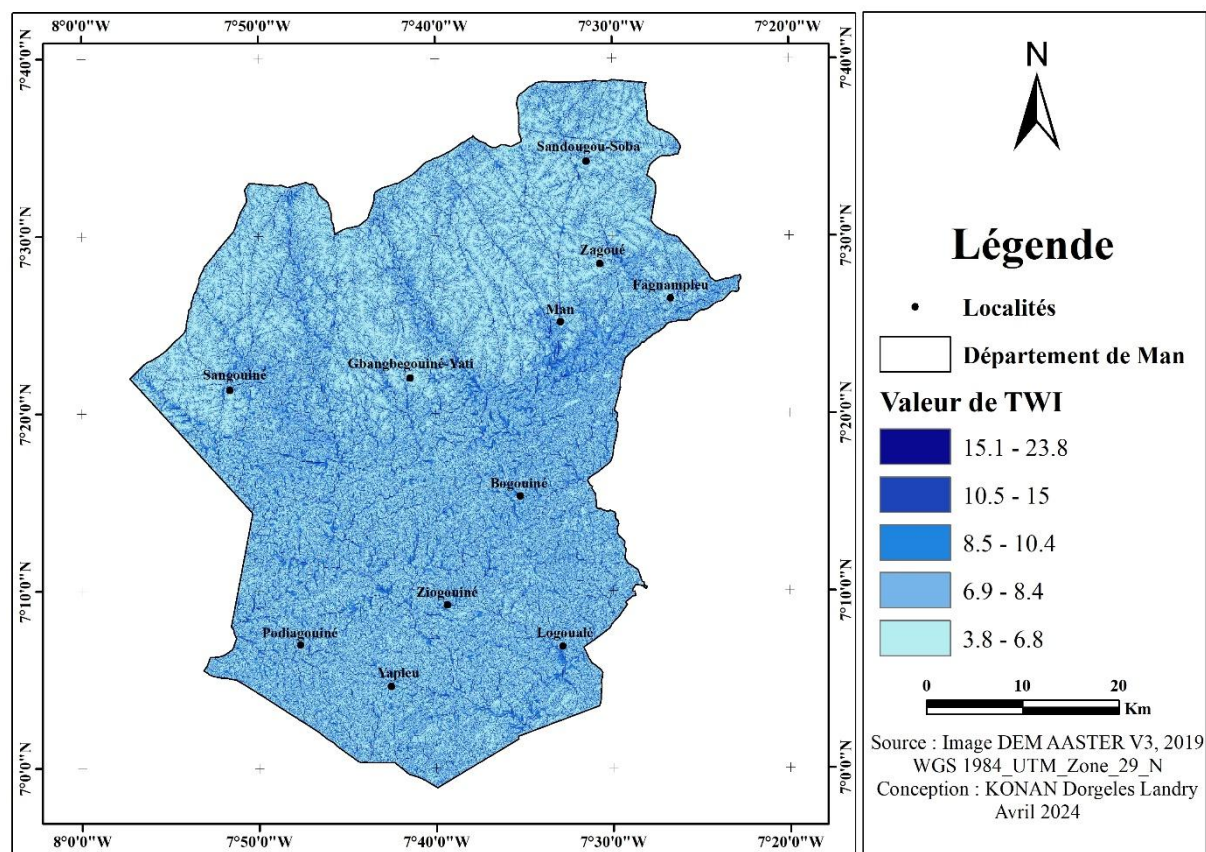


Fig. 7. Indice d'humidité topographique dans le département de Man

3.4 POTENTIALITES EN BAS-FONDS DU DEPARTEMENT DE MAN

L'analyse multicritère des indices de végétation (NDVI), d'humidité (NDMI, TCW) et topographique (pente et TWI) préalablement établis a permis d'extraire le potentiel en bas-fonds du département de Man à travers une superposition booléenne dans le logiciel ArcGIS. La figure 8 présente les potentialités en bas-fonds du département de Man. Son analyse révèle que notre zone d'étude est pourvue en bas-fonds couvrant une superficie d'environ 31100 ha. Les bas-fonds inventoriés dans le département de Man sont au nombre de 121 584 et occupent 12 % du territoire. L'analyse de la carte des bas-fonds permet de noter que les plus grands bas-fonds du département de Man sont à proximité des cours d'eau voir dans le lit majeur des cours d'eau.

3.5 VALIDATION DES RÉSULTATS

L'approche d'inventaire dans cette étude utilise les méthodes de télédétection et de SIG. Cette approche peut donner des résultats conformes ou pas de la réalité ou du terrain. Par conséquent une validation des bas-fonds inventoriés par cette approche se montre capitale. Pour valider les résultats du potentiel en bas-fonds de notre zone d'étude, nous avons digitalisé vingt (20) bas-fonds dans la sous-préfecture de Man à partir de Google Earth. La figure 9 présente quelques-uns des bas-fonds digitalisés. Ces bas-fonds digitalisés sont importés dans ArcGIS puis rastérisés. Cette couche de bas-fonds digitalisés est superposée à la couche des bas-fonds inventoriés par la méthode d'inventaire. Les bas-fonds digitalisés sont en rouge et les bas-fonds inventoriés sont en vert. L'analyse de la figure 10 révèle que la totalité des bas-fonds digitalisés se superpose avec exactitude sur les bas-fonds inventoriés, soit 100% des bas-fonds digitalisés correspondent aux bas-fonds inventoriés.

