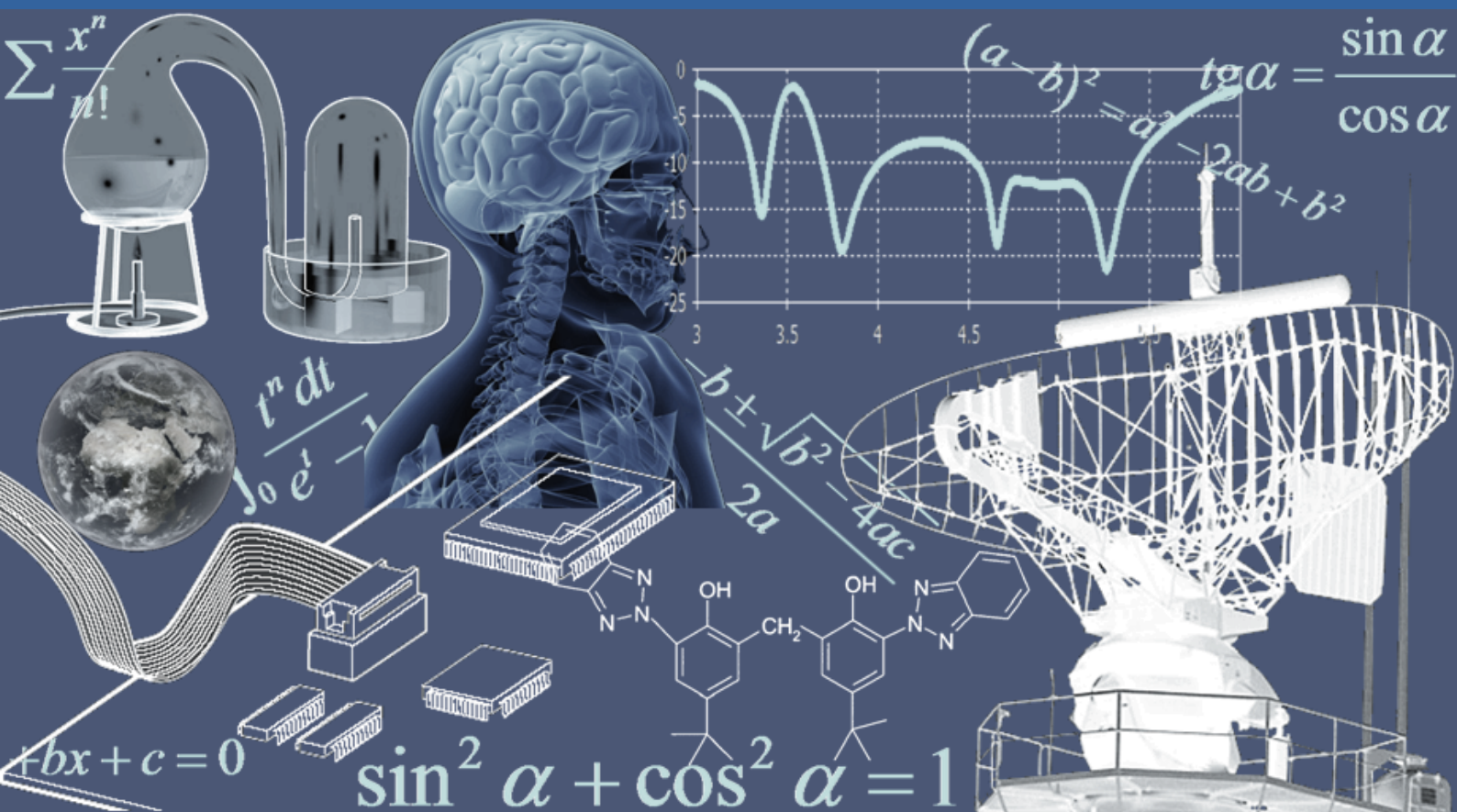


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 38 N. 2 December 2022



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

Evaluating the impact of soil management measures on erosion in the upstream part of Nebhana watershed using MEDALUS and RUSLE models	220-231
<i><u>Manel Mosbahi and Faouzi Harrouchi</u></i>	
Savoir-être et savoir-faire utiles à l'insertion professionnelle des diplômés de l'enseignement supérieur dans la région de la Kara (Togo)	232-242
<i><u>Tamégnon YAOU</u></i>	
Revue des principaux résultats des travaux de recherche sur la chenille légionnaire d'automne <i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith en Afrique	243-261
<i><u>Souleymane Laminou, Ousmane Zakari Moussa, Laouali Amadou, and Ibrahim Baoua</u></i>	
Characterization of cereal consumption in Cotonou, Benin	262-270
<i><u>Mouhamed N. El-Hadji Alassane Moutawakilou, J. Kisito Chabi-Sika, Agossou D. P. Noumavo, Haziz Sina, Joseph Dossou, Adolphe Adjahoun, Lamine Baba-Moussa, and Farid Baba-Moussa</u></i>	
Influence des attributs forestiers sur le stock de carbone des unités de végétation sud-soudaniennes au Burkina Faso, Afrique de l'Ouest	271-285
<i><u>Nebnoma Romaric TIENDREBEOGO, Paulin OUOBA, Brigitte BASTIDE, Nacoulma Blandine Marie Ivette, Yempabou Hermann OUOBA, Félix DJUGUEMDE, Dieudonné KI, Irénée Somda, and Issiaka Joseph BOUSSIM</u></i>	
Étude ethnopharmacologique des plantes utilisées en médecine traditionnelle dans le canton de Sédomé, en bordure du parc national de Togodo-Sud, district de Yoto au Togo	286-304
<i><u>Ouro-Djeri Hafez, Koudouvo Koffi, Tchadjobo Tchacondo, and Ouro-Djeri Essowé</u></i>	
Evaluation du comportement trophique de <i>Aedes aegypti</i> à Dandji au sud du Bénin	305-309
<i><u>HOUNKANRIN Gildas, Anges Yadouleton, TCHIBOZO Carine, BADOU Yvette, and Falilath SANOUSSI</u></i>	
Les besoins des compétences et la formation limitée à l'encadrement des Adultes	310-316
<i><u>David MANDELA NSENGIYUMVA and Ernest NGONGO USUMBA</u></i>	
Effet de microdoses d'urée associées à des doses de compost sur la productivité de la célosie (<i>Celosia argentea</i> L.)	317-331
<i><u>Tamia Joséphine Ama-Abina, Mako Francois De Paul N'Gbesso, Yannick Boa Brindou Brou, Gaoussou Sanogo Famory Traore, and Fondio Lassina</u></i>	
Analysis of the structure and ecology of <i>Diospyros mespiliformis</i> in the drained area of Western Niger	332-343
<i><u>Ado Ali, Manirou Oumarou, Mahaman Hamissou Illo Souley, Inoussa Maman Maârouhi, Mahamane Ali, and Mahamane Saâdou</u></i>	
Perception de la jeune fille-mère sur son vécu et celui de son enfant après sa grossesse en Ville de Beni, Commune Mulekera, Quartier Ngongolio	344-350
<i><u>Kahindo Semwavyo Jackson</u></i>	
Modélisation à 3D des influences de l'intensité et de l'angle d'inclinaison d'un champ électromagnétique sur le courant et la tension d'une cellule PV au silicium polycristallin	351-365
<i><u>Mamoudou Saria, Ramatou Saré, Mahamadi Savadogo, Vinci De Dieu Bokoyo Barandja, Martial Zoungrana, and Issa Zerbo</u></i>	
Etude du rendement du café et son impact socioéconomique dans le territoire d'Idjwi, province du Sud Kivu en RD Congo	366-407
<i><u>Nguba Baroki Bertin and Mundu Kughundi Johnny</u></i>	
Diagnostic des attaques de jassides sur des parcelles de gombos et d'aubergines au Centre et au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire	408-416
<i><u>Houphouet Kouadio, Malanno KOUAKOU, Kouadio Kra Norbert Bini, Mohamed Abdel-Nasser Ouattara, Béatrice Abouo Adepo-Gourène, and Ochou Germain OCHOU</u></i>	
Evaluation de la qualité des eaux souterraines du département de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) à partir de l'indice WQI	417-427
<i><u>SORO Tanina Drissa, FOSSOU N'Guessan Marie Rosine, KONE Gogbeu Yiba Magloire, OGA Yéi Marie Solange, and Soro Nagnin</u></i>	
Évaluation de la toxicité aiguë des feuilles d' <i>Albizia adianthifolia</i> S. et de <i>Combretum molle</i> R.	428-442
<i><u>Mukadi Kanku Obed and Fimbo Ntenta Daniel</u></i>	
Effect of level of feeding on the preweaning growth performance of kids	443-453

Nourou Abdou, Ousseini Mahaman Malam Mouctari, Abdoulaye Soumana Gouro, and Ignatius Verla Nsahla

Analyse des risques d'agressivités pluviométriques sur les sols du bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire) 454-469

Yao Koffi Léon, Kouakou Koffi Eugene, Kouassi Amani Michel, and Gnangoun Asaph

Diagnostic de la fertilité chimique des principaux sols rizicoles de la Vallée du Sourou au Burkina Faso 470-480

Jean Ouedraogo, Constantin Kpoda Kpieroüh, Pouya Mathias Bouinzemwendé, Sansan Youl, and Serme Idriss

Effet des écartements de haricot associé au maïs et des composantes de non labour aux alentours des zones riveraines du Lac Kivu 481-511

Batenchi Bulambaire Dadier

Evaluating the impact of soil management measures on erosion in the upstream part of Nebhana watershed using MEDALUS and RUSLE models

Manel Mosbahi¹ and Faouzi Harrouchi²

¹Laboratoire de recherche Systèmes de Production Agricole et Développement Durable (SPADD, LR03AGR02), ESA Mograne, Université de Carthage, Tunisia

²Direction Générale de l'Aménagement et la Conservation des Terres Agricoles (DGA-CTA-MARhP), 30 Avenue Alain Savary, 1002 Tunis, Tunisia

Copyright © 2022 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 erosion is a serious threat to the environment, sustainability of agriculture and socio-economic development. It is widespread in the Mediterranean regions, particularly in Tunisia. The upstream watershed of the Nebhana dam (855 km²), located in central Tunisia, is among the regions most affected by this global issue. The objective of this study is to estimate and spatially assess water erosion in the basin, produce an erosion risk map and identify priority areas to facilitate the intervention of decision makers and managers in developing appropriate policies for conserving soils and protecting the upstream Nebhana-dam against sedimentation. The adopted methodology uses the Revised Universal Soil Losses Equation (RUSLE) and the MEDALUS approach in a GIS environment. The obtained results showed that RUSLE model was efficient in quantifying the average soil loss in the basin, given that estimated value (10.94 t/ha/year) was very close to the value obtained from bathymetric measurements in the dam reservoir (11.25 t/ha/year). Furthermore, RUSLE estimated that 34% of the total area is suffering from an erosion risk exceeding the soil loss tolerance which is in agreement with results found by MEDALUS approach revealing that 30% of the total area were vulnerable to erosion and were considered as areas with highest priority for land management intervention.

KEYWORDS: Vulnerability, Soil, Modeling, GIS, Management.

1 INTRODUCTION

Water erosion is a natural phenomenon widespread in Mediterranean countries and is becoming a serious environmental problem that threatens the sustainable agricultural productivity, water resource mobilization and reservoir storage capacity [1]. Climatic conditions, geomorphology, soil type, vegetation, and human activities are the main factors responsible for soil degradation [2].

North Africa is among the most affected areas, notably Tunisia, where water erosion causes the loss of 15,000 ha/year of arable land [3] and the reduction of the storage capacity of reservoirs by about 17.7% [4], [5]. Soil degradation is increasingly accentuated on bare and fragile soils, which is the case of the upstream watershed of Nebhana, in central Tunisia. The choice of this site was dictated by the presence of a rugged terrain, the density of the hydrographic network, the dominance of friable lithological formations and the poverty of soils in organic matter. Combined with an aggressive semi-arid climate, these conditions make the study area more vulnerable to erosion and the Nebhana Dam more exposed to siltation.

A quantitative and spatial assessment of water erosion is of major importance in order to develop the best strategies for sustainable water and soil management. In this context, many hydrological and erosion models have been developed and applied in different regions of the world, ranging from empirical to physical process-based models [6], [7].

The complexity and magnitude of data requirements have limited the application of spatialized physical models and prompted the use of the Universal Soil Loss Equation (USLE) [2], which was initially designed for small agricultural plots. Nevertheless, the evolution of spatial technologies and geographic information systems has improved the use of this equation at large scales. Thus, the integration of RS Remote Sensing combined with GIS in the USLE has made this model an effective tool for forecasting erosion on large watersheds, for spatial analysis of the most vulnerable areas, and for monitoring the evolution of this scourge in the long term [8], [9], [10], [11], [12], [13]. The revised version of USLE is RUSLE [14], it has been widely applied in the Mediterranean context and has given quite interesting soil loss estimation results in several countries and especially in Tunisia [8], [10], [11].

The objective of the present study is to quantitatively and spatially assess water erosion in the Nebhana upstream watershed and identify prioritized areas for intervention based on RUSLE model and MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) approach. This approach determines the most sensitive areas to erosion and desertification through a sensitivity index calculated by combining physical (soil quality), environmental (vegetation quality), climatic (climate quality) and social (management quality) variables related to the study area. This approach is simple but robust and its performance has been judged in different Mediterranean watersheds [15], [16], [17].

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 STUDY AREA

The Nebhana watershed is located in central Tunisia. It represents one of the three major watersheds in the region draining southeast flanks of the Tunisian Dorsale. The study area is the downstream of the Nebhana watershed draining an area of 855,4km². It belongs to three governorates which are Kairouan, Siliana and Zaghouan. This catchment is characterized by a semi-arid Mediterranean climate, with a hot dry summer with average value above 30°C and cool wet winter with a minimum of 7°C in February. Precipitation is irregular generally of short duration and high intensity, the average annual value for the period 2003-2013 is 405 mm.

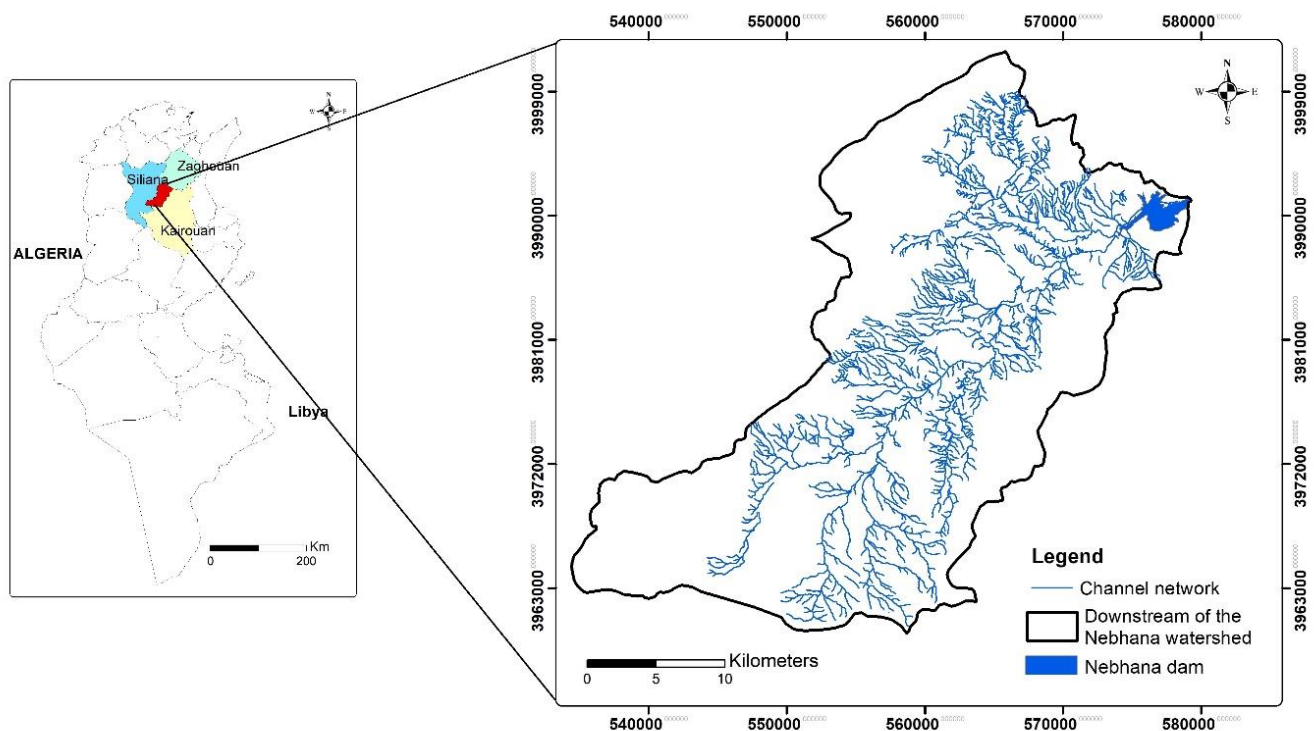


Fig. 1. Location of the study area

2.2 METHODOLOGY

This study aims to quantify and spatialize soil vulnerability to water erosion in the upstream watershed of Nebhana. Given the scarcity of data in this region, we chosen two empirical approaches (RUSLE and MEDALUS) that have been successfully used in soil and water conservation planning studies in Tunisia [8], [10], [11]. These two models have been integrated under a Geographic Information System (GIS) to allow a comprehensive modeling and mapping of the erosion process and to be able to propose the best water and soil conservation strategies. Fig. 2 shows the methodological flowchart adopted in this study.

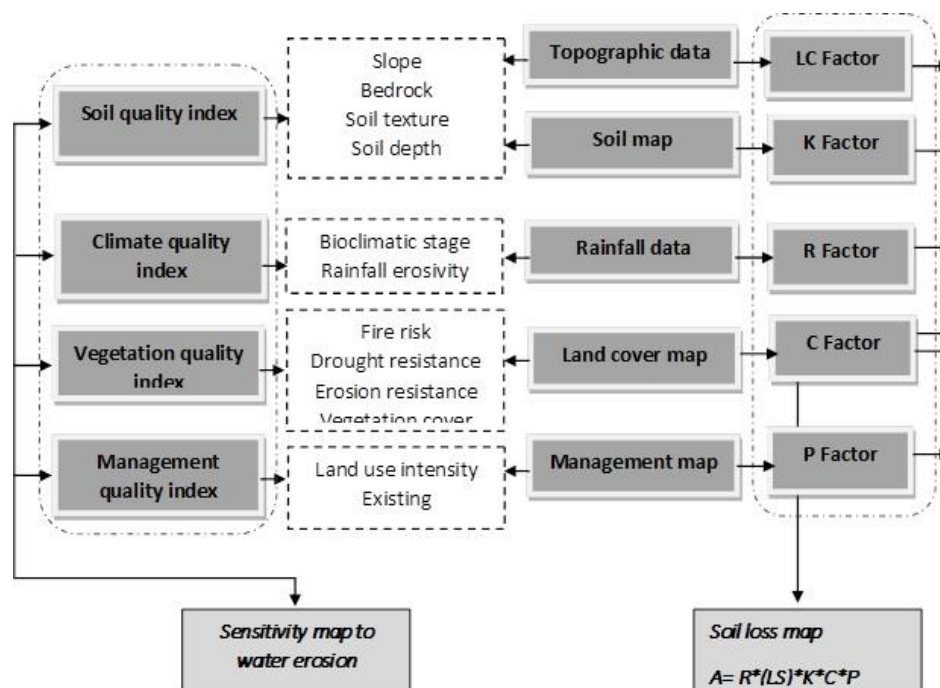


Fig. 2. Methodological flowchart of the study

2.2.1 RUSLE MODÈL

The RUSLE model [18] is the Revised version of the Universal Soil Loss Equation USLE. It allows the prediction of the average annual soil loss by multiplying the five factors controlling water erosion [2], [14]. It is calculated using the following formula in Eq. 1

$$A = R_{\text{RUSLE}} * K * LS * C * P \quad (\text{Eq.1})$$

Where A is Annual Soil Loss (t.ha-1.yr-1); R is Rainfall Erosivity Factor (MJ.mm.ha-1.hr-1.yr-1); K is Soil Erodibility Factor (t.ha.hr-1.MJ-1.mm-1); LS is Topographical Factor (L in m and S in %); C is Vegetation Cover Factor and P is Land management practices Factor.

• Rainfall erosivity factor (R)

Erosivity is an index of rainfall aggressiveness and its ability to produce erosion [19]. According to Wischmeier and Smith (1978) [2], erosivity is defined as the product of rainfall kinetic energy (E) and its maximum intensity during 30 min (I30). Since data on rainfall kinetic energy and intensity are not always available, alternative formulas have been developed based on annual and monthly rainfall [20, 21, 22]. In this case study, to overcome this lack of data, we opted for the formula of Arnoldus (1980) [21], which correlates well with the erosivity index of Wischmeier and Smith. The R-factor equation is expressed as follows (Eq. 2):

$$R=0.3 \times \left(\sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \right)^{1.93} \quad (\text{Eq.2})$$

Pi is the monthly precipitation (mm) and P is the annual precipitation (mm). The thematic map of climatic aggressiveness for the studied area was obtained based on interpolation of R values using the Kriging in ArcGIS which was the most appropriate interpolation method for our context. According to the spatial distribution of R factor, the highest erosivity values were recorded in the upstream part of the watershed. The generated map shows that R values in the study area are ranging from 286 to 890 MJ mm/ha h year (Fig. 3).

- **Soil erodibility factor (K)**

The soil erodibility factor K characterizes the sensitivity or susceptibility of a soil to erosion expressed in t/h/ha. MJ.mm [19]. It is a function of soil texture and structure, permeability and organic matter content. Soil erodibility was determined by referring to the equation of Wischmeier and Smith (1978) [2] (Eq. 3):

$$K=2.1 \cdot M^{1.4} \cdot 10^{-6} \cdot (12-mo) + 0.0325 \cdot (S-2) + 0.025 \cdot (C-3) \quad (\text{Eq.3})$$

K is the soil erodibility factor (t.h/MJ.mm); mo is the percentage of organic matter; M = (% fine sand + % silt) × (100 - % clay) and S and C are respectively the soil structure and permeability codes. This factor was determined for each soil unit of the watershed based on Cormary and Masson (1964) [23] study in Tunisia.

- **Topographic factor (LS)**

The topographic factor (LS) has a significant influence on soil erosion [24], it is a combination of the slope length factor (L in m) and slope inclination (S in %) which are estimated from the Digital Elevation Model (DEM) of the study area at a resolution of 30 meters. The formula proposed by Wischmeier and Smith (1978) [2] was used to calculate this factor from a GIS processing of the DEM (Eq. 4):

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \cdot (0.065 + 0.045 \cdot S + 0.0065 \cdot S^2) \quad (\text{Eq4})$$

λ: length of slope; S: slope inclination (%); m: exponent that depends on the degree of slope of the land, m = 0.5 when the slope < 10%

- **Land cover factor (C)**

The land cover determines the degree of soil protection against climatic aggressivity. It improves infiltration by maintaining good soil porosity and dissipates the energy of raindrops. The Land cover factor (C) is assigned to each type of land use, it varies from 0.001 under dense forest to 1 on bare soil. In this study, the values of the C factor were determined according to the researches done in Tunisia by Collinet et al. (2001) [25] in a similar agro-climatic context.

- **Anti-erosive practices factor (P)**

This factor expresses the impact of agricultural practices and anti-erosion management on soil protection, it varies from 0.1 for a low slope and very well managed soil to 1 for unmanaged soils. In the area studied, the existing managements are essentially bench terraces, stone lines and dry-stone sills.

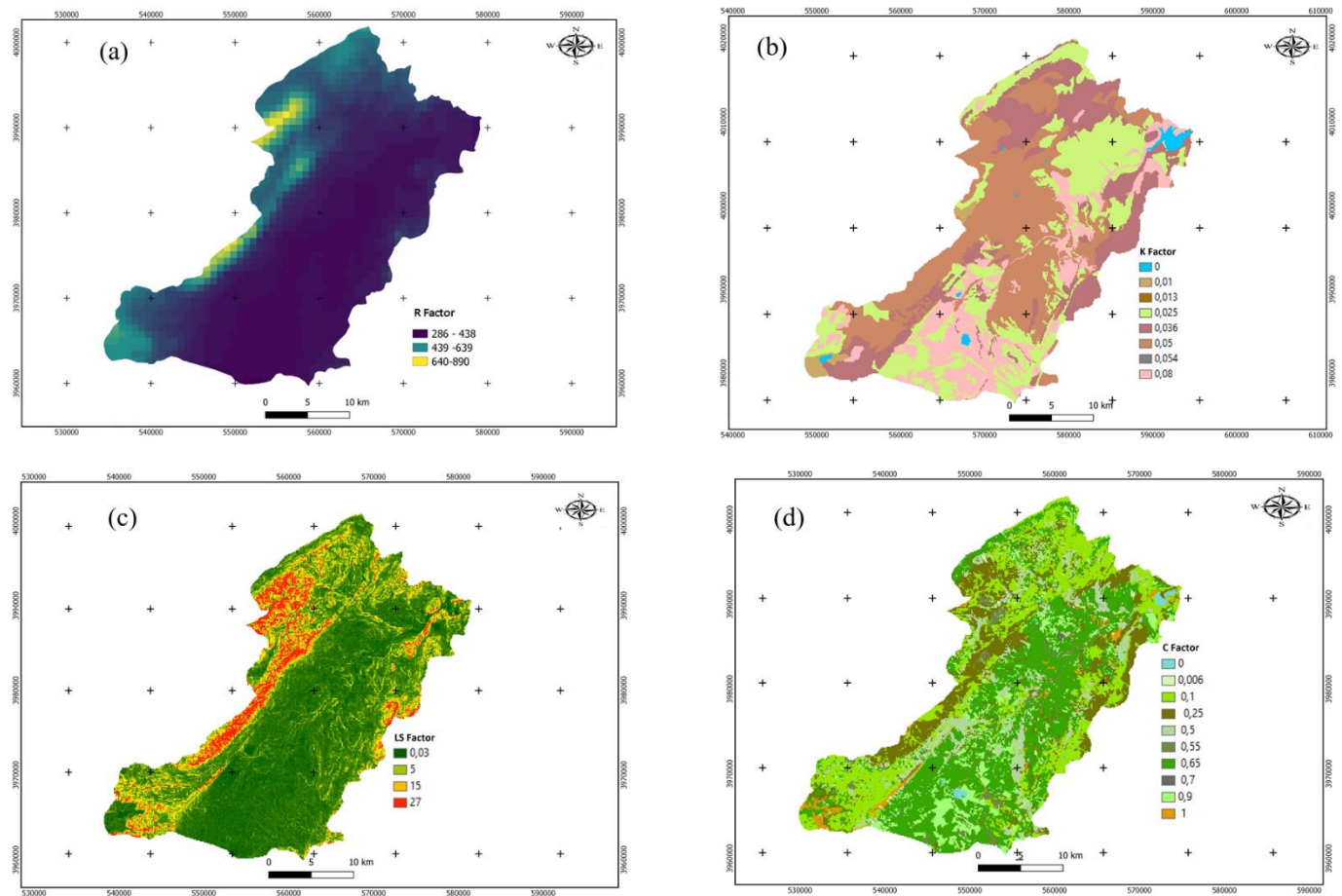


Fig. 3. Areal Distribution of Rainfall erosivity factor (a), Erodibility factor (b), Topographic factor (c) and Land cover factor (d)

2.2.2 MEDALUS APPROACH

The MEDALUS approach was adopted to evaluate the sensitivity of the upstream of Nebhana watershed to water erosion. This method is based on the calculation of the Desertification Sensitivity Index (DSI) which results from the combination of the Climate Quality Index (CQI), the Soil Quality Index (SQI), the Vegetation Quality Index (VQI) and the Land Use Quality Index (LQI):

$$DSI = (CQI \times SQI \times VQI \times LQI)^{1/4} \quad (\text{Eq. 5})$$

2.2.2.1 CLIMATE QUALITY INDEX (CQI)

This index was calculated based on rainfall, aridity index and orientation, which have a great influence on water availability for plants. In this case study, due to lack of accurate data, the climate quality index was calculated from the bioclimatic stage of the area (BS) and the rainfall aggressivity (RA) according to Eq. 6:

$$CQI = (BS \times RA)^{1/2} \quad (\text{Eq. 6})$$

RA is calculated using Eq. 7, where IF is the Fournier's index and RCI is the rainfall concentration index:

$$RA = (IF \times RCI)^{1/2} \quad (\text{Eq. 7})$$

2.2.2.2 SOIL QUALITY INDEX (SQI)

The soil quality index was evaluated based on four measurable parameters that have a strong influence on the sensitivity to erosion: the bedrock (B), the soil texture (T), the slope (S) and the soil depth (D). The soil quality index (SQI) is given by the following expression (Eq.8):

$$SQI = (B * T * S * D)^{1/4} \quad (\text{Eq.8})$$

2.2.2.3 VEGETATION QUALITY INDEX (VQI)

The vegetation quality index of the studied watershed was elaborated based on the vegetation cover score map and the erosion protection score map.

2.2.2.4 MANAGEMENT QUALITY INDEX (MQI)

The management quality index (MQI) was evaluated using the score assigned to the management status of agricultural land. It is a function of the intensity of land use (ILU) and the management policies (PA) engaged to control the erosion phenomenon.

$$SQI = (B * T * S * D)^{1/4} \quad (\text{Eq.9})$$

In fact, well maintained lands are considered as well protected against erosion, however, area with degraded land management practices is considered as moderately to poorly protected. Thus, the areas threatened by erosion and not yet managed are considered very sensitive to erosion and need to be spatially for future interventions.

Pour déterminer ces zones on tient compte des zones hors aménagement qui sont constituées essentiellement par les plaines, les forêts, les broussailles, les terres incultes, les plans d'eau (sebkha, barrage) et les zones urbaines.

3 RÉSULTS AND DISCUSSION

3.1 SOIL LOSS ESTIMATION BEFORE WATERSHED MANAGEMENT

3.1.1 SOIL LOSS ESTIMATION USING RUSLE

The quantitative evaluation of erosive risk in the upstream watershed of Nebhana dam was carried out using the RUSLE method which is based on the integration of five factors (R, K, LS, C and P). Each of the RUSLE factors with associated attribute data is digitally encoded in a GIS database to eventually produce five thematic layers, that were superimposed to ensure the spatial distribution of soil loss map. The impact of land management practices on water erosion was performed by generating an erosive risk map without considering the anti-erosive practices factor by assigning to P a value of 1 (Fig. 4).

The obtained results showed that average soil loss rate is about 10.94 t/ha/yr, 65.6% of the basin area is affected by an erosion rate less than 8 t/ha/yr, while 28.4% of the area revealed a high sensitivity to erosion (>25 t/ha/yr). Area where specific erosion is higher than 40 t/ha/yr presented about 6%. The different erosive risk classes and sensitivity index adopted in this study are presented in Table 1.

The comparison of soil loss estimated by RUSLE method (10.94 t/ha/yr) and soil loss calculated based on bathymetric measurements at Nebhana dam (11.25 t/ha/yr) [5, 26], showed that values are very close, and RUSLE reproduced properly the water erosion of the watershed.

Tableau 1. Erosive risk classes and sensitivity index adopted by RUSLE and MEDALUS

RUSLE	Erosion risk classes	MEDALUS	
Soil loss (t/ha/yr)		Classes	SI
0-5	Very low	1	1 < ISE < 1,61
5-8	Low	2	1,61 < ISE < 1,65
8-25	Medium	3	1,65 < ISE < 1,69

25-40	High	4	1,69 < ISE < 1,72
>40	Very high	5	1,72 < ISE < 2

SIE: Sensitivity Index to Erosion

At the sub-basin level, the spatial distribution of soil loss revealed that subbasin 2, occupying 134 km² about 15.6% of the total area of the watershed, is the most vulnerable to erosion. It was found that 61% of its area is subject to an erosive risk exceeding the tolerable limit (>8 t/ha/yr) of which 16.3% suffered from a very high erosion (>40 t/ha/yr). The remaining area (39%) is affected by low and very low erosion. For SBV 7 (51.5km²), results showed that it is the most protected sub-basin with about 80% of its area is subject to erosion less than or equal to 8 t/ha/year, while 1% is under strong erosive risk and only 0.6% are affected by erosion greater than 40 t/ha/r (Fig. 4).

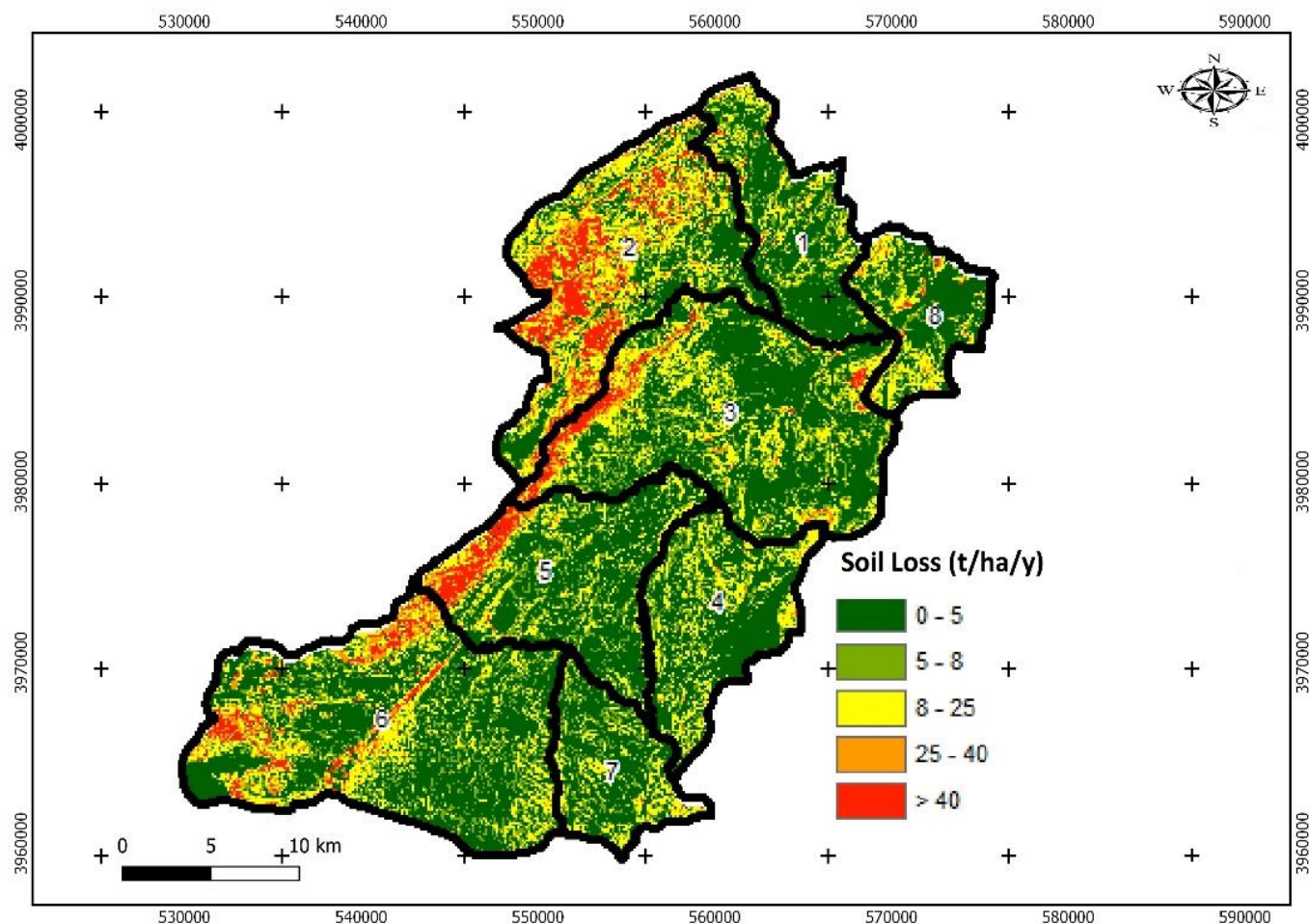


Fig. 4. Spatial distribution of soil loss in the Nebhana watershed before management using RUSLE

3.1.2 SOIL LOSS ESTIMATION USING MEDALUS

According to MEDALUS approach, the erosion sensitivity map is obtained by crossing the four indices related to soil (SQI), vegetation (VQI), climate (CQI) and management (MQI) using QGIS software.

The impact of land managements on water erosion was assessed by estimating the sensitivity indexes in the unmanaged Nebahana watershed. Based on founded results, 30.6% of the total area are suffering from a very high erosive risk and are the most prioritized for management interventions. These areas corresponded generally to sloping lands and loose soils with intensive surface stripping and generalized and hierarchical gullyng.

The rest of the basin consisted of areas slightly affected by erosion and which are generally cultivated lands with gentle slope and very limited surface gully. As shown in Fig. 5, the most sensitive subbasins are SBV 2 followed by SBV 3, with high sensitivity indexes.

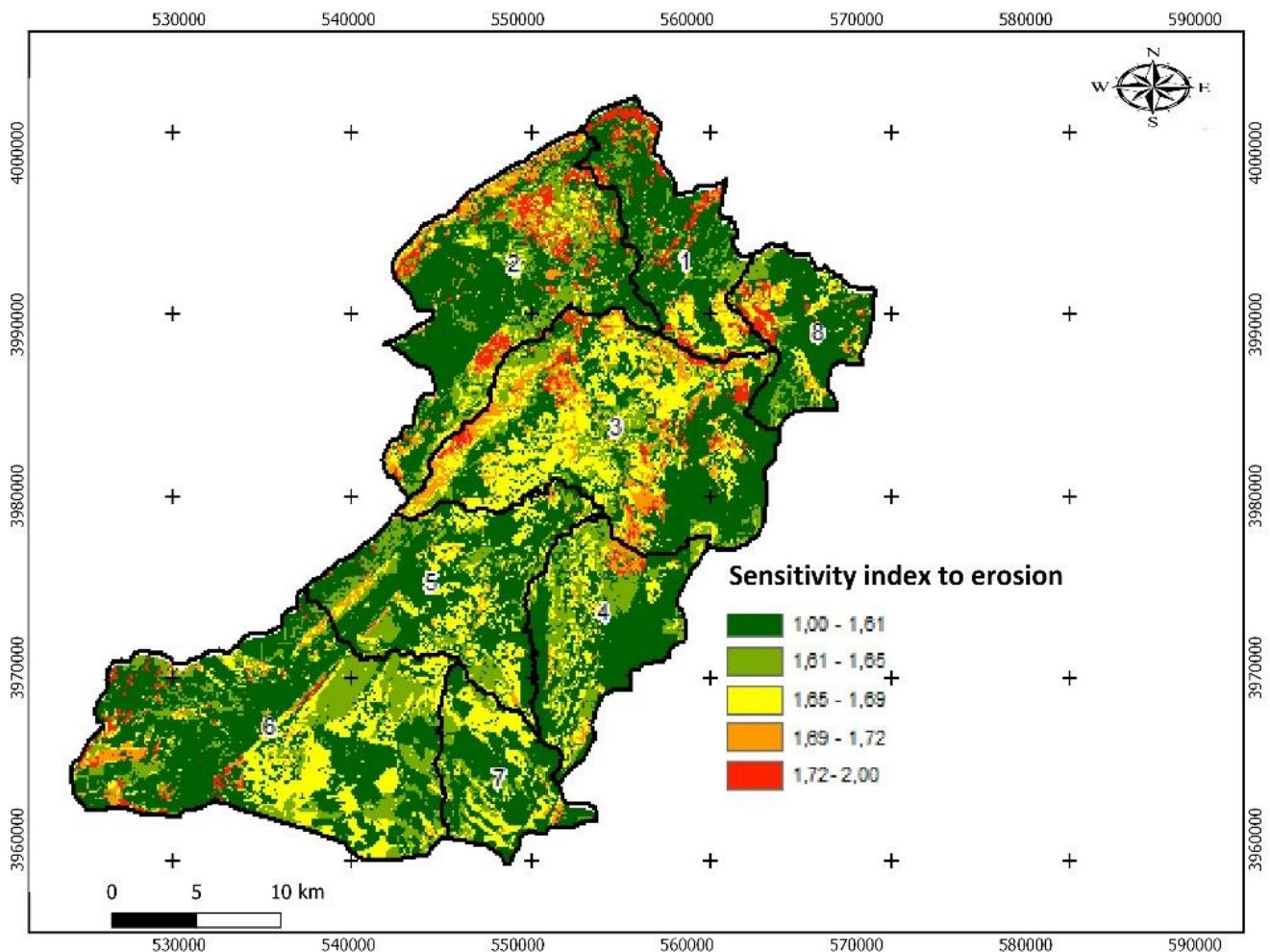


Fig. 5. Spatial distribution of sensitivity index in the Nebhana watershed before management using MEDALUS

3.2 SOIL LOSS ESTIMATION AFTER WATERSHED MANAGEMENT

The existing managements in Nebhana watershed have been inventoried from data available in the Water and Soil Conservation Directorate, from Google Earth images and from field surveys. According to these data, the implemented conservation measures corresponded mainly to manual or mechanical bench terraces that extend over an area exceeding 28 km² stone lines, dry stone sills as well as rainwater spreading and recharge structures.

3.2.1 SOIL LOSS ESTIMATION USING RUSLE

The implementation of anti-erosion managements in the Nebhana watershed resulted in a reduction of average soil loss estimated by RUSLE to 7.64 t/ha/yr. Each erosion risk class has undergone a change in the occupied area as presented in Fig. 6. We note that 71.7% of the total area of the watershed is affected by erosion less than or equal to 8 t/ha/yr, while 23.1% of the area reveals a high erosion risk (>25 t/ha/year), the rest of the watershed where the specific erosion is greater than 40 t/ha/yr presents only 5.2%.

3.2.2 SOIL LOSS ESTIMATION USING MEDALUS

The elaborated erosion sensitivity index map for the managed watershed showed that area occupied by each sensitivity index class has also changed for MEDALUS (Fig. 7). In fact, 20% of the total area suffered from high and very high erosion and are considered as priority areas for management.

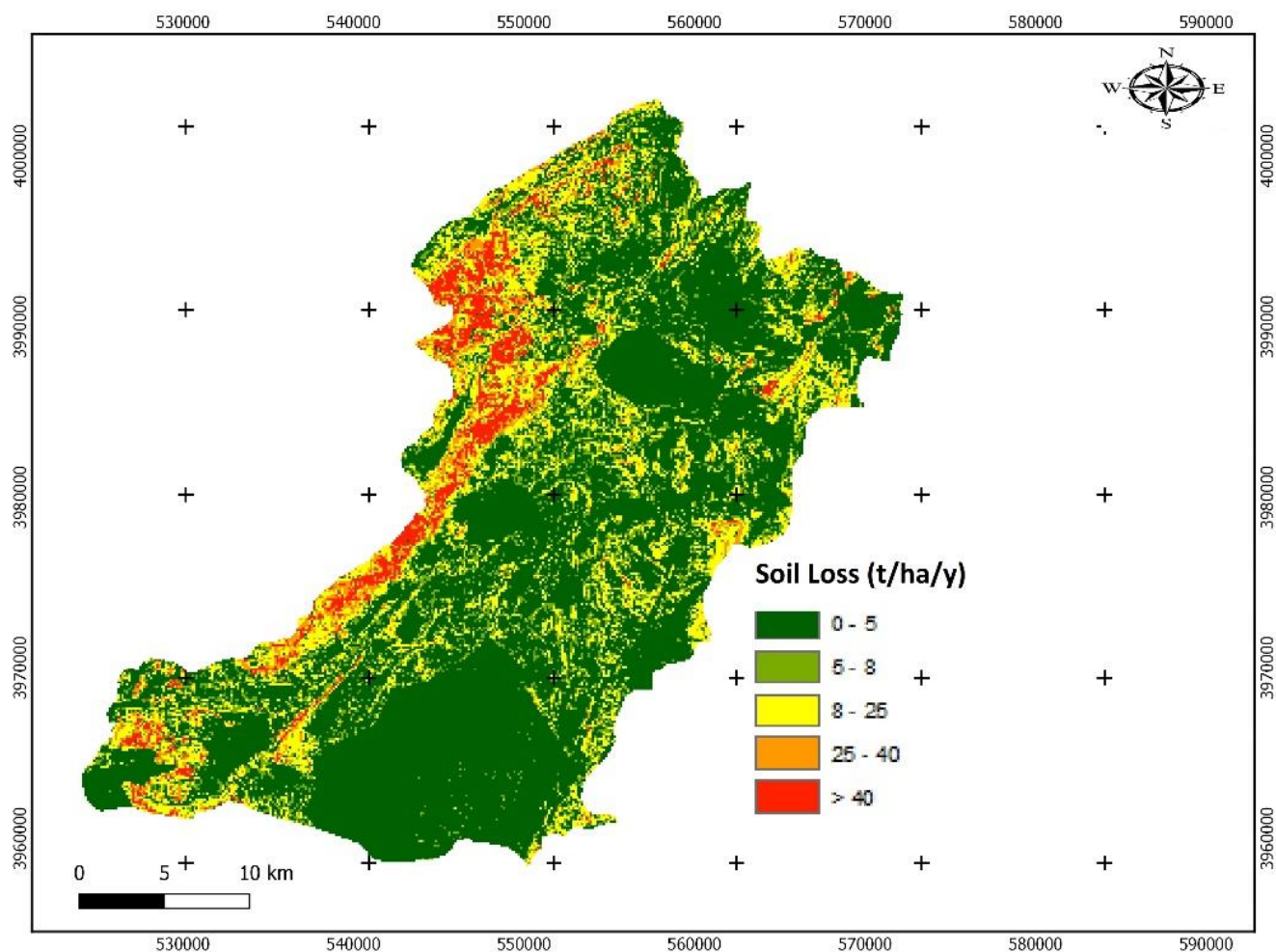


Fig. 6. Spatial distribution of soil loss in the Nebhana watershed after management using RUSLE

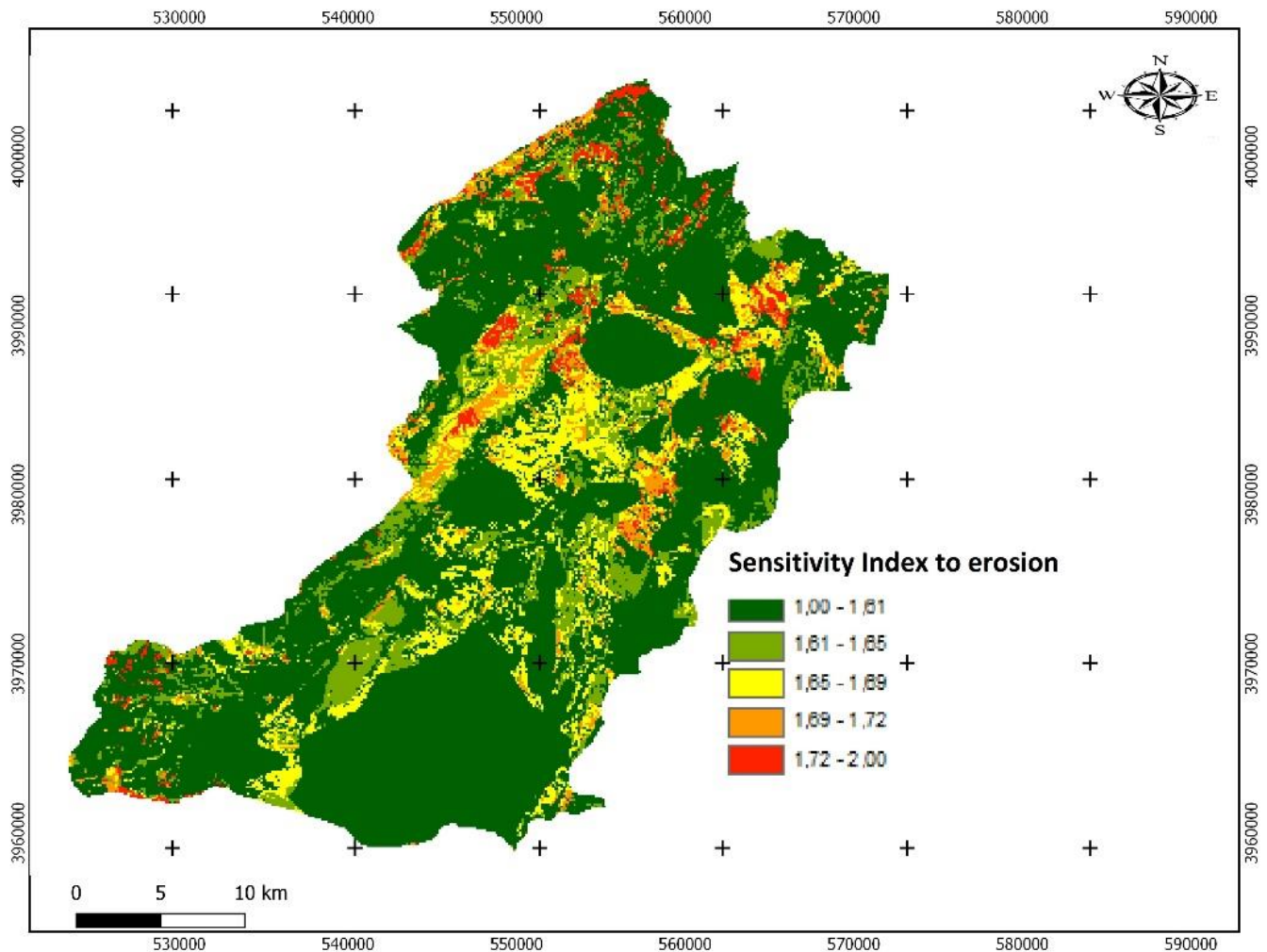


Fig. 7. *Spatial distribution of sensitivity index in the Nebhana watershed after management using MEDALUS*

3.3 COMPARATIVE ANALYSIS OF RESULTS

The comparative analysis of obtained results from RUSLE and MEDALUS is based on the comparison of areas affected by each erosion risk class. Results showed that there is a significant correspondence between the two models before and after watershed management. The most vulnerable areas requiring management intervention are practically the same for RUSLE and MEDALUS. Thus, the empirical model RUSLE is verified by MEDALUS approach.

Fig. 8. showed that erosion risk classes estimated with these two methods matched well. In fact, for both RUSLE and MEDALUS, the very low erosion class is dominant. Based on RUSLE model, this class represented 50,3% and 60.2% of the total area, respectively before and after watershed management. According to MEDALUS, the very low erosion class is about 51,6% and 67.5% of the total area, respectively before and after the watershed management.

High and very high erosion risks before watershed management occupied very close areas for the two adopted models, about 11.4% for RUSLE and 11.2% for MEDALUS. After watershed management, this class of erosion was reduced, and results are also in agreement with 9.9% for RUSLE and 8.4% for MEDALUS. Furthermore, the remaining risk classes estimated by RUSLE and by MEDALUS occupied also nearby areas.

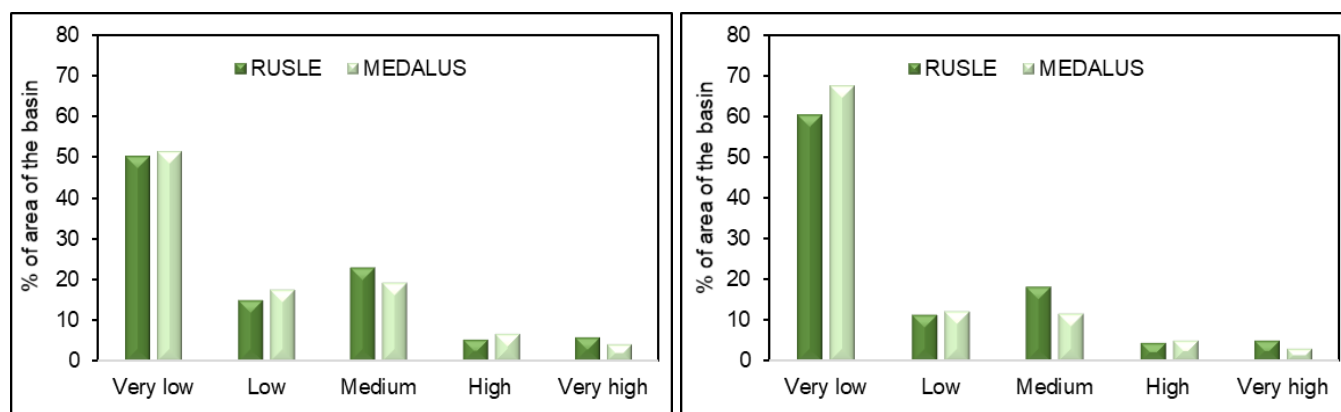


Fig. 8. Distribution of soil loss classes before (on the left) and after watershed management (on the right)

3.4 VALIDATION

The Effective validation of obtained results requires some similarity between the visible effect of erosion in the field and the estimation of RUSLE and MEDALUS models. Thus, a multitude of randomly distributed points were marked on the generated soil loss map. It was found that, according to RUSLE and MEDALUS, the most sensitive areas are mainly located in the upstream part of the basin where slopes are very steep, lands are rugged, scrubland are mostly degraded, and human activities are intensive, these areas are suffering from a generalized and very hierarchical gullying. Points on the map with low to very low erosion corresponded to protected lands or no sensitive lands to erosive processes.

Validation process revealed that there is a good agreement between simulated results and ground truth. The bathymetric measurements consolidates this agreement and showed that the quantification and the spatial distribution of soil loss in the upstream watershed of Nebhana dam using RUSLE and MEDALUS presented a satisfactory reliability to identify the most vulnerable areas and to deal with data scarcity in Mediterranean watersheds

4 CONCLUSION

The assessment of water erosion in the upstream watershed of Nebhana Dam using RUSLE and MEDALUS models coupled with QGIS software, was based on the integration of several factors such as topography, land use, pedology, lithology and climate. These empirical models, which do not require many input parameters, are increasingly used for land management planning of semi-arid catchments. These models allow the quantification of soil loss and the identification of most vulnerable areas to erosion, which helps decision makers to better plan their strategies and to install the most appropriate soil and water conservation measures.

The application of RUSLE model showed its ability to reproduce well the average annual soil loss rate which is about 10.94 t/ha/yr against a value of 11.25 t/ha/yr from the available bathymetric measurements in the Nebhana reservoir. Before the watershed management, 34% of the total area suffered from erosion exceeding the tolerable limit (8 t/ha/year). After the installation of land management practices, the area concerned is reduced to 28.3%, a value that is still not satisfactory and it is wise to propose the necessary interventions to reduce high erosion by acting on the anti-erosion practices factor. The most affected areas are concentrated in the upstream part of the basin which correspond to bare soils with steep slopes. According to MEDALUS approach, 30% and 22% of the watershed had high sensitivity index before and after management respectively. Thus, these areas are the most sensitives and the most prioritized for management intervention. The comparison of these two models showed that RUSLE is verified by MEDALUS.

Indeed, according to RUSLE, 51% of the area are requiring land management practices measures, based on MEDALUS, this part of the basin requires also management. To contribute to the protection of Nebhana watershed against water erosion, land management plan was proposed with the objective of reducing upstream runoff, protecting the Nebhana dam, extending the life of the reservoir, and improving yields.

REFERENCES

- [1] J. Gao and H. Wang «Temporal analysis on quantitative attribution of karst soil erosion: a case study of a peak-cluster depression basin in Southwest China», *Catena*, vol. 172, pp. 369–377. doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.035, 2018.
- [2] W. H. Wischmeier and D. D. Smith, *Predicting rainfall erosion losses: Guide to conservation planning: Agricultural Handbook* No. 537. Agricultural Research Service-US Department of Agriculture, Washington DC, 58p, 1978.
- [3] Direction Générale des Aménagements et Conservation des Terres Agricoles (DG/ACTA), Stratégie nationale pour la conservation des eaux et des sols: Publication of the General Directory for Water and Soil Conservation. Ministère de l'Agriculture, des ressources hydrauliques et de la pêche, Tunisie, 1993.
- [4] M. Abid M *Envasement des barrages en Tunisie*. Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques (DGBGTH), Ministère de l'Agriculture, Tunisie, 69 p, 1998.
- [5] A. Ben Mammou, M. H. Louati «Evolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie», *Revue des sciences de l'eau*, vol. 20, pp. 201–210, 2007.
- [6] R. P. C. Morgan, J. N. Quinton, R. E. Smith, G. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, M. E. Styczen, «The European soil erosion model (EUROSEM): a process-based approach for predicting sediment transport from fields and small catchments», *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 23, pp. 527–544, 1998.
- [7] J. G. Arnold, R. Srinivasan, R. S. Muttiah, J. R. Williams, «Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development», *The Journal of the American Water Resources Association*, vol. 34, no. 1, pp. 73–89, 1998.
- [8] I. Gaubi, A. Chaaban, A. Ben Mammou, M. H. Hamza, «A GIS-based soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE): Lebna watershed, Cap Bon, Tunisia», *Natural Hazards*, vol. 86, pp. 219–239, 2017.
- [9] P. P. Dabral, N. Baithuri, A. Pandey, «Soil erosion assessment in a hilly catchment of northeastern India using USLE, GIS and remote sensing», *Water Resources Management*, vol. 22, pp. 1783–1798, 2008.
- [10] M. Kefi, K. Yoshino, Y. Setiawan, «Assessment and mapping of soil erosion risk by water in Tunisia using time series MODIS data», *Paddy and Water Environment*, vol. 10, no. 1, pp. 59–73. doi: 10.1007/s10333-011-0265-3, 2012.
- [11] K. Khemiri and S. Jebbari () Évaluation de l'érosion hydrique dans des bassins versants de la zone semi-aride tunisienne avec les modèles RUSLE et MUSLE couplés à un Système d'information géographique. *Cahiers Agriculture*, vol. 30 no. 7, 2021.
- [12] L. H. Wang, J. L. Huang, Y. Du, Y. X. Hu, P. P. Han, «Dynamic assessment of soil erosion risk using Landsat TM and HJ satellite data in Danjiangkou Reservoir area, China», *Remote Sensing*, vol. 5, pp. 3826–3848. doi: 10.3390/rs5083826, 2013.
- [13] A. Jasrotia and R. Singh, «Modeling Runoff and Soil Erosion in a Catchment Area, using the GIS, in the Himalayan Region, India», *Environmental Geology*, vol. 51, pp. 29–37, 2006.
- [14] K. G. Renard and J. R. Freimund, «Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R factor in the Revised USLE», *Journal of Hydrology*, vol. 157, pp. 287–306. doi: 10.1016/0022-1694(94)90110-4, 1994.
- [15] G. Ladisa, M. Todorovic, G. Trisorio Liuzzi, «A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy». *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 49, pp. 103–113. doi: 10.1016/j.pce.2011.05.007, 2012.
- [16] C. Trotta, P. Menegoni, F. M. Manfredi Frattarelli, M. Iannetta, «Assessing desertification vulnerability on a local scale: the Castelporziano study case (central Italy)», *Rendiconti Lincei*, vol. 26, pp. 421–450. doi: 10.1007/s12210-014-0362-5, 2015.
- [17] M. Karamesouti, P. Panagos, C. Kosmas, «Model-based spatio-temporal analysis of land desertification risk in Greece», *Catena*, vol. 167, pp. 266–275. doi: 10.1016/j.catena.2018.04.042, 2018.
- [18] K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool, *Predicting soil erosion by water a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*, Washington, USDA. Agriculture Handbook 703: 404 p, 1997.
- [19] N. W. Hudson, *Soil Conservation*, 2nd Edition London: Batsford, 1981.
- [20] K. G. Renard and J. R. Freimund, «Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE», *Journal of Hydrology*, vol. 157, pp. 287–306, 1994.
- [21] H. M. J. Arnoldus, *An approximation of the rainfall factor in the USLE*, In: M. DeBoodt and D. Gabriels (Editors), *Assessment of Erosion*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 127–132. 1980.
- [22] A. Rango, H. M. J. Arnoldus, *Aménagement des bassins versants*. In: Cahiers techniques de la FAO: 1-11. 1987.
- [23] Y. Cormary, J. Masson, *Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier*. Étude de conservation des eaux et du sol au Centre de recherches du génie rural de Tunisie, pp 5-26, 1964.
- [24] E. Roose, Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. Bulletin pédologique de la FAO, 70 p. 1994.
- [25] J. Collinet, P. Zante, O. Balieu, M. Ghesmi, Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant du barrage collinaire de Zanfour (Nord Dorsale tunisienne). CRDA du Kef, IRD, 39 p. + annexes, 2001.
- [26] Direction General des Barrages et des Grands Travaux Hydraulique (DG/BGTH), *Bulletin de suivi de la situation hydraulique des barrages*. Ministère de l'Agriculture, des ressources hydrauliques et de la pêche, Tunisie, 2010.

Savoir-être et savoir-faire utiles à l'insertion professionnelle des diplômés de l'enseignement supérieur dans la région de la Kara (Togo)

[Skills and know-how useful for the professional integration of higher education graduates in the Kara region (Togo)]

Tamégnon YAOU

Maître-Assistant au Département de Sociologie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Laboratoire de Recherches et d'Etudes en Linguistique, Psychologie et Société (LaRELIPS), Université de Kara, Kara, Togo

Copyright © 2022 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: An effective education system is measured by the employment of the graduates it produces. Education systems in Africa are largely marked by rampant underemployment and unemployment rates. In Togo, these rates were 24.9% and 3.9% respectively in 2015. As the number of young people and their levels of education increase, the question arises as to whether they have the soft skills required to facilitate their integration into the workforce, especially graduates of higher education ? Indeed, after forty-five interviews conducted with managers of placement agencies for graduates, NGO managers and human resources directors of some companies that receive higher education graduates for internships, it appears that employers are asking more and more for socio-emotional (soft) skills than cognitive ones. The soft skills highlighted by these employers include: punctuality, humility, commitment, curiosity, integrity, flexibility and proactivity. From the point of view of know-how, apart from the mastery of English and the computer tool which are transversal knowledge, we must retain the sense of organization, the ability to do personal research and to produce reports within the deadlines.

KEYWORDS: Soft skills, transversal knowledge, humility, proactivity, employers.

RESUME: Un système éducatif efficace se mesure à l'aune de l'insertion professionnelle des diplômés qu'il produit. Les systèmes éducatifs en Afrique sont en grande partie marqués par des taux de sous-emploi et de chômage galopants. Au Togo, ces taux sont respectivement de 24,9% et 3,9% en 2015. Au fur et à mesure que croissent le nombre de jeunes et leurs niveaux d'instruction, il se pose alors la question de savoir s'ils ont les compétences douces requises pouvant favoriser leur insertion professionnelle, surtout les diplômés de l'enseignement supérieur ? En effet, après quarante-cinq entretiens menés auprès des responsables d'agences de placement des diplômés, des responsables d'ONG et des directeurs des ressources humaines de certaines entreprises qui reçoivent en stage les diplômés de l'enseignement supérieur, il ressort que les employeurs demandent de plus en plus de compétences socio-émotionnelles (douces) que cognitives. Les savoir-être que ces employeurs ont mis en exergue sont entre autres: la ponctualité, l'humilité, l'engagement, la curiosité, l'intégrité, la flexibilité et la proactivité. Du point de vue des savoir-faire, hormis la maîtrise de l'anglais et de l'outil informatique qui sont des savoirs transversaux, il faut retenir le sens de l'organisation, la capacité à faire des recherches personnelles et à produire des rapports dans les délais.

MOTS-CLEFS: Compétences douces, savoir transversal, humilité, proactivité, employeurs.

1 INTRODUCTION

L'insertion professionnelle des jeunes est la finalité d'un système éducatif performant et constitue un défi majeur dans les sociétés africaines en mutation. En effet, dans une société capitaliste, l'école forme pour une fonction précise, soit dans la fonction publique, soit dans les ONG, soit dans les entreprises, les associations et autres. La formation reçue dans les institutions d'enseignement supérieur rend les diplômés plus à même d'occuper parfois directement une fonction. Mais souvent, il leur faut un stage, une mise à niveau pour espérer avoir un emploi stable.

Dans la plupart des pays, l'insertion professionnelle des jeunes intervient dans un contexte où, sous l'effet du développement de l'éducation, la scolarité dure plus longtemps. À une époque où le niveau général de formation augmente, un des constats les plus préoccupant est l'augmentation des écarts entre les jeunes les mieux pourvus en capital scolaire et ceux qui n'ont pas atteint le niveau de l'enseignement secondaire supérieur [1]. L'éducation n'est que l'une des variables qui conditionnent l'insertion professionnelle des jeunes. D'autres caractéristiques, telles que l'appartenance ethnique, le sexe, le statut socio-économique ou la ruralité pèsent lourdement sur les perspectives d'emploi et l'avenir des jeunes.

Au Togo, plusieurs initiatives ont été prises par les gouvernants depuis quelques décennies. En 2010, d'une part un ministère dédié à la promotion de la jeunesse et à l'emploi des jeunes (MDBAJEJ) a été créé, et, d'autre part, l'adoption récente de deux politiques majeures que sont la Politique Nationale de Jeunesse (PNJ), assortie d'un Plan d'Action Opérationnel (PAO) actualisé pour la période 2014-2017, et le Plan Stratégique National pour l'Emploi des Jeunes (PSNEJ) qui a couvert la période 2013-2017 [2]. Par ailleurs, l'Agence Nationale du Volontariat (ANVT) participe à l'insertion des jeunes diplômés par la mise en stage des primo-demandeurs d'emploi. Certaines initiatives portent déjà des fruits d'autres par contre sont restées à l'état de déclarations d'intentions, d'autres encore ont des résultats mitigés.

Selon l'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique [2], le monde compte aujourd'hui 1.8 milliard de jeunes de 10 à 24 ans. Ce groupe représente la plus importante cohorte jamais connue à entamer sa transition vers la vie adulte. Plus de 85 % d'entre eux vivent dans des pays en développement et, dans de nombreux endroits, ils représentent jusqu'à 30 % de la population, leur nombre ne cessant d'augmenter. L'Afrique compte 200 millions de jeunes âgés de 15 à 24 ans, soit plus de 20 % de la population. Le continent connaît une croissance rapide de sa population et est entré dans une phase de lente transition démographique qui va augmenter la pression à laquelle les pays sont confrontés en termes de création d'emploi. La grande majorité des jeunes sont des ruraux qui travaillent principalement dans l'agriculture où ils représentent 65 % de l'emploi total.

Selon l'INSEED (2017), 87% des emplois sont générés par le secteur informel via des unités de productions informelles (UPI). En outre, généralement, le secteur informel est le terrain d'emploi des sortants des formations post-primaire. Ce secteur est de plus en plus sollicité par certains diplômés post-baccalauréat. Or selon la COFEMEN [3] l'économie informelle, d'après les estimations de l'Organisation Internationale du Travail (OIT), est à l'origine de 70% des emplois créés aujourd'hui dans les pays en voie de développement. De productivité faible, ce secteur fait appel à des techniques rudimentaires, à une main-d'oeuvre peu qualifiée. La rémunération honoraire moyenne des salariés est de 820 FCFA et le taux de chômage au sens du Bureau International du Travail (BIT) est de 3,9%.

Le sous-emploi prédomine et a progressé de 22 à 24,9% entre 2011 et 2015. Les hommes sont touchés par ce phénomène à hauteur de 25,8% contre 24,1% pour les femmes. Selon l'Agence Nationale Pour l'Emploi (ANPE), les critères du sous-emploi sont: (i) Adéquation entre la formation et l'emploi exercé; (ii) individu en activité moins de 40 heures par semaine; (iii) individu exerçant une activité mais étant toujours à la recherche d'emploi (Source: ANPE). Cependant, les jeunes traversent des difficultés de tous genres, plus encore les jeunes diplômés qui sont de plus en plus confrontés au chômage, aujourd'hui plus qu'hier. Les causes de cette croissance du chômage et du sous-emploi des jeunes diplômés sont diverses et variées (inadéquation de la formation face aux besoins du marché du travail, insuffisance de l'offre du marché, etc.). Les universités, les centres de formations et les organisations non gouvernementales apportent pour ce qui les concerne, des solutions pour panser cette plaie béante qu'est le chômage.

Les apprenants et les étudiants, eux aussi, devraient s'ajuster pour acquérir le savoir-faire et le savoir être nécessaires, qui, en plus des connaissances acquises (savoirs) selon leur parcours de formation, contribueront à bâtir chez eux un profil et une personnalité capables de relever les défis contemporains du marché de l'emploi et celui du travail. Le chômage des jeunes résulte en qualifications et de la demande du marché du travail. La situation est aggravée par le fait que l'éducation et les programmes de formation ne sont pas toujours conformes aux attentes du marché du travail [4]. Les attentes sont de divers ordres, notamment du point de vue des savoirs (connaissances), des savoir-faire et des savoir-être. Au Togo, l'ANPE accompagne certains jeunes par des formations et facilite l'insertion professionnelle d'autres par des stages de six mois renouvelables une fois dans l'optique de leur offrir une expérience professionnelle. L'ANVT quant à elle place d'autres jeunes primo demandeurs d'emploi dans des structures qui en font la demande pour une durée d'un an renouvelable. Certains employeurs sont satisfaits des prestations des primo demandeurs d'emploi et les gardent dans leurs structures, par contre d'autres après le contrat d'un an se séparent de ceux-

ci. La plupart des compétences requises au travail ne sont pas souvent enseignées dans les écoles ou universités. Dans ces conditions, quels sont les jeunes qui ont plus de chances de s'insérer facilement selon les exigences des employeurs ? Quels savoir-être et savoir-faire exigent-ils les employeurs pour garder les primo demandeurs d'emploi ?

La présente recherche vise à analyser les savoir-faire et les savoir-être que les employeurs exigent des primo demandeurs d'emploi pour les garder dans leurs structures. Ceci dit, nous postulons que les employeurs exigent des jeunes plus de savoir-être que de savoir-faire. Comment explique-t-on cette situation ?

En effet, plusieurs théories expliquent l'insertion professionnelle notamment la théorie des signaux à l'embauche, celles du filtre et de la recherche d'emploi. Pour la présente recherche nous optons pour celle du capital humain. En effet, la théorie du capital humain met en exergue l'ensemble des capacités productives d'un individu, incluant ses aptitudes opératoires au sens large: connaissances générales ou spécifiques, savoir-faire et savoir être, expériences...Il s'agit d'une somme de qualités que l'on peut constituer, accumuler et utiliser. Pour [5], le capital humain comprend trois composantes principales qui permettent à l'employé d'être performant: l'éducation et la formation au sens large, la santé (moteur du développement et du bien-être physique et mental des individus), et tous les autres facteurs qui, concrètement permettent à l'individu de participer à la production. La théorie du capital humain établit une relation positive entre l'éducation, la productivité et le salaire. Développée depuis les années 1960 par plusieurs auteurs dont [6], la théorie du capital humain considère l'éducation d'un individu comme un gain futur pour celui-ci. Pour [7] le niveau de qualification et de formation acquis est une variable déterminante dans les chances d'insertion professionnelle et de stabilisation; l'absence de diplômes est largement sanctionnée sur le marché de l'emploi. Selon Becker, le capital humain est un actif, un patrimoine, un stock susceptible de procurer un revenu. Il en est de même pour le capital humain qui est un sous-ensemble dans cette notion globale de capital: le capital humain est un stock de connaissances et d'expériences, accumulé par son détenteur tout au long de sa vie par des investissements. Dans le cadre de cette recherche, les savoir-faire et savoir-être font partie des éléments du capital humain.

2 APPROCHE METHODOLOGIQUE

Cet article est à la base une conférence présentée le 3 février 2022, à l'occasion de la journée du civisme qu'a organisé l'Université de Kara. En préparant cette communication, plusieurs entretiens ont été faits dans le but de ne pas être trop théorique. L'intérêt est donc né des données collectées suite aux entretiens effectués. D'autres entretiens ont été effectués après la conférence. Dans ce contexte, les entretiens se sont étendus sur huit mois, de janvier à août 2022. Au cours de cette période, la recherche documentaire s'est faite concomitamment.,

Cette recherche s'est déroulée sur toute l'étendue du territoire togolais mais principalement dans la région de la Kara où plus d'acteurs ont été interviewés. L'université de Kara, la seconde université publique du Togo se trouvant dans le chef-lieu de la région de la Kara, il a semblé important d'interroger les employeurs qui consomment plus les diplômés sortant de cette université. Le groupe cible est constitué des employeurs (responsables des ONG et des associations de la région de la Kara), des responsables des ressources humaines des entreprises privées et aussi des responsables régionaux des faïtières des ONG du Togo.

Dans la région de la Kara, 35 responsables d'organisation de la société civile (OSC) ont été interviewés dans le cadre de cette recherche. Par ailleurs, dans une logique de triangulation des données, nous avons interviewé également les responsables de l'Agence nationale pour le volontariat au Togo (ANVT) et l'agence nationale pour l'emploi (ANPE). La première agence place toutes les catégories de diplômés dans les structures qui en font la demande. La seconde agence quant à elle a pour objectif d'aider les demandeurs d'emploi à faire une expérience en vue de leur insertion professionnelle définitive. Ceci dit les deux structures favorisent l'insertion professionnelle des diplômés de l'enseignement supérieur dans notre pays. Ainsi, en plus des responsables d'ONG, nous avons interviewé deux responsables régionaux de l'ANPE, ceux de Kara et de Sokodé et le responsable régionale de l'ANVT Kara. Le responsable de Union des organisations non gouvernementales du Togo (UONGTO) a été interviewé dans le sens d'aider à la triangulation des informations. Six directeurs des ressources humaines (DRH) d'entreprises privées et des chasseurs de têtes ont été interrogés en vue de connaître, les savoir-faire et savoir-être exigés par eux dans divers domaines de la vie professionnelle.

Cette recherche est fondamentalement qualitative. Ainsi, des entretiens individuels ont été menés et ceux-ci ont été tous enregistrés et transcrits par la suite. Les transcriptions ont permis de produire des verbatims significatifs. Par la technique de l'analyse de contenu, les verbatims ont été catégorisés en tenant compte des objectifs de la recherche. En effet, étant donné que ce travail consiste à répertorier et analyser les savoir-être et savoir-faire favorisant l'insertion professionnelle des diplômés de l'enseignement supérieur, les verbatims ont donc été regroupés en savoir-être et en savoir-faire, à dimension individuelle et collective. Dans les résultats qui sont présentés dans la partie suivante, l'analyse de contenu a permis de mettre en lumière les savoir-être et savoir-faire qui seront écrit en italique dans les verbatims présentés en caractère droit et qui dépassent trois lignes

quand l'interviewé exprime clairement la compétence attendue du diplômé. Pour les verbatims dont le nombre de ligne est inférieur à trois, la compétence est toujours en italique et le verbatim est présenté entre les guillemets.

3 RESULTATS

3.1 CLARIFICATION DES CONCEPTS

Avant de présenter les données de l'enquête, il est important de définir les concepts clés que sont insertion professionnelle, savoir-faire, savoir-être. Selon [8], d'une façon plus large, on peut définir l'insertion professionnelle comme le processus conduisant à l'intégration d'une personne à un milieu de travail. D'après [9], le concept d'insertion professionnelle renvoie à un processus dynamique qui caractérise le passage du système éducatif à une position d'activité relativement stabilisée sur le marché du travail. L'insertion commence dès lors qu'un individu consacre plus de temps à la recherche d'emploi ou à un emploi rémunéré plus ou moins stable qu'aux loisirs, aux études, etc. et prend fin lorsque celui-ci n'y accorde plus de temps. Elle ne se limite donc pas seulement au moment où l'individu accède à un emploi.

Nous nous alignons sur la définition de Mansuy car dans notre contexte de rareté de l'emploi, l'insertion professionnelle est un processus qui part du désir d'avoir un emploi à l'obtention d'un emploi stable ou d'un stage pouvant déboucher sur un emploi stable. En effet, la stabilité d'un emploi, donne au diplômé une certaine quiétude psychologique et favorise l'insertion sociale.

Par l'instruction, les jeunes acquièrent beaucoup de connaissances dans divers domaines, dans les universités et les centres de formation. Le niveau d'instruction des jeunes s'est d'ailleurs nettement amélioré par rapport à leurs parents. Cependant, plusieurs défis se posent à eux quant aux savoir-faire et surtout aux savoir-être attendus d'eux par les employeurs. Concernant le savoir-faire, il s'obtient aussi bien par l'instruction que par les expériences dans l'éducation non formelle (reçue dans les associations et groupes organisés).

Le savoir-faire se réfère à l'expérience pratique qui témoigne de la maîtrise technique d'un domaine et qui permet l'application d'une connaissance, d'un savoir. C'est donc l'habileté à mettre en œuvre son expérience et ses connaissances acquises dans un art ou un métier quelconque. Généralement, le savoir-faire est intrinsèquement lié aux savoirs. Quand on apprend des choses d'un domaine donné, on en apprend en même temps des savoir-faire.

Quant au savoir-être, il a trait à l'attitude, aux valeurs d'une personne. Ce sont les qualités personnelles et comportementales dont fait preuve un individu dans le domaine professionnel. Rarement le savoir-être est acquis par les apprentissages théoriques, sauf dans certaines formations professionnalisantes. Le savoir-être s'acquiert le plus souvent par l'expérience (les stages, les échanges avec les professionnels d'un métier, l'apprentissage sur le tas). Cependant, un apprenant peut faire un stage en entreprise et sortir sans un minimum de savoir-faire, parce qu'il manque de savoir-être de base pouvant lui permettre d'acquérir plus de savoir-faire. Les savoir-être sont le fruit de la personnalité du demandeur d'emploi et du stagiaire. La personnalité est bâtie sur une longue période et sur plusieurs leviers notamment: (i) l'inné qui se traduit parfois sous forme de caractère et de tempérament; (ii) l'éducation familiale assurée par les parents qui ont une influence évidente sur la personnalité de l'enfant jusqu'à sa maturité, les parents apprennent à l'enfant à intégrer les normes sociales qui favorisent l'insertion sociale; (iii) l'histoire personnelle qui est fondée sur les joies et les peines, les expériences positives et négatives, les blessures de la vie, la vie affective et émotionnelle; (iv) le rapport à soi-même qui dépend de comment l'individu se perçoit lui-même, l'estime qu'il a de lui-même, la confiance en soi; (v) le rapport à autrui qui est bâti sur comment les autres le perçoivent, les rapports qu'il a eu dans les groupes et les instances de socialisation auxquels il a fait partie, etc. C'est dire que le savoir-être est une somme d'expériences acquises depuis la naissance jusqu'à l'entrée en stage.

3.2 LES SAVOIR-ÊTRE QUE DOIVENT AVOIR LES JEUNES DIPLOMES DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR AU TOGO

Les entretiens ont permis de mettre en exergue les savoir-être et les savoir-faire que les employeurs trouvent utiles chez les diplômés de l'enseignement supérieur en stage dans leurs structures pour les garder. La plupart des interviewés ont mis plus l'accent sur les savoir-être car comme le souligne le responsable de l'ANPE-Kara, « de nos jours les employeurs cherchent plus les *savoir-être* parce qu'à compétences égales dans une entreprise, on s'appuie sur le savoir-être. On ne les enseigne pas à l'école, on les acquiert à travers les comportements, par exemple *la ponctualité* » (propos d'entretien, juillet 2022).

Les acteurs du secteur privé sont unanimes sur le fait que les diplômés sortis de l'université ne sont pas proactifs, curieux et engagés. C'est dans ce sens que le président du conseil d'administration de l'Union des ONG du Togo (UONGTO) souligne:

Dans notre contexte les jeunes quand on leur donne par exemple un travail, quand ils ne savent pas le faire ils attendent, ils ne vont pas demander, ils attendent jusqu'au jour où on leur demande s'ils ont fait le travail et ils vous disent qu'ils

ont commencé et ils ont rencontré telles difficultés et ils ont arrêté. Ça ne se passe jamais comme ça dans le monde du travail. Le monde du travail ce sont les résultats que les gens veulent. Donc on ne peut pas se trouver des excuses pour ne pas faire le travail demandé (Propos d'entretien, mars 2022).

Un responsable d'ONG à Lomé souligne la nécessité de l'engagement des jeunes. Pour lui, il est important de garder l'effort dans le travail. Il souligne:

Nos jeunes ont besoins d'apprendre à être vraiment engagé, être engagé, c'est ne rien lâcher, rester dans l'effort jusqu'à atteindre les résultats. Parfois, chez les gens qui sont assez expérimentés, on voit dans leurs comportements au travail qu'ils ne vont pas au bout de l'effort et ça c'est quelque chose de totalement inadmissible (propos d'entretien, janvier 2022).

Un responsable d'ONG insiste sur l'humilité qui favorise la capacité à apprendre et à accepter les conseils et les remarques de leurs aînés.

Il y a un autre problème chez les jeunes diplômés, c'est la disponibilité à apprendre. Ne pas savoir ce qu'on demande n'est pas un problème mais rester disposé à pouvoir apprendre quand on vous dit comment ça se fait est une bonne qualité que les jeunes doivent pouvoir développer » (propos d'entretien, janvier 2022).

L'humilité est importante et permet de s'ouvrir aux aînés et autres collègues pour apprendre. Le président du conseil d'administration de l'Union des ONG du Togo a aussi insisté sur l'humilité en ces termes:

Les jeunes ne savent pas comment accueillir les observations et remarques qu'on leur fait. Un jeune qui ne connaît pas le travail qu'on lui a confié, quand on lui fait un feedback, au lieu de rester attentif et d'exercer l'écoute active, de comprendre ce qu'on veut de lui et de pouvoir le faire, il reste sur ses gardes parce qu'ils croient savoir. Je ne sais pas, il y a un manque d'humilité flagrant qu'on voit chez eux et ça ne fait pas du bien à ces jeunes eux-mêmes et aussi aux employeurs (propos d'entretien, janvier 2022).

Un Directeur des Ressources Humaines dans une structure de la place insiste sur le fait que les jeunes manquent de curiosité et de ponctualité, valeur importante pour favoriser de bonnes relations professionnelles. Il dit:

Les jeunes manquent de curiosité. Il y a aussi un problème de ponctualité aussi. La ponctualité, tout commence par là. Vous demandez un emploi et on vous dit que la boîte démarre à sept heures et demie et vous venez au boulot à neuf heures, naturellement, les relations avec l'employeur ne seront jamais bonnes » (Propos d'entretien, janvier 2022).

C'est dans cette optique que le responsable de l'ANPE-Kara insiste sur la flexibilité des jeunes.

Il y a d'autres qui, en entreprise, comme on leur a dit que le travail va de 7h à 12h et de 14h30 à 17h30, quand il est l'heure, ils viennent dire à leur chef, il est l'heure, je veux rentrer. Or, il y a du travail, cela signifie qu'il n'est pas flexible. Beaucoup d'employeurs se basent sur ces compétences douces pour garder les stagiaires qui sont avec eux (propos d'entretien, juillet 2022).

La flexibilité selon lui c'est la capacité de s'adapter au contexte du travail et généralement d'accepter de travailler sous pression.

Un responsable d'ONG à Lomé met en exergue la curiosité et la capacité à faire des propositions:

Les jeunes que les employeurs veulent aujourd'hui c'est ceux qui en venant dans une boîte cherchent à comprendre ce que la boîte fait et observent ce qu'ils peuvent apporter, qu'est-ce que la boîte fait déjà de bien et qu'est-ce que la boîte peut faire davantage pour aller mieux. Malheureusement nos jeunes n'ont pas acquis toutes ces attitudes-là. De plus, les jeunes ne sont pas assez curieux (propos d'entretien, février 2022).

Le coordonnateur des ONG de la Kara a aussi souligné le manque de conscience professionnelle des jeunes qu'il reçoit en stage chez lui.

Sur le plan des aptitudes, psychologiques et comportementales, ils ont du mal à dissocier les réalités de leur environnement familial de celui du travail en groupe, tout est pris à la légère et on ne sent pas en eux l'envie de faire des sacrifices ni de la violence sur eux-mêmes pour être à la hauteur des tâches qui leur sont confiées » (Responsable d'ONG, mai 2022).

En somme, les savoir-être qui reviennent souvent sont la ponctualité, l'engagement, le curiosité, l'intégrité, la flexibilité, l'adaptabilité, l'humilité, la proactivité, le travail sous pression.

3.3 LES SAVOIR-FAIRE EXIGES FAVORISANT L'INSERTION PROFESSIONNELLE DES PRIMO-DEMANDEURS D'EMPLOI

Les interviewés n'ont pas beaucoup insisté sur les savoir-faire au cours des entretiens. Cela peut s'expliquer par le fait que la plupart estiment que ce sont des compétences en partie apprises dans les universités ou centres de formation et qu'elles sont souvent intrinsèquement liées aux connaissances universitaires reçues. Cependant quelques-uns ont mis en lumière certains savoir-faire transversaux notamment le sens de l'organisation, la production des rapports dans les délais, la capacité à faire des recherches qui leur permet d'innover. Les propos suivants traduisent très clairement ces savoir-faire. Le responsable de l'ANVT de la région de la Kara a effectivement insisté sur le sens de l'organisation en ces termes:

On a créé les mairies qui aujourd'hui se cherchent. Quand tu envoies un jeune comptable par exemple qui sait classer les dossiers, préparer les ordres de virements, à être réglo à temps, ça facilite les choses au niveau de la mairie. Un jeune comme ça, quand il finit sa mission, difficilement le maire le laisse partir, il lui propose un contrat (propos d'entretien, juillet 2022).

Ce propos met en exergue le sens de l'organisation qui semble important dans toutes les activités professionnelles. Ceci suppose qu'un jeune diplômé qui sait s'organiser et aide l'entreprise dans laquelle il est en stage à s'organiser impacte positivement son environnement et aura plus de chance d'être maintenu à son poste après son stage.

Un responsable d'ONG quant à lui insiste plutôt sur la proactivité d'une catégorie particulière de diplômés à savoir les sociologues et leur capacité à faire des recherches afin de trouver des solutions. Il a insisté sur le fait que c'est le profil le plus recherché dans la plupart des ONG.

Pour les sociologues qu'on envoie dans des structures jeunes (ONG), qui savent chercher sur internet, ils arrivent à proposer des plans d'action et cela aide ces structures. Dans ces cas, ils n'ont pas envie de se séparer de ces jeunes. Généralement, ils sont proactifs car ils s'approchent aussi des autres qui savent déjà et apprennent pour se mettre au service de leur employeur » (propos d'entretien, février 2022).

Certains savoir-faire sont intrinsèquement liés à des savoir-être. Dans cet entretien, l'auteur met en lumière la capacité de recherche comme un savoir-faire. Cependant, celui-ci est adossé à l'humilité qui consiste à aller vers ceux qui sont expérimentés pour apprendre. Par ailleurs, un autre responsable d'ONG revient sur la capacité de recherche et insiste sur un savoir-faire transversal qu'est la production des rapports.

Il y a des jeunes primo demandeurs d'emploi qui s'insèrent rapidement du fait de leur capacité à faire des recherches et proposer des solutions aux structures dans lesquelles ils sont en mission. Par exemple, dans les ONG, un jeune qui sait produire des rapports à temps, et dans les délais, est une chance pour les responsables d'ONG. Ces derniers n'hésitent pas à les garder (propos d'entretien, mars 2022).

La majorité des étudiants accueillis dans les structures ont une forte capacité de capitalisation de ce qu'ils apprennent. Cela est dû à leur formation qui est en phase avec les réalités du terrain. Cependant, il est constaté qu'ils sont moins organisés en termes de définition de leur objectifs personnels et du respect de leur cahier de charge. Également ils n'ont pas une grande culture de la recherche ce qui les limitent juste aux connaissances acquises à l'université (responsable RESOKA, mai 2022).

En somme, il faut retenir que le sens de l'organisation, la capacité à faire des recherches personnelles, savoir faire des propositions et la capacité à produire des rapports dans les délais sont les savoir-faire sur lesquels les enquêtés ont beaucoup insisté. De ces savoir-faire s'ajoute ceux qui sont transversaux notamment le fait de parler Anglais et de savoir manipuler les outils informatiques.

4 DISCUSSION

La question de l'emploi met en lumière la problématique du développement car c'est par le travail qu'on s'épanouit. Le chômage participe au sous-développement car les chômeurs restent à la charge de toute la société au lieu de participer à son épanouissement.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer le chômage des jeunes. La littérature nous donne une panoplie de facteurs qui sont soit micro-sociaux, macrosociaux et personnels. Dans ce sens, [10] énonce les facteurs explicatifs du processus d'insertion regroupés en quatre caractéristiques contenues dans trois types de variables. Il s'agit des variables archéologiques, des variables processuelles et des variables à temporalité structurelle. Il est quand même important d'insister sur le fait que généralement, ce sont les systèmes éducatifs qui sont les premiers à être doigtés car ce sont eux qui préparent les jeunes à l'insertion professionnelle. Certains auteurs estiment que les systèmes éducatifs médiocres contribuent à des graves lacunes dans deux ensembles clés de compétences: les compétences cognitives et les compétences socioémotionnelles et comportementale [11]. Ce sont ces dernières compétences qui font l'objet de cette recherche. C'est dans ce sens que [12] souligne:

« Le milieu scolaire, troisième facteur de la dimension sociopsychologique, exerce son influence sur le développement d'attitudes et d'aspirations, positives ou négatives, envers les études et le travail. De plus, la qualité des interactions du jeune avec le personnel enseignant peut avoir un effet du point de vue de l'adoption des valeurs et des attitudes que les enseignants ou la direction véhiculent au sujet du travail » [12], p.12.

Le fait qu'en Afrique, quelques années de scolarité ne confèrent qu'une petite augmentation des revenus s'explique par la qualité médiocre de l'éducation de base ainsi que par d'autres facteurs liés à l'ensemble de l'économie, allant au-delà du système éducatif. Le problème fondamental est qu'à cause de la qualité médiocre des systèmes d'éducation de base, de nombreux enfants africains n'acquièrent jamais les compétences qui constituent les fondations d'une vie productive (BM, 2014). La présente recherche s'étant attelée à identifier les savoir-être et savoir-faire, il est important d'insister sur le fait que le rôle du système éducatif en tant que producteur de ces diplômés et donc de leurs savoir-être et de leur savoir-faire. La recherche a permis de dégager des compétences qui relèvent de la dimension individuelle et celle collective. En effet, concernant la dimension individuelle, les savoir-être ou compétences douces ou encore socio-émotionnelles, concepts employés par la [11], ont largement été évoquées par les employeurs.

4.1 LES COMPETENCES DOUCES À DIMENSION INDIVIDUELLE

Dans le bulletin semestriel d'information de l'ANPE (juillet 2021) souligne que les savoir-être sont des compétences dites douces à la croisée entre aptitudes, qualités et traits de personnalité. Dans le contexte de cette recherche, il s'agit de: (i) la disponibilité à apprendre, donc la malléabilité, (ii) l'endurance ou la persévérance qui est la capacité à maintenir son effort jusqu'à l'achèvement complet d'une mission ou d'une tâche quels que soient les imprévus et les obstacles rencontrés; (iii) l'engagement qui est cette capacité à se mettre au service de l'objectif commun; (iv) l'accueil du feedback de l'écoute active, comprendre ce qu'on attend de lui; (v) l'humilité qui consiste à savoir reconnaître ses limites et ses forces; (vi) la prise d'initiative qui consiste à faire des propositions, à comprendre ce que l'entreprise fait et ce qu'elle peut faire davantage pour aller mieux; (vii) la curiosité qui est capacité à chercher, à découvrir; (viii) la ponctualité qui est la capacité à être à l'heure, à gérer de manière optimale le temps; (ix) l'autonomie, capacité à prendre en charge son activité sans devoir être encadré de façon continue; (x) la capacité à faire des propositions qui permet à l'individu d'initier et d'imaginer des solutions nouvelles; (xi) la gestion du stress qui consiste à garder le contrôle de soi pour agir efficacement face à des situations irritantes, imprévues et stressantes.

4.2 DU POINT DE VUE DE LA DIMENSION COLLECTIVE

On peut retenir les savoir-faire et savoir-être suivants: (i) la capacité à travailler en équipe qui consiste à mobiliser une équipe et à l'entraîner dans la poursuite d'un objectif; (ii) le sens de la communication qui est le fait de transmettre clairement des informations, d'échanger, d'écouter activement; (iii) la capacité d'adaptation qui consiste à savoir s'adapter aux habitudes, aux codes et valeurs propres à l'entreprise; (iv) la rigueur qui est l'aptitude à réaliser des tâches en suivant avec précision les procédures et instructions fournies; (v) le sens de l'organisation qui est la capacité à planifier, prioriser, anticiper des actions en tenant compte des moyens, des ressources, des objectifs et du calendrier pour les réaliser.

Il faut reconnaître que certaines compétences à dimension collectives sont aussi des compétences à dimension individuelle notamment la rigueur et le sens de l'organisation. Le caractère collectif est lié au fait que l'exercice de ces compétences dépendent en partie de l'environnement du travail.

Ainsi, les résultats obtenus à l'issue de l'analyse des données sont congruents avec ceux obtenus par [13] en Sierra Leone, dont les discussions de groupe ont révélé que les jeunes sont perçus comme manquant des « attitudes professionnelles » requises dans l'emploi formel, telles que la ponctualité et la capacité de suivre les instructions. Ces compétences douces correspondent bien à celles énoncées plus haut (A.i et viii). Par ailleurs, les résultats obtenus au Botswana, sont en phase avec les nôtres : « les employeurs disaient être à la recherche de travailleurs ayant des compétences telles que « l'honnêteté, l'engagement et la capacité de travailler dur, la fiabilité et la ponctualité, des capacités de communication, et l'esprit d'équipe » [11]. Ces compétences sont en phase avec nos résultats (A.ii, iii, viii; B.i, ii). Dans même sens, au Lesotho, les employeurs classent les compétences douces (les « caractéristiques personnelles appropriées ») parmi les plus difficiles à trouver chez des employés potentiels. Parmi les compétences douces qu'ils recherchent lors du recrutement de spécialistes ou de travailleurs qualifiés, les employeurs considèrent « la ponctualité et la fiabilité » ainsi que « l'honnêteté et la fiabilité » comme les plus importantes.

Mme Camille Roy, conseillère en emploi au service du placement de l'Université Laval (Canada), identifie sept (7) qualités à mettre de l'avant pour démontrer son savoir-être lors d'un processus de recrutement : la capacité d'adaptation, l'autonomie et l'initiative, la curiosité, l'honnêteté, le professionnalisme, l'esprit d'équipe et l'habileté à communiquer. Toutes ces compétences s'acquièrent par l'expérience, et dans le système éducatif quand celui-ci est pertinent et en phase avec le monde du travail.

Cependant, dans un système éducatif comme le nôtre, en Afrique en général et au Togo en particulier, où la plupart des connaissances enseignées sont très souvent théoriques, avec une pédagogie par objectif (PPO) qui ne favorise pas nécessairement l'acquisition des compétences, il est difficile que les élèves acquièrent certaines compétences douces. Le modèle de formation « transmissive » dans lequel l'enseignant sait et l'élève apprend, ne permet pas d'apprendre à prendre des responsabilités, à prévoir, à innover et à s'adapter. Il apparaît nécessaire d'apprendre au sein du réel à travers des situations professionnelles. Il devient nécessaire comme le conseille la Banque Mondiale de remettre en question la hiérarchisation des savoirs, car les formations disciplinaires ne suffisent plus [11]. C'est dans cette optique que [14] écrit : « le renforcement du système éducatif par la préparation des jeunes à l'auto-emploi et l'érection des stages en priorités tout au long des cycles de formation permettront aux jeunes d'avoir les compétences nécessaires pour obtenir plus facilement un emploi stable » [14] p.19.

Au-delà du système éducatif, l'éducation sociale à travers les réunions publiques participent aussi à l'acquisition de ces compétences douces. Prenant l'exemple de la ponctualité. A l'école, on punit les élèves quand ils viennent en retard, cela pour leur inculquer une valeur qu'est la ponctualité. Par contre, en dehors du système éducatif, les réunions publiques enseignent pratiquement le contraire car rarement elles commencent à l'heure. On est même arrivé à l'expression c'est « l'heure africaine », expression qui traduit le fait qu'on ne respecte jamais l'heure fixée pour le début de toutes les activités à caractère public et communautaire. Il y a donc un hiatus entre les valeurs enseignées à l'école et celles transmises par les autres instances de socialisation. Cette incohérence est dommageable pour l'acquisition des compétences douces pour la vie professionnelle. Ceci dit, l'intégration des valeurs doit être pensée et planifiée depuis le bas âge car l'enfance est la période de la vie où on intègre mieux les valeurs sociales. Dans ce sens [15] soutiennent que les retards dans le développement de la petite enfance peuvent affecter les personnes durant toute leur vie, notamment en limitant la préparation à la scolarité et en ralentissant l'accumulation des compétences à l'école. Car les compétences socioémotionnelles se développent au cours de la petite et moyenne enfance. Les compétences sociales sont consolidées par l'augmentation des interactions et la socialisation à l'école et dans les communautés [16]. En effet, « à l'adolescence, les jeunes affinent leurs compétences sociales, deviennent de plus en plus autonomes, et se forment une identité. Les compétences cognitives sont largement acquises avant l'âge de 15 ans, alors que de nombreuses compétences comportementales ne le sont qu'entre 15 et 30 ans [15] cité par [15], p. 93-94. Cette période de la vie correspond à la période au cours de laquelle l'individu vit davantage dans les groupes organisés (associations, groupement de jeunes, etc.) et continue sa formation dans le système éducatif qui s'est de plus en plus généralisé en Afrique.

L'insertion professionnelle est liée certes aux compétences relatives au système éducatif mais « aujourd'hui, les recruteurs ne se basent plus seulement sur votre parcours universitaire qui se résume au hard skills davantage tournées vers les compétences techniques. En cela les compétences comportementales ou personnelles prennent de plus en plus d'importance » [17], p.20. C'est dans les mêmes termes que [18] renchérit « les entreprises exigent en effet davantage de maîtrise de savoirs d'action, et mettent en avant l'importance des aptitudes comportementales. Les besoins exprimés par les employeurs portent désormais moins sur les *savoirs* que sur les comportements, donc moins sur les contenus que sur les conditions d'accès à l'instruction. L'enjeu est celui de la flexibilité » [18], p. 48.

En outre, la psychologie étudie depuis longtemps les domaines du comportement humain. Dans la pratique, les compétences socioémotionnelles et comportementales sont utilisées pour désigner un large ensemble de « compétences douces » ou « compétences de vie », qui en est arrivé à englober un mélange de compétences ainsi que de caractéristiques individuelles moins bien définies telles que les compétences sociales, la maîtrise de soi, la capacité à se fixer des objectifs, l'initiative personnelle, l'orientation vers la réussite, la proactivité, le sens de l'organisation, la pratique délibérée ou la confiance en soi. Elles sont quelquefois liées à des traits de personnalité tels que les « *big five* » : l'extraversion, la stabilité émotionnelle, l'agréabilité, la

conscienciosité et l'ouverture à l'expérience. Ces traits peuvent continuer à évoluer à l'âge adulte selon [19]. Ainsi, des compétences socioémotionnelles et comportementales comme la maîtrise de soi ont été associées au niveau d'instruction, et il a été démontré que des qualités telles que la confiance en soi, les compétences sociales ou la stabilité émotionnelle affectent les résultats en matière d'emploi [20]. De plus, les compétences comportementales telles que la persévérance ou l'initiative personnelle sont positivement corrélées avec la réussite scolaire. Il est possible que des personnes intrinsèquement plus consciencieuses poursuivent de plus longues études et affichent de meilleures performances dans leur travail [21]. Par conséquent, il y a lieu de dire qu'il existe une relation entre les compétences acquises à l'école et la possibilité de développer des aptitudes personnelles sur le lieu de travail.

En somme, les savoir-être sont déterminants pour l'insertion des diplômés de l'enseignement supérieur. La ponctualité, l'engagement, la curiosité et la capacité de travailler sous pression sont autant de savoir-être qui émanent de la formation universitaire et parfois préuniversitaire. En effet, la ponctualité est de mise dans tout le système éducatif, l'engagement, la curiosité et la capacité de travailler sous pression proviennent de l'environnement universitaire de par l'organisation des savoirs enseignés notamment la recherche. Le soubassement de la recherche c'est la curiosité, la capacité à découvrir l'inconnu. Or, dans le système éducatif en général et à l'université en particulier, la recherche-action est faiblement valorisée au profit de la recherche fondamentale. Il est bien normal que les employeurs ne soient pas satisfaits par les prestations des diplômés de l'enseignement supérieur dans ce domaine.

Par contre, l'humilité, l'adaptabilité, la flexibilité, l'intégrité et la proactivité semblent être des compétences extra universitaires acquises de par l'engagement social et associatif. Or, [22] faisait remarquer que les étudiants de l'UK s'engageaient peu du point de vue politique et social. C'est dire que pour qu'un diplômé de l'enseignement supérieur puisse s'insérer aisément, ce n'est pas uniquement les savoirs universitaires ou du moins les compétences émotionnelles acquises par le biais de la formation universitaire qui comptent, mais également l'ouverture et l'engagement dans la vie sociale au cours de sa formation d'où l'importance d'adhérer à des mouvements et associations estudiantins et extra estudiantins.

En ce qui concerne les savoir-faire, il ressort que l'organisation personnelle, l'aptitude à la recherche et la capacité à produire des rapports dans les délais sont déterminants pour réussir son insertion professionnelle. Ces savoir-faire sont aussi liés aux performances scolaires et universitaires car les étudiants qui sont très bien organisés ont plus de chance d'obtenir leur licence en trois ans à l'université de Kara contrairement à ceux qui ont une faible capacité d'organisation [23]. Il est probable qu'un étudiant qui s'est bien organisé pour réussir gardera cette compétence dans le processus de recherche d'emploi. Par ailleurs, l'aptitude à mener des recherches relève des compétences enseignées à l'université et un étudiant qui a réussi à intégrer cette compétence aura plus de chance de s'insérer car celle-ci va de pair avec la production des rapports dans les délais. En définitive, l'insertion des diplômés de l'enseignement supérieur est corrélée aux savoir-faire enseignés ou acquis au cours de la formation universitaire. Ceci dit, l'université ne devrait pas nécessairement produire des compétences exigées par les employeurs car il y a des fondamentaux qui aident les étudiants à s'insérer plus tard et plus aisément. Un des fondamentaux est la capacité à mener une recherche à terme. Comme le souligne [24]:

Il est évident qu'un enseignement qui se limiterait à transmettre les connaissances réclamées par le marché de l'emploi ou une recherche qui se limiterait à développer les technologies utiles aux entreprises serait sans rapport avec le savoir critique et avec l'institution universitaire. Car, la production et la diffusion d'un savoir critique définissent l'université citée par [18], p. 57.