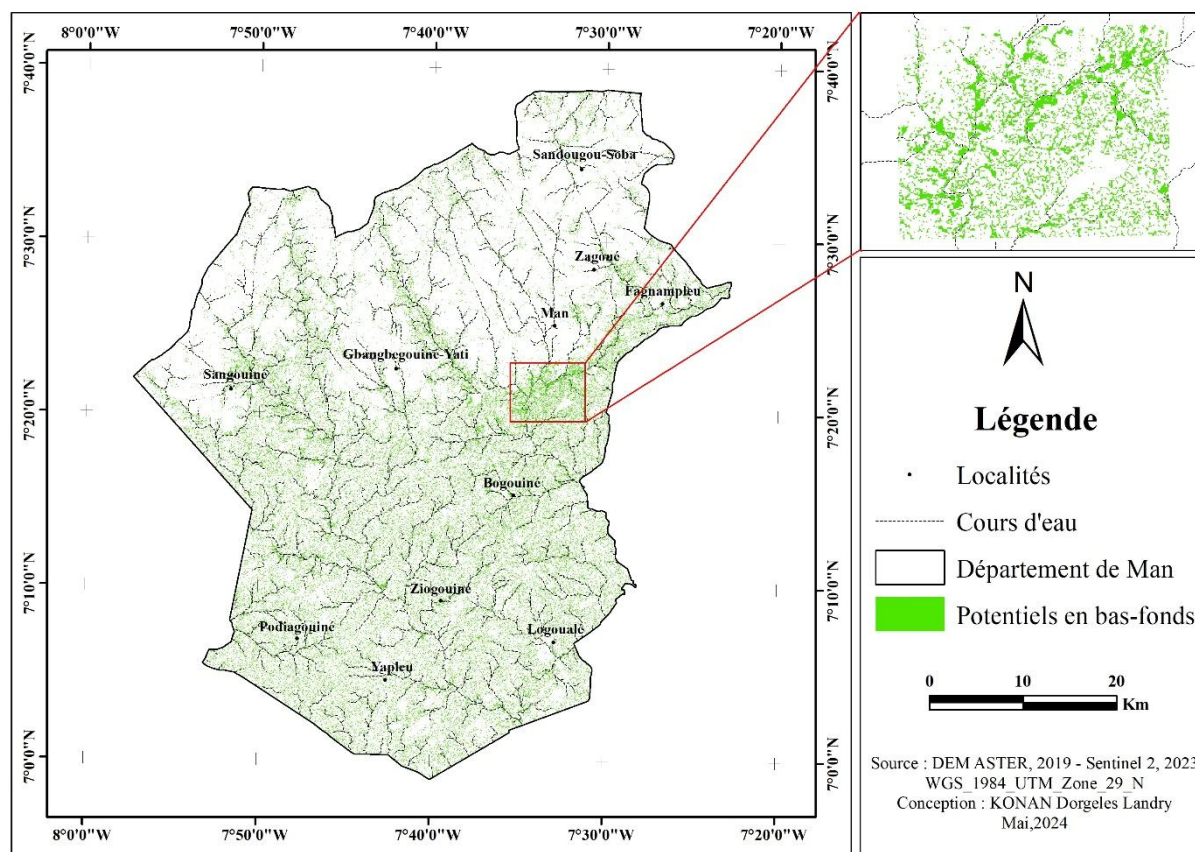


Fig. 8. Potentialités en bas-fonds du département de Man

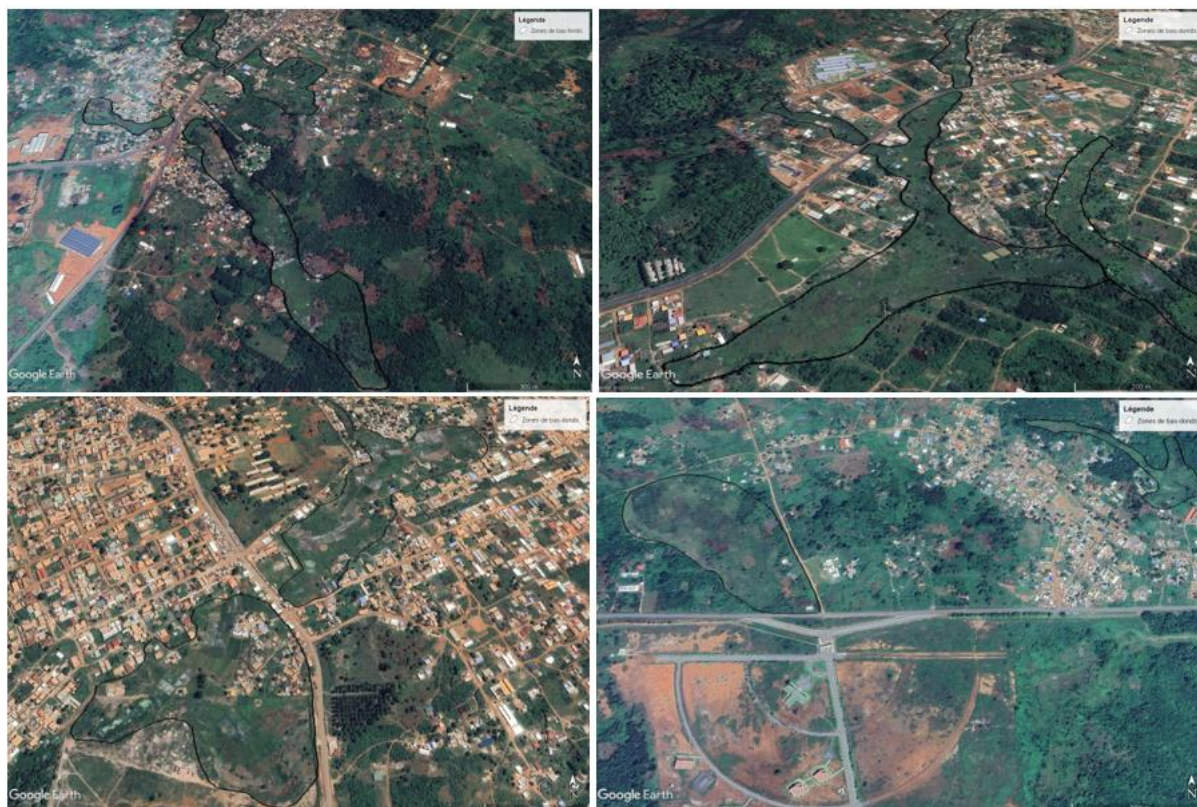


Fig. 9. Images de quelques bas-fonds dans la ville de Man

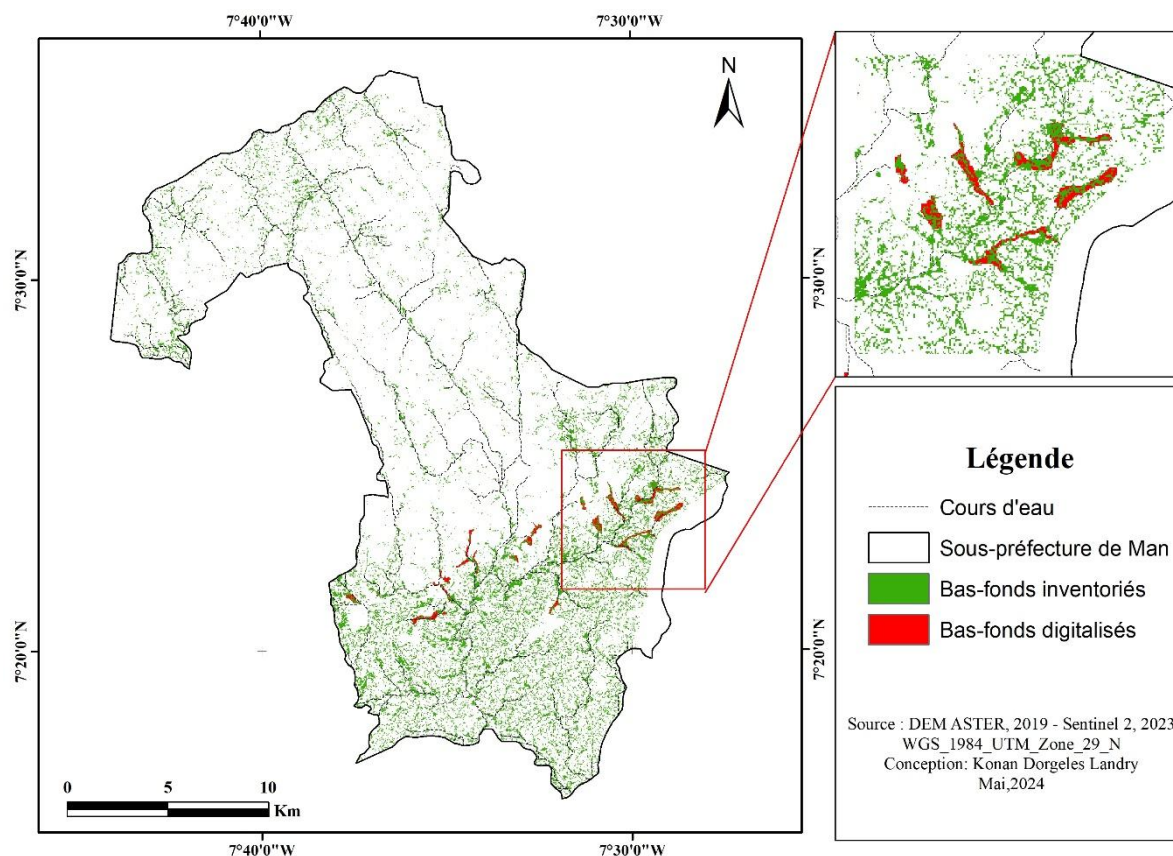


Fig. 10. Carte de validation des bas-fonds inventoriés dans le département de Man

4 DISCUSSION

L'inventaire des bas-fonds peut se faire de différentes manières selon plusieurs études. La mise en évidence des bas-fonds à partir des données de terrain permet de les inventorier avec exactitude et de mieux les caractériser. Mais cette méthode d'inventaire présente des limites quand il s'agit de recenser de façon exhaustive le potentiel en bas-fonds d'une vaste zone d'étude, comme c'est le cas dans ce travail. Plusieurs programmes d'inventaire des potentiels bas-fonds à partir de terrain ont été effectués au Bénin dans les départements de l'Atocora-Donga. En 2002, les départements de l'Atocora-Donga étaient pourvus de 56000 ha de bas-fonds selon les statistiques [3] Par contre en 2011, un autre recensement a identifié près de 78000 de bas-fonds. Afin de repousser les limites de l'inventaire par terrain, il est nécessaire de recourir aux données satellitaires. De plus, cette méthode est onéreuse et demande assez de moyens et de temps. Une autre méthode d'inventaire des bas-fonds est une approche à partir des données de télédétection. Cette méthode d'inventaire a fait l'objet de plusieurs travaux de recherches et même pour l'inventaire des zones humides en général [19]. Cette méthode fait ressortir le potentiel en bas-fonds d'une zone à partir des images issues de la télédétection en se basant sur la définition de paramètres d'identification selon une méthode de traitement automatique et élaboré et assisté par ordinateur [17].

La méthode d'inventaire du potentiel en bas-fonds dans le cadre de cette étude couple télédétection et Système d'Information Géographique. Cette approche méthodologique s'est montrée plus rapide, moins onéreuse et très efficace. Elle a permis de connaître de façon exhaustive les potentiels bas-fonds de notre zone d'étude et par ricochet ceux aménageables. Cela confirme les conclusions tirées par [17] dans une étude d'inventaire et de caractérisation des bas-fonds du bassin versant de l'Oti au Bénin. L'estimation du potentiel en bas-fonds a tenu compte de cinq critères à savoir la pente, le NDVI, les zones d'accumulation d'eau, le NDWI et le Tasseled-cap Wetness Index. Dans la présente étude, certains des critères choisis par [17] ont été utilisés. Il s'agit de la pente, le NDVI et le Tasseled-Cap Wetness index. En revanche, le NDWI a été remplacé par le MNDWI et les zones d'accumulation par le TWI (Topographic Wetness Index). L'ensemble de ces paramètres choisis dans le cadre de notre étude sont regroupés en trois indices à savoir les indices de végétation, d'humidité et de topographie. Le choix des indices topographiques et d'humidité est guidé par les résultats de [5]. Ces résultats révèlent que les conditions géomorphologiques et hydrologiques sont les deux aspects les plus déterminants dans la répartition des zones humides. Les

conditions géomorphologiques et hydrologiques associées à la végétation sont très efficaces dans l'inventaire des zones humides de bas-fonds, car la végétation est un facteur primordial dans la définition des zones de bas-fonds. D'où le choix de l'indice de végétation (NDVI) dans notre étude. Le choix de remplacer le paramètre zone d'accumulation d'eau utilisée dans les travaux de [17] par l'indice d'humidité topographique est guidé par les études qui présentent le TWI comme très pertinent pour estimer les zones hydromorphes des bas-fonds. Cet indice s'est montré effectivement très pertinent dans la présente étude.

Cette méthode d'inventaire des zones humides de bas-fonds développée a permis de répertorier tous les bas-fonds du département de Man et d'en extraire ceux aménageables dont la superficie est inférieure ou égale à 25 ha. Le département de Man est pourvu de 121 584 bas-fonds couvrant une superficie de 31100 ha, soit 12 % du territoire. La quasi-totalité de ces bas-fonds inventoriés sont facilement aménageable tel que défini par le DIARPA qui considère un bas-fond économiquement et techniquement lorsque sa superficie est inférieure ou égale à 25 ha [4]. Ces bas-fonds peuvent être déjà mis en valeur, car ils présentent des conditions hydrologiques et morphologiques qui correspondent aux critères de mise en valeur des bas-fonds.

À la lumière des résultats obtenus puis validés, il apparaît évident que l'utilisation des images Sentinel-2 couplées à l'image DEM ASTER peut être proposée pour les études d'identification des zones humides de bas-fonds. Cela corrobore les études menées par [18] qui a utilisé les images SRTM, ETM+, Modis et Ikonos dans l'identification des zones humides des grands bassins hydrographiques de l'Afrique. La démarche méthodologique de cartographie des bas-fonds ici présentée est une méthode facile à mettre en application d'un point de vue informatique et offre une multitude d'outils d'aide à l'interprétation des données. Les résultats obtenus à l'issue de cette méthode sont satisfaisants. La méthode d'inventaire dans ce travail s'est montrée plus rapide que la méthode classique qui consiste à aller directement sur le terrain et de faire des levés directs et systématiques qui nécessiterait plus de temps, de coût et de moyen surtout si la zone à couvrir est vaste.