C'est dire que l'université en se professionnalisant devrait garder sa nature propre, celle de produire des savoirs critiques qui confèrent aux étudiants un savoir-faire important pour leur futures fonctions sociales. Toutefois, l'une des difficultés principales des recherches sur les transitions entre le système éducatif et la vie active est de définir des critères de fin de transition ou d'insertion réussie. Sur quelle base peut-on affirmer que les jeunes issus de telle filière sont mieux insérés que d'autres ? Ceci dit, l'une des limites de la présente étude réside dans le fait que l'analyse est très généraliste et ne tient pas compte des spécificités liées aux filières universitaires. Cependant, pour une première recherche dans le cadre des diplômés de l'enseignement supérieur, nous considérons que c'est une exploration.

5 CONCLUSION

Le chômage est devenu une gangrène pour le développement de la plupart des pays d'Afrique. Malgré le nombre de plus en plus croissant des jeunes dans ces pays et qui sont par ailleurs de plus en plus instruits, leurs insertions professionnelles sont faibles. Des politiques publiques initiées par les gouvernants essaient tant bien que mal de résorber le chômage des jeunes mais en vain. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette faible insertion professionnelle des jeunes notamment l'inadéquation entre la

formation reçue et la demande du marché de l'emploi, le manque d'initiatives personnelles des jeunes, le manque d'entreprises pouvant absorber les diplômés de certains secteurs d'activités, etc.

La présente recherche avait pour objectif d'analyser les savoir-être et les savoir-faire que les employeurs exigent des jeunes diplômés de l'enseignement supérieur dans leur processus d'insertion professionnelle. En effet, les savoirs et certains savoir-faire sont enseignés à l'université. Par contre, les savoir-être ne sont pas exclusivement et intrinsèquement acquis à l'école, ils sont cultivés également dans d'autres instances de socialisation (associations et mouvements de jeunes, partis politiques, etc.) de sorte que la plupart des diplômés en manquent, ce qui ne favorise pas leur insertion professionnelle. La recherche a permis d'identifier plusieurs savoir-être demandés par les employeurs. Il s'agit entre autres de la ponctualité, de l'engagement, de la curiosité, de l'intégrité, de la flexibilité, de l'adaptabilité, de l'humilité, de la proactivité, du travail sous pression. Pour les savoir-faire, il s'agit du sens de l'organisation, de la capacité à faire des recherches personnelles et de la capacité à produire des rapports dans les délais. L'analyse a permis de se rendre compte que plusieurs de ces savoir-être et savoir-faire sont aussi l'émanation des compétences reçues dans l'enseignement supérieur particulièrement mais aussi dans le système éducatif en général, parfois pas de manière explicite. Il faut noter que d'autres savoir-être et savoir-faire sont issus de la socialisation primaire (famille, groupe de pairs, etc.).

Le mérite de la présente recherche réside dans le fait qu'elle a permis de répertorier les savoir-être et savoir-faire utiles à l'insertion professionnelle des diplômés de l'enseignement supérieur. Etant donné que la présente recherche avait une visée exploratoire, les savoir-faire et savoir-être sont donc généraux. Les recherches futures permettront de spécifier les savoir-faire selon les différentes filières de l'enseignement supérieur car les savoir-être sont généralement transversales et utilisables dans tous les domaines. Il sera utile également d'analyser le processus d'insertion professionnelle des diplômés de l'enseignement supérieur privé dont le taux de chômage devient inquiétant et surtout ceux de l'enseignement technique.

REFERENCES

- [1] Mainguet Christine, 1999, *La transition du système éducatif vers la vie active*, Rapport de l'étude menée pour le CEDEFOP, Belgique.
- [2] CENTRE DE DEVELOPPEMENT DE L'OCDE, 2017, « Examen du bien-être et des politiques de la jeunesse au Togo », Projet OCDE-UE Inclusion des jeunes, Paris.
- [3] CONFEMEN, 1999, L'Insertion des jeunes dans la vie active par la formation professionnelle et technique, Document de réflexion et d'orientation, Dakar.
- [4] IPE, 2005, l'insertion professionnelle des jeunes- un défi permanent, Vol. XXIII, n° 2, avril – juin 2005.
- [5] Gazier Bernard, 1992, *Economie du travail et de l'emploi*, Paris, Dalloz.
- [6] Becker Gary S., 1964, *Human Capital: A theoretical and empirical analysis, with special references to education*, Chicago, the university of Chicago press.
- [7] Bernadette Hée, 1997, « Les diplômés de l'enseignement technologique et professionnel », *Note d'information*, 97 (40), septembre.
- [8] Camara Ibrahima et Zanou Benjamin., 2011, Capital humain et insertion des jeunes sur le marché du travail: Cas de la commune d'Aboisso: (Côte d'Ivoire), ENSEA, Abidjan.
- [9] Mansuy Michele et al., 2001, Transitions entre le système éducatif et la vie active: chiffres clés sur la formation professionnelle dans l'Union européenne. Luxembourg: Office des publications officielles des Communautés européennes.
- [10] Henri Eickert et Saïd Hanchane, *Temporalité de l'insertion professionnelle - Une approche longitudinale*, Formation Emploi No 60, décembre 1997, CEREQ, France.
- [11] BM, AFD, 2014, L'emploi des jeunes en Afrique subsaharienne, Washington DC 20433.
- [12] Vultur Mircea., 2003, L'insertion sociale et professionnelle des jeunes « désengagés » Analyse du programme d'intervention de La Réplique, INRS, Observatoire Jeunes et Société, Québec, Canada.
- [13] Peeters R. et al, 2009, « The Representation of Tool Use in Humans and Monkeys: Common and Uniquely Human Features », *Journal of Neuroscience*, September 2009, 29 (37) 11523-11539; DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2040-09.2009>.
- [14] Behanzin Précieux, Agbandji Lucien et Dossou Georges, 2021, « Analyse des déterminants de l'insertion professionnelle des jeunes au Bénin » *Moroccan Journal of Entrepreneurship, Innovation and Management (MJEIM)* ISSN: 2509-0429 Volume 4, numéro 2.
- [15] Shonkoff Jack. P., & Phillips Deborah. A. (Eds.), 2000, *From neurons to neighborhoods: The science of early childhood development*, National Academy Press.
- [16] Lundberg Mathias., and Wuermli Alice. 2012. « Children and Youth In Crisis: Protecting and Promoting Human Development in Times of Economic Shocks. » World Bank, Washington, DC.
- [17] ANPE, 2021, *Emploi Mag', les métiers de l'industrie*, Bulletin semestriel d'information de l'ANPE-Togo, n°014, juil.-Déc.2021.

- [18] Perennes Laurence, 2014, « Universités et insertion professionnelle des étudiants: jusqu'où l'université peut-elle et doit-elle s'engager ? »
<https://www.researchgate.net/publication/256463449>.
- [19] Roberts Brent W. et Mroczek Daniel., 2008, « Modification des traits de personnalité à l'âge adulte » *Directions actuelles en sciences psychologiques*, 17 (1), 31-35.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00543.x>.
- [20] Heckman James Jacques, Stixrud Jora, Urzua Sergio, 2006, « Les effets des capacités cognitives et non cognitives sur les résultats sur le marché du travail et le comportement social », *Journal de l'économie du travail* 24 (3); pp 411-482. DOI: 10.1086/504455.
- [21] Almlund Mathilde, Lee Duckworth Angela, Heckman James J., and Kautz Tim D., 2011, « Personality Psychology and Economics ». *Handbook of the Economics of Education*, Volume 4 (pp. 1-181). Amsterdam: Elsevier.
<https://doi.org/10.3386/w16822>.
- [22] Tamégnon YAOU, Décembre 2021, « De la faible socialisation à la faible participation politique des étudiants de l'université de Kara », *LAKISA* N°2, pp. 45-55.
- [23] Tamégnon YAOU et Bakayidama KOUMINGOU, 2022, « Gestion du temps et réussite universitaire chez les étudiants de la faculté des lettres et sciences humaines (FLESH) et de la faculté des sciences et techniques (FAST) de l'université de Kara (Togo) », *MOSAÏQUE*, pp. 207-225.
- [24] Ségal André, 1997, « L'université ou le savoir comme enjeu social », *Culture, institution et savoir. Culture française d'Amérique*, Québec: Les Presses de l'Université Laval, pp. 25-43.

Revue des principaux résultats des travaux de recherche sur la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith en Afrique

[Review of research main results on the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith in Africa]

Souleymane Laminou^{1,2}, Ousmane Zakari Moussa³, Laouali Amadou², and Ibrahim Baoua¹

¹Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

²Institut National de la Recherche Agronomique, Laboratoire d'Entomologie II de Maradi, Niger

³Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté d'Agronomie, Niger

Copyright © 2022 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 fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), was first reported in sub-Saharan Africa in January 2016 in Nigeria, Sao Tome, Benin and Togo. Shortly after its introduction, its presence was confirmed in more than thirty countries on the African continent. This rapid spread associated with its polyphagy and voracity confirms its status as a major pest that feeds on the leaves and stems of over eighty (80) plant species. This situation constitutes a serious threat to African agriculture and more precisely to the food and nutritional security of the populations of the affected countries. The major hosts of *Spodoptera frugiperda* are maize (*Zea mays*), sugarcane (*Saccharum officinarum*), and sorghum (*Sorghum bicolor*) and rice (*Oriza sativa*). Studies reveal that damage by this moth is most severe on maize where all parts of the plant are attacked causing yield losses ranging from 15 to 73% when 55 to 100% of the plants were attacked. This review provides an update on research on *Spodoptera frugiperda* in Africa with particular emphasis on its bioecology, host plants, economic importance and different methods of infestation management. Significant research work has been carried out in Africa since the detection and expansion of CLA in Africa. The analysis of the results of this work attests to a better knowledge of this lepidopteran, which has allowed the design of several management strategies for CLA. Among these strategies, agroecological management, the push-pull approach, the use of pheromone traps and resistant varieties, chemical control with Dimethoate and Deltamethrin and biological control with parasitoids, in particular *Telenomus* sp, *Trichogramma* sp for ovoparasitoids and *Cotesia* icipe for larval parasitoids, have been widely tested.

KEYWORDS: Fall armyworm, biology, incidence, control, parasitoid.

RESUME: La chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), a été signalée pour la première fois en Afrique subsaharienne en janvier 2016 au Nigeria, à Sao Tomé, au Bénin et au Togo. Peu de temps après son introduction, sa présence a été confirmée dans plus de trente pays du continent africain. Cette propagation rapide associée à sa polyphagie et sa voracité confirme son statut de ravageur majeur qui se nourrit des feuilles et tiges de plus de quatre-vingt (80) espèces végétales. Cette situation constitue une menace sérieuse pour l'agriculture africaine plus précisément la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations des pays affectés. Les plantes hôtes majeurs de *Spodoptera frugiperda* sont le maïs (*Zea mays*), la canne à sucre (*Saccharum officinarum*), le sorgho (*Sorghum bicolor*) et le riz (*Oriza sativa*). Des études révèlent que les dégâts de cette noctuelle sont plus sévères sur le maïs où toutes les parties de la plante sont attaquées provoquant ainsi des pertes de rendement allant de 15 à 73% lorsque 55 à 100% des plants étaient attaqués. La présente synthèse fait le point sur les travaux de recherche effectués sur *Spodoptera frugiperda* en Afrique avec un accent particulier sur sa bio-écologie, ses plantes hôtes, son importance économique et les différentes méthodes de gestion des infestations. D'importants travaux de recherche ont

été réalisés en Afrique depuis la détection et l'expansion de la CLA sur le continent. L'analyse des résultats de ces travaux attestent une meilleure connaissance de ce lépidoptère, ce qui du reste a permis la conception et le développement de plusieurs stratégies de gestion de la CLA. Parmi ces stratégies la gestion agro écologique, l'approche push-pull, l'utilisation des pièges à phéromone et des variétés résistantes, la lutte chimique avec le Diméthoate et la Deltaméthrine et la lutte biologique avec des parasitoïdes en particulier *Telenomus* sp, *Trichogramma* sp pour les ovo parasitoïdes et *Cotesia icipe* pour les parasitoïdes larvaires ont été largement testés.

MOTS-CLEFS: Chenille légionnaire d'Automne, biologie, incidence, lutte, parasitoïde.

1 INTRODUCTION

L'un des grands défis des pays subsahariens est le développement du secteur agricole afin d'assurer la sécurité alimentaire et réduire la pauvreté. L'agriculture, dans le tiers monde et surtout en Afrique subsaharienne, reste traditionnelle et est caractérisée par une faible productivité. Ceci constitue la principale cause de pauvreté dans ces pays où les problèmes de déficits alimentaires et nutritionnels se posent avec acuité [1]. Parmi les plantes cultivées, les céréales sont une importante source d'énergie dans l'alimentation mondiale notamment, le maïs (*Zea mays*), le riz, le blé, le sorgho et le millet [2]. Malheureusement, au cours des dernières années, la production des céréales est entrain de diminuer [2]. Plusieurs facteurs sont à la base de cette situation. Il s'agit, notamment, de la modification des conditions agro écologiques, en particulier le climat (température, humidité, etc.) qui favorisent l'émergence des bioagresseurs telle que *Spodoptera frugiperda* [2], [3]. Dans la grande partie de l'Afrique, les conditions climatiques sont très favorables à l'émergence du bio agresseur (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) [4].

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), ou la chenille légionnaire d'automne, est un insecte vorace et très polyphage [5], [6] qui forme de grandes populations et à un niveau de propagation très élevé. C'est un bio agresseur extrêmement dangereux; l'un des plus destructeurs du continent américain [6]. Il se nourrit sur plus de 80 espèces végétales appartenant à 27 familles, parmi ceux, des cultures vivrières notamment le maïs, le riz, le sorgho, le mil; des cultures de rente comme le coton, l'arachide, la canne à sucre, l'oignon, entre autres [7], [8], [9]. En raison de sa capacité à se propager rapidement et à infliger des dégâts étendus à plusieurs cultures, la chenille légionnaire d'automne menace gravement la sécurité alimentaire et nutritionnelle et les moyens de subsistance de millions de ménages agricoles en Afrique subsaharienne [10], [11], [8], [12]. Au Sénégal, en dehors de toute méthode de lutte, le bio agresseur peut entraîner des pertes de rendement en maïs de 8,3 à 20,6 millions de tonnes par an et ses pertes sont estimées entre 2,5 et 6,2 milliards de dollars US [13]. A l'échelle du continent, les pertes de récoltes causées par la CLA chaque année s'élèvent à environ 16 milliards de dollars [14]. Face à ces nombreux dégâts, les producteurs ne font recours dans leur quasi-totalité à l'usage des pesticides chimiques [12], [92].

Une utilisation responsable des pesticides suppose, la réduction et la gestion des risques liés aux différentes sources de contamination [15].

Il s'agit à travers cet article de synthèse de comprendre le statut de la CLA en Afrique. Pour se faire, il convient de:

- 1) Connaître le niveau de dispersion de la CLA en Afrique, étant donné que le bio agresseur a une forte capacité de propagation;
- 2) Comprendre le cycle biologique du bio agresseur en fonction des réalités climatiques qui diffèrent souvent d'un pays à l'autre dans le même continent;
- 3) Discuter les différentes méthodes de lutttes, leurs avantages et les inconvénients afin de ressortir dans la gamme, de méthodes de lutttes plus efficaces

2 ORIGINE ET DISPERSION GEOGRAPHIQUE DE LA CLA EN AFRIQUE

La Chenille Légionnaire d'Automne (CLA) tire ses origines de la zone tropicale de l'Amérique, notamment l'Amérique du Nord et subtropicale comme le Canada (des provinces de l'est au Manitoba), Etats-Unis, Mexique [16], [17]. Elle ne devient abondante dans ces états qu'à l'automne, d'où son nom de légionnaire d'automne. De son aire d'origine, la CLA s'est répandue dans le monde entier [18].

Elle a été signalée pour la première fois en Afrique en 2016, dans les pays comme le Nigéria, la Sao Tomé, le Bénin, le Togo. [19], [20], [21], [22], [23], [24]. Dans la même année, le bio agresseur a été confirmé au Ghana [25] et au Zimbabwe [15] et des

signalisations ont été enregistrées au Malawi, au Mozambique, en Namibie, en Afrique du Sud et en Zambie [26] en 2016. A la même date, elle a été signalée au Burundi, en Côté d'Ivoire [27] en Ethiopie, au Burkina Faso, au Mali, mais aussi dans le département de Torodi et la région de Dosso au Niger [24].

Au 30 janvier 2018, la CLA a été détectée et signalée dans beaucoup des pays de l'Afrique subsaharienne [16] sauf Djibouti et le Lesotho.

En septembre 2018, toute l'Afrique subsaharienne était plus ou moins envahi (c'est-à-dire que 44 pays ont confirmé la présence de la chenille légionnaire d'automne). Guinée équatoriale et Gabon suspectent sa présence, mais sans confirmation officielle, tandis que le Lesotho, l'Érythrée et Djibouti ont indiqué l'absence de la CLA [11], [28].

3 MOYENS DE DEPLACEMENT ET DE DISPERSION

La CLA est une espèce à forte capacité de migration de façon régulière dans les Amériques. Tous les étés, le bio agresseur se disperse à travers les Etats-Unis et vole jusqu'au sud du Canada. La migration est une stratégie de survie de cette espèce. [23] relève que le papillon peut parcourir plus de 200km de distance en une nuit. Des imagos ont été signalés aux Etats-Unis, ayant utilisé un courant aérien de basse altitude qui les transporta du Sud des Etats-Unis d'Amérique au Canada en 30 h [17]. Les chenilles de *Spodoptera frugiperda* se comportent souvent comme des légionnaires ou la dispersion locale s'effectue avec succès au début de l'automne, ce qui permet de réduire la mortalité larvaire [17].

A l'instar des autres papillons du genre *Spodoptera*, la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*) ont aussi des comportements migratoires et de dispersion beaucoup plus localisée [8]. Les papillons peuvent migrer sur plus de 500 km (300 miles) avant la ponte et lorsque la direction du vent est favorable, les papillons peuvent se déplacer sur de plus grandes distances pouvant aller jusqu'à 1600 km de vol en une nuit [29], [8].

Les larves se dispersent en général par les biais des frets aériens dans les continents et les pays, sur des légumes ou fruits en provenance du continent américain et parfois sur des plantes herbacées utiles [30]. [31] a expliqué aussi que la dispersion de la CLA peut s'effectuer d'un épi contaminé à l'autre pour envahir toute une superficie et aussi à sa grande capacité de migration [17].

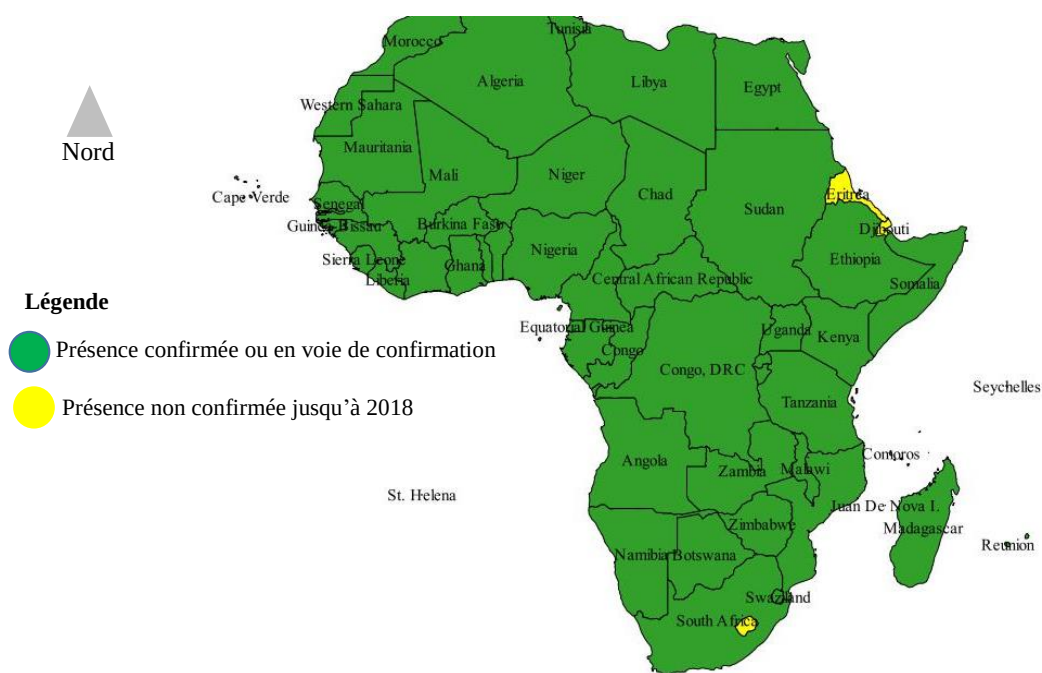


Fig. 1. Dispersion de la CLA en Afrique

4 DIFFÉRENTE ESPÈCE DE SPODOPTERA

La littérature consultée a fourni trente-cinq (35) différentes espèces appartenant toutes au genre *Spodoptera*. Ces espèces sont les suivantes:

- | | | |
|--|---|---|
| (1) <i>Spodoptera albula</i> (Walker, 1857) | (15) <i>Spodoptera hennia</i> (Swinhoe, 1901) | (26) <i>Spodoptera pecten</i> (Guenée, 1852) |
| (2) <i>Spodoptera androgea</i> (Stoll in Cramer, 1782) | (16) <i>Spodoptera hipparis</i> (Druce, 1887) | (27) <i>Spodoptera pectinicornis</i> (Hampson, 1895) |
| (3) <i>Spodoptera apertura</i> (Walker, 1865) | (17) <i>Spodoptera latifascia</i> (Walker, 1856) | (28) <i>Spodoptera picta</i> (Guérin-Méneville, 1838) |
| (4) <i>Spodoptera cilium</i> (Guenée, 1852) | (18) <i>Spodoptera littoralis</i> (Boisduval, 1833) | (29) <i>Spodoptera praefica</i> (Grote, 1875) |
| (5) <i>Spodoptera compta</i> (Walker, 1869) | (19) <i>Spodoptera litura</i> (Fabricius, 1775) | (30) <i>Spodoptera pulchella</i> (Herrich-Schaffer, 1868) |
| (6) <i>Spodoptera cosmioidea</i> (Walker, 1858) | (20) <i>Spodoptera malagasy</i> (Viette, 1967) | (31) <i>Spodoptera roseae</i> (Schaus, 1923) |
| (7) <i>Spodoptera depravata</i> (Butler, 1879) | (21) <i>Spodoptera marima</i> (Schaus, 1904) | (32) <i>Spodoptera teferii</i> (Laporte, 1984) |
| (8) <i>Spodoptera descoinsi</i> (Lalanne-Cassou & Silvain, 1994) | (22) <i>Spodoptera mauritia</i> (Boisduval, 1833) | (33) <i>Spodoptera trajiciens</i> (Walker, 1865) |
| (9) <i>Spodoptera dolichos</i> (Fabricius, 1794) | (23) <i>Spodoptera obstans</i> (Walker, 1865) | (34) <i>Spodoptera trituratora</i> (Walker, 1857) |
| (10) <i>Spodoptera eridania</i> (Stoll, 1782) | (24) <i>Spodoptera ochrea</i> (Hampson, 1909) | (35) <i>Spodoptera umbraculata</i> (Walker, 1858) |
| (11) <i>Spodoptera evanida</i> (Schaus, 1914) | (25) <i>Spodoptera ornithogalli</i> (Guenée, 1852) | |
| (12) <i>Spodoptera exempta</i> (Fabricius, 1775) | | |
| (13) <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner, 1808) | | |
| (14) <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) | | |

Source : [32]

Parmi ces espèces, trois (3) sont couramment appelés des légionnaires [32] dont le tableau 1 ci-dessous donne quelques caractéristiques propres qui permettront de les différencier facilement.

Tableau 1. Quelques caractéristiques biologiques des chenilles légionnaires

Espèce	Nom commun	Origine	Distribution	Caractéristiques des œufs	Caractéristiques de la chenille	Photo imago male	Imago <i>S. frugiperda</i>
<i>Spodoptera exempta</i>	Chenille légionnaire africaine	Afrique	Afrique au sud du Sahara, Madagascar, Asie du sud [33]	Légèrement plus petits (0,5 mm), blanchâtres à la ponte et deviennent noirâtres à l'approche de l'éclosion [33]	La chenille est munie de poils sur sa face dorsale, de couleur verdâtre et deviennent noirs bleuâtre avec des fines lignes longitudinale jaunâtre sur le latérale [33]. La chenille a 5 stades larvaires [35].	 Male Source [33]  Femelle	 Femelle [36]
<i>Spodoptera exigua</i>	La légionnaire de la betterave	Asie du Sud-Est [37]	Sud moitié des États-Unis jusqu'au nord [37]	L'œuf est légèrement pointu, effilé vers un point de couleur verdâtre à blanche. [37]	Absence des points noirs sur le dos comme chez la légionnaire [33]. 5 Stades larvaires [37]. Les larves sont de couleur vert pâle ou jaune pendant le premier et deuxième stade, mais acquièrent des rayures pâles pendant le troisième stade [37].	 Male  Femelle Source: [38]	 Male [33]

5 CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE *S. FRUGIPERDA* (J. E. SMITH)

5.1 ŒUF

Les œufs sont grisâtres, petits et subsphérique, ils sont pondus la nuit à la surface des feuilles en amas de 100-300 œufs [17], [39] et selon [16] et [33] la capacité de ponte varie de 150 à 300 œufs; de 5 à 10 mm de diamètre [39] parfois en deux couches.

En France, [17] ont eu 0,75 mm de diamètre pour les œufs et ses résultats sont confirmés par [41] et [33] à Burundi. Les femelles peuvent pondre jusqu'à 1000 œufs chacune [39]. Le maximum de la ponte de la CLA s'effectue dans la première semaine dans les 4 à 5 premiers jours [17]. Ces masses d'œufs, très souvent recouvertes de poils et d'écailles, peuvent être pondues par la femelle sur toutes les parties du plant de maïs [17]. La durée entre la ponte et l'éclosion varie de 2 à 10 selon la température [39]. La [16] estime qu'une femelle noctuelle peut pondre 6 à 10 masses d'œufs de 100 à 300 œufs chacune, ce qui donne un maximum de 1 500 à 2 000 au cours de sa vie de 2-3 semaines et les mêmes résultats sont confirmés en 2019 par [33].

Ces résultats montrent que la taille des œufs, la forme des œufs, la couleur des œufs la capacité de ponte des femelles et leur durée de vie pour la ponte varie fortement en fonction des conditions climatiques d'un pays à l'autre.

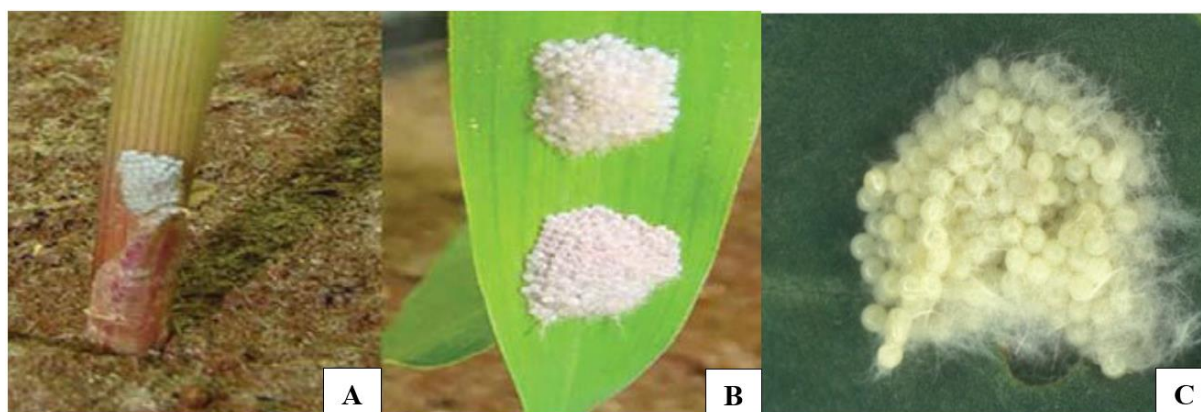


Fig. 2. A: Amas d'œufs sur la tige, B: deux (2) amas d'œufs la feuille, C: Amas d'œuf recouvert des cailles [8]

5.2 LES CHENILLES

Les jeunes chenilles mesurent de 1,7 à 3,5 mm et se caractérisent par une tête noire et le corps jaune-vert avec des tubercules (saillies) noirs [17]. Les larves matures mesurent jusqu'à 30 mm [39]. La longueur de la larve développée peut aller selon [42] de 35-40 mm. La grande larve ou chenille, dispose d'une marque jaune en Y inversé sur la tête, à travers laquelle, elle est facilement identifiable, des pinacles dorsaux noirs portant de longues soies primaires (deux de chaque côté de chaque segment) et quatre taches noires disposées en carré sur le dernier segment abdominal [46], [43]. Il y a généralement six stades larvaires, cinq à l'occasion [49]. L'étude menée par [44] sur la largeur de la capsule céphalique des stades larvaires ont montré six pics de fréquence, représentant six stades larvaires.

La durée moyenne de développement de la phase larvaire est de 14 jours au Sénégal [13] alors qu'elle est de 21 jours à 25 °C et de 11 jours à 25 °C pour les larves nourries au maïs [45]. La durée de la phase larvaire dépend des conditions et de la plante hôte. Le stade larvaire est le stade le plus redouté du ravageur *S. frugiperda* [13], [93].



Fig. 3. chenilles (larves) de la CLA avec des marques distinctives encerclées en rouge. Source [8]

5.3 LES CHRYSALIDES

La chenille s'enfouit ensuite de 2 à 8 cm dans le sol avant la pupaison. La chrysalide (photo 4), de forme ovale allongée, lisse et brune est de 20 à 30 mm en longueur. Si le sol est compacté, la chenille se couvre de débris de feuilles avant la pupaison [16] et [47]. Cependant si les conditions sont favorables, la chenille peut devenir chrysalide dans la corné du maïs (photo 3) ou dans l'aisselle des feuilles (photo 5). En effet, la photo3 a été prise à Doungou (Région de Zinder au Niger) lors de la collecte des données et la photo 5 à Djirataoua (Région de Maradi au Niger).



Fig. 4. chrysalide dans la corne du maïs



Fig. 5. Chrysalide. Source [8]



Fig. 6. *Chrysalide dans l'aisselle du maïs*

5.4 LES ADULTES

Les adultes sont des papillons au corps brun, de 30 à 38 mm d'envergure [46], [49]. Les ailes antérieures sont plus sombres chez le mâle avec des marques sombres et des bandes pâles et grises à gris-brun chez la femelle, les ailes postérieures sont blanches [49]. Il est à noter que l'activité d'accouplement a lieu entre 18h00 et 4h00, tandis que l'activité de ponte a lieu entre 18h00 et 22h00. La plupart des éclosions ont lieu entre 00h00 et 02h00 [46].

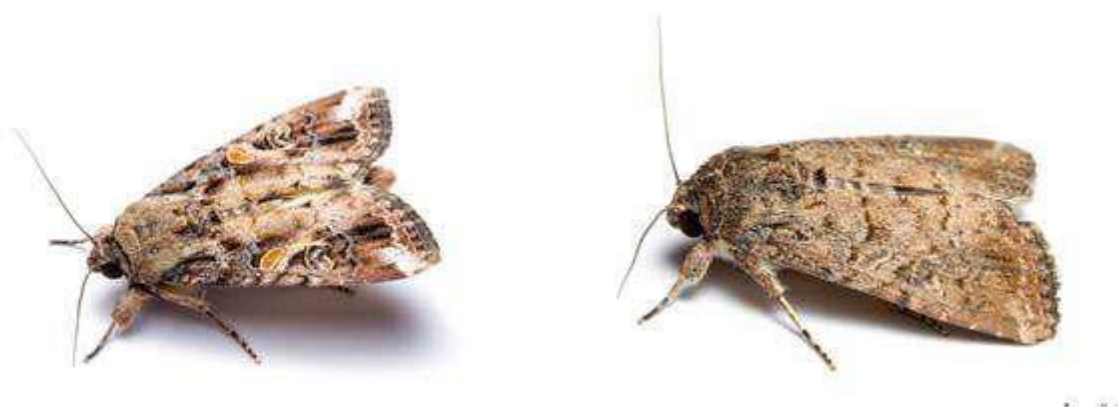


Fig. 7. *Male de Spodoptera frugiperda au repos à gauche et femelle à droite. Source [22]*

6 INCIDENCE DE LA CLA

6.1 SYMPTÔMES

La chenille de la CLA attaque pratiquement toutes les différentes parties du maïs. Elles provoquent sur les feuilles des masses de trous consommant parfois la quasi-totalité de la feuille [47]. Les jeunes chenilles, dévorent et rendent les limbes foliaires 'squelettiques'. Les jeunes plantes de moins de 30 jours, plus appréciées, peuvent être coupées à la base par les grandes chenilles dont les dégâts ressemblent à celui des vers gris (*Agrotis spp.*) [17].

Les épis des plantes plus âgées peuvent être attaqués par les chenilles de la CLA, qui creusent entre les grains. Si les densités sont élevées, les grandes chenilles se comportent aussi comme légionnaires et se dispersent en essaims, mais elles ont une certaine affinité aux graminées herbacées [17].

6.2 PLANTES-HÔTES

Ravageur très polyphage, attaquant plus de 80 espèces, *Spodoptera frugiperda* présente une nette affinité pour les jeunes plans des céréales, notamment le riz et le maïs [5], [6], [21], [16], [17], [48], [8]. Selon [48], il est considéré comme un super organisme nuisible en raison de sa gamme d'hôtes (au moins 353 plantes hôtes), de sa capacité inhérente à survivre dans un large éventail d'habitats, sa forte capacité de migration, sa fécondité élevée, le développement rapide de la résistance aux insecticides/virus et ses caractéristiques gloutonnes.

La chenille légionnaire est constamment signalée sur les graminées, mais aussi sur plusieurs spéculations maraîchères. En général, les larves sont étroitement liées à la plante-hôte sur laquelle elles se sont alimentées en premier, ou très souvent la plante sur laquelle les œufs ont été pondus [16].

6.3 IMPACT ÉCONOMIQUE

En août 2016, la presse Béninoise avance le chiffre de 30.000 à 40.000 ha de maïs détruits dans les régions du Nord Bénin. La chenille a également fait d'importants dégâts au Nigeria et au Togo [23]. Ses dégâts sont évalués à 400 millions de dollars par an au Brésil où elle est considérée comme le principal ravageur de cette culture [23]. Aux Etats unis, les infestations de la CLA peuvent induire des pertes en rendements allant de 5,4 à 73% durant le stade de développement du maïs lorsque 55 à 100% des plants étaient infestés par *S. frugiperda* [49].

Les infestations de la CLA provoquent des pertes en rendement entre 22 % et 67 % respectivement au Ghana et en Zambie, entraînant des pertes en millions de dollars américains [50]. De la même manière, [16] a estimé l'impact de la CLA à 32 % des rendements en Éthiopie et à 47 % en Kenya. Ces estimations sont cependant basées sur des enquêtes socio-économiques axées sur les perceptions des agriculteurs, mais pas sur des méthodes rigoureuses de dépistage sur le terrain [51].

Les coûts déclarés des invasions de la CLA varient entre 18,2 milliards de dollars américains (USD) et 78,9 milliards USD entre les années 1970 et 2020 de façon générale en Afrique. Cela représente une perte économique énorme, mais malheureusement très sous-estimée et en plus ces coûts augmentent au fil du temps [52].

Au Cameroun, les pertes de rendement annuel sont estimées entre 15 et 78%, évaluée à US\$ 2 481 à 6 187 millions de dollars [53].

[54], montre dans une étude que les producteurs de Kipushi (Congo) sont très pauvres par rapport au seuil du PNUD de 1,25 USD/personne/jour, et en plus de cela vient s'ajouter le problème de la CLA. Selon les résultats trouvés par [55], les faibles performances des petites exploitations pourraient s'expliquer par les attaques de la chenille légionnaire et par la faible efficacité des techniques et méthodes de lutte adoptées par ces agriculteurs. Selon le Centre international pour l'agriculture et les biosciences [56], la RD Congo a perdu 74,5 millions USD à cause de l'invasion de la chenille légionnaire en 2018. Cependant, en Afrique, 12 pays pourraient perdre entre 3,6 et 6,2 millions USD par an pour la même cause [56].

7 METHODES DE LUTTE CONTRE LA CLA

7.1 LUTTE AGRONOMIQUE

7.1.1 AJUSTEMENT DE LA PERIODE DE SEMIS

L'étude a été réalisée au Bénin par [57]. Il a été utilisé comme traitement, le semis précoce (15 Mai – 15 Juin), le semis normal (15 Juin – 15 Juillet) et le semis tardif (15 Juillet – 30 Juillet). Les résultats montrent que le semis précoce a été meilleur en termes de croissance végétative, de rendement en grain et surtout permet un meilleur contrôle de la légionnaire. Cependant les plants issus du semis tardif ont présenté un taux d'infestation de 96 %. La plantation précoce est donc une méthode culturale appliquée pour lutter contre la CLA [53].

7.1.2 ASSOCIATION DES CULTURES

Les infestations de la CLA sont plus importantes en monoculture qu'en cultures associées, en Ouganda, la monoculture de maïs a enregistré 95 % d'infestation contre 65 %, 74 % et 64 % enregistrés pour les cultures associées de haricot, de soja et d'arachide, respectivement [58], [53]. La disparité observée est probablement due à la morphologie des cultures, à l'écosystème et aux pratiques de gestion [59], [53].

[60] ont trouvé que la culture intercalaire et la rotation des cultures ont un impact favorable dans la réduction des infestations de la CLA de 2 fois et 3 fois plus élevé par rapport à la culture associée sans rotation. L'abondance d'infestation des adultes et des larves de CLA variait significativement aussi avec la phénologie de la culture, les infestations sont plus élevées aux stades végétatif et de reproduction et faible au stade de maturité.

Il est à retenir aussi que l'infestation de CLA baisse lorsque les précipitations étaient à leur maximum, puis augmentait lorsque les précipitations diminuaient. Cette tendance a été observée en Éthiopie, au Kenya, en Ouganda et au Rwanda [60].

La diversification de plants dans une même parcelle crée la confusion chez *Spodoptera frugiperda* et perturbe la ponte des œufs; il peut être associé le maïs et le manioc par exemple [47].

7.1.3 TECHNIQUE DE PUSH PULL

[47], [48] ont réalisé des études dans presque toute l'Afrique de l'Est sur les producteurs qui ont complètement mis en œuvre l'approche « Push-Pull » avec l'usage de *Desmodium sp* et *Pennisetum purpureum*. Ils sont parvenus à des résultats selon lesquels, la pratique « push-pull » réduit les infestations de la chenille légionnaire d'automne et les dommages aux cultures dans l'ordre de 86% (baisse des infestations), avec une augmentation de rendement de 2,7 fois de plus par rapport aux champs voisins qui n'ont pas mis en œuvre l'approche « Push-pull ».

D'après [61], 250 agriculteurs choisis au hasard avaient testé la technologie dans les zones plus sèches du Kenya, de l'Ouganda et de Tanzanie; à l'issue de l'étude, il a été trouvé un taux de réductions de 82,7% du nombre moyen de larves par plante et de 86,7% des dommages aux plantes dans les parcelles push-pull adaptées au climat par rapport aux parcelles de monoculture de maïs. Il a été rapporté par [62] dans une étude réalisée pour évaluer l'efficacité sur le terrain des systèmes Push-Pull pour *S. frugiperda* que les espèces les plus utilisées comme Push sont les suivantes:

- *Brachiaria hybrid*
- *Panicum maximum* souche de Mombasa;
- *Panicum maximum* souche de Tanzanie

Ensuite les espèces suivantes leurs sont associées en pull:

- *Crotalaria juncea*;
- *Tagetes erecta*;
- *Dysphania ambrosioides*

Le push-pull système de culture fournit une protection et améliore la nutrition du maïs. Le push-pull est une alternative contre l'usage des insecticides de synthèse et fournit les mêmes résultats que l'usage des biopesticides [53]. [91] a trouvé aussi que la technologie push-pull a augmenté les rendements de maïs et du coup a contribué à la réduction du nombre de personnes considérées comme pauvres dans l'ouest du Kenya.

7.1.4 LA PRÉ-PLANTATION TRADITIONNELLE

En utilisant certaines mesures tel le labour profond, la pré-plantation traditionnelle peut diminuer la population de la chenille légionnaire d'automne en exposant les pupes au soleil et aux oiseaux prédateurs [8]. Cette méthode de lutte s'avère difficile à être appliquée à large échelle et de surcroît la situation socioéconomique des producteurs dans les pays en voie de développement ne favorise pas la pratique.

7.2 LUTTE MÉCANIQUE

A travers les pièges à phéromone, les papillons males de la CLA sont attirés et capturés. La présence des males aux pièges à phéromone montre la présence de la CLA dans la localité et l'observation régulière des plants permettra sans nul doute de déceler les pontes et les premiers signes d'attaque des chenilles [17].

De nos jours, il existe plusieurs types de leurres à phéromones utilisés dans les pièges pour la capture de la légionnaire d'automne [8]. Cependant certains leurres à phéromone attirent qu'un nombre limité des papillons et souvent même autres types de lépidoptère qui sont pas *S. frugiperda* et cela créer une certaine confusion dans la collecte.

7.3 LUTTE CHIMIQUE

7.3.1 SEUIL D'INTERVENTION

Le seuil d'intervention est réalisé quand 20% des verticilles de jeunes plantes sont infestées ou lorsque 5% des plantules sont coupées à la base par la légionnaire d'automne [48]. D'après [47], le seuil de nuisibilité économique pour la chenille légionnaire d'automne est de: i): 20 % des plants attaqués avant la floraison; ii): 40 % des plants attaqués après la floraison.

7.3.2 USAGE DES PRODUITS CHIMIQUES DE SYNTHÈSES

Les efforts de lutte jusque-là engagés par les agriculteurs se limitant au ramassage des chenilles, arrivent quelque peu à l'utilisation de produits chimiques inefficaces tels que le Dursban 4 E, le Dimethoate 40EC, Delthametrine 2,5EC, Acelamectine [16]. Mais [16] précise que le recours aux pesticides devrait être l'option de dernier recours dans le respect de la lutte intégrée pour éviter des éventuelles intoxications humaines et animales et la pollution de l'environnement. Les produits homologués dans la gestion de la CLA sont l'orthène 755P, Cyperméthrin 50EC et Dursban 3G [16].

Les pesticides chimiques les plus couramment utilisés par les agriculteurs de l'Afrique de l'Est de façon général pour le contrôle de la chenille légionnaire d'automne sont l'alpha-cyperméthrine (pyréthroïde), chlorpyrifos et malathion (organophosphorés) et lufénuron (insecticide benzoylurée) [60].

En Afrique de l'Ouest, les producteurs appliquent des traitements insecticides en utilisant des pyréthrénoïdes (Deltaméthrine et Lambda-cyhalothrine) et des organo-phosphorés (Chlorpyrifos et Dichlorvos). Ce sont tous des insecticides qui agissent par contact et inhalation [23]. Compte tenu de la localisation des chenilles à l'intérieur des plants de maïs ces traitements sont vraisemblablement d'une efficacité faible. L'utilisation de matières actives systémiques (Acétamipride par exemple) devrait être envisagée [23]

[56], montre la bonne performance d'Emacot 19 EC avec comme matière active éméamectine benzoate dans une étude au Bénin. L'efficacité de cette matière active a été aussi approuvée par [64], [65], [66]...

[33] confirme aussi que les insecticides à base d'émamectine benzoate, méthomyl et chlorpyrifos-éthyl sont les plus efficaces pour lutter contre *S. frugiperda*, car les concentrations recommandées sont supérieures aux CL80. La probabilité d'échec de traitement est presque nulle. Par contre, la probabilité d'échec de traitement est très élevée (66 - 97%) avec l'abamectine, la deltaméthrine et la lambdacyhalothrine [47].

7.3.3 RESISTANCE DE LA CLA FACE AUX PESTICIDES DE SYNTHÈSE

La CLA a développé de nombreuses résistances suite à l'usage des pesticides de synthèses en Amérique du Nord [17]. Cette résistance aux insecticides de synthèse peut être répandue dans certaines zones et la lutte peut donc s'avérer difficile [67].

[68] ont réalisé une étude sur la résistance de la CLA face aux pesticides de synthèse dans la zone subtropicale de la Chine. L'étude renseigne les résultats suivants: la CLA fait un rapport de résistance de 615- 1068 fois au chlorpyrifos, de 60 à 388 fois au spinosad, de 26 à 317 fois à la lambda-cyhalothrine, de 13 à 29- fois au malathion, 9 à 33 fois au fenvalérate, 8 à 20 fois à la deltaméthrine, 3 à 8 fois au benzoate d'émamectine et 1 à 2 fois à chlorantraniliprole. La concentration létale médiane (CL50) de six autres insecticides sans les valeurs de base était de 148,27 à 220,96 µg mL⁻¹ pour la bêta-cyperméthrine, de 87,03 à 128,43 µg mL⁻¹ pour le chlorfénapyr, de 16,35 à 99,67 µg mL⁻¹ pour l'indoxacarbe, 10,55–51,01 µg mL⁻¹ pour le phoxim, 7,08–8,78 µg mL⁻¹ pour le M-EBI (l'insecticide mixte de benzoate d'émamectine et indoxacarbe) [68].

[69] ont confirmé aussi dans leur étude sur la sensibilité de la CLA face aux pesticides de synthèses que la DL50 de l'émamectine et la deltaméthrine ont été plus efficaces avec respectivement 0,4 µg/g et 0,8 µg/g comparativement à la cyperméthrine, la lambda-cyhalothrine et le profenofos. [70] ont également approuvé l'efficacité de la matière active de l'émamectine sur la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* en culture de maïs au Burkina Faso.

7.3.4 USAGE DES BIOPESTICIDES

Les plantes utilisées pour les pesticides botaniques sont le Neem, *Aglaia cordata* Hiern, *Annona mucosa* Jacquin, *Vernonia holosenicea*, poivre long (poivre hispidinervum), *Jatropha gossypifolia*, Castor (*Ricinus communis*), *Chromolaena chuseae*, *Cedrela salvadorensis*, *Cedrela dugessi*, Chinaberry (*Melia azedarach*) [53]...

[63] ont testé deux savons de ménage (« Palmida » et « Koto ») et une lessive (« So Klin ») pour leur efficacité contre les larves dans des conditions de laboratoire. Les savons et la lessive étaient sur les chenilles de deuxième, stade hautement toxiques avec des concentrations létales sur 24 h (CL50) de 0,46 %, 0,44 % et 0,37 % pour So Klin, Koto et Palmida, respectivement. En conditions de terrain, ces insecticides biorationnels ont produits un contrôle similaire ou meilleur qu'Emacot 19 EC (pesticide de synthèse avec emamectine benzoate comme matière active). En somme, ces produits biorationnels méritent d'être testés dans d'autres pays de la sous-région pour confirmer l'efficacité de l'usage dans le contrôle du bio agresseur.

Afin toujours de limiter l'utilisation d'insecticides de synthèse non homologués sur les cultures vivrières, avec ses conséquences sur la santé humaine et l'environnement, l'effet de certains insecticides semi-organiques et botaniques a été évalué sur *S. frugiperda* sur maïs par [71].

Le biopesticide utilisé est le grain de Neem (l'azadirachtine 0,35 g/l) comparé à plusieurs matière active de pesticide de synthèse, le résultat final montre que le grain de Neem (36,36%, taux de réduction des plants attaqués) s'est comporté moins efficace par rapport à l'emamectine benzoate (54,86%) et spinétorame (70,77% produit semi-synthétique) au champ. Quant à l'expérience au laboratoire avec l'application direct du produit sur la chenille, le benzoate d'emamectine ($94,16 \pm 2,6$ % de taux de mortalités des chenilles) et l'azadirachtine ($80 \pm 9,3$ %) ont été plus efficace que spinétorame ($79,16 \pm 4,91$ %). [72] dans la caractérisation et l'évaluation de la toxicité des extraits de Neem, suggèrent que les deux extraits ont un grand potentiel en tant qu'insecticide naturel pour la lutte contre la chenille légionnaire d'automne. Cependant, l'efficacité des extraits aqueux de Neem n'est pas très appréciée par [73] qui ont testé des champignons entomopathogènes indigènes avec l'extrait aqueux de Neem dont un des entomopathogènes a fourni la meilleure protection contre la CLA. Par contre [40] ont obtenu des résultats satisfaisants dans l'usage du Neem (feuilles et écorce) avec un taux de mortalité moyen de 68,3% à 82,5% en champ par rapport au témoin sans traitement dont la mortalité a été de 6,6%.

7.4 LUTTE BIOLOGIQUE

La lutte biologique classique et de conservation est très efficace car il est efficace et s'effectue à moindre coût. En plus de cela, des études ont montré qu'il n'existe aucun cas de développement de la résistance chez la chenille de *Spodoptera frugiperda* aux agents de lutte biologique [8]. Il a été trouvé beaucoup de parasitoïdes parasitant les œufs et les chenilles de la CLA comme illustre le tableau ci-dessous. Les résultats de recherche compilés dans le tableau ci-dessous sont tous issus des inventaires sur le terrain, dans les champs des producteurs.

Tableau 2. Quelques parasitoïdes énumérés par la littérature

Pays	Localité/zone	Parasitoïde	Ordre: Famille	Stade parasité	Taux de parasitisme
Ethiopie	Hawassa, Jimma et Awash-Melkasa	<i>Cotesia icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	37,6% [74]
	Hawassa et Awash-Melkasa	<i>Palexorista zonata</i>	Diptera: Tachnidae	Chenille	6 % [74]
	Jimma	<i>Coccygidium luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	4,6% [74]
Kenya	Taita Taveta	<i>Charops ater</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	12,3% [74]
	Kwalé	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	8,3% [74]
	Homabay	<i>P. zonata</i>	Diptera: Tachnidae	Chenille	12,5 % [74]
	Transzoia	<i>Chelonus curvimaculatus</i>	Hymenoptera: Braconidae	Œuf	4,8% [74]
	Machakos	<i>C. icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	5,6% [74]
Tanzani	Morogoro et Tanga	<i>C. ater</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	8,5% [74]
	Tanga et Pwani	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	5,0% [74]

Cameroun	Zone III, Zone IV et Zone V	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	91% [75]
	Mbamayo	<i>Trichogramma chelonis</i>	Hymenoptera: Trichogrammatidae	Œuf	100% [75]
	Ntui	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [75]
	Zone V et Kumba	<i>Charops sp.</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	1,13% [75]
	Edea, Pouma et Zone V	<i>C. icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	2,24% [75]
	Kumba	<i>C. sesamiae</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [75]
Ghana	Région orientale et Volta	<i>Chelonus bifoveolatus</i>	Hymenoptera: Braconidae	Œuf	11,75% [75]
	Région orientale, centrale et Volta	<i>Charops sp.</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	1,0% [76]
	Région orientale	<i>C. icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,4% [76]
	Région orientale, centrale et Volta	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	9,2% [76]
Niger	Maradi	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	33,79% en 2017 et 24,63 en 2018 [77]
		<i>Trichogramma sp</i>	Hymenoptera: Trichogrammatidae	Œuf	0,06% en 2017 [77]
		<i>Chelonus insularis</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [77]
		<i>Charops ater</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	0,25% [77]
	Région de Zinder	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	9,88% [77]
		<i>Chelonus insularis</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,52% [77]
	Région de Tahoua (Konni)	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	4,99% ([77]
		<i>Trichogramma sp</i>	Hymenoptera: Trichogrammatidae	Œuf	0,9% [77]
		<i>Chelonus insularis</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [77]
	Région de Tillabery (Sadoré)	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	14% [77]

Zone V = Bafia, Mbalmayo, Monatel, Ntui et Yaoundé

Zone IV = Kumbo, Kumba, Edea

Zone III = Fumbot

8 DISCUSSION

La chenille légionnaire d'automne est une véritable menace contre la sécurité alimentaire et nutrition en Afrique. L'incidence de cette chenille doit hanter le sommeil des décideurs, des chercheurs et des producteurs dans la recherche des voies et moyennes pour la gestion du ravageur. Originare des Amériques, de son apparition en 2016, elle a envahi la quasi-totalité du continent en deux (2) années seulement. La littérature montre qu'elle n'est présente qu'en Lesotho, Erythria et Djibouti [28]. L'Erythria et Djibouti, États de l'Afrique orientale, Djibouti est baigné par l'océan Indien à l'est et limité par la

Somalie au sud, par l'Éthiopie au sud et à l'ouest, par l'Érythrée au nord. La CLA est présente au Somali [10], [15], pays qui partage pourtant de frontière. L'absence de la CLA dans ses pays paraît très perplexe, il se peut qu'elle soit seulement mal documentée dans la littérature.

La CLA attaque pratiquement toutes les parties du maïs et à tous les stades de développement végétatifs, sauf qu'elle a des affinités aux jeunes plants tendre [47] et provoque des dégâts énormes entraînant ainsi une baisse notable des rendements [50] d'où l'abandon de la culture du maïs par certains producteurs nigériens rencontrés sur le terrain lors de la collecte des données. Dans le souci d'améliorer le rendement pour répondre aux besoins alimentaires sans cesse croissant et y égard à la forte pression du bio agresseur, les producteurs fond usage aux pesticides de synthèse [78], [79], [80].

[81], pour contribuer à une réduction considérable de la population de ces ravageurs suite au problème de développement de résistance, il faudra utiliser des insecticides beaucoup plus efficaces et effectuer une application rationnelle des pesticides tout en les changeant régulièrement. Mais, si l'application répétée des pesticides très toxiques peut réduire les populations des ravageurs des cultures, elle est loin d'être écologiquement et socialement saine et s'effectue à grand frais. Aussi, ces produits sont à l'origine de plusieurs cas d'intoxication et font selon les estimations de l'ONU, chaque année, 40.000 victimes, et provoquant des séquelles à environ 2.000.000 de personnes [82].

Plusieurs méthodes de lutte sont alors testées et développées pour arriver à un alternatif efficace et efficiente contre l'usage des pesticides de synthèses.

8.1 MÉTHODE DE LUTTE AGRONOMIQUE

Les méthodes de lutttes agronomiques ou méthodes de lutte culturales consistent à manipuler les cultures et le sol afin de rendre l'environnement défavorable aux ravageurs. Elles peuvent avoir une grande influence sur les populations de ravageurs dans les champs soit en les tuant ou en ayant des effets néfastes sur leur fécondité et par la même limiter la gravité des dégâts sur les cultures. Elles doivent par contre fournir un environnement plus favorable aux ennemis naturels du ravageur. Il ressort de la synthèse bibliographique que la CLA est sensible à la période de semis, le système cultural, le labour profond pour déterrer les chrysalides et les exposer aux intempéries climatiques. Parmi les différentes pratiques de lutte culturale, la technique push-pull qui permet de réduire les infestations de la CLA dans l'ordre de 86% [48], [47] paraît plus prometteuse. La technique connue aujourd'hui sous le nom de « push-pull » (ou stimulo-dissuasif dérivation) a été documentée pour la première fois en tant que stratégie potentielle de lutte antiparasitaire en 1987 sur le coton et 1990 sur l'oignon.

Au fur et à mesure qu'elles commencent à être adoptées, les nouvelles technologies rencontrent souvent des obstacles imprévus. Les limites à l'usage de la technique push-pull peuvent se résumer comme suit: i) le desmodium demande beaucoup de travail pour s'établir car la parcelle nécessite un désherbage fréquent et approfondi, car la germination ne doit pas être surmontés par des adventices [83], ii) la technique est surtout adapté pour le petits exploitants disposant des petites superficies [84], iii) les stratégies push-pull sont généralement intégrées à la lutte biologique et à la lutte culturale pour une meilleure gestion des ravageurs [84].

8.2 METHODES DE LUTTE PHYSIQUE ET MECANIQUE

La lutte physique signifie l'élimination du ravageur ou la détérioration physique de son environnement de manière à le rendre inhospitalier ou inaccessible pour le ravageur. Ces méthodes n'ont pas joué un rôle important dans l'agriculture moderne de production à grande échelle surtout à cause de leur coût élevé en main-d'œuvre. Toutefois, en raison des effets secondaires des insecticides, les méthodes physiques peuvent constituer des solutions de remplacement intéressantes dans les pays en voie de développement, surtout si elles sont intégrées dans des programmes de lutte contre les ravageurs mais sur des petites superficies [85].

8.3 RÉSISTANCE VARIÉTALE

[86] Kumar (1991), La résistance représente la capacité inhérente à une variété culturale à restreindre, retarder ou surmonter les infestations du fait des ravageurs que d'autres variétés cultivées dans des conditions d'environnement et de stade de développement comparable. Le terme de résistance est relatif et ne peut être défini qu'en fonction de l'ensemble des variétés d'une espèce. La résistance variétale du maïs contre la CLA est en train d'être développé surtout dans les pays développé. Les résultats fournis par la littérature ne montrent surtout pas l'impact d'une variété créée en Afrique efficace contre la CLA. Cependant, cette résistance variétale paraît plus prometteuse dans la gestion préventive des maladies des cultures [17].

8.4 MÉTHODE DE LUTTE BIOLOGIQUE

De façon stricto sensu, il est désigné par "Lutte biologique" L'utilisation des organismes vivants en tant qu'agents de lutte contre les ravageurs et d'une manière plus large on pourra dire que la lutte biologique c'est l'ensemble des méthodes qui font appel à des êtres vivants pour réduire ou supprimer les dégâts dus à des espèces animales nuisibles à l'homme et aux cultures. Ainsi certains auteurs citent l'utilisation des substances attirant les insectes, la production et le lâcher des mâles stériles ou la sélection de plantes résistantes aux ravageurs [87].

Il existe une gamme des plantes utilisées dans la gestion et le contrôle des insectes ravageurs. Au Niger, [88] ont recensé 28 espèces des plantes pesticides utilisées dans la gestion des insectes. Parmi ces espèces, le grain de Neem a été le plus testé pour le contrôle du ravageur mais dont l'efficacité reste à désirer pour beaucoup des publications. L'efficacité des grains de Neem a été surtout énumérée pour les études au laboratoire. Cependant des études supplémentaires doivent être faites pour confirmer ou infirmer l'efficacité des extraits aqueux de grain de Neem dans la gestion du bioagresseur.

La méthode de lutte biologique la plus dominante dans la littérature est l'usage des parasitoïdes dans la lutte contre la CLA. Lors et déjà, plusieurs parasitoïdes des œufs et des chenilles ont été inventoriés et testé dans beaucoup des pays Africains. Le tableau 3 ci-dessous donne la synthèse globale des résultats consignés dans le tableau 1 sur les taux de parasitisme des différents parasitoïdes. Il a été calculé la moyenne des taux obtenus par les différentes études en Afrique. Globalement les parasitoïdes des œufs ont fourni les taux de parasitisme le plus importants avec en tête le parasitoïde *Telenomus remus* qui paraît plus prometteur avec un taux moyen de 25,7% suivi de Trichogramme avec un taux de 25,3% (Tableau 3). Les séries des expériences réalisées en champ et au laboratoire par [89] confirme aussi que le parasitisme des œufs par *T. remus* était significativement plus élevé que le parasitisme par *Trichogrammatoidea sp* et combiné *T. remus* + *Trichogrammatoidea sp* quel que soit le type de masse d'œufs S'agissant des parasitoïdes des chenilles, le parasitoïde *Cotesia icipe* paraît plus prometteur avec un taux de parasitisme naturel de 11,5% suivi de *P. zonata* avec 9,2% (Tableau3).

Tableau 3. Moyenne des taux de parasitismes du tableau précédent

<i>Cotesia icipe</i>	<i>P. zonata</i>	<i>C. luteum</i>	<i>Charops ater</i>	<i>Chelonus sp</i>	<i>Telenomus remus</i>	<i>Trichogramma sp</i>
11,5 ± 17,6	9,2 ± 4,6	5,5 ± 3,4	3,6 ± 4,8	2,8 ± 3,9	25,7 ± 26,2	25,3 ± 49,8

Malgré les avantages qu'offre la lutte biologique avec l'utilisation des parasitoïdes, l'impact réel de ces lâchers en termes de potentiel pratique et de faisabilité économique est difficile à évaluer et est souvent remis en question [90]. Cependant, le potentiel de la lutte biologique, il est important d'évaluer la diversité, l'adaptabilité et l'efficacité des ennemis naturels à grande échelle sur le continent.

9 CONCLUSION

Dès son apparition en 2016 à aujourd'hui la chenille légionnaire est devenu le plus grand ravageur du maïs sur le continent. L'insecte est polyphagie avec une forte capacité de migration, l'infestation et les dommages aux plantes entraînent des pertes considérables en rendements.

En Afrique, la protection du maïs contre la chenille légionnaire d'automne devient essentielle.

Pour lutter efficacement contre le ravageur, plusieurs méthodes de lutte sont employées, les méthodes de luttés largement pratiquées dans la quasi-totalité des pays Africains, reste la lutte chimique avec l'utilisation des pesticides de synthèse. Plusieurs cas de développement de résistance sont énumérés par la littérature, c'est qui limite l'efficacité de cette lutte. La lutte biologique avec usage des parasitoïdes comme *Telenomus sp* et Trichogramme peuvent être des candidats pour la lutte biologique efficiente à large échelle contre les œufs et le parasitoïde *Cotesia icipe* contre les chenilles.

Les pesticides chimiques qui doivent être appliqués quand le recours aux alternatives de luttés a échoué devraient avoir une toxicité moindre sur les ennemis naturels et la santé humaine. Dans ce cas, des sensibilisations sont nécessaires pour amener les producteurs à l'usage des pesticides homologués dont la plupart sont moins nocifs que les non homologués.

REMERCIEMENTS

Ce travail entre dans le cadre de la mise en œuvre des activités du Projet Sahel IPM financé par la FONDATION Mc Knight. Notre remerciement à cette Mc Knight et au projet collaboratif CSAT-IPM financé par le Norvège pour sa contribution partielle aux activités de la thèse et au comité de relecture du présent manuscrit.

Nous tenons également à remercier le personnel de l'Institut national de la Recherche Agricole (INRAN/Maradi) pour leur assistance durant la conduite de nos activités de la recherche.

REFERENCES

- [1] Younoussa, L., Bioactivité des terres de diatomées et des poudres de Neem à l'égard de bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (FAB) (Coleoptera: Bruchidae), Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie des Organismes Animaux, Université de Ngaoundere, 72 P, 2011.
- [2] FAO et PAM., Plan de riposte contre la chenille légionnaire d'automne en République Démocratique du Congo, Document stratégique 2019-2024, 35P, 2018.
- [3] A. M. Balasha, A. B. Ndele, M. B. Benjamin, V. M. Ngabo, Perceived Impacts of Climate Change and Farmers' Choices of Adaptation Practices in the South Kivu's Marshlands, *Journal of Applied Agricultural Economics and Policy Analysis*, 2021, Vol. 4, No. 1, 18-24, DOI: 10.12691/jaaepa-4-1-2, 7P, 2021.
- [4] M. Kenis, H. Plessis, J. Van den Berg, M. N. Ba, G. Goergen, K. E. Kwadjo, I. Baoua, A. Buddie, G. Cafà, *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent, *Insects* 2019, 10, 92, 2019.
- [5] M. Murúa, M. Juárez, S. Prieto, G. Gastaminza, E. Willink, Distribución temporal y espacial de poblaciones larvárias de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) en diferentes hospederos en provincias del norte de la Argentina, *Journal Rev Ind Agríc de Tucumán* 86 (1): 25-36P, 2009.
- [6] A. Schmidt-Durán, V. Villalba-Velásquez, R. Chacón-Cerdas, K. Martínez, D. Flores-Mora, Larval stage prediction model of *Spodoptera frugiperda* collected in fig (*Ficus carica*) and discovery of *Apanteles* sp, as its parasitoid. *Tecnología en Marcha*, Vol. 28, Nº 1: 47-58 pp, 2015.
- [7] I. Zenner, H. Arévalo, R. Mejía, El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) y algunas plantas transgénicas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1 (1): 103-113P, 2007.
- [8] B. M. Prasanna, J. E. Huesing, R. Eddy, V. M. Peschke, La chenille légionnaire d'automne en Afrique: Un guide pour la lutte intégrée contre le ravageur. Première édition, Mexico, CDMX: CIMMYT, 124P, 2018.
- [9] J. Ouaba, T. Tchuinkam, A. Waïmane, H. J. O. Magara, S. Niassy, F. Meutchieye, Lepidopterans of economic importance in Cameroon: A systematic review. *Journal of Agriculture and Food Research* 8 (2022) 100286, 2022.
- [10] P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clottey, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Day, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, M. P. Gonzalez, S. T. Murphy, B. Oppong-Mensah, N. Phiri, C. Pratt, G. Richards, S. Silvestri, A. Witt, Fall Armyworm: impacts and implications for Africa. Evidence Note (2), September 2017. *CABI – UK Aid*, 144 pp, 2017.
- [11] I. Rwomushana, M. Bateman, T. Beale, P. Beseh, K. Cameron, M. Chiluba, V. Clottey, T. Davis, R. Day, R. Early, et al. Fall., Armyworm: Impacts and Implications for Africa; Evidence Note Update; *CABI: Oxfordshire*, UK, 2018.
- [12] A. NDIAYE, M. FAYE, I. BA, I. DIALLO, and P. M. SEMBENE, The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), a new pest of maize in Africa: monitoring, damage evaluation and identification of natural enemies on production areas of Sénégal, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15 (6): 2247-2260, 2021, 14P, 2021.
- [13] E. TENDENG, B. LABOU, M. DIATTE, S. DJIBA, and K. DIARRA, The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), a new pest of maize in Africa: biology and first native natural enemies detected, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (2): 1011-1026, 2019, 16P, 2019.
- [14] R. D. Harrison, C. Thierfelder, F. Baudron, P. Chinwada, C. Midega, U. Schaffner, J. Van den Berg, Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest, *Journal of Environmental Management*, 243: 318–330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.011>, 2019.
- [15] FAO, Briefing note on fall armyworm (FAW) in Africa, 2017. <http://www.fao.org/3/a-bt415e.pdf>
- [16] FAO, Gestion intégrée de la chenille légionnaire d'automne sur le maïs. Un guide pour les champs-écoles des producteurs en Afrique. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 136P, 2018.
- [17] Fontaine R., Clain C., Franck A., *Spodoptera frugiperda*, la chenille légionnaire d'automne. La FDGDON, CIRAD, 4P, 2018.
- [18] M. C. Cokola, S. S. Ndjadi, E. B. Bisimwa, L. E. Ahoton, F. Francis, First report of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Onion (*Allium cepa* L.) in South Kivu, Eastern DR Congo. *Revista Brasileira d'Entomologia* 65 (1): e20200083, 2021.

- [19] G. Goergen, P. L. Kumar, S. B. Sankung, A. Togola, M. Tamo, First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa, *PLoS ONE* 2016, 11, e0165632, 2016.
- [20] AGRHYMET, La chenille d'automne *Spodoptera frugiperda*, nouveau ravageur du maïs en Afrique de l'Ouest, a atteint le Niger. Bulletin spécial, Centre Régional AGRHYMET, Niamey, Niger, 7P, 2017.
- [21] GERMAIN J. F., GOERGEN G., REYNAUD P., SILVIE P., Une noctuelle américaine envahit l'Afrique: La première sortie de *Spodoptera frugiperda* hors du continent américain a été constatée. Une arrivée tonitruante au sud du Sahara... Pour l'instant. Phytoma, 2017.
- [22] IITA., First report of outbreaks of the «Fall Armyworm» on the African continent. IITA Bulletin, No. 2330, 2016.
<http://bulletin.iita.org/index.php/2016/06/18/first-report-of-outbreaks-of-the-fall-armyworm-on-the-African-continent/>.
- [23] CRA, ALERTE *Spodoptera frugiperda* une nouvelle chenille, ravageur du maïs. Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, Note d'information, 3P, 2016.
- [24] RECA, La Chenille légionnaire du maïs *Spodoptera frugiperda*. Niger, 4P, 2017.
- [25] CABI, Scientists discover new crop-destroying Armyworm is now «spreading rapidly» in Africa. Wallingford, UK: CABI, 2017.
<http://www.cabi.org/news-and-media/2017/scientists-discover-new-crop-destroying-armyworm-is-now-spreading-rapidly-in-africa/>.
- [26] BBC, Fall armyworm 'threatens African farmers' livelihoods'. UK: BBC, 2017.
<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-38859851>.
- [27] M. Kouakou, K. C. Kobenan, R. J. G. Didi, K. N. Bini Kouadio, G. Ochou Ochou, Détection de la Chenille Légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Coleoptera: Noctuidae) et Premières Observations sur sa Biologie en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, Vol.15, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 14P, 2019.
- [28] J. A. Nboyine, F. Kusi, M. Abudulai, B. K. Badii, M. Zakaria, G. B. Adu, A. Haruna, A. Seidu, V. Osei, S. Alhassan, A. Yahaya, A new pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in tropical Africa: Its seasonal dynamics and damage in maize fields in northern Ghana, *Crop Protection* 127 (September 2019): 104960. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104960, 2020.
- [29] D. J. W. Rose, C. F. Dewhurst, The African Armyworm handbook: the status, biology, ecology, epidemiology and management of *Spodoptera exempta* (Lepidoptera: Noctuidae) [Internet]. Second edition. Chatham, UK: *Natural Resources Institute*; 2000.
Available: http://www.lancaster.ac.uk/armyworm/docs/TheAfricanArmywormHandbook_2014revision.pdf.
- [30] Seymour P. R., Roberts H., Davis M. E., Insects and other invertebrates found in plant material imported into England and Wales, 1984. Reference Book, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK No. 442/84, 1985.
- [31] S. J. Johnson, Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the Western hemisphere. *Insect Science and its Application* 8, 543-549, 1987.
- [32] L. B. T. USGS, Integrated Taxonomic Information System (ITIS), U. S. Geological survey, 2013, DOI 10.5066/F7KHOKBK, <https://doi.org/10.5066/F7KHOKBK>, consulté le 28/08/2022 à 12: 57: 26.
- [33] FAO., Manuel de formation des formateurs sur la lutte intégrée contre la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda*. Document de formation, 90P, 2019.
- [34] E. S. BROWN, C. F. DEWURST, The genus *Spodoptera* (Lepidoptera, Noctuidae) in Africa and the Near East, *Bull. ent. Rest.*, 65: 1975, 221-262.
- [35] A. Delobel, Une pullulation de *Spodoptera exempta* Walker sur la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie (Lepidoptères Noctuidae), *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XIII, no 4, 1978: 333-338.
- [36] J. Brambila, Identification notes for *Spodoptera litura* and *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) and some native *Spodoptera* moths, USDA-APHIS-PPQ, June 2013, 12.
- [37] J. L. Capinera, Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae), IFAS Extension, University of Florida, 2020, 4.
- [38] A. Anonyme, *Spodoptera exigua* (Noctuelle de la Betterave), Koppert Biological Systems, 2014,
<http://ephytia.inra.fr/fr/C/19715/Biocontrol-Biocontrôle>, consulté le 28/08/2022.
- [39] RAP., Maïs sucré: légionnaire d'automne. Fiche technique, Réseau d'Avertissement Phytosanitaire, 7P, 2018.
- [40] L. Looli Boyombe, M. L. Jean Claude, G. Bolondo, G. Mabossy-Mobouna, Efficacité d'extraits des différentes parties de Neem (*Azadirachta indica* L.) contre *Spodoptera frugiperda* JE Smith à Kisangani, RDC, *African. J. Trop. Entomol. Res.* 2022, Vol. 1 (1): 42 - 52.
- [41] MUNENE A. V, Note d'information sur la vaillance et la gestion de la chenille légionnaires « *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) Lepidoptera: Noctuidae) ». Note d'information, ResearchGate, 10P, 2018.
- [42] CABI et OEPP., *Spodoptera frugiperda*. Fiche informative sur les organismes de quarantaine, Union Européenne, 5P, sd.

- [43] Akindele A. A., Savoirs des peuples Ayizo et Fon de la commune d'Allada sur les nuisibles des productions Agricoles. *Agronomie Africaine Sp.* 33 (1): 1 - 13 (2021), 7P, 2021.
- [44] O. O. ODEYEMI, O. T. ALAMU, G. A. YEKINNI and Q. O. OLOYEDE-KAMIYO, Development and determination of larval stages of fall armyworm on some staple crops. *African Crop Science Journal*, Vol. 29, No. 4, pp. 445 – 457, 13P, 2021.
- [45] D. M. Silva, A. F. Bueno, K. Andrade, C. S. Stecca, P. M. O. J. Neves, M. C. N. Oliveira, Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. *Sci. Agric.*, 74 (1): 18-31. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2015-0160>, 2017.
- [46] W. RUSSIANZI, R. ANWAR, H. TRIWIDODO, Biostatistics of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize plants in Bogor, West Java, Indonesia. *BIODIVERSITAS* ISSN: 1412-033X, Volume 22, Number 6, E-ISSN: 2085-4722, P: 3463-3469, 2021.
- [47] B. R. Ahissou, W. M. Sawadogo, A. H. Bokonon-Ganta, I. Somda, M. P. Kestemont, & F. J. Verheggen, Baseline toxicity data of different insecticides against the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and control failure likelihood estimation in Burkina Faso, *African Entomology*, 29 (2): 435-444. DOI: <https://doi.org/10.4001/003.029.0435>, 2021.
- [48] J. Wan, C. Huang, C-Y. Li, H. Zhou, Y. Ren, Z. Li, L. Xing, B. Zhang, X. Qiao, B. Liu, C. Liu, Y. Xi, W. Liu, W. Wang, W. Qian, S. Mckirdy, F. Wan, Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20 (3): 646–663, 19P, 2021.
- [49] A. J. Hruska, F. Gould, Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua, *J. Econ. Entomol.* 1997, 90, 611–622, 1997.
- [50] J. P. K. Tshiabukole, G. P. Khonde, A. M. Phongo, N. Ngoma, A. M. Kankolongo, R. K. Vumilia, and A. M. Djamba, Simulation of Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Attacks and the Compensative Response of Quality Protein Maize (*Zea mays*, var. Mudishi-1 and Mudishi-3) in South western DR Congo. *Open Access Library Journal*, 8: e7217, 2021. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107217>.
- [51] F. Baubron, M. A. Zaman-Allah, I. Chaipa, N. Chari, and P. Chinwada, Understanding the Factors Influencing Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E.Smith) Damage in African Smallholder Maize Fields and Quantifying Its Impact on Yield. A Case Study in Eastern Zimbabwe, *Crop Protection*, 120, 141-150, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.028>
- [52] C. Diagne, A. Turbelin, D. Moodley, A. Novoa, B. Leroy, E. Angulo, T. Adamjy, A. K. M. Dia Cheikh, A. Taheri, J. Tambo, G. Dobigny, F. Courchamp, The economic costs of biological invasions in Africa: agro wing but neglected threat? *NeoBiota*, Pensoft Publishers, 2021, 67, pp.11-51.10.3897/neobiota.67.59132.hal-03410320, 2021.
- [53] C. N. Akeme, C. Ngosong, S. A. Sumbele, A. Aslan, A. S. Tening, C. Y. Krah, B. M. Kamanga, A. Denih, and O. J. Nembangia, Different controlling methods of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in maize farms of small-scale producers in Cameroon. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 911 (2021) 012053, doi: 10.1088/1755-1315/911/1/012053, 2021.
- [54] N. M. Yannick, M. B. Israël, M. I. Precy, Y. M. Jonas, K. N. Franck, K. D. Bora, K. M. Mwamba, K. F. Mununga, S. Kirongozi, N. M. Kesonga, Perceptions of small-scale producers in Kipushi on the damage caused by armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in *Zea mays* fields, Haut-Katanga, DR Congo, *International Journal of Recent Engineering Research and Development (IJRERD)*, ISSN: 2455-8761, www.ijrerd.com, Volume 06 – Issue 03, March 2021, PP. 08-17, 2021.
- [55] F. Agnès, Kenya: la guerre biologique contre la chenille légionnaire d'automne, *International Afrique*, 16P, 2019.
- [56] FAO & CABI., Community-Based Fall Armyworm monitoring, early warning and management: Training of Trainers Manual, 2019.
- [57] M. Batamoussi Hermann, S. B. J. TOKORE OROU MERE, M. YAYA, J. D. F. AKOUNNOU, Performances agronomiques de la variété QPM/FAABA du maïs (*Zea mays* L.) suivant les périodes de semis en condition de perturbations climatiques. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.*, Vol.11 (No.1): 25-32, 8P, 2021.
- [58] G. Hailu, S. Niassy, K. R. Zeyaur, N. Ochatum, & S. Subramanian, Maize–legume intercropping and push–pull for management of fall armyworm, stemborers, and *Striga* in Uganda, *Agron. J.*, 110 (6), 2513-2522, doi.org/10.2134/agronj2018.02.0110, 2018.
- [59] M. M. Degri, D. M. Mailafiya, & J. S. Mshelia, Effect of Intercropping Pattern on Stem Borer Infestation in Pearl Millet (Pennisetum glaucum L.) Grown in the Nigerian Sudan Savannah, *Advances in Entomology*, 02 (02), 81–86P, 2014.
- [60] S. Niassy, M. K. Agbodzavu, E. Kimathi, B. Mutune, M. E-F. Abdel-Rahman, D. Salifu, G. Hailu, Y. T. Belayneh, E. Felege, H. E. Z. Tonnang, S. Ekesi, S. Subramanian, Bioecology of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), its management and potential patterns of seasonal spread in Africa. *PLoS ONE* 16 (6): e0249042, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249042>.
- [61] C. A. O. Midega, J. Pittchar, J. A. Pickett, G. Hailu, Z. R. Khan, A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in maize in East Africa. *Crop Prot.* 2018, 105, 10–15, 2018.

- [62] O. G. M. Guera, F. Castrejón-Ayala, N. Robledo, A. Jiménez-Pérez, G. Sánchez-Rivera, L. Salazar-Marcial, and H. E. F. Moctezuma, Effectiveness of Push–Pull Systems to Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Management in Maize Crops in Morelos, Mexico. *Insects* 2021, 12, 298. <https://doi.org/10.3390/insects12040298> Academic Editor: Ezio.
- [63] C. T. S. Aniwanou, A. A. C. Sinzogan, J. M. Deguenon, R. Sikirou, D. A. Stewart, A. Ahanchede, Bio-Efficacy of Diatomaceous Earth, Household Soaps, and Neem Oil against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Larvae in Benin. *Insects*, 12, 18. <https://doi.org/10.3390/insects12010018>, 2021.
- [64] T. M. Shivalingaswamy, A. Kumar, S. Satpathy, A. B. Rai, Efficacy of emamectin benzoate in the management of vegetable pests. *Prog. Hortic.* 2008, 40, 193–197.
- [65] A. Gacemi, Y. Guenaoui, Efficacy of emamectin benzoate on Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) infesting a protected tomato crop in Algeria, *Acad. J. Entomol.* 2012, 5, 37–40, 2012.
- [66] D. Babendreier, L.K. Agboyi, P. Beseh, M. Osa, J. Nboyine, S. E. K. Ofori, J. O. Frimpong, V. A. Clottey, M. Kenis, The efficacy of alternative, environmentally friendly plant protection measures for control of Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Insects*, 2020, 11, 240.
- [67] N. H. Pitre, Chemical control of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): An update. Fla, *Entomol.* 1986, 69, 570–578.
- [68] D. ZHANG, Y. XIAO, P. XU, X. YANG, Q. WU, K. WU, Insecticide resistance monitoring for the invasive populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20 (3): 783–791, 9P.
- [69] K. D. KOFFI, M. KOUAKOU, D. MAMADOU, K. K. N. BINI, O. G.OCHOU, Étude de la sensibilité de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) à des insecticides chimiques, *Journal of Applied Biosciences*, 166: 17223–17230 ISSN 1997-5902, 2021.
- [70] G. Kambou, et A. M. Millogo, Efficacité biologique d'extraits aqueux de substances naturelles (*Cassia nigricans* Vahl., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. ex G. Donf., *Capsicum annum* L., *Cleome viscosa* L.) Sur la chenille légionnaire (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) en culture du maïs et de leurs effets sur les microorganismes d'un sol ferrugineux, au Burkina Faso, *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*.Vol.8. No.1, 036-051, 2019.
- [71] G. BONNI, T. A. HOUNDETE, E. SEKLOKA, R. ASSOGBA BALLE, and O. K. DOURO KPINDOU, Field and laboratory testing of new insecticides molecules against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) infesting maize in Benin, *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, Vol.8 (4), pp. 65-71, 2020.
- [72] S. K. Tulashie, F. Adjeiab, J. Abraham, E. Addoa, Potential of neem extracts as natural insecticide against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). ELSEVIER, 4, December 2021, 100130. Uganda, *Agronomy Journal*, 110 (6), 2513–2522, 2021.
- [73] A. Hernandez-Trejo, B. Estrada-Drouaillet, J. A. López-Santillán, C. Rios-Velasco, R. Rodríguez-Herrera, and E. Osorio-Hernández, «Effects of Native Entomopathogenic Fungal Strains and Neem Extract on *Spodoptera frugiperda* on Maize,» *Southwestern Entomologist* 44 (1), 117-124, (21 March 2019). <https://doi.org/10.3958/059.044.0113>.
- [74] B. Sisay, J. Simiyu, E. Mendesil, P. Likhayo, G. Ayalew, S. Mohamed, S. Subramanian, T. Tefera, Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* Infestations in East Africa: Assessment of Damage and Parasitism. *Insects*, 10, 195; doi: 10.3390/insects10070195, 10P, 2019.
- [75] A. F. Abang, S. N. Nanga, A. Fotso Kuate, C. Kouebou, C. Suh, C. Masso, M. G. Saethre, K. K. M. Fiaboe, Natural Enemies of Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae) in Different Agro-Ecologies. *Insects*, 12 (6), 509. 2021.<https://doi.org/10.3390/insects12060509>.
- [76] L. K. Agboyi, G. Goergen, P. Beseh, S. A. Mensah, V. A. Clottey, R. Glikpo, A. Buddie, G. Cafà, L. Offord, R. Day, I. Rwomushana, M. Kenis, Parasitoid Complex of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Ghana and Benin, *Insects*, 11 (2), 68, 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11020068>.
- [77] L. AMADOU, I. BAOUA, M. N. BA, L. KARIMOUNE, R. MUNIAPPAN, NATIVE PARASITIDS RECRUITED BY THE INVADDED FALL ARMY WORM IN NIGER. *Indian Journal of Entomology*, 80 (4): 1253-1254 (2018), 3P.
- [78] M. Kanda, G. Djaneye-Boundjou, K. Wala, K. Gnandi, K. Batawila, A. Sanni, et A. Koffi, Application des pesticides en agriculture maraichère au Togo. *VertigO*, 13 (1), 4-8, 2013.
- [79] A. D. Mondédji, W. S. Nyamador, K. Amevoin, R. Adéoti, G. A. Abbey, G. K. Ketoh, I. A. Glitho, Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraichères au Sud du Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (1), 98-107, 2015.
- [80] B. B. Yarou, P. Silvie, F. A. Komlan, A. Mensah, T. Alabi, F. Verheggen, F. Francis, Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2017 21 (4), 288-304, 17P, 2017.
- [81] Bourguerra L. M., Les pesticides et le tiers monde, Recherche n°176 p 545-553, 1986.
- [82] IITA., Annual Report and Research Highlights - IITA, Ibadan, 50 p, 1988.

- [83] ICIPE, The 'Push–Pull' Farming System: Climate-smart, sustainable agriculture for Africa, *African Insect Science for Food and Health*, ISBN 978-9966-063-06-9, Nairobi, Kenya, 36P, 2015.
- [84] G. M. Balaso, C. Nalini, P. Yankit, and P. Thakur, Push-pull strategy: Novel approach of pest management, *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2019; 7 (5): 220-223, 5P, 2019.
- [85] Z. Drmić, M. Tóth, D. Lemić, D. Grubišić, M. Pospíšilc, and R. Bažoka, Area-wide mass trapping by pheromone-based attractants for the control of sugar beet weevil (*Bothynoderes punctiventris* Germar, Coleoptera: Curculionidae), *Pest Manag Sci*, DOI 10.1002/ps.4601, 10P, 2017.
- [86] Kumar R., La Lutte Contre les Insectes Ravageurs, Karthala et CTA: Paris; 10- 311P, 1991.
- [87] Meyer J. Y., La lutte biologique contre les espèces Introduites envahissantes: solution miracle Ou méthode risquée ? Fiche technique, 16P, 2002.
- [88] I. Yolidje, D. Alfa Keita, I. Moussa, A. Toumane, S. Bakasso, K. Saley, T. Much, J-L. Pirat, et J. M. Ouamba, Enquête ethnobotanique sur les plantes utilisées traditionnellement au Niger dans la lutte contre les moustiques vecteurs des maladies parasitaires, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (2): 570-579, 10P, 2020.
- [89] S. A. Laminou, M. N. Ba, L. Karimoune, A. Doumma, and R. Muniappan, Parasitism of Locally Recruited Egg Parasitoids of the Fall Armyworm in Africa, *Insects* 2020, 11, 430; doi: 10.3390/insects11070430, 2020.
- [90] K. R. Farrell, Pest management: the search for alternatives, *California Agriculture*, 45 (4): 2-2, 1991.
- [91] M. Kassie, J. Stage, G. Diiro, B. Muriithi, G. Muricho, S. T. Ledermann, J. Pittchar, C. Midega, Z. Khan, Push–pull farming system in Kenya: Implications for economic and social welfare, *Elsevier, Land Use Policy* 77 (2018) 186–198, 2018.
- [92] A. Fotso Kuate, S. N. Nanga, S. Ngatat, M. Tindo, C. Masso, R. Ndemah, C. Suh, K. M. Fiaboe Komi, *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Cameroon: Case study on its distribution, damage, pesticide use, genetic differentiation and host plants, *PLoS ONE* 14 (4): e0215749, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215749>.
- [93] L. M. Santos, L. R. Redaelli, L. M. G. Diefenbach, C. F. S. Efrom, Larval and pupal stage of *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in sweet and field corn genotypes, *Braz. J. Biol.*, 63 (4): 627-633P, 2003.

Characterization of cereal consumption in Cotonou, Benin

Mouhamed N. El-Hadji Alassane Moutawakilou¹⁻², J. Kisito Chabi-Sika³, Agossou D. P. Noumavo¹⁻⁴, Haziz Sina⁴, Joseph Dossou⁵, Adolphe Adjanohoun⁶, Lamine Baba-Moussa⁴, and Farid Baba-Moussa¹

¹Laboratoire de Microbiologie et des Technologies Alimentaires, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin

²Agro Sciences Laboratory, Abomey-Calavi, Benin

³Agence Béninoise de Sécurité Sanitaire des Aliments, Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche, Cotonou, Benin

⁴Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin

⁵Laboratoire de Bioingénierie des Procédés Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin

⁶Institut National des Recherches Agricoles du Bénin. BP 884 Cotonou, Benin

Copyright © 2022 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 cereal group occupies a prominent place in the dietary habits of the populations of southern Benin and there are few recent consumption data on cereals. This study aims to assess the consumption, acquisition and supply of cereals to households in Cotonou. A semi-directive survey with KoBoCollect was conducted with 345 households to collect individual cereal food consumption data. The survey data studied by inferential statistics showed that the most consumed cereals are corn (99%, $p=1$), rice (85%, $p=0.936$), wheat (35%, $p=0.999$), sorghum (15%, $p=0.659$), millet (10%, $p=0.971$) and fonio at less than 5%. The most common mode of acquisition is buying from secondary market (95%, $p=0.987$) and street (85%, $p=0.999$) retailers. The most used preservation techniques are: drying at room temperature (70%, $p=0.619$) and keeping the product away from light (30%, $p=0.806$). Households most often dry in areas laid out at home (70%, $p=0.984$) or at the edge of the road (30%, $p=0.939$). Storage places are very diverse: the kitchen (45%, $p=0.871$), the bedroom (40%, 0.998), the living room (25%, $p=0.900$) and the store (20, 0.931). In addition, the supply costs of cereals increased from 0.009 USD to 0.056 USD between 2020 and 2021. This vertiginous rise in prices is due to the covid19 pandemic. The various data emitted make it possible not only to have fresh data but also to invest them in the assessment of health risks for the achievement of a high level of protection of the health and life of consumers.

KEYWORDS: cereals, survey, consumption data, food security, Benin.

1 INTRODUCTION

Africa is one of the largest producers of several cereals including maize, sorghum, millet, etc [1]. Globally, food supplies and diets have become more similar in composition [2], [3]. Most of the world's agricultural area (82%) is used to grow 20 major crop products [2] and four staple crops (rice, wheat, maize and potato) which provide the majority of the world's energy needs [4], [5].

Consumption data on cereals are rare in sub-Saharan Africa [6]. In these countries, with the exception of a few export products, local consumption products such as cereals are neglected. According to Amiot-Carlin [7], the diet in Benin is based

on roots, tubers and cereals. Significant variations are observed between the north and the south [7]. To assess cereal consumption data in the southern part of Benin, the city of Cotonou was drawn by lot. This city is one of the most concentrated in population in Benin.

It was a concrete question of knowing the cereals which are the subject of a large consumption, but also of having knowledge of the modes of supply, the suppliers, the places of acquisition, the use or not of preservatives chemicals, preservation techniques, places of exchange and places of storage of cereals.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 MATERIAL

The materials used in this survey are essentially composed of maps of the counting areas of the 13 districts of Cotonou; GPS; desktop computers, laptops, tablets; android mobile phones; servers; network equipment; printers; peripherals and accessories; software.

2.2 METHOD

The methodological approach revolves around the collection of data, their processing and the analysis of the results. The collection method used for the survey is the semi-structured door-to-door interview [8]. The interviewer goes to each household, asks questions to the Head of Household and notes the answers using a smartphone equipped with the KoBoCollect application [9].

A pre-survey was carried out and served as a basis for the formulation of certain hypotheses. These hypotheses were verified at the end of the actual survey by inferential statistics.

STUDY AREAS AND STUDY POPULATION

The survey took place in the commune of Cotonou in southern Benin. Of the thirteen (13) districts in the commune of Cotonou, four (04) districts were drawn by lot. By district, four (04) districts were again drawn, which leads to a total of 16 districts namely: Agla Center, Zongo Ehuzu, Gbeto, Jonquet, Missebo, Gbediga, Houeyiho, Gbgamey 2, Vodje Center, Cajehoun1, Cadjeoun 2, Fidjrosse Centre, Aibatin 1, Aibatin 2, Gbedegbe and Missité.

The survey took into account socio-demographic characteristics in relation to household cereal consumption habits.

The sample size in each survey area is calculated by the method of [10].

$$X = Z_{\alpha}^2 * \frac{p(1-p)}{i^2} \text{ avec } p = \frac{n}{N} \quad (1)$$

N: Total number of households in the study area

n: Total number of households in selected neighborhoods or villages

i: 5% = 0.05

$Z_{\alpha} = 1.96$

The demographic data from the general population and housing census (RGPH4) carried out by INSAE in 2013 provide us with the values of n and N above for each of the districts selected. For this purpose, we have:

N = 166433 (Number of households in Cotonou)

n = 56020 (Number of households in the selected neighborhoods)

Applying formula (1), we get:

X1=345 households to interview

CONDUCT OF THE INVESTIGATION

As a prelude to the actual survey, a pre-survey was carried out on a sample of 100 randomly selected households in the city of Cotonou. The data and results of the pre-survey made it possible to formulate a certain number of hypotheses which were subsequently subjected to a binomial test.

With regard to the investigation itself, three (03) major stages have marked its progress.

The first step consisted in the practical training of the investigators. During this training, they received useful knowledge for the smooth running of activities, among other things, the recognition of the geographical limits of the different city districts thanks to counting maps, knowledge and use of the KoBoCollect mobile application. Interviewers also learned how to effectively use the survey questionnaire, which is integrated into the mobile application as an electronic form.

The second stage is a full-scale test phase. Each pair of interviewers was asked to interview five (05) households in their survey areas. This test enabled the management team to assess the average interview time, the level of assimilation of the knowledge acquired and to find solutions to the difficulties reported by the interviewers, in particular the resistance of certain heads of households to answer to the questions. This trial phase made it possible to set the average number of daily interviews at 10 households. In addition, the interviewers all demonstrated a good understanding of the use of the collection tool (KoBoCollect). In view of the results obtained, the test phase was validated, and the third phase was opened.

The third step consisted in collecting the actual data in accordance with the electronic form registered in the application. An average of 10 households per day was set per pair of interviewers. In the event of insufficient Collection, the geographical proximity method has been recommended to compensate for the collection. In each concession, only one head of household was interviewed. In the case of a building, each apartment is considered a house. These conditions were respected to ensure consistent representativeness. The interviews were conducted in the Fongbé, Mina, Goun, Yoruba, Dendi and in French languages.

2.3 DATA PROCESSING AND ANALYSIS

At the end of the survey, the various data collected were pre-processed by the KoBoCollect application. Further processing was performed with hypothesis testing. The Spyder development environment was used to perform all the necessary calculations, particularly the p-value calculation. The steps for calculating the p-value [11] are as follows:

STEP 1: Calculate the probability of success (p) given the data.

$$p = \frac{n}{N}$$

n: number of positive responses obtained

N: number of respondents

STEP 2: Calculate the minimum number of successes to expect under the Null Hypothesis.

$$k = N * H_0$$

H_0 : decimal value of the null hypothesis

(0.9 For $H_0 = 90\%$)

N: number of people interviewed

STEP 3: Calculate the p-value

$$p_{value} = \sum_{i=k}^N C_N^i p^i (1-p)^{N-i}$$

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 MOST CONSUMED CEREALS IN COTONOU

All the households surveyed consume maize and its derivatives (100%) (Table 1). Our null hypothesis ($H_0=99\%$ or more) is validated ($p=1.00$). Maize is therefore the first most consumed cereal in Cotonou. Similar results have been found by many other researchers [6], [12], [13], who have jointly drawn the conclusion that maize (*Zea mays L.*) is a cereal of great dietary importance for many populations in West Africa, mainly in Benin where it constitutes the basis of the diet of the populations of the South and the Center of the Country.

Households surveyed in Cotonou consume 87.54% of rice and its derivatives (Table 1). Our null hypothesis is validated ($H_0=85\%$, $p=0.936$). Rice is then the second most consumed cereal by the populations in Cotonou. Other researchers have gone in the same direction as us. Indeed, it is reported that strong urbanization, access to the labor market and growing incomes lead city dwellers to consume more imported foods, rice in particular [12]. According to the estimates of [7], in Senegal in urban areas rice consumption is 77% while in rural areas it represents 59% of cereal consumption. Senegal consumes, on average, more than one million tons of white rice per year [7].

This study revealed that maize is consumed in a high proportion compared to rice and this could be justified by the fact that maize is the most cultivated cereal in Benin due to several favorable conditions, including climate, soil and the short production cycle which allows it to be grown at least two (02) times a year. As far as rice is concerned, it is essentially an imported product whose average price per kilogram is higher than that of corn.

Tableau 1. Level of cereal consumption in Cotonou

Cereals and derivatives	Cereal consumption, n=345 (number/percentage)		Null hypothesis (H_0)	p-value
	Yes	No		
Corn and derivatives	345 (100%)	0 (0%)	99% or more	1.000
Rice and derivatives	302 (87.54%)	43 (12.46 %)	85% or more	0.936
Mil and derivatives	45 (13.04%)	300 (86.96 %)	10% or more	0.971
Sorghum and derivatives	54 (15.65%)	291 (84.35 %)	15% or more	0.639
Wheat and derivatives	147 (42.61%)	198 (57.39 %)	35% or more	0.999
Fonio and derivatives	4 (1.16%)	341 (98.84 %)	5% or more	0.000

n = total households surveyed

Table 1 showed that 42.61% of households surveyed consume wheat and its derivatives. Our null hypothesis ($H_0=35\%$, $p=0.999$) is validated. Wheat is thus the third most consumed cereal in Cotonou, because more than 35% of the population of Cotonou consumes wheat and its derivatives (0.999). In the South of Benin, the populations have a more Western habit so that wheat-based foods such as bread, cake, croissant, pizza, chawama and others are widely consumed on a daily basis.

Table 1 showed that 15.65% of households surveyed consume sorghum and its derivatives. Our null hypothesis ($H_0=15\%$, $p=0.639$) is therefore validated. Sorghum is the fourth most consumed cereal in Cotonou, more than 15% of the population in Cotonou consumes Sorghum (0.635). Sorghum is used in the manufacture of certain local drinks and porridges. In addition, sorghum is better consumed in other countries in the West African sub-region. In Burkina-Faso, for example, sorghum is consumed even more and it represents 40 to 50% of Burkinabe national production [14].

The results in Table 1 also reveal that 13.04% of households surveyed consume millet and its derivatives. Our null hypothesis ($H_0=10\%$, $p=0.971$) is validated. Millet is then the fifth most consumed cereal in Cotonou. [15] reports that the consumption of millet is higher in the northern region of Benin and that this could be explained by the abundance of cereals such as maize, rice and wheat in southern Benin. Less than 5% of the population in Cotonou consumes Fonio. This is a lesser known cereal in southern Benin.

3.2 CEREAL SUPPLY MODES IN COTONOU

Table 2 showed that 97.10% of households surveyed get their supplies by purchasing, thus validating our hypothesis ($H_0=65\%$, $p=0.987$). Purchasing is the characteristic method of acquisition for all households in Cotonou. It represents 50.7% of

supply methods [15]. Self-consumption, which accounts for 13.6%, and donations, which account for 86.4%, constitute other forms of supply [15]. These results differ significantly from ours. This could be explained by the difference between the methods used. Purchasing is the essential method of acquiring cereals and represents 51% of expenditure [16]. About 16% of households surveyed received cereals by donation, thereby validating our hypothesis ($H_0=20\%$, $p=0.068$). The gift is the second mode of grain supply. [16] in his survey found lower rates namely: 10% of cereal donations in Cotonou and 9.3% of donations in Ouagadougou. This same author estimates that the same phenomenon is observed in Dakar.

Tableau 2. Supply methods in Cotonou

Modes of grain supply	Adoption, n=345 (number/percentage)		Null hypothesis (H_0)	p-value
	YES	NO		
Purchase	335 (97.10%)	10 (2.90%)	95% or more	0.987
Production	55 (15.94%)	290 (84.06%)	20% or more	0.026
Donations	58 (16.81%)	287 (83.19%)	20% or more	0.068

Table 2 showed that 15.94% of households surveyed produce their own cereals. Our null hypothesis $H_0=20\%$ is rejected.

In Cotonou, less than 20% of the population engages in the production of cereals for self-consumption. [6] reports in his communication on the supply and distribution of food in French-speaking African cities that: "self-consumption still remains one of the methods of supply in certain cities such as Ouagadougou and Cotonou we meet populations who have an agricultural production activity". In addition, in Ouagadougou, the survey of [16] estimates at 5.4% the rate of households that produce their own cereals.

3.3 CEREAL SUPPLIERS AND PLACES OF ACQUISITION

In the cereal distribution chain in Cotonou, the main suppliers identified are: retailers, wholesalers, producers and supermarkets. The results of our survey reveal that 90.43% of the households surveyed get their supplies from retailers. This result validates our hypothesis ($H_0=85\%$, $p=0.999$). Retailers are therefore the main suppliers of cereals in Cotonou (Table 3). This result can be explained by the fact that retailers are closer to consumers and make their products more accessible. In addition, consumers only need small quantities of cereals to meet their daily needs. In addition, the high proportion of supply from retailers could be explained by the high urbanization and population density in Cotonou.

Tableau 3. The different types of grain suppliers in Cotonou

Grain supply	Adoption, n=345 (number/percentage)		Null hypothesis (H_0)	p-value
	YES	NO		
Retailers	312 (90.43%)	33 (9.57%)	85% or more	0.999
Wholesalers	80 (23.19%)	265 (76.81%)	25% or more	0.24
Supermarkets	23 (6.67%)	322 (93.33%)	10% or more	0.015
Producers	10 (2.90%)	335 (97.10%)	5% or more	0.025

The results of our survey also reveal that 23.19% of surveyed households get their supplies from wholesalers. This result validates our hypothesis ($H_0=25\%$, $p=0.24$). Wholesalers are the second cereal suppliers in Cotonou (Table 3). This result is explained by the fact that wholesalers essentially distribute cereals to retailers.

About 6% of households surveyed get their supplies from supermarkets. Our hypothesis ($H_0=10\%$, $p=0.015$) is not validated. Similarly, 2.9% of households surveyed get their supplies from producers. Our hypothesis ($H_0=5\%$, $p=0.025$) is not validated. These results are justified by the fact that the sale prices of cereals at the level of supermarkets are not within the reach of the average Cotonois. Moreover, there are very few cereal producers in Cotonou due to the unavailability of cultivable land in the Coastal Department.

Table 4 shows that 47.25% of households surveyed get their supplies from local markets, thus validating our hypothesis ($H_0=40\%$, $p=0.997$). This observation is explained by the fact that local markets are made up of retailers for the most part and that they are closer to consumers. [18] in his communication for the benefit of the FAO went in the same direction as us by finding that the purchase is the first mode of supply in cereals and that the rural markets are the first places of purchase. He goes on to say that 17% of households in Cotonou get their supplies from rural markets. This result is much lower than ours.

Some households surveyed (29.57%) get their supplies in the streets and alleys, thus validating our hypothesis ($H_0=25\%$, $p=0.976$). The lack of market infrastructure in Benin was the cause of the high rate of grain acquisitions in streets and alleys.

Tableau 4. Cereal procurement locations in Cotonou

Places of grain acquisition	Adoption, n=345 (number/percentage)		Null hypothesis (H_0)	p-value
	YES	NO		
Major Markets	96 (27.83%)	249 (72.17%)	20% or more	0.999
Local Markets	163 (47.25%)	182 (52.75%)	40% or more	0.997
Supermarkets	14 (4.06%)	331 (95.94%)	10% or more	0.000
Streets and Alleys	102 (29.57%)	243 (70.43%)	25% or more	0.976

Reading Table 4 revealed that 27.83% of the households surveyed get their supplies from the Large Markets, thus validating our hypothesis ($H_0=20\%$, $p=0.999$). The large markets come in third place among the places of acquisition of cereals in Cotonou. These results are explained by the fact that the major markets are the headquarters of the wholesalers.

Some households surveyed (4.06%) get their supplies from supermarkets. Our hypothesis ($H_0=10\%$, $p=0.000$) is not validated. Our analysis show that supermarkets are more frequented by privileged people with the financial means and a high standard of living. Also, the availability of cereals in supermarkets is limited. [18] identified the places where cereals are purchased, which are: rural markets, importers, urban wholesale and large markets, secondary markets, small neighborhood markets, neighborhood shops and finally, neighborhood supermarkets.

3.4 CONSERVATION TECHNIQUES, DRYING AND STORAGE AREAS

Table 5 reveals that 70.43% of Cotonou households dry cereals at room temperature, thus validating our hypothesis ($H_0=70\%$, $p=0.619$). Drying at ambient temperature is the primary technique for preserving cereals in Cotonou. Cereal storage in Benin has not undergone significant modernization. In addition, the abundant availability of solar energy is favorable to the technique of preserving cereals by drying. Some households (32.17%) surveyed store cereals by protecting them from light, thus validating our hypothesis ($H_0=30\%$, $p=0.806$). The technique of preserving cereals by shielding the product from light is the second preservation technique used (Table 5). Very few households (8.41%) in Cotonou preserve cereals by drying them in a controlled enclosure, thus validating our hypothesis ($H_0=5\%$, $p=0.995$).