Cette méthode d'inventaire développée dans cette étude est très efficace et fiable pour répertorier les bas-fonds du département de Man. Cependant, elle n'inventorie pas avec assez de précision les bas-fonds dans les zones fortement urbanisées. Cela est dû à la résolution spatiale de nos images satellitaires. Pour inventorier avec plus de précision les zones humides de bas-fonds à l'aide de la télédétection et des SIG, l'utilisation des images de très haute résolution spatiale telles que les images SPOT, Lidar ou Quickbird de résolution spatiale inférieure à 5 m est nécessaire. De plus, cette approche méthodologique ne permet pas de caractériser les bas-fonds inventoriés pris de façon individuelle. Elle ne permet pas une caractérisation pédologique et hydrologique effective des bas-fonds inventoriés. Il est donc indispensable de compléter ce travail par une prospection sur le terrain de ces bas-fonds.

La carte de localisation géographique des bas-fonds du département de Man réalisée dans ce travail est un instrument d'aide et intervient en amont de toutes interventions des acteurs (nationaux et internationaux) pour la réalisation des ouvrages d'aménagements hydroagriques afin de contribuer à leur mise en valeur dans ce contexte de changement climatique.

5 CONCLUSION

L'approche méthodologique développée dans cette étude a permis l'inventaire des bas-fonds dans le département de Man. Il s'agit d'une analyse multicritère qui a combiné les indices de végétation (NDVI), d'humidité (NDMI, TCW et MNDWI) et de topographie (TWI et pente). L'analyse de ces six critères d'identification des zones humides de bas-fonds tels que définis dans cette étude a pris en compte les zones de pentes inférieure ou égale à 2 %, de forte humidité de sol et ayant une végétation dense (valeur de NDVI supérieure ou égale à 0,3). Elle a montré le potentiel en bas-fonds du département de Man ainsi que ceux facilement aménageables dont la superficie est inférieure ou égale à 25 ha. Au total, 121 584 bas-fonds ont été inventoriés dans le département de Man. Ceux-ci couvrent une superficie de 31100 ha soit 12 % du département de Man. La quasi-totalité des bas-fonds inventoriés est aménageable. Les vingt bas-fonds pris dans la sous-préfecture de Man et digitalisés à partir de Google Earth ont permis de valider nos résultats. La totalité des 20 bas-fonds se superpose parfaitement avec les bas-fonds inventoriés. Cette méthode d'inventaire présente une fiabilité telle qu'elle mérite d'être généralisée à l'ensemble du territoire ivoirien. Cette approche est simple, plus rapide et moins onéreuse en ce sens qu'elle permet de relever en un temps record, et ce de façon exhaustive les bas-fonds et de réduire le coût des phases de terrain d'une zone donnée. Cependant, bien qu'elle soit simple et moins coûteuse, elle nécessite des travaux de terrain complémentaires afin de cerner les caractéristiques socio-économiques et biophysiques des bas-fonds inventoriés. Tout cela dans le but de fournir une base de données suffisamment complète des bas-fonds et de mettre en place un outil d'aide à la décision pour tout acteur voulant intervenir dans les bas-fonds pour les projets d'aménagements, de mise en valeur tels que les projets d'aménagement hydroagriques.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Directeur de l'UFR des Sciences Géologiques et Minières de l'Université Polytechnique de Man pour son soutien constant et sa disponibilité tout au long de cette recherche. Je remercie également tous les coauteurs pour leur participation active, leurs retours pertinents et leur engagement; leur collaboration a grandement enrichi la qualité et la rigueur de cet article.

REFERENCES

- [1] Andriesse W. & Fresco L.O. (1991). A Characterization of Rice-growing Environments in West Africa. *Agric Ecosys and Environ*; 33: 377-95.
- [2] Beven, K. J. & Kirkby M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological sciences journal*, 24 (1): 43-69.
- [3] CBF/DGR, (2002). Inventaire et mise en valeur des bas-fonds au Bénin, Direction du Génie Rural (DGR) / MAEP, Porto-Novo-Bénin, 69 p.
- [4] Chabi A., Oloukoi J., Mama, V. J. & Kiepe, P. (2010). Inventaire par télédétection des agro-écosystèmes de bas-fonds dans le centre du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 19 (6): 446-453.
- [5] Hubert-Moy L., Houet T., Lefevre E., Clément, B. & Lennon, M. (2003). Étude de zones humides à partir d'images hyper-spectrales CASI: application aux fonds de vallées du massif Armorica. *Photo interprétation (Paris)*, 39 (1): 33-43.
- [6] INS (2021). Institut National de la Statistique: Recensement général de la population et de l'habitat 2021, 19p.
- [7] Jamin J.Y., Biaou F., Legoupil J.C. & Lidon B. (2002). Le Diagnostic Rapide de Pré-Aménagement (DIARPA): un outil d'aide à la décision pour les aménagements de bas-fonds. In *Mémento de l'agronome*, Paris, Montpellier: Gret, Cirad, 2002, (cédérom).
- [8] Kouamé K. F. (2011). Influences de la variabilité climatique et de la dégradation environnementale sur le fonctionnement de l'hydrosystème du N'Zo dans la région guinéenne humide et semi-montagneuse de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des Systèmes d'Informations Géographiques et du modèle hydrologique HYDROTEL. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles. Université de Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 374 p.
- [9] Lebaut S. & Manceau L. (2015). Potentialités des images Landsat pour l'identification et la délimitation de zones humides à l'échelle régionale: l'exemple de l'Est de la France. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, 9: 125-140.
- [10] O'Neil G. L., Goodall J. L. & Watson L. T. (2018). Evaluating the potential for site-specific modification of LiDAR DEM derivatives to improve environmental planning-scale wetland identification using Random Forest classification. *Journal of hydrology*, 559: 192-208.
- [11] Oloukoi J. (2005). Dynamique de l'occupation du sol dans le département des collines et impacts sur l'utilisation des bas-fonds. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie (DEA), UAC, 84 p.
- [12] Perraud. (1971). La matière organique des sols forestiers de la côte d'Ivoire: relations: sol-végétation-climat (Doctoral dissertation, ORSTOM), 87 p.
- [13] Rapinel S. (2012). Contribution de la télédétection à l'évaluation des fonctions des humides: de l'observation à la modélisation prospective. Thèse de l'Université de Bretagne, 384 p.
- [14] Raunet M. (1985). Bas-fonds et riziculture en Afrique; approche structurale et comparative. *Agronomie Tropicale*, 40: 181-201.
- [15] Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. & Deering D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351 (1): 309 p.
- [16] Souberou K. (2013). Contribution de la télédétection et du SIG à la caractérisation des bas-fonds de la commune de Matéri (Nord-Ouest, Bénin). Mémoire de Master en Science de la Géo-Information, Université d'ObafemiAwolowo au Nigéria, Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS), 135p.
- [17] Souberou K. T., Agbossou K. E. & Ogouwale E. (2017). Inventaire et caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de l'Oti au Bénin à l'aide des images Landsat et ASTER DEM. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 2 (4): 1601-1623.
- [18] Thenkabail P. S. (2013). Remote Sensing of Inland Valley Wetlands of Africa: their Pivotal Role in Africa's Green and Blue Revolution, Research Geographer (pthenkabail@usgs.gov), U.S. Geological Survey (USGS), Flagstaff Science Center, USA NASA LCLUC Meeting, Rockville, Maryland, USA, 62 p.
- [19] Vacquié L. & Houet T. (2012). Cartographie des zones humides de montagnes par télédétection. Potentialités des images à très haute résolution spatiale. *Revue internationale de géomatique*, 4: 497-518.

- [20] Kobenan Etienne BINI, Kouadio Christophe N'DA, Augustin Tiégbo TOURE (2023) °« Changement climatique et dégradation des zones humides: vers un assèchement des bas-fonds des régions du centre de la Côte d'Ivoire», *Revue Espaces Africains* (En ligne), 3 | 2023 (Varia), ISSN: 2957-9279, mis en ligne le 30 décembre 2023, p. 39-55.
- [21] Dixon, AB; Wood, AP. Culture des zones humides et gestion hydrologique en Afrique de l'Est: Adaptation des besoins communautaires et hydrologiques grâce à une utilisation durable des zones humides. *Forum national des ressources* 2003, 27, 117–129. [Google Scholar], [CrossRef].
- [22] Beuel, S.; Alvarez, M.; Amler, E.; Behn, K.; Kotze, D.; Kreye, C.; Leemhuis, C.; Wagner, K.; Willy, DK; Ziegler, S. 2016; Évaluation rapide des perturbations anthropiques dans les zones humides d'Afrique de l'Est. *Ecol. Indic.* 2016, 67, 684–692. [Google Scholar], [CrossRef].

Evaluation de l'effet de l'incorporation de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya*, dans la ration sur les performances zootechniques des lapins (*Oryctolagus cuniculus*)

[Evaluation of the effect of incorporating *Moringa oleifera* and *Carica papaya* into the diet on the zootechnical performance of rabbits (*Oryctolagus cuniculus*)]

Barkwendé Jethro Delma¹, Alice Gisèle Sidibe-Anago¹, Denté Fidèle Tianhoun¹, Jean Sawadogo^{1,2}, and Valérie Bougouma-Yameogo²

¹Laboratoire de Recherche en Production et Santé Animales (LaRePSA), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 04 BP 8645 Ouagadougou 04, Burkina Faso

²Université NAZI Boni (UNB) 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01 Bobo-Dioulasso, 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 evaluate the zootechnical effects of incorporating *Moringa oleifera* leaf powder or *Carica papaya* leaf powder into the diet of rabbits during the fattening period. The experiment was conducted on 28 weaned rabbits aged 45 days, randomly divided into 7 groups of 4 individuals each. For 56 days, the animals received rations containing different proportions of *Moringa oleifera* or *Carica papaya* leaf powder: 0% for the control ration, and 5%, 10%, and 15%. Results revealed a significant improvement ($P < 0.05$) in average daily gain for rabbits fed rations including 15% *Moringa oleifera* leaves and 15% *Carica papaya* leaves, with respective values of 13.41 ± 3.7 g/day and 8.30 ± 2.45 g/day. These results contrasted with other groups: control ration (3.85 ± 3.85 g/day), 5% *Moringa oleifera* (4.815 ± 0.9 g/day), 5% *Carica papaya* (6.92 ± 1.45 g/day), 10% *Moringa oleifera* (8.07 ± 1.14 g/day), and 10% *Carica papaya* (7.13 ± 1.42 g/day). Additionally, the 15% *Moringa oleifera* and *Carica papaya* leaf rations showed the lowest feed conversion ratios (5.06 ± 1.12 and 4.06 ± 1.2 respectively), indicating enhanced feed efficiency.

Incorporation of up to 15% *Moringa oleifera* and *Carica papaya* leaf powder in rabbit diets produced no adverse effects and improved growth performance as well as feed efficiency. These results suggest that these plants may be used as alternative dietary supplements to enhance rabbit production in Burkina Faso.

KEYWORDS: *Moringa oleifera*, *Carica papaya*, rabbit, diet, performance.

RESUME: L'objectif de l'étude était d'évaluer les effets zootechniques de l'incorporation de poudres de feuilles de *Moringa oleifera* ou de *Carica papaya* dans l'alimentation des lapins en engraissement. L'expérimentation a été menée sur 28 lapereaux âgés de 45 jours, répartis aléatoirement en 7 groupes de 4 individus chacun. Pendant 56 jours, les animaux ont reçu des rations contenant différentes proportions de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* ou de *Carica papaya*: 0 % pour la ration témoin, à 5 %, 10 % et 15 %. Les résultats ont révélé une amélioration significative ($P < 0,05$) du gain moyen quotidien chez les lapins avec les rations à 15 % de feuilles de *Moringa oleifera* et de feuilles de *Carica papaya*, avec des valeurs respectives de $13,41 \pm 3,7$ g/j et $8,30 \pm 2,45$ g/j. Ces résultats contrastent avec ceux des autres groupes: ration témoin ($3,85 \pm 3,85$ g/j), ration à 5 % de feuilles de *Moringa oleifera* ($4,815 \pm 0,9$ g/j), ration à 5 % de feuilles de *Carica papaya* ($6,92 \pm 1,45$ g/j), ration à 15 % de feuilles de *Moringa oleifera* ($8,07 \pm 1,14$ g/j) et ration à 15 % de feuilles de *Carica papaya* ($7,13 \pm 1,42$ g/j). De plus, les rations à 15 % de feuilles de *Moringa oleifera* et de feuilles de *Carica papaya* ont affiché l'indice de consommation le plus bas ($5,06 \pm 1,12$ et $4,06 \pm 1,2$), indiquant une meilleure efficacité alimentaire.

L'incorporation jusqu'à 15% de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* et *Carica papaya* dans l'alimentation des lapins n'a pas eu d'effets indésirables et a amélioré les performances de croissance ainsi que l'efficacité alimentaire. Ces résultats suggèrent que ces plantes peuvent être utilisées comme compléments alimentaires alternatifs pour améliorer la production cunicole au Burkina Faso.

MOTS-CLEFS: *Moringa oleifera*, *Carica papaya*, lapin, ration, performance.

1 INTRODUCTION

La cuniculture est l'un des élevages les plus accessibles à la majeure partie de la population rurale et périurbaine à cause des nombreux avantages qu'il offre. Le lapin est peu exigeant en espace, en alimentation, et peut valoriser une grande variété de fourrages grossiers, riches en fibres, sans entrer en concurrence avec l'alimentation humaine ([12]; [23]). Son cycle biologique court, sa croissance rapide et sa valeur nutritionnelle élevée en font un candidat idéal pour améliorer la sécurité alimentaire [28].

Malgré ces avantages, la cuniculture au Burkina Faso peine à se développer pleinement. Entre 2003 et 2013, le cheptel cunicole n'a connu qu'une croissance limitée, passant de 130 672 à 175 612 têtes ([21]; [22]). Cette progression limitée s'explique par plusieurs obstacles majeurs: les défis liés à l'alimentation, notamment les coûts, la qualité et la disponibilité des ressources et un accès restreint à un soutien technique adéquat ([28]; [35]). L'aliment représente environ 70 % du coût de production en élevage cunicole et a deux rôles essentiels difficilement dissociables.

Les plantes fourragères utilisées dans l'alimentation des lapins constituent un élément important dans le développement de cet élevage. Il existe au Burkina de nombreuses plantes fourragères qui peuvent être incorporées dans l'alimentation animale. Les feuilles de Moringa (*Moringa oleifera* L.) et la papaye (*Carica papaya* L.) occupent une place de choix en raison de son impact sur l'augmentation de la productivité cunicole au Burkina Faso [30]. Ces plantes sont appréciées non seulement pour leurs qualités nutritionnelles, riches en protéines, en vitamines et en minéraux, mais aussi pour leurs propriétés pharmacologiques, incluant ainsi des effets antioxydants, immunostimulants, antimicrobiens et antiparasitaires ([5]; [26]; [33]).

Ainsi, la poudre de feuilles de ces végétaux pourrait jouer un rôle nutraceutique, agissant à la fois comme complément alimentaire et agent thérapeutique naturel ([25]; [37]). Dans cette optique, l'incorporation judicieuse de ces plantes dans l'alimentation des lapins pourrait améliorer les performances de croissance et la rentabilité de l'élevage local de lapins.

Cette étude évalue l'effet de l'incorporation des poudres de feuilles de *Moringa oleifera* et *Carica papaya* dans l'alimentation des lapins (*Oryctolagus cuniculus*) sur leurs performances zootechniques.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 SITE DE L'ETUDE

Tous les travaux de l'étude s'étaient déroulés à la station de recherche de Saria notamment au Laboratoire de Recherche en Production et Santé Animales (LaRePSA). Le site est à 23 km à l'Est de Koudougou chef-lieu de la province du Boulkiemde et de la région du Centre-Ouest et à 80 km au Nord-Ouest de Ouagadougou (figure 1). Les coordonnées géographiques sont de 12°16' Nord de latitude, 2°9' Ouest de longitude et 300 m d'altitude et couvre une superficie de 400 hectares.

2.2 MATERIELS

2.2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal était constitué de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*, et *Carica papaya*.

2.2.2 MATÉRIEL ANIMAL

Le matériel animal utilisé est composé de 28 de lapereaux sevrés, âgés de 45 à 60 jours, avec un poids vif corporel moyen de 612,4 g.

2.3 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental a été mis en place à la station de recherche de l'INERA/Saria à la fin de la saison hivernale de 2024, précisément entre novembre 2024 et janvier 2025. L'étude s'était déroulée en les deux phases distinctes ci-après: une phase d'adaptation de 10 jours; une phase de collecte hebdomadaire de données s'étalant sur 8 semaines.

Au total, 28 lapereaux (*Oryctolagus cuniculus* L.) âgés de 45 à 60 jours, avec un poids vif corporel moyen de 612,4 g, ont été répartis dans trois (03) cages de dimensions appropriées (longueur, largeur et hauteur). Les cages ont été disposées de manière aléatoire.

Chaque compartiment était équipé de deux (02) mangeoires automatiques et d'un abreuvoir automatique. Les lapereaux ont été répartis en sept (07) lots de quatre (04) sujets chacun. Les rations expérimentales ont été pesées avant d'être distribuées une fois par jour à 08 h 00. L'eau de boisson a été fournie *ad libitum*. Le lendemain, les quantités non consommées ont été retirées des mangeoires et pesées pour chaque compartiment.

Au cours de notre essai, au total sept (07) rations expérimentales ont été formulées à partir des matières premières ordinaires et de poudre de feuilles de chaque plante. Les rations formulées dans cet essai sont RT (ration témoin), RM5, RM10, RM15, RP5, RP10, RP15, où la farine des feuilles de *Moringa oleifera* (M) et de *Carica papaya* (P) a été incorporée, respectivement, au taux de 5, 10 et 15% à partir d'un mélange de base. La ration témoin était constituée de 50% de son de maïs, de 5% de grains de maïs, 20% de son de riz, 2% de tourteaux de coton, 10% de farine de néré, 10% de coque d'arachide et 2% de Concentrés Minéraux Vitaminés.

Le lot 1 (RT) a été nourris avec la ration témoin.

Lot 2 (RM5): traité avec la ration contenant les feuilles de *Moringa oleifera* à 5 %

Lot 3 (RM10): traité avec la ration contenant les feuilles de *Moringa oleifera* à 10 %

Lot 4 (RM15): traité avec la ration contenant les feuilles de *Moringa oleifera* à 15 %

Lot 5 (RP5): traité avec la ration contenant les feuilles de *Carica papaya* à 5 %

Lot 6 (RP10): traité avec la ration contenant les feuilles de *Carica papaya* à 10 %

Lot 7 (RP15): traité avec la ration contenant les feuilles de *Carica papaya* à 15 %

2.4 DETERMINATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE

Les échantillons de feuilles de *Moringa* ont été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24h à l'étuve pour déterminer la teneur en MS. Les échantillons séchés ont été broyés pour être passés au tamis pour l'analyse chimique. Les cendres totales (MM) ont été déterminées par calcination de la matière sèche à 550 °C. La matière organique (MO) a été calculée comme étant la différence entre la matière sèche et les cendres. Les matières azotées totales (MAT) ont été déterminées par la méthode Kjeldahl (N×6,25) [3]. Les teneurs en Acid Detergent Fiber (ADF), en Neutral Detergent Fiber. (NDF) et Acid Détergent Lignin (ADL) ont été analysées selon le protocole de [36].

2.5 DETERMINATION DE L'EFFET NUTRITIONNEL DES PLANTES UTILISEES

- **Le poids vif corporel (en kg)**

Le poids vif corporel (PV) a été mesuré par des pesées au J0 jusqu'au J56 selon un intervalle de sept (07) jours à l'aide d'un peson électronique de précision 1 g. Les prises de poids ont été faites à jeun le matin.

- **Consommation Alimentaire Individuelle (CAI)**

Le CAI indique la quantité d'aliments consommée par sujet sur une période de temps bien déterminés. Elle a été calculée selon l'Équation 1.

- **Gain Moyen Quotidien (GMQ)**

Le GMQ indique la vitesse moyenne de croissance pendant une période déterminée. C'est la masse moyenne qu'un animal prend ou perd par jour sur une période donnée, généralement exprimée en grammes ou en kilogrammes par jour, donc le rapport entre le gain de poids (g) pendant une période sur la durée de la période (j). Il a été calculé selon l'Équation 2.