Tableau 5. The different cereal preservation techniques in Cotonou

Cereal preservation techniques	Adoption, n=345 (number/percentage)		Null hypothesis (H_0)	p-value
	YES	NO		
Dry at room temperature	243 (70.43%)	102 (29.57%)	70% or more	0.619
Drying in a controlled enclosure	29 (8.41%)	316 (91.59%)	5% or more	0.995
Protect the product from light	111 (32.17%)	234 (67.83%)	30% or more	0.806
Use of chemical preservatives	6 (1.74%)	339 (98.26%)	5% or more	0.000

About 1.74% of households surveyed preserve cereals with chemical preservatives. Our hypothesis ($H_0=5\%$, $p=0.000$) is not validated. Very few households in Cotonou use chemical preservatives. This result could be explained by the fact that chemical preservatives are less known to the populations of Cotonou on the one hand and on the other hand, the user of chemical preservatives could constitute an additional cost for the household. In addition, households often purchase sufficient quantities for their short-term needs.

Reading Table 6 revealed that 74.78% of the households surveyed dry cereals in the areas fitted out at home, which validates our hypothesis ($H_0=70\%$, $p=0.984$). Due to the strong urbanization in the South of Benin and particularly in Cotonou, the populations have only the alternative of their residence for the drying of cereals. The areas around the tracks are the second place for drying cereals in Cotonou. A no less negligible portion of households dries (33.91%) cereals by the roadside, which validates our hypothesis ($H_0=30\%$, $p=0.939$).

Tableau 6. Drying places

Drying places	Cereals drying, n=345 (number/percentage)		Null hypothesis (H_0)	p-value
	YES	NO		
On site in the field	19 (5.51%)	326 (94.49%)	5% or more	0.715
Areas set up at home	258 (74.78%)	87 (25.22%)	70% or more	0.984
Along the way	117 (33.91%)	228 (66.09%)	30% or more	0.939

Only 5.51% of Cotonou households dry cereals on site in the field, which validates our hypothesis ($H_0=5\%$, $p=0.715$). This result can be explained by the fact that Cotonou is not a place of high agricultural production in Benin.

About 47% of Cotonou households store cereals in the kitchen (Table 7), validating our hypothesis ($H_0=45\%$, $p=0.871$). The same proportion of households (47.54%) store cereals in the bedroom, thus validating our hypothesis ($H_0=40\%$, $p=0.998$). The results also showed that 30.43% of households store cereals in the living room, validating our hypothesis ($H_0=25\%$, $p=0.900$). The strong urbanization of the city of Cotonou and the space constraints do not favor the establishment of storage infrastructures adapted to the conservation of cereals. This is why the populations of Cotonou, failing to keep cereals in attics as is the case in the northern part of Benin [19], store their cereals in bedrooms, living rooms and kitchens.

Tableau 7. Storage locations

Storage locations	Cereals storage, n=345 (number/percentage)		Null hypothesis (H_0)	p-value
	YES	NO		
Kitchen	165 (47.83%)	180 (52.17%)	45% or more	0.871
Bedroom	164 (47.54%)	181 (52.46%)	40% or more	0.998
Living room	105 (30.43%)	240 (69.57%)	25% or more	0.900
Store	80 (23.19%)	265 (76.81%)	20% or more	0.931
Attic	45 (13.04%)	300 (86.97%)	20% or more	0.000

The storage of cereals in stores is observed in 23.19% of the households questioned, validating our hypothesis ($H_0=20\%$, $p=0.931$). The fact is that the quantities often purchased are not so important to require storage in large infrastructures. Living rooms and kitchens are sufficient for the conservation of these foodstuffs. The use of attics as conservation infrastructure is observed in Cotonou at 13.04% and therefore our hypothesis ($H_0=20\%$, $p=0.000$) is not validated. Granaries are used very little in Cotonou due to strong modernization, space constraints and the small quantity of cereals to be stored for household needs.

3.5 AVERAGE CEREAL SUPPLY COSTS BETWEEN 2020 AND 2021

Tableau 8. Average grain supply costs in Cotonou

Average cost per Kg	Maize	Rice	Millet	Wheat	Sorghum	Fonio
Average cost in 2020 (USD/Kg)	0.374	0.801	0.547	0.804	0.381	0.512
Average cost in 2021 (USD/Kg)	0.383	0.878	0.576	0.849	0.465	0.568
Average price variation (USD/Kg)	+0.009	+0.077	+0.029	+0.045	+0.084	+0.056

Between 2020 and 2021, there was a significant increase in the average cost of all the cereals considered by our study. Other Institutions have also observed these increases. This is the case of the National Institute of Statistics and Demography (INStAD) which in its May 2021 publication reveals a 3.3% increase in the producer price index for food products in the 1st quarter of the year 2021 [20]. By comparing to the same period of the year 2020, the INStAD specified that the producer price index increased by 25.2% and that this evolution is linked to the increase in the cereal indices. (+47.3%) [20]. The price increases thus observed are partly explained by supply and distribution difficulties due to the COVID-19 pandemic, which paralyzed the general merchandise transport network. In addition, the difficulties of access to fertilizers specific to cereal production also explain this price increase. Finally, generalized inflation has contributed to the increase in the prices of basic necessities, including cereals. In addition, INSAE reports in August 2021 that cereal prices have increased in Benin during the last week. She argues that maize prices have increased in the cities of Porto Novo (South-East), Parakou (North-East), Natitingou (North-West) and Lokossa (South-West), while in Cotonou and in Bohicon, prices fell, explaining this price variation by the market supply.

The data collected during this survey increase the possibility of making a health risk assessment on the cereals concerned by this study in Benin.

4 CONCLUSION

This study revealed that the most consumed cereals in Cotonou are, in order of importance, maize, rice, wheat, sorghum and millet. In addition, these cereals are all produced in Benin with the exception of wheat. The main preservation technique is air drying at room temperature. The main places for drying are the areas set up at home or in the fields. Storage is preferably done in kitchens, bedrooms and stores. Purchasing is the main method of acquiring cereals, followed by donation and production. Retailers supply the majority of cereals in local markets and they are followed by wholesalers in this distribution. A variation of +0.009 USD to + 0.056 USD is observed on the average price of all the cereals covered by our study. These important data generated by this study on cereal consumption in the city of Cotonou constitute an important source of food information and open the door to other aspects of research, in particular the evaluation of the exposure of the populations of Cotonou to the dangers microbiological and chemical content in cereals.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Engineer KPONOU S. Candide for his technical support and Dr. Malick SEIBOU for his moral and financial support.

REFERENCES

- [1] Harold Macauley and Tabo Ramadjita. Les cultures céréalières: riz, maïs, mil, sorgho et blé. Africa Rice Center, Benin. 38p, 2015.
- [2] Michel Duru. Ro6: Agriculture, biodiversité et santé, par michel duru.
- [3] Carl Gagné, Danièle Capt, Elisabeth Faguer, Lise Frappier, Mohamed Hilal, Vincent Hovelaque, Tristan Le Cotty, Laurent Parrot, Bertrand Schmitt, and C Soulard. Urbanisation et durabilité des systèmes alimentaires. Pour une alimentation durable. Réexion stratégique DuAllne. Quae, Paris, pages 123-142, 2011.
- [4] C Mbosso, Aminata Berthe Niang, Y Mohamadou, S Padulosi, A Sidibé, and G Meldrum. Mémoire de recherche: La chaîne de valeur et le potentiel de marché du fonio fini pour renforcer la résilience climatique, la sécurité alimentaire et les revenus des femmes au mali. 2018.
- [5] Lawrence James Haddad, Corinna Hawkes, Endang Achadi, Arti Ahuja, Mohamed Ag Bendeck, Komal Bhatia, Zulfiqar Bhutta, Monika Blossner, Elaine Borghi, Kamilla Eriksen, et al. Rapport 2015 sur la nutrition mondiale: Mesures et redevabilité en vue d'accélérer les progrès mondiaux en matière de nutrition et de développement durable. Intl Food Policy Res Inst, 2015.
- [6] Ibrahima Dia. Le consommateur urbain africain et les sda. FAO, Collection aliments dans les villes, Communication au séminaire sous régional FAO-ISRA« Approvisionnement et distribution alimentaires des villes de l'Afrique francophone, Dakar, 1997.
- [7] Mme Marie-Josèphe AMIOT-CARLIN. Evaluation du potentiel de couverture des besoins en vitamine a des jeunes enfants à partir des sauces accompagnant les aliments de base consommés au Bénin. PhD thesis, Agrocampus Ouest, 2011.
- [8] Geneviève Imbert. L'entretien semi-directif: à la frontière de la santé publique et de l'anthropologie. Recherche en soins infirmiers, (3): 23 {34, 2010.
- [9] Lakshminarasimhappa, M. C. (2022). Web-based and smart mobile app for data collection: Kobo Toolbox/Kobo collect. Journal of Indian Library Association, 57 (2), 72-79.
- [10] Marc Pilon, M Seidou Mama, and Christine Tichit. Les femmes chefs de ménage: aperçu général et études de cas. Ménages et familles en Afrique. Approche des dynamiques familiales contemporaines, Paris, CEPED, pages 167 {193, 1997}.
- [11] Mathématiques appliquées L3 - Cours complet avec 500 tests et exercices corrigés. Pearson, 2009.
- [12] A Arouna, PY Adégbola, and G Biao. Analyse des coûts de stockage et de conservation du maïs au sud-bénin. Bull Rech Agro Bénin, 2: 12 {23, 2011}.
- [13] Astou Sassoum DIOP, Bathie SARR, Moussa NDONG, Babacar BEYE, and Mame Arame FALL NDIAYE. Evaluation des risques sanitaires liés à la présence d'aflatoxine dans le riz consommé au sénégal. Int. J. Biol. Chem. Sci, 16 (1): 418 {429, 2022}.
- [14] Adama Abdoul Razaak Soma Massieke, Fidèle Wend-bénédo Tapsoba, Donatien Kabore, Issaka Seogo, Abel Tankoano, Mamoudou Hama Dicko, Aboubacar Toguyeni, and Hagrétou Sawadogo-Lingani. Etude sur la capacité de production, du circuit de commercialisation et de la consommation du zoom-koom vendu dans la ville de ouagadougou au burkina faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11 (5): 2294 {2305, 2017}.

- [15] Mitchikpe Evariste C., Ategbo Eric-Alain, Fanou Joseph A., Nago Mathurin Coffi. 2001. Consommation alimentaire des ménages urbains au Bénin. Montpellier: CIRAD, 45 p. (Série ALISA) ISBN 2-87614-458-1.
- [16] Alissia Lourme Ruiz. Les femmes, au coeur des liens entre production agricole et diversité de la consommation alimentaire au Burkina Faso. PhD thesis, Montpellier SupAgro, 2017.
- [17] Emmanuelle Cheyns. Les pratiques d'approvisionnement alimentaire des consommateurs de Ouagadougou (Burkina-Faso). Number 3. Editions Quae, 1999.
- [18] Ibrahima Dia. Le consommateur urbain africain et les sada. FAO, Collection aliments dans les villes, Communication au séminaire sous régional «FAO-ISRA» Approvisionnement et distribution alimentaires des villes de l'Afrique francophone, Dakar, 1997.
- [19] GANDAHOU, P., GANDAHOU, F. T., BELLO, S., & SOUMANOU, M. Institut National des Recherch.
- [20] INStAD. (2021, 31 Mai). Indice des prix des produits agricoles à la production du 1^{er} trimestre de l'année 2021. *Actualités INStAD*. <https://instad.bj/actualites/244-indice-des-prix-des-produits-agricoles-a-la-production-du-1er-trimestre-de-l-annee-2021>.

Influence des attributs forestiers sur le stock de carbone des unités de végétation sud-soudaniennes au Burkina Faso, Afrique de l'Ouest

[Influence of forest attributes on South Sudanese vegetation units carbon stock of in Burkina Faso, West Africa]

Nebnoma Romaric TIENDREBEOGO^{1,2}, Paulin OUOBA^{1,4}, Brigitte BASTIDE³, Marie Yvette Blandine NACOLMA⁵, Yempabou Hermann OUOBA^{5,6}, Félix DJUGUEMDE¹, Dieudonné KI¹, Irénée SOMDA², and Issiaka Joseph BOUSSIM⁵

¹Ecole Doctorale Sciences Naturelles et Agronomie, Université Nazi BONI (UNB), Burkina Faso

²Laboratoire des Systèmes Naturels, Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement, UNB, Burkina Faso

³Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Station de Farako-Bâ, Burkina Faso

⁴Unité de Formation et de Recherches en Sciences de Vie et de la Terre, UNB, Burkina Faso

⁵Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso

⁶Centre Universitaire de Ziniaré, Burkina Faso

Copyright © 2022 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: Changes in forest vegetation composition can lead to changes in carbon stocks. The aim of this study is to identify the relationships between diversity attributes, structural parameters and aboveground carbon stock within vegetation units in the Péni Classified Forest. In total, 3225 individuals belonging to 212 woody species were measured. Our results show a variability of carbon stock between vegetation units ranging from 2.56 ± 2.31 t.ha⁻¹ in shrub savannas to 131.80 ± 75.45 t.ha⁻¹ in gallery forests. Allometric models of structural parameters alone govern the variation of carbon stock between vegetation units. In gallery forests, *Gmelina* plantations and tree savannas, basal area explained 95%, 95% and 92% of the variation in carbon stock, respectively. In shrub savannas, the model combining mean diameter, basal area and mean height, explained 92% of the variation in carbon stock. The consideration of models combining diversity attributes and structure parameters is therefore necessary for a good estimation of the carbon stock of forest ecosystems.

KEYWORDS: diversity index, structure, regulation service, forest ecosystems, allometric model.

RESUME: Des changements dans la composition de la végétation d'une forêt peuvent entraîner des changements dans les stocks de carbone. L'objectif de cette étude est d'identifier les liens qui existent entre les attributs de diversité, les paramètres de structure et le stock de carbone aérien au sein des unités de végétation dans la Forêt Classée de Péni. Au total, 3225 individus appartenant à 212 espèces ligneuses ont été mesurées. Nos résultats montrent une variabilité du stock de carbone entre les unités de végétation allant de $2,56 \pm 2,31$ t.ha⁻¹ dans les savanes arbustives à $131,80 \pm 75,45$ t.ha⁻¹ dans les forêts galeries. Des modèles allométriques portant uniquement sur les paramètres de structure gouvernent la variation du stock de carbone d'une unité de végétation à l'autre. Dans les forêts galeries, les plantations à *Gmelina* et les savanes arborées, la surface terrière explique respectivement 95%, 95% et 92% de la variation du stock de carbone. Dans les savanes arbustives le modèle combinant le diamètre moyen, la surface terrière et la hauteur moyenne, explique 92% de la variation du stock de carbone. La

prise en compte de modèles combinant les attributs de diversité et les paramètres de structure est donc nécessaire pour une bonne estimation du stock de carbone des écosystèmes forestiers.

MOTS-CLEFS: indice de diversité, structure, service de régulation, écosystèmes forestiers, modèle allométrique.

1 INTRODUCTION

Les forêts tropicales jouent un rôle clé dans la régulation du cycle terrestre du carbone et du changement climatique en stockant le carbone dans le bois [1], [2]. Les forêts, à travers la photosynthèse, absorbent le dioxyde de carbone et le stockent au-dessus et en-dessous du sol [3]. Le mécanisme REDD+ vise à encourager les pays en développement à préserver les massifs forestiers moyennant des compensations financières issues des crédits-carbone [4]. Toutefois, sa mise en œuvre dépend d'un système de Mesure, Notification et Vérification (MNV ou MRV en anglais) concernant l'estimation de la biomasse et des stocks de carbone contenus dans les forêts [5], [6], [7], [8].

En effet, l'estimation de la biomasse dans la végétation terrestre est essentielle à la mise en œuvre de stratégies d'atténuation du changement climatique terrestre [9]. La biomasse forestière peut être estimée directement ou à l'aide d'équations allométriques qui sont ensuite utilisées pour convertir les paramètres mesurés des arbres tels que le diamètre, la hauteur, les mesures de la canopée ou la densité du bois, en biomasse [10], [11]. Les équations peuvent être développées pour estimer la biomasse de espèces spécifiques ou d'un mélange d'espèces d'une région [12].

Au Burkina Faso, des équations allométriques ont été développées pour certaines espèces d'arbres économiquement importantes, par exemple *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn. [13], *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. et *Terminalia laxiflora* Engl. & Diels [14], *Bombax costatum* Pellegr. & Vuill. [15], *Jatropha curcas* L. [16], pour quelques autres espèces indigènes [17] puis pour des espèces dominantes dans les unités de végétation de certaines forêts [18]. Cependant, les aires protégées sont pour la plupart multi-espèces et nécessitent des équations d'espèces mixtes développées avec des données qui couvrent la diversité des arbres à mesurer. Ces équations font défaut au Burkina Faso, d'où des équations globales telles que celles développées par [19] sont couramment utilisés pour l'estimation de la biomasse à l'échelle des aires protégées.

Dans un contexte de perturbations climatiques et anthropiques, les changements dans la composition et la structure d'une végétation peuvent entraîner des changements dans les stocks de carbone associés. Les récentes études ayant intégré les attributs de diversité et les paramètres de structure dans l'élaboration d'équations allométriques n'ont pas tenu compte de la variabilité des conditions écologiques entre les unités de végétation d'une même forêt. Or, comprendre le lien entre les attributs de diversité, les paramètres de structure et les stocks de carbone dans les unités de végétation d'une même aire protégée, différemment perturbées, peut aider à orienter les futures politiques d'aménagements et à améliorer la planification de leur gestion.

La présente étude a pour objectifs: (i) d'évaluer le stock de carbone aérien des différentes unités de végétation de la Forêt Classée de Péní; (ii) d'identifier les indices de diversité et les caractéristiques structurales qui influencent le stock de carbone dans chaque unités de végétation; (iii) d'élaborer des modèles de prédiction du stock de carbone pour chaque unité de végétation.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans la Forêt Classée de Péní au sud-ouest du Burkina Faso. La FCP est située dans la commune de Péní à 32 km de la ville de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo--Dioulasso - Banfora. Géographiquement, elle est située entre les latitudes 10°55'02,5" et 10°56'33" Nord et entre les longitudes 4°27'26,5" et 4°29'37,5" Ouest. La FCP appartient au secteur phytogéographique sud-soudanien [20]. Le climat est du type soudano-guinéen. La moyenne annuelle des précipitations sur dix ans (2011-2021) dans la commune de Péní varie entre 749 et 1320 mm. La commune est caractérisée par une saison pluvieuse allant de mai à septembre et une saison sèche qui s'étale sur 6 à 7 mois, d'octobre à avril. La température moyenne mensuelle varie de 27 à 28 °C. La végétation de la FCP est composée d'une mosaïque de savanes (bois, herbes, arbustes et arbres) et de forêts galeries [21]. Les principaux types de sols du site d'étude sont les sols ferrallitiques, les sols peu évolués et les sols à sesquioxyde et matière organique rapidement minéralisable [22].

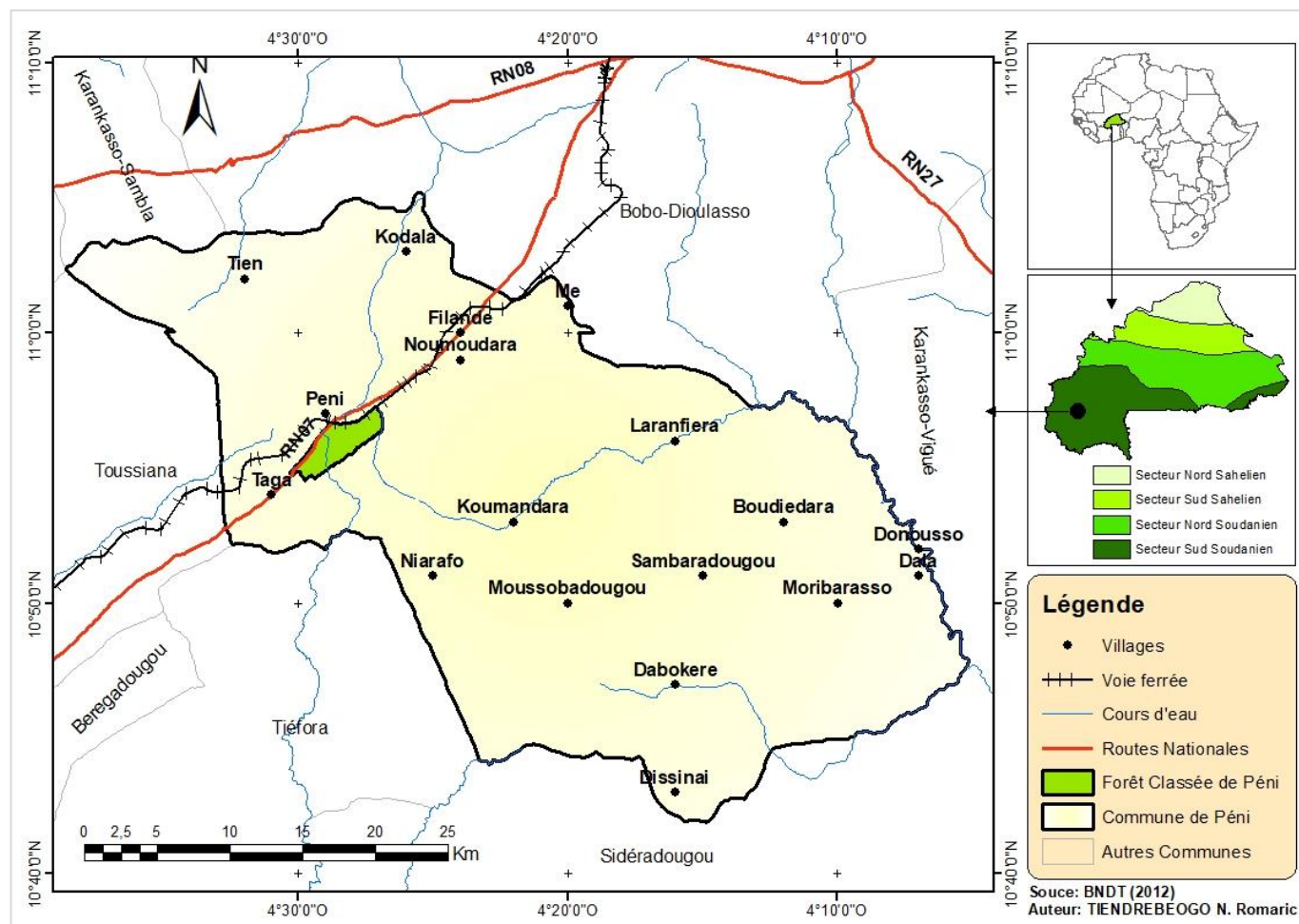


Fig. 1. Localisation de la Forêt Classée de Péní au Burkina Faso, Afrique de l'Ouest

2.2 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DE DONNEES

La méthode non destructrice basée sur des tables de régression a été adoptée pour l'estimation de la biomasse ligneuse. Dans le cadre de cette étude, cette méthodologie est la mieux indiquée vu le caractère conservateur de l'intégrité des espèces [23]. Plusieurs auteurs ont également utilisé cette méthodologie lors d'études similaires [12], [24], [25], [26], [27]. Des inventaires forestiers suivant un échantillonnage stratifié en fonction des unités de végétation de la Forêt ont été effectués. La taille des placettes était de 500 m² (50 m x 10 m) dans les forêts galeries et de 900 m² (30 m x 30 m) dans les savanes et les plantations pour la strate ligneuse [28]. Dans chaque placette, les données suivantes ont été enregistrées: les coordonnées géographiques au centre de la placette, la liste floristique, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et la hauteur totale. Les mesures dendrométriques ont été réalisées uniquement sur des arbres adultes (dbh ≥ 5 cm). Certains individus d'espèces de nature arbustive ont été mesurés au collet [29]. Au total 95 relevés dendrométriques ont été effectués.

2.3 TRAITEMENT ET ANALYSE DE DONNEES

2.3.1 CALCUL DES ATTRIBUTS DE DIVERSITÉ

Les paramètres de diversité ont été estimés par:

- La richesse spécifique (S , en espèces) représentant le nombre total d'espèces présentes dans un milieu donné
- L'indice (H) de Shannon-Weaver [30] selon la formule: $H = -\sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$ où p_i est le rapport du recouvrement moyen de l'espèce i dans la formation sur la somme de tous les recouvrements de toutes les espèces de l'unités de végétation; $\ln$: logarithme népérien

2.3.2 CALCUL DES PARAMETRES DE STRUCTURES

La densité moyenne, le diamètre moyen et la surface terrière ont été calculés par placette puis par unités de végétation.

- La densité moyenne (D) par la formule: $D=n/s$ où n est le nombre d'individus de l'espèce considérée et s la surface de la placette en ha
- Le diamètre moyen (DM) par la formule: $DM = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{N}$ où d_i est le diamètre de l'arbre et N le nombre total d'individus de l'espèce. Pour un individu multicaule avec t tiges en-dessous de la hauteur de mesure, le diamètre d_i est égal à la somme quadratique de tous les diamètres ds_i des tiges de l'individu mesuré. La formule du diamètre d_i s'établit comme suit:

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^t ds_i^2}$$
- La surface terrière (G) m²/ha par la formule: $G = \sum (\pi d_i^2 / 4)$ où d_i est le diamètre de l'arbre mesuré à 1,30 m du sol

2.3.3 ESTIMATION DU STOCK DE CARBONE

La quantité de biomasse aérienne a été estimée en appliquant l'équation allométrique établie par [19] utilisant les données dendrométriques telles que le diamètre des arbres, la hauteur des arbres et la densité spécifique du bois. Les densités spécifiques du bois (ρ) ont été extraites de la base de données mondiale sur la densité du bois [31], [32] à l'aide de la fonction *getWoodDensity* du package « BIOMASS » du logiciel R [33]. Ces valeurs ont été attribuées au niveau de l'espèce ou du genre ou de la famille. Plusieurs auteurs ont utilisé cette équation avec succès au Burkina Faso pour l'estimation de la biomasse aérienne dans des études similaires [12], [26]. Cette équation est définie comme suit: $AGB = 0,0673 \times$, où **AGB** représente la biomasse aérienne en kg, **DBH** représente le diamètre à la hauteur de poitrine en cm, ρ est la densité du bois en g.cm⁻³ et h est la hauteur totale de l'arbre en m.

Le stock de carbone (SC) a été déterminée en multipliant la valeur de la biomasse par la valeur 0,47 représentant la fraction carbone recommandée par [33], [34].

2.3.4 ANALYSE STATISTIQUE

Le tableur Excel 2019 a été utilisé pour la saisie des données. Après vérification de la normalité des données par le test de Shapiro-Wilk. Une analyse de variance à un facteur a été utilisée pour déterminer la variation du stock de carbone entre les différentes unités de végétation. Les valeurs moyennes ont été ensuite comparées entre elles à l'aide du test de Tukey au seuil de 5%. Puis le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour déterminer la relation entre le stock de carbone et chacune des variables indépendantes (attributs de diversité et paramètres de structure). Ensuite les variables indépendantes significativement corrélées au stock de carbone ont été utilisées dans une analyse de régression linéaire multiple pour évaluer leur contribution aux variations du stock de carbone. Les modèles de prédiction optimale du stock de carbone ont été sélectionnés sur la base de la p-value au seuil de 5% et du Critère d'Information d'Akaike (AIC) [35]. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du package « Rcmdr » du logiciel R version 4.1.3 [36].

3 RÉSULTATS

3.1 VARIATION DES ATTRIBUTS DE DIVERSITE ENTRE LES UNITES DE VEGETATION

Un total de 3225 arbres et arbustes a été mesuré dans la Forêt Classée de Péni dont 898 dans les forêts galeries, 877 dans les savanes arbustives, 752 dans les savanes arborées et 698 dans les plantations à *Gmelina* (Tableau I). Les individus mesurés sont répartis en 121 espèces ligneuses pour l'ensemble des unités de végétation de la forêt. Les savanes arborées ont le plus grand nombre d'espèces soient 72 espèces réparties dans 57 genres et 26 familles; suivie des savanes arbustives avec 60 espèces réparties dans 48 genres et 21 familles. Les forêts galeries et les plantations ont respectivement 59 espèces réparties dans 50 genres et 28 familles et 35 espèces réparties dans 29 genres et 15 familles. La richesse spécifique moyenne varie de 7 ± 3 espèces dans les plantation à *Gmelina* à 12 ± 5 espèces dans les savanes arborées ($F=4,48$; $p=0,005$). L'indice de Shannon varie d'une unité de végétation à l'autre ($F=13,69$; $p<0,0001$) et le plus élevé est observé dans les savanes arborées avec $2,06 \pm 0,56$ bits (Tableau 1, Figure 2).

Tableau 1. Nombre de placettes, richesse spécifique, nombre d'individus, richesse spécifique moyenne et indice de Shannon moyen par unité de végétation dans la FCP

Unités de végétation	Nombre de placettes (n=95)	Richesse spécifique (n=121)	Nombre d'individus (n=3225)	Richesse spécifique moyenne	Indice de Shannon
Forêt galerie	29	59	898	9±3 ^a	1,79±0,47 ^a
Savane arborée	23	72	877	12±5 ^b	2,06±0,56 ^a
Savane arbustive	32	60	752	10±4 ^{ab}	1,94±0,42 ^a
Plantation	11	35	698	7±3 ^a	0,99±0,45 ^b

Les lettres en exposant indiquent des différences significatives selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes.

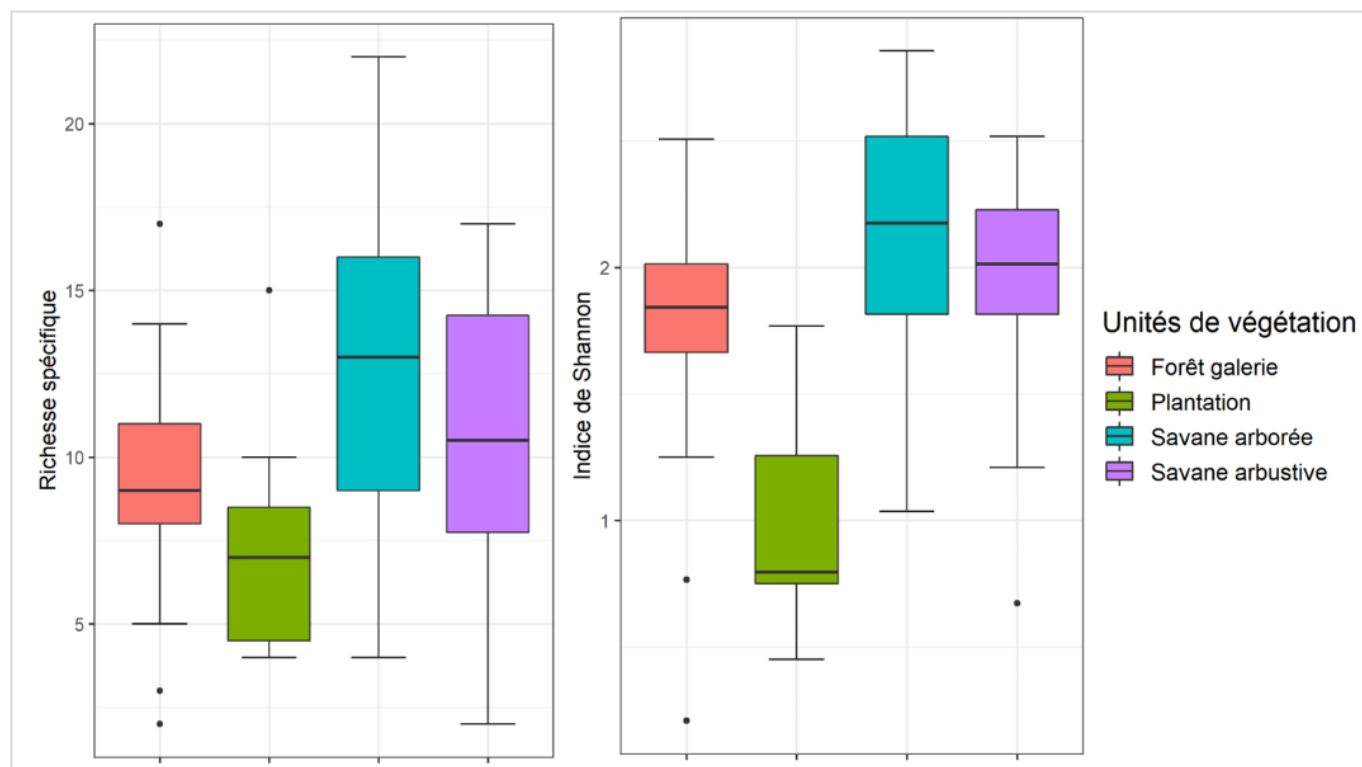


Fig. 2. Distribution de la richesse spécifique et l'indice de Shannon dans chaque unité de végétation

3.2 VARIATION DES PARAMETRES DE STRUCTURE ENTRE LES UNITES DE VEGETATION

La plantation forestière est l'unité végétale la plus dense avec 705±109 pieds.ha⁻¹ suivie de la forêt galerie avec 619±228 pieds.ha⁻¹ qui ne sont pas statistiquement différentes ($p < 0,05$) (Figure 3, Tableau 2). Similairement, la forte valeur de la surface terrière est observée dans la plantation forestière suivie de forêt galerie. Le diamètre moyen des arbres et arbustes varie de 9,51±1,35 cm à 27,93±6,85 cm respectivement des savanes arbustives aux forêts galeries ($F=109,7$; $p < 2e^{-16}$) et sont significativement différentes entre elles. La faible valeur moyenne de la hauteur des arbres et arbustes est observée dans les savanes arbustives (2,84±0,52 m) et la plus élevée dans les forêts galeries (9,39±2,22 m).

Tableau 2. Valeurs moyennes et écart-types des variables de la structure par unité de végétation

Unités de végétation	Hauteur moyenne (m)	Diamètre moyen (m)	Densité (pied.ha ⁻¹)	Surface terrière (m ² .ha ⁻¹)
Forêt galerie	9,39±2,22 ^a	27,93±6,85 ^a	619±228 ^a	2,75±1,42 ^a
Savane arborée	4,16±0,73 ^b	12,88±2,57 ^c	363±142 ^b	0,58±0,29 ^b
Savane arbustive	2,84±0,51 ^c	9,51±1,35 ^d	304±109 ^b	0,25±0,15 ^b
Plantation	8,22±0,79 ^a	21,89±3,39 ^b	705±109 ^a	3,36±0,96 ^a

Les lettres en exposant indiquent des différences significatives selon le test de Tukey au seuil de 5%. Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes.

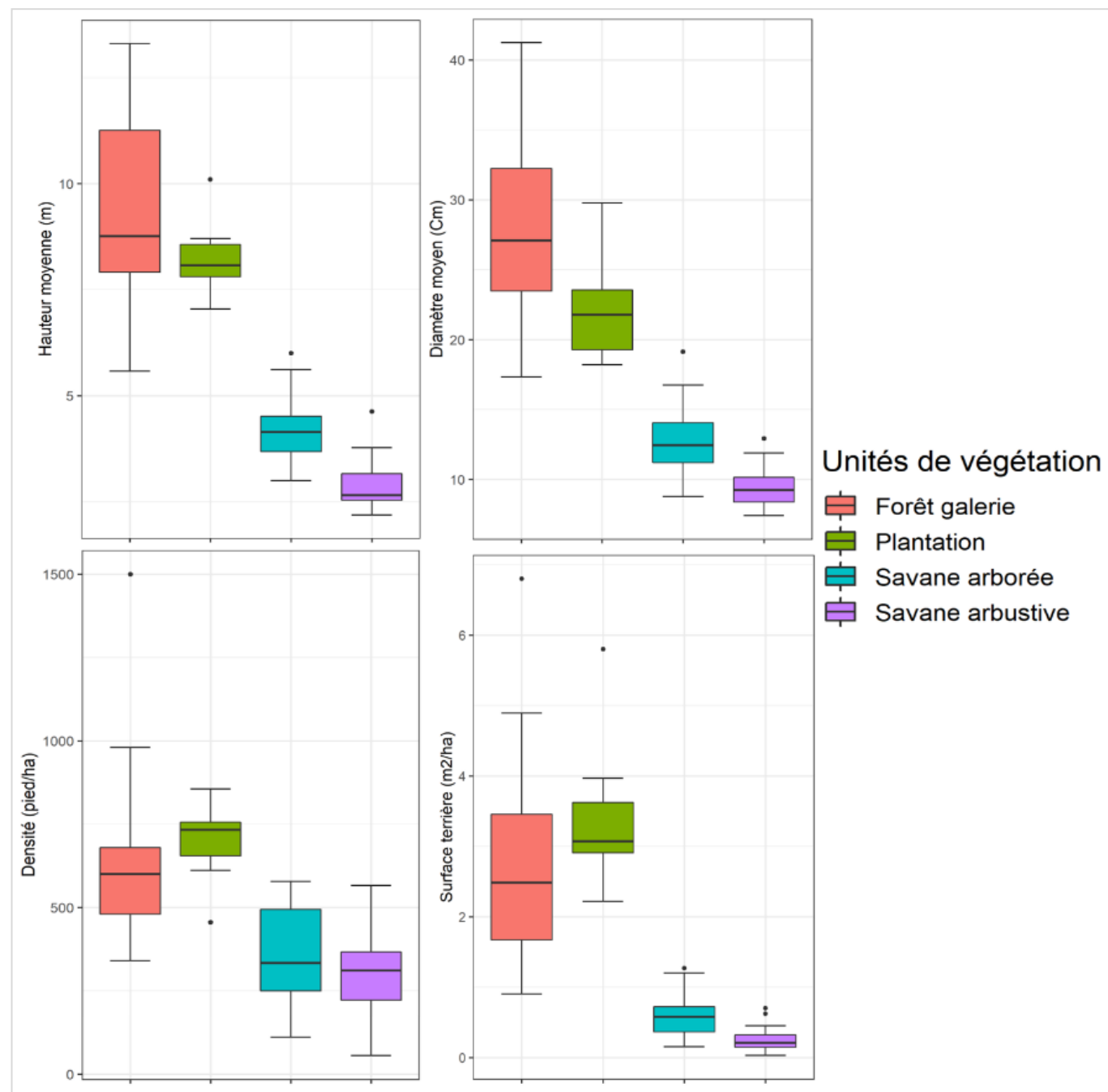


Fig. 3. Distribution de la hauteur, le diamètre, la densité et la surface terrière dans les unités de végétation

3.3 VARIATION DU STOCK DE CARBONE ENTRE LES UNITES DE VEGETATION

L'analyse de la variance montre que le stock de carbone aérien varie significativement entre les unités de végétation de la Forêt Classée de Péni ($F = 56,84$; $p < 2e^{-16}$). Les forêts galeries stockent plus de carbone ($131,80 \pm 75,45 \text{ t.ha}^{-1}$) que les autres unités de végétation de la FCP. Elles sont suivies par les plantations à *Gmelina* ($68,28 \pm 20,55 \text{ t.ha}^{-1}$). Par ailleurs, des différences significatives existent entre les stocks de carbone de ces deux formations et les stocks de carbone des savanes arborées et arbustives. En revanche, il n'existe pas de différence significative ($t = -0,54$; $p < 0,95$) entre les stocks de carbone des savanes arborées ($8,86 \pm 6,19 \text{ t.ha}^{-1}$) et ceux des savanes arbustives ($2,56 \pm 2,31 \text{ t.ha}^{-1}$) qui ont les stocks de carbone le plus faible (Figure 4).

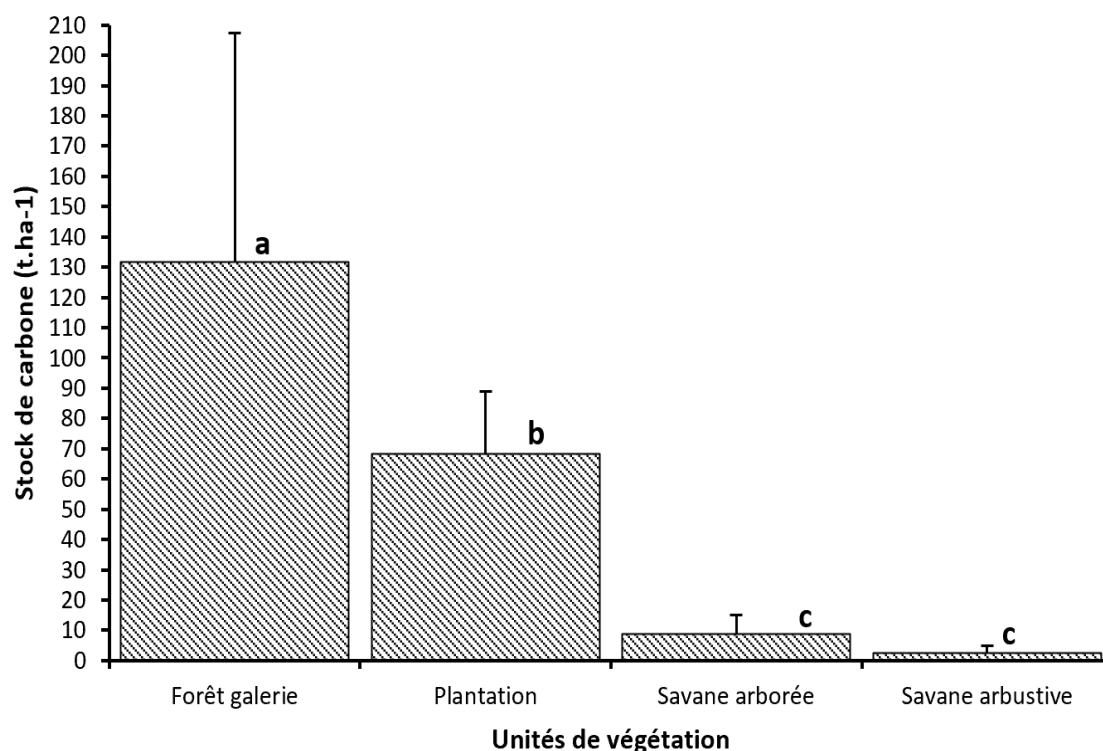


Fig. 4. Comparaison du stock de carbone aérien entre les unités de végétation de la FCP

3.4 RELATIONS ENTRE LE STOCK DE CARBONE ET LES ATTRIBUTS FORESTIERS

Le test de corrélation de Pearson a montré des corrélations significatives du stock de carbone avec certains attributs de diversité et certains paramètres de structure d'une unité de végétation à l'autre (Tableau 3). Dans les forêts galeries, le stock de carbone est négativement corrélé à l'indice de Shannon ($R = -0,47$; $p = 0,01$) et positivement corrélé avec tous les paramètres de structure ($0,98 \leq R \leq 0,60$; $p < 0,0001$). Dans les plantations à *Gmelina*, le stock de carbone n'est corrélé à aucun attribut de diversité. Il est en revanche positivement corrélé avec la surface terrière ($R = 0,98$; $p < 0,0001$), les diamètres des arbres ($R = 0,80$; $p = 0,00$) et les hauteurs des arbres ($R = 0,65$; $p = 0,03$) pour les paramètres de structure de cette unité de végétation. Quant aux savanes arborées, le stock de carbone est positivement corrélé avec tous les attributs de diversité ($0,62 \leq R \leq 0,60$; $p = 0,00$) et certaines variables des paramètres de structure tels que la densité des tiges ($R = 0,63$; $p = 0,00$) et la surface terrière ($R = 0,96$; $p < 0,0001$). Pour les savanes arbustives, une corrélation positive existe entre le stock de carbone et tous les paramètres de structure ($0,89 \leq R \leq 0,51$; $p \leq 0,01$). Pour les attributs de diversité de cette unité de végétation, le stock de carbone est positivement corrélé avec la riche spécifique ($R = 0,41$; $p = 0,00$) et à l'indice de Shannon ($R = 0,38$; $p = 0,01$).

Tableau 3. Corrélation entre les attributs de diversité et le stock de carbone par unités de végétation de la FCP

Unités de végétation	Variables	SC	p-value
Forêt galerie	Richesse spécifique	-0,21	0,21
	Indice de Shannon	-0,47*	0,01
	Densité de tiges	0,60***	< 0,0001
	Surface terrière	0,98***	0,00
	Diamètre des arbres	0,73***	< 0,0001
	Hauteur des arbres	0,72***	< 0,0001
Savane arborée	Richesse spécifique	0,62***	0,00
	Indice de Shannon	0,60***	0,00
	Densité de tiges	0,63***	0,00
	Surface terrière	0,96***	< 0,0001
	Diamètre des arbres	0,28	0,19
	Hauteur des arbres	0,46*	0,03
Savane arbustive	Richesse spécifique	0,55***	0,00
	Indice de Shannon	0,47**	0,01
	Densité de tiges	0,51***	0,00
	Surface terrière	0,82***	< 0,0001
	Diamètre des arbres	0,70***	< 0,0001
	Hauteur des arbres	0,89***	< 0,0001
Plantation à <i>Gmelina</i>	Richesse spécifique	0,30	0,37
	Indice de Shannon	0,18	0,61
	Densité de tiges	0,30	0,36
	Surface terrière	0,98***	< 0,0001
	Diamètre des arbres	0,80***	0,00
	Hauteur des arbres	0,65*	0,03

Corrélations significatives: « * » valeur de $p < 0,05$; « ** » valeur $p < 0,01$; « *** » valeur de $p < 0,001$.

3.5 MODELES D'ESTIMATION DU STOCKAGE DE CARBONE DES UNITES DE VEGETATION

L'analyse de la régression linéaire multiple entre le stock de carbone, les attributs de diversité et les paramètres de structure, qui lui sont corrélés, est présentée dans les tableaux 4, 5, 6, 7 respectivement pour les forêts galeries, les plantations à *Gmelina*, les savanes arborées et les savanes arbustives. La sélection des équations de prédiction est présentée dans le tableau 8. La surface terrière (St) explique 95% de la variation du stock de carbone des forêts galeries avec pour équation de prédiction $SC = -11,26 + 51,29St$ (AIC=241,67; $p < 2,2e^{-16}$). Similairement, la surface terrière (St) explique 95% de la variation de son stock de carbone avec pour équation de prédiction $SC = -2,43 + 21,04St$ (AIC=67,85; $p=0,00$) dans les plantations à *Gmelina*. Cette même variable explique la variation du stock de carbone des savanes arborées (92%) avec pour équation de prédiction $SC = -2,88 + 20,33St$ (AIC=95,00; $p=3,39e^{-13}$). Dans les savanes arbustives, la combinaison de la surface terrière (St), du diamètre moyen (Dm) et de la hauteur moyenne (Hm) explique 92% de la variation du stock de carbone avec pour équation de prédiction $SC = -2,74 - 0,45Dm + 11,11St + 2,39Hm$ (AIC=68,55; $p=3,04e^{-13}$). Pour l'ensemble des formations végétales, la droite de régression linéaire entre le stock de carbone prédit et le stock de carbone calculé est presque confondue avec la droite d'équation $y=x$ (Figure 5).

Tableau 4. Modèles allométriques d'estimation du stock de carbone d'une forêt galerie

	Modèles	Variables	α	SE	t-value	Pr (>t)	R ² ajusté	RSE	F	P-value	AIC
1.)	SC ~ H + Dm + Hm + De + St	Intercepte	-15,26	38,98	-0,39	0,70	0,97	16,11	587,30	< 2,2e ⁻¹⁶	241,67
		H	-9,35	7,18	-1,30	0,20					
		Dm	-0,57	1,82	-0,31	0,75					
		Hm	5,29	3,11	1,70	0,10					
		De	-0,00	0,04	-0,02	0,98					
		St	47,38	8,54	5,55	0,00 ***					
2.)	SC ~ St	Intercepte	-11,26	6,62	-1,70	0,1	0,95	16,11	587,30	< 2,2e ⁻¹⁶	247,43
		St	51,29	2,14	24,23	<2e ⁻¹⁶ ***					

SC: densité du stock de carbone; H: Indice de diversité de Shannon; De: Densité des arbres; St: Surface terrière; Dm: diamètre moyen; Hm: hauteur moyenne.

Tableau 5. Modèles allométriques d'estimation du stock de carbone d'une plantation

	Modèles	Variables	α	SE	t-value	Pr (>t)	R ² ajusté	RSE	F	P-value	AIC
3.)	SC ~ Dm + Hm + St	Intercepte	-15,08	17,31	-0,87	0,41	0,94	4,81	58,55	0,00	70,80
		Hm	3,03	3,68	0,82	0,43					
		Dm	-0,57	1,15	-0,50	0,64					
		St	21,11	2,80	7,54	0,00***					
4.)	SC ~ St	Intercepte	-2,43	5,13	-0,47	0,65	0,95	4,45	204,30	0,00	67,85
		St	21,04	1,47	14,29	0,00 ***					

SC: densité du stock de carbone; St: Surface terrière; Dm: diamètre moyen; Hm: hauteur moyenne.

Tableau 6. Modèles allométriques d'estimation du stock de carbone d'une savane arborée

	Modèles	Variables	α	SE	t-value	Pr (>t)	R ² ajusté	RSE	F	P-value	AIC
5.)	SC ~ S + H + De + St + Hm	Intercepte	-9,90	4,94	-2,00	0,06	0,92	1,73	53,09	8,90e ⁻¹⁰	97,48
		S	-0,40	0,31	-1,25	0,23					
		H	3,39	2,55	1,33	0,20					
		De	0,00	0,00	0,25	0,80					
		St	19,47	2,48	7,86	0,00 ***					
		Hm	1,15	0,80	1,44	0,17					
6.)	SC ~ St	Intercepte	-2,88	0,82	-3,50	0,00 **	0,92	1,75	253,5	3,39e ⁻¹³	95,00
		St	20,33	1,28	15,92	3,39e ⁻¹³ ***					

SC: densité du stock de carbone; S: Richesse spécifique; H: indice de Shannon; De: Densité des arbres; St: Surface terrière; Hm: Hauteur moyenne

Tableau 7. Modèles allométriques d'estimation du stock de carbone d'une savane arbustive

	Modèles	Variables	α	SE	t-value	Pr (>t)	R ² ajusté	RSE	F	P-value	AIC
7.)	SC ~ S + H + Dm + De + St + Hm	Intercepte	0,16	1,68	0,99	0,92	0,93	0,60	71,39	1,63e ⁻¹⁴	66,76
		S	0,08	0,11	0,78	0,44					
		H	-0,97	0,74	-1,31	0,20					
		Dm	-0,58	0,18	-3,19	0,00 **					
		De	-0,00	0,00	-1,55	0,13					
		St	14,75	2,11	5,42	0,00 ***					
		Hm	2,29	0,43	5,25	0,00 ***					
8.)	SC ~ Dm + St + Hm	Intercepte	-2,74	1,07	-2,56	0,01 *	0,92	0,64	123,40	3,04e ⁻¹⁶	68,55
		Dm	-0,45	0,15	-2,84	0,00 **					
		St	11,11	1,24	8,92	0,00 ***					
		Hm	2,39	0,39	6,05	0,00 ***					

SC: densité du stock de carbone; S: Richesse spécifique; H: Indice de Shannon; De: Densité des arbres; St: Surface terrière; Dm: diamètre moyen; Hm: hauteur moyenne.

Tableau 8. Sélection d'équations allométriques pour la prédiction du stock de carbone par Unités de végétation

Unités de végétation	Equations allométriques
Forêt galerie	SC = -11,26 + 51,29St
Plantation	SC= -2,43+21,04St
Savane arborée	SC=-2,88+20,33St
Savane arbustive	SC= -2,74-0,45Dm+11,11St+2,39Hm

SC: densité du stock de carbone; St: Surface terrière; Dm: diamètre moyen; Hm: hauteur moyenne

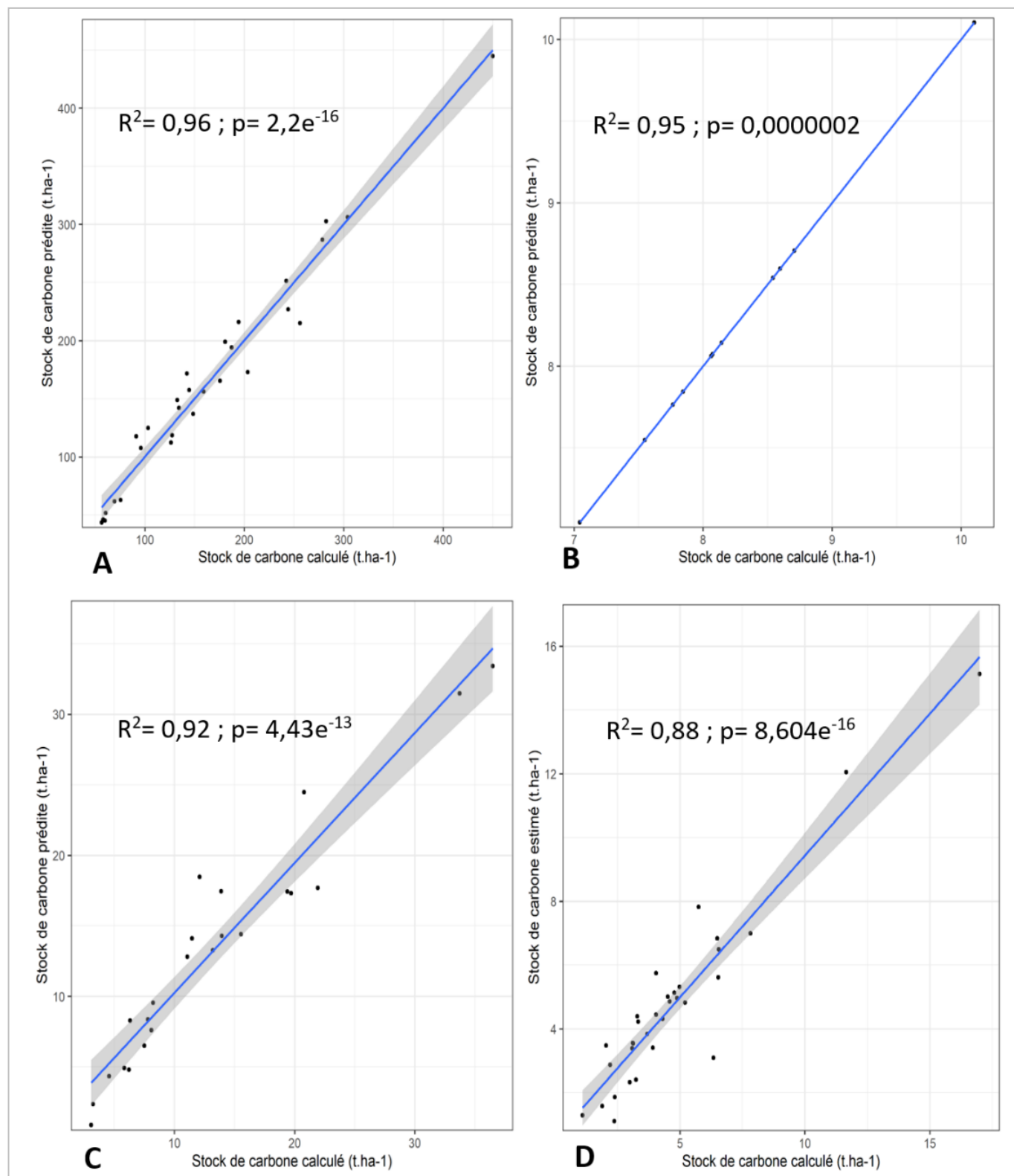


Fig. 5. Droite de régression entre le stock de carbone prédit et le stock de carbone calculé dans A: la forêt galerie, B: la plantation, C: la savane arborée et D: la savane arbustive

4 DISCUSSION

4.1 REPARTITION DU CARBONE ENTRE LES UNITES DE VEGETATION

Le stock de carbone aérien varie significativement entre les unités de végétation. Les fortes quantités de carbone sont observées dans les forêts galeries ($131,80 \pm 75,45 \text{ t.ha}^{-1}$) et les plantations à *Gmelina* ($68,28 \pm 20,55 \text{ t.ha}^{-1}$) tandis que les faibles quantités sont observées dans les savanes arborées et arbustives. Ces résultats corroborent les études de [25] dans la réserve forestière de Bellefoungou où les forêts galeries et les plantations stockaient plus que les savanes arborées et arbustives. Les stocks de carbone élevés dans ces formations, seraient liés, d'une part, à la densité des individus et, d'autre part, à l'allométrie des espèces dans ces unités de végétation [37], [35]. Par ailleurs, les valeurs élevées du stock de carbone dans les forêts galeries par rapport aux autres unités de végétation pourraient s'expliquer par l'abondance d'arbres de grande taille dans ce type de végétation en raison des conditions environnementales. En effet, comparativement aux autres unités de végétation, les forêts galeries ont une humidité plus élevée et des nutriments qui favorisent la croissance des arbres. Il n'y a pas de différence entre la valeur du stock de carbone des savanes arborées et celui des savanes arbustives. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que ces deux types de formations végétales ont sensiblement les mêmes densités d'arbres à l'hectare. [35] affirme que dans certaines situations, seule la densité des individus peut influencer la variation du stock de carbone. Nos résultats confirment cette assertion. De plus, ce résultat pourrait s'expliquer par la forte pression anthropique qui pèse sur les gros sujets [38]. En effet, les arbres de grandes tailles et de gros diamètres des savanes arborées sont sujets à des coupes à des fins de fabrication de charbons de bois dans la FCP; ce qui diminue leur densité au détriment des arbustes qui sont plus fréquents dans les savanes arbustives.

4.2 RELATIONS ENTRE LE STOCK DE CARBONE, LA DIVERSITE ET LES PARAMETRE DE STRUCTURE

D'une unité de végétation à l'autre le stock de carbone est significativement corrélé à la plupart des attributs de diversité et des paramètres de structure ($p < 0,05$). Pour les attributs de diversité, la richesse spécifique n'a pas d'effets sur le stock de carbone des forêts galeries et des plantations. [40] ont montré à travers leur étude que l'effet de la richesse spécifique sur la biomasse ne peut être perçu qu'à des superficies de placettes $< 0,01 \text{ ha}$. Nos inventaires ont été réalisés dans des placettes de $0,05 \text{ ha}$ et $0,09 \text{ ha}$ respectivement pour les forêts galeries et les plantations à *Gmelina* ce qui pourrait expliquer nos résultats. Par ailleurs, [39], [26] soutiennent qu'une telle absence de relation entre la richesse spécifique et le stock de carbone pourrait s'expliquer par l'effet de la densité. En effet, les forêts galeries et les plantations sont les unités de végétation les plus denses de la FCP avec respectivement 619 ± 228 et $705 \pm 109 \text{ pieds.ha}^{-1}$. Cette assertion confirme donc nos résultats relatifs aux stocks de carbone des savanes arborées et arbustives, moins denses, corrélés à la richesse spécifique. Pour les paramètres de structure, nos résultats montrent des liens significatifs entre l'ensemble des paramètres de structure (densité de tiges, surface terrière, diamètre et hauteur des arbres) et les stocks de carbone des forêts galeries et des savanes arbustives. En revanche les stocks de carbone des plantations à *Gmelina* ne sont corrélés qu'à la surface terrière, le diamètre et la hauteur des arbres. Les stocks de carbone dans les savanes arborées sont corrélés à la densité, à la surface terrière et à la hauteur.

4.3 FACTEURS INFLUENÇANT LE STOCK DE CARBONE DANS LES UNITES DE VEGETATION DE LA FCP

La régression linéaire multiple a permis d'identifier les modèles ou combinaisons de variables qui gouvernent au mieux le stock de carbone dans les unités de végétation de la FCP. Ces modèles diffèrent d'une formation à l'autre. L'équation de prédiction optimale $SC = -11,26 + 51,29St$ explique 95% de la variation du stock de carbone des forêts galeries avec uniquement la surface terrière comme facteur déterminant. Dans les savanes arborées, le modèle $SC = -2,88 + 20,33St$ explique 92% de la variation du stock de carbone avec pour seule variable la surface terrière. Il en est de même pour les plantations avec le modèle $SC = -2,43 + 21,04St$, expliquant à 95%, la variation du stock de carbone. Tandis que dans les savanes arbustives 88% de la variation du stock de carbone est expliqué par le modèle $SC = -2,74 - 0,45Dm + 11,11St + 2,39Hm$ combinant le diamètre moyen, la surface terrière et la hauteur moyenne. La surface terrière représente la proportion (l'espace et l'étendue) de l'unité de végétation qu'occupe réellement les arbres [40], [35]. Cette proportion est un déterminant clé de l'interception de la lumière et de la croissance des individus [41]. Nos résultats montrent une absence des attributs de diversité dans l'ensemble des différents modèles pourtant plusieurs résultats antérieurs soutiennent une relation diversité-biomasse positive ou stock de carbone [39], [42], [12]. Cela pourrait s'expliquer par la taille de nos placettes qui jouerait un rôle capital dans cette relation diversité-stock de carbone [39].

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'avoir une meilleure compréhension des variations du stock de carbone des unités de végétation d'une même forêt. Deux aspects issus de cette étude paraissent importants pour améliorer les estimations des stocks de carbone. Premièrement, la corrélation du stock de carbone avec les variables des attributs de diversité et les paramètres de structure pris individuellement, et leur influence en association dans chaque unité de végétation de la FCP ont montré l'importance de la surface terrière dans l'estimation des stocks de carbone. En effet, plus la placette est couverte plus la biomasse et le stock de carbone augmentent. Les variations spatiales de la biomasse entre les unités de végétation sont liées à l'hétérogénéité spatiale des gros arbres au sein de la FCP. Deuxièmement, l'absence des attributs de diversité dans l'ensemble des modèles renvoie à la problématique de la taille de placette idéale pour l'inventaire de végétation pour l'estimation du stock de carbone. Ces résultats ont des implications pratiques sur la cartographie du carbone pour son suivi dans les forêts du Burkina Faso afin d'atteindre les objectifs d'atténuation du changement climatique.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par la bourse nationale du Burkina Faso.

REFERENCES

- [1] Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., Kurz W.A., Phillips O.L., Shvidenko A., Lewis S.L., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Pacala S.W., McGuire A.D., Piao S., Rautiainen A., Sitch S., & Hayes D., 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333: 988-993.
- [2] CCGD (Commissariat général au développement durable), 2019. *EFES – La séquestration du carbone par les écosystèmes français*. La Documentation Française (ed.). Collection Théma Analyse, e-publication. 102 p.
- [3] Awé D.V., Noiha N.V., Chimi D.C., Ganamé M., Vroh B.T.A., & Zapfack L., 2021. Allometric Models for Predicting Biomass and Carbon Pools of *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) Populations in Central Africa: A Case Study from Cameroon. *Research Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 1: 123-146. DOI: 10.31586/rjees.2021.156
- [4] Angelsen A., Brockhaus M., Sunderlin W.D. & Verchot L.V., 2013. *Analyse de la REDD+ : les enjeux et les choix*. Center for International Forestry Research (CIFOR). 520p. <https://doi.org/10.17528/cifor/004100>.
- [5] Gibbs H.K., Brown S., Niles J.O. & Foley J.A., 2007. Monitoring and Estimating Tropical Forest Carbon Stocks: Making REDD a Reality. *Environmental Research Letters*, 2, 045023 (13pp). <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045023>.
- [6] Saatchi S.S., Harris N.L., Brown S., Lefsky M., Edward T. A., Mitchard E.T.A, Salas W., Zutta B.R., Buermann W., Lewis S.L., Hagen S., Petrova S., White S., Silman M. & Morel A., 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (24): 9899-9904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>.
- [7] Baccini A., Goetz S., Walker W., Laporte N.T., Sun M., Sulla-Menashe D., Hackler J., Beck P. S. A., Dubayah R., Friedl M. A., Samanta S. & Houghton R. A., 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2: 182–185. <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>.
- [8] Clark D.B. & Kellner J.R., 2012. Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. *J. Veg. Sci.*, 23: 1191-1196.
- [9] Goetz S.J., Hansen M.C., Houghton R.A., Walker W., Laporte N. & Busch J., 2015. Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation and forest degradation under Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation. *Environmental Research Letters*, 10: 2-25. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/123001>.
- [10] Kuyah S., Dietz J., Muthuri C., Jamnadass R., Mwangi P., Coe R. & Neufeldt H., 2012a. Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: I. Above biomass. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 158: 216-224.
- [11] Kuyah S., Dietz J., Muthuri C., Jamnadass R., Mwangi P., Coe R. & Neufeldt H., 2012b. Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: II. Belowground biomass. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 158: 225-234.
- [12] Dimobe K., Kuyah S., Dabré Z., Ouédraogo A. & Thiombiano A., 2019. Diversity-carbon stock relationship across vegetation types in W National Park in Burkina Faso. *Forest Ecology and Management*, 438: 243-254. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.027>
- [13] Dimobe K., Goetze D., Ouédraogo A., Mensah S., Akpagana K., Porembski S. & Thiombiano A., 2018a. Aboveground biomass allometric equations and carbon content of the shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., Sapotaceae)

- components in Sudanian savannas (West Africa). *Agroforestry Systems*, 93: 1119-1132. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0213-y>.
- [14] Dimobe K., Mensah S., Goetze D., Ouédraogo A., Kuyah S., Porembski S., & Thiombiano A., 2018b. Aboveground biomass partitioning and additive models for *Combretum glutinosum* and *Terminalia laxiflora* in West Africa. *Biomass and Bioenergy*, 115: 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.022>
- [15] Ouedraogo I., Nacoulma B.M.I., Ouedraogo O., Hahn K. & Thiombiano A., 2014. Productivité et valeur économique des calices de *Bombax costatum* Pellegr. & Vuillet en zone soudanienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*. 68, 31-41. <https://doi.org/10.19182/bft2014.319.a20550>.
- [16] Bayen P., Bognounou F., Lykke A.M., Ouédraogo M. & Thiombiano A., 2015. The use of biomass production and allometric models to estimate carbon sequestration of *Jatropha curcas* L. plantations in western Burkina Faso. *Environment, Development and Sustainability*, 18: 143-156. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9631-4>.
- [17] Sawadogo L., Savadogo P., Tiveau D., Dayamba S.D., Zida D., Nouvellet Y., Oden P.C. & Guinko S., 2010. Allometric prediction of above-ground biomass of eleven woody tree species in the Sudanian savanna-woodland of West Africa. *Journal of Forestry Research*, 21: 475-481. <https://doi.org/10.1007/s11676-010-0101-4>.
- [18] Ganamé M., Bayen P., Ouédraogo I., Balima L.H. & Thiombiano A., 2021. Allometric models for improving aboveground biomass estimates in West African savanna ecosystems. *Trees, Forests and People*, 4: 100077. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100077>.
- [19] Chave J., Rejou M.M., Burquez A., Chidumayo E., Colgan M.S., Delitti W.B.C., Duque A., Eid T., Fearnside P.M., Goodman R.C., Henry M., Martinez Yrizar A., Mugasha W.A., Muller-Landau H.C., Mencuccini M., Nelson B.W., Ngomanda A., Nogueira E.M., Ortiz-Malavassi E., Pélissier R., Ploton P., Ryan C.M., Saldarriaga J.G. & Vieilledent G., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: 3177-3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>.
- [20] Guinko S., 1984. *La végétation de la Haute-Volta*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Bordeaux III, Bordeaux, 2 vol., 394 p.
- [21] Fontès J., & Guinko S., 1995. *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso*. Notice explicative plus carte. Toulouse: Ministère de la coopération française, projet Campus, 67 p.
- [22] Base Nationale de Données Topographiques (BNDT), 2012. Institut Géographique du Burkina. Burkina Faso.
- [23] Henry M., Picard N., Trotta C., Manlay R., Valentini R., Bernoux M. & Saint-André L., 2011. Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fennica*, 45 (3B). DOI: 10.14214/sf.38.
- [24] Ouédraogo W.O., Gomgnimbou A.P.K., Santi S., Ilboudo D. & Toguyeni A., 2019. Quantification de la Biomasse et stockage du carbone du massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Dindéréso, province du Houet au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (7): 3276-3288. DOI: 10.4314/ijbcs.v13i7.24.
- [25] Mensah S., Noulèkoun F. & Ago E.E., 2020. Aboveground tree carbon stocks in West African semi-arid ecosystems: Dominance patterns, size class allocation and structural drivers. *Global Ecology and Conservation*, 24: e01331. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01331>.
- [26] Balima L.H., Kouamé N.F., Bayen P., Ganamé M., Nacoulma M.I.B., Thiombiano A. & Soro D., 2021. Influence of climate and forest attributes on aboveground carbon storage in Burkina Faso, West Africa. *Environmental Challenges*, 4: 100123. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100123>.
- [27] Sebrala H., Abich A., Negask M., Asrat Z. & Lojka B., 2022. Tree allometric equations for estimating biomass and volume of Ethiopian forests and establishing a database: Review. *Trees, Forests and People*, In press, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100314>.
- [28] Thiombiano A., Glèlè-Kakai R., Bayen P. Boussim J.I. & Mahamane A., 2016. Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'Ouest: état des lieux et propositions pour une harmonisation. *Annales des Sciences Agronomiques* 20, - spécial Projet Undesert-UE: 15-31.
- [29] Traoré L., 2013. Influence du climat et de la protection sur la végétation ligneuse de la partie occidentale du Burkina Faso. Thèse de Doctorat de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 228 p.
- [30] Kent M. & Coker P., 2003. *Vegetation description and analysis. A practical approach*. John Wiley et Sons Eds, 363 p.
- [31] Chave J., Coomes D., Jansen S., Lewis S.L., Swenson N.G. & Zanne A.E., 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology letters*, 12: 351-366. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x.
- [32] Zanne A.E., Lopez-Gonzalez G., Coomes D.A., Ilic J., Jansen S., Lewis S.L., Miller R.B., Swenson N.G., Wieman M.C. & Chave J., 2009. Data from: towards a worldwide wood economics spectrum. *Dryad* <https://doi.org/10.1111...61-0248.2009.01285.x>.
- [33] GIEC, 2006. Lignes directrices pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Institute for Global Environmental Strategies, Japon, 25 p.

- [34] Réjou-Méchain M., Tanguy A., Pioniot C., Chave J. & Hérault B., 2017. Biomass: an R package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 8 (9) 1163-1167. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12753>.
- [35] GIEC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies, Japon, 25 p.
- [36] Ganamé M., 2021. Dynamique spatio-temporelle et potentiel du stock de carbone aérien des écosystèmes forestiers du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 167p.
- [37] R Core Team, 2022. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- [38] Ma L., Shen C.Y., Fu S.L., Lian J.Y. & Ye W.H., 2018. Temporal and spatial patterns in aboveground biomass within different habitats in a sub-tropical forest. *Journal of Tropical Forest Science*, 30 (2): 143-153. <https://doi.org/10.26525/jtfs2018.30.2.143153>.
- [39] Mbow C., 2009. *Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudanaises et soudano- guinéennes du Sénégal*. Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal, 291 p.
- [40] Chisholm R.A., Muller-Landau H.C., Rahman K.A., Daniel P., Bebb D.P., Bin Y., Bohlman S.A., Bourg N.A., Brinks J., Bunyavejchewin S., Butt N., Cao H., Cao M., Cárdenas D., Chang L-W., Chiang J-M., Chuyong G., Condit R., Dattaraja H.S., Davies S., Duque A., Fletcher C., Gunatilleke N., Gunatilleke S., Hao Z., Harrison R.D., Howe R., Hsieh C-F., Hubbell S.P., Itoh A., Kenfack D., Kiratiprayoon S., Larson A.J., Lian J., Lin D., Liu H., Lutz J.A., Ma K., Malhi Y., McMahon S., McShea W., Meegaskumbura M., Razman S.M., Morecroft M.D., Nytch C.J., Oliveira A., Parker G.G., Pulla S., Punchi-Manage R., Romero-Saltos H., Sang W., Schurman J., Su S-H., Sukumar R., Sun I-F., Suresh H.S., Tan S., Thomas D., Thomas S., Thompson J., Valencia R., Wolf A., Yap S., Ye W., Yuan Z. & Zimmerman J.K., 2013. Scale-dependent relationships between tree species richness and ecosystem function in forests. *Journal of Ecology*, 101: 1214-1224. doi: 10.1111/1365-2745.12132.
- [41] Jucker T., Sanchez A.C., Lindsell J.A., Allen H.D., Amable G.S. & Coomes D.A., 2016. Drivers of aboveground wood production in a lowland tropical forest of West Africa: teasing apart the roles of tree density, tree diversity, soil phosphorus, and historical logging. *Ecology and Evolution*, 6 (12): 4004-4017. <https://doi.org/10.1002/ece3.2175>.
- [42] Coomes D.A., Flores O., Holdaway R., Jucker T., Lines E.R. & Vanderwel M.C., 2014. Wood production response to climate change will depend critically on forest composition and structure. *Global Change Biology*, 20: 3632-3645.
- [43] Mensah S., Veldtman R., Du Toit B., Glèlè Kakaï R. & Seifert T., 2016. Aboveground biomass and carbon in a South African mistbelt forest and the relationships with tree species diversity and forest structures. *Forests*, 7 (4): 1-17.

Étude ethnopharmacologique des plantes utilisées en médecine traditionnelle dans le canton de Sédomé, en bordure du parc national de Togodo-Sud, district de Yoto au Togo

[Ethnopharmacological study of plants used in traditional medicine in the canton of Sédomé, bordering the Togodo-Sud National Park, District of Yoto in Togo]

Ouro-Djeri Hafez^{1,2}, Koudouvo Koffi¹, Tchacondo Tchadjobo², and Ouro-Djeri Essowé³

¹Centre de Recherche et de Formation sur les Plantes Médicinales (CERFOPLAM), Laboratoire de Physiologie et Pharmacologie des Substances Naturelles, Faculté des Sciences, Université de Lomé, Lomé, Togo

²Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires et de Santé Environnementale (LaSBASE), Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires, Université de Lomé, Lomé, Togo

³Laboratoire de Recherche sur la dynamique des milieux et des sociétés (LARDYMES), Université de Lomé, Lomé, Togo

Copyright © 2022 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 population of the canton of Sédomé, a locality bordering the Togodo-Sud National Park (PNTS) (District of Yoto in Togo), uses a diversity of plant species for which little scientific work has been done. This study is devoted to the inventory of plants and plant recipes with therapeutic potential in Sédomé, with the aim of enhancing the value of these plants. From March to September 2020, an ethnobotanical survey, based on a semi-structured questionnaire, was carried out with 72 practitioners of traditional medicine. 141 species belonging to 60 families have been identified. The most represented families were Fabaceae (12 species), Euphorbiaceae (09 species), Asteraceae and Poaceae (08 species each). The most cited species were: *Citrus aurantifolia* (Christm. & Panzer) Swingle (7.23%), *Newbouldia laevis* Seem, (4.22%) and *Momordica charantia* L. (3.61%). 290 recipes have been inventoried and are used in the treatment of 92 diseases. The decoction (35.86%) and the powder (23.68%) are the main methods of preparation of the recipes which are administered mainly by the oral route (65.34%) and by the cutaneous route (23.93%). The leaves (54.04%) and roots (16.47%) are the most used organs. Most of the organs are collected in riparian vegetation at the PNTS (29.73%), in the gardens (23%) and in the PNTS (20.58%). This study provides a database on plants with therapeutic potential in Sédomé. Future pharmacological studies are possible on these recipes.

KEYWORDS: Medicinal plants, ethnobotany, phytomedicines, Sedomé, Togo.

RESUME: La population du canton de Sédomé, localité limitrophe du Parc National de Togodo-Sud (PNTS) (préfecture de Yoto au Togo), utilise une diversité d'espèces végétales dont peu de travaux scientifiques ont été réalisés. Cette étude est consacrée à l'inventaire des plantes et recettes végétales à potentiel thérapeutique à Sédomé, dans le but de leur valorisation. De mars à septembre 2020, une enquête ethnobotanique, basée sur un questionnaire semi-structuré, a été réalisée auprès de 72 praticiens de la médecine traditionnelle. 141 espèces appartenant à 60 familles ont été identifiées. Les familles les plus représentées étaient les Fabaceae (12 espèces), les Euphorbiaceae (09 espèces), les Asteraceae et les Poaceae (08 espèces chacune). Les espèces les plus citées étaient: *Citrus aurantifolia* (Christm. & Panzer) Swingle (7,23%), *Newbouldia laevis* Seem, (4,22%) et *Momordica charantia* L. (3,61%). 290 recettes ont été inventoriées et sont utilisées dans le traitement de 92 maladies. La décoction (35,86%) et la poudre (23,68%) sont les principaux modes de préparation des recettes qui sont administrées principalement par voie orale (65,34%) et par voie cutanée (23,93%). Les feuilles (54,04%) et les racines (16,47%) sont les organes les plus utilisés. La plupart des organes sont collectés dans la végétation riveraine du PNTS (29,73%), dans les jardins (23%) et dans le PNTS (20,58%). Cette étude fournit une base de données sur les plantes à potentiel thérapeutique à Sédomé. De futures études pharmacologiques sont possibles sur ces recettes.

MOTS-CLEFS: Plantes médicinales, ethnobotanique, phytomédicaments, Sédomé, Togo.

1 INTRODUCTION

La pratique de médecine traditionnelle est influencée par certains facteurs tels que la culture, l'histoire et les philosophies personnelles. Selon l'OMS, près de 80% des populations des pays en voie de développement de la région d'Afrique ont recours à la médecine traditionnelle (OMS, 2000). Hormis les plantes cultivées, plusieurs milliers de plantes sauvages peu connues sont douées de propriétés nutritionnelles et thérapeutiques (Benem et Sanou-Nana, 2009; Benkhniq et al., 2010; Efoe et al., 2020). La phytothérapie propose des remèdes naturels et bien acceptés par l'organisme, elle est souvent associée aux traitements classiques dans les pays occidentaux où, elle connaît, aujourd'hui, un renouveau exceptionnel (Nzuki, 2016). Depuis ces dernières années, de nombreux Etats africains avec l'appui de l'OMS préconisent la valorisation de la médecine traditionnelle dans le cadre d'une redéfinition de leur politique sanitaire. Ainsi, lors de son assemblée générale de l'année 2000, l'OMS recommande l'évaluation de l'innocuité et de l'efficacité des médicaments à base des plantes en vue de standardiser leur usage et les intégrer dans les systèmes de soins conventionnels. Leur plus-value est reconnue dans leur utilisation pour le traitement efficace de diverses affections chroniques, invalidantes ou incurables (OMS, 2012).

En Afrique, les plantes médicinales constituent des ressources précieuses pour la grande majorité des populations rurales qui s'en servent pour assurer leurs soins de santé (Jiofack et al., 2010). Reléguée au dernier plan il n'y a pas si longtemps par les politiques de santé des Etats africains, la médecine traditionnelle connaît un renouveau exceptionnel. L'intérêt que revêt l'utilisation des espèces végétales pour les populations s'explique dans le fait que ces plantes qui sont douées de propriétés thérapeutiques sont bien avant tout, ou pour la majorité, des plantes alimentaires (Dansi et al., 2008; Efoe et al., 2020). Au cours des décennies passées, les hommes n'ont eu que les plantes pour se soigner, qu'il s'agisse de maladies bénignes, comme le rhume ou la toux, ou plus sérieuses, telles que la tuberculose ou le paludisme (Esseh, 2019). Aujourd'hui, du fait que la médecine moderne manque cruellement de nouveaux traitements et que l'efficacité des médicaments tels que les antibiotiques (considérés comme la solution quasi universelle aux infections graves) décroît (Gueye, 2019), les traitements à base de plantes reviennent au premier plan.

Plusieurs recherches scientifiques ont été effectuées sur les ressources végétales au Togo. Certaines ont porté sur la menace de disparition des plantes alimentaires due à des facteurs écologiques et sociales (Akpavi, 2010) ou à l'exclusion des ressources végétales locales en faveur de l'adoption de régimes alimentaires dits évolués (Akpavi et al., 2011). D'autres travaux ont été effectués sur leurs propriétés biologiques telles que les activités antidiabétique (Gbekley et al., 2015) et antimicrobienne (Agban et al., 2013), antiplasmodiale (Agbodeka et al., 2016; Koudouvo et al., 2016; Esseh, 2019). Aussi, les forêts en général et même les forêts sacrées, subissent des dégradations rapides et massives, entraînant la réduction de leur superficie, voire leur disparition complète (Kokou et al., 2005) du fait des actions anthropiques dont la collecte des organes vitaux pour la phytothérapie.

Le canton de Sedomé, notre zone d'étude, est habité par des populations pauvres dont le revenu par tête et par habitant est en moyenne à un dollar US par jour (Blivi, 2007). Ce canton constitué par des villages peuplés en majorité par les Adja, est riverain au PNTS qui est la plus grande réserve de la région maritime au Togo (Sessi, 1998; Atutonu, 2017). Parmi les multiples problèmes à la base de cette pauvreté, figurent les soins de santé primaire, l'accès à l'eau potable et leurs liens avec l'environnement (Koudouvo et al., 2011). Dans cette localité, les problèmes de santé primaire sont assez récurrents par manque d'infrastructures adéquats et de personnels soignants qualifiés et en nombre optimal, relativement au nombre d'habitants des populations à très fort taux de fécondité (Blivi, 2007). Ce tableau lugubre, aggravé par la pauvreté, contraint ces populations à plus de 8 personnes sur 10, à se référer à la médecine traditionnelle (MT) pour leur soin de santé. Des récentes études sur les maladies soignées par la MT dans les populations riveraines du PNTS dont fait partie le canton de Sedomé, (Koudouvo et al., 2011; Dolo et al., 2012) révèlent une dépendance avérée aux phytomédicaments.

Cependant, les pratiques endogènes médicinales de Sedomé ont été peu étudiées. La présente étude vise à réaliser un inventaire des plantes et recettes de plantes à potentiel thérapeutique dans cette localité dans le but de les valoriser.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 CADRE GEOGRAPHIQUE ET POPULATION DE L'ETUDE

Le canton de Sedomé fait partie des vieux cantons de la préfecture de Yoto (région maritime) (Figure 1) qui compose avec cinq autres cantons l'actuelle commune de Yoto 3 depuis les élections communales de 2019. Sedomé est située entre 10.00° et 17.00° latitudes Nord et entre 08°00 et 19°00 longitudes Est (Figure 1). Il est limité au nord par le canton de Tomety-Kondji et du PNTS, au sud et à l'ouest par le canton, à l'est par le fleuve mono. A la suite du quatrième recensement général de la population et de l'habitat en 2010 (RGPH4, 2010), le canton de Sedomé a une population estimée à 10226 habitants dont 5237 de sexe masculin avec un taux de croissance démographique de 3,16 % par an. La végétation est composée de celle du PNTS, des forêts disparates, des reliques de forêts galeries, savanes, prairies. La zone d'étude jouit d'un climat de type type subéquatorial, comportant une grande saison des pluies de mars à juillet (maximum en juin) et une petite saison des pluies de septembre à novembre (maximum en octobre) (Deneau, 1956). La pluviométrie est en moyenne de 800 mm contre 1200 mm pour le reste de la région (Badassam, 2021). L'humidité relative est de l'ordre de 76,5% en moyenne et une évaporation de

61.16 mm. Les vents dans la zone sont relativement faibles, leur vitesse moyenne entre un et trois mètre par seconde (1à 3 m/S). D'une moyenne annuelle comprise entre 28 à 29 °C (Badameli et Dubreuil, 2010), les températures maximales sont, en général, plus élevées en saison sèche qu'en saison pluvieuse (direction générale de la météorologie nationale, 2021). Le groupe majoritaire reste les Adja.

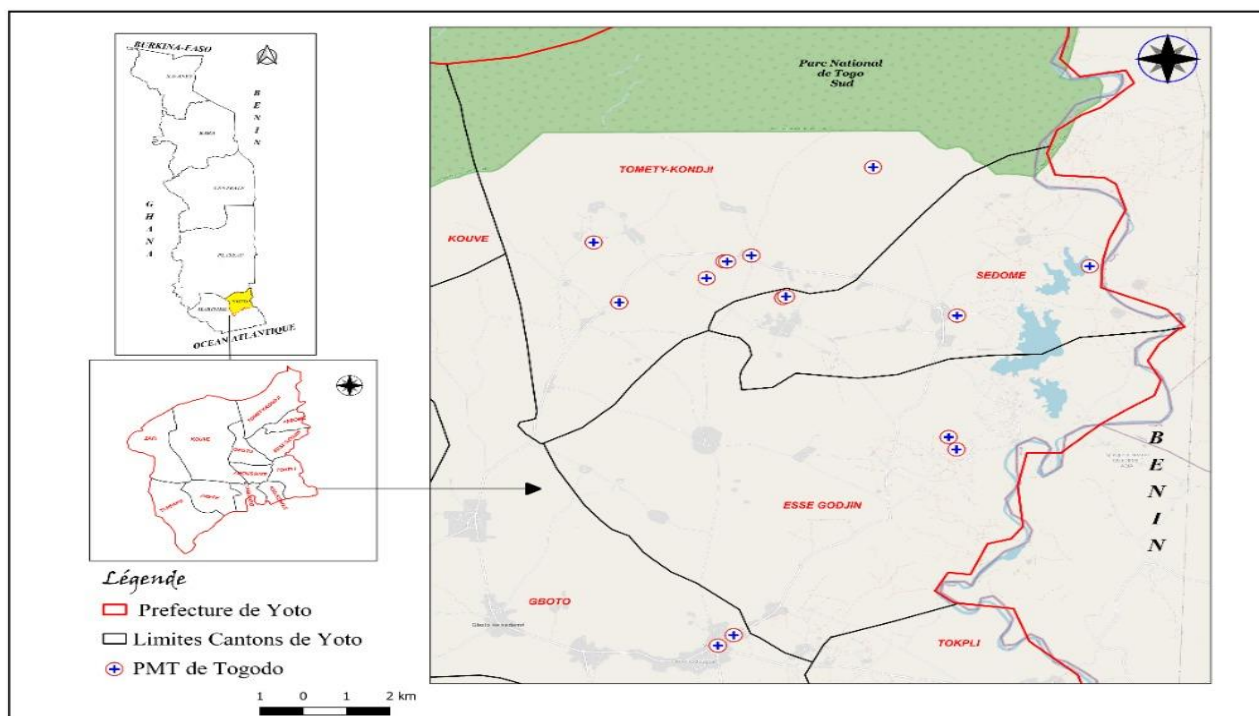


Fig. 1. Carte de la Zone d'étude

Source: OURO-DJERI Hafez, 2020

2.2 METHODOLOGIE DE L'ENQUETE

2.2.1 MATÉRIEL TECHNIQUE

Lors des investigations, le matériel utilisé est composé d'une fiche d'enquête ethnobotanique, d'un appareil de localisation GPS (marque Garmin GPSmap 62) et d'un appareil photo.

2.2.2 TECHNIQUE D'ÉCHANTILLONNAGE

Notre étude est celle ethnobotanique de catégorie descriptive. La technique d'échantillonnage non probabilistique ou non aléatoire par commodité a été utilisée. Elle s'est inspirée des techniques d'échantillonnage connues en ethnobotanique quantitative (Houéhanou et al., 2016).

2.2.3 COLLECTE DES DONNEES ET IDENTIFICATIONS BOTANIQUES

Les données ont été collectées grâce à des interviews individuelles suivant un questionnaire d'enquête semi-structuré rédigé pour la circonstance. La démarche fut dans un premier temps la réunion en groupes focaux et ensuite l'enquête par interview semi structurées réalisée de mars à mai 2020 (Dansi et al., 2008, Koudouvo et al., 2011, Effoé et al., 2020). Au total 72 Praticiens de la médecine traditionnelle (PMTs) ont été enquêtés répartis dans 13 villages.

Le questionnaire a été axé sur sept (7) points principaux notamment (i) l'information identitaire de l'enquêté (nom, prénoms, âge, sexe, religion, niveau d'étude et situation matrimoniale); (ii) l'occupation saisonnière du PMT (saison sèche et saison pluvieuse) (iii) l'information professionnelle (acquisition de la connaissance et expérience professionnelle) (iv) l'information sur les phytomédicaments extemporanés

(maladie traitée, nom de la plante utilisée en langue locale, les organes utilisées, les sites de prélèvement des organes, le mode de préparation de recettes et leurs administrations, la posologie, les interdits, les effets secondaires et l'usage ethnovétérinaire).

L'identification des plantes a été effectuée grâce à la flore analytique du Bénin (Akoègninou et al., 2006). Les souches taxonomiques des bases de données en ligne « Ressources Végétales de l'Afrique Tropicale » (PROTA) sur les sites: www.prota.org et « International Plant Name Index » (IPNI) <http://www.ipni.org>, ont été utilisées pour confirmation. La précision des noms en langues locales a été réalisée en référence à Akoègninou et al. (2006), à Adjanohoun et al. (1986, 1989), au Dictionnaire Monographique de l'Afrique de l'Ouest (Eklou-Natey et al., 2012) et à la Pharmacopée de l'Afrique de l'Ouest, Edition 2 (PAO, 2020).

2.2.4 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données de l'enquête ont été saisies dans le logiciel tableur Excel 2010. Le logiciel ethnobotanique récent Epi Info 12.0 a servi au traitement des données recueillies. Deux (02) indices ethnobotaniques ont été évalués: il s'agit de la Fréquence de citation (FC) (Aburjai et al., 2006) et l'Indice de confirmation ou Consensus d'informateurs (ICF) (Effoe et al., 2020).

Fréquence de citation (FC): La FC de chaque espèce a été évaluée pour apprécier la régularité dans la distribution de l'espèce végétale à l'aide de la formule 1 suivante:

$$FC = (CP/CT) \times 100$$

CP représente le nombre de fois où l'espèce est citée et **CT**, le nombre total de citations.

Indice de confirmation ou Consensus d'informateurs (ICF): Le facteur (degré) d'ICF a été calculé pour apprécier les accords des informateurs sur l'utilisation des plantes à usages thérapeutiques grâce à la formule 2 suivante:

$$ICF = IP/IT$$

IP est le nombre d'informateurs ayant cité une espèce alors que **IT** est le nombre total d'informateurs.

3 RESULTATS

3.1 DONNÉES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES DES PMTS

Notre étude dans le canton de Sedomé, riverain au PNTS, a enrôlé 72 PMTs dont 94,00% de sexe masculin et 6,00% de sexe féminin (Figure 2). Tous les enquêtés sont mariés. Sur les 13 villages enquêtés de ce canton, les villages d'Anatohoé, Tohoedohoé et Adjanou-Kondji regroupent la majorité des enquêtés avec respectivement 18,00%, 17,00% et 12,00% (Figure 3). Leur âge a varié de 23 à 115 ans avec une moyenne d'âge de 52,08 ans. Les PMTs ont été répartis en 03 classes d'âge d'amplitude égale à 20 ans. L'analyse des données sociodémographiques montre que la majorité des PMTs se retrouvent dans deux classes d'âge (40 à 60 ans et >60 ans). Ces deux classes d'âge regroupent 85,00% des enquêtés (Figure 4). L'expérience professionnelle des PMTs varie de 2 à 65 ans avec une majorité de 31,94% située entre 10 et 20 ans (Figure 5). Environ 52,78% des PMTs sont scolarisés; 36,11% ont atteint le niveau primaire et 16,67% le niveau secondaire (Figure 6). Pour ce qui est de l'acquisition de connaissance de la médecine traditionnelle (MT), la majorité des enquêtés a été initié à la pratique de la MT au sein de la famille par voie d'héritage, soit 58,62% tandis que le reste a été initié en dehors du cadre familial ou par don divin (Figure 7, 8 et 9). Des PMTs enquêtés, les Adja et les Ouatchi sont les groupes ethniques majoritaires avec respectivement 83,00% et 15,00% d'enquêtés (Figure 10). Sur le plan religieux, la majorité des enquêtés sont animistes à 89,04% (Figure 11). L'analyse des données socioprofessionnelles montre que la majorité des PMTs exerce l'agriculture comme activité secondaire dans les deux saisons (39,58% en saison pluvieuse et 23,26% en saison sèche) suivi de l'élevage (28,47% en saison pluvieuse et 28,68% en saison sèche) (Figure 12).

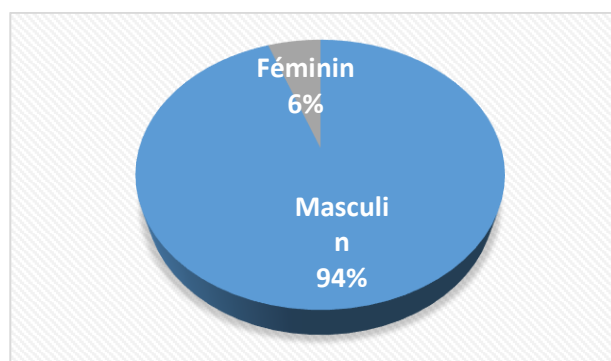


Fig. 2. Sexe des PMTs

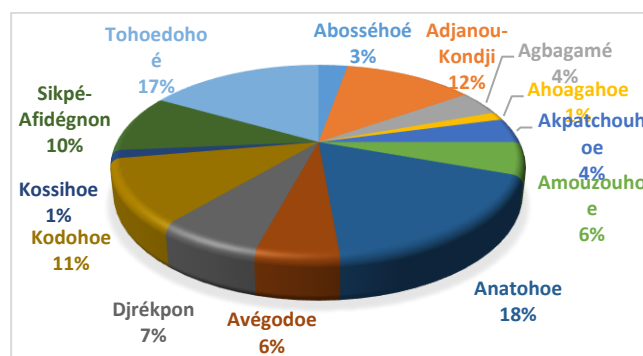


Fig. 3. Répartition des PMT par village

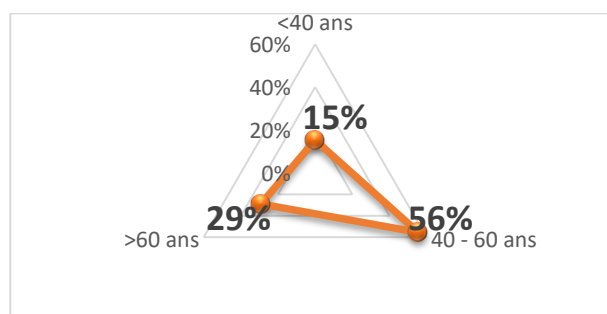


Fig. 4. Tranche d'âges des PMT

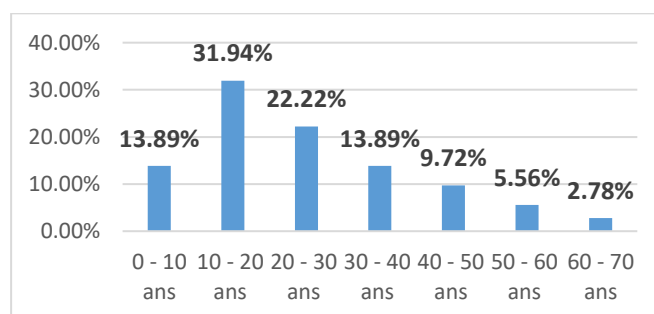


Fig. 5. Expérience professionnelle des PMT

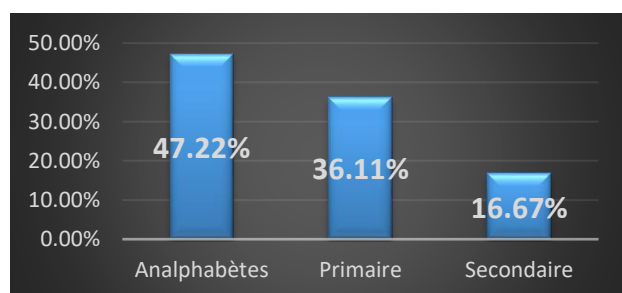


Fig. 6. Niveau de scolarisation des PMT

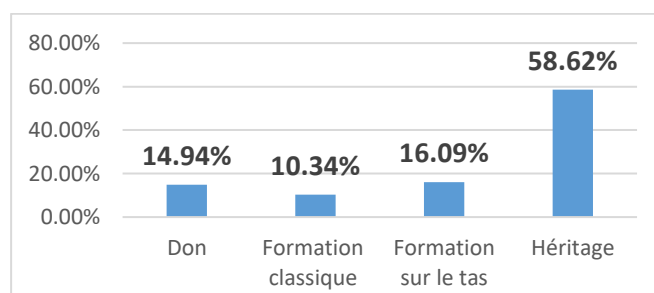


Fig. 7. Acquisition de la connaissance de la Médecine Traditionnelle

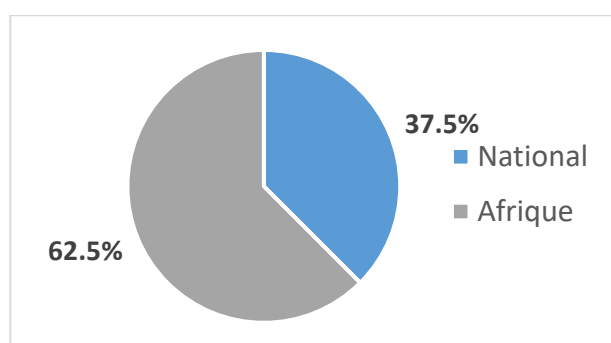


Fig. 8. Lieux de la formation classique des PMTs

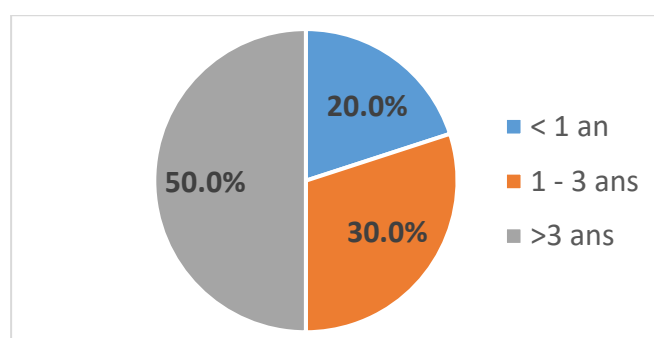


Fig. 9. Durée de la formation classique des PMTs

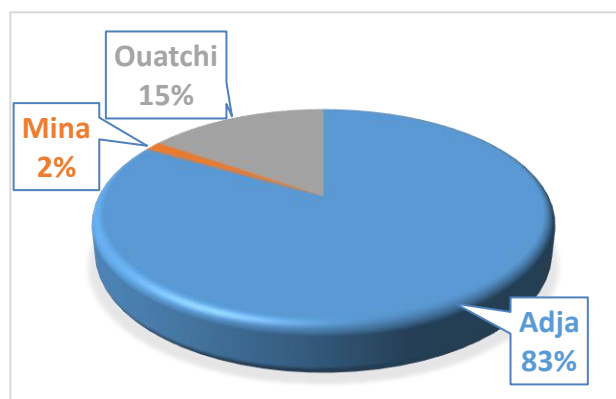


Fig. 10. Groupes ethniques des PMTs

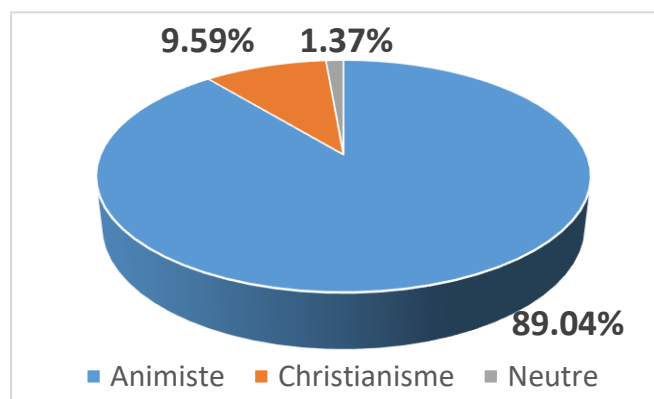


Fig. 11. Religion des PMTs

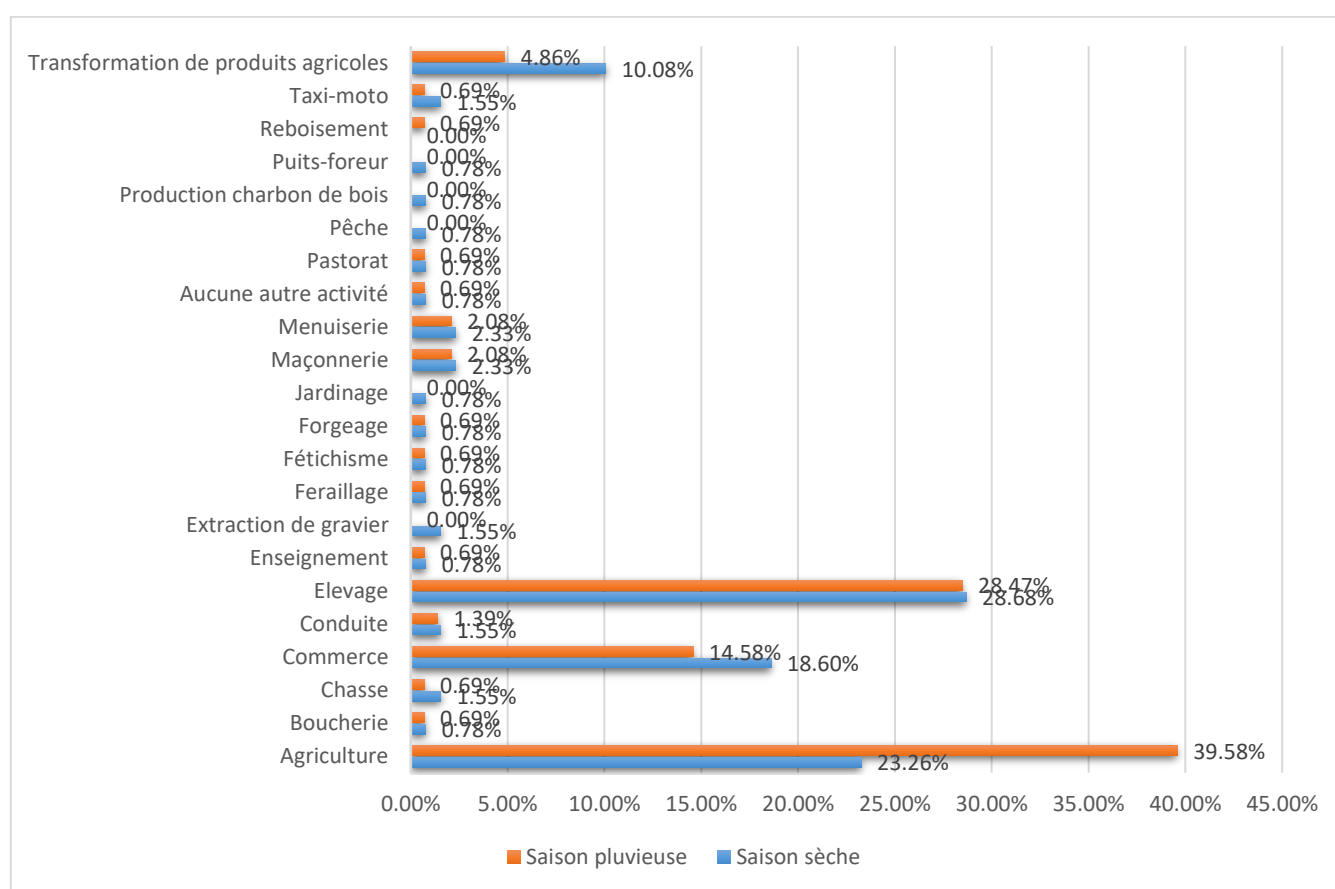


Fig. 12. Vie socioprofessionnelle saisonnière des PMT

3.2 DONNEES ETHNOBOTANIQUE ET ETHNOPHARMACOLOGIQUE

3.2.1 DIVERSITÉ DES PLANTES MÉDICINALES

Au total, 154 espèces végétales appartenant à 60 familles ont été répertoriées au cours de la présente étude comme intervenant dans 290 recettes. Les familles les plus représentées ont été les Fabaceae (9,09%): *Caesalpinia bonduc* Roxb., *Philenoptera cyanescens*, *Cajanus cajan*, *Abrus precatorius* Linn., *Vigna umbellata*, *Clitoria ternatea*, *Senna siamea* (Lam.) H.S.Irwin & Barneby, *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Erythrophleum suaveolens*, *Piliostigma réticulatum*., *Erythrina senegalensis*, *Senna occidentalis*, *Pterocarpus santalinoides*, *Lonchocarpus sericeus* et les Euphorbiaceae (7,79%): *Manihot esculenta*, *Phyllanthus muellerianus*, *Hymenocardia acida* var. *acida*, *Jatropha gossipifolia*, *Jatropha curcas* L, *Tragia senegalensis*, *Macaranga barteri*, *Macaranga spinosa* Müll. Arg, *Malotus oppositifolus*, *Margaritaria discoidea* var.

discoidea, *Euphorbia hirta*, *Bridelia ferruginea*. Les Asteraceae ont été représentés par 6,49% suivies des Apocynaceae et des Poaceae par 5,19% chacune (Figure 13). En termes de citation des espèces par famille, les Rutaceae sont les plus cités (36 citations), ensuite les Bignoniaceae (20 citations) et les Cucurbitaceae (17 citations) (Figure 14).