- **L'Indice de Consommation Alimentaire (IC)**

L'IC indique la quantité d'aliments nécessaire pour fabriquer 1 kg de viande chez les lapins. C'est le rapport de la quantité d'aliments ingérée (QAI) en g/j pendant une période sur le gain de poids pendant cette même période. Il est calculé selon l'Équation 3.

$$CAI = \frac{(QAD (g)/période - QAR(g)/période)}{\text{Nombre de jours} \times \text{Nombre de sujets}} \quad (1)$$

QAD: quantité d'aliments distribuée

QAR: quantité d'aliments restante

$$GMQ = \frac{\text{Poids Final (PF)} - \text{Poids Initial (PI)}}{\text{Nombre de jours}} \quad (2)$$

$$IC = \frac{\text{QAI (g) pendant une période considérée}}{\text{Gain de poids (g) sur la même période}} \quad (3)$$

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

Les données collectées ont été saisies et classées sur le tableur Excel version 2013. L'analyse de ces données a été effectuée à l'aide du logiciel R (R-Development-core-team, 2013). L'analyse des variances (ANOVA) a été appliquée. Le test de Student Newman et Keuls au seuil de 5 % a été utilisé pour la séparation des variances lorsque l'analyse relevait une différence entre les moyennes. Les graphiques et les tableaux ont été tracés à l'aide du tableur Excel version.

3 RESULTATS

3.1 COMPOSITION CHIMIQUE DES ALIMENTS

L'analyse bromatologique a révélé que la composition chimique des aliments varie en fonction de leur type. La teneur en matière (MS) sèche des aliments utilisés lors de l'essai se situe entre $94,39 \pm 0,021$ % et $94,785 \pm 0,08$ %.

Les rations contenant du *Moringa oleifera* ont affiché une teneur en matière azotée totale allant de $11,310 \pm 1,32$ % à $12,965 \pm 0,049$ %. Cependant, la ration témoin a enregistré le niveau de matière azotée totale le plus élevé. Les rations à base de *Moringa oleifera* ont montré des niveaux de matière azotée totale significativement inférieurs à ceux des rations à base de poudre de feuilles de *Carica papaya* et de la ration témoin.

Tableau 1. Valeurs bromatologiques des rations expérimentales

Id échant	% MS	% MM	% CB	% MAT	% ADF	% ADL
RM10	$94,53 \pm 0,06^b$	$8,15 \pm 0,52^b$	$14,57 \pm 0,12^c$	$11,3 \pm 1,33^{ab}$	$18,8 \pm 0,66^b$	$4,3 \pm 0,66^a$
RM15	$94,39 \pm 0,02^c$	$8,26 \pm 0,18^b$	$16,83 \pm 0,5^a$	$12,97 \pm 0,05^a$	$20,88 \pm 0,95^a$	$4,4 \pm 0,75^a$
RM5	$94,61 \pm 0,04^{ab}$	$7,85 \pm 0,13^b$	$15,90 \pm 0,15^{ab}$	$10,435 \pm 0,02^b$	$20,75 \pm 0,39^b$	$4,5 \pm 0,43^a$
RP10	$94,69 \pm 0,01^{ab}$	$9,3 \pm 0,1^a$	$16,09 \pm 0,15^a$	$10,88 \pm 0,53^b$	$20,3 \pm 0,21^{ab}$	$5,14 \pm 0,29^a$
RP15	$94,79 \pm 0,08^a$	$9,4 \pm 0,03^a$	$15,82 \pm 0,41^{ab}$	$11,3 \pm 0,07^{ab}$	$19,9 \pm 0,11^{ab}$	$4,8 \pm 0,24^a$
RP5	$94,7 \pm 0,02^{ab}$	$8,9 \pm 0,1^a$	$14,97 \pm 0,4^{bc}$	$10,8 \pm 0,47^b$	$19,9 \pm 0,16^{ab}$	$4,9 \pm 0,6^a$
RT	$94,7 \pm 0,11^{ab}$	$8,04 \pm 0,14^b$	$16,44 \pm 0,43^a$	$12,99 \pm 0,13^a$	$20,3 \pm 0,46^{ab}$	$5,45 \pm 0,21^a$
p-value	0,0039	0,0009143	0,002939	0,0127	0,06144	0,3408

Les valeurs portant les différentes lettres a, b, c, d, e, f, g sur la même colonne ont été significativement différentes au seuil de 5% (p)

RM10= ration contenant 10% de moringa; RM15= ration contenant 15% de moringa; RM5= ration contenant 5% de moringa; RT=ration témoin; RP10= ration contenant 10% de papaye; RP15= ration contenant 15% de papaye; RP5= ration contenant 5% de papaye

3.2 EFFETS DES RATIONS EXPERIMENTALES SUR LES PARAMETRES ZOOTECHNIQUES

3.2.1 EFFET SUR LA CONSOMMATION ALIMENTAIRE INDIVIDUELLE JOURNALIERE (CAIJ)

L'effet des rations expérimentales sur la consommation alimentaire ingérée par sujet pour chaque lot a été présenté dans la figure 1.

L'analyse de la consommation alimentaire journalière par animal a révélé une différence significative entre les groupes ($p < 0,05$).

Les lapins recevant 15 % de farine de feuilles de *Moringa oleifera* (RM15: 80,14 g/j) ont montré l'ingestion de matière sèche alimentaire la plus élevée, suivis de ceux recevant 10 % de papaye (RP10: 66,50 g/j) et 10 % de *Moringa oleifera* (RM10: 61,36 g/j). À l'inverse, les consommations les plus faibles ont été observées chez le groupe témoin (RT: 28,14 g/j) et chez le groupe RP15 (31,21 g/j).

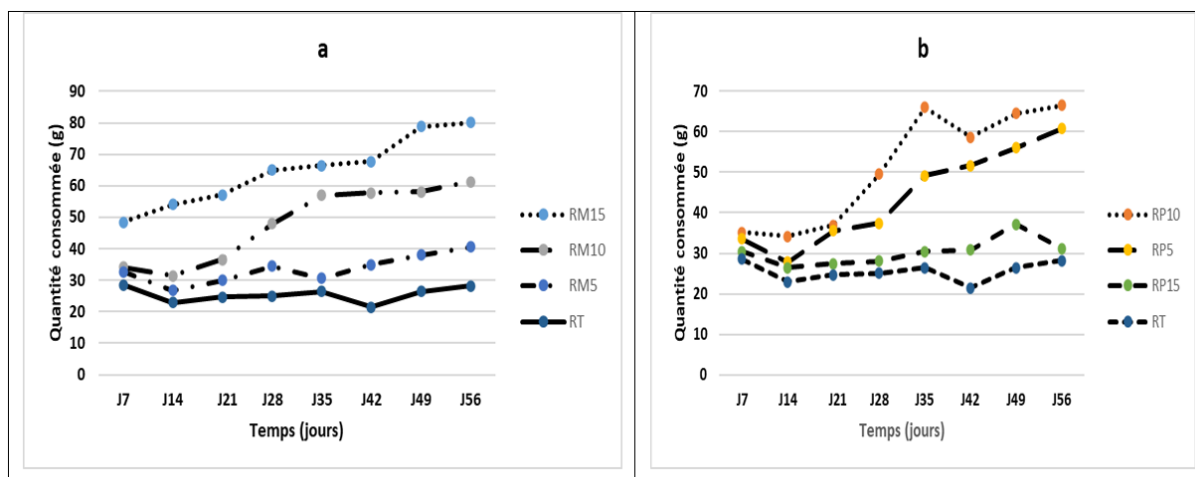


Fig. 1. Consommation alimentaire individuelle journalière des lapins alimentés avec de différentes rations contenant des feuilles des plantes d'étude. a: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*; b: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Carica papaya*

3.2.2 EFFET SUR L'INDICE DE CONSOMMATION ALIMENTAIRE (IC)

L'effet des rations expérimentales sur l'indice de consommation (IC) a été présenté dans la figure 2.

L'indice de consommation alimentaire après 56 jours a montré des variations significatives entre les différents traitements ($p < 0,05$). Le meilleur indice (IC le plus faible) a été observé chez le groupe recevant 15 % de poudre de feuilles de *Carica papaya* ($4,06 \pm 1,2$ kgMS/kg PV), indiquant une meilleure assimilation alimentaire, suivi du groupe à 15 % de *Moringa oleifera* ($5,06 \pm 1,12$). En revanche, le groupe à 10 % de *Carica papaya* a présenté le moins bon IC ($7,40 \pm 1,49$ kgMS/kg PV), et le groupe témoin a eu son indice de consommation élevé ($7,28 \pm 2,44$ kgMS/kg PV), témoignant d'une assimilation moins efficace.

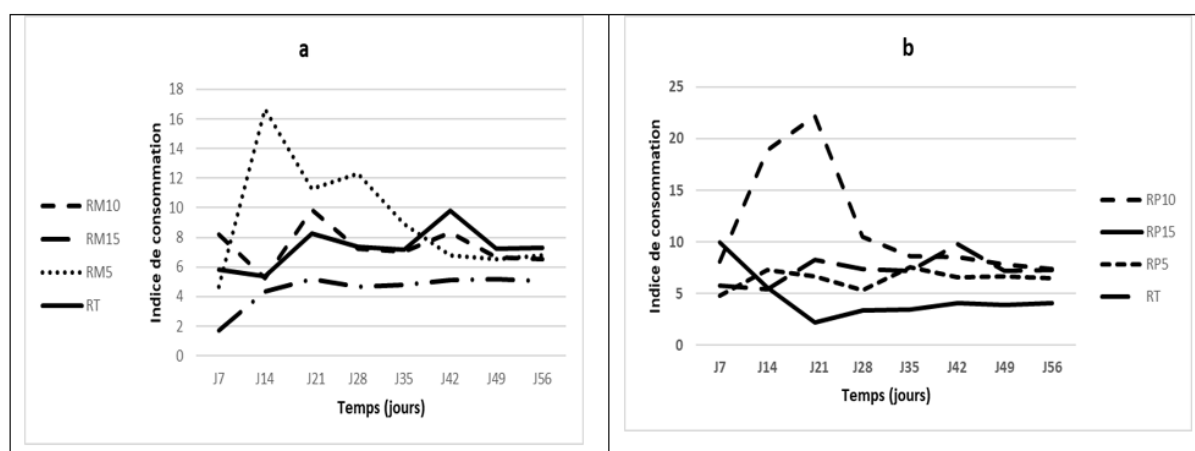


Fig. 2. Indice de consommation des lapins alimentés avec de différentes rations contenant des feuilles des plantes d'étude. a: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*; b: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Carica papaya*

3.2.3 EFFET SUR LA CROISSANCE PONDÉRALE

L'incorporation des feuilles de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* dans la ration alimentaire n'a pas eu d'effet négatif sur la croissance pondérale des lapereaux. La croissance pondérale la plus élevée a été observée chez les lapins du groupe RM15 ($1370,75 \pm 322,56$ g), soit une amélioration significative ($p = 0,01$) par rapport aux autres groupes, notamment le groupe témoin (RT) dont la croissance a été la plus faible ($841,66 \pm 194,3$ g) (Figure 3).