3.2.2 IMPORTANCE DES ESPÈCES VÉGÉTALES SUIVANT LES INDICES ETHNOBOTANIQUES

Les indices obtenus pour les 154 espèces ont été enregistrés dans le Tableau 1.

Selon l'indice relatif à la fréquence de citation (FC), les espèces les plus citées ont été *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle (6,77%), *Newbouldia laevis* Seem. (3,76%), *Momordica charantia* L. (3,20%), *Blighia sapida* (2,82%), *Allium sativum* (2,63%) et *Carica papaya* L. (2,44%).

Pour toutes les espèces, les indices de confirmation ou les Consensus d'informateurs (ICF) calculés sont inférieurs à 0,5. La valeur moyenne de consensus (0,5) a été obtenue pour *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle suivi de *Newbouldia laevis* Seem. (0,28).

3.2.3 UTILISATION DES PLANTES SELON LA PARTIE UTILISÉE, LE MODE DE PRÉPARATION, LE MODE D'ADMINISTRATION ET L'USAGE ETHNOVÉTÉRINAIRE

La plupart des recettes sont en associations (56,21%) (Figure 15). Les recettes sont constituées d'une plante à 06 plantes (Figure 16). Plusieurs organes de plantes entrent dans la préparation des phytomédicaments. Il s'agit essentiellement des feuilles (54,04%) suivies des racines (16,47%), des fruits (9,72%) et des autres parties (Figure 17). Les organes sont essentiellement utilisés à l'état frais (61,46%) suivi de l'état sec (33,93%) (Figure 18). Les organes sont collectés en grande partie dans la brousse (27,26%), dans les habitations (24,42%), dans la forêt (20,93%) et autres (Figure 19). L'usage des organes se font sans préférence (61,46%) suivi de séchage au soleil (36,06%) et à l'ombre/libre (02,49%) (Figure 20). 35,15% des PMTs font usage d'organes fauniques dans la préparation des recettes contre 64,85% (Figure 21) et ces organes fauniques sont majoritairement domestique (71,43%) ensuite sauvage (23,81%) (Figure 22). En ce qui concerne le mode de préparation des recettes, 35,74% sont préparées par décoction suivi de poudre (23,61%) et autres (Figure 23). Le principal mode d'administration est la voie orale (64,72%) suivie de la voie cutanée (24,23%) (Figure 24). La dose de prise orale des phytomédicaments est à 47,30% en un (1) verre à bière suivi d'un (1) petit verre (33,78%) ensuite les doses non précises (8,11%) et autres (Figure 25). 43,79% des recettes présentent des effets indésirables ou secondaires à leurs prises contre 56,21% sans effets (Figure 26). Par ailleurs, seul 9,94% des PMTs affirment utilisés les plantes médicinales à des fins également vétérinaires (Figure 27). 63,73% des PMTs affirment avoir toujours d'interdits prescrits aux patients lors des traitements (contre-indications) contre 31,34% ne disposant pas du tout d'interdits lors de traitements, 4,93% affirment qu'en fonction des patients les interdits peuvent être prescrits ou pas. (Figure 29).

3.2.4 UTILISATION DES PLANTES SELON LES MALADIES TRAITÉES

92 maladies regroupées en 16 catégories d'affections ont été répertoriées. Suivant leur fréquence de citation, les affections urogénitales, gynécologiques et obstétricales (20,36%) sont les plus traitées par les plantes recensées, suivies des affections hépato-gastriques (12,73%) et des affections neurologiques et psychiatriques (12,36%) (Figure 28).

Tableau 1. Diversité biologique des espèces végétales et leurs indices ethnobotaniques

N°	Noms des plantes en vernaculaire	Noms scientifiques	Familles des espèces	Nombre de citation	Fréquence de citation	Indice de confirmation ou Consensus d'informateurs
1.	Dontchi; Edontchi; Itissi	<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm. & Panzer) Swingle	Rutaceae	36	6,77%	0,50
2.	Aflama (Kpatima); Désré;	<i>Newbouldia laevis</i> Seem.	Bignoniaceae	20	3,76%	0,28
3.	Agnagnran; Djoké (Djoukè); Adjoukan; Vouloukoutou; Edjou	<i>Momordica charantia</i>	Cucurbitaceae	17	3,20%	0,24
4.	Atchamgbo; Atchamti	<i>Blighia sapida</i>	Sapindaceae	15	2,82%	0,21
5.	Gnativi (Ayo); Gnatikpalè; Gnativikpalè	<i>Allium sativum</i>	Alliaceae	14	2,63%	0,19
6.	Adouba	<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae	13	2,44%	0,18
7.	Hâmi (Héhéchou)	<i>Margaritaria discoidea</i> var. <i>discoidea</i>	Euphorbiaceae	13	2,44%	0,18

8.	Tsigbé (citronnelle)	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	Poaceae	13	2,44%	0,18
9.	Dodémakpowoè; Gbodjo-gbodjo-gbé	<i>Rauvolfia vomitoria</i>	Apocynaceae	11	2,07%	0,15
10.	Logbo; Logbokè	<i>Strophanthus hispidus</i> DC.	Apocynaceae	11	2,07%	0,15
11.	Atakou; Takou	<i>Aframomum melegueta</i>	Zingiberaceae	10	1,88%	0,14
12.	Nimon; kinkeliba; Deviobéayi; Dankayé-gbé; Vakoyifin; Lalui Assouto; Laloui	<i>Senna occidentalis</i>	Fabaceae	10	1,88%	0,14
13.	Gnaddonou; Zogbeti	<i>Ocimum gratissimum</i> var. <i>gratissimum</i>	Lamiaceae	9	1,69%	0,13
14.	Agbélima; Akoutétchi; Gbézé; Katôli	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	8	1,50%	0,11
15.	Babatidjin; Gbolodui-djin; Gbodoudoui (djitô)	<i>Jatropha gossipifolia</i>	Euphorbiaceae	8	1,50%	0,11
16.	Dadaklan (Atikeshi-mashu)	<i>Morinda lucida</i>	Rubiaceae	8	1,50%	0,11
17.	Efôma; Fômagba; Fôti; Efonti	<i>Vitex doniana</i> Sweet	Lamiaceae	8	1,50%	0,11
18.	Esro; Eso; Etcho; Etchofidrô	<i>Xylopia aethiopica</i> (Dual) A. Rich.	Annonaceae	8	1,50%	0,11
19.	Akôdou; Amâdamah; Amandati	<i>Musa paradisiaca</i>	Musaceae	7	1,32%	0,10
20.	Aklikon; Djogbema; Akoukô-ti	<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	6	1,13%	0,08
21.	Anôka (gnakpèkpè ou gnakpokpo)	<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth.	Bignoniaceae	6	1,13%	0,08
22.	Atikémashi; Kédékin	<i>Tamarindus indica</i> L.	Caesalpiniaceae	6	1,13%	0,08
23.	Gbloba (Gboloba); Gbeliba-kè	<i>Anthocleista nobilis</i> Afzel. ex. R. Br.	Loganiaceae	6	1,13%	0,08
24.	Legbleti, Logblati, (Legbeti)	<i>Viscum album</i>	Viscaceae	6	1,13%	0,08
25.	Zomali	<i>Ehretica cymosa</i> var. <i>cymosa</i>	Boraginaceae	6	1,13%	0,08
26.	Agnonto; Anôto	<i>Launaea taraxacifolia</i>	Asteraceae	5	0,94%	0,07
27.	Apégban; Kpavihoumakpa (Kpavikou)	<i>Acanthospermum hispidum</i>	Asteraceae	5	0,94%	0,07
28.	Dotè	<i>Zingiber officinale</i> Rosc. Trans. L.	Zingiberaceae	5	0,94%	0,07
29.	Goro	<i>Cola nitida</i> (Vent.) Scott & Endl.	Sterculiaceae	5	0,94%	0,07
30.	Hoyo; Hoyokou	<i>Garcinia kola</i>	Clusiaceae	5	0,94%	0,07
31.	Sédé (édé); Edénékui	<i>Elaeis guineensis</i>	Arecaceae	5	0,94%	0,07
32.	Yovovimah	<i>Moringa oleifera</i> L.	Moringaceae	5	0,94%	0,07
33.	Adikoui; Atiklui; Adikou	<i>Caesalpinia bonduc</i> Roxb.	Fabaceae	4	0,75%	0,06
34.	Akpavibéku (Akpavikou); Linlinkou	<i>Piper guineense</i> Schum. & Thonn.	Piperaceae	4	0,75%	0,06
35.	Amagan; Papatahé	<i>Gomphrena celosiodes</i>	Amaranthaceae	4	0,75%	0,06
36.	Atilogbou	<i>Canna Indica</i>	Cannaceae	4	0,75%	0,06
37.	Awikou; Dédikpou	<i>Abrus precatorius</i> Linn.	Fabaceae	4	0,75%	0,06
38.	Bibitchi (Diditsi)	<i>Chassalia kolly</i>	Rubiaceae	4	0,75%	0,06
39.	Kiniti	<i>Azadirachta indica</i> L.	Meliaceae	4	0,75%	0,06
40.	SonWui; Sambè-Assouti	<i>Cleome gynandra</i>	Capparaceae	4	0,75%	0,06
41.	Aflatokpoé; Aflavi	<i>Portulaca foliosa</i>	Portulacaceae	3	0,56%	0,04
42.	Ahlinvi; Ahli	<i>Phyllanthus amarus</i>	Phyllanthaceae	3	0,56%	0,04
43.	Aklui	<i>Cajanus cajan</i>	Fabaceae	3	0,56%	0,04
44.	Anonkan	<i>Phyllanthus muellerianus</i>	Euphorbiaceae	3	0,56%	0,04
45.	Azango (logo); Azankpo	<i>Clitoria ternatea</i>	Fabaceae	3	0,56%	0,04
46.	Ehé-békin; Ehétsi	<i>Xanthoxylume xanthoxyloides</i>	Rutaceae	3	0,56%	0,04

47.	Enéti; Yovoné	<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	3	0,56%	0,04
48.	Fiayé	<i>Occimum basilicum</i>	Lamiaceae	3	0,56%	0,04
49.	Hadôgougou; Libitou	<i>Anchomanes difformis</i> (Blume) Engl.	Araceae	3	0,56%	0,04
50.	Holikipèkpè; Olikpèkpè	<i>Acmella caulirhiza</i>	Asteraceae	3	0,56%	0,04
51.	Houchikonou; Houssikonou	<i>Vernonia cinerea</i> var. <i>cinerea</i>	Asteraceae	3	0,56%	0,04
52.	Itiké, Itivi	<i>Citrus sinensis</i> L.	Rutaceae	3	0,56%	0,04
53.	Koklotadouin (koklotadoè); Kloklosoudè	<i>Heliotropium indicum</i>	Boraginaceae	3	0,56%	0,04
54.	Kpanoukéké; Akpankéké	<i>Pergularia daemia</i> (Forsk) Chior.	Asclepiadaceae	3	0,56%	0,04
55.	Légbati	<i>Erythrina senegalensis</i>	Fabaceae	3	0,56%	0,04
56.	Logoti	<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) Berg	Moraceae	3	0,56%	0,04
57.	Mangoti	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	3	0,56%	0,04
58.	Odoedougbo; Ogbuigbo	<i>Synedrella nodiflora</i>	Asteraceae	3	0,56%	0,04
59.	Sabloè (oignon)	<i>Allium Cepa</i>	Alliaceae	3	0,56%	0,04
60.	Sakan	<i>Cissus petiolata</i>	Vitaceae	3	0,56%	0,04
61.	Sayè; Sagna	<i>Securidaca longipedunculata</i>	Polygalaceae	3	0,56%	0,04
62.	Séséwoutchi	<i>Holarrhena floribunda</i> (G. Don) Dw. Sch.	Apocynaceae	3	0,56%	0,04
63.	Tétémaléamakpa; Titimaléma; Kétélima	<i>Pupalia lappacea</i> (L.) Jer. Sc.	Amaranthaceae	3	0,56%	0,04
64.	Zanguera	<i>Cassia siamea</i>	Caesalpinaceae	3	0,56%	0,04
65.	Aflagan	<i>Kalanchoe pinnata</i>	Crassulaceae	2	0,38%	0,03
66.	Agboma; Wèdèmèbévi	<i>Ageratum conyzoides</i>	Asteraceae	2	0,38%	0,03
67.	Ahama; Ahéma	<i>Philenoptera cyanescens</i>	Fabaceae	2	0,38%	0,03
68.	Ahamé	<i>Ocimum americanum</i> var. <i>americanum</i>	Lamiaceae	2	0,38%	0,03
69.	Aloes	<i>Aloe buettneri</i>	Asphodelaceae	2	0,38%	0,03
70.	Atchame; Ekayibo	<i>Lagenaria siceraria</i>	Cucurbitaceae	2	0,38%	0,03
71.	Ativi; Atidjin békin	<i>Hymenocardia acida</i> var. <i>acida</i>	Euphorbiaceae	2	0,38%	0,03
72.	Babatihé	<i>Jatropha curcas</i> L.	Euphorbiaceae	2	0,38%	0,03
73.	Batonètsi	<i>Cascabela thevetia</i>	Apocynaceae	2	0,38%	0,03
74.	Caciatsi	<i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby,	Fabaceae	2	0,38%	0,03
75.	Djémti; Djéti	<i>Diospyros mespiliformis</i>	Ebenaceae	2	0,38%	0,03
76.	Ebliti	<i>Zea mays</i>	Poaceae	2	0,38%	0,03
77.	Edéti	<i>Alaëis guineensis</i>	Arecaceae	2	0,38%	0,03
78.	Etôko	<i>Macaranga spinosa</i> Müll. Arg	Euphorbiaceae	2	0,38%	0,03
79.	Ewoti; Ahoula; ahwa	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	Fabaceae	2	0,38%	0,03
80.	Finfintsi; Finfinci	<i>Gardenia erubescens</i>	Rubiaceae	2	0,38%	0,03
81.	Gbégan (gué)	<i>Nicotiana tabacum</i>	Solanaceae	2	0,38%	0,03
82.	Gbodougbokou	<i>Strychnos innocua</i>	Loganiaceae	2	0,38%	0,03
83.	Gbôgbôgui	<i>Lepisanthes senegalensis</i>	Sapindaceae	2	0,38%	0,03
84.	Gboto	<i>Ipomoea eriocarpa</i>	Convolvulaceae	2	0,38%	0,03

85.	Héti	<i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr.	Combretaceae	2	0,38%	0,03
86.	Hondjin	<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	2	0,38%	0,03
87.	Kahé	<i>Opilia amanthacea</i>	Opiliaceae	2	0,38%	0,03
88.	Kpatralè	<i>Clausena anisata</i> var. <i>anisata</i>	Rutaceae	2	0,38%	0,03
89.	Somboétou; Nyoligbé	<i>Cleome viscosa</i> L.	Capparaceae	2	0,38%	0,03
90.	Tôboukè	<i>Periploca nigrescens</i>	Apocynaceae	2	0,38%	0,03
91.	Vodogbédji	<i>Dracaena surculosa</i>	Agavaceae	2	0,38%	0,03
92.	Zokou	<i>Cassia alata</i>	Caesalpiniaceae	2	0,38%	0,03
93.	Adagba	<i>Eclipta prostrata</i>	Asteraceae	1	0,19%	0,01
94.	Adako	<i>Sorghum caudatum</i> L. var. <i>colorans</i>	Poaceae	1	0,19%	0,01
95.	Adjrô	<i>Sida acuta</i>	Malvaceae	1	0,19%	0,01
96.	Agbon	<i>Sesamum indicum</i>	Pedaliaceae	1	0,19%	0,01
97.	Ahéhéssou	<i>Dicoma tomentosa</i>	Asteraceae	1	0,19%	0,01
98.	Ahomé	<i>Glyphaea brevis</i>	Tiliaceae	1	0,19%	0,01
99.	Ahouaglon	<i>Alternanthera pungens</i>	Amaranthaceae	1	0,19%	0,01
100.	Alogbo	<i>Vernonia amygdalina</i>	Asteraceae	1	0,19%	0,01
101.	Aluikouvi (Assékouvi)	<i>Passiflora foetida</i> Linn.	Passifloraceae	1	0,19%	0,01
102.	Apla	<i>Ficus asperifolia</i>	Moraceae	1	0,19%	0,01
103.	Assalakou	<i>Myristica fragans</i> Houtt., 1774	Myristicacées	1	0,19%	0,01
104.	Atikpalè	<i>Strophanthus sarmentosus</i> var. <i>sarmentosus</i>	Apocynaceae	1	0,19%	0,01
105.	Ayidjin	<i>Vigna umbellata</i>	Fabaceae	1	0,19%	0,01
106.	Boutomakoui	<i>Ficus ovata</i>	Moraceae	1	0,19%	0,01
107.	Chékpa-chékpa	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	1	0,19%	0,01
108.	Chinetoguoui	<i>Rourea coccinea</i>	Connaraceae	1	0,19%	0,01
109.	Dan'kan	<i>Schranksia leptocarpa</i>	Fabaceae	1	0,19%	0,01
110.	Détui-Détui (Letui-létui)	<i>Byrsocarpus coccineus</i> Sch. et Th.	Connaraceae	1	0,19%	0,01
111.	Djagua	<i>Tragia senegalensis</i>	Euphorbiaceae	1	0,19%	0,01
112.	Ebé	<i>Imperata cylindrica</i>	Poaceae	1	0,19%	0,01
113.	Egbonti	<i>Solanum aethiopicum</i>	Solanaceae	1	0,19%	0,01
114.	Eka	<i>Crescentia cujete</i>	Bignoniaceae	1	0,19%	0,01
115.	Eklo; Eklo	<i>Panicum maximum</i>	Poaceae	1	0,19%	0,01
116.	Ekui	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	Poaceae	1	0,19%	0,01
117.	Essankè	<i>Cissus populnea</i> Guill. & Perr.	Vitaceae	1	0,19%	0,01
118.	Etôhé	<i>Macaranga barteri</i>	Euphorbiaceae	1	0,19%	0,01
119.	Eyotsi	<i>Ficus polita</i> Vahl	Moraceae	1	0,19%	0,01
120.	Fèfè	<i>Gardenia ternifolia</i> Sch. et Th.	Rubiaceae	1	0,19%	0,01
121.	Fétri	<i>Hibiscus esculentus</i> Linn.	Malvaceae	1	0,19%	0,01
122.	Fio	<i>Cyperus esculentus</i>	Cyperaceae	1	0,19%	0,01
123.	Flantopui	<i>Portulaca oleracea</i> subsp. <i>oleracea</i>	Portulacaceae	1	0,19%	0,01
124.	Fonté	<i>Amaranthus hybridus</i>	Amaranthaceae	1	0,19%	0,01
125.	Gbaflè	<i>Ficus umbellata</i>	Moraceae	1	0,19%	0,01

126.	Gbogbotrolou	<i>Ipomoea pes-caprae</i> <i>subsp. pes-caprae</i>	Convolvulaceae	1	0,19%	0,01
127.	Gbovoimbékè	<i>Cnestis ferruginea</i>	Connaraceae	1	0,19%	0,01
128.	Gboyigbo	<i>Cyanotis lanata kouffa</i>	Commelinaceae	1	0,19%	0,01
129.	Gnamalogou	<i>Plumbago zeylanica</i>	Plumbaginaceae	1	0,19%	0,01
130.	Gnatigbé	<i>Malotus oppositifolus</i>	Euphorbiaceae	1	0,19%	0,01
131.	Gôdi	<i>Ananas comorus</i> (Linn.) Merrill.	Bromeliaceae	1	0,19%	0,01
132.	Hédja	<i>Harrisonia abyssinica</i> Oliv.	Simaroubaceae	1	0,19%	0,01
133.	Hlin-agban	<i>Guiera senegalensis</i>	Combretaceae	1	0,19%	0,01
134.	Houaglon	<i>Bridelia ferruginea</i>	Euphorbiaceae	1	0,19%	0,01
135.	Houfanounohouto	<i>Ganoderma zonatum</i>	Ganodermataceae	1	0,19%	0,01
136.	Kalimahui	<i>Beta rubra</i> / <i>Beta vulgaris</i> Linn.	Amaranthaceae	1	0,19%	0,01
137.	Kérékè; Kéréjè	<i>Erythrophleum</i> <i>suaveolens</i>	Fabaceae	1	0,19%	0,01
138.	Klô	<i>Piliostigma réticulatum</i> .	Fabaceae	1	0,19%	0,01
139.	Koklohangbo	<i>Carissa edulis</i>	Apocynaceae	1	0,19%	0,01
140.	Lôhouiti	<i>Pavetta corymbosa</i> var. <i>corymbosa</i>	Rubiaceae	1	0,19%	0,01
141.	Mahougène	<i>Khaya gradifoliola</i> C.DC	Meliaceae	1	0,19%	0,01
142.	Plingota (clous de girofle)	<i>Eugenia caryophyllata</i> <i>Madagascar</i>	Myrtaceae	1	0,19%	0,01
143.	Pogblati (Togblati)	<i>Vernonia guinéensis</i>	Asteraceae	1	0,19%	0,01
144.	Sodouti; Sogeti	<i>Leptadenia hastata</i>	Apocynaceae	1	0,19%	0,01
145.	Sokoudôgbé	<i>Datura innoxia</i>	Solanaceae	1	0,19%	0,01
146.	Sucléti	<i>Saccharum officinale</i> L.	Poaceae	1	0,19%	0,01
147.	Tantuigbé	<i>Capsicum frutescens</i>	Solanaceae	1	0,19%	0,01
148.	tchatchaplalati	<i>Ficus exasperata</i>	Moraceae	1	0,19%	0,01
149.	Tcho	<i>Ficus Thonningii</i>	Moraceae	1	0,19%	0,01
150.	Tiki; Tigbi	<i>Pterocarpus santalinoides</i>	Fabaceae	1	0,19%	0,01
151.	Toklo-kè	<i>Sporobolus pyramidalis</i>	Poaceae	1	0,19%	0,01
152.	Tshoevitsihoun	<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	Rubiaceae	1	0,19%	0,01
153.	Waza-waza	<i>Trema orientalis</i>	Ulmaceae	1	0,19%	0,01
154.	Wishbakin	<i>Lonchocarpus sericeus</i>	Fabaceae	1	0,19%	0,01

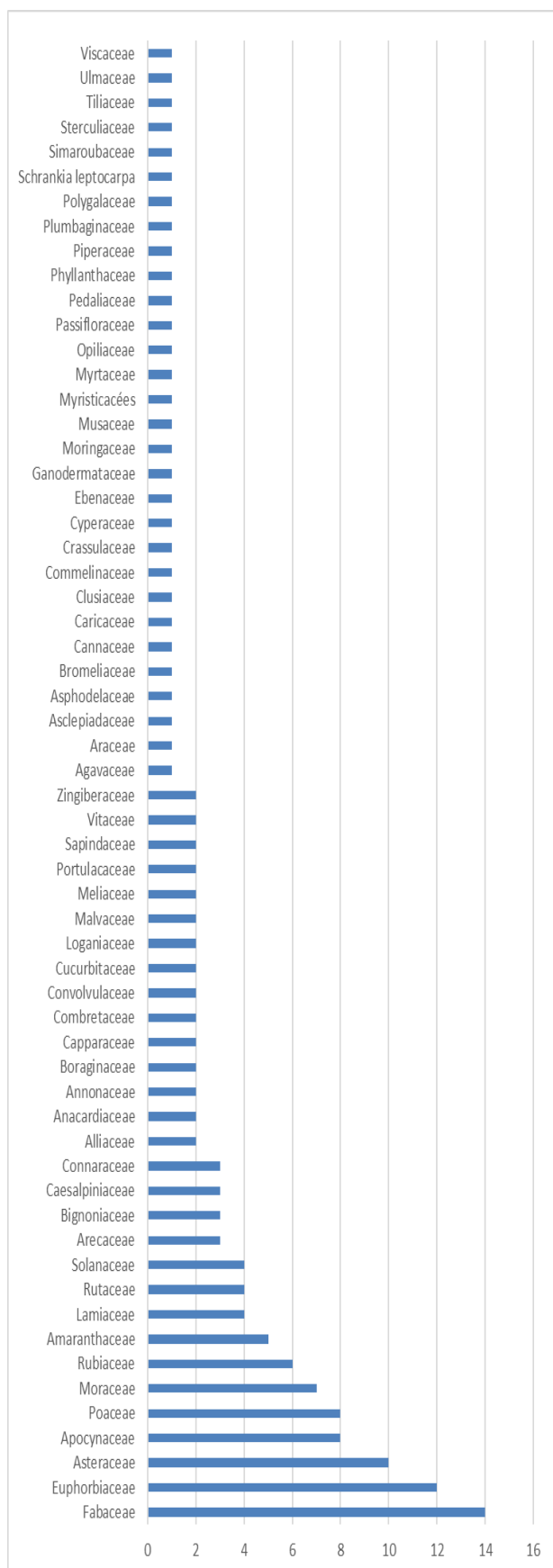


Fig. 13. Nombre d'espèces par familles

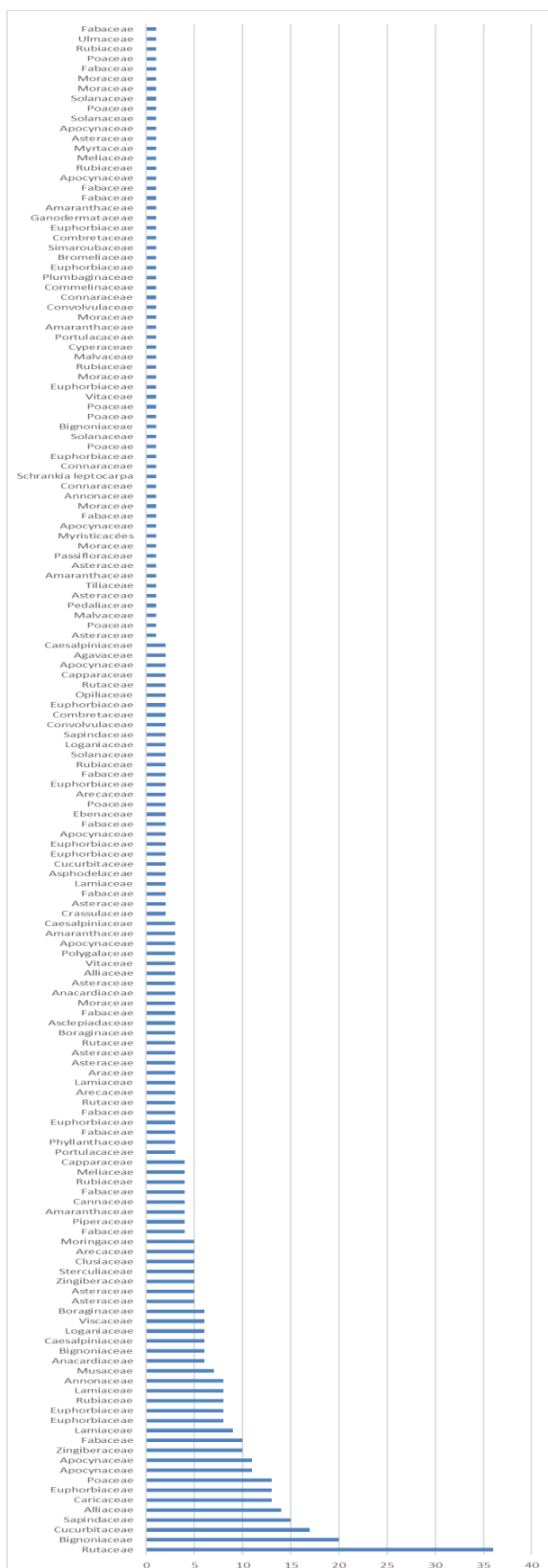


Fig. 14. Fréquence de citation des espèces par famille

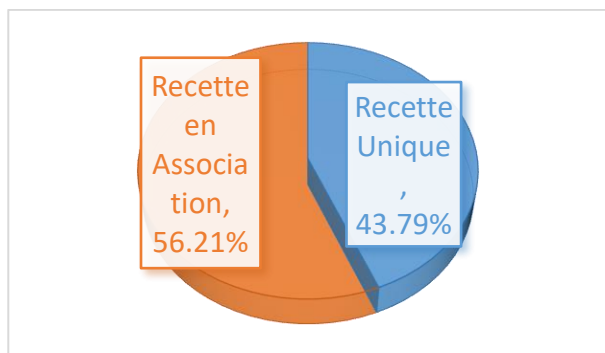


Fig. 15. Catégorie des recettes

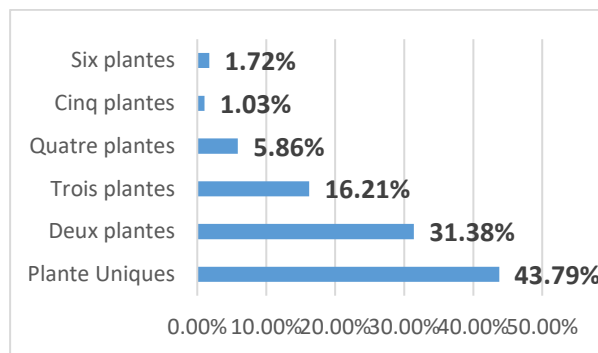


Fig. 16. Répartition des recettes

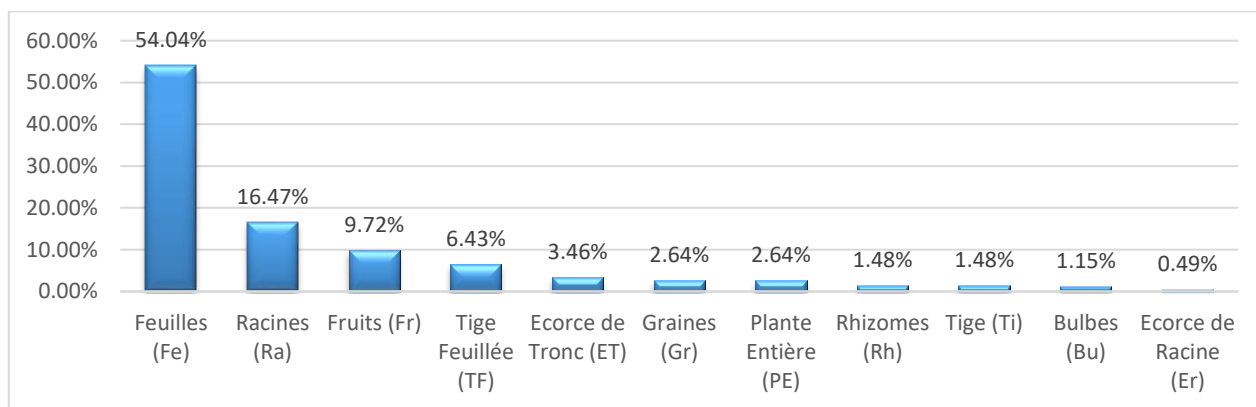


Fig. 17. Organes de plantes utilisées

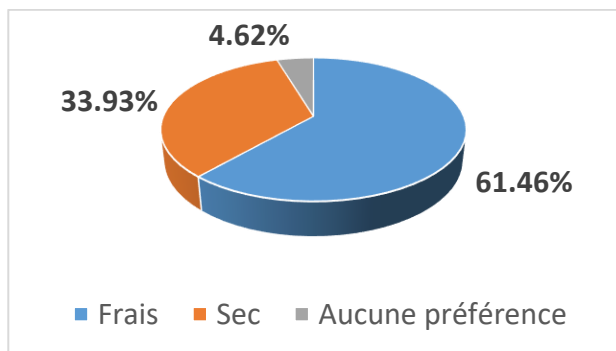


Fig. 18. Etat d'utilisation des organes

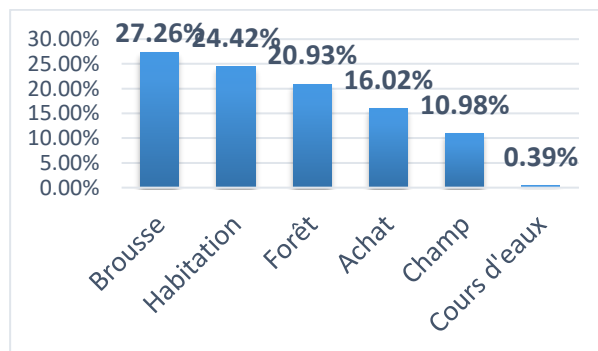


Fig. 19. Lieux de collecte des organes

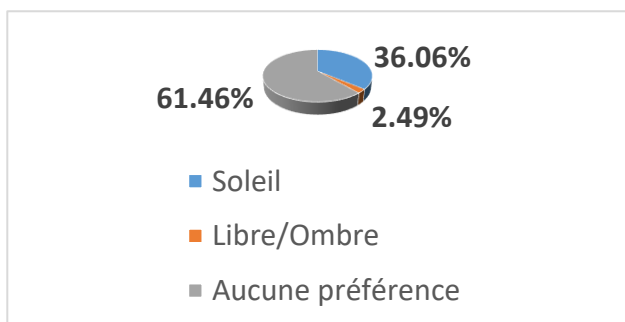


Fig. 20. Mode de séchage des organes

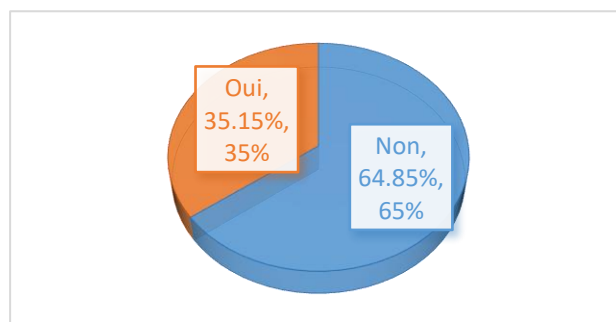


Fig. 21. Usages d'organes fauniques

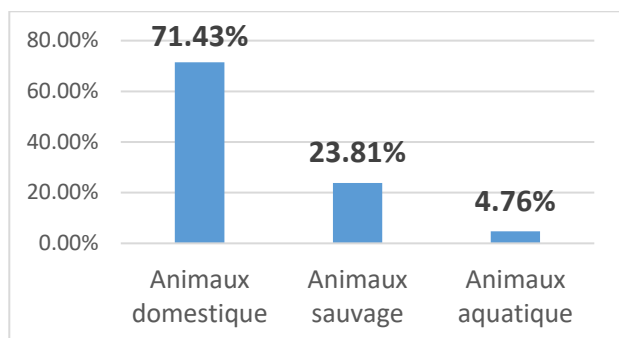


Fig. 22. Origine des organes fauniques

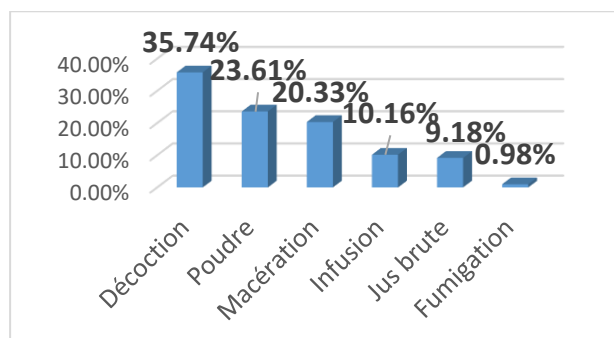


Fig. 23. Mode de préparation des phyto-médicaments

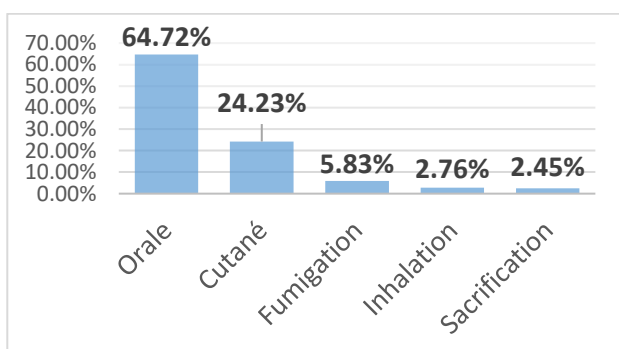


Fig. 24. Voie d'administration des phyto-médicaments

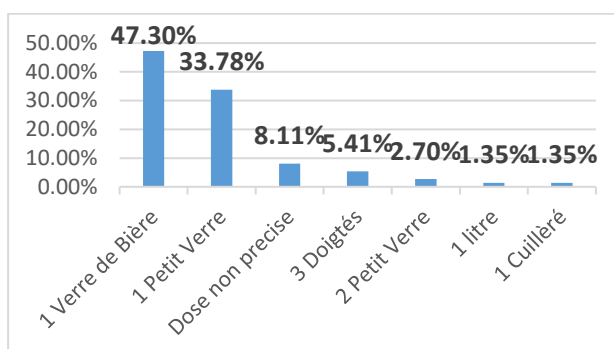


Fig. 25. Dose de prise orale des phyto-médicaments

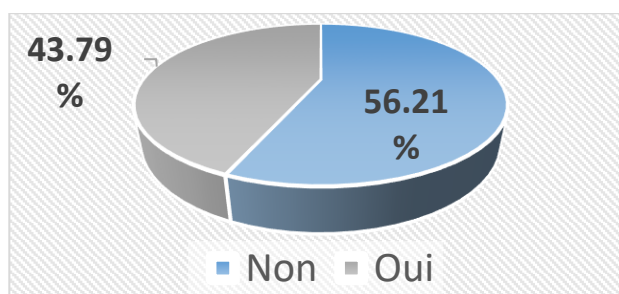


Fig. 26. Effets indésirables ou secondaires des phyto-médicaments

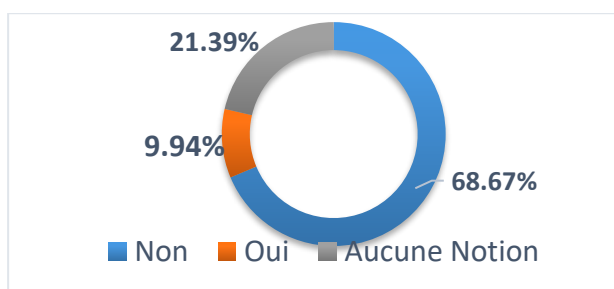


Fig. 27. Usages ethno vétérinaires des plantes médicinales

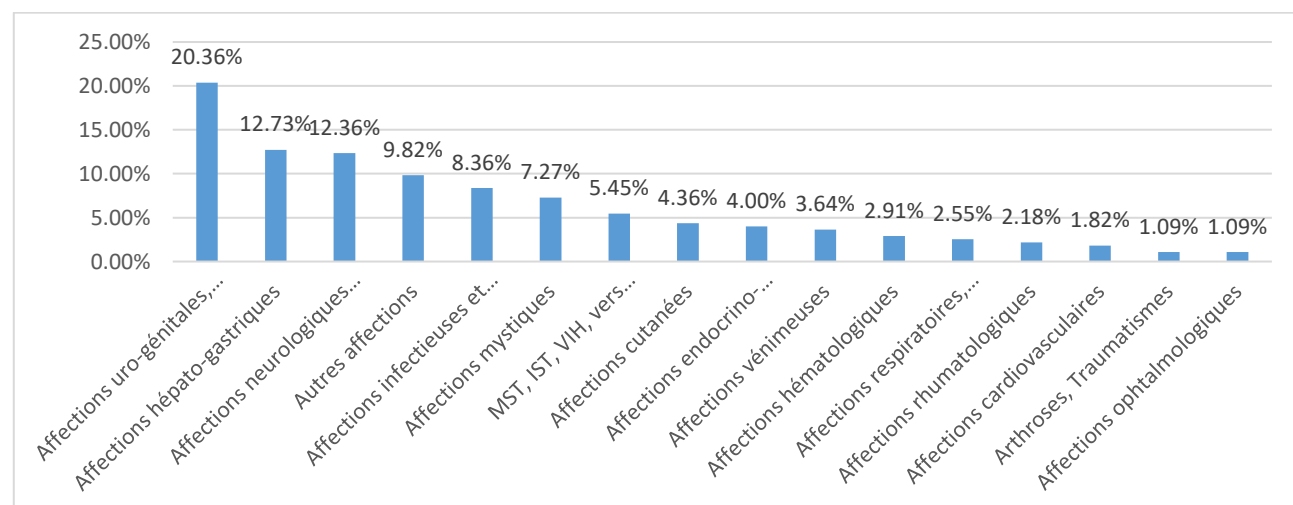


Fig. 28. Fréquence des catégories de maladies traitées

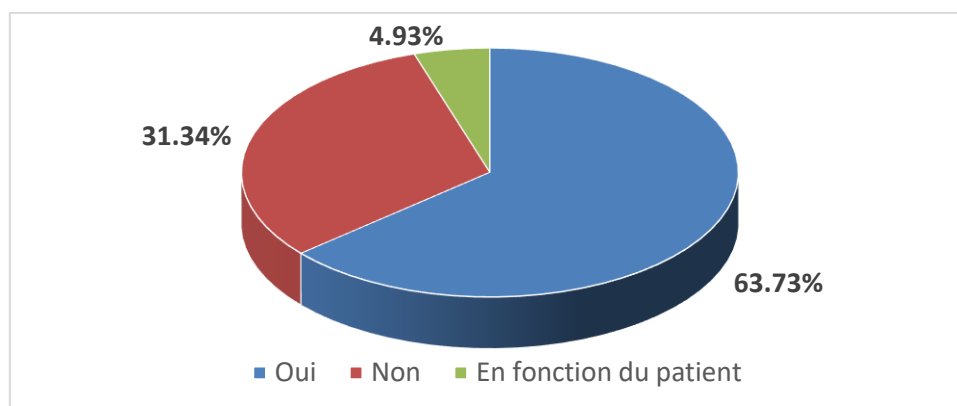


Fig. 29. Interdits lors des traitements (contre-indications)

4 DISCUSSION

La présente étude qui concerne les plantes et les recettes de plantes aux potentiels thérapeutiques répond au concept “une seule santé” de l’Organisation Mondiale de la Santé qui met ensemble la santé humaine, animale et environnementale créé au début des années 2000. Il s’agit d’une première étude du genre réalisée dans le canton de Sédomé. L’enquête ethnobotanique a été réalisée auprès de 72 PMTs avec un intervalle d’âge de 23 à 115 ans et une moyenne de 52,08 ans dont majoritairement les hommes (94%). Ces résultats concordent avec ceux des études ethnopharmacologiques antérieures qui ont révélé la prédominance des seniors (Aburjai et al., 2007; Kpodar et al., 2017). Le profil des PMTs de cette étude corrobore celui observé dans la plupart des études réalisées dans la région maritime concluant que la pratique de la médecine traditionnelle est l’apanage des hommes d’âge mûr (Gbékley et al., 2015) et les guérisseurs traditionnels sont majoritairement des hommes (Aburjai et al., 2007). Selon plusieurs auteurs, en plus du mode de prélèvement, la valorisation et la gestion durable de ces ressources tiennent compte des réalités socioculturelles et du partage des tâches dans les communautés rurales. En effet, les femmes, aidées parfois par les enfants, ont en charge les activités de cueillette, de conditionnement et de commercialisation des plantes (Nesamvuni et al., 2001; Gockowski et al., 2003), d’où leur proportion non négligeable (6%) dans l’enquête. Selon ces études, la connaissance d’une recette en médecine traditionnelle est avant tout un secret de famille qui est transmis de génération en génération par le biais des coutumes et de la tradition orale. Il est donc nécessaire d’avoir un âge mature et de se faire une certaine confiance pour avoir accès aux connaissances de la médecine traditionnelle et c’est probablement la principale raison pour laquelle ce métier est pratiqué par des personnes âgées (Effoe et al., 2020). Les résultats ont également indiqué que les répondants avaient une bonne expérience dans le domaine. Sur 2 à 65 ans d’expérience des PMTs, 86,11% sont situées entre 10 et 60 ans. Ce résultat est en accord avec ceux des études ethnopharmacologiques antérieures (Afanyibo et al., 2018; Kpabi et al., 2020). De plus, 58,62% des enquêtées ont acquis leurs connaissances en matière de pratique médicinale comme héritage familial. Selon Sema et al. (2018), 83% des personnes enquêtées ont été initiées au sein de la famille, 52,94% pour Kpabi et al. (2020) et 52,11% pour Ouro-Djeri et al. (2022). En effet, du fait qu’elles détiennent une bonne partie du savoir ancestral qui se transmet oralement, les personnes âgées sont censées fournir des informations plus fiables (Lakouéténé et al., 2009; Gnagne et al., 2017). Concernant le niveau d’instruction, 52,78% des répondants ont un niveau d’instruction primaire et secondaire contre 47,22% d’analphabètes. Ces résultats montrent que malgré le niveau d’instruction, cela n’empêche pas l’acquisition de pratiques médicinales à base de plantes (Kpodar et al., 2017) mais c’est un paramètre qui permet aux chercheurs d’appréhender facilement leur capacité sur le terrain (Afanyibo et al., 2018). La forte représentativité de l’ethnie Adja (83,00%) suivie Ouatchi (15,00%) couronnée par 89,04% de croyance animiste s’explique par le fait que l’enquête a été menée à Sédomé riverain au PNTS, qui est plus peuplée par ces deux ethnies (Sessi, 1998; Atutonu, 2017). La majorité des enquêtés exerce l’agriculture comme activité secondaire dans les deux saisons (39,58% en saison pluvieuse et 23,26% en saison sèche), ces résultats corroborent les travaux de Atutonu (2017) dans la zone riveraine au PNTS et de Effoe et al. (2020) dans la région maritime.

Par ailleurs, notre étude a montré une bonne diversité des plantes médicinales dans le canton de Sédomé avec 154 espèces végétales appartenant à 60 familles recensées. Il ressort alors que les espèces les plus utilisées par les PMTs dans la zone d’étude pour les 290 recettes inventoriées sont: *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle (6,77%), *Newbouldia laevis* Seem. (3,76%), *Momordica charantia* L. (3,20%), *Blighia sapida* (2,82%), *Allium sativum* (2,63%) et *Carica papaya* L. (2,44%). L’importance de ces plantes a été décelée par la résultante des indices ethnobotaniques et de l’évidence thérapeutique. L’indice de consensus (0,5) obtenu pour *Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle, indique qu’il y a un accord élevé autour de son usage thérapeutique. En effet l’importance accordée à une espèce ne dépend pas de sa disponibilité mais de sa capacité à satisfaire les besoins des populations dans les différentes catégories d’usages (Lykke et al., 2004; Maregesi et al., 2007; Allabi et al., 2011). Aussi, ce résultat peut s’expliquer par la proximité culturelle des enquêtés. Par ailleurs, les espèces inventoriées dans cette étude viennent corroborer la diversité relativement élevée au Togo (Batawila et al., 2007) et particulièrement dans la zone d’étude (Koudouvo et

al., 2017; Ouro-Djeri et al., 2022). Les plantes entières et organes de plantes sont collectés en grande partie dans la brousse (27,26%). Selon Batawila et al. (2007), la diversité des plantes aux potentiels thérapeutiques est liée aux différents lieux de prélèvement. Les plantes et organes de plantes sont utilisés essentiellement à l'état frais (61,46%) suivi de l'état sec (33,93%) dont le séchage se fait sans préférence (61,46%) c'est-à-dire au soleil ou à l'ombre/libre. Dans la zone, les récoltes des plantes sont faites en toutes heures et à n'importe quel moment de l'année selon la disponibilité des espèces (Ouro-Djeri et al., 2022). D'autres études ont révélé la même conclusion et s'accordent sur la période de disponibilité des cueillettes récoltées en saison pluvieuse qui sont séchés, réduits en poudre et conservés pour couvrir la saison sèche ou les périodes de soudure (Batawila et al., 2007; Gbekley et al., 2015; Effoe et al., 2020).

De plus, les populations vivant dans les zones rurales des pays en développement tel que le Togo ont un accès difficile à la médecine moderne. De ce fait, ils se soignent plus souvent que par les plantes (Karou et al., 2011; Kpodar et al., 2015; Adebayo et Amoo, 2019). Concernant la diversité des espèces de plantes, les familles les plus représentées étaient celle des Fabaceae (14 espèces soit 9,09%) suivies des Euphorbiaceae (12 espèces soit 7,79%), des Asteraceae (10 espèces soit 6,49%), des Apocynaceae et des Poaceae. Koudouvo et al. (2017) après une enquête spécialisée dans la même zone sur les maladies du foie ont trouvé que les espèces appartenant à la famille des Fabaceae étaient les plus utilisées ensuite viennent les Malvaceae, les Euphorbiaceae et les Rubiaceae. Ouro-Djeri et al. (2022) ont trouvé dans la même zone comme espèces plus utilisées celles appartenant à la famille des Fabaceae ensuite des Euphorbiaceae et des Poaceae. Effoe et al. (2020) ont trouvé dans la région Maritime du Togo comme espèces plus utilisées celles appartenant à la famille des Fabaceae et des Solanaceae. Sema et al. (2018) après une enquête chez des familles spécialisées dans le traitement de diverses pathologies au nord Togo ont trouvé que les espèces appartenant à la famille des Fabaceae étaient les plus utilisées ensuite viennent les Euphorbiaceae et autres. Kpabi et al. (2020) ont trouvé également dans la préfecture de Doufelgou au Togo que les espèces appartenant à la famille des Fabaceae étaient les plus utilisées. La plupart des recettes sont en associations (56,21%) constituées de 02 à 06 plantes. La diversité des plantes médicinales et des recettes serait liée à la réputation des enquêtés dans la pratique de la médecine traditionnelle (Adomou et al., 2017). Les organes les plus utilisés ont été les feuilles (54,04%) suivies des racines (16,47%) et des autres parties. Les travaux de Ouro-Djeri et al. (2022) ont trouvé que les organes les plus utilisés sont les feuilles (53,59%) suivies des racines (16,98%) et des autres parties. Hoekou et al. (2016); Manzo et al. (2017); Alfa et al. (2018); Agody et al. (2019), Effoe et al., (2020) ont également trouvés lors de leurs travaux, une prédominance des feuilles. En effet, le prélèvement des feuilles ne présente pas de danger pour une plante. D'après certains auteurs, le prélèvement de 50% des feuilles d'une plante n'affecte pas de façon significative la survie de cette dernière contrairement aux écorces et racines (N'Guessan et al., 2009). Les feuilles sont des sources primaires d'organes de photosynthèse. L'utilisation fréquente des feuilles serait justifiée par l'abondance des groupes chimiques qu'elles contiennent, car connues comme le lieu de synthèse des métabolites secondaires du végétal (Lumbu et al., 2005; Mangambu et al., 2008; Kumar et Lalramnghinglova, 2011; Gnagne et al., 2017). Cette étude vient confirmer une fois encore l'importance de cet organe dans le traitement des affections. L'utilisation des parties sensibles comme les racines, les écorces et bulbe à 21,57% contre 37% trouvés par Koudouvo et al. (2017) et 22,11% trouvés par Ouro-Djeri et al. (2022) dans la même zone, inquiète pour la conservation de l'espèce et représente de sérieuses menaces pour la diversité biologique surtout que ces collectes se font à 20,93% dans le PNTS. Plusieurs études au Togo dont Kokou et al. (2000) et Koudouvo (2009) ont attiré l'attention sur le prélèvement de ces parties sensibles de la plante. 35,15% des PMTs font usage d'organes fauniques dans la préparation des recettes dont 23,81% sont d'origine sauvage. Ces résultats corroborent les travaux de Ouro-Djeri et al., (2022) ayant obtenu 28% des PMTs faisant usage d'organes fauniques dans la préparation des recettes dont 30% sont d'origine sauvage. La forte proportion des animistes parmi les enquêtés (89,04%) qui sont majoritairement des ritualistes peut justifier ce mode de préparation des recettes à cause des divinités de ces derniers. Cependant, cette pratique favorise potentiellement la chasse qui constitue une pression sur la réserve faunique du PNTS (Ouro-Djeri et al., 2022). Pour le mode préparation des recettes, la décoction est le mode le plus employé (35,74%) suivi de la forme poudre (23,61%). Les résultats présentent des similitudes avec les travaux de Koudouvo et al. (2017) qui ont obtenu majoritairement la décoction (49,03%) ainsi que Ouro-Djeri et al., (2022) ayant obtenu 30,39%. Aussi, ces résultats corroborent les travaux de Salhi et al. (2010) et Adamou et al. (2017), la décoction permet de recueillir le plus de principes actifs et atténue ou annule l'effet toxique de certaines recettes. Le principal mode d'administration des recettes est la voie orale (64,72%) suivie de la voie cutanée (24,23%). Il y a similitudes avec les résultats des travaux de Koudouvo et al. (2017) dans la même zone qui ont trouvé 79,41% pour l'administration par voie orale suivie de la voie cutanée (18,62%) ainsi que Ouro-Djeri et al., (2022) ayant trouvé la voie orale (66,20%) suivie de la voie cutanée (26,48%). Assouma et al. (2018) ont trouvé 47,27% pour l'administration par voie orale dans une enquête sur la prise en charge traditionnelle de l'infertilité féminine dans la région sanitaire des savanes au Togo. La dose de prise orale des phytomédicaments est à 47,30% en un (1) verre de bière suivi d'un (1) petit verre (33,78%) et les doses non précises (8,11%). Ces résultats présentent une similarité avec ceux de Ouro-Djeri et al., (2022) ayant obtenu 32,46% en un (1) petit verre suivi d'un (1) verre à bière (28,07%) en passant par les doses non précises (26,32%). 43,79% des recettes présentent des effets indésirables ou secondaires à leurs prises contre 28% obtenu par Ouro-Djeri et al., (2022) dans la même zone et 63,73% présentent des interdits ou contre-indications. La dose administrée est l'un des problèmes majeurs de la médecine traditionnelle (Karou et al., 2011). Selon Hele et al. (2014), la posologie est liée à la durée du traitement qui dépend de la gravité de la maladie. Très peu d'études scientifiques ont porté sur les effets indésirables ou secondaires des plantes et recettes de plantes. Ces résultats confirment la non précision du dosage adéquat des recettes aux patients et la question de la maîtrise des effets indésirables ou secondaires qui peuvent découler. Cette situation reste préoccupante et beaucoup d'efforts restent à faire pour les études allant dans le sens d'une quantification précise et professionnelle des posologies des recettes de plantes (Ouro-Djeri et al., 2022). 9,94% des PMTs utilisent les plantes médicinales à des fins ethnovétérinaires contre 5,79% obtenu

par Ouro-Djeri et al., (2022) dans la zone. Selon Ouachinou et al. (2017), la similarité est très grande entre les médecines humaine et vétérinaire en termes de plantes utilisées (86,69%) et grande en termes d'usages rapportés (65%). Dans leur étude sur la comparaison des deux types de médecine, Martínez et Luján (2011) ont fait les mêmes observations sur l'usage de certaines espèces dans la médecine humaine ou vétérinaire. Ces résultats confortent également le concept "une seule santé" de l'OMS. Les affections les plus traitées par les plantes sont les affections uro-génitales, gynécologiques et obstétricales (20,36%). Ces résultats confirment ceux de Ouro-Djeri et al., (2022) ayant obtenu 19,93% des affections uro-génitales, gynécologiques et obstétricales dans la zone riveraine au PNTS et les travaux de Effoe et al. (2020) présentent 43,80% d'affections du tube digestif pour la région maritime. Ces résultats ne reflètent pas la tendance dans des études similaires dans d'autre pays. Dans le sud-ouest Algérien, le taux le plus élevé d'espèces de plantes médicinales (43,47%) intervenaient dans le traitement des maladies digestives (Kadri et al., 2018). Au Cameroun, les maladies infectieuses prévalent (66%) comme les plus traitées (Ladoh-Yemeda et al., 2016). Cependant, selon Nzuki (2016), environ 80% d'espèces de plantes médicinales intervenaient dans le traitement des maux liés à l'appareil génital et à la recherche du plaisir sexuel (plantes aphrodisiaques). La présente étude dans le canton de Sedomé valorise à triple titres les plantes: la diversité des plantes d'une part, leurs potentiels thérapeutiques d'autre part, car d'une manière générale, l'utilisation de ces plantes est liée à leur richesse en substances nutritives (protéines, éléments minéraux, vitamines et métabolites secondaires) (Gockowski et al., 2003; Batawila et al., 2007; Gbekley et al., 2015) et enfin leurs apports dans la médecine humaine et vétérinaire.

5 CONCLUSION

Il ressort de cette étude que le canton de Tomety-Kondji, riverain au Parc National de Togodo-Sud (PNTS) (préfecture de Yoto au Togo), dispose d'une biodiversité floristique intéressante en matière de plantes médicinales. Aux vues de notre étude et tant d'autres menées auparavant, les plantes médicinales présentent un important potentiel thérapeutique pour plusieurs affections. De nombreuses retombées, tant sur le plan scientifique que de la santé publique peuvent en être attendues. Ainsi, la poursuite de cette étude devrait permettre par des approches pharmacochimiques, expérimentales et cliniques d'apporter les preuves scientifiques quant à l'efficacité thérapeutique attribuée à ces plantes de la pharmacopée traditionnelle togolaise. En ce sens, ces études permettront d'une part, d'évaluer le potentiel thérapeutique et d'autre part, d'isoler et d'identifier de nouvelles molécules pour la promotion de la santé de la population et des animaux. La présente étude révèle, entre autre, une pression anthropique considérable sur la réserve floristique et faunique du PNTS.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les PMTs et les autorités traditionnelles du canton de Sedomé de leur franche collaboration qui a rendu possible cette étude.

REFERENCES

- [1] Aburjai T, Hudaib M, Tayyem R, Yousef M, Qishawi M. 2007. Ethnopharmacological survey of medicinal herbs in Jordan, the Ajloun Heights Region. *Journal of Ethnopharmacology*, 110 (2): 294-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.09.031>
- [2] Adebayo SA, Amoo SO. 2019. South African botanical resources: A gold mine of natural pro-inflammatory enzyme inhibitors? *South African Journal of Botany*, 123: 214–227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.03.020>.
- [3] Adjanohoun EJ, Adjakidjè V, Ahyi MRA, Ake-Assi L, Akoègninou A, d'Almeida J, Apovo F, Boukef K, Chadare M, Cusset G, Dramane K, Eymé J, Gassita JN, Gbagidi N, Goudoté E, Guinko S, Houngnon P, Lo I, Saadou M, Sodogandji T, De Souza S, Tchabi A, Zinsou DC, Zohoun T. 1989. *Contribution aux Etudes Ethnobotaniques et Floristiques au Bénin*. Agence de Coopération Culturelle et Technique: Paris; 895p.
- [4] Adomou C, Dassou G, Gbèdomèdji H, Houenon A, Alladayè A, Yedomonhan H. 2017. Comprendre les besoins en ressources végétales des populations riveraines pour une gestion durable de la forêt Bahazoun au Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (5): 2040-2057. DOI: 10.4314/ijbcs.v11i5.9.
- [5] Afanyibo YG, Koudouvo K, Essehe K, Agbonon A, Tozo K, Gbeassor M. 2018. An Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants used in the Preparation of «Atikédi»: Local Alcoholic Beverages Commonly Consumed in Lomé Togo. *European Scientific Journal*, 14, (33): 16p. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n33p1.
- [6] Agbodeka K, Gbekley HE, Karou SD, Anani K, Agbonon A, Tchacondo T, Batawila K, Simpore J, Gbeassor M. 2016. Ethnobotanical study of medicinal plants used for the treatment of malaria in the plateau region, Togo. *Pharmacognosy research*, 8 (1): S12-S18. DOI: 10.4103/0974-8490.178646.
- [7] Agody M, Bakoma B, Batawila K, Wala K, Dourma M, Pereki H, Dimobe K, Bassene H, Akpagana K. 2019. Contribution au recensement des plantes médicinales du Togo: Cas de la Région Maritime. *European Scientific Journal*, 15 (24): 329-345. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n24p329>.
- [8] Akouègninou A, Van der Burg WJ, Van der Maesen LJG. 2006. Flore analytique du Bénin. *Backhuys Publishers*, 1043p.

- [9] Akpavi S. 2010. Plantes alimentaires mineures ou menacées de disparition au Togo: diversité, ethnobotanique et valeurs. *Acta Botanica Gallica*, 157 (2): 379-383. DOI: 10.1080/12538078.2010.10516215.
- [10] Alfa T, Anani K, Adjrah Y, Batawila K, Ameyapoh Y. 2018. Ethnobotanical Survey of Medicinal Plants Used Against Fungal Infections in Prefecture of Sotouboua Central Region, Togo. *European Scientific Journal*, 14: 342-356. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p342>.
- [11] Assouma AF, Koudouvo K, Diatta W, Vidzro MK, Guelly AK, Dougnon J, Agbonon A, Tozo K, Gbeassor M. 2018. Enquête Ethnobotanique Sur La Prise En Charge Traditionnelle De l'Infertilité Féminine Dans La Région Sanitaire Des Savanes Au Togo. *European Scientific Journal*, 14, (3): 1857- 7431. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n3p358.
- [12] Atutonu A. 2017. Gestion du Parc National de Togodo-Sud. Thèse de Doctorat de Géographie humaine, Université du Lomé, Lomé, 384 p.
- [13] Dassou HG, Ogni CA, Yédomonhan H, Adomou AC, Tossou M, Dougnon JT, Akoègninou A. 2014. Diversité, usages vétérinaires et vulnérabilité des plantes médicinales au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (1), 189-210. DOI: 10.4314/ijbcs.v8i1.18.
- [14] Direction Générale de la Statistique et de la Comptabilité Nationale. *Quatrième recensement général de la population et de l'habitat (RGPH4, 2010). Résultats définitifs*. République Togolaise/Ministère auprès du Président de la République, Charge de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du Territoire, Togo. 2011.
- [15] Effoe S, Gbekley H, Mélila M, Agban A, Tchacondo T, Osseyi E, Karou D, Kokou K. 2020. Étude ethnobotanique des plantes alimentaires utilisées en médecine traditionnelle dans la région Maritime du Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (8): 2837-2853, 2020 DOI: 10.4314/ijbcs.v14i8.15.
- [16] Eklu-Natey RD, Balet A. 2012. Pharmacopée africaine. *Dictionnaire et monographies multilingues du potentiel médicinal des plantes africaines: Afrique de l'ouest*, 1, Lausanne: Éditions d'en-bas; Genève: Traditions et Médecine, 912p.
- [17] Esseh K. 2019. Étude des propriétés pharmacologiques, antioxydantes, photochimiques et toxicologiques des plantes et recettes de plantes médicinales utilisées dans le traitement du paludisme au Togo. Thèse de Doctorat en Biologie de Développement, Université du Lomé, Lomé, 384 p.
- [18] Gnagne AS, Camara D, Fofie, NBY, Bene K, Zirihi GN, 2017. Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète dans le Département de Zouénoula (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 113 (1): 11257. DOI: 10.4314/jab.v11i1.14.
- [19] Hoekou Y, Tchacondo T, Karou SD, Koudouvo K, Atakpama W, Pissang P, Gbogbo AK, Woegan AY, Batawila K, Akpagana K, Gbeassor M. 2016. Ethnobotanical study of latex plants in the maritime Region of Togo. *Pharmacognosy Research*, 8 (2): 128-134. Doi: 10.4103/0974-8490.175613.
- [20] Kadri Y, Moussaoui A, Benmebarek A. 2018. Étude ethnobotanique de quelques plantes médicinales dans une région hyper aride du Sud-ouest Algérien « Cas du Touat dans la wilaya d'Adrar ». *Journal of Animal & Plant Sciences*, 36, (2) 5844-5857. DOI: http://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2018/05/2.Kadri_.pdf.
- [21] Karou SD, Tchacondo T, Djikpo Tchibozo MA, Abdoul-Rahaman S, Anani K, Koudouvo K, Batawila K, Agbonon A, Simpore J, de Souza C, 2011. Ethnobotanical study of medicinal plants used in the management of diabetes mellitus and hypertension in the Central Region of Togo. *Pharmaceutical Biology*, 49: 1286–1297. DOI: 10.3109/13880209.2011.621959.
- [22] Kokou K, Adjossou K, Hamberger K. 2005. Les forêts sacrées de l'aire Ouatchi au sud-est du Togo et les contraintes actuelles des modes de gestion locale des ressources forestières. *Vertigo*, 6 (3): DOI: 10.4000/vertigo.2456.
- [23] Koudouvo K. 2009. Contribution à la recherche sur les plantes médicinales à propriété antipaludique du Togo. Thèse de Doctorat en Biologie de Développement, Université du Lomé, Lomé, 182p.
- [24] Koudouvo K, Esseh K, Denou A, Aziati T, Ajavon C, Afanyibo YG, Agbonon A, Sanogo R, Dougnon J, Aklidikou K, Aguiyi JC, Diallo D, Mensah GA, Gbeassor M. 2016. Ethnopharmacological study of antimalarial recipes in Togo for a formulation of phytomédecine for malarial taking care. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 79: 1025-2355. DOI: http://www.slire.net/download/2372/article_6_complet_brab_79_juin_2016_koudouvo_et_al_tude_ethno-pharmacologique.pdf.
- [25] Koudouvo K, Dolo A, Denou A, Sanogo R, Essien K, Agbonon A, Diallo D, Kokou K, Aklidikou K, Gbeassor M. 2017. Enquête ethnobotanique sur les plantes hépatoprotectrices utilisées par le groupe ethnique Adja du Togo, Riverain au Parc National de Togodo-Sud. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 19 (4): 11-27. DOI: <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/169206>.
- [26] Kpabi I, Agban A, Hoekou Y, Pissang P, Tchacondo T, Batawila K. 2020. Etude ethnobotanique des plantes à activités antiparasitaires utilisées en médecine traditionnelle dans la préfecture de Doufelgou au nord du Togo. *Journal of Applied Biosciences*, 148: 15176 – 15189. ISSN 1997-5902. DOI: 10.35759/JABs.148.2.
- [27] Kpodar MS, Karou SD, Katawa G, Anani K, Gbekley HE, Adjrah Y, Tchacondo T, Batawila K, Simpore J. 2016. An ethnobotanical study of plants used to treat liver diseases in the Maritime region of Togo. *Journal of Ethnopharmacology*, 181: 263-273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.12.051>.

- [28] Ladoh-Yemeda CF, Vandt T, Dibong SD, Mpondo EM, Wansi JD, Betti JL, Choula F, Ndongo D, Eyango MT. 2016. Étude ethnobotanique des plantes médicinales commercialisées dans les marchés de la ville de Douala, Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 99 (1), 9450-9466. DOI: 10.4314/jab.v99i1.11.
- [29] Manzo LM, Moussa I, Ikhir K. 2017. Les plantes médicinales utilisées dans le traitement des diarrhées au Niger: étude ethnobotanique. *Algerian Journal of Natural*, 5: 2 475-482. DOI: 10.5281/zenodo.1069669.
- [30] Nzuki BF. 2016. Recherches ethnobotaniques sur les plantes médicinales dans la Région de Mbanza-Ngungu, RDC. Thèse de Doctorat (PhD), Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie, Université de Gand, Belgique, p.349.
- [31] OMS (Organisation mondiale de la Santé). Principes méthodologiques généraux pour la recherche et l'évaluation relatives à la médecine traditionnelle. WOH/TRM/2000; annexe II: 31-35.
- [32] OMS. 2012. Statistiques sanitaires mondiales. OMS, 198p.
- [33] Ouachinou J M-A S, Adomou AC, Dassou GH, Yedomonhan H, Tossou GM, Akoegninou A. 2017. Connaissances et pratiques ethnobotaniques en médecines traditionnelles vétérinaire et humaine au Bénin: similarité ou dissemblance? *Journal of Applied Biosciences*, 113: 1997-5902. DOI: 10.4314/jab.v113i1.6.
- [34] Ouro-Djeri H, Koudouvo K, Esseh K, Tchacondo T, Batawila K, Wateba IM, Ouro-Djéri E, Gbeassor M. 2022. Etude ethnopharmacologique des plantes utilisées dans la préparation des phytomédicaments extemporanés à Tomety-Kondji, canton riverain au Parc National de Togodo-Sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16 (3): 967-991. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i3.7>.
- [35] PAO: *Pharmacopée d'Afrique de l'Ouest*, 2020. Organisation Ouest Africaine de la Santé (OOAS), Edition N°2, 321p.
- [36] Salhi S, Fadli M, Zidane L, Douira A. 2010. Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*, 31, 133-146. DOI: 10.5209/rev_LAZA.2010.v31.9.
- [37] Sema M, Atakpama W, Kanda M, Koumantiga D, Batawila K, Akpagana K. 2018. Une forme de spécialisation de la médecine traditionnelle au Togo: Cas de la préfecture de Doufelgou. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 20 (4): 47-61.
- [38] Sessi K. 1998a. *Plan de gestion de la Réserve de Faune de Togodo (Site Ramsar)*. Comité National des Zones Humides, Direction des Parcs Nationaux, des Réserves de Faune et de Chasses, Ministère de l'Environnement et de la Protection Forestière, Lomé, 52 p.
- [39] Sessi K. 1998b. *Plan de gestion du Parc National et de la Réserve de Chasse de la Kéran (Site Ramsar)*. Comité National des Zones Humides, Direction des Parcs Nationaux, des Réserves de Faune et de Chasses, Ministère de l'Environnement et de la Protection Forestière, Lomé, 53 p.

Evaluation du comportement trophique de *Aedes aegypti* à Dandji au sud du Bénin

[Evaluation of the trophic behavior of *Aedes aegypti* at Dandji, southern Benin]

Houkanrin Gildas¹, Yadouleton Anges¹⁻²⁻³, Tchibozo Carine¹, Badou Yvette¹, and Sanoussi Falilath¹

¹Laboratoire des Fièvres Hémorragiques Virales et des Arbovirus, Benin

²Ecole Normale Supérieure de Natitingou, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM), Benin

³Centre de Recherche Entomologique de Cotonou, Benin

Copyright © 2022 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 trophic behavior of *Aedes aegypti* at Dandji, a neighbourhood of Cotonou located in southern Benin was evaluated through a cross-sectional study where adults of *Ae. Aegypti* populations were collected from May to July 2022 daily twice a week by Human Landing Catch and BG-Sentinel traps.

From the total of 717 *Aedes* collected by different methods, *Ae. Aegypti* is more abundant in urban than peri-urban areas ($p < 0.05$). The aggressive density of *Ae. aegypti* populations was significantly higher in urban areas (102.89 bites per man per hour) than in peri-urban areas (52.85 bites per man per hour) ($p < 0.05$). Also, out of 160 females blood-fed *Ae. Aegypti* tested by ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) technique for blood meal identification, 90% took their blood meal on humans compared to 6.5% which took their blood meal on sheep. These findings showed that the neighbourhood Dandji in southern Benin offered good condition for the development of *Ae. aegypti* populations. The anthropology and endophagy behavior of *Ae. aegypti* observed from this study need to be considered as a tool to control this mosquito.

KEYWORDS: *Aedes aegypti*, mosquito, behavior, Dandji, Benin.

RESUME: Afin d'évaluer le comportement trophique du moustique *Aedes aegypti* dans le quartier de Dandji à Cotonou au sud du Bénin, une étude a été conduite dans les quartiers urbains et périurbains de Mai à Juillet 2022. Ces collectes ont été faites à partir des captures sur appât humain et de pièges BG-Sentinel deux fois par semaine pendant la durée de l'étude. Les résultats des collectes ont montré que sur un total de 717 issus de deux méthodes, la population de *Ae. Aegypti* était plus importante en zone urbaine que péri-urbaine. La densité agressive des populations de *Ae. aegypti* a été significativement plus importante dans la zone urbaine (102,89 piqures par homme par heure) qu'en zone périurbaine (52,85 piqures par homme par heure) ($p < 0,05$). Aussi, sur 160 femelles de *Ae. Aegypti* gorgées et testées à l'ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay), 90% ont pris leur repas sanguin chez l'homme contre 6,5% qui ont pris leur repas sur les moutons. Ces résultats montrent que le caractère anthro-po-endophage de ce moustique constaté à travers les résultats de cette étude constitue un indice très dans la stratégie de lutte contre ce moustique.

MOTS-CLEFS: *Aedes aegypti*, comportement, moustiques; Dandji, Bénin.

1 INTRODUCTION

Au cours des dernières décades, les flambées épidémiques de maladies virales (Lassa, Ebola, Covid-19), et d'arboviroses (Fièvre Jaune, Chikungunya, Dengue) récemment observées dans le monde ont attiré l'attention sur l'importance médicale que pouvait encore avoir les vecteurs tels que *Aedes aegypti*.

Le moustique de l'espèce *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) est le vecteur de plusieurs virus dont les plus connus sont les virus de la Dengue (DENV), de la fièvre jaune (FJV), le Chikungunya (CHIKV) et le Zika (ZIKV).

La dengue constitue aujourd'hui l'arbovirose la plus répandue et représente un problème de santé publique dans l'ensemble des régions tropicales et subtropicales du monde. Durant les dernières décennies, l'incidence de la dengue a connu une augmentation sans précédent, avec plusieurs flambées épidémiques créant ainsi une augmentation du nombre de cas et de zones touchées à travers le monde (WHO, 2016). Elle est une infection virale de « type grippal » anciennement appelée « petit palu » ou « fièvre rouge » qui touche les nourrissons, les jeunes enfants et les adultes. Le virus de la dengue (DENV) est un arbovirus transmis à l'homme par l'intermédiaire de la piqûre des moustiques femelles infectées du genre *Aedes* (*Ae*) principalement *Aedes aegypti* (Linnaeus) mais dans une moindre mesure *Aedes albopictus*. Le DENV appartient à la famille des *Flaviviridae* (genre flavivirus) et compte cinq stéréotypes différents (DENV-1 à DENV-5) (Bhatt S. *et al.*, 2013).

Dans un contexte de mondialisation caractérisée par la croissance démographique, le changement climatique associé à l'intensification des voyages et à l'urbanisation rapide non maîtrisée, on assiste à la propagation des vecteurs de la dengue et une augmentation du risque de transmission de la maladie renforcée par plusieurs stéréotypes.

Au cours des deux dernières décennies, plusieurs cas d'épidémies de la dengue ont été signalés en Afrique au sud du Sahara notamment au Gabon (Prourut X. *et al.*, 2011), en Côte d'Ivoire (MOI *et al.*, 2010; WHO, 2016), en au Sénégal (Sylla M. *et al.*, 2009; Diallo *et al.*, 2008). La plus récente est celle au Burkina Faso en 2018 avec plus de 1045 cas et 26 décès enregistrés (Ouédraogo S *et al.*, 2019).

Au Bénin, selon une étude menée par Yadouleton *et al.*, (2014) au Sud, les populations de *Ae. aegypti* sont présentes toute l'année dans les zones où de nombreux pneus d'occasion d'Europe et d'Asie sont stockés et vendus. De plus, les travaux de ces mêmes auteurs ont montré que les conditions écologiques du Nord au Sud du Bénin sont favorables au développement de *Ae. aegypti* principal vecteur de la dengue (Yadouleton *et al.*, 2014).

Face à cette situation et à l'inexistence de vaccin et de traitement spécifique contre le virus de la dengue, la seule méthode de prévention et de contrôle des vecteurs de la dengue reste la lutte anti-vectorielle. Un des éléments de cette lutte repose sur l'étude du comportement trophique du moustique et qui constitue un élément important dans le choix de plusieurs stratégies de lutte contre les vecteurs des maladies transmissibles. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent sujet de recherche.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La présente étude a été réalisée dans les quartiers urbains et périurbains de Dandji (Latitude: 6.3710269 et Longitude: 2.4830493291923) au sud du Bénin (Figure 1). Ce quartier a un climat subéquatorial où la température moyenne est de 27,3°C avec une pluviométrie relativement abondante (1300 mm par an en moyenne). Les précipitations ont un régime bimodal et ont lieu principalement entre mars et juillet et atteignent leur maximum en juin.

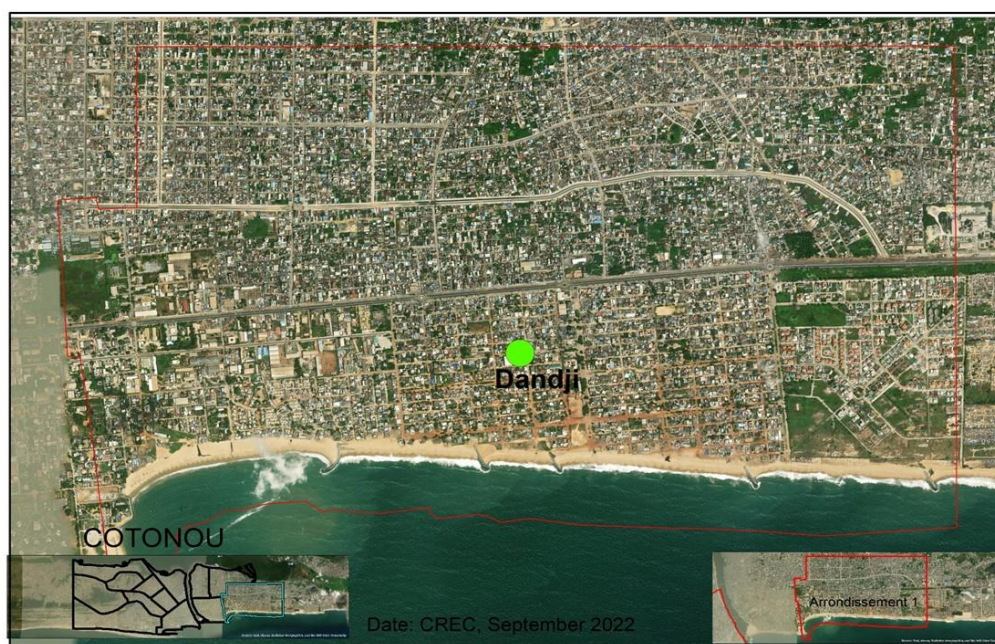


Fig. 1. Carte de la ville de Dandji indiquant le site d'étude

2.2 COLLECTE DES MOUSTIQUES

Des captures mensuelles de moustiques de Mai à Juillet 2022 dans les habitations humaines habitées ont été réalisées de 14h à 18h deux fois par semaine durant toute la période de l'étude. Quatre captureurs dont deux à l'intérieur et deux à l'extérieur ont été utilisés tant en zone urbaine qu'en zone péri-urbaine. Tous les captureurs ont été vaccinés contre la fièvre jaune et protégés du paludisme par une chimioprophylaxie à la sulfadoxine pyriméthamine. Par ailleurs, deux maisons ont été choisies dans chaque quartier le lendemain pour la récolte de la faune résiduelle entre 06h et 07h, à la suite de la pulvérisation intradomiciliaire de pyréthrine après chaque séance de capture de nuit. Dans deux autres maisons de chacun des quartiers, deux pièges BG-Sentinel, à raison d'un piège par maison, ont été posés à l'extérieur des chambres pour la capture des moustiques de 18h à 07h du matin. Tous les moustiques capturés ont été identifiés morphologiquement à l'aide des clés d'identification de Edwards (1941) et de Gillies et de Meillon (1968), puis conservés dans des tubes eppendorff sur du silicagel à -20°C jusqu'à leur traitement. L'identification de l'origine des repas de sang pris par les femelles de *Aedes aegypti* a été effectuée par la technique ELISA directe (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) décrite par Beier et al (1998).

2.3 ANALYSE STATISTIQUE

La densité agressive [nombre de piqûre/homme/nuit] (ma) à l'intérieur et à l'extérieur des habitations, le taux d'endophagie, et le taux de gorgement des différentes espèces durant les saisons sèche et pluvieuse dans les zones urbaines et périurbaines ont été déterminés. Les comparaisons de ces taux ont été faites par le test de χ^2 .

3 RÉSULTATS

3.1 DENSITÉ DE LA FAUNE CULICIDIENNE

Un total de 717 moustiques a été collecté par différentes méthodes. De façon générale, la densité agressive des populations de *Ae. aegypti* a été significativement plus importante dans la zone urbaine (102,89 piqûres par homme par heure) qu'en zone périurbaine (52,85 piqûres par homme par heure) ($p < 0,05$).

3.2 VARIATION SAISONNIÈRE DU TAUX DE GORGEMENT DE *Aedes aegypti*

Les résultats obtenus ont montré que pendant la saison sèche, il n'existe pas de différence significative entre le taux de gorgement de *Ae. aegypti* en zone urbaine et périurbaine ($p > 0,05$). (Tableau 2). Par contre en saison pluvieuse, le taux de

gorgement dans la zone urbaine (70,71%) est significativement plus important que celui obtenu en zone périurbaine (31,1,78%) ($p < 0,0001$). (Tableau 1).

Tableau 1. Variation saisonnière du taux de gorgement des femelles de *Aedes aegypti* dans les zones urbaine et périurbaine de Dandji

Espèces	Zones	Saison sèche				Saison pluvieuse			
		Gorg	Total	Gorg (%)	P	Gorg	Total	Gorg (%)	P
<i>Aedes aegypti</i>	périurbaine	12	78	15,38	$P > 0,05$	48	151	31,78	$P < 0,05$
	urbaine	16	85	18,82		285	403	70,71	

3.3 PREFERENCE TROPHIQUE DES FEMELLES DE AEDES AEGYPTI

Le tableau No2 montre les résultats sur la préférence trophique de *Ae. Aegypti* dans le quartier de Dandji. En effet, sur un total de 160 femelles de *Ae. Aegypti* gorgées a été testé à l'ELISA, 90% des populations de *Ae. aegypti* ont pris leur repas sanguin sur l'homme contre 6,5% qui ont pris leur repas sur les moutons

Tableau 2. Origine du repas sanguin des femelles de *Aedes aegypti* de capturés à l'intérieur des maisons dans le quartier de Dandji

Espèces	Homme		Bœuf		Mouton		Porc	
	Nbre testé	% ayant pris le sang	Nbre testé	% ayant pris le sang	Nbre testé	% ayant pris le sang	Nbre testé	% ayant pris le sang
<i>Aedes aegypti</i>	160	90	160	1,5	160	6,5	160	2

4 DISCUSSION

Le comportement trophique des moustiques serait d'une grande importance dans la lutte contre les vecteurs responsables du paludisme, de la dengue et autres arboviruses (Yadouleton et al., 2018). *Ae. Aegypti* le moustique, le moustique responsable de la dengue a été retrouvé pendant toute la période de notre étude. Ce résultat de recherche confirme les travaux de Yadouleton et al, 2014. Cette présence pourrait s'expliquer par la mauvaise urbanisation créant de nombreux gîtes domestiques favorables au le développement de *Ae. Aegypti*. A cela il faut ajouter les gîtes péri domestiques constitués le plus souvent par des pots de fleurs dans les maisons, des citernes dans les chantiers en constructions, des pneus usagés et qui constituent aussi des endroits favorables non seulement à la ponte des œufs de ce moustique mais aussi pour son développement (Yadouleton et al., 2014).

Par ailleurs, si la population de *Ae. Aegypti* collectée est plus importante pendant le jour que la nuit, nos travaux de recherche à l'instar de ceux de Harrington et al. (2001), confirment l'activité diurne de ce moustique avec une activité plus importante en zone urbaine qu'en zone périurbaine. La manière la plus plausible d'expliquer la forte activité de *Ae. Aegypti* en zone urbaine est d'admettre l'existence de plusieurs appâts en zone urbaine. En effet, l'urbanisation galopante dans la ville de ce quartier de Dandji associée à l'exode rural ont favorisé l'installation de plusieurs appâts comme l'homme, les animaux domestiques (moutons, bœufs, porcs) en zone urbaine dans des conditions insalubres mais favorables à *Ae. Aegypti* (Yadouleton et al., 2018; Lingens et al., 2010).

L'évaluation des préférences trophiques de *Ae. Aegypti* effectuée dans cette étude montre que ce moustique est plus anthropophage que zoophage. Ce résultat corrobore ceux de Tradioux et al. (1990) qui avaient montré que *Ae. aegypti* s'est nourrit presque exclusivement sur l'homme à 93%.

REFERENCES

- [1] WHO, World Malaria Report, World Health Organization, Geneva, 2016.
- [2] YADOLETON A., AGBANRIN R., VODOUNON C., PADONOU G., BADIROU K., ATTOLOU R., URSINS F., ZOLA J., ALLAGBÉ H., AKOGBÉTO M., «Seasonal distribution of *Aedes aegypti* in southern Benin: a risk of dengue virus transmission to urban populations,» *Int. J. Innov. Appl. Stud.* 648-654, 2014.
- [3] YADOLETON A., TCHIBOZO C., AGOLINOU A., KPODO E., KPODJEDO J., BANKOLE H., GBAGUIDI F., «Dengue fever immunoglobulin G (IgG) isotype in blood samples from hospital in Benin,» *World Wide J. Multidisc. Res. Dev.* 4 (8): 15-18, 2018.
- [4] UJIE M., MOI, M.L., KOBAYASHI T., TAKESHITA N., KATO Y., TAKASAKI T., KANAGAWA S., «Dengue virus type-3 infection in a traveler returning from Benin to Japan,» *J. Travel Med.*, 19 (4), 255-257, 2012.
- [5] MOI M.L., TAKASAKI T., KOTAKI A., TAJIMA S., LIM C.K., SAKAMOTO M., IWAGOE H., KOBAYASHI K., KURANE I., «Importation of dengue virus type 3 to Japan from Tanzania and Côte d'Ivoire,» *Emerg. Infect. Dis.*, 16 (11): 1770–1772, 2010.
- [6] EDWARDS F., «Mosquitoes of the Ethiopian Region III,» Culicine adults and pupae, British Museum (Nat Hist), London., 1941.
- [7] GILLIES M.T., DE MEILLON B., «The Anophelinae of Africa South of the Sahara (Ethiopian Zoogeographical Region),» *Sth. Afr. Inst. Med. Res.* 54, 343, 1968.
- [8] BEIER J., PERKKINS P.V., WIRTZ R.A., KOROS J., DIGGS D., GARGAN T.P., KOECH D.K., «Blood- meal identification by direct-enzyme linked immunosorbent assay (ELISA), tested on Anopheles (Diptera: Culicidae) in Kenya,» *J. Med. Entomol.*, 25: 9–16, 1998.
- [9] BARBAULT R., «Écologie des peuplements: structure, dynamique et évolution., » Éditions Masson, Paris, France, 1992.
- [10] DICICCIO T.J., EFRON B., «Bootstrap confidence intervals (with Discussion),» *Stat. Sci.*, 11, 189–228, 1996.
- [11] HARRINGTON L.C., EDMAN J.D., SCOTT T.W., «Why do female *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) feed preferentially and frequently on human blood?» *J. Med. Entomol.*, 38, 411–422, 2001.
- [12] LINGENFELSER A., RYDZANICZ K., KAISER A., ACHIM KAISER, BECKER N., «Mosquito fauna and perspectives for integrated control of urban vector-mosquito populations in Southern Benin (West Africa),» *Ann. Agric. Environ. Med.*, 17 (1): 49-57, 2010.
- [13] TARDIEUX I., POUPÉL O., LAPCHIN L., RODHAIN F., «Variation among strains of *Aedes aegypti* in susceptibility to oral infection with dengue virus type 2,» *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 43 (3): 308-13, 1990.

Les besoins des compétences et la formation limitée à l'encadrement des Adultes

[Skill needs and training limited to adult coaching]

David MANDELA NSENGIYUMVA and Ernest NGONGO USUMBA

Département des sciences commerciales et administratives et Informatique de gestion, Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi (ISP, LUBUMBASHI), RD Congo

Copyright © 2022 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 the current research is to show how adults' skill needs can be met and to explain different processes, tools and means that can foster limited training to adult coaching. In limited training to adult coaching, it is preferable to teach adults new practical skills; to obtain new information aimed at reaching the new skills; to have a training that satisfies the adults' personal and professional desires; to improve a skill or an already acquired professional experience. We also presented some of the ways in which training is encouraged, including self-training, continuing education and distance learning.

KEYWORDS: Adult training, skill needs, coaching, andragogy.

RESUME: Notre objectif dans ce présent travail est de montrer comment on peut desceller les besoins des compétences des adultes et d'expliquer les différents processus, outils et moyens qui peuvent favoriser la formation limitée à l'encadrement des adultes. Dans une formation limitée à l'encadrement des Adultes, ces derniers souhaitent soit apprendre de nouvelles compétences pratiques; obtenir de nouvelles informations visant l'atteinte de nouvelles compétences; avoir une formation qui satisfait ses désirs personnels et professionnels; améliorer une compétence ou une pratique professionnelle déjà acquise. Nous avons aussi présenté certains moyens qui favorisent la formation, entre autre: l'autoformation, la formation continue et la formation à distance.

MOTS-CLEFS: Formation Adultes, Besoins Compétence, Encadrement, Andragogie.

1 INTRODUCTION

La réalité dans laquelle évoluent les adultes augures des leurs besoins bien différents de ceux des enfants et des jeunes adultes. L'andragogie se penche sur ces particularités qu'il faut tenir en compte dans la formation des adultes. Ainsi, l'adulte, en tant qu'apprenant, souhaite:

- Apprendre de nouvelles compétences pratiques;
- Obtenir de nouvelles informations visant l'atteinte de nouvelles compétences;
- Avoir une formation qui satisfait ses désirs personnels et professionnels;
- Améliorer une compétence ou une pratique professionnelle déjà acquise

Enseigner n'est pas la même chose que former. Cette distinction est importante. D'une part, on enseigne à partir d'un programme avec un contenu standardisé, en visant l'acquisition de savoir ou de savoir-faire par l'assimilation des connaissances et avec une certaine hiérarchisation dans la classe (enseignant et élève). D'autre part, on forme à partir d'un besoin, avec un contenu individualisé selon le groupe et les expériences de chacun, en misant sur l'acquisition des compétences applicables dans les situations réelles.

Un enseignant transmet un savoir tandis que le formateur aide les apprenants à acquérir une compétence comme le ferait un « coach ». Ainsi, pour ce faire, certains principes de la formation aux adultes sont à considérer notamment: impliquer l'apprenant adulte dans son apprentissage, prendre en considération l'expérience propre de chaque apprenant. Les apprentissages doivent être reliés à des contextes réels de leur vie ou de leur emploi et enfin miser sur la pratique de résolution de problème.

Pour le présent travail nous avons développé notre dissertation autour de la question suivante: Comment peut-on arriver à desceller les besoins des compétences des adultes et quels sont les différents processus, outils et moyens qui peuvent favoriser la formation limitée à l'encadrement des adultes ?

Ainsi, notre travail a pour objectif de montrer comment on peut desceller les besoins des compétences des adultes et d'expliquer les différents processus, outils et moyens qui peuvent favoriser la formation limitée à l'encadrement des adultes.

2 METHODOLOGIE

Pour ce qui concerne la méthode, nous avons utilisé la méthode documentaire appuyée par deux techniques. Premièrement, la technique de documentation qui nous a permis d'identifier, récupérer et traiter des données publiées ou non d'une part. Et d'autre part, nous nous sommes consacrés à l'interrogation de différents moteurs de recherche et à la lecture des ouvrages de base sur les besoins des compétences et la formation limitée à l'encadrement des Adultes. Deuxièmement, nous avons utilisé la technique d'observation qui nous a permis de faire certains constats au sein de notre milieu et environnement de travail scientifique et professionnel.

3 LES BESOINS DES COMPETENCES

Les besoins des compétences et la formations limités à l'encadrement des adultes doit tenir compte de certains principes de la formation dédiés à cette dernière qui sont indispensables afin d'atteindre les objectifs assignés et pallier d'une manière durable aux besoins de la communauté, entre autre:

3.1 L'APPRENANT ADULTE DOIT ÊTRE IMPLIQUE DANS SON APPRENTISSAGE

La formation doit impliquer l'apprenant adulte. En pédagogie, la relation entre l'élève et l'enseignant est très hiérarchisée. En andragogie, l'adulte doit participer dans la planification et l'évaluation de ses apprentissages. Le formateur doit impliquer l'apprenant, lui demander quels sont ses objectifs, pourquoi il suit la formation et ce qu'il attend de cette dernière, etc.

3.2 L'EXPERIENCE PROPRE DE CHAQUE APPRENANT ADULTE DOIT ÊTRE PRISE EN CONSIDERATION

Chaque apprenant adulte détient sa propre expérience: les échanges sont donc motivateurs parce qu'ils proviennent de contextes réels auxquels l'apprenant peut associer ces nouveaux apprentissages. Ces échanges permettent la validation des situations réelles qu'ils n'ont peut-être pas eu la chance (ou la malchance) de vivre. Enfin, l'expérience personnelle de chaque apprenant doit être prise en compte dans les activités d'apprentissage, car ce bagage constitue une ressource importante pour sa formation.

3.3 LES APPRENTISSAGES DOIVENT ÊTRE RELIES À DES CONTEXTES REELS DE LEUR VIE OU DE LEUR EMPLOI

Les apprenants adultes ont besoin de concret. Ils veulent savoir pourquoi cette formation est importante et quelles en sont les applications réelles. Ils ont besoin d'être convaincus. Les apprentissages doivent être en lien avec des situations réelles. Pour ces apprenants, le terrain est le lieu de la compréhension.

3.4 METTRE EN JEU SUR LA MISE EN PRATIQUE DE RESOLUTION DE PROBLEME

Eviter la mémorisation de contenu, rester dans la mise en pratique. La rétention est très importante chez l'apprenant adulte lorsqu'il est mis en action avec des activités pratiques immédiatement après avoir acquis de nouvelles connaissances. Allez droit au but dans le contenu et laissez-les expérimenter ce qu'ils ont appris. Les apprentissages doivent être reliés à des applications immédiates, oubliez le superflu. S'ils le souhaitent, ils pourront consulter les informations complémentaires. N'hésitez pas à inclure un nombre considérable d'exercices pratiques dans votre formation, sans toutefois tomber dans le piège de la répétition. La variété est importante.

3.5 ANALYSER LES BESOINS

Il nous paraît impératif de connaître les raisons qui poussent des adultes à s'imposer une formation d'une certaine durée. Nous avons appris à nous méfier de la demande du commanditaire. En effet, celui-ci définit souvent cette demande en fonction de ses propres attentes. Le contenu qui en découle n'est pas nécessairement celui des participants qui n'ont pas toujours été consultés à propos de la formation qu'ils vont suivre. Différentes techniques sont possibles pour faire s'exprimer les attentes des participants.

Il est parfois nécessaire d'aller au-delà de ce qui est dit, dans une première expression, pour remonter à la signification de la demande. Ainsi, par exemple, le cas des travailleurs sociaux qui demandent une formation méthodologique à la pédagogie du projet. En discutant avec eux, il apparaît que le problème est moins de savoir comment procéder avec leurs groupes que de se mettre d'accord, au niveau de l'équipe, sur le type de travail qu'il convient de mener avec leur public. Des divergences existent entre eux et ils interprètent différemment les finalités de l'institution et les injonctions des décrets, ce qui les conduit à des pratiques divergentes.

Cette étape de l'analyse des besoins est aussi l'occasion de mettre en évidence la diversité des attentes présentes au sein du groupe en formation ainsi que la nature différente des demandes. Il faudra en tirer la conclusion qu'il ne sera pas possible de les satisfaire toutes, à cause de leur diversité et des limites de temps. Il faudra donc négocier le contenu de la session et il y aura inmanquablement des frustrations. Autant que tout le monde le sache dès le départ.

Pour dégager la signification de la demande, surtout dans les formations longues, il nous est apparu utile d'inscrire le projet de formation dans la trajectoire professionnelle des participants, voire dans leur trajectoire de vie. Nous utilisons pour ce faire différentes techniques comme l'Activation du Développement Vocationnel et Personnel ou ADVP [1], le projet personnel [2], voire le récit de vie.

3.6 PLANIFIER LES BESOINS

Les adultes sont rassurés quand ils voient, dès le départ, la progression qui sera suivie, à travers un ensemble des différents contenus qui ont été mis sur le tapis, d'entrée de jeu, et dont l'ampleur et la variété peuvent inquiéter, prennent place dans un emploi du temps. Celui-ci laisse supposer que les objectifs annoncés pourront être atteints, que certains modules spécialement attendus par l'un ou par l'autre, seront bien travaillés. Pour réaliser ce planning, le découpage du contenu en unités d'apprentissage qui sont en réalité des unités de problèmes s'avère pertinent, facilitant l'évaluation et partant, le renforcement positif.

4 LA FORMATION LIMITE A L'ENCADREMENT DES ADULTES

4.1 LES DIFFERENTS PROCESSUS DE LA FORMATION

4.1.1 LE PROCESSUS INDIVIDUELS

Une formation obligatoire ou choisie ne peut être apprenante que si on s'interroge sur la dynamique individuelle de l'acte d'apprendre.

Si beaucoup d'auteurs lient essentiellement le rapport au savoir des adultes à leur motivation (liée à des facteurs intrinsèques et extrinsèques essentiellement), Philippe Carré, avec le concept d'apprenance, définit de manière plus globale ce qui pousse les adultes à se former.

Il s'agit d'un ensemble durable de dispositions favorables à l'action d'apprendre dans toutes les situations formelles ou informelles, de façon expérientielle ou didactique, autodirigée ou non, intentionnelle ou fortuite.

Pour l'auteur, il faut vouloir, pouvoir et savoir apprendre. Il ordonne ainsi ces dispositions sur trois fondements: le cognitif, l'affectif, et le conatif (les motivations à l'apprentissage).

Lors du processus d'apprentissage, les schèmes innés combinés à des expérimentations, des actions, peuvent évoluer sans limite d'âge. Cette évolution se fait par deux biais:

- **L'assimilation** : nuancer un schème déjà présent, lui rajouter des exemples sans le modifier
- **L'accommodation** : transformer ou changer un schème existant. Le changement se fait par l'expérience au niveau du schème existant (transformation avec une nouvelle donnée, création de liens avec les anciens schèmes, apparition d'un nouveau schème)

4.1.2 LES PROCESSUS COLLECTIFS

Pierre Lévy, auteur de *l'Intelligence collective – Pour une anthropologie du cyberspace*, qualifie l'intelligence collective d'« intelligence partout distribuée, sans cesse valorisée, coordonnée en temps réel, qui aboutit à une mobilisation effective des compétences », les processus collectifs d'apprentissage, constitution d'une communauté d'apprentissage afin d'augmenter le savoir collectif par l'implication de chaque participant, participent également au développement du savoir individuel.

Outre la différence entre le collaboratif et le coopératif qui impacte le niveau d'entraide, la nature collective du processus rend possible, par la prévalence de l'ensemble sur l'individuel, l'émergence du sentiment de confiance et de la dynamique de groupe.

Dans la continuité des travaux de Vigotsky, on trouve Jérôme Bruner pour qui apprendre est un processus interactif dans lequel les gens apprennent les uns des autres. Il emploie la notion d'échafaudage en ce qui concerne l'enseignant qui devient une ressource pour l'apprenant.

Dans ce courant, on retrouve la notion de conflit sociocognitif qui désigne les interactions sociales qui provoquent une confrontation de points de vue sur un sujet. De cette confrontation naissent une réorganisation des concepts antérieurs et l'intégration de nouveaux éléments.

Le professionnel est considéré comme un praticien réflexif, capable de délibérer sur sa propre pratique, de l'objectiver, de la partager, de l'améliorer et d'introduire des innovations susceptibles d'accroître son efficacité [3].

Perrenoud précise que cette réflexion conjointe est une activité de haut niveau, ce n'est pas une discipline spécifique, elle n'est pas de l'ordre du savoir mais du rapport au savoir, du regard sur l'action, de la posture critique de la compétence [4].

Le développement des compétences métacognitives doit donc faire partie intégrante des apprentissages des adultes. Les dispositifs de formation doivent être repensés en ce sens.

4.2 LES DIFFERENTS MOYENS QUI FAVORISENT LA FORMATION

4.2.1 L'AUTOFORMATION

Une des caractéristiques de l'apprentissage des adultes est la capacité à s'auto-former. Selon Joffre Dumazedier, "L'autoformation apparaît ainsi comme un mode d'auto-développement des connaissances et des compétences par le sujet social lui-même, selon son rythme, avec l'aide de ressources éducatives et de médiation sociale les plus choisies possibles."

Philippe Carré, quant à lui, définit l'autoformation par le fait d'apprendre par "soi-même" de manière autonome. Pour cela, il définit une "galaxie" de l'autoformation reposant sur cinq approches différentes.

- L'autoformation existentielle (apprendre à être)
- L'autoformation éducative (dans le cadre d'institutions éducatives, pratiques pédagogiques ayant pour but de développer des apprentissages autonomes)
- L'autoformation sociale (apprentissage réalisé par l'intermédiaire du groupe social)
- L'autoformation cognitive (apprendre à apprendre)
- Et enfin, l'autoformation intégrale ou autodaxie qui est le fait pour un individu d'être complètement autonome dans son rapport au savoir (fixation d'objectifs, recherche d'information, construction de ses méthodes d'apprentissage, autoévaluation), et donc de se former en dehors de toute institution éducative

L'autoformation repose en grande partie sur l'auto-efficacité. Selon Albert Bandura, psychologue canadien théoricien de la psychologie sociale, ce terme désigne la croyance des individus dans leurs capacités à obtenir les résultats attendus. Le sentiment d'efficacité personnelle améliore leurs performances.