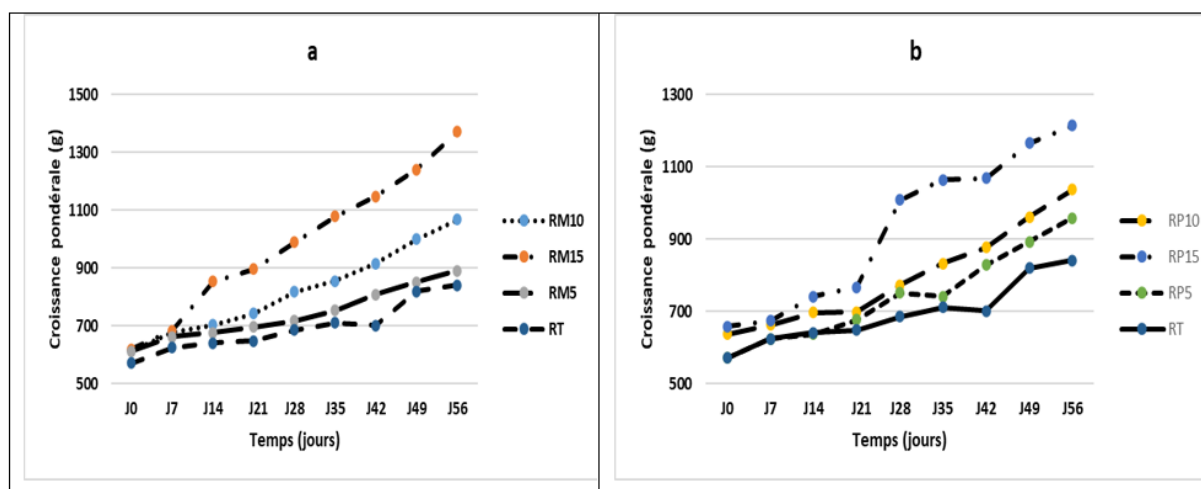


Fig. 3. Croissance pondérale des lapins alimentés avec de différentes rations contenant des feuilles des plantes d'étude. a: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*; b: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Carica papaya*

3.2.4 EFFET SUR LE GAIN MOYEN QUOTIDIEN (GMQ)

L'effet des rations expérimentales sur le Gain Moyen Quotidien (GMQ) a été présenté dans la figure 4.

Concernant le gain moyen quotidien, l'analyse de variance a mis en évidence une différence significative entre le groupe ayant bénéficié d'une ration incluant 15 % de farine de moringa et les autres groupes (RM5, RM10, RP5, RP10, RP15 et RT) ($p < 0,05$).

À l'issue de l'expérimentation, l'augmentation du gain moyen quotidien oscillait entre $13,41 \pm 3,69$ g/j pour les sujets ayant reçu une ration à base de poudre de *Moringa oleifera* à 15 % d'incorporation (RM15) et $3,84 \pm 3,85$ g/j pour ceux nourris avec l'aliment témoin.

Globalement, RM15 a enregistré le gain moyen quotidien le plus élevé ($13,41 \pm 3,7$ g/j), tandis que le groupe témoin a présenté le plus faible ($3,85 \pm 3,85$ g/j). Les autres groupes traités (RM5, RM10, RP5, RP10 et RP15) ont montré des gains moyens quotidiens intermédiaires sans différence significative avec le témoin. L'incorporation des poudres jusqu'à 15 % n'a eu aucun effet néfaste et semble améliorer la croissance et la consommation, en particulier à la dose maximale testée.

De manière générale, l'incorporation de farine de feuilles de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* jusqu'à 15 % dans la ration des lapins n'a eu aucun effet néfaste sur le gain moyen quotidien, la consommation alimentaire ainsi que l'indice de consommation alimentaire chez les sujets des différents traitements alimentaires. Cependant, le gain moyen quotidien et l'indice de consommation ont été augmentés, tandis que ce dernier a été réduit avec l'augmentation du taux de farine de feuilles de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* dans la ration, notamment à 15 % d'incorporation.

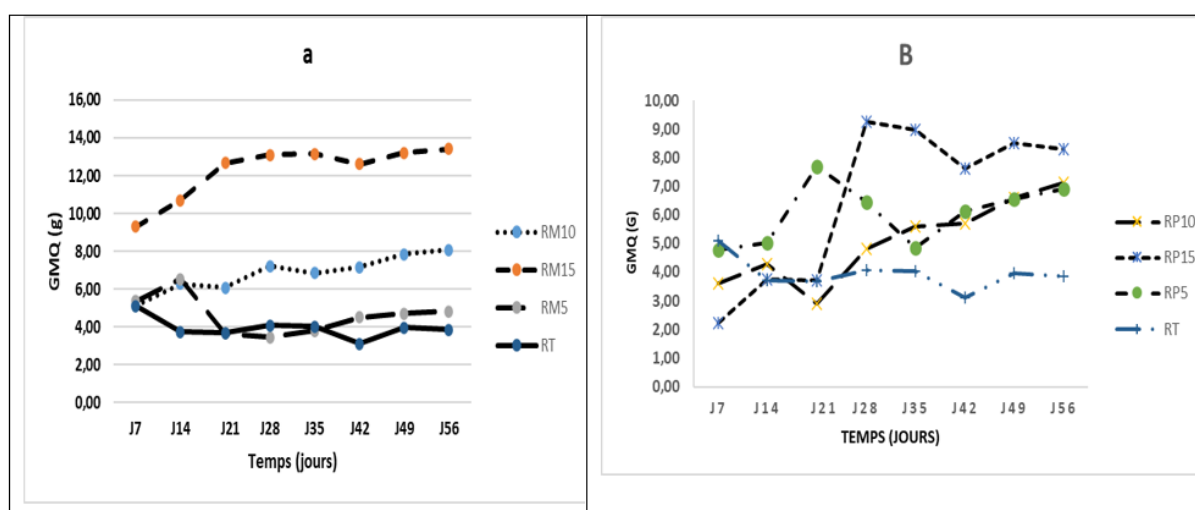


Fig. 4. Gain Moyen Quotidien (GMQ) des lapins alimentés avec de différentes rations contenant des feuilles des plantes d'étude. a: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*; b: Rations contenant de la poudre de feuilles de *Carica papaya*

4 DISCUSSION

4.1 VALEURS BROMATOLOGIQUES DES RATIONS EXPERIMENTALES

L'analyse bromatologique des différentes rations expérimentales met en évidence des différences significatives ($p < 0,05$) en ce qui concerne la matière sèche (% MS), la matière minérale (% MM), la cellulose brute (% CB), la matière azotée totale (% MAT) et les fibres au détergent acide (% ADF), selon les niveaux d'incorporation de feuilles de moringa ou de papaye. Les teneurs élevées en protéines brutes dans les rations à base de moringa confirment les résultats de [20] et [24] qui ont souligné la richesse de *Moringa oleifera* en protéines digestibles, acides aminés essentiels et minéraux, faisant de cette plante un aliment particulièrement adapté à l'alimentation des monogastriques.

Les taux accrus de fibres (CB et ADF) observés dans les groupes M15 et P10 sont conformes aux observations de [6] et de [16], qui ont signalé une forte teneur en fibres structurales dans les feuilles de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya*, particulièrement en ADF, susceptible de maintenir une digestibilité acceptable chez les lapins [18]. Ces fibres, bien que parfois associées à une dilution énergétique, jouent un rôle essentiel dans la régulation du transit intestinal, comme le précisent [13].

4.2 PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DE MORINGA OLEIFERA ET DE CARICA PAPAYA

4.2.1 CONSOMMATION ALIMENTAIRE JOURNALIÈRE (CAIJ)

Les résultats concernant la consommation alimentaire journalière individuelle des lapins montrent une influence significative des différentes rations expérimentales ($p = 0,0001$). A 56 jours, les lapins ayant reçu 15 % de farine de feuilles de *Moringa oleifera* (RM15: 80,14 g/j) ont présenté la consommation la plus élevée, suivis de ceux ayant reçu 10 % de papaye (P10: 66,50 g/j) et 10 % de *Moringa oleifera* (RM10: 61,36 g/j). À l'inverse, les consommations les plus faibles ont été observées chez le groupe témoin (RT: 28,14 g/j) et chez le groupe P15 (31,21 g/j). Cette variation de la consommation alimentaire peut s'expliquer par l'appétence et la qualité nutritionnelle des feuilles utilisées. Ces observations corroborent celles de [15] qui ont noté une augmentation de la consommation alimentaire chez les lapins nourris avec de la farine de feuilles de *Moringa oleifera*. L'étude d' [31] sur les lapins a confirmé que l'utilisation progressive de feuilles de *Moringa oleifera* (jusqu'à 15 %) augmentait l'ingestion quotidienne sans effet négatif sur la digestibilité. De même, [27] ont montré que l'incorporation de *Moringa oleifera* dans l'alimentation améliore significativement la consommation alimentaire des poulets de chair, grâce à sa richesse en protéines brutes et à sa faible teneur en facteurs antinutritionnels.

En ce qui concerne les feuilles de papaye, [26] ont noté une amélioration de la consommation et de la digestibilité chez des lapins soumis à des régimes incluant des feuilles de *Carica papaya*, ce qui suggère un effet positif sur la stimulation de l'appétit. Cependant, la diminution observée avec une incorporation de 15 % (RP15) pourrait être attribuée à une saturation ou à une augmentation des composés secondaires, réduisant ainsi l'ingestibilité.

Nos résultats avec le régime à base de feuilles de *Moringa oleifera* sont inférieurs à ceux rapportés par [29] qui ont observé un taux de croissance moyen de $83,83 \pm 2,51$ g avec un niveau de complémentation de 50 % de feuilles de *Carica papaya*.