4.2.2 LA FORMATION À DISTANCE

Les formations ouvertes et à distance comme étant « des dispositifs de formation s'appuyant pour tout ou partie sur des apprentissages non présentiels, en auto-formation, ou avec tutorat, à domicile, dans l'entreprise et/ou en centre de formation. »

De manière consensuelle, il est admis qu'une formation est envisagée comme ouverte quand les formations sont synchrones mais avec une unité de lieux différente, soit dans un même espace mais de manière asynchrone ou enfin à des moments et des espaces d'accès à la formation différenciés. Il est à noter que l'Unesco [5] définit la FOAD comme "une liberté d'accès aux ressources pédagogiques mises à disposition de l'apprenant, sans aucune restriction, à savoir: absence de conditions d'admission, itinéraire et rythme de formation choisis par l'apprenant selon sa disponibilité et conclusion d'un contrat entre l'apprenant et l'institution" et doit prendre l'apprenant dans sa singularité. De plus, selon la commission européenne, elle "permet à chacun de travailler de façon autonome, à son propre rythme, quel que soit le lieu où il se trouve, notamment grâce à l'e-learning".

Un Campus numérique est « *un dispositif de formations modularisées, répondant à des besoins d'enseignement supérieur identifiés, combinant les ressources du multimédia, l'interactivité des environnements numériques et l'encadrement humain et administratif nécessaire aux apprentissages et à leur validation.* »

Modalités et moyens pédagogiques, techniques et d'encadrement d'un campus numérique de formation:

- Seule la formation est accessible en ligne (connexion haut débit requise et logiciels recommandés)
- Une plate-forme de e-learning, environnement de travail collaboratif
- Des supports pédagogiques différenciés
- Des espaces de communication en ligne pour favoriser une véritable communauté d'apprentissage
- Des exercices d'entraînement à l'examen avec correction individualisée
- Un accompagnement assuré tout au long de la formation par des tuteurs spécialistes
- Des regroupements avec travaux dirigés des stages

4.2.3 L'ACCOMPAGNEMENT

Une diversité de manifestations: le *coaching* (à visée d'efficacité, de performance et d'excellence), le *counseling* (c'est une relation d'aide dans un processus de développement personnel), le conseil et la consultance (il s'agit de restaurer le pouvoir d'agir), le mentorat (c'est une relation intergénérationnelle d'apprentissage entre un homme d'expérience et un novice), la médiation institutionnelle et sociale et la médiation éducative (il s'agit d'instaurer un tiers entre les protagonistes), le compagnonnage (c'est une fonction de transmission et de formation dans l'apprentissage et la pratique d'un métier), le *sponsoring* (c'est une fonction de parrainage) pour adultes. Cette diversité des pratiques d'accompagnement de l'autre peut se comprendre selon les différentes façons de composer l'assistance, le conseil et la direction, indique Maela Paul. L'accompagnement n'est pas une relation d'autorité maître/élève ou médecin/patient. Il ne s'agit pas d'une relation de partenariat mais davantage d'une relation spécifique qui articule l'égalité des personnes et la dissymétrie des fonctions.

4.2.4 LA FORMATION CONTINUE

Parmi ces dispositifs, la majorité des adultes vont faire ce que l'on appelle la formation continue. Cette dernière correspond aux individus qui ont quitté la formation initiale. La formation continue peut ainsi prendre différentes formes: la formation en alternance, la formation ouverte et à distance ou encore des formations hybrides. Dans de rares cas, les adultes peuvent également choisir d'effectuer une reconversion professionnelle en repassant par la formation initiale. Elle concerne les jeunes sous statut scolaire et universitaire ainsi que les apprentis.

En effet, les partenaires sociaux interviennent directement dans la gestion de la formation par le truchement des organismes collecteurs puisque ces derniers sont gérés obligatoirement de manière paritaire. Les différents outils de la formation

De multiples démarches, impliquant à des degrés divers et sous des formes variées l'activité des apprenants, sont disponibles [6]. Nous puisons dans ce réservoir les techniques qui semblent les plus appropriées à la compréhension et la maîtrise de l'objet de la formation et les plus adaptées au groupe.

4.3 LES DIFFERENTS OUTILS DE LA FORMATION

4.3.1 LA MÉTHODOLOGIE

La didactique professionnelle étudie les relations qui existent entre situations de travail et développement des compétences.

Par l'intelligibilisation des situations de travail, elle vise la conceptualisation de l'action. Appliquée à la formation, la didactique professionnelle transforme les situations de travail en situations didactiques par le biais de situations-problèmes. Elle permet aux savoirs d'être mis en œuvre autour de situations concrètes. Le travail est alors objet et support de formation.

Pour cela, elle puise dans le stock des situations-problèmes que l'on peut rencontrer dans les ateliers, les bureaux, et en général dans toutes les activités de travail. Le choix de ces situations se caractérise par le fait que les comportements professionnels mis en œuvre pour faire face aux problèmes rencontrés ne peuvent être le résultat de routines, d'automatismes, de procédures ou de règles, mais ce choix-là nécessite la mise en œuvre de stratégies de résolution de problèmes.

Le but de la didactique professionnelle est donc de développer des compétences plutôt générales que techniques, de développer des savoir-faire largement cognitifs qui ont pour fonction de savoir traiter de l'information, savoir raisonner, savoir comprendre, savoir analyser et donc de lire, comprendre, et réaliser le travail.

Le développement de ces savoirs cognitifs se traduit par une plus grande capacité à résoudre les problèmes professionnels, par une capacité à prendre des distances avec l'action passée, présente ou à venir, à formaliser son expérience... et donc à développer de nombreux apprentissages en relation avec les différentes formes de savoirs que nous avons déjà évoqués plus en avant.

Ainsi, même si au départ la didactique professionnelle s'ancre dans des situations fortement contextualisées qui permettent de préserver le sens des situations-problèmes qu'il faut traiter, elle cherche prioritairement à accompagner le développement de capacités cognitives qui vont permettre d'utiliser les apprentissages ailleurs que dans l'ici et le maintenant. Pour cela, elle s'appuie sur l'analyse cognitive des situations et repose sur les explicitations suivantes: des résultats effectifs ou attendus de l'action d'une opération; des règles d'action qui permettent de prévoir le résultat; des principes explicatifs sur lesquels reposent les règles d'action à mettre en œuvre et des relations de signification et/ou de détermination qui existent entre les différents éléments d'une même situation.

L'individu prend ainsi peu à peu conscience de ce qui guide et oriente son action, de ce dont il a besoin pour résoudre le problème qui se pose à lui (en termes de savoirs, d'outils, de relations, etc.). Il est ainsi petit à petit amené à se détacher des situations contextuelles et circonstancielles, limitées et spécifiques, pour entrer progressivement dans le monde des logiques d'action.

La didactique professionnelle est une de grande solution car il permet donc aux individus d'acquérir de l'expérience professionnelle dans l'intelligence des situations et a toute sa place dans la mise en œuvre de processus de professionnalisation.

4.3.2 MODE D'ANIMATION DU COURS

Le mode d'animation des différents cours par rapport à la formation des adultes dépend de cinq éléments suivant:

- Temps de tissage (articulations entre les éléments de cours)
- Temps d'expose (par les étudiants, note orale)
- Temps d'illustrations (films, posters, débats,...)
- Temps de synthèse (par formateur, éléments de cours)
- Temps de travail personnel (analyse du travail d'un proche, d'un voisin, d'un collègue..., note écrite), aide du formateur, mise en pratique de la théorie,...)

5 DISCUSSION

En mettant un accent particulier sur l'apprentissage orientée vers l'acquisition des compétences et impliquer l'apprenant adulte dans son apprentissage, prendre en considération l'expérience propre de chaque apprenant, reliés les apprentissages avec les contextes réels de leur vie ou de leur emploi et enfin compter sur la mise en pratique de résolution de problème, cela va dans le même sens avec ce que nous dit Noreau et Bernheim qu'enseigner: ce n'est pas professer, au sens de « débiter », des connaissances à un groupe d'étudiants prêts à boire nos paroles et à prendre nos propos comme vérité absolue, mais cela constitue plutôt un acte visant l'apprentissage [7].

Comme l'a décrit Shulman, l'enseignant conçoit des explications sur les contenus à l'intérieur d'un répertoire personnalisé constitué d'analogies, de métaphores et d'exemples. La génération d'explications transformatrices se reconnaît au choix d'un vocabulaire spécifique, à l'utilisation d'exemples et à la mise au point d'analogies [8]. Ce qui corrobore avec nous où nous avons dit qu'il est impératif de connaître les raisons qui poussent des adultes à s'imposer une formation d'une certaine durée tout en nous méfiant de la demande du commanditaire car ce dernier définit souvent cette demande en fonction de ses propres attentes.

S'agissant de différents moyens qui favorisent la formation, nous avons parlé de l'autoformation, de la formation continue et de la formation à distance qui, à travers des formations modularisées, répondent à des besoins d'enseignement identifiés, combinent les ressources du multimédia, l'interactivité des environnements numériques et l'encadrement humain et administratif nécessaire aux apprentissages et à leur validation. Et le tout en utilisant des plateformes e-learning qui sont des environnements de travail collaboratif où la formation est accessible en ligne, ce qu'affirme Kitumu en disant que l'Internet est un générateur de supports et d'espaces pédagogiques « online » (Mooc, Acolad, Moodle...), des e-books, des bibliothèques numériques, des outils professionnels collaboratifs, des blogs, des forums et des réseaux sociaux professionnels, etc. L'avènement d'Internet a contribué à l'orientation des institutions universitaires africaines vers le développement de nouvelles pratiques de communication, entre autres celles de l'autoformation numérique, de l'accès à des ressources pédagogiques et documentaires diverses, du partage collaboratif des connaissances, de la numérisation des données académiques [9].

6 CONCLUSION

S'agissant de la formation limitée à l'encadrement des Adultes, nous avons souligné dans cette étude qu'il faut tenir compte d'intérêt et besoins des adultes dans la formation aux adultes, car la réalité dans laquelle évoluent les adultes et leurs besoins sont bien différents de ceux des enfants et de jeunes adultes. La formation doit impliquer l'apprenant adulte et l'inciter à participer dans la planification et l'évaluation de ses apprentissages. Le formateur devra lui demander ses objectifs, pourquoi il suit la formation et ce qu'il attend de cette dernière.

Ensuite nous avons présenté les différents moyens qui favorisent la formation, entre autres: l'autoformation, formation continue et la formation à distance qui à travers des formations modularisées, répondent à des besoins d'enseignement identifiés, combinant les ressources du multimédia, l'interactivité des environnements numériques et l'encadrement humain et administratif nécessaire aux apprentissages et à leur validation. Et le tout en utilisant des plateformes e-learning qui sont des environnements de travail collaboratif où la formation est accessible en ligne.

REFERENCES

- [1] Pelletier, D., Noiseux, G., Bujold R. Développement vocationnel et croissance personnelle, Mc Graw-Hill, 1974.
- [2] Tilman F, Penser le projet. Concepts et outils d'une pédagogie émancipatrice, Lyon, Chronique sociale, 2004.
- [3] Léopold PAQUAY, Régine SIROTA, « Le praticien réflexif », *Recherche et Formation (INRP)*, 2001.
- [4] Philippe Perrenoud, « Mettre la pratique réflexive au centre du projet de formation », *Cahiers pédagogiques*, janvier 2001.
- [5] Moore, M. G. Resta, P., Rumble, G., Tait, A, & Zaparovanny, Y. (2002). Open and distance learning: Trends, policy and strategy consideration.
- [6] Amégan S., Pour une pédagogie active et créative, Québec, Presses de l'Université du Québec, 1993.
- [7] Pierre Noreau et Emmanuelle Bernheim, Devenir professeur, Les Presses de l'Université de Montréal, ISBN 9782760640566, 2019.
- [8] Shulman, L. S., « Knowledge and teaching: Foundations of the new reform », *Harvard Educational Review*, vol. 57, n°1, 1987.
- [9] Kitumu Mayimona Bobo-Berck, Usages d'Internet par les enseignants des universités congolaises, Thèse de de Doctorat Université Catholique de Louvain, Belgique, 2019.

Effet de microdoses d'urée associées à des doses de compost sur la productivité de la célosie (*Celosia argentea* L.)

[Effect of microdoses of urea associated with doses of compost on the productivity of celosia (*Celosia argentea* L.)]

Tamia Joséphine Ama-Abina¹, Mako François De Paul N'Gbesso², Brindou Brou Yannick Boa¹, Gaoussou Sanogo Famory Traore^{1,2}, and Lassina Fondio²

¹Laboratoire de Géosciences et Environnement, Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA (UNA) Abidjan (Côte d'Ivoire), 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

²Station de Recherche sur les Cultures Vivrières, Bouaké (Côte d'Ivoire), Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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: Poor cultivation practices, attacks by numerous pests and diseases, unavailability of arable land in urban areas, and the excessive and unreasonable use of fertilizers and pesticides are the constraints to celosia cultivation. Faced with all these constraints, a trial was conducted to improve celosia productivity, using a split-plot system with three blocks, at the CNRA Foods Crops Research Station in Bouaké. Six doses of compost combined with six microdoses of urea were tested. The results of the growth parameters showed that the D4T5 treatment, which was a combination of 8 t/ha of compost and 3 g of urea/package, promoted very good vegetative development at 45 days. The D2T3 and D0T5 treatments, which were respectively the combination of 4 t/ha compost + 2 g urea/package and 0 t/ha compost + 3 g urea/package, were the most productive with 27.28±4.50 and 27.08±2.88 t/ha respectively. The optimum compost rate was therefore obtained by treatment D2 and the optimum urea rate by treatment T3. Furthermore, of all the treatments applied, treatment D0T1, a combination of 0 t/ha compost + 0.5 g urea/package, and treatment D0T2, a combination of 0 t/ha compost + 1 g urea/package, obtained the best agronomic efficiencies with 14.89±12.01 and 12.89±7.75 kg MS/kg respectively. It appears that the combination of urea and compost (D2T3), which seems to produce better yields, could be recommended to farmers.

KEYWORDS: Urea, compost, productivity, celosia, Bouaké.

RESUME: Les mauvaises pratiques culturales, les attaques de nombreux ravageurs et maladies, l'indisponibilité de terre arable en zones urbaines et l'utilisation abusive et non raisonnée des engrais et pesticides sont les contraintes de culture de la célosie. Face à toutes ces contraintes, un essai a été mené dans le but d'améliorer la productivité de la célosie, selon un dispositif en split-plot à trois blocs, à la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières du CNRA de Bouaké. Six doses de compost associées à six microdoses d'urée ont été testées. Les résultats des paramètres de croissance ont montré que le traitement D4T5 issu de la combinaison de 8 t/ha de compost et de 3 g d'urée/poquet a favorisé un très bon développement végétatif à 45 JAS. Les traitements D2T3 et D0T5 issus respectivement de la combinaison de 4 t/ha de compost + 2 g d'urée/poquet et 0 t/ha de compost + 3 g d'urée/poquet ont été les plus productives avec respectivement 27,28±4,50 et 27,08±2,88 t/ha. La dose optimale du compost a été obtenue donc par le traitement D2 et celle de l'urée par le traitement T3. Par ailleurs, de tous les traitements appliqués, le traitement D0T1, combinaison de 0 t/ha de compost + 0,5 g d'urée/poquet, et le traitement D0T2, combinaison de 0 t/ha de compost + 1 g d'urée/poquet, ont obtenus les meilleures efficacités agronomiques avec respectivement 14,89±12,01 et 12,89±7,75 kg MS/kg. Il ressort que l'association urée et compost (D2T3), qui semble produire de meilleurs rendements, pourrait être conseillée aux producteurs.

MOTS-CLÉS: Urée, compost, productivité, célosie, Bouaké.

1 INTRODUCTION

La célosie (*Celosia argentea* L.) est une plante herbacée annuelle résistante à la sécheresse [1]. Cette plante joue un rôle important dans les régimes alimentaires des populations vivant en Afrique, en Asie et en Océanie. Elle est consommée à des fins nutritionnelles et médicinales [2]. Les feuilles et les jeunes pousses sont utilisées dans les soupes et les ragoûts pour leurs taux élevés de calcium, de phosphore et de fer [3]. Aussi, la célosie est-elle une source importante de protéines, de calories, de vitamines, de minéraux et de fibres [4] et [5] qui enrichissent l'alimentation des populations en Afrique et, surtout, celles des personnes à faibles revenus [1]. Selon [6], elle est économiquement rentable et présente plusieurs valeurs nutritives qui peuvent contribuer, significativement, à atteindre la sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire. En effet, sa richesse nutritionnelle, ses multiples utilisations culinaires et son usage industriel ont été développés par la recherche. Ceci a eu pour avantage, un regain d'intérêt de sa consommation par les populations [7]. Malgré l'importance de la célosie au plan socio-économique, nutritionnel et thérapeutique, peu de travaux ont été réalisés pour améliorer sa productivité [1]. Selon la [8], le rendement moyen de cette culture (7,60 t/ha) a été limité par les pratiques culturales obsolètes.

De ce fait, la célosie est considérée comme une plante marginale en zone rurale. Les producteurs s'y intéressent peu, et sa production est assurée par quelques femmes dans les espaces urbains et périurbains, avec des techniques rudimentaires et des méthodes de fertilisation traditionnelle [9] peu recommandables. Aussi, peut-on noter l'absence d'itinéraire technique et l'emploi excessif de fertilisants minéraux [10] à des doses indéfinies, avec ses répercussions sur l'environnement et surtout sur la qualité de la production.

Dans ce contexte, il devient opportun de proposer des méthodes de fertilisation adéquates qui tiennent à la fois compte de la qualité de la production et de la préservation de l'environnement.

Cette étude initiée sur l'amélioration de la productivité de la célosie vise à évaluer l'effet des doses de compost et d'urée sur les paramètres de croissance et de rendement et à déterminer les doses de compost et d'urée optimales pour la production de la célosie.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée à la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières (SRCV) du CNRA de Bouaké, ville située à environ 340 km d'Abidjan au Centre de la Côte d'Ivoire. La Station CNRA est située à 8 km du centre de la ville (Figure 1) avec pour coordonnées géographiques: 05°52'2" W, 07°40'42,6" N et à 430 m d'altitude. La ville de Bouaké a une superficie de 28 530 km², avec une densité de 53,9 hab/km² [11]. Elle est le Chef-lieu de la région du Gbêkê, avec une population d'environ 680 694 habitants [12].



Fig. 1. Présentation de la zone d'étude [13]

2.2 CLIMAT ET SOLS

La région de Bouaké est située dans le climat baouléen caractérisé par quatre saisons, dont une grande saison sèche (novembre à février), une grande saison de pluies (mars à juin), une petite saison sèche (juillet à août) et une petite saison de pluies (septembre à octobre). Mais, chacune de ces périodes est de moins en moins marquées ces dernières années selon [14].

Cependant, le diagramme ombrothermique de l'année 2019 (Figure 2) révèle que les mois les plus chauds ont été d'une part, janvier, février et d'autre part, novembre et décembre. Les faibles températures sont enregistrées en juillet, août, septembre et octobre. La température moyenne dans la journée se situe autour de 27 °C.

La région centre de la Côte d'Ivoire est occupée par des Ferralsols à texture sableuse [15]. Ce sont des Ferralsols typiques ou rajeunis, sur granite, des sols remaniés, avec des sous-groupes indurés ou appauvris et gleyiques [16]. Les bas-fonds ont une couverture pédologique colluvio-alluviale, occupée par des Gleysols sablo-limoneux à sablo-argileux, en permanence inondés pendant la saison des pluies [17].

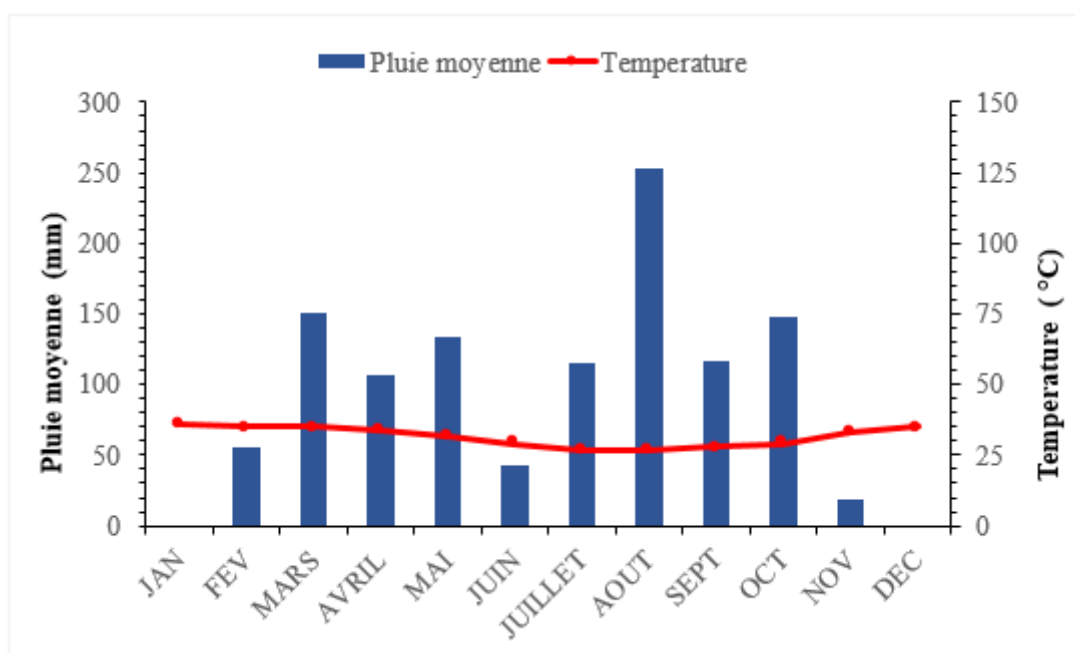


Fig. 2. Diagramme ombrothermique de la Station CNRA de Bouaké de l'année 2019

2.3 MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'étude a porté sur l'espèce de célosie (*Celosia argentea* L.) qui est commercialisée en Côte d'Ivoire et très appréciée par les producteurs et les consommateurs. Son choix s'explique, non seulement, par sa grande consommation par la population en raison de sa forte teneur en vitamines et minéraux mais, surtout, par sa facilité de production et constitue également une source de revenus pour les petits producteurs urbains.

2.4 MATÉRIEL FERTILISANT

Le matériel fertilisant (Photo 1) utilisé est constitué d'engrais minéraux (l'urée (46-0-0)) (Photo 1a) et d'engrais organique (compost (Photo 1b)). Le compost a été obtenu après compostage de sous-produits agricoles locaux (résidus de récolte de soja et fane d'arachide) et de déjections animales (fientes de poulet) pendant six (06) mois.



a : Urée à 46 % d'azote.



b : Compost de sous-produits locaux.

Photo 1. Matériel fertilisant utilisé

2.5 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai a été conduit selon un dispositif en Split-plot incluant trois blocs (Figure 3), constitués de 6 doses de compost (D0, D1, D2, D3, D4, D5) en apport de fond et 6 microdoses d'urée (T0, T1, T2, T3, T4 et T5) en apport de couverture tels que définis respectivement dans les

tableaux 1 et 2 ci-dessous. Les parcelles élémentaires (Figure 4) ont une superficie de 6 m² (3 m x 2 m). Dans chaque traitement qui représente une parcelle élémentaire, la célosie a été semée sur des planches de six (6) lignes de 6 plants par poquet (orientés dans le sens de la largeur) soit 36 plants par parcelle élémentaire dont 16 centraux (représentés en rouge) sur lesquels ont portés les mesures. Les écartements ont été de 0,3 m entre deux plants consécutifs et 0,4 m entre les lignes, soit une densité de 60000 plants à l’hectare. L’essai a été conduit sur une superficie de 1282,5 m² (19 m x 67,5 m) pour une densité totale de couverture de 213,75 m².

Au total 36 traitements ont été comparés:

- D0T0 (0 t/ha de compost et 0 g d’urée/poquet);
- D0T1 (0 t/ha de compost et 0,5 g d’urée/poquet);
- D0T2 (0 t/ha de compost et 1 g d’urée/poquet);
- D0T3 (0 t/ha de compost et 2 g d’urée/poquet);
- D0T4 (0 t/ha de compost et 2,5 g d’urée/poquet);
- D0T5 (0 t/ha de compost et 3 g d’urée/poquet);
- D1T0 (2 t/ha de compost et 0 g d’urée/poquet);
- D1T1 (2 t/ha de compost et 0,5 g d’urée/poquet);
- D1T2 (2 t/ha de compost et 1 g d’urée/poquet);
- D1T3 (2 t/ha de compost et 2 g d’urée/poquet);
- D1T4 (2 t/ha de compost et 2,5 g d’urée/poquet);
- D1T5 (2 t/ha de compost et 3 g d’urée/poquet);
- D2T0 (4 t/ha de compost et 0 g d’urée/poquet);
- D2T1 (4 t/ha de compost et 0,5 g d’urée/poquet);
- D2T2 (4 t/ha de compost et 1 g d’urée/poquet);
- D2T3 (4 t/ha de compost et 2 g d’urée/poquet);
- D2T4 (4 t/ha de compost et 2,5 g d’urée/poquet);
- D2T5 (4 t/ha de compost et 3 g d’urée/poquet);
- D3T0 (6 t/ha de compost et 0 g d’urée/poquet);
- D3T1 (6 t/ha de compost et 0,5 g d’urée/poquet);
- D3T2 (6 t/ha de compost et 1 g d’urée/poquet);
- D3T3 (6 t/ha de compost et 2 g d’urée/poquet);
- D3T4 (6 t/ha de compost et 2,5 g d’urée/poquet);
- D3T5 (6 t/ha de compost et 3 g d’urée/poquet);
- D4T0 (8 t/ha de compost et 0 g d’urée/poquet);
- D4T1 (8 t/ha de compost et 0,5 g d’urée/poquet);
- D4T2 (8 t/ha de compost et 1 g d’urée/poquet);
- D4T3 (8 t/ha de compost et 2 g d’urée/poquet);
- D4T4 (8 t/ha de compost et 2,5 g d’urée/poquet);
- D4T5 (8 t/ha de compost et 3 g d’urée/poquet);
- D5T0 (10 t/ha de compost et 0 g d’urée/poquet);
- D5T1 (10 t/ha de compost et 0,5 g d’urée/poquet);
- D5T2 (10 t/ha de compost et 1 g d’urée/poquet);
- D5T3 (10 t/ha de compost et 2 g d’urée/poquet);
- D5T4 (10 t/ha de compost et 2,5 g d’urée/poquet);
- D5T5 (10 t/ha de compost et 3 g d’urée/poquet)

Tableau 1. Doses de compost appliquées en apport de fond

Traitements	Quantités appliquées (t/ha)	Délai d’application
D0	0	Aucune application
D1	2	Appliquer le jour du semis
D2	4	Appliquer le jour du semis
D3	6	Appliquer le jour du semis
D4	8	Appliquer le jour du semis
D5	10	Appliquer le jour du semis

Tableau 2. Doses d'urée appliquées pour chaque traitement

Traitements	Quantité d'urée par poquet (g)	Délai d'application
T0	0	Aucune application
T1	0,5	Appliquer 30 jours après semis
T2	1	Appliquer 30 jours après semis
T3	2	Appliquer 30 jours après semis
T4	2,5	Appliquer 30 jours après semis
T5	3	Appliquer 30 jours après semis

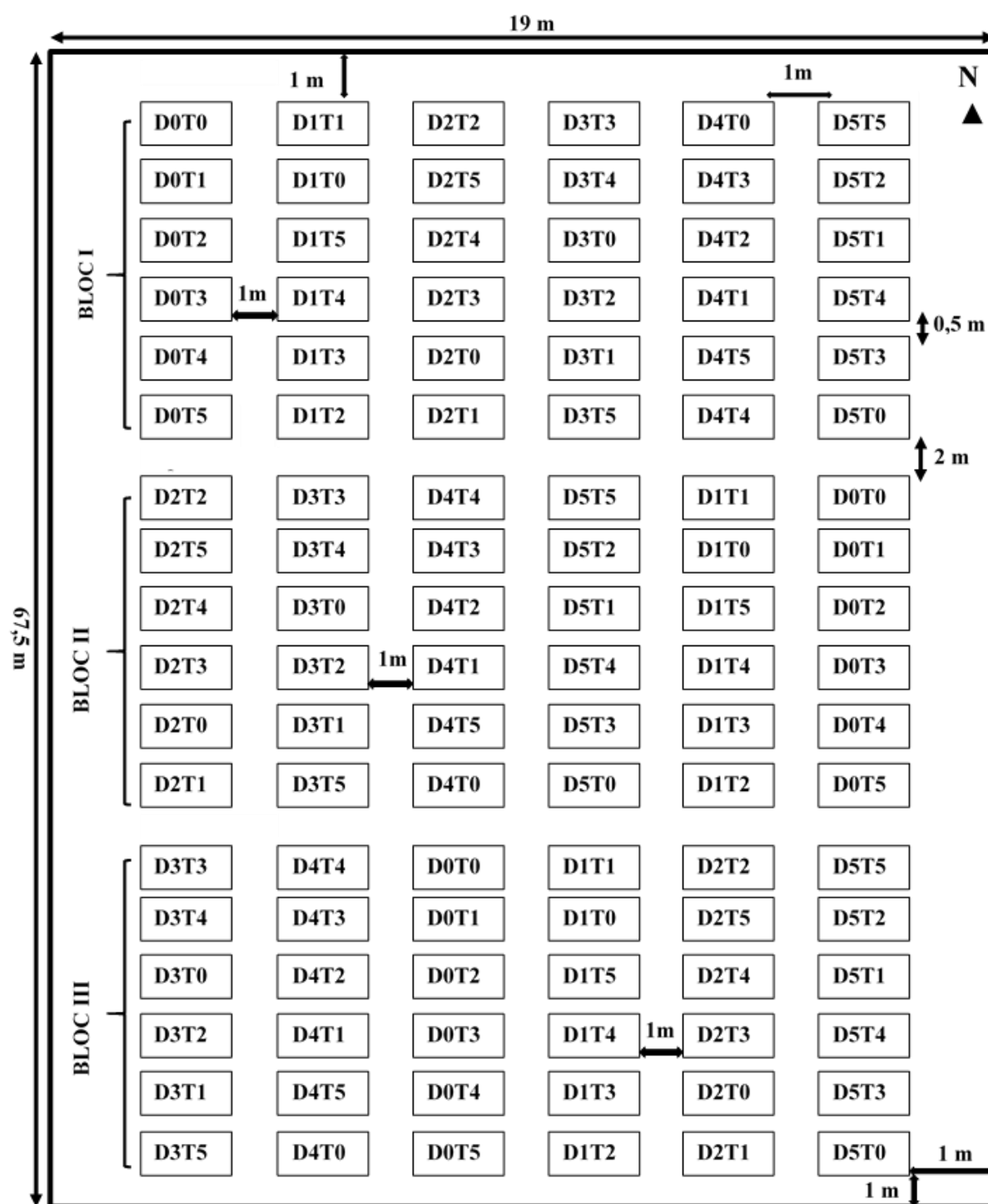


Fig. 3. Dispositif expérimental en split plot

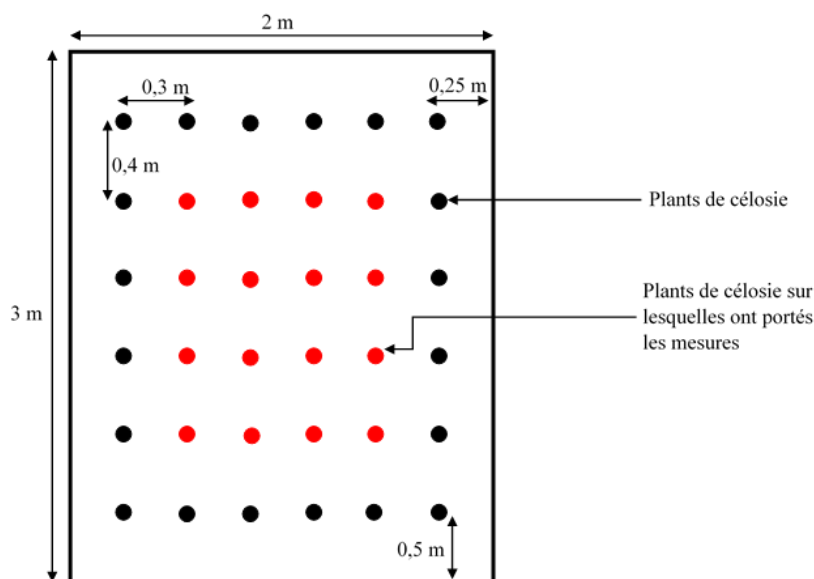


Fig. 4. Plan d'une parcelle élémentaire

2.6 MISE EN PLACE ET SUIVI DE L'ESSAI

Les grains de célosie ont été semés directement dans le sol. Pour ce faire, un labour manuel du sol a été effectué suivi de l'épandage du compost à différentes doses (D0, D1, D2, D3, D4 et D5). Avant l'apport de l'urée, un démariage a été effectué 26 jours après le semis (JAS) afin de réduire le nombre de plants par poquet à un (1) plant. Puis l'apport des microdoses d'urée (T0, T1, T2, T3, T4 et T5) a été fait 34 JAS. Les sarclages ont été réalisés pour éliminer les adventices (mauvaises herbes) au fur et à mesure de leur apparition. Pendant la culture, un traitement insecticide biologique à l'huile de neem a été effectué au 26 JAS.

2.7 MESURE DES PARAMETRES DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT

Les mesures ont porté sur les paramètres de croissance: le développement végétatif à 45 JAS, la masse racinaire, la surface foliaire et le nombre de feuilles au stade de floraison et sur les paramètres du rendement: le rendement en feuilles fraîches et la masse de la biomasse fraîche et sèche totale des plants à maturité. Les paramètres ont été déterminés de la manière suivante:

- Développement végétatif des plants: évalué à quarante-cinq (45) JAS sur une échelle de notation de 1 à 5. L'échelle de notation de l'état du développement végétatif est présentée dans le tableau 3

Tableau 3. Échelle de notation de l'état du développement végétatif

Échelle de notation	État du développement végétatif
1	Développement végétatif très mauvais: plants très chétifs et de très petite taille, absence de ramifications.
2	Développement végétatif mauvais: plants chétifs, de petite taille, peu ou pas ramifiés.
3	Développement végétatif moyennement bon: plants vigoureux, de taille moyenne et peu ramifiés.
4	Bon développement végétatif: plants vigoureux et ramifiés à port peu étalé et de grande taille.
5	Très bon développement végétatif: plants très vigoureux et ramifiés à port étalé et de grande taille.

- Masse racinaire: évaluée sur cinq (5) plantes choisies au hasard déracinées et sectionnées au niveau des racines. Les racines de chaque plante ont été pesées à l'aide d'une balance électronique. La moyenne de ces mesures a permis de calculer la masse racinaire
- Surface foliaire (SF): déterminée par la mesure de la longueur et la largeur de cinq (5) plus vieilles feuilles choisies au hasard sur chaque plante au stade de floraison. Cette mesure a été effectuée à l'aide d'une règle. La moyenne de ces mesures a permis de calculer la surface foliaire totale (SFT) selon la méthode de [18]

$$SFT = 0,86 \times NF \times [0,91 \times 3 \times (0,95 \times L \times l \times \frac{\pi}{4})] \quad (1)$$

Avec:

NF: le nombre de feuilles par plante;

L et l: la longueur et la largeur moyennes des folioles (cm);

SFT: la surface foliaire totale (cm²).

- Nombre de feuilles (Nbr F): évalué par comptage des feuilles sur les cinq (5) plantes choisies au hasard au stade de floraison
- Rendement en feuilles (Rdt F): sur chaque parcelle élémentaire, les feuilles récoltées ont été pesées. Les différentes masses des feuilles récoltées ont été additionnées pour déterminer le rendement en feuilles total de chacun des traitements

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Masse brute} \times 10}{\text{Superficie utile}} \quad (2)$$

Avec:

Rendement: rendement en feuilles de la célosie (t/ha);

Masse brute: masse totale de feuilles récoltées (kg);

Superficie utile: superficie de récolte dans la parcelle élémentaire (m²).

- Biomasse fraîche totale (BIFR T) et biomasse sèche totale (BISC T): évaluée sur les seize (16) plantes centrales de chaque parcelle élémentaire, ensuite chaque plante fraîche a été pesée à l'aide d'une balance pour déterminer sa masse fraîche. Enfin, les plantes ont été séchées au soleil pendant deux (2) semaines puis pesées pour déterminer leurs différentes masses sèches
- Efficience agronomique (EA): elle représente le rendement physique de la culture engendrée par l'apport de l'engrais (fertilisant) et s'exprime en kg MS/kg d'engrais apporté. L'efficience agronomique a concerné les trois éléments majeurs (azote, phosphore et potassium) à la fin de l'expérimentation. Elle a été calculée à partir du rendement total de célosie pour chaque traitement et de la quantité de l'élément apportée suivant l'équation de [19] ci-dessous

Avec:

EA: efficience agronomique de l'élément fertilisant;

R (f): rendement du fertilisant;

R (t): rendement du témoin sans ce fertilisant;

Q (e.f): quantité de l'élément fertilisant appliqué.

Enfin, la réponse des différentes doses de traitements apportées a été appréciée au niveau des rendements afin de déterminer la dose optimale pour une meilleure productivité de la célosie.

$$EA = (R(f) - R(t)) / (Q(e.f)) \quad (3)$$

2.8 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données obtenues ont été saisies et organisées à l'aide du tableur Excel de Microsoft Office. Il a permis également à confectionner les matrices d'analyse et la construction des graphiques. Les analyses de variance et la comparaison des moyennes ont été réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA version 7.1. Le test de Fischer a été choisi pour comparer les moyennes lorsque l'analyse des variances révèle des différences significatives entre les traitements au seuil de probabilité de 5 %.

3 RÉSULTATS

3.1 PARAMETRES DE CROISSANCE DE LA CELOSIE

3.1.1 SURFACE FOLIAIRE TOTALE ET DEVELOPPEMENT VEGETATIF DES PLANTES À 45 JAS

L'analyse de variance indique une différence significative entre les traitements concernant les variables surface foliaire totale (SFT) et le développement végétatif à 45 JAS (DVEG 45 JAS) (Tableau 4). Le traitement D4T3 a donné la valeur la plus importante (29785±15324 cm²) de la surface foliaire totale. Par contre, la plus faible valeur de surface foliaire totale (5010±3008 cm²) a été enregistrée par le traitement D3T0. En moyenne, la surface foliaire totale a été de 18067±8726 cm². S'agissant du développement végétatif des plantes à 45 JAS, le traitement D4T5 a présenté un très bon développement végétatif (5,00±0,00) par rapport aux autres traitements. Les traitements D2T0 et D4T0 ont, quant à eux, présentés un mauvais développement végétatif (2,00±0,00) avec une moyenne de 3,69±1,01.

3.1.2 NOMBRE DE FEUILLES PAR PLANTE ET MASSE RACINAIRE

D’après le tableau 5 la différence a été significative pour les variables nombre de feuilles (Nbre F) et masse racinaire (M Rac) des plantes. Le traitement D4T3 a eu la valeur la plus élevée (123,73±32,30) du nombre de feuilles. Tandis que, la plus faible valeur (41,87±22,31) du nombre de feuilles a été obtenue par le traitement D3T0. Quant aux masses racinaires, les traitements D2T2 et D4T4 ont enregistré les valeurs les plus élevées respectivement 23,20±5,01 g et 24,60±1,25 g. Par contre, les valeurs les plus faibles de la masse racinaire (8,87±2,72 g; 8,60±1,25 g et 9,27±1,45 g) ont été obtenues respectivement par les traitements D0T0, D1T0 et D3T0.

Tableau 4. Surface foliaire totale et développement végétatif des plantes à 45 JAS

Traitements	SFT (cm ²)	DVEG 45 JAS
D0T0	6082±2458 ^{a*}	3,33±1,53 ^{ab}
D0T1	10580±1552 ^{ab}	4,00±1,00 ^{abc}
D0T2	15476±3811 ^{abc}	4,67±0,58 ^c
D0T3	15477±385 ^{abc}	4,33±0,58 ^{bc}
D0T4	18724±6080 ^{abc}	4,00±1,00 ^{abc}
D0T5	21081±3861 ^{bc}	4,00±1,00 ^{abc}
D1T0	6364±1118 ^a	2,33±0,58 ^a
D1T1	15601±4804 ^{abc}	4,33±1,15 ^{bc}
D1T2	18813±7689 ^{abc}	4,33±1,15 ^{bc}
D1T3	16098±3756 ^{abc}	3,00±1,00 ^a
D1T4	21233±15543 ^{bc}	4,33±1,15 ^{bc}
D1T5	19113±8075 ^{abc}	4,00±0,00 ^{abc}
D2T0	8445±4146 ^{ab}	2,00±0,00 ^a
D2T1	17532±7199 ^{abc}	3,00±0,00 ^{ab}
D2T2	20260±6883 ^{bc}	4,67±0,58 ^c
D2T3	16306±2238 ^{abc}	4,33±0,58 ^{bc}
D2T4	20821±3263 ^{bc}	3,33±0,58 ^{ab}
D2T5	20219±3587 ^{bc}	4,67±0,58 ^c
D3T0	5010±3008 ^a	2,00±0,00 ^a
D3T1	13787±3503 ^{ab}	3,33±0,58 ^{ab}
D3T2	18446±6910 ^{abc}	3,67±0,58 ^{abc}
D3T3	20756±2396 ^{bc}	4,67±0,58 ^c
D3T4	27661±13389 ^c	4,00±0,00 ^{abc}
D3T5	19603±11274 ^{abc}	3,67±1,15 ^{abc}
D4T0	8482±7421 ^{ab}	2,00±0,00 ^a
D4T1	20710±8756 ^{bc}	3,33±0,58 ^{ab}
D4T2	23708±9097 ^{bc}	3,00±1,00 ^{ab}
D4T3	29785±15324 ^c	3,67±1,53 ^{abc}
D4T4	25001±6201 ^{bc}	4,00±0,00 ^{abc}
D4T5	27947±3009 ^c	5,00±0,00 ^c
D5T0	11911±10638 ^{ab}	2,33±0,58 ^a
D5T1	19850±13561 ^{abc}	3,67±0,58 ^{abc}
D5T2	18678±7383 ^{abc}	3,67±0,58 ^{abc}
D5T3	25427±9399 ^{bc}	3,67±0,58 ^{abc}
D5T4	24250±7535 ^{bc}	4,33±0,58 ^{bc}
D5T5	21170±7897 ^{bc}	4,00±0,00 ^{abc}
Moyennes	18067±8726	3,69±1,01
Probabilités	0,006372	0,000004
CV (%)	48,30	27,37

*Les chiffres dans une même colonne affectée de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Fisher.

Tableau 5. Nombres de feuilles par plantes et masse racinaire

Traitements	Nbre F	M Rac (g)
D0T0	39,47±10,35 ^{a*}	8,87±2,72 ^a
D0T1	70,07±10,16 ^{abc}	11,40±4,81 ^{ab}
D0T2	84,33±32,26 ^{abc}	12,73±4,06 ^{ab}
D0T3	92,60±7,07 ^b	13,07±3,58 ^{ab}
D0T4	82,20±13,12 ^{abc}	20,40±6,36 ^b
D0T5	94,27±12,48 ^b	20,60±6,24 ^b
D1T0	46,60±12 ^a	8,60±1,25 ^a
D1T1	82,80±2,23 ^{abc}	12,13±2,61 ^{ab}
D1T2	90,60±24,08 ^b	16,27±4,77 ^{abc}
D1T3	86,13±14,52 ^{abc}	16,67±6,99 ^{abc}
D1T4	95,93±44,81 ^b	16,33±6,7 ^{abc}
D1T5	99,00±32,47 ^b	16,93±5,33 ^{abc}
D2T0	53,13±21,01 ^{ab}	13,07±3,93 ^{ab}
D2T1	89,00±15,09 ^b	17,20±3,62 ^{abc}
D2T2	93,47±15,64 ^b	23,20±5,01 ^{bc}
D2T3	90,73±9,06 ^b	22,73±8,96 ^{bc}
D2T4	96,20±8,99 ^b	19,33±3,49 ^b
D2T5	92,27±9,82 ^b	20,40±4,68 ^b
D3T0	41,87±22,31 ^a	9,27±1,45 ^a
D3T1	79,80±10,20 ^{abc}	11,47±0,81 ^{ab}
D3T2	96,07±19,18 ^b	12,53±2,66 ^{ab}
D3T3	98,47±12,50 ^b	19,67±3,18 ^b
D3T4	105,47±25,50 ^b	22,00±10,28 ^{bc}
D3T5	79,73±30,42 ^{abc}	20,47±6,15 ^b
D4T0	55,57±29,35 ^{ab}	11,40±3,22 ^{ab}
D4T1	93,67±22,06 ^b	15,67±0,83 ^{abc}
D4T2	94,93±25,00 ^b	21,00±8,10 ^{bc}
D4T3	123,73±32,30 ^c	20,13±4,39 ^b
D4T4	104,27±14,96 ^b	24,60±1,25 ^c
D4T5	106,67±13,5 ^b	19,40±1,83 ^b
D5T0	61,70±32,19 ^{ab}	12,73±1,81 ^{ab}
D5T1	96,87±33,73 ^b	14,53±2,60 ^{ab}
D5T2	100,67±28,71 ^b	19,60±2,4 ^b
D5T3	115,33±18,90 ^{bc}	18,00±9,01 ^b
D5T4	114,00±20,03 ^{bc}	20,73±2,66 ^b
D5T5	118,93±13,74 ^{bc}	16,67±3,11 ^{abc}
Moyennes	87,96±27,2	16,66±5,88
Probabilités	0,000132	0,000574
CV (%)	30,92	35,29

*Les chiffres dans une même colonne affectée de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Fisher.

3.2 PARAMETRES DU RENDEMENT DE LA CELOSIE ET EFFICIENCE AGRONOMIQUE

3.2.1 RENDEMENT EN FEUILLES ET BIOMASSES FRAICHE ET SECHE DES PLANTES

Le tableau 6 présente l'effet des traitements sur le rendement en feuilles (Rdt en feuilles), la biomasse fraîche totale (BIFR T) et la biomasse sèche totale (BIFR T). L'analyse de variance a montré que les traitements ont eu un effet significatif sur ces variables. Les traitements D2T3 et D0T5 ont produits les plus importants rendements en feuilles respectivement 27,28±4,50 t/ha et 27,08±2,88 t/ha. Par contre, le traitement D4T0 a produit le plus faible rendement en feuilles (12,72±2,14 t/ha) avec une moyenne de 21,54±5,27 t/ha. En ce qui concerne la biomasse fraîche (BIFR T) et sèche (BIFR T), le traitement D4T5 a produit la plus importante biomasse fraîche totale (61,11±6,94

t/ha). Tandis que, les traitements D5T0 et D5T5 ont produits les plus faibles biomasses fraîches totales, respectivement, de 28,89±7,70 t/ha et de 29,33±24,48 t/ha. Les traitements D2T1 et D2T4 ont quant à eux produit les biomasses sèches totales les plus élevées respectivement de 14,44±5,85 t/ha et de 14,56±2,36 t/ha, alors que les plus faibles ont été obtenues par les traitements D3T0 et D4T0 respectivement 5,28±0,48 t/ha et 5,00±1,67 t/ha.

Les traitements D0T1 et D0T2 ont eu des valeurs d'efficience agronomique les plus élevées respectivement de 14,89±12,01 kg MS/kg et de 12,89±7,75 kg MS/kg. Par contre, le traitement D2T0 a obtenu la plus faible valeur d'efficience agronomique (-0,69±1,53 kg MS/kg).

Tableau 6. Rendement en feuilles, biomasse fraîche et sèche totale et efficience agronomique des traitements

Traitements	Rdt en feuilles (t/ha)	BIFR T (t/ha)	BISC T (t/ha)	EA (kg MS/kg)
D0T0	17,00±3,53 ^{ab}	24,44±6,94 ^{ab}	5,56±0,96 ^a	-
D0T1	20,72±4,10 ^{abc}	33,33±12,02 ^{abc}	6,11±1,92 ^a	14,89±12,01 ^c
D0T2	23,44±5,59 ^{b*}	33,33±15,28 ^{abc}	6,67±0,00 ^{ab}	12,89±7,75 ^c
D0T3	24,67±3,76 ^{bc}	28,89±10,18 ^{abc}	9,56±5,00 ^b	7,67±0,58 ^{bc}
D0T4	21,22±2,77 ^b	51,11±1,92 ^{bc}	10,00±5,77 ^b	3,38±4,82 ^b
D0T5	27,08±2,88 ^c	53,33±11,55 ^{bc}	9,44±3,47 ^b	6,72±0,43 ^{bc}
D1T0	16,64±4,34 ^{ab}	23,33±6,67 ^{ab}	5,22±1,06 ^a	-0,18±3,11 ^a
D1T1	24,33±1,26 ^{bc}	37,78±11,71 ^{abc}	9,44±1,92 ^b	3,26±1,09 ^b
D1T2	23,25±1,26 ^b	47,78±25,02 ^b	9,56±6,24 ^b	2,5±1,88 ^b
D1T3	20,61±4,95 ^{abc}	42,22±10,72 ^b	6,94±1,73 ^b	1,2±2,81 ^{abc}
D1T4	25,17±4,37 ^{bc}	42,22±23,65 ^b	6,78±3,08 ^{ab}	2,51±1,78 ^b
D1T5	25,94±5,26 ^{bc}	35,56±13,47 ^{abc}	7,78±2,55 ^{ab}	2,56±2,18 ^b
D2T0	14,22±4,33 ^a	23,33±8,82 ^{ab}	7,78±0,96 ^{ab}	-0,69±1,53 ^a
D2T1	17,78±4,76 ^{ab}	50,00±15,28 ^{bc}	14,44±5,85 ^c	0,18±1,48 ^{ab}
D2T2	26,5±3,76 ^{bc}	43,33±8,82 ^b	9,56±1,84 ^b	2,11±1,54 ^b
D2T3	27,28±4,50 ^c	55,56±9,62 ^{bc}	10,00±2,89 ^b	2,06±1,58 ^b
D2T4	26,67±5,48 ^{bc}	52,22±10,18 ^{bc}	14,56±2,36 ^c	1,84±1,66 ^{abc}
D2T5	26,03±6,57 ^{bc}	44,44±9,62 ^b	7,44±2,14 ^{ab}	1,64±1,80 ^{abc}
D3T0	15,03±2,72 ^{ab}	21,11±3,85 ^a	5,28±0,48 ^a	-0,33±0,88 ^a
D3T1	18,28±3,50 ^{abc}	33,33±0,00 ^{abc}	8,22±1,50 ^{abc}	0,2±1,080 ^{ab}
D3T2	20,87±2,89 ^{abc}	32,22±13,47 ^{abc}	9,44±4,19 ^b	0,6±0,97 ^{ab}
D3T3	25,03±2,22 ^{bc}	47,78±3,85 ^b	8,89±2,55 ^{abc}	1,15±0,76 ^{abc}
D3T4	23,03±4,81 ^b	50,00±20,28 ^b	9,17±3,00 ^b	0,83±1,03 ^{abc}
D3T5	20,14±2,08 ^{abc}	47,78±16,78 ^b	8,89±0,96 ^{abc}	0,42±0,74 ^{ab}
D4T0	12,72±2,14 ^a	24,44±8,39 ^{ab}	5,00±1,67 ^a	-0,53±0,68 ^a
D4T1	19,56±4,02 ^{abc}	38,89±10,18 ^{abc}	11,50±2,49 ^{bc}	0,53±0,93 ^{ab}
D4T2	20,31±5,47 ^{abc}	48,89±15,03 ^b	11,11±3,47 ^{bc}	0,44±0,84 ^{ab}
D4T3	20,75±4,56 ^{abc}	50,00±0,00 ^b	11,22±1,84 ^{bc}	0,42±0,83 ^{ab}
D4T4	25,56±0,79 ^{bc}	52,22±12,62 ^{bc}	12,78±4,81 ^{bc}	0,92±0,43 ^{abc}
D4T5	24,72±4,99 ^{bc}	61,11±6,94 ^c	13,06±1,73 ^c	0,81±0,76 ^{abc}
D5T0	13,08±3,22 ^a	28,89±7,70 ^{abc}	6,39±0,48 ^a	-0,39±0,66 ^a
D5T1	22,59±6,64 ^b	37,78±11,71 ^{abc}	7,61±4,00 ^{ab}	0,55±0,93 ^{abc}
D5T2	19,69±6,60 ^{abc}	48,89±1,92 ^b	8,33±1,67 ^{abc}	0,26±0,83 ^{ab}
D5T3	20,19±3,45 ^{abc}	46,67±13,33 ^b	8,44±1,50 ^{abc}	0,29±0,62 ^{ab}
D5T4	23,72±5,10 ^b	58,89±15,4 ^c	9,72±3,37 ^b	0,6±0,71 ^{ab}
D5T5	21,75±2,54 ^{abc}	29,33±24,48 ^{abc}	6,33±4,98 ^a	0,41±0,49 ^{ab}
Moyennes	21,54±5,27	41,12±15,10	8,84±3,50	13,53±1,99
Probabilités	0,000130	0,000520	0,006347	0,0000
CV (%)	24,47	36,72	39,59	14,71

*Les chiffres dans une même colonne affectée de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Fisher.

3.2.2 EFFICIENCE DES DOSES DE COMPOST SUR LA PRODUCTIVITE DE LA CELOSIE

3.2.2.1 DOSE OPTIMALE DE COMPOST

La figure 5 montre l'évolution du rendement en feuilles de la célosie en fonction de la dose de compost apportée. Il en ressort que le rendement en feuilles baisse avec la dose de compost préalablement apportée sous forme de fumure de fond. Cependant, la dose du compost qui correspond au rendement optimal de la célosie (22,04 t/ha) a été celle du traitement D2 (4 t/ha).

3.2.2.2 MICRODOSE OPTIMALE D'URÉE

Les résultats présentés à la figure 6, montre l'évolution du rendement en feuilles de la célosie en fonction de la microdose d'urée. La réponse des apports s'observe par une augmentation progressive du rendement. Ainsi, la dose d'urée qui a permis d'obtenir une productivité optimale (24,38 t/ha) a été celle du traitement T3 (2 g d'urée/poquet).

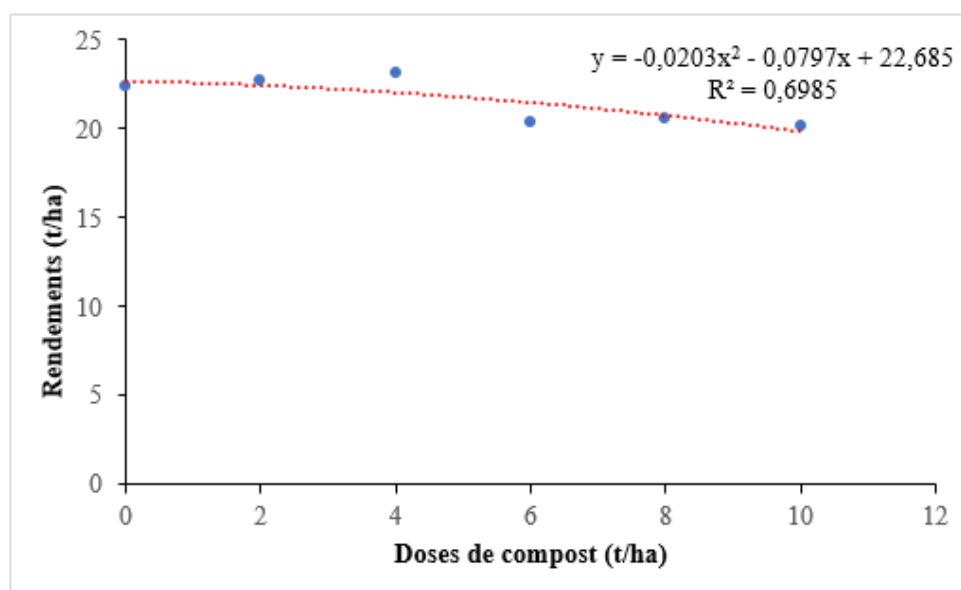


Fig. 5. Évolution du rendement en fonction de la dose de compost

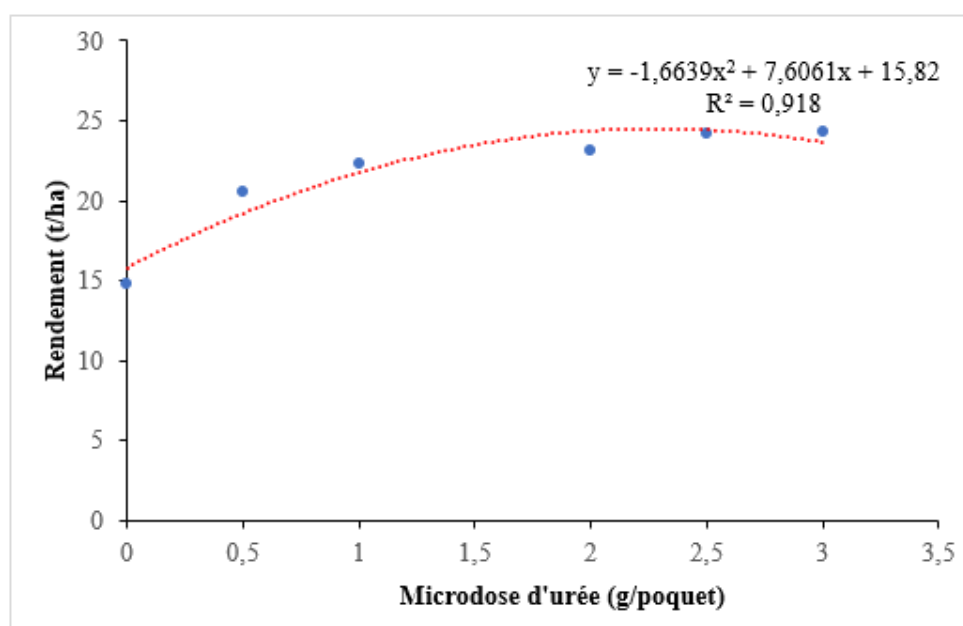


Fig. 6. Évolution du rendement en fonction de la microdose d'urée

4 DISCUSSION

4.1 PARAMÈTRES DE CROISSANCE

Les résultats obtenus ont montré une différence significative entre les traitements concernant le développement végétatif à 45 JAS et la surface foliaire totale. L'apport de l'urée à 30 JAS a permis de mettre à la disposition immédiate de la plante l'azote nécessaire pour un meilleur développement végétatif des plants. Les travaux de [20] ont également montré l'importance de la nutrition minérale des plantes dans les systèmes de culture. Ils ont montré qu'indépendamment des facteurs variétaux et climatiques, les éléments minéraux puisés par les plantes dans le sol induisent une meilleure croissance de celles-ci. Le traitement D4T5 a mieux contribué au développement végétatif. Alors que le traitement D4T3 a donné la surface foliaire totale la plus élevée. Cela voudrait dire que pour une même quantité de fumure de fond, l'augmentation de la dose de fumure minérale apportée par ajout ou en complément entraîne un très bon développement végétatif. En effet, l'azote contenu dans les nutriments joue un rôle important dans la photosynthèse. Il est un constituant de la chlorophylle indispensable à la photosynthèse et participe à la synthèse d'auxine, une phytohormone de croissance végétative essentielle au développement des plantes. Ces observations sont similaires à celles de [1]. Utilisant l'engrais minéral comme fumure de fond, cet auteur a montré que le nombre de feuilles, la surface foliaire et la croissance des plantes de célosie ont augmenté, de manière significative, avec des doses d'engrais atteignant 30 à 60 kg/ha.

4.2 PARAMÈTRES DU RENDEMENT ET EFFICIENCE AGRONOMIQUE

Les paramètres du rendement ont varié selon les différents traitements effectués. Ces résultats s'expliquent par la présence du phosphore, élément majeur essentiel, qui joue un rôle physiologique à plusieurs niveaux dont la formation du fruit et de la graine. Mais, des deux (2) fertilisants (compost et urée) appliqués, seul le compost en contient. Ce dernier n'aurait pas pu être mis à la disposition de la plante du fait de la faible minéralisation du compost. De ce fait, la plante aurait utilisé le phosphore présent dans le sol pour la formation de ses graines. Les résultats sont en phase avec ceux de [21], qui ont montré que les faibles productivités des traitements organiques sur les sols acides de montagnes du Burundi seraient dues à une faible libération d'éléments nutritifs par le compost faiblement minéralisé.

La biomasse fraîche et sèche, le nombre de feuilles et la masse racinaire, ont été, en général, fortement influencés par les traitements. En effet, le compost utilisé en fumure de fond est riche en éléments majeurs (azote, phosphore et potassium) alors que l'urée, qui a servi de fumure de couverture ou d'entretien, ne contient que l'élément azote. Ces deux fertilisants associés ont contribué à fournir les nutriments essentiels aux plantes. Mais, la contribution du compost a été faible, du fait de sa faible minéralisation, par rapport à l'urée qui a fourni de l'azote directement à la plante. Ces résultats se rapprochent de ceux de [22] sur l'effet de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. Ces auteurs ont montré, que les apports de compost associés aux engrais minéraux augmentent significativement les rendements. Les traitements D2T3 et D0T5 ont été les plus productifs. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les éléments nutritifs contenus dans les fertilisants favoriseraient la croissance des plants de la célosie car plus les doses de fertilisants sont élevées, plus la croissance est forte.

L'efficacité agronomique a permis d'apprécier l'efficacité de chaque type d'engrais apporté par rapport au témoin. Les traitements, ayant donné une efficacité agronomique positive, ont plus contribué à augmenter le rendement des plantes. En effet, les efficacités agronomiques les plus élevées ont été obtenues par les traitements D0T1 et D0T2, avec l'urée uniquement. Les faibles microdoses d'urée ont donc permis d'obtenir une meilleure efficacité agronomique que les fortes qui traduiraient un excès nocif pour les plantes et un polluant du sol. Par contre, les traitements contenant uniquement le compost (D1T0, D2T0, D3T0, D4T0 et D5T0) ont obtenus les plus faibles efficacités agronomiques. Ce qui traduirait que ces traitements ont moins contribué à l'augmentation du rendement. Par conséquent, plus la dose de compost augmente, plus l'efficacité agronomique tend à diminuer. Ces résultats seraient dus à un taux de minéralisation faible du compost. Des résultats similaires ont été obtenus par [19] qui a étudié sur un ferralsol de Kinshasa l'effet des composts de déchets ménagers sur l'arachide, le soja et l'oseille. À l'exception des traitements contenant uniquement le compost ou l'urée, le traitement D1T1 qui a présenté les plus faibles doses d'urée et de compost associés s'est avéré beaucoup plus efficace que les autres doses combinées. Il semblerait que les faibles doses de compost et d'urée aient libéré les éléments nutritifs utiles à la plante, ce qui a permis un meilleur développement des plantes et une augmentation du rendement de la célosie. Ce résultat se justifierait par la libération rapide des éléments fertilisants au niveau du sol pour une meilleure assimilation par les plantes, tels que démontré par [23] dans une étude comparant la rentabilité économique des fertilisants inorganiques et organiques en culture de gombo et de chou. Les résultats obtenus sont, également, conformes à ceux de [24], qui proposent l'usage des petites quantités des composts en culture de légumes et de soja.

5 CONCLUSION

L'utilisation excessive des engrais chimiques par les paysans sur la célosie présente des répercussions sur l'environnement, et surtout, sur la qualité de la production; ce qui justifie cette étude dont l'objectif était d'améliorer la productivité de cette culture par une maîtrise de sa fertilisation.

Il est ressorti que le traitement D4T5 issu de l'association 8 t/ha de compost et 3 g d'urée/poquet a favorisé un meilleur développement végétatif à 45 JAS et le traitement D4T3 issu de l'association 8 t/ha de compost et 2 g d'urée/poquet, est celui qui, a présenté la surface foliaire totale la plus élevée. En outre, la dose optimale du compost a été obtenue par le traitement D2 et celle de l'urée par le traitement T3. S'agissant des paramètres du rendement, les combinaisons D2T3 (4 t/ha de compost + 2 g d'urée/poquet) et D0T5 (0 t/ha de compost + 3 g d'urée/poquet) ont été les plus productives sur la culture de la célosie. D'une manière générale, il est ressorti que D2T3 est la meilleure, combinaison de compost et d'urée, qui favoriserait un rendement optimal de la célosie.

Le traitement D2T3 (4 t/ha compost + 2 g d'urée/poquet), pourraient être recommandées pour la culture de la célosie. Toutefois, une étude approfondie avec utilisation des méthodes isotopiques, engrais marqué à ^{15}N , pour déterminer le coefficient réel d'utilisation de l'azote serait envisageable.

REMERCIEMENTS

Toute notre reconnaissance à l'endroit des autorités du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), singulièrement celles de la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières du CNRA de Bouaké pour avoir mis à notre disposition des parcelles, le matériel et la main d'œuvre pour la mise en place de l'expérimentation.

REFERENCES

- [1] Ojo D. O., 2008. Growth and Yield of *Celosia argentea* in Response to a Balanced NPK Fertilizer, Journal of Vegetable Crop Production, 4 (1), pp. 77-83.
- [2] Remi K., Ludovic T., Pierre B. et Hubert D. B., 2005. Les légumes feuilles des pays tropicaux: diversité, richesse économique et valeur sante dans un contexte très fragile. Colloque Angers, Montpellier, France, CIRAD, 9 p.
- [3] Law-Ogbomo K. E. et Ekunwe P. A., 2010. Growth and herbage yield of *Celosia argentea* as influenced by plant density and NPK fertilization in degraded ultisol. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14 (1), pp. 251-260.
- [4] Akinyemi S. O. S. et Tijani-Eniola H., 1997. Effects of cassava density on productivity of plantain and cassava intercropping system. Fruits 50, pp. 17-23.
- [5] Agbo A. E., Kouame C., Mahyao A., N'Zi J-C. et Fondio L., 2009. Nutrition importance of Indigenous Leafy Vegetable of Côte d'Ivoire. Acta Horticulturae 806, pp. 361-366.
- [6] Fondio L., N'Gbesso M. F. D-P., Agbo A. E., Adolphe M., N'Zi J-C., Kouame C. et Djidji A. H., 2013. Quelles contributions des légumes feuilles traditionnels à la sécurité alimentaire et à l'allègement de la pauvreté des populations urbaines en Côte d'Ivoire. Conférence AGRAR, 13 p.
- [7] Sangekar S. N., Tarbej J. S. et Devarkar V. D., 2018. Phytochemical and Taxonomical Studies of *Celosia argentea* L. (AMARANTHACEAE). International Journal of Scientific Research in Science and Technology, 4 (5), pp. 481-486.
- [8] FAO., 2004. Food and Agriculture Organisation statistical database. FAOSTAT website, <http://faostat.fao>.
- [9] Boa B. B. Y., Ama-ABINA T. J., Lekadou T. T., Kouassi Y. F., N'Cho O. C., 2022. Performances agromorphologiques de fumures organiques sur deux variétés de tomate sur sols sableux du littoral ivoirien. International Journal of Progressive Sciences and Technologies, 33 (1), pp. 136-149.
- [10] Ama-Abina T. J., Boa B. B. Y., Kouassi Y. F., Lekadou T. T., Djaha K. E., 2022. Caractéristiques physico-chimiques de composts à base de résidus végétaux et de déjections animales et leurs effets sur des paramètres de croissance et de rendement de la tomate sur sols sableux. International Journal of Innovation and Scientific Research, 62 (2), pp. 61-75.
- [11] World G., 2013. Côte d'Ivoire: divisions administratives (population et superficie) disponible auprès <http://www.gazetteer.de/wg.php?x=&men=gadm&lng=fr&des=wg&geo=50&srt=npn&col=abcdefghinoq&msz=1500>. Consulté le 02/10/2019.
- [12] RGPH., 2014. Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014. Secrétariat technique permanent du comité technique du RGPH, 22 p.
- [13] Boa B. B. Y., 2016. Effet de trois substrats à base de sous-produits locaux sur deux variétés de tomate en culture hydroponique au centre de la Côte d'Ivoire. Mémoire de Master. Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan (Côte d'Ivoire), 59 p.
- [14] Brou Y. T., Akindès F. et Bigot S., 2005. La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: entre perceptions sociales et réponses agricoles. Cahier Agriculture, 14 (6), pp. 533-540.
- [15] Yoro G. R., 2000. Les principaux sols de côte d'ivoire et leur corrélation avec les groupes de références de la Base Mondial des données de sols (WRB), 19 p.
- [16] Koné B., Diatta S., Saïdou A., Akintayo I. et Cisse B., 2009. Réponses des variétés interspécifiques du riz de plateau aux applications de phosphore en zone de forêt au Nigeria. Canadian Journal of Soil Science, 89 (5), pp. 555-565.
- [17] Diatta S., Bertrand R., Herbillon A. J. et Sahrawat K. L., 1998. Genèse des sols d'une séquence sur granito-gneiss en région du centre de la Côte d'Ivoire. In Actes du 16^{ème} Congrès Mondial de Science du Sol/ Proceedings of the 16th World Congress of Soil science, 20-26 Août/August 1998, CD-ROM Symposium / Workshop 15. Code 124. Montpellier, France, CIRAD, 8 p.
- [18] Cornelissen F. W., Peters E. M. et Palmer J., 2002. The Eyelink Toolbox: eye tracking with MATLAB and the psychophysics Toolbox. Behavior Research Methods, Instruments and computers, 34 (4), pp. 613-617.

- [19] Mulaji K. C., 2011. Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat, Gembloux Agro bio tech, 220 p.
- [20] Pandey V. et Chandra K., 2016. Agriculturally important microorganisms as biofertilizers: commercialization and regulatory requirements in Asia. In agriculturally important microorganisms. Springer, Singapour, pp. 133-145.
- [21] Rishirumuhirwa T. et Roose E., 1998. Productivité de biomasse et gestion durable des exportations dans le cas des plateaux à forte population du Burundi. Bulletin-Erosion (France), (18).
Lien: http://horizon.documentation.ird.fr/exloc/pleins_textes_7/bre/010017979.pdf.
- [22] Koulibaly B., Dakuo D., Ouattara A., Traore O., Lompo F., Zombre P. N. et Yao-Kouame A., 2015. Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso TROPICULTURA, 2015, 33 (2), pp. 125-134.
- [23] Bhardwaj M. L., Raj H. et Koul B. L., 2000. Yield response and economics of Organics sources and inorganic source in tomato (*Lycopersicon esculentum*), okra (*Hibiscus esculentus*), cabbage (*Brassica oleraceae* var B. Oleracea var botytis). Indian Journal of Agricultural Science 70 (10), pp. 653-656.
- [24] Yamika W. S. D. et Ikawati K. R., 2012. Combination inorganic and organic fertilizer increased yield production of soybean In Rain-Field Malang, Indonesia. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 6 (1), pp. 14-17.

Analysis of the structure and ecology of *Diospyros mespiliformis* in the drained area of Western Niger

Ado Ali¹, Manirou Oumarou², Mahaman Hamissou Illo Souley³, Maman Maârouhi Inoussa², Ali Mahamane², and Mahamane Saâdou²

¹University of Agadez, Faculty of Science and Technology, PO Box 199 Agadez, Niger

²University Abdou Moumouni of Niamey, Faculty of Science and Technology, Departement of Biology Garba Mounkaila Laboratory, PO Box 10662 Niamey, Niger

³University Diffa, Faculty of Science and technology, Departement of Biology, Po Box: Maradi, Niger

Copyright © 2022 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 ecology of a species is a fundamental aspect in its sustainable management. The objective is to study the ecological and floristic characteristics of plant formations with *D. mespiliformis*. The study was conducted in western Niger along the main tributaries of the Niger River crossing two agroecological compartments. Abiotic factors and forestry data were collected in 220 plots of 2500 m². Thus, the species is present in all types of soil in the area near streams. The area is moderately diverse with 41 woody species dominated by *D. mespiliformis* with 50% of Importance Value Index. The Shannon diversity index was 2.61 in Dargol and 2.19 in Goroubi and the Sorensen similarity index between the two zones was 0.62. The density of *D. mespiliformis* per hectare is 46.04 in Dargol and 33.19 in Goroubi. The demographic structure of its population of all species shows a dominance of small diameter individuals evolving into sawtooth characterized by anthropogenic pressure. These results constitute a scientific basis for the sustainable management of this food and multi-use species, which is one of the species in decline in the area.

KEYWORDS: *Diospyros mespiliformis*, ecology, structure, Niger.

1 INTRODUCTION

The Sahel environment is generally described as an area of low vegetation diversity where agriculture is the principal activity, especially in rural areas. In addition to this agriculture, plant resources are exploited in various ecosystem services. Among these resources there is *D. mespiliformis*. In Niger it is one of the 10 most used woody species [1]. It has been shown to be used variously in food [1-5] and in traditional medicine [1] and [6-8]. Ethnobotanical surveys at the national level [9] or in some localities where the species is one of the dominant forest species [8] show that it is in decline. Its habitat consists of Sahelo-Sudanese groves with Guinean forests, forest galleries, river banks, termite mounds and rocky hills, generally on heavy and well-drained soils [10]. In Niger its occurrence area is the southern strip of the country constituting the most watered part. Indeed, this area is also the agricultural zone of Niger but also the most densely populated [11] with consequently an increase in anthropogenic pressure on natural resources from which is *D. mespiliformis*. Thus, in a context of climate change before any operation tending to conservation or restoration, it is important to make a clarification on the current state of the population of species in relation to the population of the environment. Better, the climate projection to 2050 shows for the species a progressive trend in the Sudanian zone [12] and regressive in the Sudano-Sahelian zone [12]. Given its high use value and the threats it faces in Niger, it is reasonable to characterize its population for its sustainable valorization. The objective is to study ecological and floristic characteristics of plant formations with *D. mespiliformis*. Specifically, it involves: (i) analysing the diversity of woody flora; (ii) determine the demographic structure of the settlement and; (iii) analyze the environmental variables in *D. mespiliformis* occurrences area.

2 MARETIEL AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The study was carried out in western Niger along Dargol and Goroubi which are the tributaries of the Niger River (Figure 1). These tributaries are in the two agro-climatic zones [14] of Western Niger (North-Western Sudanian compartment (A1) and the South-Western Sahelian compartment (B1)) where *D. mespiliformis* is present. In this area agriculture, livestock and fishing are the main socio-economic activities of the population. The vegetation is composed of low dry forest on the lateritic plateaus, gallery forest on the banks of the Dallols, clear forest on the southern clay terraces and in the toposequences of valleys, savannahs in dry valleys and on fixed dunes overlooking the valleys [14] in the western North Sudanian compartment (A1). While in the Western South Sahelian compartment (B1), vegetation is composed of Combretum forest on lateritic plateaus, steppes on sandy terraces, in dry valleys and on fixed dunes [14]. The tributaries of the Niger River flowed on the Liptako Gourma socle. Most of the formation is characterized by pleated volcano-sedimentary series, metamorphosed, intersected by syn and post-tectonic granites and tectonic molassic deposits [15]. Soils are non-leached tropical ferruginous types with concretions, sub-arid brown soils on clay-sandy material, hydromorphic to pseudogley soils from calco-alkaline granites and verisols [16]. In the tributary zone, the annual average minimum and maximum temperatures are 24.45°C and 34.65°C respectively. The average annual rainfall is 518 mm (between 2002 and 2020). The Dargol is a tributary of the Niger River that passes through the departments of Gotheye and Tera for 150 km. These departments totalled 577.250 habitants, of which 49.42% were men and 50.57% women corresponding to a density of 37hts/km² [11]. The Goroubi is also one of the tributaries of the Niger River which crossed Say and Tororodi departments over 152 km. In these departments, 358.238 inhabitants were recorded, 51% of whom were men and 49% women, i.e. a density of 24habitants/km² [11].

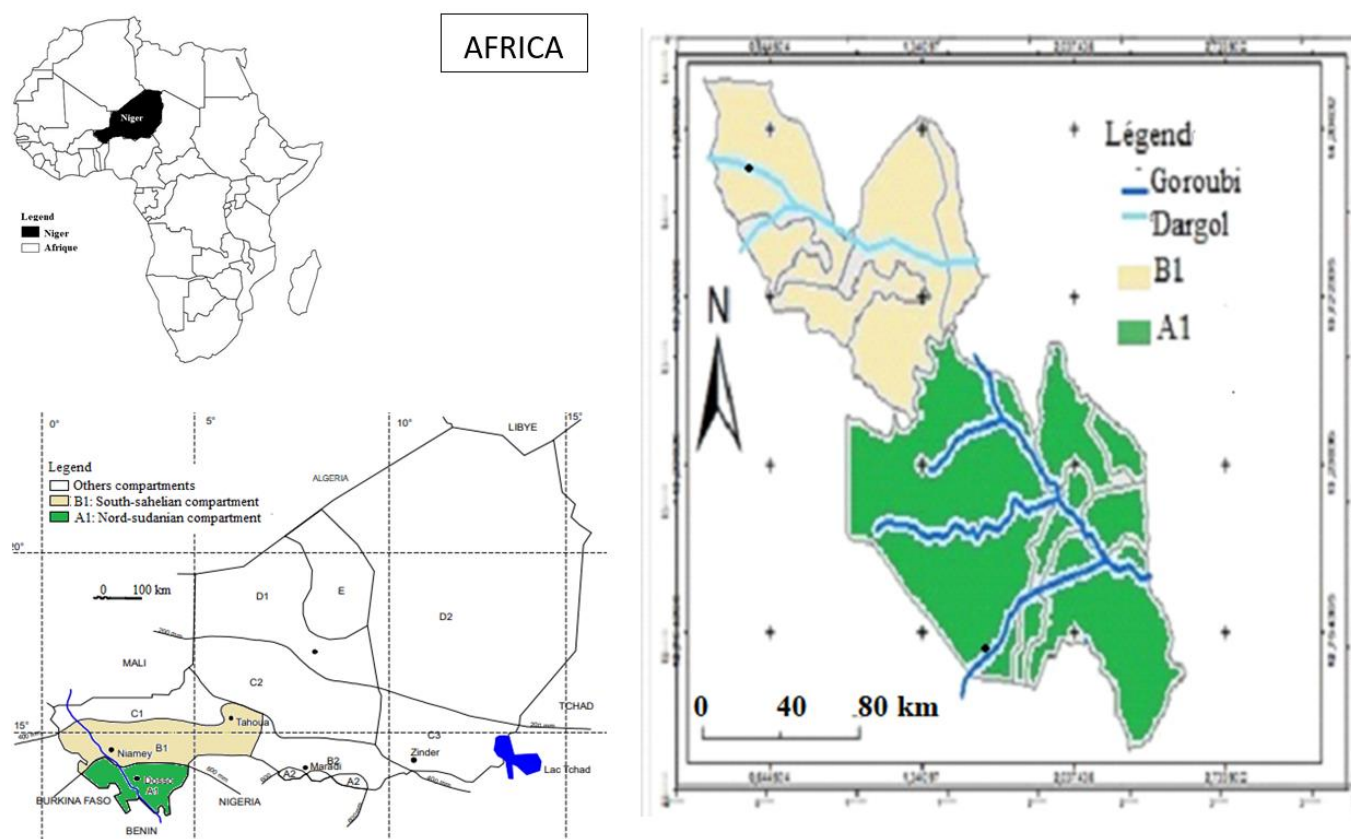


Fig. 1. location of study Area

Figure 2 shows some *D. mespiliformis* parklands in Dargol (Fig1.A) and in Goroubi (Fig B)

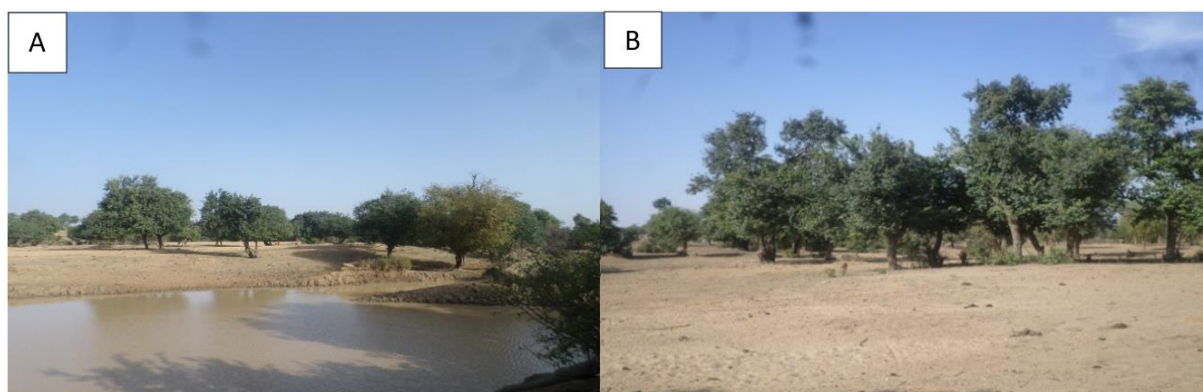


Fig. 2. population of *Diospyros mespiliformis*

2.2 DATA COLLECTION

Data were collected on plots measuring 50 m × 20 m (1000 m²) along regular transects 5 km apart and perpendicular to streams taking into account geomorphology, moisture gradient and land cover types, the distance between two consecutive plots was 500 m individuated using a GPS (Figure 3). The environment of each plot was characterized by ecological descriptors such as soil type, type of plant formation, indicators of anthropogenic activities. In each plot, measurements of dendrometric parameters were made on individuals of diameter ≥ 5 cm. These measurements concerned diameter (measured at 1.3 m for trees and 0.2m for shrubs), height. Apart from these parameters, bole height was measured for the species *D. mespiliformis*.

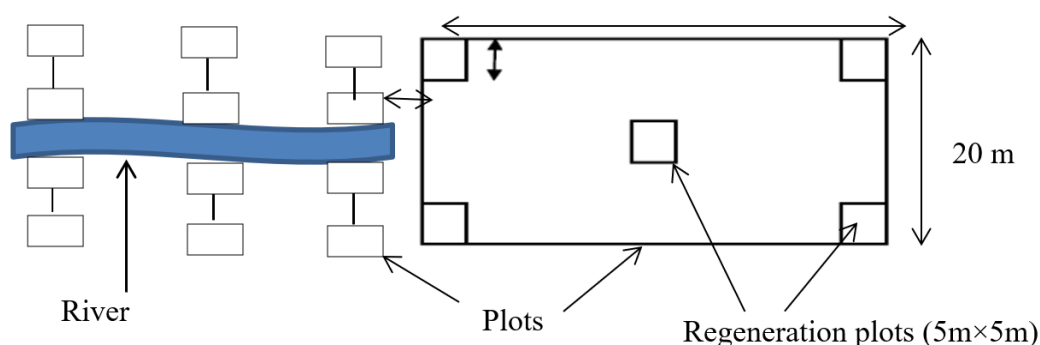


Fig. 3. Forest inventory system

2.3 DATA ANALYSIS

2.3.1 DIVERSITY AND REGULARITY INDICES

The diversity of the flora of a territory are very useful criteria, particularly from the point of view of historical phytogeography [17]. The diversity and regularity indices are evaluated on surveys in order to assess the level of organization of the stand.

- Alpha diversity index and Piérou Equitability

The Shannon-Weaver diversity index (H') varies according to the number of species recorded and the number of each species. Diversity is low when H' is less than 3, medium if H' is between 3 and 4 and then high when H' is greater than or equal to 4 [18]. It is expressed in bits per individual and its formula is:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

with S being the total number of species and p_i the relative frequency of the species.

The Piérou evenness index was calculated from the formula:

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}} \text{ et } H'_{\max} = \log_2 S$$

The Pielou evenness index varies between 0 and 1. It tends to 0 when there is a dominance phenomenon and tends to 1 when the distribution of individuals between species is regular.

SORENSEN'S COEFFICIENT

Sorensen's coefficient [19] was calculated to evaluate beta diversity, which allows for comparisons between habitats. This index expresses the degree of similarity between the two sites and has the formula:

$$Is = \frac{2C}{2C + A + B}$$

with A the number of species belonging only to site 1; B the number of species belonging only to site 2 and C the number of species common to both sites.

SPECIES IMPORTANCE VALUE INDEX

The relative importance of each species is determined by calculating an Importance Value Index (IVI) of [20] which was used by [15] and [21-23]. This index is the sum of relative density, relative dominance and relative frequency of the species:

$$IVI = Dr + Cs + Fr$$

where Dr is the relative density (number of individuals of the species considered in relation to the total number of individuals, x 100), Cs is the relative basal area (basal area of the species considered in relation to the total basal area of the stand, x 100) and Fr is the relative frequency (frequency of the species considered in relation to the sum of the frequencies of all species, x 100). The IVI ranges from 0 to 300.

2.3.2 FOREST INVENTORY PARAMETERS

The assessment of dendrometric parameters of woody plants in general and for *D. mespiliformis* was evaluated through:

- The stem density

$$N = n/s$$

N is the average number of trees per hectare and n is the number of trees in the plot and s is the area in hectares

- The average diameter which is expressed by:

$$D_{\text{m}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2}$$

n being the number of trees in the plot and di the diameter (in cm) of tree i.

- The average basal area which is expressed by the formula:

$$G = \frac{\pi}{40000 s} \sum_{i=1}^n d_i^2$$

- The basal area contribution of a species which is:

$$Cs = 100 \frac{G_p}{G}$$

G_p: basal area of trees of a given species; G: basal area of all trees.

- The Lorey's height $H_L = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$ with $g_i = \pi/4 d_i^2$

(g_i is the basal area of tree i, h is the height of tree i, and d_i is the diameter of tree i).

2.3.3 DEMOGRAPHIC STRUCTURES

The woody plants were then divided into diameter classes on the one hand and height classes on the other hand through their relative frequencies.

For this purpose, 18 diameter classes of 5 cm amplitude and 18 height classes of 2m amplitude were defined. In addition, to better understand the variability of the shapes of the observed structures and to make comparisons between structures possible, an adjustment to the theoretical Weibull distribution based on the maximum likelihood method was applied with the Minitab 16.0 software. The Weibull distribution is characterized by a great flexibility of use and its probability density function has the following form [24]:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right]$$

Where x is the diameter or height of the trees and f(x) its probability density value; a is the position parameter; b is the scale or size parameter and c is the shape parameter related to the observed structure. When c < 1 the distribution is inverted "J"; when c = 1 the distribution is a decreasing exponential function. For c > 1 the distribution is a unimodal function. If 1 < c < 3.6 the distribution is positive skewed with predominance of young individuals, when c = 3.6 the distribution is approximately normal, and when c > 3.6 the distribution is negative skewed with predominantly aged individuals stands.

3 RESULTS

3.1 ECOLOGY

Data on frequencies of environmental factors in plots and species in sites were subjected to principal component analysis (PCA) and revealed that the first two axes concentrate more than 89.2% of the total variance (Figure 4). Axis 1 alone centralizes 55.8% and the second axis 33.4%. The analysis of the factorial plan shows that the environmental factors according to axis 1 brings out on the positive part the type of occupation, i.e. from garden to fields and fallow land. On the negative side, we observe the type of soil. Axis 2 highlights the geomorphological gradient from the positive to the negative part. This analysis shows that this species adapts to all textures and all types of cover land use as long as the environment is drained.

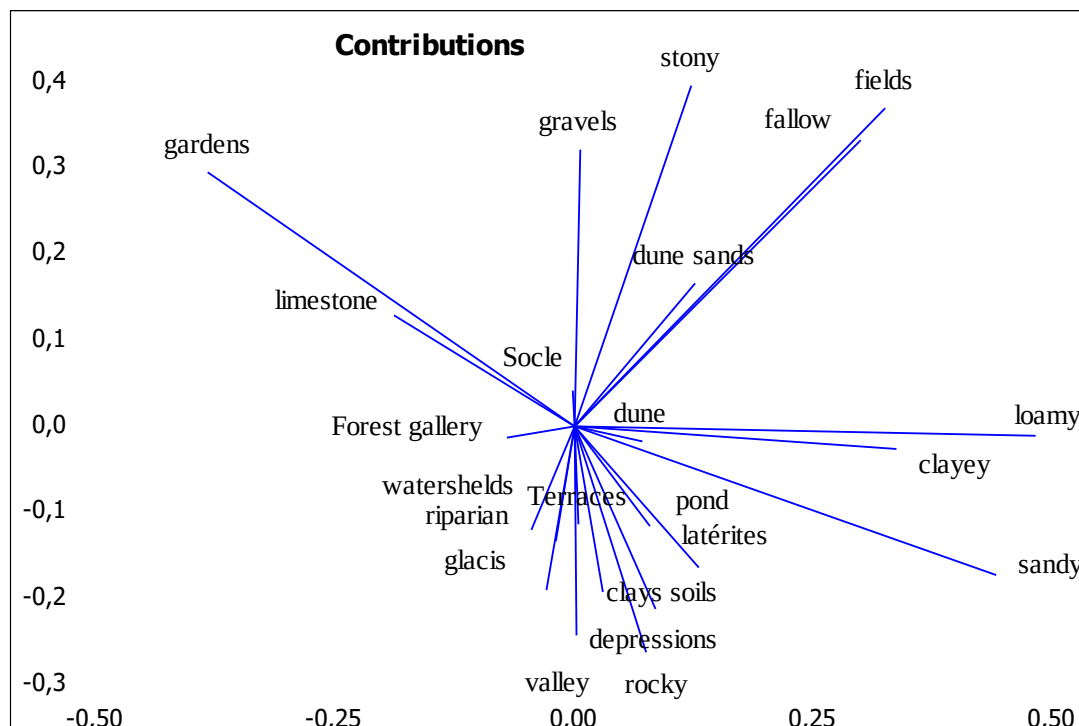


Fig. 4. Principal Component Analysis (PCA) of environmental factors

3.2 SPECIES RICHNESS, DIVERSITY AND EVENNESS INDICES

Analysis of the data collected in the 220 plots shows that the flora is rich in 41 woody species belonging to 17 families. The three most represented families are Mimosaceae (11 species), Caesalpiniaceae (4 species) and Combretaceae (4 species). Figure 5 shows the percentage of each family.

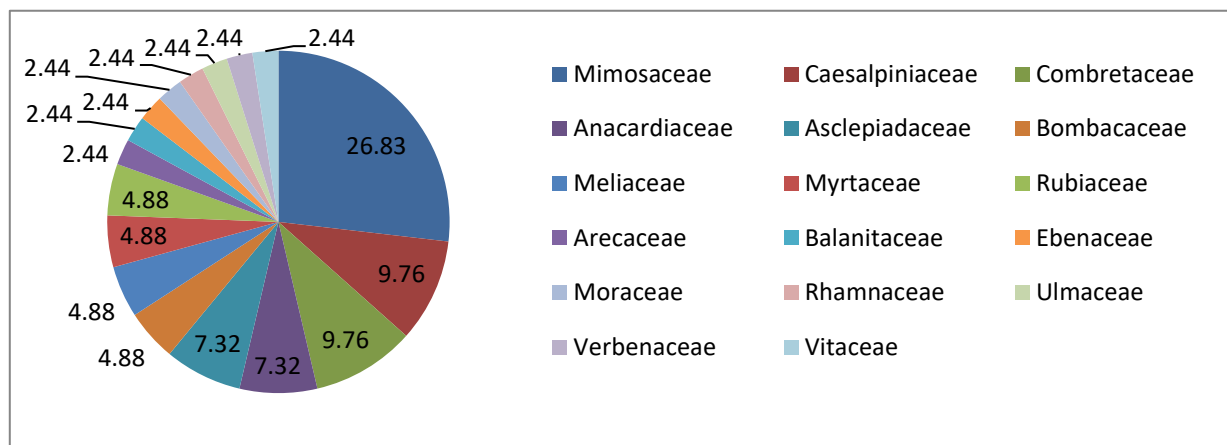


Fig. 5. The proportions of the families of all the species inventoried

The highest specific diversity was observed from Goroubi 38 species and the Alpha diversity is low along Dargol (Table 1). The specific diversity increases along the rainfall gradient. The analysis of the data shows that there is the phenomenon of dominance of a species (*D. mespiliformis*) more marked in Goroubi and a strong similarity of species between the with the index of beta diversity of 0.62.

Tableau 1. Diversity and equitability indexes values

Site	Plot	Espèce	Famille	H'	H'max	E
Dargol	100	23	23	2,61	4,32	0,6
Goroubi	120	38	17	2,19	4,8	0,45

3.3 IMPORTANCE VALUE INDEX (IVI)

Along Dargol, the three species with the highest IVI (246.99) are *Diospyros mespiliformis*, *Faidherbia albida* (Del.) Chev and *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze, of which *Diospyros mespiliformis* represents 134.23 i.e 44.74% of the IVI (Table 2).

Tableau 2. IVI of species recorded at the Dargol site

Espèce	Famille	FR (%)	DR (%)	CST (%)	IVI
<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. Rich.	Ebenaceae	48,73	48,73	36,77	134
<i>Faidherbia albida</i> (Del.) Chev.	Mimosaceae	8,62	8,62	53,64	70,9
<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze -	Rubiaceae	19,39	19,39	3,1	41,9
<i>Combretum micranthum</i> G. Don	Combretaceae	7,48	7,48	0	15
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	Rhamnaceae	3,04	3,04	0,38	6,46
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Del.	Mimosaceae	2,22	2,22	1,32	5,76
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	Caesalpiniaceae	2,16	2,16	0,49	4,81
<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	Mimosaceae	2,16	2,16	0,03	4,35
<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Guill. & Perr.	Combretaceae	0,95	0,95	1,72	3,62
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Meliaceae	1,14	1,14	0,27	2,55
<i>Hyphaene thebaica</i> (L.) Mart.	Arecaceae	1,01	1,01	0,23	2,25
<i>Tamarindus indica</i> L.	Caesalpiniaceae	0,76	0,76	0,72	2,24
<i>Celtis integrifolia</i> Lam. -	Ulmaceae	0,25	0,25	0,83	1,33
<i>Mangifera indica</i> L. -	Anacardiaceae	0,32	0,32	0,43	1,07
<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	0,51	0,51	0	1,02
<i>Gymnema sylvestre</i> (Retz.) Schultes	Asclepiadaceae	0,32	0,32	0	0,64
<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	Combretaceae	0,25	0,25	0	0,5
<i>Acacia gourmaensis</i> A. Chev.	Mimosaceae	0,25	0,25	0	0,5
<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	Caesalpiniaceae	0,13	0,13	0	0,26
<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	Asclepiadaceae	0,13	0,13	0	0,26
<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.	Combretaceae	0,06	0,06	0,04	0,16
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	Balanitaceae	0,06	0,06	0,02	0,14
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Myrtaceae	0,06	0,06	0,01	0,13

The analysis of table 3 shows that the IVI of the three dominant species (*Diospyros mespiliformis*, *Mitragyna inermis* and *Piliostigma reticulatum*) is 237.91 i. e 79.30% of which *Diospyros mespiliformis* is 53.06%.

Tableau 3. IVI of species found at the site of Goroubi

Espèce	Famille	FR (%)	DR (%)	CST (%)	IVI
<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. Rich.	Ebenaceae	59,26	59,26	40,68	159,2
<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze	Rubiaceae	15,32	15,32	26,37	57,01
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	Caesalpiniaceae	8,35	8,35	5	21,7
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	Meliaceae	3,09	3,09	5,27	11,45
<i>Hyphaene thebaica</i> (L.) Mart.	Arecaceae	3,15	3,15	2,18	8,48
<i>Tamarindus indica</i> L.	Caesalpiniaceae	1,31	1,31	3,94	6,56
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	Balanitaceae	1,62	1,62	2,3	5,54
<i>Mangifera indica</i> L. -	Anacardiaceae	0,73	0,73	2,67	4,13
<i>Albizia chevalieri</i> Harms	Mimosaceae	0,5	0,5	2,44	3,44
<i>Ficus sycomorus</i> . (Miq.) C.C. Berg	Moraceae	0,21	0,21	2,57	2,99
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Myrtaceae	1,31	1,31	0,21	2,83
<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Guill. & Perr.	Combretaceae	0,41	0,41	1,77	2,59
<i>Adansonia digitata</i> L.	Bombacaceae	0,15	0,15	1,59	1,89
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Meliaceae	0,64	0,64	0,05	1,33
<i>Acacia gourmaensis</i> A. Chev	Mimosaceae	0,63	0,63	0	1,26
<i>Vitex simplicifolia</i> Oliv.	Verbenaceae	0,5	0,5	0,05	1,05
<i>Acacia gourmaensis</i> A. Chev.	Mimosaceae	0,46	0,46	0	0,92
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don	Mimosaceae	0,09	0,09	0,7	0,88
<i>Combretum micranthum</i> G. Don	Combretaceae	0,23	0,23	0,35	0,81
<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	Combretaceae	0,38	0,38	0	0,76
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Del.	Mimosaceae	0,17	0,17	0,33	0,67
<i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause	Anacardiaceae	0,17	0,17	0,24	0,58
<i>Gymnema sylvestre</i> (Retz.) Schultes	Asclepiadaceae	0,25	0,25	0	0,5
<i>Faidherbia albida</i> (Del.) Chev.	Mimosaceae	0,09	0,09	0,31	0,49
<i>Acacia seyal</i> Del.	Mimosaceae	0,12	0,12	0,17	0,41
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	Rhamnaceae	0,2	0,2	0	0,4
<i>Bombax costatum</i> Pellegr. & Vuillet	Bombacaceae	0,09	0,09	0,18	0,36
<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst.	Anacardiaceae	0,09	0,09	0,15	0,33
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Mimosaceae	0,06	0,06	0,2	0,32
<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	Mimosaceae	0,12	0,12	0,02	0,26
<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.	Combretaceae	0,06	0,06	0,14	0,26
<i>Gardenia ternifolia</i> Schumach. & Thonn.	Rubiaceae	0,06	0,06	0,06	0,18
<i>Cassia sieberiana</i> DC.	Caesalpiniaceae	0,03	0,03	0,03	0,09
<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn.	Mimosaceae	0,03	0,03	0,03	0,09
<i>Cissus quadrangularis</i> L.	Vitaceae	0,03	0,03	0	0,06
<i>Acacia erythrocalyx</i> Brenan	Mimosaceae	0,03	0,03	0	0,06
<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	Asclepiadaceae	0,03	0,03	0	0,06
<i>Acacia ehrenbergiana</i>	Mimosaceae	0,03	0,03	0	0,06
Total	16	100	100	100	300

3.4 DENDROMETRIC PARAMETERS

The set of stands has densities, average diameters and average heights that are significantly different. Thus, the highest values are density at Goroubi (348.9 tree/ha), mean diameter (60.14 cm) at Goulbi Maradi, mean height (10.09 m) and basal area (12.47 m²/ha) in Dargol (Table 4). *D. mespiliformis* contributes more than any other species to basal area, with a greater contribution at Dargol (47.31 %). Density, mean diameter, bole height, Lorey's height, mean height and basal area of *D. mespiliformis* were significantly different between sites.

Tableau 4. Dendrometric parameters

Parameter	Dargol	Goroubi	Probabilité
All species			
density (N/ha)	198,9±193,7b	348,9±405a	<0,010
mean diameter (cm)	44,91 46,28b	38,67 4,58a	<0,010
mean height (m)	10,09±2,88a	5,54b	<0,010
basal area (m ² /ha)	12,47	11,33	
<i>Diospyros mespiliformis</i>			
Contribution in basal area (%)	47,31	41,57	
density (N/ha)	46,01b	22,6a	<0,035
mean diameter (cm)	37,06±19,07 a	33,19±20 b	<0,010
bole height (m)	1,08 ±0,69a	1,28 ±0,54b	<0,010
Lorey's height, (m)	6,65	6,7	
mean height (m)	6,80±2,54a	6,23±2,26 a	<0,040
basal area (m ² /ha)	5,90	4,71	

3.5 DEMOGRAPHIC STRUCTURE

The distribution of woody species into diameter classes at the sites reveals the distribution to be unimodal (Figure 6). The shape parameter c is between 1 and 3.6 showing that the distribution is positively asymmetric with a value of 1.73 at Dargol (Figure 6A); 1.65 at Goroubi (Figure 6B).

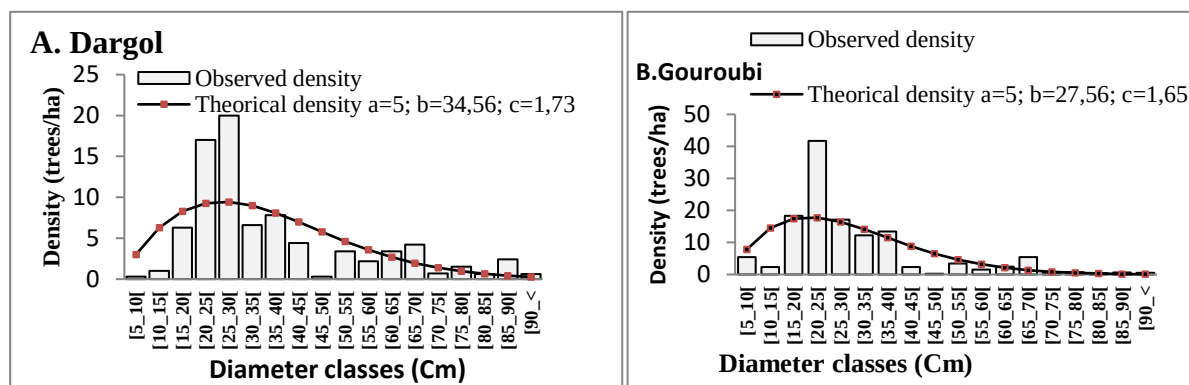


Fig. 6. Diameter class structure of the woody stand assemblage (A) Dargol, (B) Goroubi,

The distribution of individuals of the *D. mespiliformis* population in diameter classes at the sites reveals the distribution to a unimodal function (Figure 7). The shape parameter c is between 1 and 3.6 showing that the distribution is positively asymmetric with a value of 1.85 at Dargol (Figure 7A); 1.74 at Goroubi (Figure 7B).