4.2.2 CROISSANCE PONDÉRALE

L'ensemble des résultats indique que l'incorporation de farine de feuilles de *Moringa oleifera*, même à différents taux (5 %, 10 % et 15 %), ainsi que celle de feuilles de papaye (5 %, 10 %, 15 %), a un effet bénéfique sur la croissance pondérale des lapins.

Cette amélioration notable de la croissance pondérale chez le groupe RM15 semble directement liée à une meilleure consommation alimentaire, ce qui confirme les conclusions de [29], qui ont établi une corrélation positive entre la consommation alimentaire et la vitesse de croissance chez le lapin.

De plus, [9] ont démontré que l'incorporation de 10 % à 15 % de *Moringa oleifera* dans l'alimentation des lapins n'affecte pas négativement la croissance et peut même améliorer le gain de poids. [34] ont aussi obtenu une amélioration de la croissance pondérale avec l'incorporation de *Moringa oleifera* contrairement à la ration de témoins.

Concernant les feuilles de *Carica papaya*, nos résultats sont en accord avec ceux de [7] au Burkina Faso, qui ont noté une augmentation significative du poids des lapins avec l'ajout de feuilles de *Carica papaya* dans leur alimentation, jusqu'à 15 %.

Par ailleurs, [26], ont également constaté une amélioration notable du poids chez des lapins nourris avec des aliments contenant 10 % de farine de feuilles de *Carica papaya*. De son côté, [14] a observé une croissance pondérale accrue avec des taux d'incorporation de 15 %, 30 % et même 45 % de farine de feuilles de *Carica papaya*.

4.2.3 GAIN MOYEN QUOTIDIEN (GMQ)

Nos résultats concernant le gain moyen quotidien mettent en évidence une influence marquée de l'alimentation sur la prise de poids des lapins. La significativité statistique des résultats ($p = 0,01$) confirme une différence notable entre les différents traitements. Ces résultats sont en accord avec ceux de [14], qui a également démontré une amélioration significative du gain moyen quotidien chez les lapins nourris avec des régimes contenant entre 15 % et 45 % de papaye. De même, [17] ont observé une amélioration significative du gain moyen quotidien chez des lapins recevant des régimes contenant jusqu'à 15 % de feuilles de *Carica papaya*.

Nos résultats s'alignent également avec celles de [9], [1] et [19], qui ont noté une augmentation significative du gain moyen quotidien chez des lapins soumis à des régimes incluant jusqu'à 15 % de feuilles de *Moringa oleifera*.

Cependant, le gain moyen quotidien obtenu dans notre étude (13,41 g/j pour RM15) reste inférieur à celui rapporté par [16] au Bénin (26,66 g/j avec 10 % de moringa), par [15] au Bénin RM10 (37,98 g/j). Il est également inférieur aux résultats de [24], qui ont enregistré des gain moyen quotidien de 17,55 et 18,06 g/j avec respectivement 10 % et 20 % de moringa. Ces différences peuvent s'expliquer par des facteurs génétiques. En effet, ces auteurs ont utilisé des lapins de race Néo-Zélandaise, connue pour son potentiel de croissance supérieur à celui des races locales utilisées dans notre étude. L'amélioration du gain moyen quotidien dans notre étude pourrait s'expliquer par la richesse du *Moringa oleifera* en protéines digestibles, vitamines et oligo-éléments ([16]; [20]; [32]), ainsi que par sa faible teneur en facteurs antinutritionnels. En revanche, la performance réduite du groupe témoin (RT) pourrait être due à une ration de base moins appétissante ou moins équilibrée sur le plan protéique. Cela est conforme aux travaux de [10] et [8] qui ont souligné l'importance d'un apport protéique et énergétique optimal pour maximiser le gain moyen quotidien chez les lapins en croissance.

4.2.4 INDICE DE CONSOMMATION ALIMENTAIRE (IC)

Les résultats de l'étude révèlent une variation significative des indices de consommation en fonction des différents régimes alimentaires administrés aux lapins.

Bien que la différence entre les groupes ne soit pas statistiquement significative ($p = 0,24$), la tendance observée suggère que l'ajout de 15 % de feuilles de *Carica papaya* ou de *Moringa oleifera* dans l'alimentation pourrait améliorer la conversion alimentaire chez les lapins en croissance. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par [15] qui ont obtenu une amélioration de l'indice de consommation (3,55) avec l'incorporation de *Moringa oleifera*. [19], en Afrique du Sud, ont testé des taux d'incorporation de feuilles de *Moringa oleifera* allant jusqu'à 15 %, sans observer d'effet négatif sur la croissance ou l'efficacité alimentaire des lapins. En ce qui concerne la papaye, nos résultats sont similaires à ceux de [14], qui ont enregistré un indice de consommation de 7,42 avec des niveaux d'incorporation de 15 %, 30 % et 45 % de farine de feuilles de *Carica papaya*.

De même, [29], dans leur étude sur les lapins, ont également observé une amélioration de l'indice de consommation avec un niveau de supplémentation de 50 % de feuilles de *Carica papaya*.

Par ailleurs, [31] ainsi que [32] au Nigeria ont rapporté une amélioration de l'efficacité alimentaire, une réduction de la mortalité ainsi qu'une diminution des coûts alimentaires chez des lapins nourris avec des compléments à base de moringa.

Les résultats de la présente étude sont également comparables à ceux de [4], qui a obtenu un indice de consommation de 5,3 avec un aliment contenant 7 % de tourteau de soja. Cette valeur est similaire à celle du groupe RM15, indiquant que le *Moringa oleifera* pourrait être une alternative locale viable au soja, généralement importé. D'autres auteurs, comme [10], ont obtenu des indices de consommation inférieurs (4,43) chez des lapins nourris avec une ration incorporant jusqu'à 10 % de *Moringa oleifera*.

Dans l'étude de [34], l'incorporation de farine de *Moringa oleifera* dans les régimes alimentaires de lapins blancs Néo-Zélandais, à hauteur de 10 à 15 %, a permis une amélioration de l'indice de consommation (2,49 et 2,50). Cette différence de performance peut être attribuée, d'une part, à l'environnement et aux conditions de suivi, ou encore à la qualité de l'aliment de base, et d'autre part, à la performance de la race, la performance de production étant fonction de la race.

Ainsi, bien que les différences entre les groupes ne soient pas statistiquement significatives, les résultats montrent un intérêt pratique et économique clair à intégrer 15 % de feuilles de *Moringa oleifera* ou de papaye dans les rations alimentaires des lapins en engraissement.

L'incorporation de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* dans la ration des lapins peut améliorer significativement les performances zootechniques, comme le Gain Moyen Quotidien (GMQ), les feuilles de *Moringa oleifera* étant particulièrement bénéfiques à des taux d'incorporation de 15 %. Les feuilles de papayer, avec ses propriétés nutritionnelles et médicinales, contribue également à améliorer la croissance et la santé des lapins, bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour évaluer son effet, surtout en combinaison avec le Moringa.

5 CONCLUSION

L'étude évalue l'impact de l'incorporation de feuilles de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* dans l'alimentation sur les performances de croissance chez les lapins (*Oryctolagus cuniculus*). Les résultats révèlent que l'ajout de poudres de ces feuilles jusqu'à 15 % dans la ration alimentaire n'a pas d'effets néfastes sur la croissance pondérale, la consommation alimentaire, le gain moyen quotidien et l'indice de consommation chez les lapins, comparativement à l'aliment témoin. Par conséquent, ces fourrages non conventionnels favorisent une augmentation significative du gain pondéral des lapins en engraissement.

Ces résultats suggèrent que l'utilisation de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* constitue une alternative naturelle prometteuse pour améliorer la productivité des lapins. Mieux, dans le contexte géographique, l'utilisation des feuilles de *Moringa* (*Moringa oleifera*) et de papayer (*Carica papaya*) est particulièrement pertinente dans des régions comme l'Afrique subsaharienne, où ces plantes sont facilement accessibles et peuvent améliorer les performances zootechniques des animaux d'élevage. Néanmoins, concernant la qualité de l'alimentation, la qualité des aliments à base de *Moringa* et de papayer doit être surveillée, car ces deux plantes sont des alicaments et de faibles taux d'incorporation et/ou une faible qualité peuvent affecter les performances.

En perspective, il est souhaitable de poursuivre l'étude sur la digestibilité réelle des nutriments contenus dans ces feuilles de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* chez les lapins (*Oryctolagus cuniculus*). La co-utilisation des deux feuilles donc l'utilisation combinée de *Moringa oleifera* et de *Carica papaya* peut offrir des avantages synergiques, nécessitant des études plus poussées pour déterminer les taux d'incorporation optimaux.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