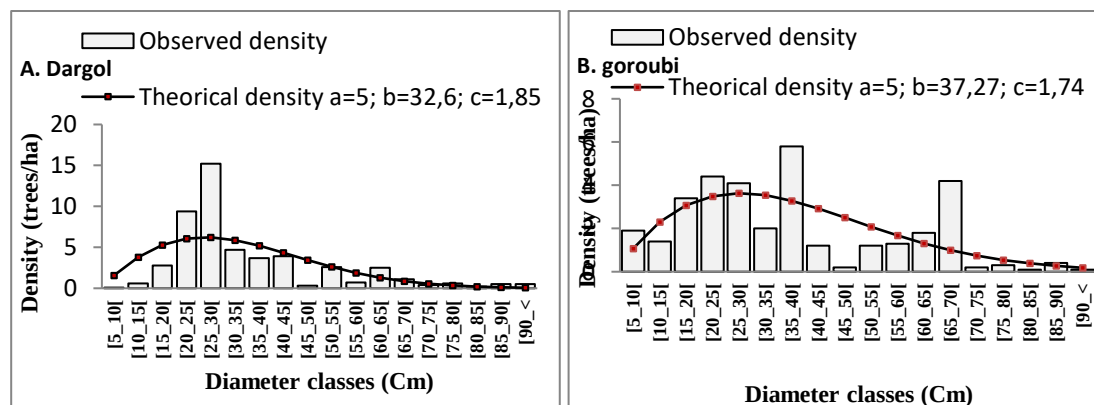


Fig. 7. Diameter class structure of *D. mespiliformis* population (A) Dargol, (B) Goroubi,

At the site level, the distribution of individuals in height classes shows an L-shaped distribution. It fits the theoretical Weibull distribution with the shape parameter ($1 < c < 3.6$), (Figure 8). This parameter takes the values 1.53 at Dargol (Figure 8A); 1.66 at Goroubi (Figure 8B).

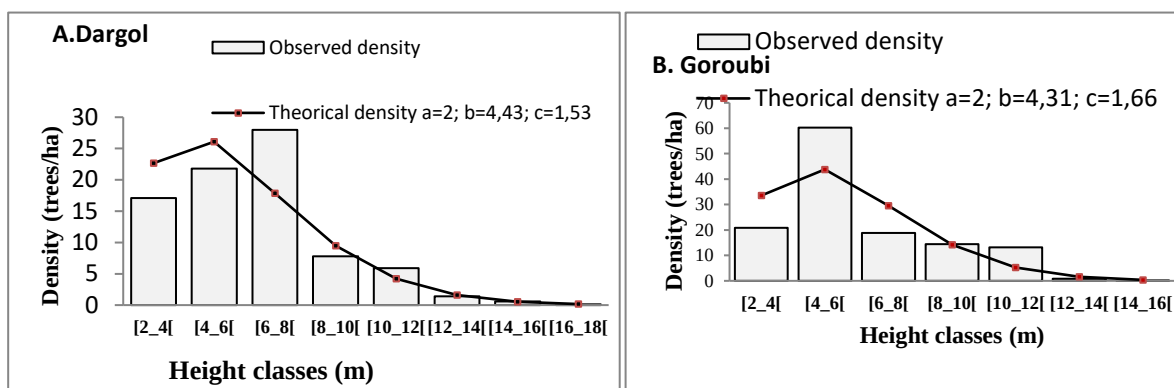


Fig. 8. Height class structure of the woody stand (A) Dargol, (B) Goroubi, (C)

At the site, the distribution of *D. mespiliformis* populations in height classes shows positive skewed distributions and a normal distribution. It fits the theoretical Weibull distribution with the shape parameter ($1 < c < 3.6$), (Figure 9). This parameter takes the values 2.1 at Dargol (Figure 9A); 3.63 at Goroubi (Figure 9B).

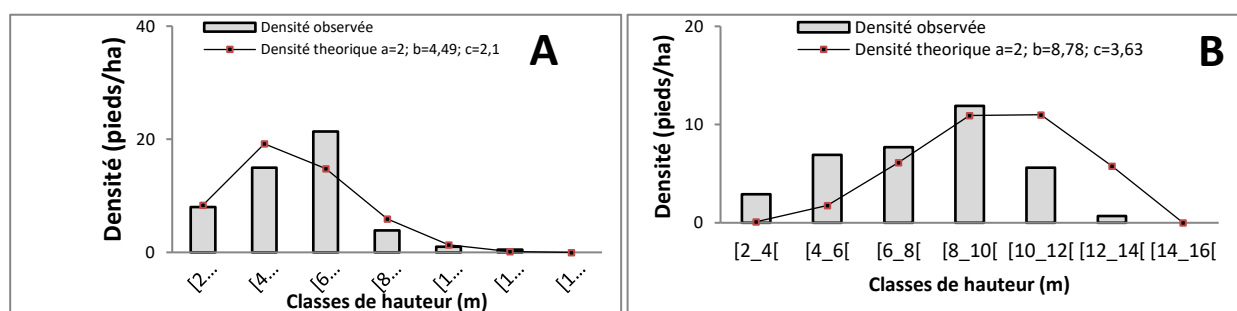


Fig. 9. Population height class structure of *D. mespiliformis* (A) Dargol, (B) Goroubi,

4 DISCUSSION

Western Niger in the Sahelo-Sudanian zone with a diversity of environmental factors but with a common feature that is the presence of rivers and streams constitutes a favorable habitat for *D. mespiliformis*. The area has a species diversity ranging from 23 to 38 trees species along Dargol and Goroubi, which is quite low compared to global diversity of Niger flora [14]. The specific diversity found by [24] in southern Niger is 19 species in Torodi, 21 in Tanda and 31 in Bana, the variation trend is the same because the specific diversity is higher in the more wettest area. The slight superiority in diversity that we obtained is due to the types of formation because the present study is carried out in forest galleries of drained environments that are areas of important diversity [14]. The diversity index is low in Dargol and medium in Goroubi. The equitability indices are from 0.45 to 0.63 showing a dominance of one species, *D. mespiliformis* not only by the type of sampling conditioned by the presence of this species in the plot but also by the study environments which are forest galleries and especially drained environments as [10] author showed in 2014, that this species is present in Sahelo-Sudanese groves to Guinean forests, in forest galleries, riverbanks, termite mounds, rocky hills and generally on heavy and well-drained soils. This dominance is confirmed by the indices of importance values which are close to 50% in the studied areas.

The vegetation reveals a high density of *D. mespiliformis*, especially in the wettest areas, with trees of large diameter and low bole height. These differences are adaptations to the environmental conditions because the wet areas present a greater availability of nutritive elements allowing the species to develop well and that the shape of the crown is determining to support the different parts of the plant whereas in arid environment the trees present a little developed trunk in response to the hydric deficits. In Niger, several studies have shown that the density of woody plants is related to the use of the species in the area, [21] in Dan kada Dodo-Dan Gado forest of south-central Niger, [23] at *P. africana* parkland, [25] on *T. indica* population.,

The variation in density of *D. mespiliformis* is in the same order as that obtained by [26] in Togo republic with a higher density reflecting the variation in density as a function of the rainfall gradient. [27] argue that the judicious interpretation of the diameter and height structures of forest stands gives a fairly accurate idea of the life conditions of the stands and allows to deduce clear management options for these stands. The diameter and height structure shows that the shape parameter (c) ranging from 1.6 to 3.6. shows a dominance of small diameter trees. This constitutes a progressive population trend of the species if only climatic conditions are the most determinant in the environment, but *D. mespiliformis* is a multiple-use species [8] so this information is both cause for concern given the pressure on the species.

5 CONCLUSION

The results of this work show that in these sites, which are essentially made up of forest galleries, the alpha diversity and the specific diversity increase with the increasing gradient of rainfall. The ecology of the species recorded is characterized by environmental parameters such as rupicoles and sandy-clay soils. The diversity between sites is characterized by the Sorenson index, which shows a similarity that is more important the closer the sites are geographically. The study of the demographic structures of the different populations reveals a low density of woody species, especially adults, one of the characteristics of the degraded areas as a result of anthropic actions combined with the atrocious effect of the environment factors. The structure in diameter and height of the stands, especially that of the *D. mespiliformis* population, reveals an instability emanating from the overexploitation of the species. Thus, the structure, composition and density of woody plant diversity are a function of ecoregions and farming practices. The absence of small-diameter trees of *D. mespiliformis* is an indicator of poor regeneration of the species. This requires special attention to the spread of the species and its association with other species.

REFERENCES

- [1] FAO; «Deuxième rapport sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture au Niger», P 68, 2007.
- [2] B. Adzu, Amos S., Muazzam I., Inyang U.S.; Gamaniel, K.S. Neuropharmacological «Screening of *Diospyros mespiliformis* in mice», *Journal of Ethnopharmacology*, 83 (1-2): 139-143, 2002.
- [3] E.Chivandj., Eriwanger. K. H, Davidson. B. C.; «Lipid content and fatty acid profile of the fruit seeds of *Diospyros mespiliformis*»; *International Journal of Integrative Biology*; 5; 121-124, 2009.
- [4] H.H, El-Kamali. *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.DC. [Internet] Record from PROTA4U. Lemmens, R.H.M.J., Louppe, D. & Oteng-Amoako, A.A. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands; 2011.
- [5] A. Adewale and Rotimi. A. O; «Fatty Acid Composition and Lipid Profile of *Diospyros mespiliformis*, *Albizia lebbek*, and *Caesalpinia pulcherrima* Seed Oils from Nigeria»; *International Journal of Food Science*; 6p, 2014.
- [6] S. Barmo «Analyse socio-economique de l'exploitation des ressources végétales de la réserve totale de faune de Tamou (RTFT) - Niger». *Mémoire DEA. FAST/UAM de Niamey*, 67p, 2008.
- [7] O. Charles. E, Chukwuemeka. S. N, Ebere. B. O, Justina. U. O, Kelechi. L. N, Joy. C. O, Maria. I. N, Kennedy. F.C; «Anti-mycobacterial activity of root and leaf extracts of *Anthocleista djalensis* (Loganiaceae) and *Diospyros mespiliformis* (Ebenaceae)», 2009.
- [8] A. Ali, Oumarou M., Moukaila S A. Mahamane «Perception paysanne de l'utilisation de *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. Rich au Niger». *J. Appl. Biosci.* 160.16460-16474, 2021.
- [9] M. Saadou, «La végétation des milieux drainés nigériens à l'Est du fleuve Niger: Thèse de Doctorat ès - Sciences Naturelles. Université de Niamey». 395 p, 1990.
- [10] M Arbonnier. «Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest; CIRAD - MNHN - UICN», Montpellier (France), 541p. Arbonnier. 2014.
- [11] INS; «Recensement général de la population et de l'habitat, 2012. Répertoire national des localités», *Institut National de la Statistique*, Niger, 2014.
- [12] S. Karimou S., Toko I. I., Arouna O., 2019. «Impact de la Variabilité Climatique sur la Niche Ecologique de *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.De. dans la Région Soudanienne au Bénin (Afrique de l'Ouest) ». *European Scientific Journal*. 15 (36), 1-19. ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431DOI: 10.19044/ESJ.2019.V15N36P1.
- [13] A. Ali, Abdou L., Maman Maarouhi I., Seghieri J., Mahamane A., «In Niger, the Expected Futur Climate Will Provide Better Conditions than the Current One to *Diospyros Mespiliformis* Hochst. ex A.DC. Rich», *Environment and Natural Resources Research*; ISSN 1927-0488 E-ISSN 1927-0496 Vol. 10, No. 3; 2020.
- [14] A. Mahamane. A, Mahamane. S, Mohamed. B.D, Karim. S, Bakasso. Y, Abdoulaye. D, Boubé. M, Inoussa. M.M, Idrissa. S & Arzika; «Biodiversité végétale au Niger: état des connaissances actuelles». *Ann. Univ. Lomé (Togo), Sciences*; 18; 81-93, 2009.
- [15] B. Ousmane. B; «Géologie et Hydrogéologie du Niger in Atlas du Niger»; *Ed Jeune Afrique*; 1240 (1); 8-11. 1980.

- [16] FAO, «Quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres. Rapport sur les ressources en sols du monde». 268 p, 2002.
- [17] A. Mahamane, «Structure fonctionnement et dynamique des parcs agroforestiers dans l'Ouest du Niger. Thèse de Doctorat 3ème Cycle. Université de Ouagadougou». 213p, 1997.
- [18] T. Bertine, Pierre-Marie.M, Victor. F. N. et Walter. N. T; «Biodiversité floristique et régénération naturelle sur les Hautes Terre de Lebialem (Ouest Cameroun) »; *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 9 (1); 56-68. 2015.
- [19] E. M. Anne. «Measuring biological diversity»; *Blackwell Sci Ltd*; 256 p. 2004.
- [20] J. T. Curtis, & R. P. MacIntosh, «An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin». *Ecology*, 32 (3), 476-496, 1951.
- [21] H. Abdourhamane. B. Morou. B, Rabiou. H & Mahamane. A; «Caractéristiques floristiques, diversité et structure de la végétation ligneuse dans le Centre-Sud du Niger: cas du complexe des forêts classées de Dan kada Dodo-Dan Gado »; *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (3); 1048-1068, 2013.
- [22] M.M. Boubacar, Inoussa. M.M, Ambouta. J.M.K, Mahamane. A, Jorgen. A.A, Harissou. Y et Rabiou. H; «Caractérisation de la végétation ligneuse et des organisations pelliculaires de surface des agroécosystèmes à différents stades de dégradation de la Commune rurale de Simiri (Niger) ». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*; 7 (5); 1963-1975, 2013.
- [23] A. Laouali, Boubé. M, Tougiani. A, Mahamane. A; Analysis of the Structure and Diversity of *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub. Tree Stands in the Southeastern Niger. *Journal of Plant Studies*; 5 (2); 58-67, 2016.
- [24] J. Rondeux, «La Mesure des arbres et des peuplements forestiers». *Gembloux, Presses Agronomiques de Gembloux*. 521 p, 1999.
- [25] A. GARBA, A. AMANI, S. DOUMA, Abdoul Kader Soumaila SINA et Ali MAHAMANE, «Structure des populations de *Tamarindus indica* L. dans la zone Sud-Ouest du Niger». *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (1): 126-142, <http://www.ifgdg.org>. 2020.
- [26] K. Adjonou, Bellefontaine R. et Kokou K., «Les forêts claires du Parc national Oti-Kéran au Nord-Togo: structure, dynamique et impacts des modifications climatiques» récentes. *Sécheresse*, 20 (1), 1-10. 2009.
- [27] W. Bonou, Glèlè. K. R., Assogbadjo. A. E, Fonton. H. N. & Sinsin. B; «Characterisation of *Azelia africana* Sm. habitat in the Lama Forest reserve of Benin». *Forest; ecology and management*; 258; 1084–1092, 2009.

Perception de la jeune fille-mère sur son vécu et celui de son enfant après sa grossesse en Ville de Beni, Commune Mulekera, Quartier Ngongolio

[Perception of the young girl-mother on her experience and that of her child after her pregnancy in the Town of Beni, Mulekera Common, Ngongolio District]

Kahindo Semwavyo Jackson

Assistant, Université Officielle de Semuliki, Beni, RD Congo

Copyright © 2022 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 girl-mother phenomenon is nowadays a complex fact in the city of Beni in General and in the Mulekera common, NGONGOLIO district in particular. By undertaking this study, we have the ambition to assess the perception that girl-mothers have of themselves; identify the ideas they think those around them have about them and about their children, test the influence of level of education and socio-economic category on their self-perception and the perception of their offspring. After analysis and interpretation of tables, the results show us that the young girl-mother suffers of the negative perception of herself, her child and is the subject of a strong social indexing. Using the chi-square test; we noticed that the methods of the variable level of study and the socio economic category of girl-mothers do not influence enough on their self-perception and their perception of their children.

KEYWORDS: Level of study, socio-economic category, self-perception, social consideration, social stigma.

RESUME: Le phénomène fille-mère constitue de nos jours un fait complexe en ville de Beni en Général et en Commune Mulekera, Quartier NGONGOLIO en particulier. En entreprenant cette étude, nous avons l'ambition d'évaluer la perception que les filles-mères ont d'elles-mêmes; identifier les idées qu'elles pensent que leur entourage a sur elles et sur leurs enfants, tester l'influence du niveau d'étude et de la catégorie socio-économique sur leur auto-perception et la perception de leurs progénitures. Après analyse et interprétation des tableaux, les résultats nous montrent que la jeune fille-mère souffre de la perception négative sur elle-même, son enfant et fait l'objet d'une forte indexation sociale. A l'aide du test khi-carré; nous avons remarqué que les modalités de la variable niveau d'étude et la catégorie socio-économique des filles –mères n'influencent pas suffisamment sur leur auto-perception et leur perception sur leurs enfants.

MOTS-CLEFS: Niveau d'étude, catégorie socio-économique, auto-perception, considération sociale, stigmatisation sociale.

1 INTRODUCTION

Dans le monde, la situation de la femme est préoccupante d'une façon générale et surtout dans les pays en voies de développement. S. Kazavi [1] affirme même que le statut féminin (gender ou relations sociales hommes- femmes) constitue indubitablement un élément important dans le débat général sur la pauvreté.

Que l'on classe les femmes dans la catégorie des « groupes vulnérables », que l'on associe les femmes chefs de familles et pauvreté ou que l'on souligne l'importance centrale de l'éducation des filles pour le bien-être de la famille et l'espoir d'échapper un jour à la misère », de tout cela, une seule chose peut-être retenue, c'est que, la vulnérabilité de la condition de la femme est une réalité de notre temps.

Parmi les femmes, les jeunes filles-mères portent un fardeau supplémentaire de vulnérabilité dû essentiellement à leurs conditions de vie spécifique. Pour plusieurs raisons, la femme est l'une des catégories des populations dites défavorisées dans le monde et la vie sociale de la femme est menacée des discriminations de toutes sortes par rapport à son frère du sexe masculin.

Abordant la question de discriminations dont les filles sont victimes dans une optique d'explication des abus sur l'enfance en général, Benedict Manier pense que la société favorisait les garçons au détriment des filles [2]. Les filles sont davantage absentes de l'école que les garçons parce qu'elles partagent les effets des préjugés socioculturels défavorables, omniprésents à l'égard des femmes en Afrique. L'éducation des filles est considérée comme un investissement à perte car elles consacreront leur vie à la tenue d'un ménage. Une répandue veut d'ailleurs qu'une fille éduquée soit encline à se marier et à bien remplir ce rôle traditionnel.

Exposées de cette façon, certaines filles font l'expérience de la vie d'adulte très tôt et souvent sans maturité. Ce qui fait que beaucoup d'entre elles peuvent attraper précocement une grossesse et avoir un ou plusieurs enfants à leur charge.

La catégorie de fille-mère est confrontée à plusieurs problèmes supplémentaires dus à leur statut: l'alimentation, le logement, la santé et l'éducation de leurs enfants devraient être assurés par elles-mêmes.

En nous référant à toutes ces situations que traversent les filles-mères, nous nous sommes posé les questions suivantes: Comment les filles-mères se perçoivent-elles après leurs grossesses ? Quelles idées leur entourage fait-il d'elles et de leurs progénitures ?

Les modalités de la variable niveau d'étude et la catégorie socio-économique influencent-elles significativement l'auto-perception des jeunes filles-mères et leur perception sur leurs enfants ?

Pour M. Grawitz (2000), l'hypothèse est une proposition de réponse à la question posée [3]. Elle est finalement une idée directrice, une tentative d'explication des faits; formulée au début de la recherche et destinée à guider l'investigation et à être abandonnée ou maintenue d'après les résultats de l'observation [4].

Comme hypothèses, nous pensons que les jeunes filles auraient une perception négative sur elles-mêmes et sur leurs enfants après leurs grossesses. Les filles-mères seraient l'objet d'une très forte stigmatisation (indexation sociale) qui ne favorise pas leur intégration sociale; le niveau d'étude et la catégorie socio-économique du milieu familial dans lequel s'opère leur intégration sociale après l'accouchement influenceraient significativement leur auto-perception

Cette étude poursuit les objectifs suivants:

- Évaluer la perception que les filles mères ont d'elles-mêmes,
- Identifier les idées qu'elles pensent que leur entourage a sur elles et sur leurs progénitures et qui peuvent aider à décrire la situation de la jeune fille-mère au quartier Ngongolio en ville de Beni,
- Tester l'influence du niveau d'étude et de la catégorie socio-économique des filles-mères sur leur auto-perception et la perception de leurs progénitures

Signalons que cette étude est importante car elle permet d'attirer l'attention sur la situation des jeunes filles-mères dans les quartiers périphériques marqués par la pauvreté en ville de Beni.

2 APPROCHE METHODOLOGIQUE

Les méthodes de recherche constituent au sens premier les voies d'approches fondamentales, les perspectives, les démarches fondamentales dans lesquelles se situent les chercheurs au second niveau, c'est-à-dire au niveau du véritable travail scientifique, celui de l'explication scientifique des faits empiriques observés et collectés. Elles s'inscrivent dans des orientations théoriques qui leur correspondent. Pour M. Grawitz, la Méthode est un ensemble concerté d'opérations mise en œuvre pour atteindre un ou plusieurs objectifs, un ensemble des normes qui permettent de faire la sélection des données [5].

Dans cette étude nous avons utilisé la méthode d'enquête et la technique du questionnaire pour récolter les données. Pour le dépouillement, nous avons utilisé le pointage et l'analyse de contenu comme technique. Le calcul des pourcentages des réponses, mais aussi le test de Khi-carré nous ont permis de tester l'influence du niveau d'étude des filles-mères sur leur auto-perception et la perception de leurs progénitures.

Pour Mucchielli R. (1971), la population d'étude ou l'univers d'enquête est l'ensemble de groupes humains concernés par les objectifs d'enquête [6].

Quant à Mandosi [7], une population d'étude est un ensemble de sujets en nombre limité qui peuvent être décrits comme ayant des propriétés ou des qualités communes. Pour G.DE LANDSHEERE, la population d'étude est un ensemble d'individus, d'objets ou événements sur lesquels les résultats de l'investigation peuvent être généralisés [8].

Nous retenons de cette définition les éléments suivants: une population est un ensemble de sujets sur lequel porte une étude. La nature de ces sujets peut varier: il peut s'agir des hommes, des animaux; des minéraux; il peut aussi s'agir des institutions ou des organisations. Une population est un ensemble fini ou infini des sujets. Même si l'on considère les humains comme la population de son étude, il faut toujours préciser quelle catégorie d'humains entre dans sa population d'étude. Généralement, la limitation de celle-ci se fait grâce aux caractéristiques particulières du grand ensemble qu'on veut étudier.

Toutes les filles-mères du quartier NGONGOLIO, Commune Mulekera en ville de Beni ont constitué la population de cette étude.

Signalons que dans cette étude nous avons utilisé un échantillon occasionnel composé de 77 filles-mères qui étaient disposées à nous fournir les informations

La variable niveau d'étude nous a plus intéressé dans cette étude. Nous avons pris trois éléments: les analphabètes, le niveau primaire et secondaire.

En nous référant à cette variable niveau d'étude, nos sujets se répartissent de la manière suivante:

Tableau 1. Répartition des sujets selon leur niveau d'étude

Etude	Fréquence	Pourcentage
Ecole primaire	41	54
Ecole secondaire	18	23
Analphabètes	18	23
Total	77	100

La lecture de ce tableau nous montre que, 41 filles soit 54% se sont limitées à l'école primaire, 18 filles soit 23 % ont fait l'école secondaire et enfin 18 filles soit 23% sont analphabètes.

Comme nous avons souligné ci-haut, les fréquences d'apparition des réponses susceptibles d'un traitement quantitatif ont été traduites en pourcentage selon la formule suivante:

$$\text{Pourcentage: } P \text{ ou } \% = \frac{f}{N} \times 100$$

D'où : P ou % = le pourcentage;

f= les fréquences simples de la classe;

N= l'effectif total

$$\text{Et le khi-deux : } \chi^2 = \sum \frac{(f_0 - f_{th})^2}{f_{th}}$$

χ^2 = le khi-deux

f_0 = fréquence observée

f_{th} = fréquence théorique

3 PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

Dans ce point, nous présentons, analysons et interprétons les résultats obtenus afin de prendre position par rapport aux hypothèses émises au début du travail. Nous procédons questions par question.

Question N°1: Quelles sont les principales causes des grossesses des jeunes filles avant le mariage ?

Tableau 2. Influence du niveau d'étude sur les motifs de grossesse des filles avant le mariage

Opinions	Analphabètes		Ecole primaire		Ecole secondaire		Total	
	f _{obs}	f _{th}	f _{obs}	f _{th}	f _{obs}	f _{th}	f	%
Déficit d'encadrement familial	8	4.7	7	10.6	5	4.7	20	26
Pauvreté en famille	5	5.4	13	12.3	5	5.4	23	30
Ignorance des conséquences de la sexualité	2	4.2	12	9.6	4	4.2	18	23
Influence de du milieu (copines)	3	3.5	9	8.5	4	3.7	16	21
Total	18		41		18		77	
	23		54		23		100	

A la lecture de ce tableau nous trouvons que la majorité des jeunes filles mères pense que la pauvreté est la cause principale de grossesse précoce (23 sujets soit 30 %), suivi du déficit de l'encadrement familial.

En comparant les effectifs de nos enquêtées à l'aide du test de khi-carré, nous trouvons que la différence entre les opinions de nos enquêtées n'est pas significative, car le khi-carré calculé 3,44 était inférieur au khi-carré critique 12,59 au seuil de 5% avec le degré de liberté de 6

Après ce résultat, nous nous sommes intéressés aussi à la question N°2: Question: Pensez-vous que la génération actuelle tolère ce phénomène que celle du passée ?

Tableau 3. Tolérance du phénomène fille-mère

Niveau d'études		Analphabète		Ecole primaire		Ecole secondaire		Total	
Opinion		f _o	f _{th}	f _o	f _{th}	f _o	f _{th}	f	%
D'accord		13	7,48	13	17,04	6	7,48	32	42
Pas d'accord		5	10,52	28	23,96	12	10,52	45	58
Total	f	18		41		18		77	
	%	23		54		23		100	

Les résultats obtenus à partir des réponses des sujets à cette question montrent que 32 sujets, 42% pensent que notre société tolère mieux ce phénomène, 45sujets, soit 58% pensent que la grossesse de la jeune fille constitue un grave problème.

Nous trouvons que la différence entre les opinions de nos enquêtées n'est pas significative. Car le khi-carré calculé 2,02 était inférieur au khi-carré critique 5,991 au seuil de 5% avec le degré de liberté de 2

Question N°3: Pensez-vous que les filles-mères ont actuellement la même considération sociale dans notre milieu de vie que toutes les autres filles ?

Tableau 4. Opinion des sujets sur la considération sociale de la jeune fille-mère

Niveau d'études		Analphabète		Ecole primaire		Ecole secondaire		Total	
Opinion		f _o	f _{th}	f _o	f _{th}	f _o	f _{th}	f	%
D'accord		7	5,38	8	12,25	8	5,38	23	30
Pas d'accord		11	12,62	33	28,75	10	12	54	70
Total	f	18		41		18		77	
	%	23		54		23		100	

La lecture de ce tableau montre que 23 sujets, soit 30% pensent qu'actuellement la jeune fille mère a la même considération sociale qu'elle soit engrossée ou pas. L'opinion contraire est exprimée par 54 sujets, soit 70%. D'après leur niveau d'étude, ce sont les filles qui n'ont pas étudié qui considèrent globalement que la considération sociale de la fille n'est pas fonction de son état de mère.

Nous trouvons que la différence entre les opinions de nos enquêtées n'est pas significative. Car le khi-carre calculé 1,63 était inférieur au khi-carre critique 5,991 au seuil de 5% avec le degré de liberté de 2

Question N°4: Pensez-vous que l'enfant d'une fille-mère a actuellement de la même considération sociale que les autres enfants dans notre milieu vie ?

Tableau 5. Considération sociale de l'enfant de la jeune fille-mère

Niveau d'études	Analphabète		Ecole primaire		Ecole secondaire		Total	
Opinion	f _o	f _{th}	f _o	f _{th}	f _o	f _{th}	f	%
Défavorable	10	10,99	26	25,03	11	10,99	47	61
Favorable	8	7,01	15	15,97	7	7,01	30	39
Total	f	18	41	18	77			
	%	23	54	23	100			

De ce tableau nous trouvons que 47sujets, soit 61% pensent que les enfants des filles-mères n'ont pas la même considération que les autres enfants dans leur milieu de vie. L'opinion contraire est exprimée par 30 sujets, soit 39%. Nous trouvons que la différence entre les opinions de nos enquêtées n'est pas significative, car le khi-carré calculé 0,33 était inférieur au khi-carré critique 5,991 au seuil de 5% avec le degré de liberté de 2

Question n°5: Quelles sont les difficultés auxquelles les jeunes filles-mères sont confrontées dans leur vie ?

Voici les difficultés que les filles-mères confrontent:

1. Difficultés d'être prise en charge par leur famille
2. Difficultés d'intégrer la belle-famille
3. Difficultés d'éduquer et de prendre soin de leur enfant
4. La déconsidération sociale qui crée des complexes d'infériorité
5. Difficultés de poursuivre les études ou d'entreprendre une formation

Question n° 6: Que doit-on faire pour limiter l'ampleur de grossesse des jeunes filles ?

Pour limiter l'ampleur du phénomène de grossesse des jeunes filles, nos enquêtées ont proposé ce qui suit:

1. L'état doit prendre des mesures efficaces qui protègent la jeune fille en général et la jeune fille-mère en particulier;
2. Les parents doivent encadrer leurs enfants, notamment en pourvoyant à leurs besoins primaires
3. Décourager les exhibitionnismes de jeunes filles, notamment dans leurs modes d'habillement;
4. Donner une éducation sexuelle suffisante aux jeunes filles en insistant sur la connaissance de leur corps, surtout le cycle menstruel;
5. La prise de conscience personnelle de la jeune fille, à travers sa responsabilité progressive

Question n° 7: Une opinion très répandue affirme que « les mamans sont complices de la méconduite de leurs filles qui aboutissent parfois à la grossesse ». Selon vous, cette idée est-elle vraie ou fausse ?

Tableau 6. Opinion des sujets sur l'allégation de la complicité entre la fille et sa mère

Opinions des sujets	F _o	%	F _{th}	%
Mères complices	28	36	38,5	50
Mères non complices	49	64	38,5	50
Total	77	100	77	100

Selon ce tableau, 49 sujets, soit 64% soutiennent que l'opinion selon laquelle les mamans sont complices des aventures de leurs filles est fausse contre 28 sujets soit 36% qui soutiennent cette opinion.

Nous trouvons que la différence entre les opinions de nos enquêtées n'est pas significative. Car le khi-carré calculé 0,57 était inférieur au khi-carré critique 3,841 au seuil de 5% avec le degré de liberté de 1

Question n°8: Est-ce vrai ou faux de dire que le phénomène fille-mère est lié à la position socio- économique des parents?

Tableau 7. Grossesse des filles-mères et situation socio- économique

Opinions des sujets	F ₀	%	F _{th}	%
Grossesse liée à la position socio-économique	60	78	38,5	50
Grossesse non liée à la position socio- économique.	17	22	38,5	50
Total	77	100	77	100

L'analyse de ce tableau révèle que 60 sujets, soit 78% soutiennent que les conditions économiques des parents influencent effectivement le phénomène filles-mères et 17 sujets, soit 22% ne sont pas d'accord.

Nous trouvons que la différence entre les opinions de nos enquêtées n'est pas significative. Car le khi-carré calculé 1,12 était inférieur au khi-carré critique 3,841 au seuil de 5% avec le degré de liberté de 1.

Question N°09: Les filles-mères issues des familles instruites sont-elles mieux traitées que celles des familles analphabètes?

Tableau 8. Traitement des filles-mères selon l'origine familiale

Opinions des sujets	F ₀	%	F _{th}	%
Les intellectuels traitent mieux leurs filles engrossées	33	43	38,5	50
Les intellectuels ne traitent pas mieux leurs filles engrossées	44	57	38,5	50
Total	77	100	77	100

A la lecture de ce tableau nous observons que 33sujets, soit 43% estiment que les filles-mères des familles instruites sont mieux traitées, tandis que 44 sujets, soit 57% disent le contraire. Nous trouvons que la différence entre les opinions de nos enquêtées n'est pas significative. Car le khi-carré calculé 0,28 était inférieur au khi-carré critique 3,841 au seuil de 5% avec le degré de liberté de 1

4 DISCUSSION

La discussion des résultats est l'une des étapes la plus cruciale car, elle nécessite un effort soutenu afin de fournir une explication des résultats obtenus.

Comme nous l'avons souligné, la présente étude parle de la perception de la jeune fille-mère sur son vécu et celui de son enfant après sa grossesse en ville de Beni. Cas des filles mères de la commune Mulekera, quartier Ngongolio.

Les résultats obtenus au tableau n°5 nous ont révélé qu'en dépit du penchant naturel de l'enfant de la fille-mère à jouer avec les autres enfants, dans la relation sociale entre adultes, ces enfants ne sont pas traités de la même façon. Ceci se justifie par le fait que dans la plupart des cas, la prise en charge socio-économique de ces enfants revient à ces filles-mères sans l'intervention de leur entourage.

Pour ce qui concerne la situation socio- économique de famille d'origine de filles-mères, 78% de nos enquêtées soutiennent que les conditions socio-économiques des parents sont à la base de la recrudescence de ce phénomène dans le quartier Ngongolio (Tableau n°7).

En outre, les familles intellectuelles en 57% selon nos résultats, sont plus réticentes à l'égard de leurs filles-mères à cause de la déception et le déshonneur que cette situation amène et traîne à leurs familles (Tableau n°8).

Ces résultats rejoignent **la convention de l'Assemblée Générale de l'ONU de1979**, qui montre que tous les humains doivent être traités sans discrimination. Cette convention est entrée en vigueur en République Démocratique du Congo le 03 septembre 1981 [9].

Avec la crise économique entraînée par le phénomène ADF en ville et Territoire de Beni, certaines familles ne savent plus veiller au comportement sexuel de leurs jeunes filles.

Toutes ces allégations confirment notre première et deuxième hypothèse.

Signalons que le test du chi-carré utilisé dans cette étude pour toutes les variables indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les variables envisagées, ce qui nous pousse à dire que le niveau d'étude et la catégorie socio-économique n'influencent pas significativement la perception des filles mères sur elles-mêmes et sur leurs enfants. Ce résultat infirme notre troisième hypothèse.

5 CONCLUSION

Nous avons étudié les opinions des filles-mères sur leur statut social. Les préoccupations tournaient autour des questions suivantes:

- Comment ces filles-mères se perçoivent-elles après leurs grossesses ?
- Quelles idées leur entourage fait-il d'elles et de leurs progénitures ?
- Les modalités de la variable niveau d'étude et la catégorie socio-économique influencent-elles significativement l'auto-perception des jeunes filles-mères et leur perception sur leurs enfants ?

Comme réponses anticipées nous pensions que les jeunes filles auraient une perception négative sur elles-mêmes et sur leurs enfants après leurs grossesses; Les filles-mères feraient l'objet d'une très forte stigmatisation (indexation sociale) qui ne favorise pas leur intégration sociale; le niveau d'étude et la catégorie socio-économique du milieu familial dans lequel s'opère leur intégration sociale après l'accouchement influenceraient significativement leur auto-perception et leur perception sur leurs enfants.

Cette étude poursuivait les objectifs suivants:

- Évaluer la perception que les filles mères ont d'elles-mêmes,
- Identifier les idées qu'elles pensent que leur entourage a sur elles et sur leurs progénitures et qui peuvent aider à décrire la situation de la jeune fille-mère au quartier NGONGOLIO en ville de Beni,
- Tester l'influence du niveau d'étude et la catégorie socio-économique des filles-mères sur leur auto-perception et la perception de leurs progénitures

Pour vérifier les hypothèses émises et atteindre nos objectifs, nous avons administré un questionnaire à 77 filles-mères de la commune Mulekera, dans le quartier Ngongolio. Elles étaient choisies selon leurs disponibilités. Ce qui nous a poussés à utiliser un échantillon occasionnel.

Les résultats obtenus confirment que les filles-mères ont une auto-perception négative sur leur vécu et le vécu de leurs enfants et font l'objet de l'indexation sociale et leur intégration dans la communauté

Par contre le niveau d'étude et la catégorie socio-économique n'influencent pas significativement leur perception testée par le test de chi-carré.

REFERENCES

- [1] S. KAZAVI, Gender et Pauvreté, écrits sur le développement de la RDC, 2000, P.98.
- [2] B. MANIER, Le travail des enfants dans le monde, Edition la découverte, Paris, 1999, P.41.
- [3] M. GRAWITZ, Lexique des Sciences Sociales, éd. Dalloz, 11eme éd. Paris, 2000, P.360
- [4] F. ESISO ASIA AMANI, Méthodes de recherche en Sciences Sociales, Cours inédit, Goma, UNIGOM, FSSAP, G2 SPA, R.I, et SOC., 2009-2010, P.211
- [5] M. GRAWITZ, Méthodes des Sciences Sociales, 10^{ème} édition, Dalloz, Paris, 1996, P.379
- [6] MUCCHIELLI R., Le questionnaire dans l'enquête psycho-sociale, Paris, E.S.F., 1971, P. 28
- [7] MANDOSI, Cours de statistique inductive, inédit, Université de Kinshasa, 2021, P. 46
- [8] G. DE LANDSHEERE, Introduction à la recherche Pédagogique, Paris, Armand colin, 1986.
- [9] Convention de l'Assemblée Générale de l'ONU, la Résolution n° 34/180 du 18 Septembre 1979.

Modélisation à 3D des influences de l'intensité et de l'angle d'inclinaison d'un champ électromagnétique sur le courant et la tension d'une cellule PV au silicium polycristallin

[3D modelling of the effects of the intensity and the inclination angle of an electromagnetic field on the current and the voltage of a polycrystalline silicon PV cell]

Mamoudou Saria¹, Ramatou Saré¹, Mahamadi Savadogo¹, Vinci De Dieu Bokoyo Barandja², Martial Zoungrana¹, and Issa Zerbo¹

¹Laboratoire d'Energies Thermiques REnouvelables (L.E.T.RE), Ecole Doctorale Sciences et Technologies, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

²Département de Physique, Université de Bangui, Bangui, Central African Republic

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work investigated, using a 3-D modelling, the influences of the magnitude and the inclination angle of an electromagnetic field (EMF) carried by AM radio waves on the current and the voltage of a polycrystalline silicon PV cell.

The electrons transport equations were solved to find the density of electrons and then to derive the current density and the voltage. Through numerical simulation, the effects of both the magnitude and the inclination angle of the EMF on the density of electrons, the current density and the open circuit voltage were studied.

Results of simulation showed that depending on the inclination angle (0 rad; $\pi/2$ rad and π rad), the EMF acts differently on the electrical parameters (J_{sc} and V_{oc}). The analysis also showed that, regardless of the inclination angle of the EMF, there is an open circuit current (J_{oc}) proportional to the magnitude of the EMF (inversely proportional to the distance). This current (J_{oc}) is lost by Joule heating either at the junction ($\theta = 0$ rad) or in the base ($\theta = \pi/2$ rad and $\theta = \pi$ rad). Finally, the analysis showed that, for $\theta = \pi$ rad (reverse polarization of the PV cell), there is an operating domain ($S_f \leq S_{f_{eq}}$) in which the PV cell is blocked. And another operating domain ($S_f > S_{f_{eq}}$) in which the PV cell is a current generator unlike a PN junction diode which remains blocked in reverse bias.

KEYWORDS: PV cell, radio waves, inclination angle, Joule heating, avalanche effect.

RESUME: L'objectif de ce travail est d'étudier, à 3-D, les influences de l'intensité et de l'angle d'inclinaison du champ électromagnétique transporté par des ondes radio AM sur le courant et la tension d'une cellule PV.

Les équations de transport ont été résolues afin d'établir l'expression de la densité des électrons qui a permis de déduire les expressions de la densité de courant et de la tension. Ensuite nous avons étudié, par simulation numérique, les influences de l'intensité et de l'angle d'inclinaison du champ électromagnétique sur la densité des électrons, la densité de courant et la tension de circuit ouvert.

Les résultats des simulations ont montré qu'en fonction de l'angle d'inclinaison (0 rad; $\pi/2$ rad et π rad), le champ électromagnétique agit différemment sur les paramètres électriques (J_{cc} et V_{co}). L'analyse a également montré que, quel que soit l'angle d'inclinaison du champ électromagnétique, il existe un courant en circuit ouvert (J_{co}) proportionnel à l'intensité du champ électromagnétique (inversement proportionnelle à la distance). Ce courant (J_{co}) est perdu par effet Joule soit à la jonction ($\theta = 0$ rad) soit dans la base ($\theta = \pi/2$ rad et $\theta = \pi$ rad). Enfin, l'analyse a montré que, pour $\theta = \pi$ rad (polarisation inverse de la cellule PV), il existe un domaine de fonctionnement ($S_f \leq S_{f_{eq}}$) dans lequel la cellule PV est bloquée. Et un autre domaine de fonctionnement ($S_f > S_{f_{eq}}$) dans lequel la cellule PV est un générateur de courant contrairement à une diode à jonction PN qui reste bloquée en polarisation inverse.

MOTS-CLEFS: Cellule PV, ondes radio, angle d'inclinaison, effet Joule, effet d'avalanche.

1 INTRODUCTION

Les enjeux climatiques et environnementaux combinés à la question d'accès à l'énergie ont entraîné une ruée globale vers les énergies renouvelables et particulièrement l'énergie solaire PV. Ainsi, on assiste ces dernières années à une explosion des projets solaire PV dans les politiques et stratégies gouvernementales. A l'échelle individuelle, les infrastructures solaires PV ont aussi connu un boom surtout dans les zones périurbaines et rurales où elles cohabitent avec les sources émettrices et réceptrices d'onde électromagnétiques. Ce qui pose la problématique de l'effet du champ électromagnétique issu des ondes radio sur le fonctionnement des cellules et modules PV.

Des études portant sur les effets de l'intensité et de l'angle d'inclinaison des ondes radio ont déjà été faites à une dimension (1D) par Zerbo et al. [1] et Saria et al. [2] sur une cellule PV au silicium polycristallin soumise à un éclairage multispectral. Toutefois à une dimension, ces études ne rendent pas compte d'un certain nombre de phénomènes physiques qui ont lieu au sein de la base et au niveau des faces latérales du grain: mouvements latéraux des électrons libres dans la base, recombinaisons aux joints de grain, comportement de l'onde électromagnétique dans la cellule PV au cours de sa propagation. Seule une étude à trois dimensions (3D) permet de prendre en compte ces différents phénomènes. D'où l'intérêt de l'étude à trois dimensions (3D).

Aussi, les études précédentes [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9] se sont intéressées uniquement à l'effet des champs électromagnétiques possédant une orientation fixe (la composante électrique orientée de la jonction vers la face arrière de la base). Seuls Saria et al. [2] se sont intéressés à l'effet d'un champ électromagnétique dont la composante électrique est orientée de la face arrière de la base vers la jonction. Mais cette étude a été menée à une dimension (1D). Or l'étude à une dimension (1D), comme notifié plus haut, ne rend pas compte de tous les phénomènes physiques qui se produisent à l'intérieur de la base d'une cellule PV. D'où l'intérêt de la présente étude à trois dimensions (3D) qui nous permettra d'investiguer sur l'influence des ondes radio sur la tension et le courant d'une cellule PV au silicium polycristallin.

Dans un premier temps, nous étudierons la propagation d'une onde électromagnétique, d'angle d'inclinaison quelconque dans un grain de cellule PV au silicium polycristallin sous éclairage multispectral. Mais par la suite, nous nous limiterons à trois valeurs particulières de l'angle d'inclinaison à savoir 0 rad; $\pi/2$ rad et π rad. En effet, les études à 1D [1], [2] ont montré que l'effet du champ électromagnétique est plus important sur une cellule PV au silicium polycristallin pour les angles d'inclinaison respectifs de 0 et π rad alors que pour un angle d'inclinaison de $\pi/2$ rad le champ électromagnétique n'a aucun effet sur la cellule PV. Ensuite, nous analyserons les composantes du vecteur densité de courant obtenues grâce à la résolution de l'équation de magnéto-transport avant d'établir l'équation de continuité des électrons libres dans la base du grain de cellule PV. A partir des expressions de la densité des électrons, de la densité de photocourant et de la phototension, nous procéderons à la simulation de l'effet de l'intensité et de l'angle d'inclinaison des ondes radio AM sur ces paramètres.

2 ETUDE THÉORIQUE

L'étude porte sur une cellule PV au silicium polycristallin de type n⁺-p-p⁺ constituée d'un assemblage d'éléments appelés monocristaux et caractérisés par un arrangement tridimensionnel périodique d'atomes. Les faces de contact entre les monocristaux sont appelées joints de grains qui sont de grands centres de recombinaison des porteurs de charge [10], [11]. Dans la réalité, les monocristaux sont de taille et de forme différentes les uns des autres [11], mais pour les besoins de la modélisation, nous considérons des grains de forme parallélépipédique.

Ainsi, la Figure 1 représente le grain de cellule PV soumis à un éclairage multispectral constant et à une onde électromagnétique se propageant suivant l'axe (Ox). Les composantes électrique et magnétique du champ électromagnétique forment un angle droit entre eux et tournent autour de l'axe (Ox) en faisant un angle θ quelconque respectivement avec les axes (Oz) et (Oy).

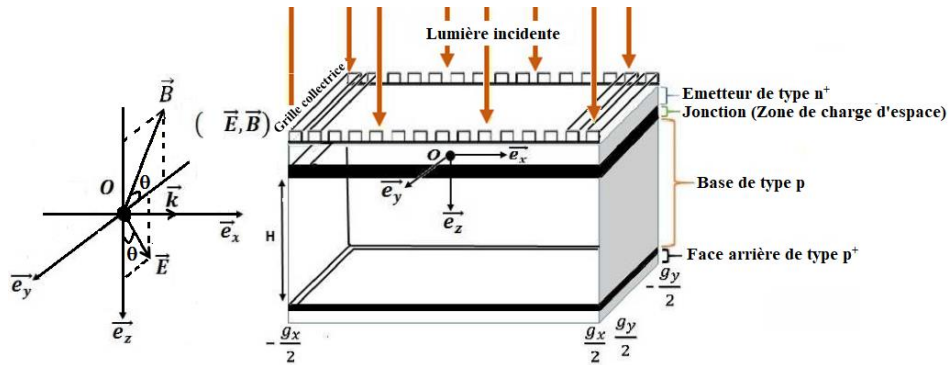


Fig. 1. Grain de cellule PV au silicium polycristallin éclairé et soumis à un champ électromagnétique incliné

L'étude sera menée dans la base du grain de la cellule PV en considérant les mêmes hypothèses que Barandja et al [9]. En effet, on négligera le champ électrique cristallin en supposant la base quasi-neutre. On se placera également en régime de faible injection en supposant que la concentration des électrons photogénérés dans la base de type p, est très faible par rapport au taux de dopage de cette base. On supposera que la génération et la distribution des électrons dans la base sont uniformes suivant les axes (Ox) et (Oy).

Nous considérons dans cette étude des ondes radio AM émises, dans la zone de Fraunhofer ($r > 50$ m), par une antenne radio AM qui émet sur de grandes distances contrairement à une antenne radio FM. Aussi, nous supposons que le rayonnement électromagnétique, émis par l'antenne radio AM dans le vide, est isotrope. Ainsi, cette antenne radio AM, située à une distance r de la cellule PV, émet dans le vide avec une puissance de rayonnement P_r des ondes radio dont l'intensité du champ électrique E_0 est donnée par l'Equation (1):

$$E_0(r) = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{P_r Z_0}{\pi}} \quad (1)$$

Avec $Z_0 = 376,720 \, \Omega$ l'impédance caractéristique du vide et $P_r = 2$ MW, la puissance de rayonnement de l'antenne radio AM choisie dans cette étude.

L'Equation (1) montre que l'amplitude du champ électrique est une fonction décroissante de la distance r .

2.1 EQUATION DE DISPERSION

Les expressions complexes des champs électrique et magnétique transportés par l'onde électromagnétique dans le vide, sont données respectivement par les Equations (2.a) et (2.b):

$$\vec{E}(x, \theta, r, t) = E_0(r) [-\sin(\theta) \vec{e}_y + \cos(\theta) \vec{e}_z] \exp i(kx - \omega t) \quad (2.a)$$

$$\vec{B}(x, \theta, r, t) = -B_0(r) [\cos(\theta) \vec{e}_y + \sin(\theta) \vec{e}_z] \exp i(kx - \omega t) \quad (2.b)$$

$E_0(r)$ et $B_0(r)$ représentent respectivement les amplitudes des champs électrique et magnétique dans le vide; k représente le module du vecteur d'onde.

La combinaison des quatre équations de Maxwell permet d'obtenir la relation de dispersion de l'onde électromagnétique dans le grain de cellule PV au silicium polycristallin. Elle est donnée par l'Equation (3):

$$k^2 = \mu\omega(\varepsilon\omega + i\gamma) \quad (3)$$

μ et ε représentent respectivement la perméabilité magnétique et la permittivité diélectrique du silicium. ω représente la pulsation de l'onde électromagnétique.

Nous constatons que la relation de dispersion, Equation (3), ne dépend pas de l'angle d'inclinaison θ de l'onde électromagnétique. Cela confirme le fait que l'onde électromagnétique transporte de l'énergie au cours de sa propagation dans le grain et l'absorption de

cette énergie ne dépend pas de l'angle d'inclinaison θ mais plutôt de la distance parcourue dans le grain. Par ailleurs, nous retrouvons la même expression de la relation de dispersion que Ouédraogo et al. [7] et Barandja et al [8].

En utilisant les mêmes hypothèses que Ouédraogo et al. [7], la résolution de l'Equation (3) permet d'obtenir le module du vecteur d'onde ou nombre d'onde donné par l'Equation (4) ainsi que le vecteur d'onde, Equation (5):

$$\underline{k} = \omega\sqrt{\varepsilon\mu} + i \frac{1}{\ell_p} \quad (4)$$

La grandeur ℓ_p représente la longueur caractéristique de pénétration de l'onde électromagnétique dans le grain de cellule PV.

$$\underline{\vec{k}} = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} \exp i \left(\frac{\gamma}{2\varepsilon\omega} \right) \vec{e}_x \quad (5)$$

La grandeur γ représente la conductivité du grain de cellule PV au silicium polycristallin.

En remplaçant l'Equation (4) dans l'Equation (2.a) et en résolvant l'équation de Maxwell-Faraday, on obtient respectivement les Equations (6.a) et (6.b) dans le grain de cellule PV moyennant quelques approximations [7].

$$\vec{E}(x, \theta, r, t) = E_0(r) \left[-\sin(\theta) \vec{e}_y + \cos(\theta) \vec{e}_z \right] \exp(-x/\ell_p) \exp i \omega (\sqrt{\varepsilon\mu} x - t) \quad (6.a)$$

$$\vec{B}(x, \theta, r, t) = -\frac{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r} E_0(r)}{c} \left[\cos(\theta) \vec{e}_y + \sin(\theta) \vec{e}_z \right] \exp(-x/\ell_p) \exp i \omega (\sqrt{\varepsilon\mu} x - t) \quad (6.b)$$

Avec $B_0(r) = \frac{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}{c} E_0(r)$ l'amplitude du champ magnétique, dans le grain de cellule PV, qui est aussi une fonction décroissante de la distance r .

Le terme $\exp(-x/\ell_p)$ représente le facteur d'atténuation de l'onde électromagnétique dans le grain de cellule PV. Il permet de caractériser le comportement de l'onde électromagnétique à l'intérieur du grain de cellule PV au silicium polycristallin [7], [8].

Ouédraogo et al. [7] et Barandja et al. [8] ont montré que l'atténuation d'une onde électromagnétique qui se propage dans un grain d'une cellule PV au silicium polycristallin est négligeable et que le facteur d'atténuation est assimilé à l'unité soit $\exp(-x/\ell_p) \approx 1$.

Finalement, en notation réelle, les expressions des champs électrique et magnétique à l'intérieur du grain de la cellule PV au silicium polycristallin, sont données par les Equations (7.a) et (7.b):

$$\vec{E}(x, \theta, r, t) = E_0(r) \left[-\sin(\theta) \vec{e}_y + \cos(\theta) \vec{e}_z \right] \cos \left[\omega (x\sqrt{\mu\varepsilon} - t) \right] \quad (7.a)$$

$$\vec{B}(x, \theta, r, t) = -\frac{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r} E_0(r)}{c} \left[\cos(\theta) \vec{e}_y + \sin(\theta) \vec{e}_z \right] \cos \left[\omega (x\sqrt{\varepsilon\mu} - t) \right] \quad (7.b)$$

En utilisant les mêmes hypothèses que Barandja et al. [9] pour les conditions initiales, c'est-à-dire, à $t = 0$, $x = y = 0$, les Equations (7.a) et (7.b) peuvent être réécrites et on obtient les Equations (8.a) et (8.b):

$$\vec{E}(r, \theta) = E_0(r) \left[-\sin(\theta) \vec{e}_y + \cos(\theta) \vec{e}_z \right] \quad (8.a)$$

$$\vec{B}(r, \theta) = -\frac{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r} E_0(r)}{c} \left[\cos(\theta) \vec{e}_y + \sin(\theta) \vec{e}_z \right] \quad (8.b)$$

2.2 EQUATION DE MAGNETOTRANSPORT ET VECTEUR DENSITE DE COURANT

Les photons ayant une énergie supérieure à celle du gap du silicium sont absorbés lorsque le grain de cellule PV au silicium polycristallin est éclairé par la lumière du soleil ou toute autre lumière multispectrale. En supposant que le rendement quantique interne est égal à l'unité alors chaque photon absorbé crée effectivement une paire électron-trou en cédant son énergie à un électron de la bande de valence qui se libère et passe dans la bande de conduction.

Dans la base de type p du grain de cellule PV au silicium polycristallin, l'excès d'électrons subit les phénomènes de diffusion, de migration et de déflexion magnétique en présence du champ électromagnétique.

Le mouvement de ces électrons excédentaires, par rapport à l'équilibre thermodynamique, donne naissance à un courant de diffusion dû à la différence de concentration des électrons, un courant de migration dû au champ électrique et un courant induit par le champ magnétique dont la somme donne le courant global.

Au cours de leur mouvement, les électrons peuvent être recombinaisonnés à la face arrière de la base, en volume et à la jonction. Les électrons qui n'ont pas été recombinaisonnés à la jonction, la traversent grâce au champ électrique de la zone de charge d'espace (ZCE) et se retrouvent dans l'émetteur pour être collectés par les grilles.

Le mouvement des électrons excédentaires dans la base du grain de cellule PV donne naissance à un courant global qui est régi par l'équation de magnéto-transport, Equation (9).

$$\vec{j}_n = eD_n \vec{\nabla} \delta(x, y, z) - \mu_n \vec{j}_n \wedge \vec{B} + e\mu_n \delta(x, y, z) \vec{E} \quad (9)$$

A partir de l'Equation (9), nous déterminons les expressions des composantes du vecteur densité de courant suivant les différents axes du repère:

$$\begin{cases} j_x = eD_n^* \left[\frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} + \mu_n B_0 \sin(\theta) \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} - \mu_n B_0 \cos(\theta) \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} \right] - e\mu_n^* \mu_n B_0 E_0 \delta(x, y, z) \\ j_y = eD_n^* \left[-\mu_n B_0 \sin(\theta) \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} + \left\{ 1 + (\mu_n B_0 \cos(\theta))^2 \right\} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} + (\mu_n B_0)^2 \sin(\theta) \cos(\theta) \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} \right] - e\mu_n^* \sin(\theta) E_0 \delta(x, y, z) \\ j_z = eD_n^* \left[\mu_n B_0 \cos(\theta) \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} + (\mu_n B_0)^2 \sin(\theta) \cos(\theta) \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} + \left\{ 1 + (\mu_n B_0 \sin(\theta))^2 \right\} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} \right] + e\mu_n^* \cos(\theta) E_0 \delta(x, y, z) \end{cases} \quad (10)$$

Avec $D_n^* = \frac{D_n}{1 + (\mu_n B_0)^2}$ et $\mu_n^* = \frac{\mu_n}{1 + (\mu_n B_0)^2}$ respectivement le coefficient de diffusion des électrons et leur mobilité en présence de champ électromagnétique.

L'Equation (10) montre que les trois composantes du vecteur densité de courant dépendent de l'angle d'inclinaison θ du champ électromagnétique. Aussi il existe un courant de conduction suivant chacun des trois axes du repère.

Sachant que $B_0 = \frac{\sqrt{\mu_r \epsilon_r} E_0}{c}$ et en tenant compte de la perméabilité magnétique relative et la permittivité diélectrique relative du silicium et aussi de la vitesse de la lumière dans le vide respectivement $\mu_r = 1$, $\epsilon_r = 12$ et $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ on montre que l'intensité du champ magnétique est négligeable. Par conséquent l'Equation (10) se simplifie et donne l'Equation (11):

$$\begin{cases} j_x = eD_n^* \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} \\ j_y = eD_n^* \left[1 + \left\{ \mu_n B_0 \cos(\theta) \right\}^2 \right] \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} - e\mu_n^* \sin(\theta) E_0 \delta(x, y, z) \\ j_z = eD_n^* \left[1 + \left\{ \mu_n B_0 \sin(\theta) \right\}^2 \right] \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} + e\mu_n^* \cos(\theta) E_0 \delta(x, y, z) \end{cases} \quad (11)$$

L'Equation (11) montre que les phénomènes de conduction ont principalement lieu suivant les axes (Oy) et (Oz).

Les études à une dimension menées par Zerbo et al. [1] et Saria et al. [2] ont montré que l'effet du champ électromagnétique sur le fonctionnement d'une cellule PV au silicium polycristallin est plus perceptible pour les valeurs particulières respectives de l'angle d'inclinaison $\theta = 0 \text{ rad}$ et $\theta = \pi \text{ rad}$ du champ électromagnétique. Ces mêmes études ont montré également qu'un angle d'inclinaison θ

$= \pi/2$ rad n'a aucun effet sur le fonctionnement d'une cellule PV. Aussi, dans la suite du travail, nous nous intéresserons uniquement à ces trois valeurs particulières de l'angle d'inclinaison à savoir $\theta = 0$ rad; $\theta = \pi/2$ rad et $\theta = \pi$ rad.

✓ Angle d'inclinaison $\theta = 0$ rad

La nouvelle expression de l'Equation (11) est donnée par l'Equation (12):

$$\begin{cases} j_x(x, y, z, r, \theta = 0) = eD_n^* \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} \\ j_y(x, y, z, r, \theta = 0) = eD_n^* \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right] \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} \\ j_z(x, y, z, r, \theta = 0) = eD_n^* \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} + e\mu_n^* E_0 \delta(x, y, z) \end{cases} \quad (12)$$

L'Equation (12) est une version simplifiée du vecteur densité de courant trouvé par Barandja et al [9]. L'Equation (12) montre que les phénomènes de diffusion et de conduction s'observeront principalement suivant l'axe (Oz). Et les signes des termes de diffusion et de conduction, étant identiques et positifs, nous assisterons à une conjugaison de leurs actions sur les électrons. Quant aux axes (Ox) et (Oy), on observera des phénomènes de diffusion qui y seront négligeables puisque la distribution des électrons y est uniforme.

✓ Angle d'inclinaison $\theta = \pi/2$ rad

Dans ce cas, la nouvelle expression de l'Equation (11) est donnée par l'Equation (13):

$$\begin{cases} j_x(x, y, z, r, \theta = \pi/2) = eD_n^* \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} \\ j_y(x, y, z, r, \theta = \pi/2) = eD_n^* \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} - e\mu_n^* E_0 \delta(x, y, z) \\ j_z(x, y, z, r, \theta = \pi/2) = eD_n^* \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right] \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} \end{cases} \quad (13)$$

L'Equation (13) montre l'existence de courant de conduction uniquement suivant l'axe (Oy). Les phénomènes de diffusion étant négligeables suivant les axes (Ox) et (Oy) alors la diffusion des électrons s'observera essentiellement suivant l'axe (Oz).

✓ Angle d'inclinaison $\theta = \pi$ rad

L'Equation (14) est la nouvelle expression de l'Equation (11) en considérant un angle d'inclinaison $\theta = \pi$ rad:

$$\begin{cases} j_x(x, y, z, r, \theta = \pi) = eD_n^* \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x} \\ j_y(x, y, z, r, \theta = \pi) = eD_n^* \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right] \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial y} \\ j_z(x, y, z, r, \theta = \pi) = eD_n^* \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} - e\mu_n^* E_0 \delta(x, y, z) \end{cases} \quad (14)$$

L'Equation (14) montre que les phénomènes de diffusion et de conduction s'observeront essentiellement suivant l'axe (Oz) étant donné que les phénomènes de diffusion sont négligeables suivant les axes (Ox) et (Oy). La différence fondamentale d'avec le cas où $\theta = 0$ rad (cellule PV polarisée en directe) est que dans le cas où $\theta = \pi$ rad (polarisation inverse de la cellule PV), les termes de densité de courant de diffusion et de conduction ont des signes opposés. De ce fait, nous assisterons à une compensation des actions de la diffusion et de la conduction sur le mouvement des électrons.

2.3 EQUATION DE CONTINUITE ET DENSITE DES ÉLECTRONS

La distribution spatiale et temporelle des électrons libres dans la base du grain de cellule PV au silicium polycristallin est régie par l'équation de continuité, donnée par l'Equation (15) en régime statique:

$$\frac{1}{e} \vec{\nabla} \cdot \vec{j}_n + G_n(z) - \frac{\delta(x, y, z)}{\tau_n} = 0 \quad (15)$$

La grandeur physique $G_n(z)$ représente le taux de génération des paires électrons-trous suivant l'axe (Oz) croissant. Dans le cas d'un éclairage multispectral, $G_n(z)$ est donnée par l'Equation (16):

$$G_n(z) = \sum_{i=1}^3 a_i \exp(-b_i z) \quad (16)$$

Avec a_i et b_i des constantes obtenues à partir des valeurs tabulées du rayonnement solaire et de la dépendance du coefficient d'absorption du silicium avec la longueur d'onde dans les conditions standards Air Mass 1,5.

En remplaçant le vecteur densité de courant $\vec{j}_n$ par les expressions de ses différentes composantes, Equation (11) dans l'Equation (15) et en effectuant les différentes dérivées partielles, nous obtenons l'équation de continuité donnée par l'Equation (17):

$$\frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial x^2} + C_y(\theta) \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial y^2} + C_z(\theta) \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial z^2} + L_E(\theta) \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} - \frac{\delta(x, y, z)}{L_n^*} + \frac{G_n(z)}{D_n^*} = 0 \quad (17)$$

Avec

$$C_y(\theta) = 1 + [\mu_n B_0 \cos(\theta)]^2, C_z(\theta) = 1 + [\mu_n B_0 \sin(\theta)]^2, L_E(\theta) = \frac{\mu_n}{D_n} E_0 \cos(\theta), L_n^* = D_n^* \tau_n$$

Considérons les trois valeurs particulières de l'angle d'inclinaison du champ électromagnétique et déterminons les expressions correspondantes de l'équation de continuité.

✓ Angle d'inclinaison $\theta = 0$ rad

L'équation de continuité (17) se simplifie en l'Equation (18)

$$\frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial x^2} + [1 + (\mu_n B_0)^2] \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial z^2} + \frac{\mu_n E_0}{D_n} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} - \frac{\delta(x, y, z)}{L_n^*} + \frac{G_n(z)}{D_n^*} = 0 \quad (18)$$

Nous retrouvons la même expression de l'équation de continuité que Barandja et al [9].

Le terme $\frac{\mu_n E_0}{D_n} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z}$, de signe positif, est une dérivée première de la densité des électrons par rapport à la position z. Il traduit donc un phénomène de diminution des électrons ou déplétion des électrons de l'intérieur vers la face arrière de la base de la cellule PV et aussi une accélération de ces électrons vers la jonction sous l'effet du champ électrique suivant l'axe (Oz).

✓ Angle d'inclinaison $\theta = \pi/2$ rad

L'équation de continuité (17) se simplifie ici et donne l'Equation (19):

$$\frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial y^2} + (1 + (\mu_n B_0)^2) \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial z^2} - \frac{\delta(x, y, z)}{L_n^*} + \frac{G_n(z)}{D_n^*} = 0 \quad (19)$$

Pour cette valeur particulière de l'angle d'inclinaison, nous notons l'absence du terme $\frac{\mu_n E_0}{D_n} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z}$. Ce qui traduit l'absence d'une action du champ électrique sur les électrons suivant l'axe (Oz).

✓ Angle d'inclinaison $\theta = \pi$ rad

L'équation de continuité (17) se simplifie encore et donne l'Equation (20)

$$\frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial x^2} + \left[1 + (\mu_n B_0)^2\right] \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \delta(x, y, z)}{\partial z^2} - \frac{\mu_n E_0}{D_n} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z} - \frac{\delta(x, y, z)}{L_n^*} + \frac{G_n(z)}{D_n^*} = 0 \quad (20)$$

Ici, le terme de dérivée première de la densité des électrons par rapport à la position z , $-\frac{\mu_n E_0}{D_n} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial z}$, est de signe négatif. Il traduit donc un phénomène d'augmentation des électrons ou réplétion des électrons vers la face arrière de la base de la cellule PV et aussi une accélération de ces électrons vers la face arrière de la base.

L'Equation (17) est une équation différentielle de second ordre à plusieurs variables et la densité des électrons qui représente sa solution est donnée par l'Equation (21):

$$\delta(x, y, z, Sf, r, \theta) = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\left[A_{jk} \operatorname{ch}(\beta z) + B_{jk} \operatorname{sh}(\beta z) \right] \exp(\alpha z) - \sum_{i=1}^3 K_{jk} \exp(-b_i z) \right) \cos(C_{jx} x) \cos(C_{ky} y) \quad (21)$$

$$\text{Avec } \alpha = -\frac{L_E(\theta)}{2}, \beta = \frac{1}{2} \left[L_E^2(\theta) + \frac{4}{L_{jk}^2(\theta)} \right]^{\frac{1}{2}}, C_{xj} = C_j, C_{yk} = \frac{C_k}{\sqrt{C_y(\theta)}}, K_{jk} = \frac{-a_i}{D_{jk}(\theta) \left[b_i^2 - L_E(\theta) b_i - \frac{1}{L_{jk}^2(\theta)} \right]},$$

$$L_{jk}(\theta) = \left(\frac{C_x(\theta) C_{jx}^2 + C_y(\theta) C_{ky}^2 + \frac{1}{L_n^2}}{1 + (\mu_n B_0 \sin(\theta))^2} \right)^{-\frac{1}{2}}, D_{jk}(\theta) = \left[\frac{16}{D_n^*(\theta)} \frac{\sin\left(\frac{C_{xj} g_x}{2}\right) \sin\left(\frac{C_{yk} g_y}{2}\right)}{(C_{xj} g_x + \sin(C_{xj} g_x))(C_{yk} g_y + \sin(C_{yk} g_y))} \right]^{-1},$$

$$D_n^*(\theta) = \frac{D_n (1 + [\mu_n B_0 \sin(\theta)]^2)}{1 + (\mu_n B_0)^2}$$

Les valeurs des constantes C_{xj} et C_{yk} sont obtenues en résolvant les équations relatives aux conditions aux limites aux joints de grain [12], [13]. Quant aux constantes A_{jk} et B_{jk} , elles sont obtenues en résolvant les équations relatives aux conditions aux limites à la jonction émetteur-base ($z = 0$) et à la face arrière ($z = H$) de la base du grain de cellule PV [12], [13].

2.4 DENSITÉ DE PHOTOCOURANT

Le flux des électrons qui arrivent à la jonction crée un courant dont une partie est transmise à une résistance de charge extérieure et une autre partie pouvant être perdue par effet joule à la jonction du grain de cellule PV. Ce courant est la somme du courant de diffusion, du courant de conduction créé par le champ électrique et du courant induit par la présence du champ magnétique. Dans le cas où c'est uniquement un courant de diffusion qui traverse la jonction alors l'expression de la densité de ce courant à la jonction est donnée par l'Equation (22):

$$J_{ph}(Sf, r, \theta) = \frac{e D_{jk}(r)}{g_x g_y} \int_{-\frac{g_x}{2}}^{\frac{g_x}{2}} \int_{-\frac{g_y}{2}}^{\frac{g_y}{2}} \left(\frac{\partial \delta(x, y, z, Sf, r, \theta)}{\partial z} \right)_{z=0} dx dy \quad (22)$$

L'Equation (22) représente la norme du vecteur courant de diffusion par unité de surface. En exploitant l'Equation (10) et en faisant une analogie avec l'Equation (22), nous établissons l'expression générale de la densité de photocourant en divisant le module du vecteur courant par la surface traversée par ce même vecteur courant. Cette expression générale est donnée par l'Equation (23):

$$J_{ph} = \frac{1}{g_x g_y} \left\{ \left[\int_{-\frac{g_x}{2}}^{\frac{g_x}{2}} \int_{-\frac{g_y}{2}}^{\frac{g_y}{2}} j_x \Big|_{z=0} dx dy \right]^2 + \left[\int_{-\frac{g_x}{2}}^{\frac{g_x}{2}} \int_{-\frac{g_y}{2}}^{\frac{g_y}{2}} j_y \Big|_{z=0} dx dy \right]^2 + \left[\int_{-\frac{g_x}{2}}^{\frac{g_x}{2}} \int_{-\frac{g_y}{2}}^{\frac{g_y}{2}} j_z \Big|_{z=0} dx dy \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Avec g_x et g_y , les dimensions du grain de cellule PV au silicium polycristallin; j_x, j_y et j_z représentent les composantes du vecteur densité de courant données par l'Equation (10).

Après des calculs, la nouvelle expression de la densité de photocourant est donnée par l'Equation (24):

$$J_{ph}(Sf, r, \theta) = \frac{e}{g_x g_y} \sum_j \sum_k R_{jk} \left[\left\{ 1 + (\mu_n B_0)^2 \left[1 + (\sin(\theta))^2 \left(1 + (\mu_n B_0)^2 \right) \right] \right\} Sf^2 + \mu_n^* E_0 \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right] \left\{ 2 \cos(\theta) Sf + \mu_n^* E_0 \right\} \right]^{\frac{1}{2}} Z_{jk}(0, r, \theta) \quad (24)$$

L'Equation (24) montre que la densité de photocourant dépend de l'amplitude des champs électrique et magnétique de l'onde électromagnétique, de son angle d'inclinaison et du point de fonctionnement Sf du grain de cellule PV.

Nous analyserons l'expression de la densité de photocourant pour les trois valeurs particulières de l'angle d'inclinaison à savoir $\theta = 0$ rad; $\theta = \pi/2$ rad et $\theta = \pi$ rad.

✓ Angle d'inclinaison $\theta = 0$ rad

Dans ce cas, qui a été étudié par Barandja et al. [9], la force électrique entraîne une migration des électrons dans la même direction que leur diffusion c'est-à-dire de la face arrière du grain de cellule PV vers la jonction. Ainsi, la densité de courant de diffusion et la densité de courant de conduction sont positives. Et l'expression de la densité de courant de l'Equation (24) se simplifie pour donner l'Equation (25):

$$J_{ph}(Sf, r, \theta = 0) = \frac{e}{g_x g_y} \sum_j \sum_k R_{jk} \left[1 + (\mu_n B_0(r))^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[Sf + \mu_n^* E_0(r) \right] Z_{jk}(0, r, \theta = 0) \quad (25)$$

✓ Angle d'inclinaison $\theta = \pi/2$ rad

Les analyses faites plus haut sur les différentes composantes du vecteur densité de courant, Equation (13), ont montré que les phénomènes de diffusion ont principalement lieu suivant l'axe (Oz) et ceux de la conduction, uniquement suivant l'axe (Oy). Donc les directions de ces phénomènes sont perpendiculaires. Alors la force électrique entraîne une migration des électrons perpendiculairement à leur diffusion. Le courant de diffusion et celui de conduction sont également positifs tandis que dans l'étude à une dimension [1], le courant de conduction est nul. La nouvelle expression, Equation (26), de la densité de courant est obtenue à partir de l'Equation (24):

$$J_{ph}(Sf, r, \theta = \pi/2) = \frac{e}{g_x g_y} \sum_j \sum_k R_{jk} \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right] \left\{ \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right] Sf^2 + (\mu_n^* E_0)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} Z_{jk}(0, r, \theta = \pi/2) \quad (26)$$

✓ Angle d'inclinaison $\theta = \pi$ rad

Pour cette valeur de l'angle d'inclinaison, la force électrique entraîne une migration des électrons dans le sens opposé à celui de leur diffusion comme dans l'étude à une dimension [2]. Dans ce cas, la densité de courant de diffusion est positive alors que celle du courant de conduction est négative.

L'expression de la densité de courant de l'Equation (24) se simplifie et donne l'Equation (27):

$$J_{ph}(Sf, r, \theta = \pi) = \frac{e}{g_x g_y} \sum_j \sum_k R_{jk} \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[Sf - \mu_n^* E_0 \right] Z_{jk}(0, r, \theta = \pi) \quad (27)$$

Comme dans la modélisation à 1-D [2], il existe une valeur particulière de la vitesse dynamique à la jonction Sf pour laquelle la densité de courant de l'Equation (27) est nulle. Par conséquent, pour cette valeur particulière du point de fonctionnement, la puissance électrique délivrée à une résistance de charge extérieure est également nulle. L'Equation (28) donne l'expression de cette valeur particulière du point de fonctionnement (vitesse dynamique à la jonction à l'équilibre):

$$Sf_{eq}(r) = \mu_n^* E_0(r) \quad (28)$$

Enfin, l'Equation (27) peut être réécrite en utilisant cette valeur particulière du point de fonctionnement:

$$J_{ph}(Sf, r, \theta = \pi) = \frac{e}{g_x g_y} \sum_j \sum_k R_{jk} \left[1 + (\mu_n B_0)^2 \right]^{1/2} [Sf - Sf_{eq}] Z_{jk}(0, r, \theta = \pi) \quad (29)$$

Pour toute valeur du point de fonctionnement inférieure à celle de la vitesse dynamique à la jonction à l'équilibre ($Sf < Sf_{eq}$), la densité de photocourant est négative et elle est positive dans le cas contraire ($Sf > Sf_{eq}$).

2.5 PHOTOTENSION

L'expression de la phototension, Equation (30), est obtenue en appliquant la loi de Boltzmann.

$$V_{ph}(Sf, r, \theta) = V_T \ln \left(1 + \frac{N_B}{n_i^2} \int_{-\frac{g_x}{2}}^{\frac{g_x}{2}} \int_{-\frac{g_y}{2}}^{\frac{g_y}{2}} \delta(x, y, z, Sf, r, \theta)_{z=0} dx dy \right) \quad (30)$$

Avec V_T la tension thermique, N_B le taux de dopage en atomes accepteurs dans la base et n_i la concentration des porteurs intrinsèques à l'équilibre thermodynamique.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

A partir des expressions de la densité des électrons, de la densité de photocourant et de la phototension obtenues grâce à la résolution des équations de transport à 3D dans le paragraphe précédent, nous allons effectuer une simulation afin d'analyser l'influence de l'intensité et de l'angle d'inclinaison des ondes radio AM sur les paramètres précédemment cités.

La simulation sera menée pour chacune des trois valeurs de l'angle d'inclinaison $\theta = 0 \text{ rad}$, $\pi/2 \text{ rad}$ et $\pi \text{ rad}$ et en considérant les valeurs suivantes des constantes: $L_n = 0,015 \text{ cm}$; $D_n = 26 \text{ cm}^2/\text{s}$; $\mu_n = 1000 \text{ cm}^2/\text{V.s}$; $g_x = g_y = 1,5 \times 10^{-2} \text{ cm}$; $S_{gb} = 10^3 \text{ cm.s}^{-1}$; $S_b = 10^4 \text{ cm.s}^{-1}$; $H = 0,03 \text{ cm}$.

Dans les points qui suivent, nous étudierons la densité des électrons dont l'évolution en circuit ouvert puis en court-circuit permet de prévoir respectivement l'évolution de la tension de circuit ouvert puis de la densité de courant de court-circuit.

3.1 EFFET DE L'INTENSITE ET DE L'ANGLE D'INCLINAISON DU CHAMP ÉLECTROMAGNETIQUE SUR LA DENSITE DES ÉLECTRONS

Dans ce point, nous allons tout d'abord étudier la densité des électrons en circuit ouvert puis en court-circuit.

3.1.1 DENSITE DES ÉLECTRONS EN CIRCUIT OUVERT

L'évolution de la densité des électrons en fonction de la profondeur de la base du grain de cellule PV et pour différentes valeurs de la distance source d'ondes radio-cellule PV, est donnée par les courbes de la Figure 2.

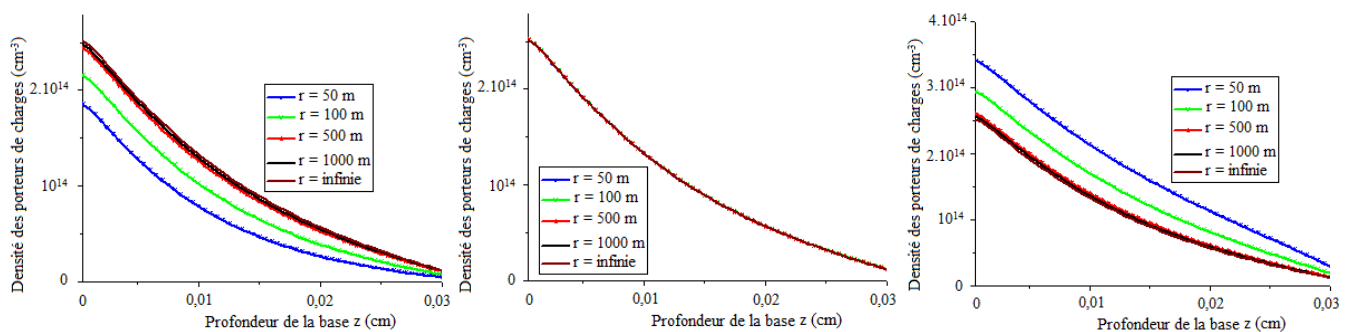


**Fig. 2. Densité des électrons en fonction de la profondeur de la base, pour différentes valeurs de la distance ($Sf = 0 \text{ cm.s}^{-1}$).
(a) $\theta = 0 \text{ rad}$ (b) $\theta = \pi/2 \text{ rad}$ (c) $\theta = \pi \text{ rad}$**

En circuit-ouvert, les différentes courbes présentent la même allure avec un gradient de densité des électrons négatif à la jonction. L'amplitude du champ électromagnétique étant une fonction décroissante de la distance r , lorsque la distance source-cellule PV diminue

alors l'intensité du champ électromagnétique augmente. La composante électrique de ce champ, influence le mouvement des électrons libres. Cela entraîne une variation progressive de la densité des électrons à la jonction sauf dans le cas où l'angle d'inclinaison est $\theta = \pi/2$ rad (Figure 2.b). Ainsi, pour la valeur de l'angle d'inclinaison $\theta = 0$ rad, l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique entraîne une diminution ou déplétion des électrons dans la base du grain de cellule PV (Figure 2.a). La déplétion des électrons dans la base est due à la migration des électrons vers la jonction qu'ils traversent pour donner naissance à un courant de fuite qui sera perdu par effet Joule à la jonction. Cette diminution de la densité des électrons à la jonction aura pour conséquence, une diminution de la tension de circuit ouvert avec l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique.

A l'opposé, pour l'angle d'inclinaison $\theta = \pi$ rad, l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique entraîne une augmentation ou réplétion des électrons dans la base du grain de cellule PV (Figure 2.c). En effet, la présence du champ électromagnétique empêche les électrons de traverser la jonction. Mieux, il les repousse vers la profondeur de la base. Au cours de cette répulsion, les électrons accélérés vers la face arrière de la base du grain de cellule PV, entrent en collision avec les atomes de silicium du réseau cristallin et brisent des liaisons pour créer des paires électron-trou. Les nouveaux électrons et trous sont aussi accélérés par le champ électrique et peuvent à leur tour créer de nouvelles paires, et ainsi de suite augmentant alors la densité des électrons libres dans la base: c'est l'effet d'avalanche. L'accélération des électrons vers la face arrière de la base sous l'effet du champ électrique donne naissance à un courant de conduction. Ainsi, par comparaison, la densité des électrons à la jonction est plus importante pour l'angle d'inclinaison $\theta = \pi$ rad (Figure 2.c) que pour $\theta = 0$ rad (Figure 2.a). Par conséquent, nous obtiendrons une tension de circuit ouvert plus grande pour $\theta = \pi$ rad que pour $\theta = 0$ rad avec l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique.

3.1.2 DENSITE DES ÉLECTRONS EN COURT-CIRCUIT

La Figure 3 présente l'évolution de la densité des électrons en fonction de la profondeur de la base du grain de cellule PV et pour différentes valeurs de la distance.

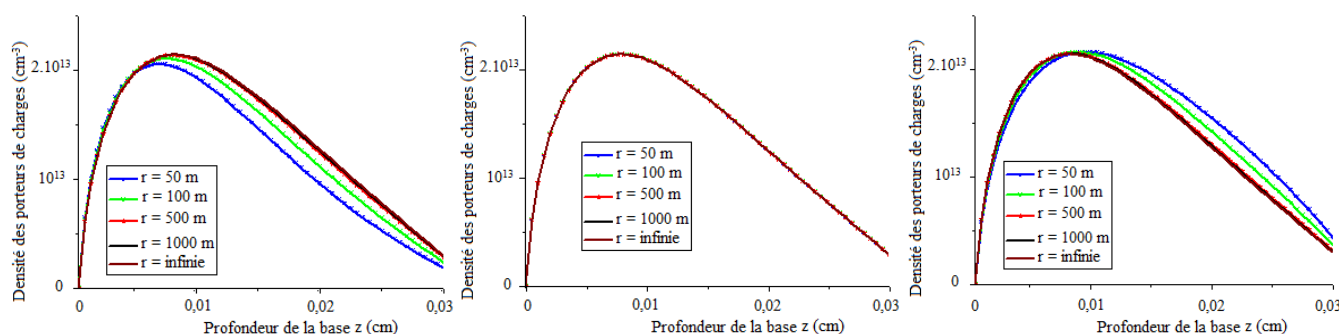


Fig. 3. Densité des électrons en fonction de la profondeur de la base, pour différentes valeurs de la distance ($Sf = 8 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
(a) $\theta = 0$ rad (b) $\theta = \pi/2$ rad (c) $\theta = \pi$ rad

On remarque que les courbes des Figures 3.a; 3.b et 3.c, ont la même allure: gradient d'électrons positif près de la jonction, gradient nul à une certaine profondeur de la base où la densité des électrons est maximale puis gradient négatif jusqu'à la face arrière de la base où la densité des électrons est faible. Le gradient des électrons positif près de la jonction permet à tous les électrons situés dans cette zone de traverser la jonction et participer au courant alors que dans une zone à gradient négatif, les électrons sont recombinaison soit en volume soit à la face arrière de la base.

Avec la réduction de la distance (augmentation du champ électromagnétique), on observe sur les courbes de la Figure 3.a ($\theta = 0$ rad) une déplétion des électrons et un gradient des électrons près de la jonction de plus en plus élevé indiquant que la densité de courant de court-circuit augmentera. Quant aux courbes de la Figure 3.c ($\theta = \pi$ rad), on observe une réplétion des électrons et un gradient des électrons près de la jonction de plus en plus faible indiquant que la densité de courant de court-circuit diminuera. Enfin, les courbes de la Figure 3.b montrent que le champ électromagnétique n'a aucun effet sur le grain de cellule PV lorsque $\theta = \pi/2$ rad.

3.2 EFFET DE L'INTENSITE ET DE L'ANGLE D'INCLINAISON DU CHAMP ÉLECTROMAGNETIQUE SUR LA DENSITE DE COURANT

Les courbes de la Figure 4 donnent l'évolution de la densité de photocourant en fonction de la vitesse dynamique à la jonction pour plusieurs valeurs de la distance.

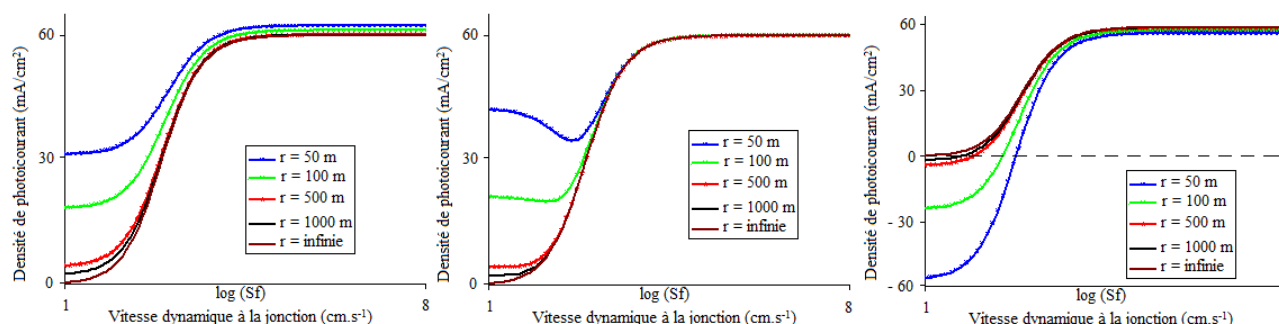


Fig. 4. Densité de photocourant en fonction de la vitesse dynamique à la jonction, pour différentes valeurs de la distance. (a) $\theta = 0 \text{ rad}$ (b) $\theta = \pi/2 \text{ rad}$ (c) $\theta = \pi \text{ rad}$

Les courbes des Figures 4.a; 4.b et 4.c présentent trois zones.

- Une première zone correspondant à un état de fonctionnement en circuit ouvert caractérisée par des faibles valeurs de la vitesse dynamique à la jonction ($Sf \leq 10^2 \text{ cm.s}^{-1}$). Dans cette zone, la densité de courant électrique est nulle en l'absence de champ électromagnétique (distance infinie). Par contre, en présence de champ électromagnétique (distance variant de 1000 m à 50 m), la densité de courant électrique est non nulle, mieux, elle est proportionnelle à l'intensité du champ électromagnétique. En effet, pour les angles d'inclinaison $\theta = 0 \text{ rad}$ et $\theta = \pi/2 \text{ rad}$, la densité du courant électrique qui se résume au courant de conduction est positive et sa valeur augmente avec l'intensité du champ électromagnétique (diminution de la distance) tandis que, pour $\theta = \pi \text{ rad}$, le courant de conduction est négatif. Sa valeur absolue augmente également avec la diminution de la distance

La Figure 5 donne l'évolution de la densité de courant de circuit ouvert en fonction de la distance.

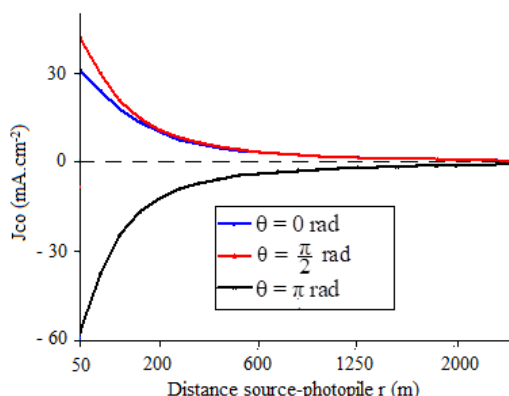


Fig. 5. Densité de courant de circuit ouvert en fonction de la distance

En l'absence de champ électromagnétique, le courant de conduction est nul (Figure 5). Par contre, en sa présence, un courant de conduction apparaît, mieux, son intensité augmente avec la valeur du champ électromagnétique. Ce courant de conduction, n'est pas délivré à une résistance de charge extérieure. Il est perdu par effet joule soit à la jonction, soit dans la base selon l'angle d'inclinaison avec lequel le champ électromagnétique transporté par les ondes radio AM rencontre le grain de photopile. En effet, pour l'angle d'inclinaison $\theta = 0 \text{ rad}$, le courant de conduction est perdu par effet Joule à la jonction. Il est alors appelé courant de fuite et contribue à chauffer la jonction émetteur-base du grain de cellule PV. Pour l'angle d'inclinaison $\theta = \pi/2 \text{ rad}$, le courant de conduction est plus important que celui observé avec l'angle d'inclinaison $\theta = 0 \text{ rad}$. Ce courant est dû à la migration des électrons dans la base du grain de cellule PV, selon l'axe (Oy) comme l'a indiqué l'Equation (13). Par conséquent, pour $\theta = \pi/2 \text{ rad}$, le courant de conduction contribue à chauffer la base du grain de cellule PV soumis à l'influence du champ électromagnétique. Enfin, pour l'angle d'inclinaison $\theta = \pi \text{ rad}$, le courant de conduction est négatif. Il est produit à l'intérieur de la base grâce au mouvement des électrons. Sa valeur absolue augmente avec l'intensité du champ électromagnétique soit avec la diminution de la distance. Ainsi, l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique entraîne une augmentation de l'intensité du courant de conduction produit par la migration des électrons de la jonction vers la face arrière de la base.

- Une deuxième zone, correspondant à l'état de fonctionnement intermédiaire ($10^2 \text{ cm.s}^{-1} < S_f < 10^6 \text{ cm.s}^{-1}$). Dans cette zone, les phénomènes de diffusion sont bien présents alors que ceux de conduction dépendent de l'intensité du champ électrique donc de la distance. C'est également dans cette zone que se trouve le courant maximal produit par le grain de cellule PV quel que soit l'angle d'inclinaison du champ électromagnétique

Pour l'angle d'inclinaison $\theta = \pi \text{ rad}$, on observe sur les courbes de la Figure 4.c que lorsque la distance varie de 1000 m à 50 m (augmentation de l'intensité du champ électromagnétique), il existe un point de fonctionnement particulier ($S_{f_{eq}}$) pour lequel la densité de courant est nulle. En effet, à un instant donné dans la base, la quantité d'électrons créés par l'effet d'avalanche est telle que leur flux de diffusion orienté vers la jonction compense exactement le flux migratoire vers la face arrière de la base ayant créé l'effet d'avalanche. Le point de fonctionnement particulier pour lequel il y a un équilibre entre le flux migratoire et le flux de diffusion est appelé vitesse dynamique à l'équilibre ($S_{f_{eq}}$). Cette vitesse dynamique à la jonction à l'équilibre qui est une fonction décroissante de la distance (Equation 28) est représentée à la Figure 6.

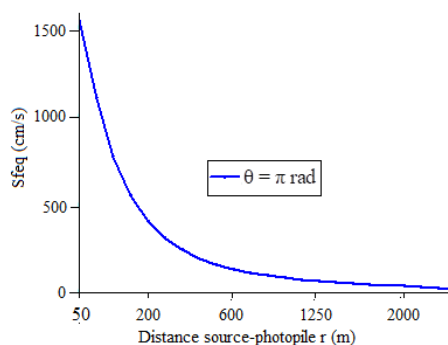


Fig. 6. Vitesse dynamique à l'équilibre en fonction de la distance

La Figure 6 montre que lorsque la distance diminue, la valeur de la vitesse dynamique à l'équilibre croît. Ainsi, pour tout état de fonctionnement pour lequel ($S_f = S_{f_{eq}}$), les phénomènes de diffusion et ceux de conduction se compensent exactement. Par conséquent, le courant électrique résultant est alors nul. Par ailleurs, pour tout état de fonctionnement tel que $S_f < S_{f_{eq}}$, la cellule PV ne fournit aucun courant électrique à une résistance de charge extérieure. Elle est donc bloquée. Elle commence à fournir du courant électrique à un circuit extérieur lorsque $S_f > S_{f_{eq}}$. Ainsi, une cellule PV polarisée en inverse par un champ électromagnétique est soit générateur de courant soit bloquée contrairement à une diode à jonction PN qui est bloquée. Cet état de fonctionnement (générateur de courant ou bloqué) dépend de l'intensité du champ électromagnétique donc de la distance.

- Une troisième zone, correspondant aux grandes valeurs de la vitesse dynamique à la jonction ($S_f \geq 10^6 \text{ cm.s}^{-1}$), c'est la zone de fonctionnement en court-circuit. La valeur de la densité de courant y est maximale puisque les phénomènes de diffusion sont les plus prépondérants bien qu'il existe des phénomènes de conduction dépendant de l'intensité du champ électrique donc de la distance

La Figure 7 donne l'évolution de la densité de courant de court-circuit en fonction de la distance.

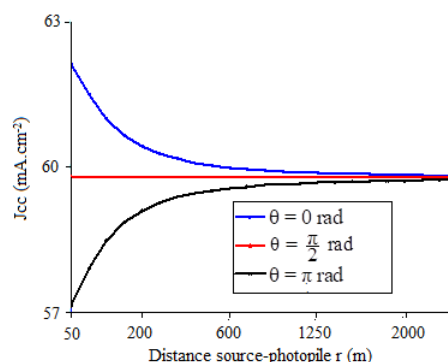


Fig. 7. Densité de courant de court-circuit en fonction de la distance

La diminution de la distance entraîne une augmentation de la densité de courant de court-circuit de l'ordre de 4% pour $\theta = 0 \text{ rad}$ et une diminution du même ordre de grandeur (4%) pour $\theta = \pi \text{ rad}$. Par contre, pour le cas particulier de l'angle d'inclinaison $\theta = \pi/2 \text{ rad}$, la valeur du courant de court-circuit correspond à celle qu'on obtiendrait en l'absence de champ électromagnétique. Une comparaison des

valeurs numériques nous permet de dire qu'une cellule PV polarisée en direct par un champ électromagnétique produit un courant de court-circuit plus important que la même cellule PV polarisée en inverse.

3.3 EFFET DE L'INTENSITE ET DE L'ANGLE D'INCLINAISON DU CHAMP ÉLECTROMAGNETIQUE SUR LA TENSION DE CIRCUIT OUVERT

La phototension aux bornes d'un grain de cellule PV dépend de la densité des électrons à la jonction. Or cette densité des électrons est influencée par la présence du champ électromagnétique. De ce fait, la phototension sera également influencée par la présence du champ électromagnétique. Dans ce paragraphe, nous analyserons l'effet du champ électromagnétique sur la tension de circuit ouvert, pour trois valeurs particulières de l'angle d'inclinaison.

La Figure 8 donne l'allure de la tension de circuit ouvert en fonction de la distance.

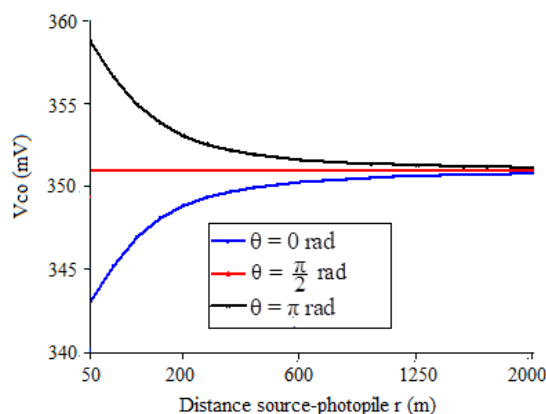


Fig. 8. Tension de circuit ouvert en fonction de la distance

Pour l'angle d'inclinaison $\theta = 0$ rad, la tension de circuit ouvert diminue d'environ 2% avec la diminution de la distance alors qu'elle augmente d'environ 2% lorsque $\theta = \pi$ rad. Par contre, pour $\theta = \pi/2$ rad, quelle que soit la distance source-cellule PV, les courbes sont confondues indiquant que la tension de circuit ouvert n'est pas influencée par la présence de champ électromagnétique.

4 CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons étudié les effets de l'intensité et de l'angle d'inclinaison d'un champ électromagnétique sur la tension et le courant produit par un grain de cellule PV au silicium polycristallin éclairée par une lumière multispectrale.

Les résultats des simulations, en utilisant les courbes de densité des électrons en circuit ouvert, ont montré que pour la valeur de l'angle d'inclinaison $\theta = 0$ rad, l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique entraîne une diminution ou déplétion des électrons dans la base du grain de cellule PV. Cela a pour conséquence une diminution de la tension de circuit ouvert d'environ 2% et l'apparition d'un courant de circuit ouvert, proportionnel à l'intensité du champ électromagnétique, qui sera perdu par effet Joule à la jonction. A l'opposé, pour l'angle d'inclinaison $\theta = \pi$ rad, l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique entraîne une augmentation ou réplétion des électrons dans la base du grain de cellule PV dû à l'effet d'avalanche. On a une augmentation de la tension de circuit ouvert d'environ 2% et l'apparition d'un courant de circuit ouvert, proportionnel à l'intensité du champ électromagnétique et qui sera perdu par effet Joule dans la base du grain de cellule PV.

Quant aux courbes de densité des électrons en court-circuit, elles ont montré que pour $\theta = 0$ rad on a une déplétion des électrons et un gradient des électrons près de la jonction de plus en plus élevé avec pour conséquence une augmentation de la densité de courant de court-circuit d'environ 4% avec l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique. A l'opposé, pour $\theta = \pi$ rad, on observe une réplétion des électrons et un gradient des électrons près de la jonction de plus en plus faible ce qui a pour conséquence une diminution de la densité de courant de court-circuit d'environ 4% avec l'augmentation de l'intensité du champ électromagnétique.

Pour $\theta = \pi/2$ rad, les courbes de densité d'électrons restent inchangées montrant ainsi que le champ électromagnétique n'a aucun effet sur le mouvement des électrons suivant l'axe (Oz) alors que les courbes de densité de courant ont montré la présence d'un courant de circuit ouvert. En effet, ce courant de circuit ouvert est dû à la migration des électrons suivant l'axe (Oy) comme l'a montré l'analyse des composantes du vecteur densité de courant. Il sera perdu également par effet Joule dans la base du grain de cellule PV.

Enfin, pour $\theta = \pi$ rad et à un instant donné dans la base, la quantité d'électrons créés par l'effet d'avalanche est telle que leur flux de diffusion orienté vers la jonction compense exactement le flux migratoire vers la face arrière de la base. Dans ce cas le courant est nul et le point de fonctionnement correspondant est appelé vitesse dynamique à l'équilibre (Sf_{eq}). Ainsi, pour tout point de fonctionnement tel que $Sf \leq Sf_{eq}$, la cellule PV est bloquée. Par contre, pour tout point de fonctionnement tel que $Sf > Sf_{eq}$, la cellule PV est un générateur de courant contrairement à une diode à jonction PN qui reste bloquée en polarisation inverse.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient International Science Program (ISP) qui soutient leurs travaux de recherche à travers le projet BUF 01.

REFERENCES

- [1] I. Zerbo, M. Zoungrana, M. Saria, A. Ouedraogo, and D. Zougmore, «Effect of Incidence Angle Varying from 0 rad to $\pi/2$ rad and Intensity of Radio Waves on the Performance of a Silicon Solar Cell,» *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 68–75, 2017.
- [2] M. Saria, B. Zouma, B. Korgo, V. D. B. Barandja, M. Zoungrana, I. Zerbo, and D. Zougmore, «Effect of Reverse Polarisation of an Electromagnetic Field on the Performance of a Silicon PV Cell,» *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, Article ID 1320268, 6 pages.
- [3] I. Zerbo, M. Zoungrana, A.D. Seré, F. Ouedraogo, R. Sam, B. Zouma et F. Zougmore, «Influence d'une onde électromagnétique sur une photopile au silicium sous éclairage multi spectral en régime statique,» *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 14, no. 3, pp. 517–532, 2011.
- [4] O. Sow, I. Zerbo, S. Mbodji, M. I. Ngom, M. S. Diouf and G. Sissoko, «Silicon solar cell under electromagnetic waves in steady state: electrical parameters determination using the I-V and P-V characteristics,» *International Journal of Science, Environment and Technology*, vol. 1, no. 4, pp. 230–246, 2012.
- [5] I. Zerbo, M. Zoungrana, A. D. Seré, F. Zougmore, «Silicon solar cell under electromagnetic wave in steady state: effect of the telecommunication source's power of radiation,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 29, 012019, 2012.
- [6] I. Zerbo, M. Zoungrana, A. Ouedraogo, B. Korgo, B. Zouma and D. J. Bathiebo, «Influence of electromagnetic waves produced by an amplitude modulation radio antenna on the electric power delivered by a silicon solar cell,» *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 20, pp. 139–148, 2014.
- [7] A. Ouedraogo, V. D. B. Barandja, I. Zerbo, M. Zoungrana, E. W. Ramde, and D. J. Bathiebo, «A theoretical study of radio wave attenuation through a polycrystalline silicon solar,» *Turkish Journal of Physics*, vol. 41, no. 4, pp. 314–325, 2017.
- [8] V. D. B. Barandja, B. Zouma, A. O. Mackpayen, M. Zoungrana, I. Zerbo, and D. J. Bathiebo, «Propagation of Electromagnetic Wave into an Illuminated Polysilicon PV Cell,» *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2020, Article ID 6056712, 7 pages.
- [9] V. D. B. Barandja, B. M. Pakouzou, E. W. Ramdé, J. M'boliguipa, M. Saria, M. Zoungrana, I. Zerbo, «Modelling the response of an Illuminated Polysilicon Solar Cell under the influence of Radio Waves, a 3D approach,» *Energy Reports*, vol. 7, pp. 2094–2100, 2021.
- [10] M. Zoungrana, I. Zerbo, F. I. Barro, R. Sam, F. Touré, M. L. Samb and F. Zougmore, «Modélisation à 3-D de l'influence de la taille des grains et de la vitesse de recombinaison aux joints de grain sur une photopile au silicium polycristallin sous éclairage concentré,» *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 14, no. 4, pp. 649–664, 2011.
- [11] M. Zoungrana, I. Zerbo, A. Seré, B. Zouma and F. Zougmore, «3D Study of Bifacial Silicon Solar Cell Under Intense Light Concentration and Under External Constant Magnetic Field,» *Global Journal of Engineering Research*, vol. 10, no. 1&2, pp. 113–124, 2011.
- [12] H. L. Diallo, A. S. Maiga, A. Wereme and G. Sissoko, «New approach of both junction and back surface recombination velocities in a 3D modelling study of a polycrystalline silicon solar cell,» *The European Physical Journal Applied Physics*, vol. 42, pp. 203–211, 2008.
- [13] A. Dieng, I. Zerbo, M. Wade, A. S. Maiga and G. Sissoko, «Three-dimensional study of a polycrystalline silicon solar cell: The influence of the applied magnetic field on the electrical parameters,» *Semiconductor Science and Technology*, 26, 095023, 9 pp, 2011.

Etude du rendement du café et son impact socioéconomique dans le territoire d'Idjwi, province du Sud Kivu en RD Congo

[Study of coffee yield and its socio-economic impact in the territory of Idjwi, South Kivu province in DR Congo]

Nguba Baroki Bertin and Mundu Kughundi Johnny

Institut Supérieur Pédagogique et Technique de Goma, ISPT GOMA, Province du Nord Kivu, RD Congo

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to explore the relevance (costs and benefits) of coffee growing in Idjwi based on the activities already implemented by coffee stakeholders in this region.

Overall, this research was based on a coffee yield study in the territory of Idjwi.

The combination of three methods and three data collection techniques led us in this study to use the verification of our hypotheses.

It appears from the analyses made that on average the operating costs are 213,379 FC with maximum loads of 1,880,000 FC and minimum of 315,00 FC, the quantity per season in kg and the average price are respectively 625.66 kg and 588, 62Fc, with relative maximums and minimums of 5099kgs, 45kgs and 600FC, 450FC.

The found DW (Durbin Watson) statistic of 1.676 is less than 2, showing that the errors are not correlated or related.

The Fisher test being equal to 0.000, lower than the threshold of 0.05 or 5%. We say the model is overall good.

By interpreting the significant variables with respect to the threshold of 0.05, we have:

- When the loads increase or vary by 1%, the production or the quantity produced per season also increases by 0.001.
- When the price increases by 1%, the production or quantity produced per season also increases by 5.354.
- When the profitability or yield increases by 1%, the production or the quantity produced per season also increases by 470,551.

This leads us to say that if policies are needed to increase the quantity produced in the coffee sector in Idjwi, they must be primarily oriented on the three factors that were significant, in particular the price, the operating costs and the profitability in the business.

KEYWORDS: Yield, socio-economy, exploitation, quantity, season.

RESUME: La présente étude a pour but d'explorer la pertinence (les couts et les bénéfices) de la caféiculture à Idjwi en se basant sur les activités déjà mises en œuvre par les intervenants dans le café dans cette contrée.

D'une manière globale, cette recherche était basée sur une étude de rendement du café dans le territoire d'Idjwi.

La combinaison de trois méthodes et trois techniques de collecte de données nous a poussés dans le cadre de cette étude à utiliser la vérification de nos hypothèses.

Il ressort des analyses faites qu'en moyenne les charges d'exploitation sont de 213.379FC avec des charges maximales de 1.880.000fc et minimales de 315.00fc, la quantité par saison en kg et le prix moyen sont respectivement de 625,66kg et 588,62Fc, avec les maximum et minimum relatifs de 5099kgs, 45kgs et 600FC, 450FC.

La statistique de DW (Durbin Watson) trouvée de 1,676 est inférieure à 2, ce qui montre que les erreurs ne sont pas corrélées ou liées.

Le test de Fisher étant égal à 0.000, inférieur au seuil de 0.05 soit 5%. Nous disons que le modèle est globalement bon.

En interprétant les variables significatives par rapport au seuil de 0,05, nous avons:

- Lorsque les charges augmentent ou varient de 1%, la production ou la quantité produite par saison augmente aussi de 0,001.
- Lorsque le prix augmente de 1%, la production ou la quantité produite par saison augmente aussi de 5,354.
- Lorsque la rentabilité ou le rendement augmente de 1%, la production ou la quantité produite par saison augmente aussi de 470,551.

Ceci nous pousse à dire que s'il faut des politiques visant à augmenter la quantité produite dans la filière café à Idjwi, elles doivent être primordialement orientées sur les trois facteurs qui ont été significatifs, notamment le prix, les charge d'exploitation et la rentabilité dans l'activité.

MOTS-CLEFS: Rendement, socio économie, exploitation, quantité, saison.

1 INTRODUCTION

1.1 ETAT DE LA QUESTION

Comme de coutume pour un travail scientifique, une recherche doit prendre connaissance des théories élaborées et des études techniques publiées ou non ayant un rapport avec le sujet qu'il se propose d'étudier dans un domaine bien spécifique pour bien cerner la thématique voire même le sujet.

N'étant pas le premier à aborder ce thème de recherche portant sur le café, il existe un tas des travaux de nos prédécesseurs qui ont travaillé sur cette thématique de différentes facettes.

De nos prédécesseurs, nous citons les travaux d'André HUGHES GEORGES KOUA, Koffi ZOMABI SAMATI et Pierre ANTOINE.

André HUGHES GEORGES KOUA, dans son mémoire intitulé: « Situation de la production de café en côte d'ivoire: cas du département d'ABOISSO, état des lieux et perspectives en 2007 », voulait savoir comment relancer la culture de café, en tentant d'apporter des pistes de solution à travers un diagnostic de la production caféière dans le département d'Aboisso

Il a trouvé que le verger caféier est vieillissant et constitué en grande partie de plants non sélectionnés. Ces deux facteurs, en plus des conditions écologiques ont un impact négatif sur les rendements des plantations qui sont restés à un niveau faible jusqu'à ce jour. Même si les revenus provenant du café sont faibles par rapport à ceux du cacao, du palmier à huile et de l'hévéa, les planteurs montrent encore de l'intérêt pour cette culture. En effet, les superficies emblavées de café sont les plus importantes après celles du cacao. Autrement dit le café constitue pour les paysans la deuxième source de revenu. En outre, les planteurs ont pour la culture du café un intérêt également social de sorte que même s'ils ont réduit les investissements dans les plantations, ils sont restés attachés à cette culture. L'intérêt des paysans pour la caféiculture montre la possibilité de relancer cette culture dans la zone d'Aboisso. Cette relance devra se faire à travers les investissements en plantation.

L'analyse économétrique montre que la décision d'investir dans les plantations de café est influencée par les variables Revenu du planteur, Age du planteur et Accès au crédit.

Koffi ZOMABI SAMATI, quant à lui dans son travail de mémoire dénommé: « Producteurs de café et de cacao face au système de libéralisation de la filière », Cinq ans après la libéralisation de la filière café-cacao, il se demandait: Quels sont les résultats concrets obtenus ? Comment les producteurs organisés en coopératives et groupements commercialisent-ils leurs produits d'exportation ? Y a-t-il amélioration du pouvoir d'achat des producteurs ? Et à fin, quel est l'impact socio-économique du marché libre au Togo ?

Après étude, il a constaté que la filière café-cacao est confrontée à d'énormes difficultés, qui sont entre autres: la baisse sensible de la production de café et de cacao et donc une diminution des revenus des producteurs, le système de commercialisation étant très rigide, a une faible capacité de s'adapter en termes de coût et structure à l'évolution du marché international. Même si suite à la libéralisation, une dizaine de sociétés de négoce et des associations de producteurs qui commercialisent le café et le cacao des producteurs togolais suivant le système de prix fixé par les Comités paysans.

Ils ont une faible capacité de pouvoir de commercialisation des produits d'exportation. Il existe dans les groupements un faible esprit mutualiste et une mauvaise gestion des ressources. Les regroupements de producteurs sont marqués par une faible vie démocratique. Les chutes considérées des cours et le prix non rémunérateur ont des répercussions sur les travaux d'entretien des planteurs.

Malgré la libéralisation, les produits de rente transitent toujours par le circuit long. Il existe plusieurs intermédiaires entre le producteur et le consommateur européen. Ces sociétés exportatrices exercent un "monopole" dans le système de commercialisation des produits de rente. Elles sont aussi majoritaires au comité de coordination et ne respectent pas sur le terrain les prix fixés par le comité. Cette situation est loin de profiter aux producteurs devant les chutes répétées des cours mondiaux. La libéralisation donne plus de chance aux producteurs regroupés de pouvoir exporter eux-mêmes leurs produits, faute des moyens ces producteurs n'y arrivent pas.

Pour Pierre ANTOINE, dans son mémoire, Analyse de la rentabilité financière des centres de café dans la région de Baptiste-Belladere. Il a trouvé que leur niveau de rentabilité est très faible. En effet, l'analyse du fonctionnement annuel des centres à partir de certains indicateurs-clés de rentabilité financière (ratio des avantages/coûts non actualisé, le taux de profit et l'indice de rentabilité) lui a permis de constater qu'ils ont tous des ratio avantages/coûts inférieurs à 1.40, des taux de profit inférieurs à 40% et des indices de rentabilité inférieurs à 0.1

Quant à ce qui nous concerne, nous étudions le rendement du café et son impact socio-économique dans le territoire d'Idjwi, dans la province du Sud-Kivu en RDC.

1.2 PROBLÉMATIQUE

Les sols sont pauvres et les peuples continuent à les appauvrir, c'est la situation qui prévaut dans le pays d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (ACP). Dans la majorité des pays, l'agriculture est la clef de tous les secteurs économiques et sociaux.

En Afrique, l'agriculture présente un tiers du Produit Intérieur Brut (PIB) et sa part dans les exportations peut aller jusqu'à 40%. Elle emploie 70% de la population active et constitue la seule source de revenus pour de nombreuses familles.

Le secteur agricole des pays en développement est en train de se transformer. Ce processus se caractérise par des améliorations de la productivité, l'abandon des cultures de base et un plus grand degré de commercialisation. Au-delà de la production d'aliments pour la subsistance et l'alimentation, l'agriculture joue un rôle supplémentaire dans la réduction de la pauvreté.

Réduire la pauvreté, car elle fournit des revenus à une grande partie des 80 % de pauvres dans le monde qui vivent dans les zones rurales. Si l'agriculture va mal, la population souffre. De plus, impossible à réaliser avec des sols de plus en plus dégradés par l'érosion, du vent ou de l'eau, l'appauvrissement en élément nutritifs ou en pollution. Une agriculture est dans la plupart des pays ACP, la seule base réaliste de la croissance économique, une agriculture productive repose sur des sols productifs et fertiles. Si on veut que la population mange, il faut nourrir les sols.

Une agriculture intensive sans restauration de la fertilité a progressivement diminué l'offre alimentaire. La chute des rendements constitue une préoccupation majeure pour les paysans. L'utilisation des engrais minéraux est une des solutions, mais leur coût et leur indisponibilité les rendent presque inaccessibles aux petits paysans outre les problèmes écologiques et environnementaux qu'elle cause, la fertilisation minérale seule ne permet pas de maintenir la fertilité des sols. Dans un tel contexte, la fertilité organique devrait contribuer une solution appropriée pour la restauration de la fertilité des sols.

Tous les regards se tournent vers l'agriculture et dont elle est la principale source de revenu de 80% de la population pauvre dans le monde et joue un rôle déterminant dans la réduction de la pauvreté, la hausse de revenus et l'amélioration de la sécurité alimentaire, qui emploie 60% des congolais et qui devrait constituer l'une des composantes essentielles de l'économie à travers l'approvisionnement du marché national. Un progrès dans ce secteur aurait des effets positifs sur la sécurité alimentaire, la réduction des importations et l'augmentation des exportations.

Dans l'agriculture pérenne, le café est avant tout considéré comme une culture commerciale d'exportation. Environ 75% de la production mondiale de café est exportée vers les marchés internationaux. La quasi-totalité du café est exportée sous forme de grains de café verts non transformés. Le commerce de détail du café génère entre 200 et 250 milliards \$ par an, les producteurs reçoivent aussi de cette manne. Le café est une culture de rente répandue en RDC et qui a longtemps servi de capital d'épargne pour les familles des producteurs.

Le café est une filière socio-économique et culturelle très importante à Idjwi, une partie de la province du Sud-Kivu. Le café y est essentiel pour la réduction de la pauvreté par les activités de transformation, de stockage et de transport et la croissance économique et se trouverait même au cœur de l'économie agricole des ménages par l'amélioration de la sécurité alimentaire et du secteur de l'agro-business. A cet égard, la filière café est devenue plus compétitive ces dernières années, surtout avec l'implication du secteur privé dans la filière.

Au-delà du café, Idjwi est à la fois une importante entité productrice d'autres produits, en outre, le soja, haricot,... et une plaque tournante de ventes « illicite » vers le Rwanda. Les producteurs de café d'Idjwi ont gagné la « Saveur du Kivu » l'année dernière, ce qui démontre l'importance de cette culture dans cette partie de la province du Sud-Kivu. Quant aux deux autres cultures, le soja et le haricot, elles sont cultivées régulièrement entre les plantes de café.

On peut en déduire qu'Idjwi pourrait ainsi servir d'excellente zone économique, mais aussi de zone où la production du café mérite une attention particulière des dirigeants des associations des producteurs, des intervenants dans la filière café ainsi que le gouvernement congolais.

En observant le dynamisme de la caféiculture à Idjwi, plusieurs questions peuvent se poser dont les plus importantes sont:

- Quels sont les indicateurs favorisant la productivité dans le secteur du café à Idjwi?
- Est-ce que la culture du café est rentable dans le territoire d'Idjwi ?
- En comparant les charges d'exploitation et les productions, le café d'Idjwi nous donne-t-il le surplus agricole ?
- Quelle est la contribution du café dans l'économie du territoire d'Idjwi et dans la province du Sud-Kivu ?

1.3 HYPOTHÈSES DU TRAVAIL

Dans notre travail, nous nous sommes donnés l'hypothèse ci-après que nous allons analyser:

- Nous pensons que plusieurs facteurs notamment l'espace cultivé, formations, les aides un espace contribueraient à la productivité du café.
- En outre, la culture du café dans le territoire d'Idjwi serait rentable mais aussi nous estimons que les charges d'exploitation dans cette contrée seraient faibles.
- De cela, le surplus agricole d'Idjwi serait positif, d'où l'effet favorable sur la vie socio-économique des ménages et les recettes dans cette entité.

1.4 CHOIX ET INTÉRÊT DU SUJET

1.4.1 CHOIX DU SUJET

Le choix De ce sujet: « Etude de rendement du café et son impact socioéconomique dans le territoire d'Idjwi » porte sur le l'importance de la culture café dans cette partie du pays et sa contribution dans l'amélioration des conditions socio-économiques de la population locale. Aussi, le choix de cette région n'est pas le fruit du hasard, car elle ne dispose d'aucune autre culture de rente autre que le café.

1.4.2 INTÉRÊT DU SUJET

1.4.2.1 INTÉRÊT ÉCONOMIQUE

La culture du café étant une source d'emploi et de revenus importante dans cette contrée. Outre cette incidence directe sur les moyens d'existence des familles des producteurs, la culture du café présente plusieurs autres avantages.

L'intérêt socioéconomique de cette étude nous permet d'évaluer l'environnement social et économique des communautés qui vivent du café, ceci afin de définir les priorités de développement de ce territoire, ainsi que rôle prépondérant de cette culture du café dans l'économie nationale étant encore une fois confirmé lorsqu'on est amené à considérer son impact dans la balance commerciale.

1.4.2.2 INTÉRÊT SCIENTIFIQUE

Cette recherche étant orientée dans le domaine agricole, elle constitue un document qui met en évidence des données réelles et pratique, qualitatives, quantitative et vérifiables pouvant servir à d'autres recherches ultérieures « car dit-on le point d'arriver d'une recherche (résultat) constitue le point de départ pour une autre ». C'est-à-dire une étude qui permet de réaliser une synergie entre formation, recherche et production caféière. Elle détectera les innovations scientifiques et de convertir la recherche académique en recherche partenariale, afin de créer des interfaces de proximité entre les intervenants dans la filière café et les chercheurs.

1.5 OBJECTIF DE L'ÉTUDE

1.5.1 OBJECTIF GLOBAL

Explorer la pertinence (les couts et les bénéfices) de la caféiculture à Idjwi en se basant sur les activités déjà mises en œuvre par les intervenants dans le café dans cette contrée.

1.5.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Au cours de ce travail nous visons trois objectifs spécifiques tels que:

- Présenter les variables pouvant favoriser la productivité dans le secteur du café à Idjwi;
- La comparaison des charges d'exploitation et les productions, pour en dégager les écarts de rendement;
- Et montrer la contribution du café dans l'économie du territoire d'Idjwi et dans la province du Sud-Kivu

1.6 MÉTHODE ET TECHNIQUE

Pour atteindre nos objectifs, nous nous sommes servis de méthodes et techniques suivantes:

1.6.1 MÉTHODES

La méthode étant une manière de conduire sa pensée suivant certains principes et avec un certain ordre. Dans le cadre du présent travail, nous avons estimé que l'usage de la méthode analytique, la méthode statistique et la méthode descriptive permettent la réalisation de nos objectifs.

- La méthode analytique: une approche explicative qui va faciliter la détermination des facteurs explicatifs mais aussi l'analyse des informations recueillies dans nos différentes sources;
- La méthode descriptive: va rendre possible la description des caractéristiques de nos bases des données;
- La méthode statistique: permettra de procéder aux calculs de certains paramètres (moyenne,...) mais aussi à l'analyse des données grâce au logiciel SPSS.

1.6.2 TECHNIQUES

La technique étant un ensemble des procédés qu'on doit méthodiquement suivre pour une recherche, l'usage des méthodes susdites nous a obligés à recourir à certaines techniques qui nous ont également favorisé la récolte des données nécessaires à la rédaction du présent travail.

La technique documentaire: consiste à puiser les données existantes dans les écrits en rapport avec le sujet. Nous avons consulté divers documents portant sur le secteur agricole. Parmi les documents consultés, on a des ouvrages, des revues, des rapports, des textes légaux, des annuaires, TFC, mémoires, des notes des cours ainsi que des sites Internet, bref toute la documentation disponible.

La technique d'interview libre et questionnaire d'enquête: ces techniques nous ont été d'une importance capitale du fait qu'elle nous ont permis de procéder à une communication verbale avec les enquêtés et autres agents économiques afin de recueillir des informations nécessaires à la réalisation de notre travail.

1.7 DÉLIMITATION DU SUJET

Dans l'espace, notre étude a porté sur le rendement du café dans le territoire d'Idjwi, Chefferie Rubenga, Province du Sud-Kivu. Et dans le temps, notre travail porte sur une période allant de février 2020 à Août 2021.

1.8 ARTICULATION DU TRAVAIL

Hormis l'introduction et la conclusion, notre travail est subdivisé en trois chapitres. Le premier chapitre va porter sur l'approche théorique et conceptuelle de l'étude, le second sur l'environnement socio-économique du territoire d'Idjwi et généralité sur le café, à fin le troisième chapitre portera sur la présentation, analyse des données et interprétations des résultats sur le rendement du café dans le territoire d'Idjwi.

2 APPROCHE THEORIQUE ET CONCEPTUELLE DE L'ETUDE

Dans le cadre de ce chapitre, il sera question de présenter les notions sur les revenus, le rendement agricole, sur le système d'exploitation agricole, et enfin la théorie sur la formation de prix des produits agricoles.

2.1 CONCEPT ET MESURE DU REVENU AGRICOLE

2.1.1 DÉFINITION DU REVENU

Selon la rousse, le revenu est ce qui est perçu en nature ou en monnaie, par quelqu'un ou une collectivité comme fruit d'un capital placé (intérêt sur un capital, prête, dividende sur un capital engagé ou comme la rémunération d'une activité profit ou d'un travail salaire. Le revenu est ce que revient à quelque comme rémunération du travail ou fruit du capital.

Le revenu d'une personne ou d'un agent économique désigne « l'ensemble des droits sur les ressources disponibles qui lui sont attribués au cours d'une période donnée sans prélèvement sur son patrimoine ».

Selon C. BIALE, le revenu est la rémunération perçue par un agent économique ou individu en contre partie de sa contribution à une activité productive (la rémunération du facteur travail) ou de la détention d'un bien (la rémunération du facteur capital). Et A BEITONE et ALIIS, définissent le revenu comme un flux de ressources réelles ou monétaires issus directement ou indirectement de la production et venant à chaque agent économique.

Le revenu d'un agent économique est l'ensemble des droits sur les ressources disponibles qui sont attribués au cours d'une période donnée sans prélèvement sur son patrimoine.

Le revenu est la valeur de la production due à l'activité de la période considérée. Il comprend le revenu de producteur et le revenu des autres facteurs de production.

Ce concept a été défini aussi par bien d'autres auteurs, parmi lesquels nous pouvons citer aussi HICKS. Il définit le revenu d'un individu à une période comme ce qu'il pourrait consommer pendant cette période sans s'appauvrir.

2.1.2 SORTES DE REVENU

Il existe plusieurs sortes de revenus parmi lesquelles nous pouvons citer que deux;

- **Le revenu permanent** : c'est un flux de revenu que produit en moyenne la détention d'un capital y compris le capital humain
- **Le revenu primaire** : c'est le revenu versé aux apporteurs des facteurs de production en contrepartie de leur contribution à la production

Il convient de signaler que le revenu renferme quatre grandes composantes dont le salaire, l'intérêt, le profit et la rente.

- **Le salaire:** c'est une rémunération allouée au travailleur lié à un employeur par un contrat de louage de service ou bien la terminologie marxiste, prix de la force du travail;
- **L'intérêt:** c'est le revenu que l'on tire d'un capital placé auprès d'autrui ou exploité directement;
- **Le profit:** c'est l'excédent des recettes d'une entreprise par rapport à l'ensemble de ses coûts de production et de distribution de ses biens et services;
- **La rente:** c'est le revenu qui ne provient pas d'un travail et dont l'origine est la propriété foncière ou de placements des emprunts publics

2.1.3 NOTION SUR LE REVENU AGRICOLE

Selon Raymond LAUNAY et al. Le revenu agricole est défini comme étant la somme d'argent issue de l'activité productrice agricole de l'entreprise et que l'agriculteur peut s'approprier en tant qu'entrepreneur, chef d'entreprise et travailleur à la fois.

Le revenu agricole est ce que les exploitations agricoles retirent de la production des produits agricoles. Ce revenu agricole ou encore profit de l'agriculteur équivaut au produit brut diminué des charges réellement payées : $RA = PB - CP$ où RA = revenu agricole, PB = produit Brut et CP = charges payées

BOISSONAT J. qualifie l'exploitation agricole d'un patron sans pouvoir. Selon lui, la nature du revenu de l'exploitation agricole dépend de la distinction entre les qui reçoivent sous forme des fermages équivalents d'un loyer, d'un intérêt ou d'un dividende et l'exploitation lui-même

En effet, dans la période actuelle, les revenus de l'exploitation agricole dépendent des conditions d'une part (Qualité de la terre, importance de l'équipement, grandeur de l'exploitation,...) et d'autres parts les décisions politiques (prix, subventions, prestation sociale,...) et le revenu de chaque agriculture dépend autant de l'évolution du nombre des agriculteurs que celui de revenu agricole global. L'agriculture est ainsi sans aucun doute le secteur où les revenus se trouvent le plus liés à la décision collective de nature politique. Ces revenus se répercutent sur ceux des autres catégories sociales par l'intermédiaire des prix de l'alimentation.

Au sens global, le revenu agricole peut être compris comme une somme d'argent issue de l'activité agricole de l'entreprise et que l'agriculture peut s'approprier en tant qu'entrepreneur, chef d'entreprise et travailleur au même moment

Le revenu comprend le profit, mais aussi la rémunération normale du travail de l'exploitant et sa famille ainsi que la rémunération des gens de la direction. Le revenu a un sens essentiellement social au regard de la structure de l'unité de l'exploitation agricole, il permet à la famille agricole de vivre. Mais aussi à l'entrepreneur agricole de financer son entreprise aux sacrifices consentis par la famille de faire croître l'entreprise familiale. La connaissance économique apparaît logique comme une condition nécessaire mais non suffisante de l'élévation du niveau de vie de nombreux habitants des pays dotés d'un faible PNB individuel. Elle est indispensable, car faute de croissance, les habitants peuvent voir leur situation s'améliorer que par des transferts de revenus et d'actif provenant d'autrui.

Toutefois, elle ne constitue pas une condition suffisante de l'amélioration de niveau de vie de tous étant donné que les pouvoirs publics n'encouragent pas la croissance économique dans le seul objectif d'accroître le bien-être de leurs ressortissants mais aussi et surtout pour renforcer le pouvoir et l'efficacité de l'Etat et de ses dirigeants.

2.1.4 COMPOSANTES DU REVENU AGRICOLE

Le revenu contient le profit, mais aussi la rémunération normale du travail de l'exploitant et de sa famille, ainsi que la rémunération de la direction. Le revenu a un sens essentiellement social au regard de la famille agricole, à l'entrepreneur agricole à financer son entreprise aux sacrifices consentis par la famille de faire accroître l'entreprise familiale.

Le revenu agricole est composé de deux éléments à savoir:

- Le produit brut (PB) ou rendement brut (RB) est la valeur de toutes les productions finales obtenues pendant une année dans une exploitation que ces productions soient vendues, stockées ou consommées par les ménages exploitants;
- Les charges réelles (CR): ce sont des ressources pour lesquelles on a réellement dépensé de l'argent

2.2 NOTIONS DE RENDEMENT AGRICOLE

En agriculture, on appelle rendement la quantité de produit récolté sur une surface cultivée donnée. Il est souvent exprimé en quintaux métriques (1q=100kg) par hectare pour les grains, ou en tonnes par hectare.

Notons que ce terme consacré par l'usage qui est impropre, puisqu'un rendement est une grandeur sans dimensions, le numérateur et le dénominateur ayant la même unité. Le vrai rendement serait donc le rapport entre la quantité récoltée et la quantité de semence, qui a été utilisé pendant des millénaires.

2.2.1 LE GAIN DE PRODUCTIVITE

Le gain de productivité se mesure comme la différence entre deux productivités à deux dates données. Ce gain peut être évalué en valeur absolue (gain absolu par travailleur) ou en valeur relative (taux de variation exprimé en pourcentage).

Le gain de productivité donne lieu à la création d'un surplus qui peut être distribué aux salariés (hausse des salaires, prime, promotion, baisse de la durée du travail, congés payés...), à l'entreprise (augmentation des profits et des fonds propres, autofinancement des investissements), aux actionnaires (hausse des dividendes), aux consommateurs (baisse des prix, augmentation des garanties...) ou à l'Etat (augmentation des recettes fiscales...).

Traditionnellement, on considère que les gains de productivité sont inégaux selon les secteurs. En particulier, dans certains services, ce qu'avait déjà constaté Adam Smith en donnant l'exemple des coiffeurs généralisés par l'économiste William Baumol, sous l'appellation « maladie de Baumol ». Certains services sont toutefois susceptibles de connaître des gains de productivité importants notamment du fait de l'informatisation.

Le concept de productivité s'applique mieux aux produits agricoles ou industriels standardisés et à qualité constante (par ex: le blé, l'acier, le container...) et moins bien aux services ou aux produits où l'innovation est constante (par ex: informatique). Ceci pour deux raisons:

- Le service rendu n'est pas assimilable à un nombre d'actes (nombre de visites médicales, de cours donnés) et la productivité physique est difficile à évaluer;
- Le coût des services est calculé en fonction du coût salarial: toute augmentation de cet élément répercutée sur son prix apparaît comme une augmentation de la productivité en valeur

2.2.2 EXPRESSION DU RENDEMENT AGRICOLE

Le rendement d'une culture se dit du rapport entre la quantité récoltée et le facteur de production (terre, semence, travail, eau,...) jugé pertinent dans la situation agricole considérée. C'est un moyen de juger l'efficacité de cette culture, par comparaison avec les rendements obtenus dans d'autres milieux ou avec d'autres techniques ou variétés.

Ces comparaisons ne conduisent à des conclusions valables et à des actions efficaces et utiles, que si on choisit de façon pertinente le numérateur (quelle mesure de la production) et surtout le dénominateur (par quel critère ou facteur limitant on divise cette production): on les choisit en fonction des buts qu'on se propose ou des questions qu'on se pose, et de la situation dans laquelle on se trouve. La façon d'exprimer le rendement dans une société indique quel facteur elle perçoit ou a perçu comme le plus limitant ou contraignant. Partout où ce n'est pas la terre (la surface) mais un autre facteur, c'est le « rendement » de cet autre facteur qui permet de juger l'efficacité des pratiques de l'agriculteur, le rendement à l'hectare n'étant alors un critère pertinent ni pour comparer des agriculteurs différents, ni pour comprendre ce que fait un agriculteur, ni par conséquent pour proposer des améliorations.

Notons que l'emploi habituel du terme en agriculture est impropre car, au sens strict, un rendement est une grandeur sans dimension, le numérateur et le dénominateur étant de même nature et exprimés dans la même unité. Le rendement est exprimé de différentes manières suivant la forme de la récolte attendue. Dans le cas d'une culture céréalière comme le blé, l'orge, le maïs grain, où on ne s'intéresse qu'aux grains récoltés, on parle de rendement en unité de poids sur une unité de surface. Par exemple, on utilisera le quintal par hectare (q/ha).

Dans le cas d'une culture fourragère où l'on récolte la culture pour sa matière sèche comme les herbes de prairie, le maïs à vocation d'ensilage, on exprimera le rendement en unité de poids de matière sèche.

Dans le cas des vignes par exemple, on calcule le rendement en quantité de vin produit par unité de surface. On parlera donc en volume rapporté à la surface cultivée. L'unité la plus utilisée est l'hectolitre par hectare.

2.2.3 COMPOSANTES DU RENDEMENT AGRICOLE

Le rendement, quelle que soit la culture (excepté le vin, exemple qui sera traité plus loin), est dépendant de trois paramètres: **le potentiel génétique de la plante cultivée, l'environnement de la plante et enfin l'interaction de ces deux composantes**. Le potentiel génétique d'une plante (d'un individu) est immuable, c'est-à-dire qu'il sera toujours le même lorsque les conditions environnementales seront optimales. Les deux composantes principales de rendement sont **le nombre de grains par hectare** et **le poids moyen d'un grain**. Ceci permet, par une formule très simple, d'arriver au rendement effectif:

$$\text{Poids Moyen d'un Grain} \times \text{Nombre de grains} = \text{rendement}$$

Ces composantes peuvent être découpées en d'autres composantes dans le cas d'une céréale:

Nombre de grains = Nombre d'épis x Nombre de grains par épi, Où le Nombre de grains par épi est dépendant du nombre d'épillet par épi et où le nombre d'épis dépend du nombre de talles, tous ces paramètres étant rapportés à une surface donnée.

L'intérêt de séparer ces composantes de rendement est qu'elles sont reliées chacune à un effet de l'environnement à un moment donné. Si l'environnement n'était pas optimal à un instant donné, le rendement atteignable ne pourrait plus être le rendement potentiel, mais pourra toujours être majoré.

Dans le cas d'une céréale, ces composantes sont bien séparées dans le temps, par contre, dans le cas d'une féverole ou d'un pois, elles se chevauchent. Ce qui rend l'analyse de l'élaboration du rendement plus complexe.

2.2.4 RENDEMENT MAXIMUM ET RENDEMENT OPTIMUM

Dans les deux dernières décennies, en particulier dans l'Union européenne, les nouvelles contraintes environnementales (plan de diminution des produits phytopharmaceutiques, essai de limitation des rejets en nitrates et en phosphore) ont encouragé les agriculteurs à rechercher un rendement optimum et non un rendement maximum.

Le rendement agronomique optimum pour une culture est défini comme étant le point où le rendement marginal s'annule. Cependant **le rendement optimal** peut aussi se calculer pour une exploitation ou une rotation, incorporer des éléments économiques (investissements, décisions sur la main-d'œuvre) ou sociétaux (contraintes environnementales).

2.2.5 EVOLUTION DES RENDEMENTS

Le progrès technique ainsi que la sélection des plantes a permis au cours des siècles une forte augmentation des rendements agricoles. Le progrès technique a toujours eu pour but d'améliorer les conditions liées à l'environnement et dont dépend le rendement, on peut citer le travail du sol et le labour jusqu'à l'utilisation d'engrais et de pesticides.

De son côté, l'homme après avoir domestiqué les espèces sauvages pour les cultiver les a sélectionnées afin d'améliorer leurs paramètres génétiques. La sélection s'est effectuée par le choix des plus belles graines ou des plus beaux épis (cas du maïs en Amérique centrale et du sud), par l'utilisation de populations s'adaptant à chaque cycle aux conditions du milieu ou plus récemment, par l'utilisation de croisement, d'hybrides ou par l'insertion de gènes étrangers.

2.2.6 REVENU DU PAYSAN

Les techniques culturales utilisées influent à un taux non négligeable sur le rendement agricole et aussi au revenu agricole. Une chose paraît cependant évidente, c'est qu'à travers le milieu paysan, le revenu reste faible, cette situation s'expliquerait par l'absence d'une bonne organisation des marchés ruraux et de nombreux des facteurs liés à l'organisation économique globale du pays au vu de son étendue particulièrement le manque d'infrastructure routière et la conservation des produits agricoles périssables. Le revenu agricole représente 18% du PIB, reparté entre le revenu du commerce 10% et l'autoconsommation 8%; mais ces chiffres relèvent aussi des estimations car il est difficile de relever la part de l'autoconsommation. Les agriculteurs bénéficient, compte tenu de la part des impôts qui leur incombe, de l'intégralité des recettes provenant de la vente de leurs produits et possèdent un pouvoir de libre disposition de leurs revenus. Le calcul économique contribue à éclairer le fonctionnement du système de production, la comparaison de la valeur ajoutée brute par hectare, par actif ou par journée de travail entre différents systèmes de culture et d'élevage permet d'interpréter les choix d'affectation des ressources disponibles entre les sous-systèmes productifs de l'exploitation en particulier lors d'un goulet d'étranglement.

Le calcul de la rémunération de la journée de travail permet de comparer la rentabilité du travail au sein du système de production et hors de l'exploitation lorsque des opportunités de travail externe existent. La productivité du travail VA / Actif permet de comparer l'efficacité économique de différent système de production, critère important pour la collectivité lorsqu'il s'agit de choisir un projet de développement. La comparaison du revenu agricole puis du revenu total à un seuil minimum de survie ainsi qu'au revenu que l'on peut se procurer à qualification égale dans d'autres secteurs d'activité dans la région, permet de répondre aux questions posées sur l'évolution probable de l'exploitation agricole.

Si l'exploitation dégage un revenu agricole inférieur au seuil de survie, l'exploitant et sa famille ne peuvent vivre qu'au prix des activités extérieures à l'exploitation, si le revenu total reste inférieur à ce seuil, les besoins de la famille ne sont satisfaits qu'aux moyens de production de l'exploitation donc d'une décapitalisation, l'exploitation est condamnée à disparaître relativement à court terme. Si l'exploitation dégage un revenu inférieur au coût d'opportunité de la force de travail, elle a toutes les chances de disparaître à moyen terme, le paysan ou ses enfants ayant tendance à essayer de changer d'activités. Si l'exploitation dégage un revenu agricole au seuil de survie, elle a une capacité d'investissement qui lui donne le moyen de se développer: agrandir sa superficie, son cheptel, acquérir un équipement plus performant, investir dans des itinéraires techniques plus coûteux en intrants.

La capacité de stockage et conservation des productions par l'exploitation sera également examinée. La fluctuation des prix des marchés internationaux et la détérioration des termes de l'échange et les prix défavorables dans le secteur de l'agriculture traditionnelle sont parmi

les causes principales de la pauvreté des paysans. Les mécanismes de commercialisation seront également fouillés attentivement sachant qu'ils font partie des causes de la faiblesse des revenus des paysans. Pour ce qui concerne la commercialisation des produits agricoles par les systèmes d'exploitation, de fois ils les vendent directement après des consommateurs, soit aux intermédiaires commerciaux qui peuvent être des grossistes, des commissionnaires vendeurs ou acheteurs; soit cette vente peut être à la récolte et sur pied; c'est-à-dire à récolter (l'acheteur engage lui-même les journaliers pour récolter) et aussi ça peut se faire par des modalités autres que celles citées. La faiblesse des revenus du petit producteur s'explique aussi par le manque d'accès aux circuits de commercialisation et aux marchés. Les commerçants se rendent dans les villages et y achètent les produits à un coût moindre étant donné que les paysans ont des difficultés de déplacement: moyen de transport limité, enclavement des zones de culture, absence de voies de communication terrienne ou fluviale, etc. Les différences de richesse ne proviennent pas de différences de revenu agricole, mais sont particulièrement expliquées par les différences de revenu hors exploitation et par le réinvestissement dans des activités agricoles ou commerciales. Les ménages pauvres sont représentés par les agriculteurs marginaux ou sans terre, souvent sans bétail, sans revenus réguliers extérieurs et sans production de culture de grande valeur. Ils cultivent surtout le maïs local et le haricot pour l'autoconsommation et ne peuvent se permettre l'achat d'engrais ou de semences hybrides.

En particulier, on constate que les femmes sont automatiquement classées dans la catégorie de travailleurs agricoles contribuant ou non rémunéré (personne qui contribue à la production d'une exploitation agricole ou d'une affaire familiale sans rémunération aucune ni en espèce ni en produits commercialisables), même si elles sont des véritables associées partageant le travail, les décisions et les risques au même niveau que le titulaire (mari, frère, fils, père).

2.3 NOTIONS SUR LE SYSTEME D'EXPLOITATION EN AGRICULTURE

2.3.1 SYSTEME D'EXPLOITATION AGRICOLE

Le système d'exploitation agricole est considéré comme un tout, comme un ensemble organisé, cet ensemble étant en évolution et ouvert sur un environnement lui-même en évolution.

Les concepts « exploitation » et « exploitant » doivent être traités en premier, étant donné qu'ils sont à la base des recensements agricoles.

Une exploitation agricole est une unité économique de production agricole soumise à une direction unique et comprenant tous les animaux qui s'y trouvent et toute la terre utilisée, entièrement ou en partie pour la production agricole.

D'après la définition de la FAO, l'exploitation agricole est une unité économique de production agricole, mais dont l'organisation reste liée à la structure familiale des propriétaires. L'exploitation agricole familiale semble même être la structure la plus communément admise dans tous les pays.

La direction unique peut être exercée, par un particulier, par un ménage, conjointement par deux ou plusieurs particuliers ou ménages, par un clan ou une tribu ou par une personne morale (entreprise, société, ONG, coopérative).

Dans toutes les régions en développement, le nombre des femmes travaillant sur des exploitations sans terre ou avec peu de terre est considérable.

Dans la typologie des exploitations, il y a celles qui sont viables, potentiellement, et non viables; ainsi que celles qui sont autosuffisantes et dépendantes de transferts extérieurs.

Deux concepts permettent d'étudier de manière efficace les systèmes d'exploitation agricoles.

- **L'unité de production**

L'exploitation agricole est une unité de production, l'unité de production se caractérise par l'inventaire des ressources disponibles: surface agricole, nombre d'actif, superficie des différentes cultures, effectifs des troupeaux, nombre et puissance des matériels, capacité des bâtiments, quantité d'intrants,...

- **Le système de production**

Au sein de l'unité de production, l'agriculteur pratique un système de production qui peut être défini de la manière suivante: combinaison des productions et des facteurs de production (capital foncier, travail et capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole; l'étude du système de production s'intéresse donc au fonctionnement de l'exploitation agricole, vue sous l'angle d'une combinaison organisée, plus ou moins cohérente de divers sous systèmes productifs: système de culture, d'élevage et de transformation.

• Ressources foncières

Le foncier de l'exploitation est constitué par l'ensemble des terres exploitées et des superficies construites: habitations, bâtiments pour les bétails, hangars greniers, silos, etc.

L'agriculteur de Idjwi peuvent avoir aussi l'accès à des terres communes dont il est sensé connaître bien avant les caractéristiques, les modes d'exploitation et les conditions d'accès: période de disponibles, cout, contraintes éventuelles de changement en tête de bétail.

• Ressources en travail

Le travail nécessaire aux activités productives de l'exploitation peut être fourni par la main d'œuvre familiale ou extérieure à la famille: salariés, journaliers, groupes d'entraide, etc.

L'analyse économique d'une exploitation agricole demande une évaluation quantitative du travail utilisé sur l'exploitation. Pour le recours à la main d'œuvre extérieure, on analysera les différentes modalités, leur importance relative et leur coût.

La classification internationale de la situation dans l'emploi (CISE-93) définit les travailleurs de substance comme étant des travailleurs s'auto-employant et qui dans des conditions, produisent les biens et services qu'ils auto-consomment au sein de ménages et qui représentent une base économique fondamentale pour vivre.

Les cultivateurs de Idjwi tirent profit dans les périodes de moindre travail au sein de leur exploitation pour exercer une autre activité rémunératrice comme le commerce frontalier car étant un groupement limitrophe avec le Rwanda.

• Ressources en capital

Les ressources en capital sont subdivisées en deux: le capital fixe et le capital circulant. Les moyens de production représentent du capital que l'exploitant a dû investir, les investissements ont pu être financés par les gains de l'exploitation agricole elle-même, par les revenus d'autres activités du foyer ou par le recours au crédit.

Parmi ces moyens de production, on distingue:

1. Le capital fixe d'exploitation: qui est la valeur des biens servant à plusieurs cycles de production (outils, moyens de traction, bâtiments, d'élevage, animaux reproducteurs, etc
2. Le capital d'exploitation circulant (consommations intermédiaires) est la valeur des biens consommés pendant un cycle de production: semences, engrais, aliments de bétail, etc

Capital total d'exploitation = capital foncier capital fixe d'exploitation+ capital circuit d'exploitation

Comme on le voit, l'analyse de l'exploitation agricole familiale demande de prendre en compte les aspects sociaux et humains liés à la vie des familles, souvent dans les sociétés, la transmission du capital d'exploitation de fait par héritage, d'une génération à l'autre.

L'histoire de l'exploitation peut être retracée de l'acquisition de son autonomie par chef d'exploitation: quelles sont les ressources dont il a hérité ? Des terres ont-elles été achetées ou louées et des investissements dans des outils des équipements ou des plantations réalisées au départ, et avec quel capital ? Quelle était la combinaison des productions animales et végétales pratiquées et des techniques mises en œuvre à l'époque ?

- Evolution de la structure de l'exploitation: il Ya deux grandes types d'évolution de la structure de l'exploitation peuvent être distingués:
 - a. **Capitalisation:** Dans ce cas, les conditions de mobilisation du capital nécessaire sont à étudier de près; les investissements ont-ils permis par les revenus dégagés de l'exploitation, la vente de cheptel ou de terres, des revenus extérieurs ou le recours au crédit
 - b. **Décapitalisation:** dans ce cas, il est nécessaire d'identifier quelles sont les ressources de l'exploitation les plus touchées et de mesurer les conséquences de la dégradation de l'appareil de production sur le fonctionnement et les performances des systèmes de culture et d'élevage

L'histoire de l'exploitation peut faire apparaître des successions de périodes de capitalisation et de décapitalisation.

- Evolution du système de production: il existe deux paramètres permettent de caractériser l'évolution de production:
 1. La tendance à diversification ou contraire, à la spécialisation de l'exploitation
 2. La tendance à l'intensification en travail ou en intrants sur une surface de petite dimension (réduction de la durée des jachères et accélération du rythme des successions culturelles) ou, au contraire à l'extensification en travail sur une surface croissante grâce à des équipements plus performants

Dans un système d'exploitation agricole, le rendement peut augmenter par l'utilisation du fumier animal comme agent d'amendement et de fertilisation; même sans produits agrochimiques.

Considérant l'agriculture comme un système implique d'intégrer les dimensions biologique, physique, ainsi que les aspects socio-économiques au niveau de l'exploitation agricole. Il faut:

- Mettre sur le marché des produits à un prix et à un niveau de qualité acceptable pour les consommateurs;
- Répondre aux demandes des industries de transformation;
- Assurer un revenu correct aux agriculteurs;
- Assurer la pérennité de l'exploitation (foncier, reprise de l'exploitation);
- Préserver la qualité de l'environnement;
- Mettre en œuvre des systèmes de production acceptables pour le public (élevage);
- Assurer la durabilité du système d'exploitation pour le bien-être des générations futures

L'exploitant: est la personne physique ou morale responsable de la marche de l'exploitation agricole, et des grandes décisions concernant l'utilisation des ressources. Il peut assurer la marche de l'exploitation directement ou confier la responsabilité du travail courant de la gestion (un régisseur salarié).

2.4 FORMATION DES PRIX AGRICOLES

Le prix est défini comme étant la valeur que présente une chose ou un service sur le marché. D'une autre manière, c'est un rapport qui s'établit entre les qualités des biens de services et les quantités monétaires. Il s'exprime donc en monnaie.

Le prix est souvent une variable déterminante dans la prise de décision. Pour prendre des décisions, les agents économiques tiennent compte des coûts de l'opération envisagée, des avantages qu'ils escomptent obtenir de cette décision et du risque que les avantages obtenus ne soient pas à la hauteur du coût.

Gregory King, dans son énoncé le plus général « la loi de King », constate les effets sur les prix d'un défaut ou d'un excédent d'approvisionnement des produits agricoles de base. Il énonce que la demande et la consommation de ces produits représentent pour les ménages des postes budgétaires relativement stables. Il montre qu'un déficit d'offre fait monter les prix, alors qu'un excès d'offre provoque une chute de prix importante.

Dans son Essai sur la nature et les causes de la richesse des nations (1776), Adam SMITH écrit: « le prix réel de chaque chose, est l'équivalent de la peine et de l'embarras qu'il a fallu pour l'acquérir ».

A. SILEM définit le prix comme un rapport entre deux quantités de marchandises opposées à l'échange ou ce qui revient à la même quantité d'un bien que l'on doit en échange d'une unité d'un autre bien, de service ou facteur de production.

Pour J. BREMOND, le prix est la quantité de la monnaie qui doit être versée par l'acheteur en échange d'un bien reçu par le vendeur.

A part l'expression du prix en monnaie, il peut aussi s'exprimer en instrument d'échange et d'une unité de compte.

A partir du prix, un agent économique sait faire l'évaluation de la rentabilité de ses activités au sein de son entreprise et les consommations détiennent les pouvoirs d'achat réel.

2.5 QUELQUES THEORIES ET LOIS SUR LES MARCHES AGRICOLES

Dans cette partie, nous parlerons des théories et lois des quelques auteurs entre autres: Gregory King, Cobweb et Von Thünen.

2.5.1 LA LOI DE KING

Gregory King (1648-1712), un statisticien anglais qui a procédé aux premières estimations sérieuses de population et de consommation de produits agricoles, n'est pas l'inventeur de la loi qui porte son nom. Mais elle a été nommée ainsi en hommage à son travail. En effet, King s'est notamment intéressé aux liens entre la production de blé et son prix sur le marché en Angleterre. Il a constaté que le prix du blé flambait les mauvaises années et qu'il s'effondrait les bonnes. L'explication est simple: la consommation de blé est vitale car c'est la base essentielle de la nourriture. Les gens sont donc prêts à donner tout ce qu'ils ont pour acheter la quantité qui leur est indispensable. Pour en réduire la demande, il faut donc que les prix augmentent sensiblement. Inversement, les bonnes récoltes ont du mal à s'écouler, car l'estomac des consommateurs n'est pas extensible: il faut donc que les prix s'effondrent pour que certains en achètent davantage, pour le donner à leurs volailles par exemple.

A la fin du 18^e siècle, il avait constaté en examinant le marché du blé et émis la loi qui porte son nom connu sous l'expression « Effet King » stipula que: « **Toute variation de l'offre détermine une variation en sens contraire du prix.** » c'est-à-dire, lorsque la récolte est abondante, le prix unitaire des produits agricoles diminue.

L'effet King indique une tendance qui se manifeste sous certaines conditions:

- L'offre a un caractère, c'est-à-dire la production échappe à la volonté de l'homme et dépend des décisions naturelles
- La population est stationnaire, d'où la demande est incapable de se dilater
- Il y a existence de l'homogénéité de produit favorisant ou empêchant la substitution

Au moment d'une baisse de l'offre, le prix augmente. A ce moment-ci, le cultivateur croit que c'est le prix d'équilibre. Il cultive plus et la récolte est abondante, s'en suit une diminution de prix.

Le fait de cultiver moins, l'offre est réduite et le prix augmente, nous parlerons alors d'une fluctuation cyclique de prix

2.5.2 THEORIE DE COB WEB

Le modèle du Cob web, aussi appelé modèle de toile d'araignée, est une théorie du modèle économique qui explique pourquoi les prix peuvent être sujet à des fluctuations périodiques de certains types de marché. Il décrit le cycle offre-demande dans un marché où la quantité produite doit être choisie avant que les prix soient observés. Ces fluctuations économiques y sont expliquées par un décalage temporel entre l'offre et de la demande.

Nicholas Kaldor a analysé ce modèle en 1934 et lui a assigné le nom de « la théorie du Cob web », citant des analyses précédentes en allemand d'Henry Schultz et U. Ricci.

Fondamentalement, le Cob web se distingue par la nature de la fonction d'offre totale. On considère que, sur ce marché, l'adaptation de l'offre totale au prix n'est pas instantanée mais retardée. Lorsque le prix d'équilibre est connu par les entreprises, l'élaboration de la production optimale nécessite du temps, cette production ne sera pas disponible immédiatement sur le marché. Le temps nécessaire à l'élaboration de la production constitue une période.

Le modèle cob web est basé sur un décalage entre les décisions d'offre et de demande. Les marchés agricoles sont un contexte où le modèle de la toile d'araignée pourrait s'appliquer, puisqu'il y a un décalage entre la plantation et la récolte.

Supposons, par exemple, qu'en raison d'un mauvais temps inattendu, les agriculteurs se lancent sur le marché avec une récolte de fraises inhabituellement petite. Cette pénurie, entraîne des prix élevés. Si les agriculteurs s'attendent à ce que ces conditions de prix élevées continuent l'année suivante, ils augmenteront leur production de fraises par rapport aux autres cultures. Par conséquent, quand ils vont sur le marché, l'offre sera élevée, ce qui se traduira par des prix bas. S'ils s'attendent alors à ce que les prix bas continuent, ils vont diminuer leur production de fraises pour l'année prochaine, ce qui se traduira par des prix élevés à nouveau

2.5.3 LE THEOREME DE LA LOCALISATION DES PRODUCTIONS: APPROCHE DE VON THUNEN

Von Thünen fut un baron Autrichien qui publia en 1926 un ouvrage intitulé « *l'Etat isolé* ». Il le décrit dans son ouvrage: « *la répartition de production agricole dans un Etat qui n'entretient aucun lieu commercial avec l'étranger* » d'où étant le titre de l'ouvrage. Cet Etat est constitué par une ville qui est le seul point de consommation et une plaine cultivable homogène dans toutes les directions et qui s'étend à l'infini autour de la ville. Les agriculteurs cultivent la plaine et se nourrissent localement de leur production vivrière et ils apportent le surplus à la ville.

Dans la ville, les prix sont différents dans les lieux de production tenant compte de frais de transport et de coût de production. Au fur et à mesure qu'on est éloigné du milieu de consommation, un produit agricole donné perd sa valeur monétaire

2.6 LES PRIX DES PRODUITS AGRICOLES

Cette section met l'accent sur les facteurs majeurs qui affectent la formation des prix des principaux produits agricoles en Afrique de l'Ouest. Ces produits occupent l'essentiel des terres consacrées à la production dans la sous-région. Certaines caractéristiques communes à ces produits font qu'une description générale de la formation des prix du marché devient applicable à chacun des produits. Chacun de ces produits est stockable pendant de longues périodes; tous ces produits sont transférés des producteurs aux marchés de consommation en vrac; ils sont tous activement échangés sur les principaux marchés de la sous-région; ils sont souvent concurrents pour les mêmes terres et autres ressources de production, liant ainsi indirectement leurs prix à travers les possibilités de substitution.

Les gens ont tendance à confondre la détermination et la découverte des prix agricoles qui sont deux processus certes complémentaires, mais différents. La détermination des prix agricoles peut se définir comme le processus par lequel un prix d'équilibre s'établit quand les forces de l'offre et de la demande se sont manifestées dans une période de temps donné. C'est un prix qui résulte de la rencontre entre l'offre et la demande. La découverte des prix agricoles se réfère à l'interaction entre les acheteurs et les vendeurs et la négociation des prix basée sur les estimations que chacun des acteurs a de la demande et de l'offre. Il faut noter que la découverte des prix est un processus imparfait car les acteurs qui négocient les prix entre eux ne disposent pas toujours d'information parfaite sur les forces de l'offre et de la demande. Par conséquent, un prix découvert pendant un jour de marché donné n'est pas forcément un prix d'équilibre car les acteurs en

présence peuvent avoir surestimé ou sous-estimé l'offre et la demande. Ainsi, un tel prix de déséquilibre se caractérise normalement par des stocks invendus ou par un excès de demande sur le marché.

Il existe plusieurs façons de fixer les prix agricoles. Premièrement, les acheteurs et les vendeurs peuvent négocier directement les prix sur le marché. Deuxièmement, il peut exister les enchères publiques qui permettent la découverte des prix.

Troisièmement, il peut exister aussi la fixation des prix par des formules arrêtées entre les acteurs comme par exemple dans le cas des contrats de production.

2.7 FIXATION DES PRIX AGRICOLES

Les prix agricoles sont fixés par l'équilibre entre l'offre et la demande au fil du temps: Initialement, les prix sont fixés pour des niveaux donnés de l'offre et de la demande.

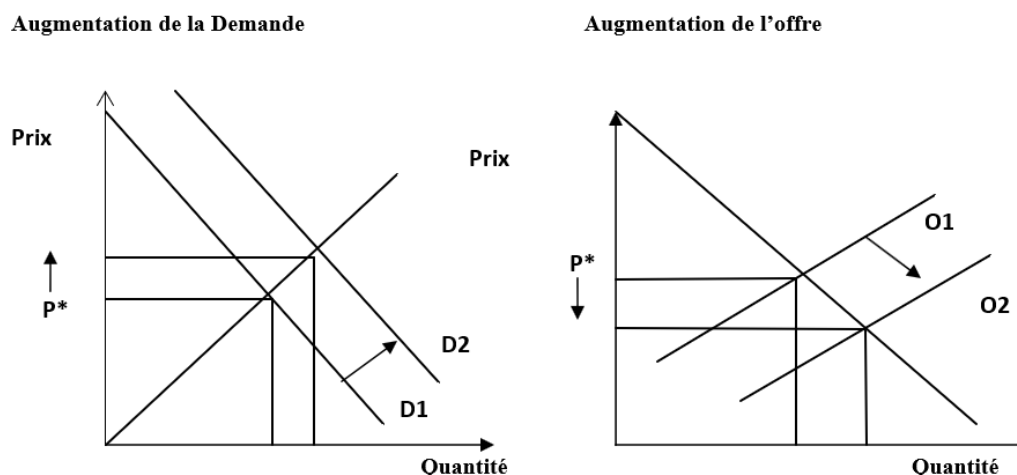


Fig. 1. Déplacement de l'équilibre entre l'offre et la demande

Supposons que le prix (P^*) représente le point d'équilibre où la demande et l'offre se rencontrent sur le marché. Si la demande augmente parce qu'un de ses déterminants a changé, un nouveau prix sera fixé après que tous les ajustements à la nouvelle demande se soient réalisés. Sur le graphique, on voit que l'augmentation de la demande de D_1 à D_2 déclenche un ajustement du prix à la hausse. De la même façon, une augmentation de l'offre de O_1 à O_2 due à un changement intervenu dans l'un de ses déterminants, déclenche un processus d'ajustements jusqu'à la détermination d'un nouveau prix d'équilibre à un niveau inférieur au prix initial.

Les augmentations de la demande et de l'offre correspondent à des déplacements à l'extérieur des courbes de demande et d'offre sur le graphique. Quand il y a changements dans les déterminants de la demande et de l'offre, il y a mouvement le long de la courbe de demande quand la courbe d'offre se déplace et vice versa.

Le niveau général des prix d'un produit agricole sur n'importe quel marché est influencé par une variété de forces du marché qui peuvent altérer la balance actuelle ou celle attendue entre l'offre et la demande. Beaucoup de ces forces émanent des marchés domestiques alimentaires (hommes et animaux) et de l'utilisation industrielle et incluent:

- Les préférences des consommateurs et les besoins qui changent pour les utilisateurs finaux;
- Les facteurs affectant les processus de production (aléas climatiques, les coûts des intrants, les ennemis des cultures, et les maladies, etc.);
- Les prix relatifs des produits qui peuvent se substituer au produit en question dans la consommation ou la production;
- Les politiques gouvernementales;
- Les facteurs affectant le stockage et le transport.

Les conditions des marchés internationaux sont aussi importantes, dépendant de l'ouverture du marché domestique du pays à la compétition internationale et le degré d'engagement du pays dans les échanges internationaux.

- a) Les conditions locales de l'offre et de la demande; Les différences dans les prix des produits agricoles à travers le monde reflètent les différences dans les conditions locales de l'offre et de la demande (aussi bien que les différences dans les structures locales de marché). D'une façon générale, les prix des produits agricoles sont plus bas dans les régions de production où elles sont en surplus, et plus élevés dans les régions déficitaires et densément peuplées comme les zones urbaines où la demande dépasse la production locale

- b) Les caractéristiques des produits; Les acteurs du marché d'aujourd'hui tendent à être des acheteurs sophistiqués qui comparent attentivement les prix des différents produits agricoles en termes de leur coût unitaire par caractéristique désirée par l'utilisateur final. Par conséquent, les conditions de l'offre et de la demande dans les marchés agricoles (que ce soit pour les marchés à l'exportation, l'alimentation animale, les produits frais, l'industrie de transformation) peuvent dépendre plus de la variété particulière, qualité, ou des caractéristiques de l'utilisation finale d'un produit que l'offre globale du produit générique

Par exemple, un transformateur de maïs peut baser sa décision d'achat principalement sur une variété spécifique et ses caractéristiques particulières à la mouture.

- c) Les coûts de transfert; Les principales composantes du réseau de commercialisation des produits agricoles incluent les marchés ruraux, les marchés de regroupement, et les marchés terminaux. Un enchaînement des conditions locales de l'offre et de la demande détermine comment et quand les produits vont circuler dans le réseau

Les prix des marchés de regroupement sont dérivés des prix des marchés terminaux en soustrayant les frais de transfert. Les acteurs des marchés de regroupement suivent plusieurs marchés terminaux (que ce soit les marchés de consommation, les industries de transformation, les exportations) pour déterminer où la demande est la plus forte, puis déduisent les coûts de transfert jusqu'aux marchés, affichant les prix les plus élevés afin de définir le prix maximum qu'ils peuvent proposer sur les marchés ruraux. Sur les marchés compétitifs, les coûts de transfert sont les facteurs les plus importants dans la détermination des différences de prix dans l'espace (entre différents marchés). Sur les marchés internationaux et sous régionaux, les coûts de transfert incluent les barrières aux échanges tels que les tarifs, les quotas, et les « taxes non-officielles ». Plus les coûts de transfert sont élevés, plus les prix payés aux producteurs seront bas et vice versa. Si le marché est compétitif, les différences de prix entre régions ne peuvent excéder les coûts de transfert entre ces régions pendant longtemps puis que les acteurs du marché vont rapidement transférer les produits des régions où les prix sont plus bas (poussant ainsi les prix à la hausse dans ces régions) vers les régions où les prix sont plus élevés (poussant ainsi les prix à la baisse dans ces régions).

- d) Les politiques gouvernementales: Dans beaucoup de pays, les produits agricoles font l'objet de politiques de prix de la part des gouvernements. Ces politiques peuvent viser à stabiliser les prix au producteur et au consommateur. Dans le passé, la plupart des gouvernements africains fixaient les prix au producteur et au consommateur, et la commercialisation des produits, relevait du monopole des Etats

Ces prix étaient fixes dans l'espace et dans le temps pour une saison commerciale donnée. Les prix ainsi fixés n'étaient plus fonction des conditions de l'offre et de la demande.

Les conséquences de ces politiques de fixation étaient entre autre la nécessité de rationner les ventes des produits agricoles pendant les années de faible production au profit de certains groupes de consommateurs comme les militaires et les agents des fonctions publiques.

Une autre conséquence non moins importante de ces politiques fut le maintien des prix au producteur à des niveaux relativement bas et non incitatifs afin de ravitailler les centres urbains à moindres coûts. Ces bas prix au producteur ont découragé les investissements dans l'augmentation de la productivité et conduit à la baisse de la production dans la plupart des pays

A partir des années 1980, la plupart des pays ont aboli les monopoles d'Etat et autorisé le secteur privé à commercialiser leur production. Désormais, ce sont les conditions de l'offre et de la demande au niveau national et de la sous-région qui déterminent en grande partie les prix des produits agricoles, les conditions du marché international jouent un rôle important dans la détermination des prix sur les marchés nationaux et de la sous-région.

L'offre et la demande des produits agricoles dans un pays ouvert aux échanges sous régionaux et internationaux est fonction de l'offre et de la demande aux niveaux national, sous régional, et mondial. Les principaux déterminants de l'offre et de la demande aux différents niveaux sont les suivants:

2.7.1 L'OFFRE

- Au niveau national l'offre est déterminée par: les aléas climatiques, le stock report, les changements des coûts de production et d'accès aux intrants (l'engrais, les pesticides, les semences, les équipements, la main d'œuvre, Etc.), les possibilités de substitution entre produits dans la production (dans le cas où un produit qui peut être produit sur les mêmes terres que la pomme de terre devient plus rentable, une augmentation de sa production amène normalement à une réduction de la production de la pomme de terre et vice versa), les nouvelles technologies qui réduisent le coût unitaire de production du produit; déplaçant ainsi la courbe de l'offre vers la droite et donc réduisant le prix, les coûts d'approche à l'intérieur du pays, les politiques agricoles; d'importation et d'exportation, la compétitivité des systèmes de commercialisation des produits et des intrants qui sont parmi les facteurs déterminants des coûts d'approche et des coûts d'intrants
- Au niveau régionale: l'offre est déterminée par: la production régionale (y compris les facteurs cités ci-dessus au niveau national), les coûts d'approche entre pays, les politiques d'importation et d'exportation, les conflits, les taux d'échange

- Au niveau mondial l'offre est déterminée par: la production mondiale (y compris les facteurs cités ci-dessus aux niveaux national et sous régional), les frais maritimes et le taux d'échange

2.7.2 LA DEMANDE

- Au niveau national la demande est déterminée par: la population, l'évolution des revenus, les changements dans les modèles de consommation (liés à l'urbanisation, au coût d'opportunité du temps des femmes, les changements des styles de vie et d'autres facteurs par exemple connaissances nutritionnelles), les possibilités de substitution entre produits dans la consommation, l'utilisation industrielle et pour aliment bétail
- Au niveau régional: la demande est déterminée par: tous les facteurs cités ci-dessus au niveau national, le niveau de production dans les autres pays fournisseurs, les normes phytosanitaires, les politiques d'exportation et d'importation nationales, le taux de change
- Au niveau mondial elle est déterminée par: tous les facteurs cités ci-dessus au niveau national et au niveau régional

Les prix des produits agricoles reflètent l'équilibre entre l'offre et la demande dans une localité spécifique pour un moment donné dans le temps. Cependant, l'équilibre et les niveaux de prix qui lui sont associés changent constamment au fur et à mesure que de nouvelles informations sont fournies aux acteurs du marché Ceci nous amène à une discussion du rôle de l'information dans la découverte des prix.

2.8 GENERALITE SUR LA CULTURE DU CAFE, HISTORIQUE ET ETAT ACTUEL DE LA FILIERE CAFE EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

2.8.1 REVUE DE LA LITTERATURE

2.8.1.1 LE CAFÉIER

Le café est une plante à feuillage persistant qui pousse en buisson ou en arbre de petite taille. Il existe environ 90 sortes de caféiers, dont seule une minorité participe réellement à l'élaboration du quotidiennement. L'arbuste peut atteindre une taille de 4 m et possède des feuilles ovales avec des fleurs blanches. En fonction des variétés, les cerises (fruits du caféier) arriveront à maturation au bout de 7 à 11 mois et subiront à ce moment-là un changement de couleur, passant de vert à jaune et finalement rouge.

2.8.1.2 ORIGINE DU CAFÉ

Le caféier appelé dans le langage scientifique « *coffea arabica* », est la culture la plus anciennement cultivée dans les hauts plateaux situés entre 1500 et 2000m d'altitude, plus particulièrement dans la région délimitée par le parallèles 5° et 15° de l'altitude Nord et par 35° et 45° de longitude Est. Le caféier est un arbuste de la famille de Rubiacées. Le genre *coffea* comprend plusieurs espèces parmi lesquelles deux font l'objet de cultures importantes. Le *coffea canéphora*, adapté au climat équatorial et mieux connu par sa variété Robusta et le *coffea Arabica* qui à lui seul constitue la très grande majorité de notre étude et qui prend une grande partie de la plantation, actuellement réparties dans le monde. Le caféier Arabica trouve un climat de type subtropical caractérisé par une température moyenne de 20° à 23° avec les extrêmes de 50° et 30°C. (J. Lebrun, 1941).

La pluviosité annuelle est d'environ 1500mm et parfois plus. La saison pluvieuse alterne avec une saison sèche très lumineuse de plusieurs mois. Ces caractéristiques climatiques se trouvent en différents points du globe entre 24° à 35° de latitude Sud. Elles ont permis le développement de la culture de l'Arabica dans d'importantes régions d'Afrique, d'Asie et d'Amérique centrale et latine.

2.8.1.3 LE SEMIS

Les semis chez toutes les exploitations sont effectués au début de la grande saison pluvieuse, en Novembre. Les graines sont déposées faces plates contre la terre au fond des sillons, tous les 2 à 3 cm.

Les sillons sont recouverts par l'apport de terre légère et ces graines sont perpendiculaires plantées en lignes.

La répartition du germoir est environ d'un mois avant l'époque du semis.

Ce germoir est couvert d'une toiture à 1,80 à 13m de hauteur, et la longueur est facultative, car elle dépend d'un exploitant à un autre mais de préférence la longueur ne doit pas être grande pour faciliter le travail d'entretien.

CONSTRUCTION DE LA PÉPINIÈRE

Les plantes sont ameublées sur environ 40cm de profondeur. Les pépinières sont générales à une longueur de 1,20m et 10 à 12 m de longueur. La pépinière est ombragée par un écran de même type que celui utilisé pour le germoir et l'ombrage est obligatoire lors de 2 à 3 premiers mois.

LE REPIQUAGE

Se fait lorsque les deux feuilles cotylédonaire s'épanouissent. On repique aux écartements de 20x20cm, 25x25cm.

La plantation d'un hectare nécessite 1,25 ares de pépinière⁹. Lors du repiquage, on élimine les plantules ayant les pivots malformés mal formés et veiller à maintenir le collet au niveau du sol.

Le repiquage est de 12 à 17 mois pour le café Arabica et 7 à 9 mois pour le Robusta.

L'installation du caféier est faite sur un sol riche en humus. En zone forestière, la profondeur ne doit pas être grande car elle terrorise. Le sol doit aussi être meuble.

Son écartement est de 3284 à l'hectare avec l'écartement de 2 x1,5 m.

2.8.1.4 LA RÉCOLTE

Le caféier atteindra son plein potentiel de récolte entre 6 et 8 ans d'âge et déclinera à nouveau quand il atteindra 20 ans.

Plusieurs méthodes de récolte ont été développées :

La première, manuelle, offre une meilleure qualité de récolte puisque chaque cerise est récoltée à la main à maturité. Cette méthode reste très coûteuse en temps et en main d'œuvre puisqu'il faut compter 2.5 kg de récolte pour 500 gr de café. Cette méthode est réservée à l'arabica.

La seconde, plus rapide mais moins qualitative, consiste à récolter au peigne toutes les cerises, indépendamment de leur maturité. Certaines plantations ont opté pour la mécanisation de ces récoltes, qui sont souvent pratiquées pour le café robusta ou certaines variétés d'Arabica brésilien ou éthiopien.

2.8.1.5 LE SÉCHAGE

Les cerises, dans lesquelles se trouvent les graines de café, doivent en premier lieu être nettoyées, opération qui a lieu encore aujourd'hui dans le pays d'origine du café. Pour cela, deux méthodes ont été mises en place: la méthode sèche et la méthode humide.

La méthode sèche consiste à étaler les cerises afin de les faire sécher au soleil pendant 2 à 3 semaines. Les graines sont ensuite traitées dans une machine afin de les séparer de leur coque puis triés afin d'être emballés.

La méthode humide consiste dans un premier temps à broyer légèrement les cerises afin d'en détacher la majeure partie de la pulpe. Elles sont ensuite plongées dans des réservoirs d'eau où une fermentation se produit. Cette phase permet d'éliminer le reste de pulpe mais est conditionnée par une importante quantité d'eau, qui assurera la qualité du café au final. Les grains sont ensuite séchés puis finalement débarrassés de la fine membrane restante.

2.8.1.6 LA TORRÉFACTION

La torréfaction, phase primordiale dans l'élaboration d'un café de qualité, est prise en charge par les torréfacteurs. C'est lors de ce procédé que le café dégagera le maximum de ses arômes, d'où l'importance accordée au processus de torréfaction.

2.8.1.7 FILIÈRE DES CULTURES DE CAFÉ

Une filière des cultures de café est centrée sur un produit agricole de base et surtout une partie de ses transformations successives. En analyse économique, une filière peut être considérée comme un mode de découpage du système productif privilégiant certaines relations d'interdépendance.

Elle permet de repérer des relations de linéarité, de complémentarité et de cheminement entre les différents stades de transformation. On peut privilégier l'une ou l'autre des deux approches suivantes pour décomposer les filières: méso économique (technique, économique et comptable), et macroéconomique.

L'approche technique peut se construire d'amont vers l'aval en partant du premier stade de la production agricole (y compris l'acquisition des facteurs de production) ou au contraire de l'aval (vente sur les marchés domestiques ou internationaux) vers l'amont (transformations, transport, production agricole).

L'approche économique consiste à étudier les flux et la répartition des consommations intermédiaires entre les différents secteurs et de la valeur ajoutée entre les différents acteurs: producteurs, Etat, intermédiaires, etc.

Selon l'approche macroéconomique, il faut repérer, le long des diverses opérations, les acteurs, leurs logiques de comportement, leurs modes de coordination, et repérer ainsi les axes stratégiques de valorisation, de dégagement de marges.

La production mondiale tourne autour de 130 millions de sacs, soit environ 8 millions des tonnes. Les exportations des pays producteurs sont chiffrées à environ 100 millions sacs, soit 6 millions de tonnes. La consommation domestique des pays producteurs absorbe encore environ 30 millions sacs, soit 1,8 millions tonnes dont 18 millions sacs par le Brésil qui est le plus grand consommateur des pays producteurs. On a estimé la valeur des exportations globales à une valeur d'environ 16,5 milliards \$E.-U. (rapport FAO en 2009).

Il y a plus de 50 pays producteurs, dont les 3 plus grands, le Brésil, le Vietnam, et l'Indonésie, représentent plus de 60% de la production mondiale. Les principaux pays producteurs sont dans l'ordre: le Brésil, le Vietnam, la Colombie, l'Indonésie, puis les pays de l'Amérique Centrale et du Sud, l'Asie du Sud, et l'Afrique.

2.8.1.8 LA PRODUCTION DE CAFÉ EN AFRIQUE

Les pays producteurs de café africains ont fourni environ 12 % de l'offre mondiale du café (et moins de 11 % des exportations mondiales) pour la saison 2009-2010. Cette part du marché mondial du café équivaut presque à celle de l'Indonésie, qui en est le troisième producteur mondial. Dans les années 70, l'Afrique comptait pour 30% des exportations mondiales.

2.8.1.9 EVOLUTION DES CULTURES TRADITIONNELLES DE RENTE, EXEMPLE DU CAFÉ AU RWANDA

La culture du café est concentrée dans les zones bordurières du lac Kivu en Provinces de Cyangugu, Kibuye et Gisenyi; ainsi que dans les Provinces de Butare, Kigali Ngali, et Kibungo.

Elle est pratiquée par 54% des ménages au Rwanda avec 86.3 % des ménages à Butare, 78.6% à Cyangugu, 71.5% à Kibungo et 70.5% à Kigali Ngali.

La culture du café est pratiquée par 400.000 producteurs dans 60 Districts qui ont été identifiés comme les plus propices à la culture dans le cadre de la régionalisation et de l'intensification de cette culture. Le nombre de caféiers dans cette zone est évalué à quelques 70 millions. Le nombre des associations travaillant avec l'OCIR Café est de 80.

Parmi les contraintes qui sont à la base de la baisse de la production, nous pouvons citer la réduction de la productivité, une grande proportion de caféiers en âge d'être régénérés, le faible potentiel productif des variétés traditionnellement cultivées, inefficacité de la vulgarisation, faibles capacités des associations de producteurs, baisse des cours du café sur le marché international et démotivation des producteurs.

La baisse de la qualité est quant à elle due à de mauvaises techniques de lavage du café (absence de stations de lavage et d'un système sérieux de contrôle de la qualité), au mauvais état des plantations de caféiers, la non différenciation des prix en fonction de la qualité, et la compétition excessive des usiniers et exportateurs qui ne favorise pas la qualité.

2.8.2 HISTORIQUE ET ÉTAT ACTUEL DE LA FILIÈRE CAFÉ EN RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO

2.8.2.1 PRODUCTION ET COMMERCIALISATION DU CAFÉ

Dans les années soixante – soixante-dix, la RDC était considérée comme un pays de référence dans la filière café. Sa production annuelle tournait autour de 60.000 tonnes métriques (ONAPAC, communication personnelle). Cette période a également été marquée par la libéralisation du secteur du café, qui était jusqu'à ce temps, détenu à 100% par l'Etat, à travers l'Office National du Café (ONC). Ce dernier s'était ainsi vu retirer du monopole d'exportation et de contrôle des prix dont il était le seul responsable.

La libération du secteur du café a permis de redresser la filière café avec comme résultat, une forte augmentation (environ deux fois plus la production des années 70), seulement 10 ans après. Selon les estimations de l'Office National des Produits Agricoles du Congo (ONAPAC), la production du café congolais a, dans les années 1986/1987, sensiblement augmenté et atteint un pic de 84.000 à 120.000 tonnes métriques de café vert exportable, constitué d'environ 89% de robusta et 11% d'arabica. En ce moment, le secteur du café représentait, à lui seul, 75% des exportations agricoles de la RDC. Vers la fin des années 80, les exportations nationales de café enregistrées avaient atteint une moyenne de 80.000 tonnes métriques pour une valeur de 164 millions USD et avaient fourni des emplois à plus de 800.000 ménages. Malheureusement, deux décennies après ce boum caféicoles des années 80 (soit les années 2012 – 2013), le pays a assisté à une baisse drastique de la production (environ 10.000 tonnes par an), avec une baisse d'exportations de 11% par rapport aux campagnes précédentes.

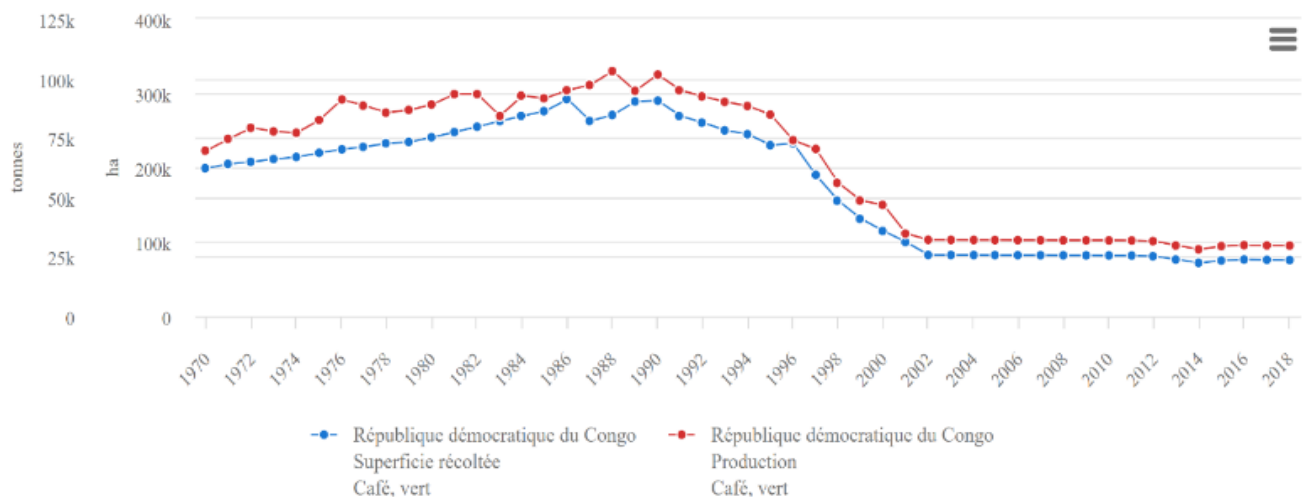


Fig. 2. Evolution de la production du café vert en RDC, de 1970 à 2018

2.8.2.2 SITUATION ACTUELLE DE LA FILIERE CAFE EN RDC

En RDC, la culture du café se répand sur tout le territoire national. Les principaux bassins de production du café en RDC sont localisés dans presque toutes les provinces (Figure 2). Le café **Arabica** est cultivé dans les régions d'altitude du Kivu montagneux et de l'Ituri, communément appelés régions des grands lacs, notamment l'Ituri (Territoires de Mahagi, Djugu et Irumu), le Nord-Kivu (Territoires de Rutshuru, Beni, Lubero, Masisi et Bord du Lac) et le Sud-Kivu (Territoires de Kalehe, Idjwi, Kabare et Walungu).

Le café **Robusta**, quant à lui, est cultivé dans les régions de basse altitude, notamment dans:

- Tous les Districts de la Province orientale (Ituri, Haut-Uélé, Bas-Uélé et Tshopo), de l'Equateur (Sud-Ubangi, Nord-Ubangi, Mongala, Tshwapa et Equateur Sud) et du Bandundu (Maindombe, Kwango, Kwilu et Plateau),
- Le Nord-Kivu (Beni, Lubero, Rutshuru-Kisharo et Walikale),
- Le Sud-Kivu (Mwenga, Shabunda, Uvira et Fizi),
- Le Katanga (Tanganyika),
- Le Maniema (Kibombo, Kipaka et Kasongo),
- Le Kasai Oriental (Sankuru),
- Le Kasai Occidental (Mweka, Dimbelenge, Ilebo), et
- Le Kongo Central (Lukula, Tshela, Seke-Banza, Muanda, Luozi et Mbanza-Ngungu)

L'espèce **Excelsa** est cultivée dans le Territoire de Luozi, au Kongo Central, mais à cause de sa petite production, elle est commercialisée sous le nom de Robusta.

Après le succès des années 70/80, la RDC a fait face à une baisse drastique de la production et de l'exportation du café. Les chiffres observés durant les deux dernières décennies montrent que la quantité produite, par exemple en 2006, a sensiblement baissé par rapport à celle des années 60-80. La production du café arabica a sensiblement baissé et est passée de 30.000 tonnes, dans les années 60-70, à 11.000 tonnes en 2012. Celle du café robusta, qui était d'environ 130.000 tonnes dans les années 80 est passée à 20.000 tonnes en 2012 (Chausse et al., 2012). Pire encore, de ces statistiques de production, aussi bien que pour le café robusta que pour celui arabica, seules environ 5.000 tonnes sont officiellement enregistrées par l'ONAPAC, le reste étant exporté dans la fraude par des contre bandes. L'évolution de la production et des exportations du café congolais les dix dernières années est donnée dans le tableau ci-dessous.



Fig. 3. Principaux bassins de production du café en RDC

Tableau 1. Evolution de la production et des exportations du café de 1992 à 2018 (en TM)

No	Année	Production totale (Robusta + Arabica)	Exportations		Exportations totales
			Robusta	Arabica	
01	1992	95,000	51,839	5,672	57,511
02	1993	92,400	47,964	7,034	54,998
03	1994	90,109	54,014	9,273	63,287
04	1995	88,348	49,239	13,694	62,932
05	1996	85,016	43,747	8,462	52,209
06	1997	80,060	27,857	4,427	32,283
07	1998	68,572	30,059	8,343	38,403
08	1999	65,000	28,594	4,191	32,785
09	2000	50,212	23,251	5,435	28,686
10	2001	35,793	8,022	2,855	10,877
11	2002	40,143	6,106	5,100	11,207
12	2003	45,352	3,594	3,989	7,583
13	2004	37,126	4,642	4,350	8,992
14	2005	32,329	4,328	3,926	8,253
15	2006	32,407	3,645	4,645	8,290
16	2007	48,480	7,477	4,445	11,922
17	2008	49,723	7,453	4,693	12,146
18	2009	49,733	4,506	4,564	9,070
19	2010	55,077	3,950	5,927	9,877
20	2011	63,389	3,146	4,660	7,805
21	2012	64,367	3,161	5,141	8,302
22	2013	69,585	3,490	5,140	8,629
23	2014	68,695	3,202	5,832	9,034
24	2015	62,536	3,109	6,038	9,147
25	2016	62,536	4,726	6,688	11,414
26	2017	54,438	4,744	5,602	10,346
27	2018	44,744	5,415	6,121	11,536

En RDC, cette baisse pourrait être liée à de nombreuses contraintes/difficultés auxquelles le pays a fait et continue à faire face. Ces contraintes sont d'ordres techniques, économiques et institutionnelles, à savoir: (i) une faible productivité agricole, (ii) des allocations budgétaires insuffisantes, (iii) un cadre institutionnel moins organisé avec un déficit en ressources humaines, techniques et matérielles, tant au niveau central que provincial, et (iv) un régime dualiste de propriété foncière tiraillé entre le formel légal et le traditionnel informel.

A ceci, l'on pourrait également ajouter (i) la faible capacité de financement de la filière et les difficultés d'accès au crédit agricole, (ii) la dégradation et le faible niveau d'accès aux infrastructures de base, (iii) la faible organisation de producteurs et d'autres acteurs dans la chaîne de valeur, (iv) l'offre insuffisante de services de recherche et de vulgarisation agricoles (*faible niveau d'accès aux informations sur les marchés, faiblesse de la demande interne due au faible pouvoir d'achat des consommateurs et faible niveau d'évaluation de la production*), et (v) la fraude. Par exemple, entre 2015 et 2017, les exportations frauduleuses du Café et Cacao vers l'Ouganda, dénoncées par la société civile de Beni, ont été estimées à plus de 7.000 tonnes métriques.

La fraude généralisée qui frappe les exportations de café est liée à plusieurs raisons, dont les principales seraient:

- L'incapacité des usines locales de concurrencer le prix offert par les acheteurs rwandais et ougandais pour le café parche;
- Les bénéfices substantiels réalisés sur le différentiel entre les droits et taxes officiels et les « taxes frauduleuses » (20 USD/tonne contre 70 USD/tonne);
- Le gain de temps que permet le non-respect de nombreuses formalités administratives fastidieuses;
- La passivité, voire la complicité des services publics et de certaines autorités politico-administratives;
- Le manque d'organisation et de moyens des services publics (en particulier l'ONAPAC) chargés de suivre la filière, de la production jusqu'à l'exportation, et de réprimer la fraude

Cette situation a, par conséquent, des effets néfastes sur l'économie aussi bien provinciale que nationale, notamment:

- La fuite des devises vers l'extérieur;
- La perte des recettes fiscales, notamment pour l'ONAPAC qui manque de ressources financières pour assurer sa mission principale, celle de l'encadrement des producteurs;
- L'iniquité pour les entreprises qui s'acquittent de leurs obligations fiscales;
- La désorganisation de la filière café, notamment de réunir des volumes conséquents pour assurer la promotion du café congolais sur le marché mondial

Il est également important de signaler que parmi les contraintes qui ont entraîné la chute drastique dans la production du café, ainsi que d'autres cultures industrielles, il y a (i) la « zaïrianisation » qui a fortement amoindri les capacités techniques et managériales du secteur, mais aussi (ii) des conflits ayant affecté les différentes zones de production. Comme conséquence, le pays a assisté la disparition des grandes exploitations (mécanisées), entraînant à leur tour celle des petits exploitants familiaux dont l'accès aux marchés et aux services en dépendaient.

2.8.2.3 COMMERCIALISATION ET TAXATION DU CAFÉ

La commercialisation du café congolais se fait *via* deux principaux réseaux, à savoir le réseau informel et le réseau formel.

1. Le réseau informel/de contrebande par lequel les petits exploitants vendent leurs produits dépulés et/ou séchés manuellement à des intermédiaires et des agents qui livrent à leur tour le parchemin/cerises séchées aux acheteurs des pays voisins (particulièrement le Rwanda et l'Ouganda), et
2. Le réseau formel qui est le circuit de commercialisation officiel avec quelques exportateurs confrontés à des pressions du réseau informel qui opère en dehors du système fiscal officiel. En conséquence, la capacité des exportateurs formels à générer des bénéfices et à les réinvestir dans le secteur est réduite

En 2014, ELAN/RDC, à travers une étude effectuée sur la taxation des exportations du café arabica, les différentes parties prenantes du café suggéraient que la structure des coûts des exportateurs de café était telle que plusieurs niveaux de taxation (formelle et informelle), le transport/accès coûteux aux ports et des coûts fixes et généraux relativement élevés entravaient la croissance des exportations. La baisse continue des prix du café sur le marché mondial ne fait qu'aggraver la situation. En outre, les exportateurs formels subissent des pressions importantes de la part des commerçants/exportateurs informels qui ne paient pas les taxes, prélèvements et redevances requis.

De ce fait, les résultats de cette étude sur le terrain suggèrent qu'environ un quart (26%) des coûts de livraison des café verts Arabica au marché soient associés à l'administration des exportations (8% du total), au transport vers le port (8%) et aux frais généraux (10%) (ELAN/RDC, 2014). La figure 3 montre les flux principaux et ceux secondaires du circuit de commercialisation du café arabica.

3 ENVIRONNEMENT SOCIO-ECONOMIQUE DU TERRITOIRE D'IDJWI ET GENERALITE SUR LE CAFE

Dans cette partie, nous allons présenter les aspects liés aux caractéristiques environnementales et socio-économiques du territoire d'Idjwi et donner une généralité sur le café.

3.1 ASPECTS GEOGRAPHIQUES

L'île d'Idjwi, jadis subdivision administrative de la chefferie de Buhavu en territoire de Kalehe, avait été érigée en territoire autonome par l'ordonnance no 078/238 du 29 septembre 1974 portant création de ce territoire. Situé au milieu du lac Kivu à mi-chemin entre la ville de Bukavu et celle de Goma, Idjwi est la plus grande île de la RDC et la deuxième de l'Afrique.

Le territoire d'Idjwi est limité:

- Au nord par le lac Kivu et la ville de Goma,
- Au Sud par le lac Kivu, le Rwanda et le territoire de Kabare,
- À l'est par le lac Kivu et le Rwanda,
- À l'ouest par le lac Kivu et les territoires de Kabare et de Kalehe

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Les données géographiques placent l'île d'Idjwi entre 1°56' et 2°8' de latitude Ouest et entre 28°56' et 29°5' de longitude Est.

CLIMAT, SAISON ET TEMPÉRATURE

Le territoire d'Idjwi connaît un climat tempéré doux et humide avec l'intermittence de deux saisons à savoir: la saison de pluie qui s'étend sur neuf mois environ (de septembre à mai) et la saison sèche qui prend pratiquement 4 mois (de mai jusqu'en août). Les températures moyennes annuelles oscillent autour de 17°C pendant la période la plus froide en saison de pluie et 30° au moment le plus chaud en saison sèche.

TYPE DE SOLE ET VÉGÉTATION

Essentiellement sablonneux dans la partie nord et argileux dans la partie sud. La végétation menacée d'extinction est naturellement arbustive et herbeuse parsemée des forêts secondaires.

RELIEF

Avec une altitude moyenne de 1700 m, le territoire d'Idjwi reste dominé par un relief montagneux dont les monts Muganzo au centre Nord (1.829m d'altitude) et surtout Nyamusisi au centre de l'île, plus haut sommet avec 2300m d'altitude.

HYDROGRAPHIE

Bien que le territoire d'Idjwi soit une île, il possède néanmoins ses propres cours d'eaux à faible débit allant de 1 à 3m³/sec. Parmi les principaux cours d'eaux on trouve: la rivière Tama, Musheke, Kirheme, Cikoma, Mwiri, Kimalamungo, Kisheke, Bikangi, Kishenyi, Yaruhogoma, Bwina et Bukole.

3.2 ASPECTS POLITICO-ADMINISTRATIFS

AU NIVEAU DU TERRITOIRE

Au niveau le plus élevé de l'entité politico-administrative territoriale se trouve l'administrateur de Territoire. Celui-ci est secondé par deux assistants. L'un est chargé de l'administration et des affaires sociales, l'autre s'occupe des finances. A part ces deux administrateurs assistants, l'administrateur de territoire a pour collaborateurs directs le chef de Bureau de territoire, le commandant de la police, le commandant de la force navale, le chef de poste de l'ANR, deux chefs de postes d'encadrement administratif et les deux chefs de collectivités lesquels forment le conseil de sécurité de territoire. Il y a deux chefs de collectivités dans le territoire d'Idjwi: Le chef de collectivité Rubenga au Nord et le Chef de collectivité Ntambuka au Sud. Le chef-lieu du territoire se trouve à Bugarula dans la partie Nord. Le chef de Bureau contrôle le fonctionnement de tous les services administratifs de l'Etat œuvrant dans le territoire sous la responsabilité de l'Administrateur de territoire. Il a pour collaborateurs immédiats tous les chefs de services administratifs du territoire. L'administrateur de ce territoire est aussi le Juge-Président du tribunal de territoire dans lequel siègent quatre juges désignés par les deux chefferies. A ceux-ci il faut ajouter le greffier.

AU NIVEAU DE LA COLLECTIVITÉ

Au niveau de chaque collectivité, le Mwami: chef coutumier est également le chef de collectivité. L'influence des chefs de collectivités est très grande. Elle s'exerce non seulement au niveau territorial mais aussi au niveau provincial et national. Il a sous ses ordres le secrétaire

de collectivité, le Comptable, le préposé de l'Etat-civil, les chefs des groupements et tous les chefs des services administratifs de l'Etat œuvrant au niveau de la collectivité. Il existe trois chefs des groupements dans chacune de deux collectivités d'Idjwi. Le secrétaire de collectivité et le comptable contresignent avec le chef de collectivité toute disposition financière engageant l'entité. Le chef de collectivité est aussi le Juge-Président du tribunal principal dans lequel il siège avec quatre juges et un greffier.

AU NIVEAU DU GROUPEMENT

Le chef de groupement est l'autorité suprême du groupement. Il a pour collaborateurs directs: le secrétaire de groupement, le recenseur, les chefs des villages ou localités) et tous les chefs des services de l'Etat affectés dans le groupement. Il est le juge-président du tribunal secondaire du groupement dans lequel siège quatre juges et un greffier.

AU NIVEAU DES VILLAGES (LOCALITES)

Le village est dirigé par un chef de village. Ce dernier a pour collaborateurs directs: un secrétaire, les chefs des quartiers et quelques sages (ou Bashamuka). Dans chaque village, on trouve aussi un comité de base composée du chef de village, du secrétaire et des Bashamuka ou sage. Ce comité est une structure locale qui œuvre pour la résolution pacifique des conflits entre les habitants du village. Il existe à Idjwi d'autres structures de résolution pacifique des conflits. Les conflits qui persistent ou qui dépassent leur compétence sont transférés au niveau de groupement.

Pour une bonne administration des villages, ceux-ci ont été divisés en quartiers. Ceux-ci sont dirigés par des chefs des quartiers. Lorsqu'un problème survient dans les quartiers, ils s'efforcent d'y trouver une solution pacifique en se faisant assister de quelques habitants qu'on peut trouver, on transfère le cas au comité de base du village, lequel essaie de le résoudre pacifiquement. Dans le cas où le conflit persiste, le chef de village peut transférer le cas au chef de groupement. En principe, celui-ci tente de le régler pacifiquement, sinon, il l'oriente au tribunal secondaire.

Comme partout au Congo, le mode d'accès à la direction des instances locales de décision, c'est la désignation par la hiérarchie supérieure. Cependant, les chefs des collectivités et quelques chefs des localités passent au pouvoir par succession ou transmission de père à fils. L'Administrateur de territoire est désigné par le gouverneur de Province; les chefs des groupements et des localités ou villages sont désignés par les chefs des collectivités chefferies ou Mwami.

3.3 ASPECTS ECONOMIQUES

PARTICULARITÉS ET RICHESSES DU TERRITOIRE

Départ sa position géographique, Idjwi se singularise de tous les autres territoires du fait qu'il soit entièrement isolé par les eaux. Ce territoire reste donc la seule île interne de la RDC. Ainsi, contrairement à d'autres territoires accessibles par voie routière, c'est seulement par voie lacustre qu'on accède à Idjwi.

Du point de vue des habitants, Idjwi est l'un des territoires où l'on trouve les pygmées. Ceux-ci semblent être les premiers occupants de l'île et se retrouvent dans toutes les deux chefferies mais beaucoup plus dans la chefferie Rubenga où ils sont encadrés par le chef coutumier dans ses activités agricoles.

QUELQUES RICHESSES

- L'existence des ressources naturelles comme les minerais et le sable
- Le positionnement de ce territoire dans les eaux favorise la pêche
- Le sol argilo-sablonneux permet la production des briques et des ananas et du café

LANGUES PARLÉES DANS CE TERRITOIRE

- Kihavu (98%)
- Swahili (95%)

Le Kihavu est la langue vernaculaire d'Idjwi. En effet, les différentes couches qui composent le territoire d'Idjwi comprennent les Bahavus en grande partie parlant tous couramment le Kihavu. C'est seulement une poignée de personnes venues d'autres territoires qui ne parlent pas cette langue. Le swahili est la langue de contact entre les autochtones et les populations urbaines.

PRINCIPALES ACTIVITÉS

- Agriculture (90%)
- Petit commerce (5%)

- Pêche (3%)
- Elevage (2%)

L'agriculture vivrière est pratiquée par la quasi-totalité de la population d'Idjwi. Le manioc, le haricot, l'ananas et le café sont les principaux produits agricoles. Il existe une vaste plantation qui occupe à elle seule presque le tiers des terres arables du territoire d'Idjwi appartenant à la famille BISENGIMANA spécialisé dans les cultures industrielles notamment le quinquina et le café.

Le petit commerce est la deuxième activité à Idjwi. Les produits agricoles ainsi que certains produits manufacturés venus d'autres territoires font l'objet du petit commerce à Idjwi. La pêche demeure au stade artisanal compte tenu de techniques utilisées. Le fretin (sambaza) est le produit phare issu de la pêche à Idjwi et constitue un aliment de base consommé durant toute l'année dans l'ensemble de ce territoire.

L'élevage du petit bétail et de la volaille y sont plus pratiqués. Celui du gros bétail est désintéressé par manque de pâturage. En effet, étant donné la surpopulation de l'île et la rareté des terres cultivables, les anciens pâturages ont été transformés en champs de cultures vivrières.

Le territoire d'Idjwi possède plusieurs potentialités pouvant permettre son développement économique. Ainsi, plusieurs domaines peuvent être exploités pour arriver à développer ce territoire:

L'AGRICULTURE ET LA CRÉATION DES COOPÉRATIVES AGRICOLES

AGRICULTURE

Dans les décennies passées, les cultures de bananes et de maniocs étaient le poumon économique d'Idjwi. Ces cultures ont été frappées respectivement par le wilt bactérien et la mosaïque africaine qui ont décimé le potentiel productif de ce territoire. Ainsi, la production d'Idjwi a sensiblement baissé à tel point que ce territoire qui était un grand exportateur de ces produits en importe actuellement à certaines périodes. Dans cette situation, il est nécessaire d'entreprendre des méthodes modernes de production pour arriver à juguler cette crise et booster la production agricole à Idjwi. Dans ce contexte, la présence des associations locales des cultivateurs appuyées par le gouvernement permettraient de faire une large sensibilisation sur les méthodes modernes de production et permettraient même aux cultivateurs d'avoir accès aux semences améliorées. Soulignons que quelques ONG locales tentent d'intervenir pour accroître la production de ces produits à Idjwi mais leur action reste à faible portée et ne couvre qu'une petite portion de la population. L'implication des grands acteurs et particulièrement du gouvernement serait un atout pour la réussite de cette mission.

Les coopératives agricoles sont rares à Idjwi. En se regroupant en coopérative, les agriculteurs d'Idjwi peuvent améliorer leurs conditions de production et accroître ainsi leur production agricole. En outre, ces coopératives peuvent disposer des hangars pour le stockage des produits agricoles et arriver à faire un bon écoulement de ces produits. Ceci lutterait contre la fluctuation des prix des produits agricoles et surtout la rareté de ces produits lors des périodes de soudure.

ENERGIE

L'accès à l'énergie est un prérequis impérieux au développement économique dans toute entité. Jusqu'à l'heure actuelle, le courant électrique est totalement absent dans le territoire d'Idjwi. Ceci constitue un frein au développement de ce territoire. En effet, en l'absence d'énergie à Idjwi, il est impossible d'y implanter les entreprises industrielles ou semi-industrielles qui peuvent exercer une emprise significative sur le développement de ce territoire. Ainsi, si ce territoire parvient à avoir accès au courant électrique de la SNEL, les opérateurs économiques peuvent être incités à créer des petites industries qui peuvent contribuer non seulement à réduire le chômage en embauchant les travailleurs mais aussi assurer la production locale de certains biens qu'on importait qui couleraient alors moins cher une fois produits localement.

CRÉATION DES PETITES ET MOYENNES INDUSTRIES MODERNES

Dans le territoire d'Idjwi on trouve un sol sablo-argileux. De ce fait, ce territoire a un grand potentiel de production des briques. A Idjwi, les personnes qui veulent construire des maisons fabriquent généralement leurs propres briques. Au lieu d'en rester à ce stade, il est possible de développer des briqueteries modernes dans ce territoire afin de produire des briques d'une meilleure qualité qui pourront être revendus dans les territoires voisins.

Le territoire d'Idjwi reste un grand producteur des fruits et particulièrement de l'ananas car il est actuellement le seul territoire à en produire au Sud-Kivu. Etant donné que ces fruits y sont produits en grande quantité, la création des entreprises industrielles ou semi-industrielles qui transformeraient ces fruits en jus et en boisson permettraient non seulement d'embaucher les travailleurs à Idjwi et réduire ainsi le chômage mais aussi cela accroîtrait les revenus des habitants car ce jus pourra être acheminé à Bukavu et à Goma et remplacerait alors les jus importés.

EXPLOITATION DE SABLE ET EXPLOITATION MINIÈRE

Le territoire d'Idjwi dispose du sable extrait sur certaines plages. En outre, la présence des minerais comme la cassitérite et le coltan est aussi remarquable à Idjwi. Une bonne exploitation de ce sable et minerais créerait de l'emploi à plusieurs jeunes et augmenterait le revenu de la population d'Idjwi.

LA PÊCHE

Entouré par le lac Kivu, le territoire d'Idjwi est un milieu propice à la pêche. La pêche du lac Kivu repose essentiellement sur l'exploitation de la sardine appelée « sambaza » mais aussi d'autres espèces notamment le goujon, le tilapia. Toutefois, cette pêche demeure au stade artisanal à Idjwi. Son rendement est faible à cause de techniques et outils traditionnels utilisés. Si cette pêche dépasse le stade artisanal et en présence des méthodes modernes de conservation des poissons et des fretins, ceci permettrait de faire une grande production des espèces aquatiques et accroîtrait ainsi le revenu de la population.

3.3.1 CULTURES

Principales cultures pratiquées sont:

- Les légumineuses: haricot, soja, arachide, petit pois;
- Les céréales: maïs et sorgho;
- Les tubercules: manioc, patate douce, igname, colocases;
- Les cultures industrielles: le quinquina, le café

L'île d'Idjwi est le premier producteur d'ananas au Sud-Kivu, peut-être même en RDC. Les ananas produits par le sol d'Idjwi sont très sucrés et grands. Dans la culture vivrière et maraîchère de l'Idjwi, il faut noter comme production agricole les haricots, la banane (e kidôke) et la patate douce, le petit pois (e jêri), la courge (o mûngu), l'arachide (akaranga), le sorgho (amahemba) le manioc doux et amer (o mumbarhi), l'igname (e kiriga), la colocase (e kifunu), l'aubergine (e ntolya), la pomme de terre (e kirayi), les amarantes,...

TYPES DES PRODUITS AGRICOLES CULTIVÉS DANS LE TERRITOIRE D'IDJWI

Le manioc est le produit agricole phare d'Idjwi et constitue donc le poumon économique de ce territoire. Il est produit dans toutes les deux chefferies et dans les six groupements de l'île. Sa plantation se fait généralement en septembre ou en février et la récolte intervient après une année. Soulignons que cette production est en perte de vitesse depuis les années 2010 suite à la présence de la mosaïque africaine mal contrôlée dans l'entité. A Idjwi, le manioc est plus consommé sous forme de « fufufu » et quelque fois sous forme de tubercule bouilli. Une bonne partie des maniocs est revendue dans les territoires voisins et plus particulièrement dans la ville de Bukavu.

Le haricot est aussi produit dans les deux chefferies et sa consommation n'est que locale. Consommé durant toute l'année, le plus souvent avec les bananes plantains pour plusieurs ménages et le riz ou le fufufu pour d'autres, le haricot représente un aliment de base à Idjwi.

Le café étant une culture industrielle, elle est produite mais n'est pas consommée localement. Cette production est exportée en grande partie vers le Rwanda. Avec la S. CPNCK (La Société Coopérative des Producteurs Novateurs du Café au Kivu) qui essaie d'encadrer et d'assister les planteurs du café par l'implantation des Micro-stations de lavage du café (MSLC), la production du café semble prendre de l'ampleur ces dernières années et cette coopérative parvient même à exporter en Europe le café qu'elle achète auprès de ses membres.

Actuellement, Idjwi est le seul producteur d'ananas dans la province du Sud-Kivu. Ce territoire produit les ananas d'une très bonne qualité qui sont consommés en tant que tels comme fruits soit utilisés pour fabriquer les vins et les jus. La grande quantité est revendue dans la ville de Bukavu et de Goma ainsi que dans d'autres territoires voisins.

3.3.2 ÉLEVAGE

Parlant de l'élevage, l'on suppose non seulement celui du gros et petit bétail mais aussi de la volaille. L'île d'Idjwi se caractérise par une faible présence du gros bétail et développe plutôt l'élevage du petit bétail et de la volaille surtout celui du dindon.

Le type d'élevage pratiqué est en grande partie de type traditionnel caractérisé par la divagation des bêtes. Cette pratique est constamment source des conflits entre agriculteurs et éleveurs.

La rareté des espaces pâturables et l'exiguïté de l'espace vitale subséquente à l'essor démographique sont les causes profondes des conflits précités.

L'instauration de l'élevage en stabulation aiderait la communauté non seulement à mitiger ces conflits sociaux mais aussi à fournir aux petits producteurs l'engrais organique nécessaire à la fertilisation de leurs exploitations agricoles.

L'élevage en stabulation permet de lutte contre les maladies du bétail, les divers autres parasites et de promouvoir l'éducation scolaire des petits enfants souvent utilisés comme bergers/bouvier

L'élevage du dindon constitue une source indéniable des revenus pour les ménages d'Idjwi.

3.3.3 LE COMMERCE

La population exerce des activités de petit commerce entre les villes de Goma et Bukavu tandis qu'il se développe un commerce transfrontalier très florissant entre Idjwi et la Rwanda d'où l'on importe les produits manufacturés de première nécessité ainsi que les produits agricoles (légumes), d'élevage (petit et gros bétail et la volaille) et des produits de pêche. Le petit commerce se faisant par des petites pirogues motorisées ou à rame constitue un danger permanent pour les opérateurs économiques qui sont souvent victimes des attaques nocturnes et accusés de violer les limites avec le voisin. Ceci est d'autant plus compliqué suite à l'ignorance de la frontière liquide par ces opérateurs.

Un nombre important des boutiques de ventes d'articles divers et des buvettes sont actives à Idjwi tandis que des petits marchands opèrent dans les carrés miniers basés en groupement de Kihumba. La plupart des exploitants artisanaux des minerais vendent leurs produits au Rwanda.

De manière générale, Idjwi exporte essentiellement le sable, les produits agricoles et le charbon de bois vers les villes de Bukavu et Goma ainsi que vers les territoires voisins de Kabare et Kalehe. Toutes ces importations et exportations se font par pirogues motorisées et/ou par bateau. L'île d'Idjwi dispose des quais construits grâce au fonds allemands. Les surcharges des pirogues et la méconnaissance des normes en matière de navigation seraient les causes profondes des cas d'accidents enregistrés sur le lac Kivu.