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

REFERENCES

- [1] A. Abubakar., A. A. Yusuf, and S. Ibrahim, «Growth performance and feed utilization of rabbits fed diets containing *Moringa oleifera* leaf meal». *Nigerian journal of animal production*, vol. 48, no. 1, pp83–90, 2021 <https://Doi.Org/10.4314/Njap.V48i1>.
- [2] W. O Aduguba, R. Obeng, L.Tietaah, M. Quansah, and T. Ansah, «Growth response of rabbits fed multi-enzyme treated *Moringa oleifera* leaf meal». *Ghana journal of science, technology and development*, vol.7, no.2, 2021 e-ISSN: 2343-6727.
- [3] AOAC (Association of Official Analytical Chemist), Official method of analysis 15th edition. AOAC. Washington D.C, 1990.
- [4] L. Baba, «Comparaison des performances de croissance de deux lots de lapins: L'un nourri avec un aliment farineux et l'autre à base du même aliment sous forme granulée». Mémoire de DIT, EPAC/Bénin. p66, 2004.
- [5] S. Catrysse, 2021, «Papayer (*Carica Papaya*) : Les bienfaits de ses feuilles, graines et racines.» <https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/HerbierMedicinal/Plante.aspx?doc=papayer-carica-papaya-bienfaits-feuilles-graines-racines>.
- [6] R. Choudhary, R. Kaushik, A. Akhtar, S. Manna, J. Sharma, and A. Bains, «Nutritional, phytochemical, and antimicrobial properties of *Carica papaya* Leaves: Implications for health benefits and food applications». *Foods*, vol 14, no. 154, 2025 <https://Doi.Org/10.3390/Foods14020154>
- [7] Coulibaly, A., R. Zongo, and J. Sawadogo, «Valorisation économique des fourrages non conventionnels dans l'alimentation du lapin». *Revue Africaine de Zootechnie*, vol. 35, no. 1, pp47–56, 2024. <https://Doi.Org/10.4314/Raz.V35i1.5>
- [8] M. Dahouda, S. Adjolohoun, M. Senou, S. Toleba, M. Abou, D. Vidjannagni, M. Kpodekon, and A. Youssao, «Effets des aliments contenant les folioles de *Moringa oleifera* Lam et des aliments commerciaux sur les performances de croissance des lapins (*Oryctolagus cuniculus*) et la qualité de la viande.» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 7, no. 5, pp1838-1852, 2013.
- [9] T. J. Dognon, B. A. Aboh, T.M. Kpodékon, S. Honvou, and A. Youssao, «Effects of substitution of pellet of *Moringa oleifera* to commercial feed on rabbit's digestion, growth performance and carcass Trait». *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, vol. 2, no.9, pp. 015-019, 2012. DOI: 10.7324/JAPS.2012.2903
- [10] U. N. Egu, «Effects of graded levels of *Moringa oleifera* leaf meal on growth performance of growing male New Zealand white rabbits.» *Journal of sustainable veterinary et allied sciences*, vol 1, no. 2, 2021. <http://Doi.Org/10.54328/Covm.Josvas.2021.023>.«.
- [11] E. Ewuola, O. Jimoh, O. Atuma, and O. Soipe, «Haematological and serum biochemical response of growing rabbits fed graded levels of *Moringa oleifera* Leaf meal.» *World rabbit science Association Proceedings*, pp 683-679, 2012.
- [12] T. Gidenne, «Conséquences digestives de l'ingestion de fibres et d'amidon chez le lapin en croissance : Vers une meilleure définition des besoins.» *INRA Productions Animale.*, vol. 9, no. 4, pp 243-254,1996.
- [13] T. Gidenne, «Dietary Fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: A Review» *Animal*. vol. 9, no. 2, pp 227–242, 2015.

- [14] P. C. Jiwuba, «Effect of pawpaw (*Carica Papaya*) Leaf meal on productive parameters of growing rabbits.» *Agricultural science and technology*, vol. 10, no 2, pp 102 - 106, 2018. <https://doi.org/DOI: 10.15547/ast.2018.02.022>.
- [15] B. B. S. Konmy, P. A. Olounladé, S Doko-Allou, and E V B Azando, «Effet de la poudre de feuilles de *Moringa Oleifera* Lam sur les performances de croissance des lapins domestiques (*Oryctolagus cuniculus*) Au Bénin.» *Revue RAMRes*, vol.8, no.2, 2020.ISSN 2424-7235
- [16] B. B. S. Konmy, «Applicationsns zootechniques pour l'amélioration de la productivité des lapins (*Oryctolagus cuniculus*) par trois plantes issues de la pharmacopée béninoise.» *Université d'Abomey Calavi, thèse de doctorat unique*, 2020.
- [17] T. T. Kuka, J. Unukevwere, and V. R. Ubogu, «Évaluation des performances de croissance et de l'hématologie de lapins sevrés nourris avec des quantités variées de farine de feuilles de papaye (*Carica papaya*).» *Revue Nigériane de Production Animale*, pp1049–1052, 2024. <https://Doi.Org/10.51791/Njap.vi.6191>
- [18] F. Lebas, «Physiologie digestive et alimentation du lapin.» Enseignement Post Universitaire Cuniculture: Génétique–Conduite d'élevage–Pathologie Yasmine Hammamet, 16-17 Avril 2008, 2008.
- [19] W. Mankga, N. A. Sebola, H. K. Mokoboki, F. Manyeula, and M. Mabelebele, «Growth performance and blood profiles of weaned New Zealand rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) supplemented with *Moringa oleifera* leaf meal.» *Journal of Animal and Feed Sciences*, vol. 31, no. 2, pp152–160, 2022.
- [20] A. Melesse, H. Steingass, J. Boguhn, and M. Rodehutsord, «Chemical composition and in vitro ruminal fermentation characteristics of leaves and green pods of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera*.» *Animal Feed Science and Technology*, vol. 165, no. 3-4, pp512–516, 2011.
- [21] MRA, «Les statistiques du secteur de l'élevage au Burkina Faso. Service des statistiques animales.» Ouagadougou, Burkina Faso. p 54, 2004.
- [22] MRAH, «Annuaire des statistiques de l'élevage 2012 (Rapport Statistique). Ministère des Ressources Animales et Halieutiques (MRAH), Burkina Faso» 2014.
- [23] V. B. Mutwedu, R. B. B. Ayagirwe, K. T. Metre, Y. Mugumaarhahama, J. M. Sadiki, and E. B. Bisimwa, «Systèmes de production cunicole en milieu paysan au Sud-Kivu, Est de La RD Congo.» *Livestock Research for Rural Development*, vol. 27 no. 10, 2015.
- [24] H. M. Ndofo-Foleng, O. G. Iloghalu, M. A Egom, N. E. Ikeh, M.O. Onodugo, E. Tchoupou Tchoupou, K. O. COdo, and O. C. Okeke; «Response of different breeds of rabbits to diets containing graded levels of *Moringa oleifera* leaf meal.» *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*. vol. 6, no. 7 pp 84-92, 2019. DOI: <http://Dx.Doi.Org/10.22192/ijarbs.2019.06.07.011>
- [25] S.D. Ola-Fadunsin, and I.O. Ademola, «Direct effects of *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) acetone leaf extract on broiler chickens naturally infected with *Eimeria* species. *Tropical Animal Health and Production*, 45 (6): 1423-1428, 2013.
- [26] O. Oloruntola, S. O. Ayodele, S. A. Adeyeye, M. H. Ogunsipe, O. T. Daramola, and E. S. Ayedun. «Effect of pawpaw leaf meal and multi enzyme supplementation in the diet on performance, digestibility, and oxidative enzyme status of rabbits.» *The Journal of Basic and Applied Zoology*, vol. 79, no. 26, 2018. <https://Doi.Org/10.1186/S41936-018-0039-1>.
- [27] P.N. Onu, and A. O. Aniebo, «Influence of *Moringa oleifera* leaf meal on the performance and blood chemistry of starter broilers.» *International journal of food, agriculture and veterinary sciences*. vol. 1 no. 1, pp.38-44, 2011.« <http://www.cibtech.org/jfav.htm> 2011.
- [28] B. Ouedraogo, Z. S. Nikiema, and S. J. Zoundi, «Cuniculture dans la zone périurbaine de Ouagadougou : Situation actuelle et perspectives de son développement.» *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, vol. 37, pp82-105, 2021 Issn 1813-3290, <http://www.revist.ci>
- [29] B. Buedraogo, S. J. Zoundi, Z. S. Nikiema, and L. Sawadogo, «Performances de croissance comparées des lapereaux nourris avec du concentré granule complémenté par des feuilles d'amarante hybride (*Amaranthus hybridus*) et par des feuilles de papayer (*Carica papaya*).» *Revue RAMRes*, vol.9, no.1, 2021. ISSN 2424-7235.
- [30] W. C. Ouedraogo, «Analyse des pratiques et des connaissances ethnobotaniques des cuniculteurs dans le traitement des parasitoses du lapin au burkina faso : cas des provinces du Kadiogo et du Boulkiemde.» *Diplôme d'Ingénieur Des Sciences de l'Environnement et Du Développement Rural, Option Elevage, Université Daniel Ouezzin Coulibaly*, 61p, 2024.
- [31] O. J. Owen, P. C. N. Alikwe, and I. A Okidim, «The Economic potential of compounding rabbit diets with graded levels of *Moringa oleifera* leaf meal.» *Journal of environmental issues and agriculture in developing countries*, vol. 5, no. 2, 2013.
- [32] A. S. Oyegunwa, O. B. Akinyeye, and A. A. Mako, «Effects of *Moringa* leaf meal (*Moringa oleifera*) on growth performance and nutrient digestibility in rabbit. *Nigerian journal of agriculture and agricultural technology* vol. 4, no. 4B, 2024. ISSN (Print): 2811-1885.
- [33] T. I. Sacramento, J-M. Ategbo, G. A. Mensah, and S. Adote-Hounzangbe, «Effet antiparasitaire des graines de papaye (*Carica papaya*) chez l'aulacode (*Thryonomys Swinderianus* Temminck, 1827) d'élevage : Cas des aulacodocultures du Sud-Bénin» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, no.6, pp 2280-2293, 2010.
- [34] S. Selim, M.F. Seleiman, M. M. Hassan, A. A. Saleh, and M. A. Mousa, «Impact of dietary supplementation with *Moringa oleifera* leaves on performance, meat characteristics, oxidative stability, and fatty acid profile in growing rabbits.» *Animals*, vol. 11, no.248, 2021, <https://Doi.Org/10.3390/Ani 11020248>
- [35] B. Traoré, O. C. Hien, A. D. Nikiéma, V. M- C. Bougouma/Yaméogo, and A. M. G. Belem, «Caractéristiques socioéconomiques de la cuniculture au Burkina Faso» *Science et Technique, Sciences Naturelles et Appliquées*. vols. 34 à 37, 2018.

- [36] P. J. Van Soest, J. B. Robertson, et B.A. Lewis, Méthodes pour les fibres alimentaires, les fibres détergentes neutres et les polysaccharides d'amidon en relation avec la nutrition animale. *Journal of Dairy Science*. vol. 74 pp3583-3597, 1991.
- [37] R. Y. Yang, L. C. Chang, J. C. Hsu, B. B. C. Weng, M. C. Palada, M. L. Chadha, and V. Levasseur, «Propriétés Nutritionnelles et fonctionnelles des feuilles de moringa. -du germoplasme, à la plante, à l'aliment et à la santé.» In : *Moringa et Autres Végétaux à Fort Potentiel Nutritionnel : Stratégies, Normes et Marchés Pour Un Meilleur Impact Sur La Nutrition En Afrique : 16-18 Novembre, Accra (Ghana) 1-9*, 2006.