L'isolement d'Idjwi, le faible esprit d'initiative et/ou d'entreprise, la faible présence des institutions financières ainsi que la rareté d'infrastructures de base telles que les dépôts, entrepôts et parkings sont autant de défis auxquels l'île d'Idjwi fait face.

3.4 LE TOURISME

Le territoire d'Idjwi fait partie des milieux touristiques par excellence compte tenu de son pâturage et de son emplacement dans les eaux. Non seulement la grande île peut faire l'objet du tourisme mais aussi les différents îlots environnant les parties nord et sud de l'île. En outre, des plages naturelles sablonneuses mais non entretenues sont remarquables tout au long de l'île d'Idjwi (plage Maganga, la plage shayo, la plage Kishenyi, etc.).

Aucune plage artificielle n'est érigée sur toutes les rives de l'île. Nous ne pouvons remarquer que trois hôtels de luxe à Idjwi: CONGOMANI Guest house, hôtel BALAMAGE et E HOPLAND Guest house. Idjwi regorge une seule réserve naturelle « Nyamussissi ». Mais, l'explosion démographique a provoqué la déforestation totale cette réserve naturelle dangereusement menacée de sa disparition. Sa faune est en extermination alors qu'on y trouvait certaines espèces rares telles que: le léopard, le Singe et le chacal. Cette réserve ne regorge actuellement que quelques singes. Bien d'autres endroits comme la crotte Nyamuizimya, la résidence prince de ligne et la colline Nyamusisi peuvent faire l'objet du tourisme à Idjwi.

DÉVELOPPEMENT DU TOURISME

Le tourisme est une activité à promouvoir à Idjwi. En effet, le simple fait que ce territoire soit la plus grande île de la RDC et la deuxième en Afrique est un facteur qui y attire plusieurs touristes. En outre, ce territoire dispose d'un beau paysage, comporte plusieurs îlots situés dans le lac Kivu, plusieurs plages naturelles ainsi que plusieurs autres sites touristiques mais qui demeurent encore non aménagés. Ainsi, il est impérieux de valoriser tous ces espaces et d'aménager tous ces sites de façon à attirer les touristes vers ce territoire. La création d'une association s'occupant du tourisme serait le moyen le plus efficace d'arriver à valoriser ce secteur à Idjwi. Cette association assurera le suivi de l'aménagement des sites touristiques et devra alors promouvoir la publicité des différents lieux pouvant faire l'objet du tourisme.

3.5 SITUATION SANITAIRE

Le territoire d'Idjwi compte une seule zone de santé. La zone de santé rurale d'Idjwi comprend un hôpital général de Référence « Monvu », 3 centres hospitaliers ainsi que 21 centres de santé. L'hôpital général de référence de MONVU est situé au sud de l'île dans le groupement Mpene (chefferie Ntambuka). Créé depuis l'époque coloniale (en l'année 1958) par FBI (Fond du Bien être Indigène Belge), cet hôpital est actuellement sous la gestion de l'Archidiocèse de Bukavu par l'entremise de son département médical BDOM (Bureau Diocésain des Œuvres médicales).

L'hôpital de Monvu dispose des infrastructures modernes en bon état qui sont réhabilitées et entretenues en permanence par le BDOM. A son sein, on organise tous les services traditionnels (Médecine interne, pédiatrie, chirurgie, gynécologie, maternité) ainsi que plusieurs autres services spécialisés (laboratoire, dentisterie, imagerie, soins intensifs, néonatalogie etc.). Les services spécialisés organisés à cet hôpital fonctionnent en minima étant donné que les matériels et équipements médicaux ne sont pas au grand complet mais aussi par manque de

médecins spécialistes dans ces services. 4 médecins et 21 infirmiers travaillent à l'hôpital de MONVU. Cet hôpital a une capacité d'accueil de 158 lits budgétaires parmi lesquels 97 lits seulement sont installés.

Les trois centres hospitaliers « Bugarula, Kihumba et Katonda » sont tous situés dans la partie nord du territoire. Ils fournissent également tous services traditionnels et seulement quelques services spécialisés comme la tuberculose et la prise en charge du SIDA. Quant aux centres de santé, ils ne se limitent qu'à offrir un paquet minimum d'activités sanitaires (curatif, préventif, promotionnel, maternité). En moyenne, 2 médecins qui sont tous des généralistes et 16 infirmiers travaillent dans les centres hospitaliers alors que chaque centre de santé ne fonctionne en moyenne qu'avec 5 infirmiers sans aucun médecin. Ces centres hospitaliers disposent d'une capacité moyenne d'accueil de 82 lits chacun alors que les centres de santé ont une capacité moyenne de 8 lits.

Comme tous les centres hospitaliers sont situés dans la partie nord de l'île, les habitants d'Idjwi sud parcourent généralement plusieurs kilomètres à pieds ou à moto pour atteindre l'hôpital. La plupart de centres de santé ne sont pas dotés en équipements et matériels médicaux nécessaires pour offrir des soins de qualité et n'intègrent pas un paquet complet d'activité de soin de santé. De ce fait, tous les cas graves des maladies au sein des centres de santé sont transférés soit dans les centres hospitaliers soit à l'hôpital de Monvu. Sur don du gouvernement via le projet PESS (programme d'équipement des structures sanitaires), l'hôpital de Monvu a bénéficié d'une ambulance pour assurer les transferts des malades de différents centres de santé vers l'hôpital.

En général, les structures sanitaires d'Idjwi se trouvent dans un état moyennement bon et offrent un minimum des conditions d'accueil pour les malades mais elles ne respectent pas l'ensemble des normes d'infrastructures et d'équipements sanitaires.

MALADIES LES PLUS RÉCURRENTES

- Paludisme (50%)
- Infections respiratoires aiguës (30%)
- Infection uro-génitales/IST (8 %)
- Maladies diarrhéiques (7%)
- Autres (5%)

Le paludisme reste la maladie la plus répandue dans le territoire d'Idjwi. On peut constater qu'une bonne partie des malades qui se trouvent dans chaque structure sanitaire d'Idjwi souffrent du paludisme. En outre, les infections respiratoires et les maladies diarrhéiques sont observées beaucoup plus pour les enfants à Idjwi.

3.6 ASPECTS SOCIO-CULTURELS

Organisation socio-culturelle: Le territoire d'Idjwi ne compte qu'une seule grande tribu: les Bahavus (95%). En outre, on y trouve quelques pygmées et rwandais qui y vivent. Généralement, il n'y a pas de conflits majeurs entre ces différentes couches de la population. Ils sont regroupés en deux royautes souveraines dirigées par un Mwami (au niveau de chefferie).

Les habitants d'Idjwi sont essentiellement des cultivateurs. L'agriculture de subsistance est pratiquée par la quasi-totalité de la population. Généralement, pour les Bahavu, il appartient à l'homme de labourer les champs et à la femme de semer, de sarcler, de récolter, de vendre les produits au marché local et remettre l'argent à l'homme qui en décide la répartition.

Pour les mariages à Idjwi, de façon formelle, la famille du garçon remet généralement la dot à la famille de la fille. Cette dot est exprimée sous forme de vache. On fait habituellement le mariage coutumier au territoire ou à la chefferie et le mariage religieux à l'église mais plusieurs personnes ne pratiquent pas cette voie formelle et font le mariage par rapt. A Idjwi, on observe beaucoup des mariages précoces. La nuptialité est prononcée chez les jeunes d'Idjwi de moins de 18 ans.

Dans la culture des Bahavu, l'enfant est un signe de force, de pouvoir et de richesse. Pour eux, il faut avoir autant d'enfant que le bon Dieu voudra. Ainsi, on observe une forte natalité dans les mœurs de la population d'Idjwi. Le système de planification familiale et d'espacement des naissances n'est pas observé à Idjwi malgré quelques sensibilisations de certaines organisations et des églises.

3.7 L'ÉDUCATION

Le territoire d'Idjwi compte 311 écoles dont 203 écoles primaires et 108 écoles secondaires. La chefferie Ntambuka en comprend 180 alors que la chefferie Rubenga en compte 131. Les écoles primaires présentent un effectif total de 52594 élèves répartis dans 1312 classes et les écoles secondaires comptent 15768 élèves répartis dans 618 classes. La plupart d'écoles qui existent sont dans un état de délabrement, construites soit en boue soit en briques adobe. La qualité de l'enseignement est plus élevée dans les écoles primaires étant donné que les enseignants du primaire sont qualifiés en grande partie alors qu'on trouve un bon nombre d'enseignants sous qualifiés au secondaire.

A Idjwi il n'y a qu'une seule université (Université Laïc) ainsi qu'un institut supérieur (ISP Idjwi). Créé en 2008, l'ISP Idjwi se trouve dans le secteur Ntambuka. Il fonctionne les après-midis dans l'enceinte d'une école secondaire (Ziwakivu) d'autant plus qu'il ne dispose pas encore de ses propres bâtiments. Les autorités académiques de cette institution ont entrepris la construction des bâtiments sur fonds propres et à

l'heure actuelle 5 locaux sont achevés mais ne sont pas encore équipés pour être opérationnels. Au sein de cette institution, on organise – filières (mathématiques, français, anglais, biologie; sciences commerciales et administratives, Histoire et sciences sociales) uniquement dans le premier cycle. Cette institution compte 122 étudiants et enregistre en moyenne 52 nouveaux inscrits chaque année. 6 professeurs (1 seul permanent et 5 visiteurs) et 26 assistants prestent à cette institution.

L'UNILAI est une université privée créée en 2006 par monsieur Ngwende et située dans la chefferie Rubenga. Cette institution organise quatre filières dans le premier et le second cycle dont: la psychologie et science de l'éducation, l'hydraulique, la santé publique ainsi que les sciences appliquées. Elle dispose de ses propres bâtiments construits depuis sa création et qui se trouvent encore en bon état. L'UNILAI compte actuellement 239 étudiants avec une moyenne de 93 nouveaux inscrits chaque année. 10 professeurs (parmi lesquels 1 propre à l'institution et 6 visiteurs), 36 assistants et 8 chefs de travaux prestent à cette université.

3.8 ASPECT DEMOGRAPHIQUE

En 2016, l'effectif total de la population de la Chefferie Rubenga était estimé à 118611 habitants sur une superficie de 124 km², soit une densité moyenne de 956,5 habitants par km². Avec un taux d'accroissement démographique annuel de 1,4 %, cette population sera de 135217 habitants d'ici une dizaine d'ans, d'où une densité moyenne de 1090,5 habitants/km².

L'effectif de la population est quasi également réparti entre les trois groupements, soit respectivement 34,3 % pour Bunyakiri, 33,3 % pour Kihumba et 32,4 % pour Bugarula. La population étrangère, constituée essentiellement des Rwandais, représente 0,5 % de l'effectif total. Dans les groupements de Kihumba et de Bugarula, cet effectif de la population étrangère représente 0,5 % alors qu'il est de 0,4 % dans le groupement Bunyakiri.

Par rapport à la répartition de la population par sexe en 2016, il a été noté que l'effectif de femmes est légèrement plus important que celui d'hommes, soit 52,2 % contre 47,8 %. Ce constat est le même dans les trois groupements.

La population de la Chefferie Rubenga est majoritairement jeune. La catégorie de la population qui a moins de 20 ans représente 72,5 % et la catégorie de ceux qui ont plus de 64 ans représente 6 %. Ceci montre bien que le rapport de dépendance selon l'âge est théoriquement très important. En d'autres termes 21,5 % la population sont censés prendre en charge 78,5 % de la population totale.

3.9 METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Ainsi, la méthodologie peut se définir comme étant l'étude du bon usage des matériels et outils, méthodes et techniques

Pour atteindre notre objectif, nous avons utilisé les méthodes et techniques suivantes

3.9.1 METHODES

D'une manière globale, cette recherche veut faire une étude de rendement du café dans le territoire d'Idjwi.

La combinaison de trois méthodes et trois techniques de collecte de données nous a poussés dans le cadre de cette étude à utiliser la vérification de nos hypothèses.

Pour ce faire, nous avons fait recours à la:

3.9.1.1 MÉTHODE ANALYTIQUE

Cette méthode nous a permis d'analyser les données relatives aux coûts et les productions prises en compte par les cultivateurs de notre milieu d'étude.

3.9.1.2 MÉTHODE STATISTIQUE

Cette méthode nous a permis de représenter les données sous forme de tableaux ou de graphiques et les interpréter.

3.9.2 TECHNIQUES

La technique est définie comme un ensemble des moyens et des procédés qui permettent au chercheur de rassembler les données et les informations sur le sujet de recherche.

Dans le cadre de ce travail, nous avons recourus aux techniques suivantes:

3.9.2.1 TECHNIQUE DOCUMENTAIRE

Elle nous a permis de recueillir des informations tirées de la compilation sélective de différents ouvrages et publications ayant trait à notre étude. Elle nous a été utile aussi dans la récolte des données secondaires qui ont été constituées par les archives et rapports du territoire Idjwi ainsi que certains travaux en ligne.

3.9.2.2 TECHNIQUE D'INTERVIEW DIRECTE OU D'ENTRETIEN

Elle nous a permis de nous entretenir avec nos enquêtés dans le cas où certaines questions paraissaient difficiles à comprendre. Mais également, elle nous a permis d'être en contact direct à des discussions ouvertes avec les caféiculteurs.

Précisons ici que ce guide d'interview a été proposée à nos enquêtés qui ne savent pas lire ni écrire.

3.9.2.3 TECHNIQUE D'ENQUÊTE PAR QUESTIONNAIRE

Cette technique nous a permis de récolter les données auprès de cultivateurs de café dont nous avons ciblé le territoire d'Idjwi pour ce faire. Dans la page suivante, nous présentons le chapitre portant sur l'analyse du rendement de la culture du café.

MILIEU D'ETUDES



Fig. 4. Territoires, collectivités et principales villes du Sud-Kivu

3.9.3 PRÉSENTATION DE L'ENQUÊTE

Notre enquête a été effectuée dans le territoire d'Idjwi, plus particulièrement dans la Chefferie RUBENGA et poursuit comme objectif général de déterminer le rendement agricole du café et monter son impact sur le plan socio-économique.

3.9.4 ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage est la méthode utilisée pour tirer un échantillon. Nous avons administré une série des questions à nos enquêtés et les réponses issues de ces différentes questions, nous permettrons de prendre une décision dans le cadre de notre travail. Selon LUNCH, l'échantillon est défini comme étant « le nombre limité d'individus, d'objectifs, d'éléments dont l'observation permet de tirer des conclusions applicables à toute la population dans laquelle le choix a été effectué. » La méthode utilisée pour tirer notre échantillon est celle non probabiliste basée sur un sondage de commodité à échantillon accidentel.

3.9.5 DETERMINATION DE LA TAILLE DE L'ECHANTILLON

La taille de notre échantillon était déterminée par la formule suivante:

$$n = \frac{Z^2 \alpha \cdot N \cdot P \cdot (1-P)}{\epsilon^2 \cdot (N-1) + Z^2 \alpha \cdot P \cdot (1-P)}$$

Avec n= taille de l'échantillon

Z : Valeur de la distribution normale au seuil $\alpha=1,96$

α = intervalle de confiance ou seuil de risque (5%)

ϵ =niveau de précision voulu par le chercheur: 10%

P= proportion d'obtenir un bon échantillon qui est égale à 50%

(1-P) = proportion d'obtenir un échantillon médiocre

N= population totale ou nombre total des caféiculteurs reconnus à Idjwi.

4 PRESENTATION DES RESULTATS

Sachant que la population totale des caféiculteurs reconnus à Idjwi est connue soit de 2388 des caféiculteurs la taille est:

$$n = \frac{(1,96)^2 \times 21142 \times 0,5 \times (1-0,5)}{(0,1)^2 \times (2388-1) + (1,96)^2 \times 0,5 \times (1-0,5)}$$

$$n = \frac{20304,7768}{(0,01 \times 2387) + 0,9604} = \frac{2293,4353}{23,020788} = 99,6 \text{ soit } 100$$

De ce qui précède, la taille de l'échantillon est de 100 caféiculteurs.

4.1.1 PRESENTATION DES DONNEES ET INTERPRETATION DES RESULTATS

La population cible de notre recherche est constituée par les agriculteurs évoluant dans le fier café à Idjwi.

Une fois les données rassemblées, il revient de les analyser. Toutes les données récoltées ont été résumées sous forme de tableaux. Etant donné la nature de nos questions, le dépouillement des protocoles s'est fait par la technique du pointage des occurrences après codification selon un mode numérique hiérarchique en fonction de la nature des questions. Le traitement était fait sur les logiciels SPSS 25 et les résultats étaient transformés en pourcentage pour une meilleure analyse et interprétation de ceux-ci.

4.1.1.1 LES ANALYSES UNIVARIEES

Tableau 2. Sexe de l'enquêté

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	FEMININ	33	33,0	33,0
	MASCULIN	67	67,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Dans le tableau ci-haut, nous remarquons que les hommes constituent la majorité des caféiculteurs soit 67% contre 33% des femmes. D'où, dans le territoire d'Idjwi, de nombreux hommes d'adonnent à la culture du caté que les femmes.

Tableau 3. Age de l'enquêté

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	DE 15 A 25ANS	4	4,0	4,0
	DE 26 A 35ANS	32	32,0	36,0
	DE 36 A 45ANS	35	35,0	71,0
	46ANS ET PLUS	29	29,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Ici, nous avons les informations relatives à l'âge de nos enquêtés. Ainsi, 35% de nos répondants étant le score élevé ont l'âge compris entre 36 et 45ans, suivi de ceux dont l'âge varie de 26 et 35ans soit 32%, pour ceux dont l'âge se situe dans l'intervalle de 46ans et plus 29% et à fin, 4% de nos enquêtés se retrouvent entre 15 à 25ans.

Tableau 4. Etat-Civil de l'enquêté

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	CELIBATAIRE	4	4,0	4,0
	MARIE	85	85,0	89,0
	VEUF	11	11,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Le tableau ci-après, nous renseigne sur l'Etat-civil de nos enquêtés. Il ressort de ce dernier que 85% de nos enquêtés sont des mariés, 11% sont des veufs (e), et 4% des célibataires. Visiblement, nous pouvons dire que la caféiculture est une activité qui encadre beaucoup des mariés dans le territoire d'Idjwi.

Tableau 5. Niveau d'Etude de l'enquêté

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	PRIMAIRE	48	48,0	48,0
	SECONDAIRE	44	44,0	92,0
	UNIVERSITAIRE	8	8,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Les informations sur le niveau d'étude de nos enquêteurs révèlent que 48% ont un niveau d'étude élémentaire soit du primaire, contre 44% de niveau secondaire et 8% de niveau supérieur. Ce qui peut nous pousser à dire que la majorité des caféiculteurs d'Idjwi n'ont pas beaucoup étudié.

Tableau 6. Taille de ménage de l'enquêté

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	1 A 2 PERSONNES	2	2,0	2,0
	3 A 5 PERSONNES	23	23,0	25,0
	6 A 15 PERSONNES	62	62,0	87,0
	PLUS DE 15 PERSONNES	13	13,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Les données sur la taille de ménage de nos enquêtés nous montrent que 62% ont entre 6 et 15 personnes dans les ménages, 23% entre 3 et 5 personnes, 13% plus de 15 personnes et 2% entre 1 à 2 personnes dans les ménages. D'où, nous pouvons dire que la caféiculture est une activité très importante pour la survie des nombreux ménages à Idjwi.

Tableau 7. Nombre de hectares cultivé par l'enquêté

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	MOINS DE 1 ha	62	62,0	62,0
	1 A 3 ha	33	33,0	95,0
	PLUS DE 4 ha	5	5,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Les renseignements sur l'espace cultivé par un caféiculteur d'Idjwi montrent que 62% ont moins de 1 hectare contre ceux ayant 1 à 3 hectares et ceux de plus de 4 hectares représentant respectivement 33% et 5%.

Tableau 8. Etes-vous propriétaire de votre champ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	2	2,0	2,0
	OUI	98	98,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Nous avons dans le tableau ci-haut, les informations selon lesquelles 98% de nos répondants sont propriétaires de leurs champs contre 2% qui ne les sont pas.

Tableau 9. Nombre de travailleurs de l'enquêté

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	0	1	1,0	1,0
	ENTRE 1 ET 2	14	14,0	15,0
	ENTRE 3 ET 5	59	59,0	74,0
	ENTRE 6 ET 10	25	25,0	99,0
	ENTRE 11 ET 15	1	1,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Le tableau récapitulatif de nombre des travailleurs, montre que 59% de répondants ont entre 3 et 5 travailleurs, 25% entre 6 et 10 travailleurs, 14% entre 1 et 2 travailleurs, à fin 1% entre 11 et 15 travailleurs.

Tableau 10. Rentabilité de l'activité

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	47	47,0	47,0
	OUI	53	53,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Parlant de la rentabilité dans la filière café, 53% de nos enquêtés disent que l'activité est rentable et 47% contredisent cette affirmation.

Tableau 11. A qui vendez-vous vos produits?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	COOPERATIVE	97	97,0	97,0
	PAYS VOISINS	2	2,0	99,0
	MANAGER	1	1,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Ci-haut, nous avons les informations sur les clients des caféiculteurs d'Idjwi, nous constatons que 97% vendent leurs récoltes aux coopératives, 2% aux pays voisins et 1% aux managers.

Tableau 12. Comment est fixé le prix?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	0	1	1,0	1,0
	VOUS IMPOSEZ VOTRE PRIX	1	1,0	2,0
	ACHETEUR IMPOSE SON PRIX	88	88,0	90,0
	APRES DISCUSSIONS	10	10,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Ci-haut, par rapport à la fixation du prix du café, 88% de répondant disent que les prix sont imposés par les acheteurs, 1% imposent le prix sur marché et 10% fixent le prix après discussions avec l'acheteur.

Tableau 13. Avez-vous d'information à l'avance sur le prix ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	68	68,0	68,0
	OUI	32	32,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Voulant savoir si les caféicultures reçoivent des informations à l'avance sur le prix, le tableau ci-haut montre que 68% disent n'avoir pas d'informations à l'avance sur le prix contre 32% qui l'affirment.

Tableau 14. Avez-vous des problèmes liés à la vente ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	0	1	1,0	1,0
	OUI	62	62,0	63,0
	NON	37	37,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Nous constatons dans le tableau ci-haut que 62% des répondants éprouvent des difficultés liées à la vente de leurs récoltes contre 37%.

Tableau 15. Arrivez-vous à couvrir les dépenses de votre ménage ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	33	33,0	33
	OUI	67	67,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Vue le tableau ci-après, nous remarquons que 67% de nos enquêtés arrivent à couvrir les dépenses ménagères contre 33%.

Tableau 16. Arrivez-vous à Epargner ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	OUI	69	69,0	69,0
	NON	31	31,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Ici, nous avons les résultats sur la capacité d'épargne des caféiculteurs. Il ressort de ce tableau que 69% des répondants sont capables d'épargner et 31 % ne les sont pas. Ce qui constitue un élément important dans une activité, car l'épargne suppose que les revenus dégagent une différence positive après la couverture des dépenses du caféiculteur.

Tableau 17. Arrivez-vous à investir ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	74	74,0	74,0
	OUI	26	26,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Les résultats ci-haut, montrent que même si les caféiculteurs arrivent à épargner, ils ont encore de la peine à investir. D'où 74% disent n'arrivent à investir et 26% y arrivent.

Tableau 18. Bénéficiez-vous d'une formation ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	8	8,0	8,0
	OUI	92	92,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Les informations dans le tableau précédent nous renseignent que 92% bénéficient des formations de la part des différentes structures locales ou étrangères, et 8% n'en bénéficient pas.

Tableau 19. Bénéficiez-vous d'une aide ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	73	73,0	73,0
	OUI	27	27,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Dans le tableau au-dessus, les données montrent que 27% de caféiculteurs bénéficient de l'aide contre 73%.

Tableau 20. Quel type d'aide bénéficiez-vous?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	CREDIT DE CAMPAGNE	20	20,0	76,9
	CREDIT D'EQUIPEMENT	3	3,0	88,5
	CREDIT DE COMMERCIALISATION	3	3,0	96,2
	AUTRES	1	1,0	100,0
	Total	27	27,0	
Manquant	Système	74	74,0	
Total		100	100,0	

Source: nos enquêtes

Dans ce tableau, nous avons les informations selon lesquelles, de 27% des répondants qui bénéficient de l'aide, 20% en bénéficient sous forme de crédit de campagne, 3% sous forme de crédit d'équipement, 3% sous forme de crédit de commercialisation et 1% en bénéficient sous d'autres formes que celles soulevées dans cette rubrique.

Tableau 21. Disposez-vous des terres pour les extensions caféières ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	35	35,0	35,0
	OUI	65	65,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Il ressort dans le tableau ci-après que 65% de caféiculteurs disposent des terres pour extensions caféières contre 35%.

Tableau 22. Facteurs limitant la production du café

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	EXIGUITE DES TERRES	7	7,0	7,0
	MAUVAIS ENTRETIEN	28	28,0	35,0
	LES MALADIES DU CAFE	53	53,0	88,0
	MANQUE DES INTRANTS	3	3,0	91,0
	VIEILLISSEMENT DES PLANTATIONS	9	9,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Le tableau ci-haut montre que parmi des facteurs qui influent négativement sur la production du café, les maladies du café représentent 53%, le mauvais entretien 28%, le vieillissement des plantations 9%, l'exiguïté des terres 7% et manque des intrants 3%.

Tableau 23. Associez-vous le café avec d'autres cultures

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	NON	23	23,0	23,0
	OUI	77	77,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Ci-dessus dans le tableau, nous avons les informations selon lesquelles, 77% des caféiculteurs d'Idjwi associent le café avec d'autres cultures contre 23%.

Tableau 24. Pourquoi associez-vous le café avec d'autres cultures ?

		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Valide	Complément du revenu	37	37,0	37,0
	Entretien des caféiers	6	6,0	43,0
	Survie en période de soudure	57	57,0	100,0
	Total	100	100,0	

Source: nos enquêtes

Le tableau ci-haut présente les résultats sur les raisons de l'association de café avec d'autres cultures. D'où, 57% associent le café avec d'autres cultures pour des raisons de survie en période de soudure, 37% pour le complément du revenu et 6% pour des raisons d'entretien des caféiers.

Tableau 25. Les charges d'exploitation, quantités et prix du café à Idjwi

		Charges d'Exploitation	Quantité produite par saison	Prix par Kg en Fc
N	Valide	100	100	100
	Manquant	0	0	0
	Moyenne	213379,00	625,6600	588,62
	Ecart type	264748,767	867,20170	26,450
	Minimum	31500	45,00	450
	Maximum	1880000	5099,00	600
	Somme	21337900	62566,00	58862

Source: nos enquêtes

Il ressort de ce tableau qu'en moyenne les charges d'exploitation sont de 213.379FC avec des charges maximales de 1.880.000fc et minimales de 315.00fc, la quantité par saison en kg et le prix moyen sont respectivement de 625,66kg et 588,62Fc, avec les maximum et minimum relatifs de 5099kgs, 45kgs et 600FC, 450FC.

4.1.1.2 LES ANALYSES ECONOMETRIQUES

Le modèle théorique qui va nous permettre de vérifier les indicateurs économiques de notre étude tire sa base dans la théorie de l'offre (production); cette dernière étant fruit de la combinaison de plus facteurs notamment le prix, le capital, le travail, la nature et la technologie.

4.1.1.2.1 FORMALISATION DU MODELE

Après un survol des aspects théoriques de l'analyse des déterminants de la production, il reste à tester empiriquement dans le contexte actuel de la filière café à Idjwi, un modèle qui permet d'identifier les variables explicatives, incitatives de la production du café à Idjwi. En nous inspirant de certains modèles économétriques, la variable dépendante étant quantitative, notre modèle de la fonction de production prend la forme suivante:

$$\text{Prod} = \beta_1 + \beta_2 \text{nha} + \beta_3 \text{chaExp} + \beta_4 \text{ntrav} + \beta_5 \text{prix} + \beta_6 \text{clients} + \beta_7 \text{rentb} + \beta_8 \text{fixprix} + \beta_9 \text{infavprix} + \beta_{10} \text{eparg} + \beta_{11} \text{form} + \beta_{12} \text{aid} + U_i$$

Avec: β_1 la constante et $\beta_2, \beta_3, \beta_4$ les coefficients respectifs de différentes variables explicatives appelés paramètres

U_i : le terme d'erreur

Nous allons présenter les caractéristiques de nos variables retenues:

La quantité produite ou la production: est la variable expliquée ou dépendante ou encore endogène

Bénéfice d'une aide, Nombre hectares, A qui vendez-vous (clients), Prix par Kg en Fc, Nombre Travailleur, Charges d'Exploitation, fixation du prix, Bénéfice formation, Rentabilité de l'activité, Information d'avance sur le prix, Epargnersont des variables explicatives ou exogènes ou encore indépendantes.

Donc notre étude a retenu une variable dépendante et 11 variables indépendantes. Dans notre modèle, le signe (+) sous chaque variable explicative indique à priori l'impact attendu de la variable considérée sur La production de café à Idjwi.

4.1.1.2.2 TESTS ET ESTIMATION

Dans le cadre de notre étude, nous allons utiliser l'estimation de la relation du modèle par la méthode des MCO (Moindres Carrés Ordinaires). Soulignons que l'estimation par les MCO permet d'analyser les valeurs prises par le coefficient de détermination R-deux, le coefficient de détermination R-deux ajusté, la statistique T de Student et la statistique F de Fisher.

- Le R-deux permet de tester la significativité globale des variables explicatives. Il montre le rôle joué par l'ensemble des variables exogènes sur l'évolution de la variable endogène. Il est d'autant meilleur qu'il est voisin de 1. Son principal inconvénient est de ne pas tenir compte de nombre d'observations et du nombre de variables explicatives
- La statistique T de Student permet de tester la significativité des paramètres. Il est souhaitable que le T calculé en valeur absolue soit strictement supérieur à T de la table pour une bonne intervention de la variable explicative X dans l'évolution de la variable endogène Y
- La statistique F de Fisher permet de juger de la validité globale d'un modèle. Si F calculé est supérieur à F tabulé, on conclue que le modèle ainsi estimé est globalement significatif c'est-à-dire qu'il est bon et que sa spécification est acceptable. Mais aussi les variables explicatives véritables ont globalement une influence sur la variable endogène
- La statistique de DW permet de déceler la liaison des erreurs dans les procédures d'estimations

4.1.1.2.3 RESULTATS

Tableau 26. Récapitulatif des modèles

Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Erreur standard de l'estimation	Modifier les statistiques					Durbin-Watson
					Variation de R-deux	Variation de F	ddl1	ddl2	Sig. Variation de F	
1	,726 ^a	,527	,468	632,74746	,527	8,905	11	88	,000	1,676

Source: nos enquêtes, résultats analyses spss25

a. Prédicteurs: (Constante), Bénéficiez-vous d'une aide?, Nombre hectares, A qui vendez-vous?, Prix par Kg en Fc, Nombre Travailleur, Charges d'Exploitation, Comment est fixé le prix?, Bénéficiez-vous d'une formation?, Rentabilité de l'activité, Information d'avance sur le prix, Arrivez-vous à Epargner?

b. Variable dépendante: Quantité produite par saison

Dans le tableau ci-haut, nous différents indicateurs qui vont nous aider à apprécier nos variables pour expliquer la production du café à Idjwi. Le coefficient de détermination R^2 égal à 52,7%, étant supérieur à 50%, nous pouvons poursuivre notre régression en disant les variables captées représentent 52,7% dans l'explication de la production des cafés à Idjwi. Le coefficient de corrélation r étant égal à 72,6%, nous pouvons dire que les variables captées impactent à 72,6% explication de la production des cafés à Idjwi. Cette intensité est forte d'autant plus que r est situé entre 0,5 et 0,8.

La statistique de DW (Durbin Watson) trouvée de 1,676 est inférieure à 2, ce qui montre que les erreurs ne sont pas corrélées ou liées.

Tableau 27. ANOVA

Modèle		Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Sig.
1	Régression	39219337,588	11	3565394,326	8,905	,000 ^b
	deStudent	35232502,102	88	400369,342		
	Total	74451839,690	99			

Source: nos enquêtes, résultats analyses spss25

a. Variable dépendante: Quantité produite par saison

b. Prédicteurs: (Constante), Bénéficiez-vous d'une aide?, Nombre hectares, A qui vendez-vous?, Prix par Kg en Fc, Nombre Travailleur, Charges d'Exploitation, Comment est fixé le prix?, Bénéficiez-vous d'une formation?, Rentabilité de l'activité, Information d'avance sur le prix, Arrivez-vous à Epargner?

Le tableau ci-haut nous permet étudier la significativité globale du modèle économétrique, c'est-à-dire voir si les variables indépendantes sont globalement significatives dans l'explication de la variable dépendante (Quantité produite par saison ou la production du café). Le test de Fisher étant égal à 0.000, inférieur au seuil de 0.05 soit 5%. Nous disons que le modèle est globalement bon.

Tableau 28. Coefficients du modèle

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.	Intervalle de confiance à 95,0% pour B		Corrélations			Statistiques de colinéarité	
	B	Erreur standard				Borne inférieure	Borne supérieure	Corrélation simple	Partielle	Partielle	Tolérance	VIF
(Constante)	-4546,104	1605,435		-2,832	,006	-7736,568	-1355,641					
Nombre hectares	179,569	114,952	,122	1,562	,122	-48,874	408,011	,275	,164	,115	,878	1,139
Charges d'Exploitation	,001	,000	,441	5,633	,000*	,001	,002	,474	,515	,413	,879	1,137
Nombre Travailleur	141,287	101,055	,111	1,398	,166	-59,540	342,113	,208	,147	,103	,856	1,168
Prix par Kg en Fc	5,354	2,536	,163	2,111	,038*	,314	10,395	,149	,220	,155	,898	1,113
A qui vendez-vous?	358,882	218,972	,136	1,639	,105	-76,280	794,043	,137	,172	,120	,777	1,287
Rentabilité de l'activité	470,551	173,724	,272	2,709	,008*	125,310	815,791	,472	,277	,199	,533	1,878
Comment est fixé le prix?	200,020	180,451	,088	1,108	,271	-158,589	558,629	,202	,117	,081	,847	1,180
Information d'avance sur le prix	-136,540	187,452	-,074	-,728	,468	-509,061	235,982	,127	-,077	-,053	,524	1,910
Arrivez-vous à épargner?	376,529	209,379	,202	1,798	,076	-39,568	792,627	,424	,188	,132	,427	2,342
Bénéficiez-vous d'une formation?	92,032	257,154	,029	,358	,721	-419,007	603,072	,060	,038	,026	,823	1,216
Bénéficiez-vous d'une aide?	-45,789	197,971	-,024	-,231	,818	-439,215	347,638	,241	-,025	-,017	,518	1,929

Source: nos enquêtes, résultats analyses spss25

a. Variable dépendante: Quantité produite par saison

Par la méthode des MCO, le **LOGICIEL SPSS 25** nous a produit le modèle estimé suivant:

$$\text{Prod} = 4546,104 + 179,569\text{nha} + 0,001\text{chaExp} + 141,287\text{ntrav} + 5,354\text{prix} + 358,882\text{clients} + 470,551\text{rentb} + 200,020\text{fixprix} - 136,540\text{infavprix} + 376,529\text{eparg} + 92,032\text{form} - 45,789\text{aid}$$

Ces informations nous disent que seules, les variables charges d'exploitation, prix de café par kg et la rentabilité dans l'activité influent significativement dans l'explication de l'augmentation de la quantité produite de café à Idjwi.

En interprétant les variables significatives par rapport au seuil de 0,05, nous avons:

- Lorsque les charges augmentent ou varient de 1%, la production ou la quantité produite par saison augmente aussi de 0,001.
- Lorsque le prix augmente de 1%, la production ou la quantité produite par saison augmente aussi de 5,354.
- Lorsque la rentabilité ou le rendement augmente de 1%, la production ou la quantité produite par saison augmente aussi de 470,551.

Ceci nous pousse à dire que s'il faut des politiques visant à augmenter la quantité produite dans la filière café à Idjwi, elles doivent être primordialement orientées sur les trois facteurs qui ont été significatifs, notamment le prix, les charges d'exploitation et la rentabilité dans l'activité.

4.1.1.2.4 ANALYSE DE RENDEMENT DE TERRE ET SURPLUS AGRICOLE DU CAFE A IDJWI

Pour qu'une agriculture soit rentable ou soit un moteur de développement, elle doit dégager un surplus agricole positif. Le surplus agricole est l'ensemble de la production agricole moins les coûts de production agricole.

Ce surplus est un élément de démarrage du développement et s'écrit comme suit:

$$Sa = Pa - Cp$$

Avec **Sa** = surplus agricole, **Pa** = production agricole et **Cp** = coût de production

Ce surplus peut se décomposer en autoconsommation et à la vente des productions agricoles sur le marché en vue d'accéder à d'autres biens et services désirés par l'agriculteur et épargner.

A la lumière de nos enquêtes, nous avons trouvés les résultats suivants:

CALCUL DU SURPLUS AGRICOLE DE CAFÉ D'IDJWI

La charge d'exploitation moyenne est de 213.379,00FC

Le prix moyen du café par kg est de 588,62 FC

La quantité produite en moyenne du café est 625,66 KGS

D'où la production agricole moyenne en FC= 625,66 KGS x 588,62 FC = 368 275,99FC

Nous savons que $Sa = Pa - Cp$ d'où $Sa = 368 275,99FC - 213 379,00FC = 154 896,99FC$.

Au vu de ces calculs, nous remarquons que la culture du café est rentable à Idjwi, étant donné que le surplus agricole obtenu est positif avec une moyenne de 154 896,99FC.

5 DISCUSSION DES RESULTATS

Il est nécessaire dans cette partie du travail, de présenter les résultats de cette étude et ceux antérieurement obtenus par d'autres chercheurs tels qu'est le but de cette recherche.

A travers les données récoltées dans sur terrain à travers nos enquêtes à Idjwi, il nous a été révélé que les producteurs de café sont en majorité les hommes, soit 67 % et la minorité des femmes, soit 33 %. Cette situation s'explique par le fait que l'activité est trop lucrative, ainsi elle attire des nombreux hommes.

En ce qui concerne l'Age des enquêtés, il s'est révélé que 35% de nos répondants étant le score élevé, ont l'âge compris entre 36 et 45ans, suivi de ceux dont l'âge varie de 26 et 35ans soit 32%, pour ceux dont l'âge se situe dans l'intervalle de 46ans et plus 29% et à fin, 4% de nos enquêtés se retrouvent entre 15 à 25ans.

En regardant le tableau de niveau d'étude, on ressort la majorité des cultivateurs de café ont un niveau d'étude du primaire soit 48%, contre 44% de niveau secondaire et 8% de niveau supérieur. Ce qui peut nous pousser à dire que la majorité des caféiculteurs d'Idjwi n'ont pas beaucoup étudié. Etant donné que la majorité de nos enquêtés étaient mariés avec une moyenne de 85%, la taille de ménage de 62% a entre 6 et 15 personnes, 23% entre 3 et 5 personnes, 13% plus de 15 personnes et 2% entre 1 à 2 personnes dans les ménages. D'où, nous pouvons dire que la caféiculture est une activité très importante pour la survie des nombreux ménages à Idjwi, démontre l'impact social de cette activité dans la contrée.

Suivant le tableau n°8, 59% des répondants est entre 3 et 5 travailleurs, 25% entre 6 et 10 travailleurs, 14% entre 1 et 2 travailleurs, à fin 1% entre 11 et 15 travailleurs, ce qui peut impacter positivement sur le plan économique du fait de la baisse du taux de chômage par l'encadrement des habitats dans la filière café. Pour ce faire grâce au revenu tiré de la filière café, les travailleurs parviennent à subvenir à leurs besoins ainsi qu'à ceux de leurs dépendants. Le résultat démontre que les exploitants de la culture de café sont en large majorité propriétaire des champs qu'ils exploitent soit 98%. Cette situation peut être due par le fait que les habitants d'Idjwi sont en majeure partie détenteur de terre agricole, ainsi les autres soit, 2% d'exploitants sont obligés de pratiquer le fermage par saison cultural auprès de propriétaire. Avec 53% qui affirment que l'activité est rentable, 97% de récolte est vendue aux coopératives, 2% aux Pays Voisins et 1% aux managers. Et 88% de répondant qui dit que, les prix sont imposés par les acheteurs. Ensuite, 1% imposent le prix sur marché et 10% fixent le prix après discussions avec l'acheteur.

Cette réalité peut jouer défavorablement sur les caféiculteurs, car nous avons comme l'impression qu'ils ne tirent pas le maximum de profit de sa production est que ce sont par contre les coopératives qui en bénéficient davantage tellement, elles collaborent directement avec les grands acheteurs, très souvent les étrangers ainsi que les multinationales évoluant dans la filière café. C'est-à-dire cette situation doit être revue, pour le bien ce secteur. Ce qui est idéal et le plus urgent, serait de mettre le paysan au cœur des décisions – en matière fiscale, d'accès au marché, de recherche, de sécurité foncière... Lui, il sait de quoi il a besoin, avec des urgences différentes selon les zones.

A noter que 62% des répondants éprouvent des difficultés liées à la vente de leurs récoltes contre 37%, surtout que 68% des caféiculteurs disent n'avoir pas d'informations à l'avance sur le prix. La preuve en est que 74% n'arrivent à investir ou à créer d'autres activités génératrices des revenus, même si 69% des répondants sont capables d'épargner et 31 % ne les sont pas et que 67% des enquêtés arrivent à couvrir les dépenses ménagères. D'où, malgré l'effort fourni, la large majorité des caféiculteurs d'Idjwi n'arrivent pas à se démarquer en créant d'autres unités de production, ou se procurer des matériels durables.

Ceci corrobore avec l'apport de Koffi ZOMABI SAMATI, qui dans son travail de mémoire dénommé: « Producteurs de café et de cacao face au système de libéralisation de la filière », Cinq ans après la libéralisation de la filière café-cacao. Après étude, il a constaté quela filière café-cacao est confrontée à d'énormes difficultés, qui sont entre autres: la baisse sensible de la production de café et de cacao et donc une diminution des revenus des producteurs, le système de commercialisation étant très rigide, avec une faible capacité de pouvoir de commercialisation des produits d'exportation. Les chutes considérées des cours et le prix non rémunérateur ont des répercussions sur les travaux d'entretien des planteurs. Et que malgré la libéralisation, les produits de rente transitent toujours par le circuit long. Il existe plusieurs intermédiaires entre le producteur et le consommateur européen. Ces sociétés exportatrices exercent un "monopole" dans le système de

commercialisation des produits de rente. Elles sont aussi majoritaires au comité de coordination et ne respectent pas sur le terrain les prix fixés par le comité. Cette situation est loin de profiter aux producteurs devant les chutes répétées des cours mondiaux.

Nous avons vu que 92% bénéficient des formations de la part des différentes organisations locales ou étrangères, et que seulement 27% de caféiculteurs bénéficient de l'aide, de ce 27% des répondants qui bénéficient de l'aide, 20% en bénéficient sous forme de crédit de campagne, 3% sous forme de crédit d'équipement, 3% sous forme de crédit de commercialisation et 1% en bénéficient sous d'autres formes que celles soulevées dans cette rubrique. Par-dessus tout, certains facteurs influent négativement la production du café, c'est notamment les maladies du café représentant 53%, le mauvais entretien 28%, le vieillissement des plantations 9%, l'exiguïté des terres 7% et manque des intrants 3%.

Le tableau n°20 montre que 65% de caféiculteurs disposent des terres pour extensions. Au niveau de tableau n°22, 77% des caféiculteurs d'Idjwi associent le café avec d'autres cultures contre 23%. Dont 57% associent le café avec d'autres cultures pour des raisons de survie en période de soudure, 37% pour le complément du revenu et 6% pour des raisons d'entretien des caféiers. Ceci montre que la majorité des caféiculteurs ont du mal à couvrir les deux bouts du mois ou les saisons culturales avec le seul revenu tiré de l'activité du café.

Par rapport aux variables ou les facteurs qui influencent significativement l'augmentation de la quantité produite ou la productivité dans la filière café à Idjwi, seulement charges d'exploitation, prix de café par kg et la rentabilité dans l'activité influent significativement dans l'explication de l'augmentation de la quantité produite de café à Idjwi. Ce paragraphe peut s'expliquer par le fait que maximiser les profits revient à minimiser les charges et l'augmentation de la quantité produite.

Parlant du prix, il constitue l'élément central du comportement des agents économiques sur le marché, si le prix augmente les producteurs à leurs tours ont tendance à augmenter la quantité produite, réflexion contraire si le prix diminue sur le marché. D'où, les conséquences de la loi de l'offre et de la demande. Enfin la rentabilité peut expliquer favorablement la production dans un secteur d'autant plus que tout agent économique étant rationnel particulièrement le fournisseur ou agriculteur, il est très souvent attiré aux activités qui sont rentables c'est-à-dire celles qui peuvent lui permettre à récupérer ses investissements dans le moindre temps. Tellement la caféiculture semble être rentable, cela pousse les caféiculteurs à beaucoup produire pour espérer gagner autant, ce qui pratiquement peut impacter négativement sur le prix suite à une forte augmentation de la quantité produite. D'où, nous **infirmos notre première hypothèse** selon laquelle l'espace cultivé, les aides, les formations et information à l'avance sur le prix contribueraient significativement sur la production de café à Idjwi.

Les deux derniers paragraphes ci-haut ne vont pas dans le sens que celui d'André HUGHES GEORGES KOUA, qui dans son mémoire intitulé: «Situation de la production de café en côte d'ivoire: cas du département d'ABOISSO, état des lieux et perspectives en 2007», voulant expliciter les politiques de relance à travers les investissements en plantation avait dégagé un modèle après l'analyse économétrique montrant que la décision d'investir dans les plantations de café est influencée par les variables revenu du planteur, âge du planteur et accès au crédit.

En ce qui concerne la rentabilité ou le rendement, nous avons constaté qu'en moyenne un caféiculteur supporte les charges d'exploitation équivalent à 213379FC, la quantité produite par saison en kg et le prix moyen sont respectivement de 625,66kg et 588,62Fc, ainsi nous avons remarqué que la culture du café à Idjwi est rentable du fait qu'elle dégage un surplus positif de 154 896,99FC. D'où la caféiculture est une activité qui fournit un bon rendement, c'est-à-dire une activité rentable à Idjwi. Ce qui renforce l'appui à l'impact socio-économique de la filière café à Idjwi, d'autant plus que grâce à ce surplus ou revenu du café, le caféiculteur arrive à payer les frais de scolarité, soins de santé, logement, les contributions ainsi que les taxes perçues sur la production locale de café qui fournissent des fonds aux autorités traditionnelles et territoriales... D'où, nous **confirmos notre deuxième et troisième hypothèse selon lesquelles, le café serait rentable et dégagerait un surplus agricole positif.**

Les résultats dans le paragraphe ci-haut vont à l'encontre de ceux de Pierre ANTOINE, qui dans son mémoire: « Analyse de la rentabilité financière des centres de café dans la région de Baptiste-Belladere ». Il trouve que leur niveau de rentabilité est très faible. En effet, l'analyse du fonctionnement annuel des centres à partir de certains indicateurs-clés de rentabilité financière (ratio des avantages/coûts non actualisé, le taux de profit et l'indice de rentabilité) lui a permis de constater qu'ils ont tous des ratio avantages/coûts inférieurs à 1.40, des taux de profit inférieurs à 40% et des indices de rentabilité inférieurs à 0.1.

6 CONCLUSION

Nous voici au terme de notre recherche qui a porté sur « **Etude du rendement du café et son impact socio-économique dans le territoire d'Idjwi** » une étude menée pendant 8 mois, du début Décembre 2020 jusqu'au fin Août 2021.

Explorer la pertinence (les coûts et les bénéfices) de la caféiculture à Idjwi en se basant sur les activités déjà mises en œuvre par les intervenants dans le café dans cette contrée.

Pour aborder ce présent travail, nous sommes partis des préoccupations primordiales suivantes: les plus importantes sont:

- Quels sont les indicateurs favorisant significativement la production dans le secteur du café à Idjwi ?
- Est-ce que la culture du café est rentable dans le territoire d'Idjwi ?

- En comparant les charges d'exploitation et les productions, le café d'Idjwi nous donne-t-il le surplus agricole ?
- Quelle est la contribution du café dans l'économie du territoire d'Idjwi ?

Ces questions nous ont permis d'émettre les hypothèses selon lesquelles les facteurs notamment un espace important (hectare cultivé), les formations, et les aides aux caféiculteurs contribueraient significativement à la productivité du café. En outre, la culture du café dans le territoire d'Idjwi serait rentable mais aussi nous estimons que les charges d'exploitation dans cette contrée seraient faibles. De cela, le surplus agricole d'Idjwi serait positif, d'où l'effet favorable sur la vie socio-économique des ménages et les recettes dans cette entité.

Pour l'élaboration de ce présent travail, nous avons recouru à la méthode analytique, méthode statistique, mais aussi les techniques documentaires, questionnaire d'enquête et celle de l'interview libre, le logiciel SPSS 25 nous a servi dans l'analyse et présentation des résultats de notre étude.

Après traitement de données les résultats suivants ont été dégagés:

A travers les données récoltées sur terrain à travers nos enquêtes à Idjwi, il nous a été révélé que les producteurs de café sont en majorité les hommes, soit 67 % et la minorité des femmes, soit 33 %. Cette situation s'explique par le fait que l'activité est trop lucrative, ainsi elle attire de nombreux hommes.

En ce qui concerne l'âge des enquêtés, il s'est révélé que 35% de nos répondants étant le score élevé ont l'âge compris entre 36 et 45ans, suivi de ceux dont l'âge varie de 26 et 35ans soit 32%, pour ceux dont l'âge se situe dans l'intervalle de 46ans et plus 29% et à fin, 4% de nos enquêtés se retrouvent entre 15 à 25ans.

En regardant le tableau de niveau d'étude, on ressort la majorité des cultivateurs de café ont un niveau d'étude du primaire soit 48%, contre 44% de niveau secondaire et 8% de niveau supérieur. Ce qui peut nous pousser à dire que la majorité des caféiculteurs d'Idjwi n'ont pas beaucoup étudié. Etant donné que la majorité de nos enquêtés étaient mariés avec une moyenne de 85%, la taille de ménage de 62% a entre 6 et 15 personnes, 23% entre 3 et 5 personnes, 13% plus de 15 personnes et 2% entre 1 à 2 personnes dans les ménages. D'où, nous pouvons dire que la caféiculture est une activité très importante pour la survie des nombreux ménages à Idjwi, d'où l'impact social de cette activité dans la contrée.

Suivant le tableau n°8, 59% de répondants est entre 3 et 5 travailleurs, 25% entre 6 et 10 travailleurs, 14% entre 1 et 2 travailleurs, à fin 1% entre 11 et 15 travailleurs, ce qui peut impact positivement sur le plan économique du fait de la baisse du taux de chômage par l'encadrement des habitats dans la filière café. Pour ce faire grâce au revenu tiré de la filière café les travailleurs parviennent à subvenir à leurs besoins ainsi qu'à ceux de leurs dépendants. Le résultat montre que les exploitants de la culture de café sont en large majorité propriétaire des champs qu'ils exploitent soit 98%. Cette situation peut être dû par le fait les habitants d'Idjwi sont en majeure partie détenteur de terre agricole, ainsi les autres soit 2% exploitants sont obligés de pratiquer le fermage par saison culturale auprès de propriétaire. Avec 53% qui affirment que l'activité est rentable, 97% de récolte est vendue aux coopératives, 2% aux Pays Voisins et 1% aux managers. Et 88% de répondant qui dit que les prix sont imposés par les acheteurs, 1% imposent le prix sur marché et 10% fixent le prix après discussions avec l'acheteur.

Cette réalité peut jouer défavorablement sur les caféiculteurs, car nous avons comme l'impression qu'ils ne tirent pas le maximum de profit de sa production est que ce sont par contre les coopératives qui en bénéficient davantage tellement, elles collaborent directement avec les grands acheteurs, très souvent les étrangers ainsi que les multinationales évoluant dans la filière café. C'est-à-dire cette situation doit être revue, pour le bien de ce secteur.

A noter que 62% des répondants éprouvent des difficultés liées à la vente de leurs récoltes contre 37%, surtout que 68% des caféiculteurs disent n'avoir pas d'informations à l'avance sur le prix. La preuve en est que 74% n'arrivent à investir ou à créer d'autres activités génératrices des revenus, même si 69% des répondants sont capables d'épargner et 31 % ne le sont pas et que 67% des enquêtés arrivent à couvrir les dépenses ménagères. D'où, malgré l'effort fourni, la large majorité des caféiculteurs d'Idjwi n'arrivent pas à se démarquer en créant d'autres unités de production, ou se procurer des matériels durables.

Nous avons vu que 92% bénéficient des formations de la part des différentes organisations locales ou étrangères, et que seulement 27% de caféiculteurs bénéficient de l'aide, de ce 27% des répondants qui bénéficient de l'aide, 20% en bénéficient sous forme de crédit de campagne, 3% sous forme de crédit d'équipement, 3% sous forme de crédit de commercialisation et 1% en bénéficient sous d'autres formes que celles soulevées dans cette rubrique. Par-dessus tout, certains facteurs influent négativement la production du café, c'est notamment les maladies du café représentant 53%, le mauvais entretien 28%, le vieillissement des plantations 9%, l'exiguïté des terres 7% et manque des intrants 3%.

Le tableau n°20 montre que 65% de caféiculteurs disposent des terres pour extensions. Au niveau de tableau n°22, 77% des caféiculteurs d'Idjwi associent le café avec d'autres cultures contre 23%. Dont 57% associent le café avec d'autres cultures pour des raisons de survie en période de soudure, 37% pour le complément du revenu et 6% pour des raisons d'entretien des caféiers. Ceci montre que la majorité des caféiculteurs ont du mal à couvrir les deux bouts du mois ou les saisons culturales avec le seul revenu tiré de l'activité du café.

Par rapport aux variables ou les facteurs qui influencent significativement l'augmentation de la quantité produite ou la productivité dans la filière café à Idjwi, seulement charges d'exploitation, prix de café par kg et la rentabilité dans l'activité influent significativement dans

l'explication de l'augmentation de la quantité produite de café à Idjwi. Ce paragraphe peut s'expliquer par le fait que maximiser les profits revient à minimiser les charges et l'augmentation de la quantité produite.

Parlant du prix, il constitue l'élément central du comportement des agents économiques sur le marché, si le prix augmente les producteurs à leurs tours ont tendance à augmenter la quantité produite, réflexion contraire si le prix diminue sur le marché. D'où, les conséquences de la loi de l'offre et de la demande. A fin la rentabilité peut expliquer favorablement la production dans un secteur autant que tout agent économique étant rationnel particulièrement le fournisseur ou agriculteur, il est très souvent aux activités qui sont rentables c'est-à-dire celles qui peuvent lui permettre à récupérer ses investissements dans le moindre temps. Tellement la caféiculture semble rentable, cela pousse les caféiculteurs à beaucoup produire pour espérer gagner autant, ce qui pratiquement peut impacter négativement sur le prix suite une forte augmentation de la quantité produite. D'où, nous **infirmos notre première hypothèse** selon laquelle l'espace cultivé, les aides, les formations et information à l'avance sur le prix contribueraient significativement sur la production de café à Idjwi.

En ce qui concerne la rentabilité ou le rendement, nous avons constaté qu'en moyenne un caféiculteur supporte les charges d'exploitation équivaut à 213379FC, la quantité produite par saison en kg et le prix moyen sont respectivement de 625,66kg et 588,62Fc, ainsi nous avons remarqué que la culture du café à Idjwi est rentable du fait qu'elle dégage un surplus de positif de 154 896,99FC. D'où la caféiculture est une activité qui fournit un bon rendement, c'est-à-dire une activité rentable à Idjwi. Ce qui renforce l'appui à l'impact socio-économique de la filière café à Idjwi, d'autant plus que grâce à ce surplus ou revenu du café, le caféiculteur arrive à payer les frais de scolarité, soins de santé, logement, les contributions ainsi que les taxes perçues sur la production locale de café qui fournissent des fonds aux autorités traditionnelles et territoriales... D'où, nous **confirmos notre deuxième et troisième hypothèse** selon lesquelles, le café serait rentable et dégagerait un surplus agricole positif.

7 SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS

A l'issue de ce travail, nous voulons émettre quelques suggestions auprès des intervenants dans la filière café sur notre analyse:

7.1 L'ONAPAC/MINISTÈRE D'AGRICULTURE

- De réduire les circuits de rémunération dans le secteur de la filière café puisqu'on a constaté que la grande part des revenus du café rémunèrent plusieurs catégories de personnes intervenant dans le circuit de commercialisation du café et le caféiculteur ne reçoit que des résidus du prix en cours.
- De promouvoir la recherche agronomique: en l'absence de la recherche, on n'a pas encore des variétés tolérantes à la trachéomycose, et les rendements sont faibles.
- De mettre à la disposition des caféiculteurs des fertilisants nécessaires à temps en quantité suffisantes.
- De continuer à assurer un encadrement des caféiculteurs et les aider à avoir un prix conforme au prix pratiqué sur le marché international;
- De créer une banque agricole pour que les producteurs aient accès aux finances;
- D'ouvrir et des réhabiliter toutes les routes nationales, provinciales et des dessertes agricoles car les plantations sont enclavées;

7.2 AUX ASSOCIATIONS DES CAFÉICULTEURS

- De mener des campagnes de mobilisations des caféiculteurs pour que ces derniers puissent retrouver une confiance dans la principale culture d'exportation que dispose notre pays et qui fait rentrer beaucoup de devises.
- De piloter les négociations avec tous les intervenants de la filière café pour le prix donné aux producteurs soit calqué au prix pratiqué sur le marché international.

7.3 AUX CAFÉICULTEURS

- De continuer à s'atteler aux activités de l'amélioration des caféiers,
- De continuer à pailler, tailler leurs caféiers.

REFERENCES

- [1] ABD ELMH. *Production de pomme de terre*, Maison arabe d'Édition et la distribution, Québec, 1998.
- [2] BEITONE et ALLIS A., *Dictionnaire des sciences économiques et sociales*, 2^{ème} éd. Armand collin. Paris, 2017.
- [3] BEN EL ABRIS., *Le prix et les décisions des Agents Economiques*, Paris, ISBN, E. Ellipse, 2015.
- [4] BERTHELIER P. et LIPCHITZA., *Quel rôle joue l'agriculture dans la croissance et le développement*, Revue Tiers Monde, 2005.
- [5] BIALE C., *Dictionnaire d'économie et des faits économiques et sociaux contemporains*, FOUCHER, Paris 1996.
- [6] BOISSONAT J., *Politique des revenus*, Seuil, Paris., 1970.

- [7] BREMONDJ., *Initiation économique et sociale*, Paris, éd. Hantier, 1991.
- [8] CODE AGRICOLE, L'outil majeur de gouvernance pour organiser le développement durable de la RD Congo. Kinshasa le 10 novembre 2008.
- [9] COMETG., *Mesures agraires et métrologie des grains: rendements et densités*, France, 1990.
- [10] COTTA A., *Dictionnaire de science économique*, printed in France, maison MAME, 1968.
- [11] DANIELL., *Gestion des sols en République Démocratique du Congo. État actuel, priorités et besoins*, INERA, Kinshasa, RDC, 2013.
- [12] *Dictionnaire la rousse*, Paris., Edition Armand colin, 1984.
- [13] DUMONT R., *Economie agricole dans le monde*, Dalloz, Paris., 1954.
- [14] KINGG., *Progrès de l'exploitation agricole, formation des prix*, PD, Sd.
- [15] LAUNAY R. et al, *L'entreprise agricole*, 5^{ed} Armand colin, Paris., 1967.
- [16] M. MAZOMEYA, *Des agricultures manuelles à la motorisation lourde*, septembre 2009.
- [17] MANKIV G.N. *Macroéconomie*, 5^e éd. De Boeck, Paris., 2010.
- [18] MORLON P. et SIGAUT F., *Rendements, semis et fertilité*, éd., Pérou-Bolivie, 1990.
- [19] NANGO DEMBELE N., STAATZ J. M. et ADJAO R., *Module de formation à l'analyse des prix agricoles*, Cotonou, Avril 2008.
- [20] PATRICK R., YVON R., CROSNIER J., *La pomme de terre-production, amélioration, ennemis et maladies, utilisation*, Paris, INRA, éd-ITPT-ITCF, Coll., 1996.
- [21] PURCELL WAYNE D., *Système de commercialisation agricole: Coordination, trésorerie et prix futurs*, A Prentice-Hall Company, Virginia, 1979.
- [22] RANDY S., *Détermination des prix sur les marchés des produits agricoles*, Library of Congress, Washington, 2006.
- [23] SILIM A., *Lexique économique*, 7^{ème} édition, Paris, Dalloz, 2002.
- [24] SMITHA., *La richesse des nations*, Paris, GF Flammarion, 1991.
- [25] TAYLORJ. A., *Economie politique précoce de la richesse nationale et de la population*, Estimations de Gregory King 1696, Westport, Londres: presse Greenwood, 2005.
- [26] Koffi ZOMABI SAMATI, *Producteurs de café et de cacao face au système de libéralisation de la filière*, mémoire online, Université de Lomé, Togo, 2002.
- [27] Pierre ANTOINE, *Analyse de la rentabilité financière des centres de café dans la région de Baptiste-Belladere*, mémoire online, UEH, Haïti, 2011.
- [28] Banque Mondiale, *L'agriculture et développement rural, comprendre la pauvreté en Afrique*.
- [29] CTA, *Rôle de l'information dans la gestion durable de la fertilité des sols: (séminaire CTA): fait marquant 2003*.
- [30] FAO, *Annuaire statistique*, Etats unis, 2008.
- [31] FAO, *Les statistiques et portail de l'agriculture et de l'agronomie*, 2010.
- [32] Ministère de la coopération et de développement, *Mémento de l'agronome*, Paris, 1992.
- [33] *Rapport de banque centrale du Congo, Potentialité et atout de l'agriculture en République Démocratique du Congo*, publiée à Kinshasa, le 2juin2017.
- [34] w.w.w. culture de la pomme de terre en RDC, consulte mardi le 19 Juin 2021a 11h35mn.
- [35] w.w.w.acp congo.com, *Trios Variétés de pommes de terre présentées à la population de Goma*, consulte mardi le 1 avril 2021 à 9h35min.
- [36] www.rendement agricole.com. Consulte le 12 avril 2021, à 15h20.
- [37] www.academon.fr, *Le modèle du Cobweb*, consulté le 4 avril 2021 à 15h45 minutes.
- [38] www.academon.fr, *Théorème de localisation de Von Thuner*, consulté mardi le 23 avril 2021 à 10h20minutes.
- [39] www.google: *revenu agricole*, consulté jeudi le 18 avril 2021 à 14h 16 minutes.

Diagnostic des attaques de jassides sur des parcelles de gombos et d'aubergines au Centre et au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire

[Diagnosis of jassid attacks on okra and eggplant plots in the Center and Center-West of Côte d'Ivoire]

Houphouet Kouadio^{1,2}, Malanno Kouakou², Kouadio Kra Norbert Bini², Mohamed Abdel-Nasser Ouattara³, Béatrice Abouo Adepo-Gourène¹, and Ochou Germain Ochou²

¹Genetics and Bioresources Improvement laboratory, University Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²National Center for Agricultural Research, Cotton Research Station, 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

³Center for Medical and Veterinary Entomology, Alassane Ouattara University, BP V 18 01 Bouaké, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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: Jassids are polyphage pests that occur on several host plants. These insects were minor pests on okra and eggplant in Côte d'Ivoire. However, during this season, attacks, similar to those observed on cotton for more than a decade, were reported by farmers. Their invasion on these crops has raised concerns among farmers who also grow cotton. A mission was undertaken to identify the jassid populations that had appeared on these crops. It led to the identification of three species: *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon, 1922), *Jacobiella facialis* (Dworakowska, 1972) and *Amrasca biguttula* (Shiraki, 1913). The most abundant species were *J. lybica* (49.4%) and *A. biguttula* (47.8%). The species *J. facialis* was identified only on eggplant with a proportion of 2.8 %. At least two of the species cohabit in the same field. The cohabitation of these species reflects the virulent character of the attacks. A strong outbreak was observed during the period from June to July. This study therefore provides important information for decision-making.

KEYWORDS: Cotton, okra, eggplant, Côte d'Ivoire, *Jacobiasca lybica*, *Jacobiella facialis*, *Amrasca biguttula*.

RESUME: Les jassides sont des ravageurs polyphages que l'on observe sur plusieurs plantes hôtes. Ces insectes constituaient des ravageurs mineurs sur le gombo et l'aubergine en Côte d'Ivoire. Cependant, au cours de cette saison, des attaques, similaires à celles observées sur le cotonnier depuis plus d'une décennie, ont été signalées par des producteurs. Leur invasion sur ces cultures a suscité des inquiétudes chez les producteurs qui pratiquent également la culture du coton. Une mission a été entreprise afin d'identifier les populations de jassides apparues sur ces cultures. Elle a conduit à l'identification de trois espèces: *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon, 1922), *Jacobiella facialis* (Dworakowska, 1972) et *Amrasca biguttula* (Shiraki, 1913). Les espèces les plus abondantes sont *J. lybica* (49.4 %) et *A. biguttula* (47.8 %). L'espèce *J. facialis* a été identifiée uniquement sur l'aubergine avec une proportion de 2.8 %. Au moins deux des espèces cohabitent dans un même champ. La cohabitation de ces espèces traduit le caractère virulent des attaques. Une forte pullulation a été observée durant la période de juin à juillet. Cette étude met donc à disposition des informations importantes pour les prises de décision.

MOTS-CLEFS: Coton, gombo, aubergine, Côte d'Ivoire, *Jacobiasca lybica*, *Jacobiella facialis*, *Amrasca biguttula*.

1 INTRODUCTION

Le gombo et l'aubergine font partie des principales plantes maraîchères les plus cultivées en Côte d'Ivoire. Ces plantes sont cultivées pour l'alimentation familiale. Elles constituent aussi une source de revenu importante pour les producteurs. En raison de leurs richesses en vitamines, sels minéraux et protéines, elles jouent un rôle important dans la sécurité alimentaire. Elles sont majoritairement cultivées par les femmes, mais aussi par les producteurs de coton. Cependant, elles sont sujettes aux attaques de certains ravageurs, au nombre desquels, on dénombre des jassides.

Ces insectes constituaient, jusque-là, des ravageurs mineurs ou occasionnels sur le gombo et l'aubergine en Côte d'Ivoire. Cependant, au cours de cette saison, des attaques, similaires à celles observées sur le cotonnier depuis quelques années, ont été signalées dans le Centre et le Centre-Ouest du pays par des producteurs. Ce phénomène a suscité des inquiétudes chez ces derniers qui pratiquent également la culture de coton. Notamment, seraient-ce les mêmes espèces rencontrées sur le cotonnier ?

En effet, les jassides sont des ravageurs polyphages, ayant une gamme très variée de plantes hôtes (gombo, aubergine, tomate, patate douce, haricot, etc.) [1], [2], [3], [4], [5]. Les larves et les adultes de jassides vivent à la face inférieure des feuilles où ils se nourrissent par des piqures. Lors de leurs alimentations, ils injectent une salive toxique qui perturbe l'activité chlorophyllienne, entraînant une déformation des feuilles et par la suite une décoloration de celles-ci. Leurs attaques prolongées freinent la végétation de la plante, induisant ainsi un rabougrissement de la plante pouvant provoquer le *shedding* des organes fructifères. Ils sont également responsables de plusieurs maladies par le biais de phytoplasme ou de virus dont ils sont des vecteurs.

Pour donner suite aux sollicitations des producteurs, une mission de constats et d'identification a été effectuée dans les localités de Bouaké et Yamoussoukro (au Centre) et Bouaflé et Vavoua (au Centre-Ouest). Elle a eu pour objectif de déterminer les espèces de jassides responsables des attaques sur le gombo et l'aubergine dans ces localités.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 OBSERVATIONS ET COLLECTES D'ÉCHANTILLONS

Dans le but d'identifier les espèces de jassides responsables des attaques et les comparer aux espèces rencontrées sur le cotonnier, une mission de constats et de collectes de spécimens a été effectuée dans des champs de gombo et d'aubergine situés dans des zones de production de coton où le problème a été signalé (Figure 1). Ces observations et collectes ont été effectuées précisément du 16 au 17 juillet 2022 à Bouaké (7° 40' 59.999" N, 5° 1' 0.001" W), Yamoussoukro (6° 49' 0.001" N, 5° 16' 59.999" W), Bouaflé (6° 58' 59.999" N, 5° 45' 0" W) et Vavoua (7° 22' 54.998" N, 6° 28' 40.001" W). Les visites sur le terrain ont permis d'apprécier les niveaux d'infestations, d'observer et de décrire les caractéristiques des attaques du ravageur par l'examen minutieux des feuilles. Des photos de plants attaqués et de jassides ont été prises en vue de les confronter aux caractéristiques décrites dans la bibliographie [6], [7], [8], [9]. Les insectes rencontrés sur les faces inférieures des feuilles de gombo et d'aubergine ont été collectés à l'aide d'un aspirateur à bouche et mis dans des boîtes contenant de la naphtaline pour une conservation à sec (Figure 2). Les boîtes ont été étiquetées puis transportées au laboratoire pour les identifications des spécimens (Figure 3). Dans chaque localité et sur chaque plante, 30 individus ont été collectés en vue des identifications morphologiques au laboratoire (Tableau 1).

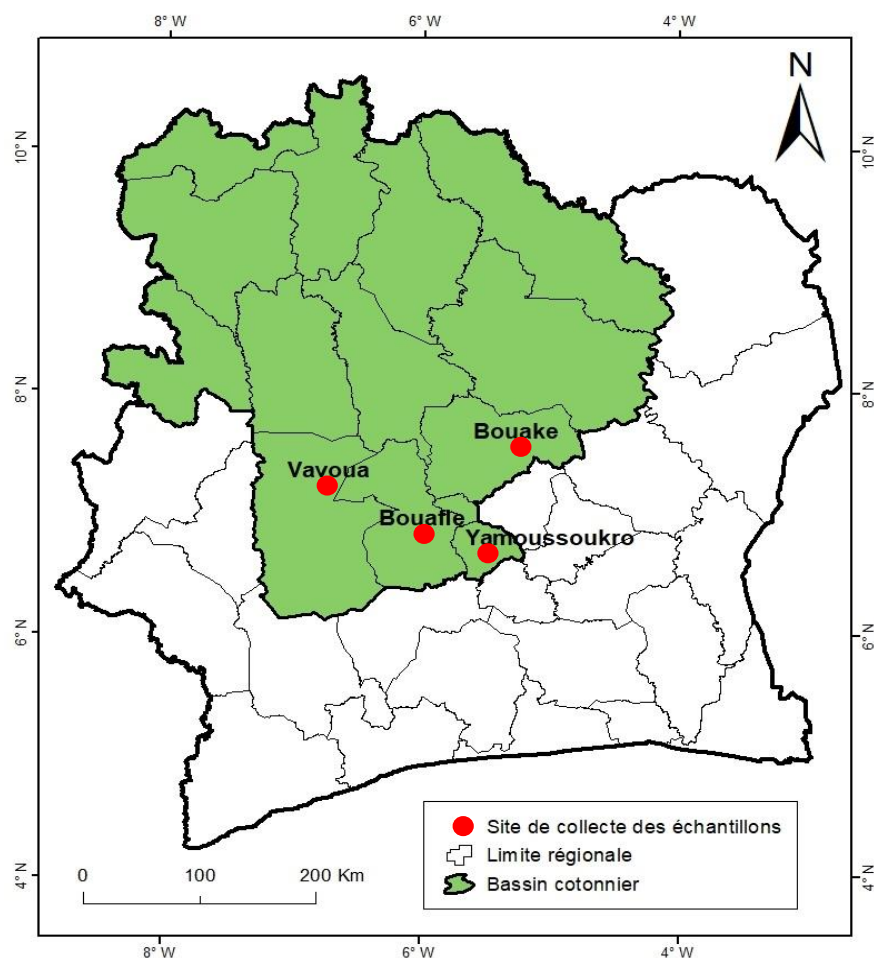


Fig. 1. Zone d'étude



Fig. 2. Collecte des jassides à l'aide d'un aspirateur à bouche sur des plants de gombo à Vavoua, le 17 juin 2022



Fig. 3. Etiquetage des échantillons conservés dans des boîtes contenant de la naphthaline

Tableau 1. Nombre d'individus identifiés

Plantes hôte	Localités	Nombre
Aubergine	Bouaké	30
	Yamoussoukro	30
	Vavoua	30
Gombo	Vavoua	30
	Bouafle	30
	Yamoussoukro	30

2.2 IDENTIFICATION MORPHOLOGIQUE DES SPÉCIMENS

L'identification a été faite en se basant sur les clés consolidées par Dmitriev & Dietrich (2009) via le site <http://dmitriev.speciesfile.org/key.asp?key=Erythroneura&lng=En&i=1&keyN=12>. Les individus ont été observés à partir d'un microscope Motic Panthera respectivement au grossissement 4X et 10X et d'une loupe Motic SMZ-171. Les images ont été prises via le logiciel Motic Images Plus 3.0 compatible au système d'exploitation Windows.

L'identification a porté sur l'observation générale des individus. La coloration des jassides était du vert au jaune. Elle s'est ensuite étendue à l'observation des ailes antérieures et postérieures. L'observation des ailes postérieures s'est principalement axée sur la première cellule apicale. Celle faite sur l'aile antérieure a concerné le segment distal du cubital postérieur (CuP) et le segment distal du cubital antérieur (CuA), ainsi que l'observation de la cellule brachiale, en examinant la présence ou l'absence de tâche noire distale.

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

Les effectifs et le pourcentage des individus identifiés ont été déterminés afin de connaître la part de chaque espèce. Le test de Khi2 a été effectué au seuil de 5% pour déterminer l'homogénéité de répartition des espèces. Les analyses statistiques ont été effectuées à partir du logiciel de programmation statistique R 4.2.0.

3 RÉSULTATS

3.1 NATURE DES DEGATS OBSERVES SUR LE TERRAIN

Lors des visites de parcelles dans les différentes localités, l'on a pu constater la présence des jassides sur les plants (Figure 4). Leurs présences étaient accompagnées par l'enrôlement des feuilles présentant des symptômes de jaunissement à partir des bordures. Les plants atteints étaient rabougris (Figure 5).

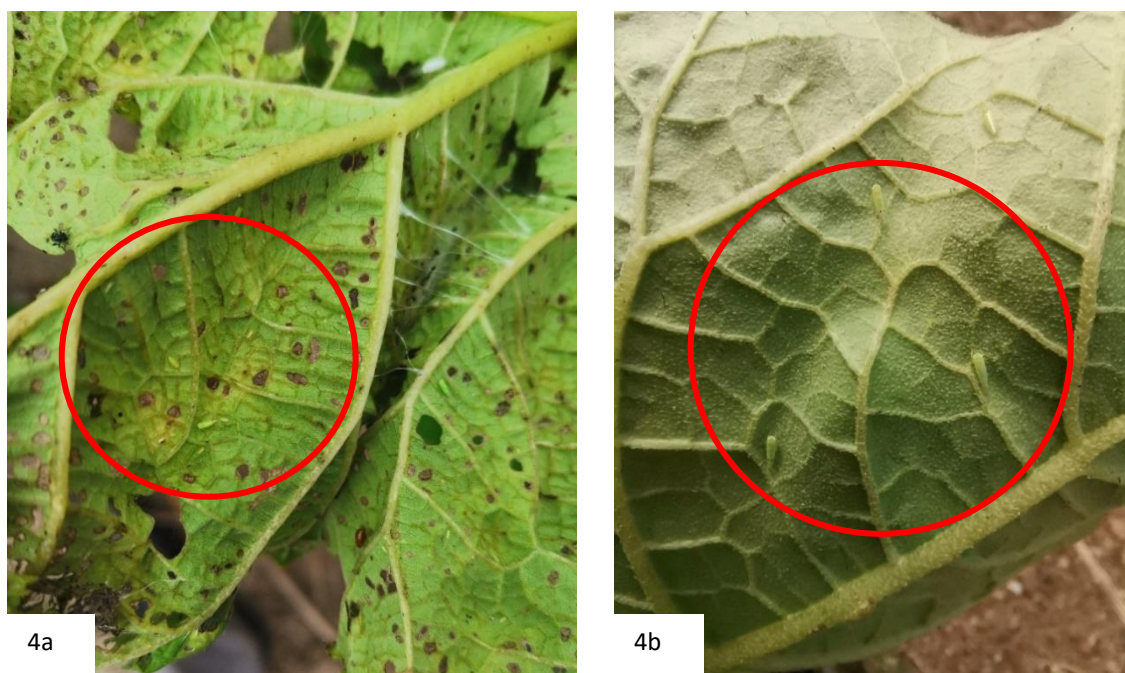


Fig. 4. Présence des jassides sur les plants observés



Fig. 5. Rabougrissement des plants dus à la présence des jassides

3.2 CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES SPECIMENS RENCONTRES

Les spécimens collectés ont été identifiés sur la base des éléments de distinction décrits dans la méthodologie. Cela a permis d'identifier trois espèces. Ce sont:

- *Amrasca biguttula* (Ishida, 1913), caractérisée par des individus ayant une cellule brachiale de l'aile antérieure marquée par une tâche noire distale, un segment distal CuP de l'aile antérieure plus long que le segment CuA situé entre le cubital, la médiane postérieure (MP) et la première cellule apicale de l'aile postérieure plus longue que large (Figure 6 et 7).

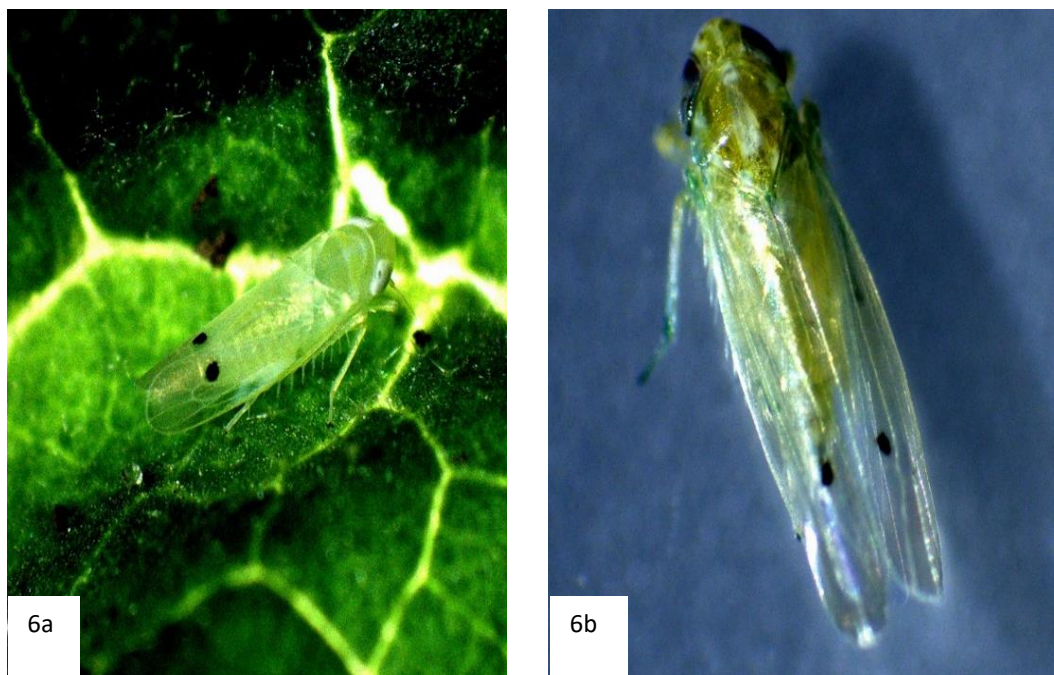


Fig. 6. Adultes de *Amrasca biguttula*

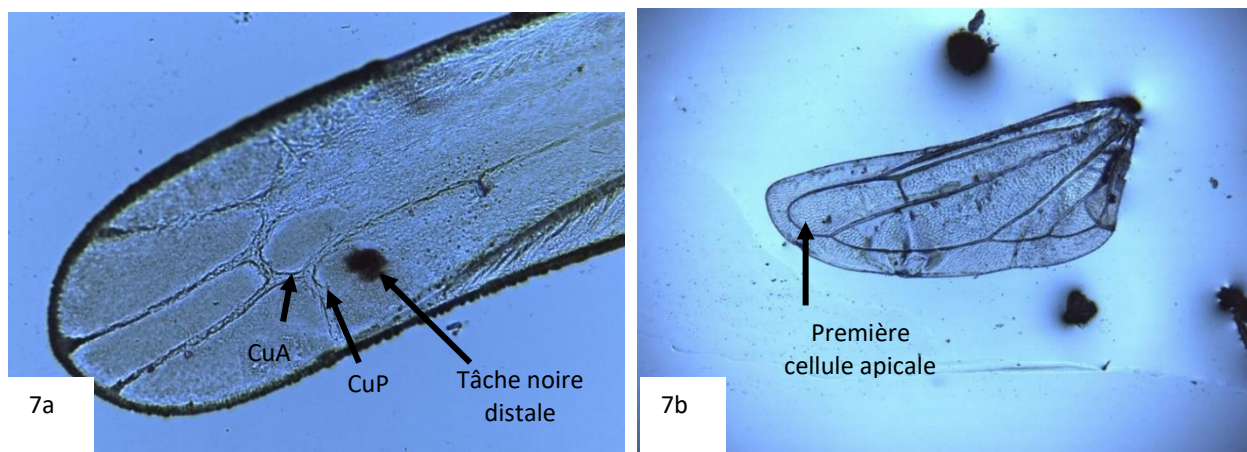


Fig. 7. a) Aile antérieure et b) postérieure *Amrasca biguttula* observées respectivement au microscope 10X et à la loupe 4X

- *Jacobiella facialis* (Dworakowska, 1972), caractérisée par des individus n'ayant pas de tâche noire distale sur la cellule brachiale de l'aile antérieure, mais ayant un segment distal CuP de l'aile antérieure plus long que le segment CuA situé entre le cubital la médiane postérieure (MP) et la première cellule apicale de l'aile postérieure moins de deux fois plus longue que large (Figure 8).

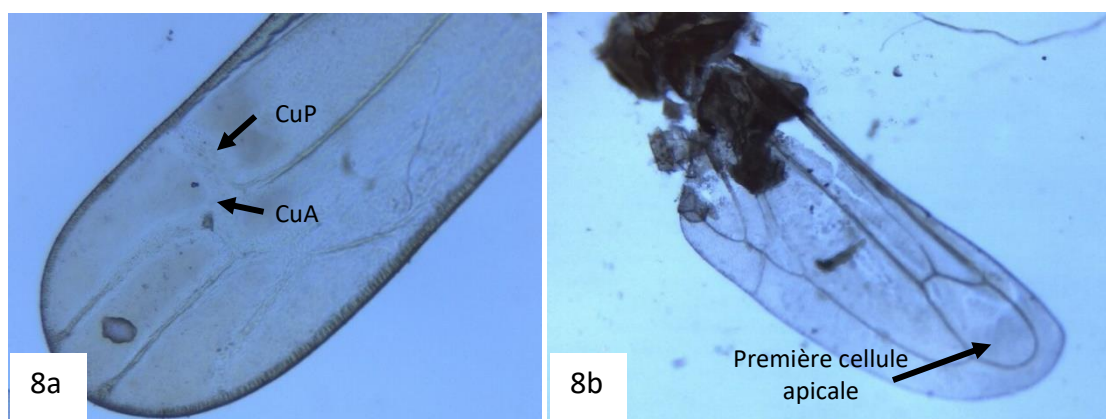


Fig. 8. a) Aile antérieure et b) postérieure de *Jacobiella fascialis* observées respectivement au microscope 10X et à la loupe 4X

- *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon, 1922), caractérisée par des individus n'ayant pas de tâche noire distale sur la cellule brachiale de l'aile antérieure, mais ayant un segment distal CuP de l'aile antérieure plus long que le segment CuA situé entre le cubital la médiane postérieure (MP) et la première cellule apicale de l'aile postérieure plus longue que large (Figure 9).

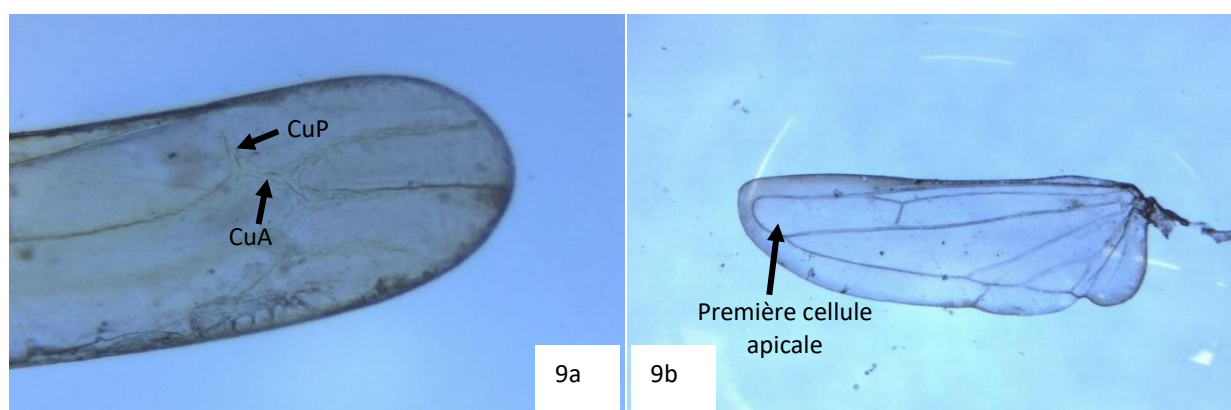


Fig. 9. a) aile antérieure et b) postérieure de *Jacobiasca lybica* observées respectivement au microscope 10X et à la loupe 4X

3.3 PROPORTIONS RELATIVES DES ESPECES SELON LES LOCALITES

Les plus abondantes sont les espèces *J. lybica* et *A. biguttula* avec un pourcentage général respective de 49.4 % et 47.8 % en fonction des localités et des plantes hôtes. Tandis que, l'espèce *J. fascialis* est identifiée à une proportion 2.8 % en fonction des localités et des plantes hôtes.

J. lybica a été identifiée dans les quatre localités échantillonnées. Elle a été abondante dans les localités de Bouaké et de Yamoussoukro avec une proportion respective de 100 et 83.3 %.

L'espèce *A. biguttula* a été identifiée dans deux localités *A. biguttula* à savoir Vavoua et Bouaflé avec une proportion respective de 95 et 96.7 %. Alors que, *J. fascialis* a été identifiée uniquement à Bouaké avec une proportion de 16.7 % (Tableau 2).

Tableau 2. Proportion des individus selon les localités

Localités	<i>Amrasca biguttula</i>	<i>Jacobiasca lybica</i>	<i>Jacobiella fascialis</i>
Bouaflé	96.7	3.3	0
Bouaké	0	83.3	16.7
Vavoua	95	5	0
Yamoussoukro	0	100	0
Proportion général	47.8	49.4	2.8

3.4 PROPORTIONS RELATIVES DES ESPÈCES SELON LES PLANTES HÔTES

La détermination des espèces selon les plantes hôtes a montré que sur l'aubergine, l'espèce la plus abondante était *J. lybica* avec une proportion de 63.3 %. Elle était suivie de *A. biguttula* et *J. fascialis* avec une proportion respective de 3.1 % et de 5.6 %.

Alors que sur le Gombo, l'espèce la plus abondante était *A. biguttula* avec une proportion de 64.4 %. Elle était suivie de *J. lybica* avec une proportion de 31.1 %. *J. fascialis* n'a donc pas été identifiée sur le gombo (Tableau 3).

Tableau 3. Proportion des individus selon les plantes hôtes

Plantes hôtes	<i>Amrasca biguttula</i>	<i>Jacobiasca lybica</i>	<i>Jacobiella fascialis</i>
Aubergine	31.1	63.3	5.6
Gombo	64.4	35.6	0
Proportion globale	47.8	49.4	2.8

3.5 RÉPARTITION DES ESPÈCES

Les résultats du test de Khi2 effectués en fonction des localités et des plantes hôtes ont révélé une différence hautement significative. Cette différence montre une répartition hétérogène des espèces pour ces deux facteurs. La répartition des espèces est donc liée à la localité et aux plantes hôtes (Tableau 4).

Tableau 4. Variation des espèces selon les localités et les plantes hôtes

	X-squared	df	p-value
Plantes hôtes	22.49	2	< 0.001
Localités	185.87	6	< 0.001

4 DISCUSSION

Les collectes effectuées sur le gombo et l'aubergine ont permis d'identifier trois espèces sur l'aubergine (*Amrasca biguttula*, *Jacobiasca lybica* et *Jacobiella fascialis*) et deux sur le gombo (*Amrasca biguttula* et *Jacobiasca lybica*). Les jassides ont été observées sur ces cultures, cependant, ils n'étaient pas considérés comme des ravageurs majeurs pour celles-ci. Ces mêmes observations ont été faites par [10] sur le cotonnier. En effet, ces auteurs ont montré qu'initialement les jassides étaient des ravageurs de second rang pour la culture cotonnière. Cependant ces dernières décennies, ils sont devenus des ravageurs majeurs causant des dégâts considérables sur cette culture. Les visites effectuées sur les parcelles de gombo et d'aubergines des producteurs de coton ont permis de constater que les jassides sont devenus des ravageurs qui nuisent considérablement ces cultures.

La période de juin à juillet a été marquante. En effet, c'est à cette période que les producteurs ont constatés les fortes infestations des jassides et les effets de leurs attaques. Cette période est donc une période critique favorisant la pullulation de ces ravageurs. C'est une période marquée par la rareté des pluies. En effet, selon [10] les poches de sécheresses observées à la période de juin à juillet favorisent la prolifération des jassides.

Les jassides sont des ravageurs polyphages. Ils sont rencontrés sur un grand nombre de cultures, tels que le cotonnier [11], [12], [10] et les cultures maraichères [13], [5], [14]. Les espèces identifiées ont été signalées sur les cultures de gombo et d'aubergine. Ce sont des ravageurs polyphages. Les espèces *Jacobiasca lybica* et *Jacobiella fascialis* sont les cicadelles les plus fréquemment rencontrées en Afrique sur le gombo, l'aubergine et d'autres cultures tel que le coton [7], [8], [12]. Tandis que *A. biguttula* est une espèce majoritairement rencontrée en Asie sur les mêmes cultures [11], [14], [15], [16], [5], [17]. Cependant, elle a été identifiée dans les échantillons collectés. Il pourrait s'agir de l'apparition d'une nouvelle espèce dans l'entomofaune ivoirien.

L'identification simultanée d'au moins deux espèces sur une parcelle donnée montre une cohabitation des espèces de jassides sur le gombo et l'aubergine. Cette cohabitation pourrait expliquer le niveau alarmant des dégâts signalés par les producteurs. La virulence des dégâts pourrait être due par l'effet conjugué de la cohabitation des espèces. En effet, les trois espèces ont plusieurs aspects biologiques en commun [13], [5], ainsi que le même mode d'alimentation. Aussi, lors de leurs prises de nourritures, elles injectent une salive toxique à la plante causant ainsi un jaunissement puis un rougissement des feuilles et leur enrôlement vers le bas [18], [12]. [19] a aussi montré la cohabitation d'au moins trois espèces de jassides en culture cotonnière avec des pics d'infestation à une période bien distincte selon les espèces, allongeant ainsi la période de pullulation des infestations de jassides.

A. biguttula a eu une proportion plus abondante sur le gombo. Cette abondance pourrait traduire une préférence pour le gombo comparativement à l'aubergine. [2], [9]. En effet, la grande surface foliaire des feuilles de gombo favorise l'émergence de cette espèce contrairement à l'aubergine qui a une surface foliaire plus petite. Cela expliquerait l'abondance de cette espèce dans les échantillons collectés sur le gombo.

A l'opposé, les espèces *J. lybica* et *J. fascialis* ont eu des proportions plus abondantes sur l'aubergine. Ces espèces pourraient avoir une préférence pour l'aubergine.

5 CONCLUSION

La présente étude a permis l'identification de trois espèces de jasside sur le gombo et l'aubergine. Il s'agit de *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon, 1922), *Jacobiella facialis* (Dworakowska, 1972) et *Amrasca biguttula* (Shiraki, 1913). Elle a également mise en évidence la cohabitation d'au moins deux espèces. La cohabitation pourrait expliquer en partie la virulence des dégâts. Aussi la rareté des pluies durant la période de juin à juillet pourrait expliquer la pullulation de ces ravageurs qui n'étaient pas de réels dangers pour les cultures d'aubergines et de gombos par le passé.

REFERENCES

- [1] Oman PW, Knight WJ, Nielson MW (1990) Leafhoppers (Cicadellidae): A bibliography, generic check-list and index to the world literature 1956-1985. Leafhoppers Cicadellidae Bibliogr Generic Check-List Index World Lit 1956-1985 368.
- [2] Bernardo EN, Taylo LD (1990) Preference of the cotton leafhopper, *Amrasca biguttula* (Ishida) for okra, *Abelmoschus esculentus* (Linn.), and eggplant, *Solanum melongena* Linn. Philipp Agric 73: 165–177.
- [3] Jayarao B, Abulkhader SB, Naik LK, Vinaykumar MM (2015) Assessment of Biology and morphometric characteristics of different stages of leafhopper, *Amrasca biguttula biguttula* (Ishida) on okra. The Bisscan 10: 671–674.
- [4] El-Fakharany SK, Hegazy FH (2017) Leafhopper, *Jacobiasca lybica* (Bergevin And Zanon) (Hemiptera: Cicadellidae) On Okra Plants And Associated Parasitoids. Egypt Acad J Biol Sci Entomol 10: 173–179.
- [5] Al-Hamadany MN, Al-Karboli HH (2017) First Record of Okra leafhopper, *Amrasca biguttula biguttula* Ishida on Okra in Iraq. Int J Agric Tech 13: 393–402.
- [6] Dmitriev D, Dietrich C (2009) 3I - An Interactive Key to Genera of Empoascini. In: List 3I Interact. Keys Taxon. Databases. <http://dmitriev.speciesfile.org/key.asp?key=Erythroneura&lng=En&i=1&keyN=12>. Accessed 29 Jan 2022.
- [7] Rodrigues SMM, Miranda JE, De Almeida RP, et al (2013) Reconnaissance de ravageurs et ennemis naturels pour les pays C-4.
- [8] Ramila G-K, Samira S, Morsli S (2016) Impact of *Jacobiasca lybica*'s attacks on the physiology of the vine leaf. 10: 133–143.
- [9] Din N, Ashraf M, Rizwan M, et al (2022) Preference of Cotton Jassid, *Amrasca Devastans*, Towards Different Okra Cultivars Having Variable Physio-morphic Characteristics. Pak J Agric Res 35: 131–136.
- [10] Koné PWE, Ochou GEC, Didi GJR, et al (2017) Evolution spatiale et temporelle des dégâts du jasside *Jacobiella facialis* Jacobi, 1912 (Cicadellidae) en comparaison avec la distribution de la pluviométrie au cours des vingt dernières années dans les zones de culture cotonnière en Côte d'Ivoire. Int J Biol Chem Sci 11: 1190–1201. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i3.21>.
- [11] Agarwal RA, Krishnananda N (1976) Preference to Oviposition and Antibiosis Mechanism to Jassids (*Amrasca Devastans* Dist.) in Cotton (*Gossypium* sp.). In: Jermy T (ed) The Host-Plant in Relation to Insect Behaviour and Reproduction. Springer US, Boston, MA, pp 13–22.
- [12] Crétenet M, Gourlot J-P (2016) Le cotonnier, Éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux.
- [13] Verhoek BA, Bijlmakers HWL (1995) Guide de Défense des Cultures au Tchad. 413.
- [14] Schreiner I (2000) Okra Leafhopper (*Amrasca biguttula* Ishida).
- [15] Kumar A, Shukla A, Gambhiri PK (2002) Varietal preference of jasside *Amrasca biguttula biguttula* Ishida on brinjal.
- [16] Vimala V, Bheemanna M, Chowdary R, Ronda SR (2016) Genetic diversity. Of cotton leafhopper populations, *Amrasca biguttula biguttula* (Ishida) in major cotton growing regions of South India. Asian J Microbiol Biotechnol Environ Sci Vol. 18: 87–90.
- [17] Akmal M, Freed S, Dietrich CH, et al (2018) Patterns of genetic differentiation among populations of *Amrasca biguttula biguttula* (Shiraki) (Cicadellidae: Hemiptera). Mitochondrial DNA Part A 29: 897–904. <https://doi.org/10.1080/24701394.2017.1383405>.
- [18] Smith KM (1926) A comparative study of the feeding methods of certain Hemiptera and of the resulting effects upon the plant tissue, with special reference to the potato plant. Ann Appl Biol 13: 109–139.
- [19] Cadou J (1970) Note on the cotton leafhoppers *Empoasca* spp. (Homoptera, Typhlocibidae) in the Central African Republic. Coton Fibres Trop 25: 401–404.

Evaluation de la qualité des eaux souterraines du département de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) à partir de l'indice WQI

[Evaluation of groundwater quality of Grand-Lahou department's (Southwestern Côte d'Ivoire) based on index WQI]

SORO Tanina Drissa¹, FOSSOU N'Guessan Marie Rosine², KONE Gogbeu Yiba Magloire³, OGA Yéi Marie-Solange³, and SORO Nagnin³

¹Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Géosciences de l'Environnement (SGE), Laboratoire Géosciences et Environnement, 02 BP 8012 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

³Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géotechniques, 08 BP 2600 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to assess the quality of groundwater in Grand-Lahou department in southwestern Côte d'Ivoire and to determine the origin of their mineralization. To do this, a sampling campaign conducted in september 2021 focused on twenty boreholes and nine wells. The methodology is based first on the physico-chemical characterization of these waters through elemental statistics and the determination of their chemical facies using the Piper diagram. Then the numerical index WQI method was applied. The results show that the waters are acidic with pH values ranged from 4.6 to 7.8 with an average of 5.75. Apart from iron, the parameters of the groundwater respect the WHO standards and they are fit for consumption. The groundwater has three chemical facies: the calcic and magnesian bicarbonate facies (31.03%), the sodi-potassium bicarbonate facies (17.24%) and the sodi-potassium chloride facies (51.72%). WQI results confirmed those of elementary statistics. They showed that 96.55% of waterworks belong to excellent quality class and one waterwork to good quality class. These results constitute a database for the management of the department's groundwater resources.

KEYWORDS: groundwater, chemical facies, WQI, Grand-Lahou, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a pour but d'évaluer la qualité des eaux souterraines du département de Grand-Lahou dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire à partir d'un indice numérique WQI. Pour ce faire, une campagne d'échantillonnage a été réalisée en septembre 2021. Elle a porté sur vingt forages et neuf puits. La méthodologie est basée d'abord sur la caractérisation physico-chimique de ces eaux à travers les statistiques élémentaires et la détermination de leurs faciès chimiques à l'aide du diagramme de Piper. Ensuite, la méthode de calcul de l'indice WQI est abordée. Les résultats montrent que les eaux sont acides avec des valeurs de pH allant de 4,59 à 7,49 avec une moyenne de 5,75. En dehors du fer, les paramètres des eaux souterraines respectent les normes OMS et elles sont aptes à la consommation. Elles présentent trois faciès chimiques qui sont le faciès bicarbonaté calcique et magnésien (31,03%), le faciès bicarbonaté sodi-potassique (17,24%) et le faciès chloruré sodi-potassique (51,72%). Les résultats de l'indice WQI confirment ceux des statistiques élémentaires. Ils montrent que 96,55% des ouvrages d'eau appartiennent à la classe de qualité excellente et un seul ouvrage à la classe de qualité bonne. Ces résultats constituent une base de données dans le cadre de la gestion des ressources en eau souterraine du département.

MOTS-CLEFS: eaux souterraines, faciès chimique, WQI, Grand-Lahou, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les ressources en eaux souterraines occupent une place de choix dans la politique d'approvisionnement en eau potable des populations rurales et urbaines en Côte d'Ivoire. Il apparaît donc nécessaire de mieux maîtriser ces ressources en eaux [1]. La composition chimique d'une eau issue du milieu naturel est très variable [2]. Elle dépend de la nature géologique du sol d'où elle provient et aussi des substances réactives qu'elle aurait pu rencontrer lors de l'écoulement. Ainsi, la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine sa qualité [3]. L'utilisation intensive des ressources naturelles et l'accroissement des activités humaines ont engendré de graves problèmes sur la qualité des eaux souterraines [4].

En Côte d'Ivoire, comme partout ailleurs en Afrique, les eaux souterraines sont confrontées à un phénomène de pollution d'origine anthropique qui dégrade leur qualité. Les études réalisées par [5], [6] ont fait cas de cette pollution dans les régions d'Abidjan et de Bonoua situées au Sud de la Côte d'Ivoire. Pour ces auteurs, la dégradation des ressources en eau souterraine est intimement liée aux activités agricoles et à la décomposition de la litière forestière. Dans le Sud-Ouest ivoirien, l'approvisionnement en eau potable des populations, surtout rurales est assuré parfois par des forages [4]. Par ailleurs, la surexploitation de ces ressources en vue de couvrir les besoins quotidiens en eau détériore davantage leur qualité [7]; [8], [9]. La mauvaise qualité de l'eau pose un problème de santé publique et cause de nombreuses maladies telles que la dysenterie, la fièvre typhoïde, etc. Dans le département de Grand-Lahou, bon nombre de puits et forages sont vétustes. Ils tarissent ou sont abandonnés à cause de leur apparence rougeâtre et goût désagréable. De plus l'essor spectaculaire enregistré dans le secteur agricole de cette région, ces dernières années, suscite un intérêt particulier sur le plan scientifique [7]. La gestion efficace de ces eaux passe par l'évaluation de leur qualité chimique. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude. Elle fait appel à un outil numérique appelé Water Quality Index (WQI) en anglais.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le département de Grand-Lahou est localisé au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire entre 5°5' et 5°49' de latitude Nord et 4°41' et 5°30' de longitude Ouest avec une superficie de 22283 km² (Figure 1). Il est limité au Sud par l'Océan Atlantique et la lagune Ebrié, au Nord par les départements de Divo et Tiassalé, à l'Est par les départements de Jacqueville et Dabou et à l'Ouest par les départements de Guitry et Fresco [10]. Il fait partie de la région des Grands-ponts dont le chef-lieu est Dabou et comprend les départements de Dabou, Jacqueville et Grand-Lahou. Le département comprend 54 villages regroupés en cinq sous-préfectures (Ahouanou, Bacanda, Ebounou, Toukouzou et Grand-Lahou).

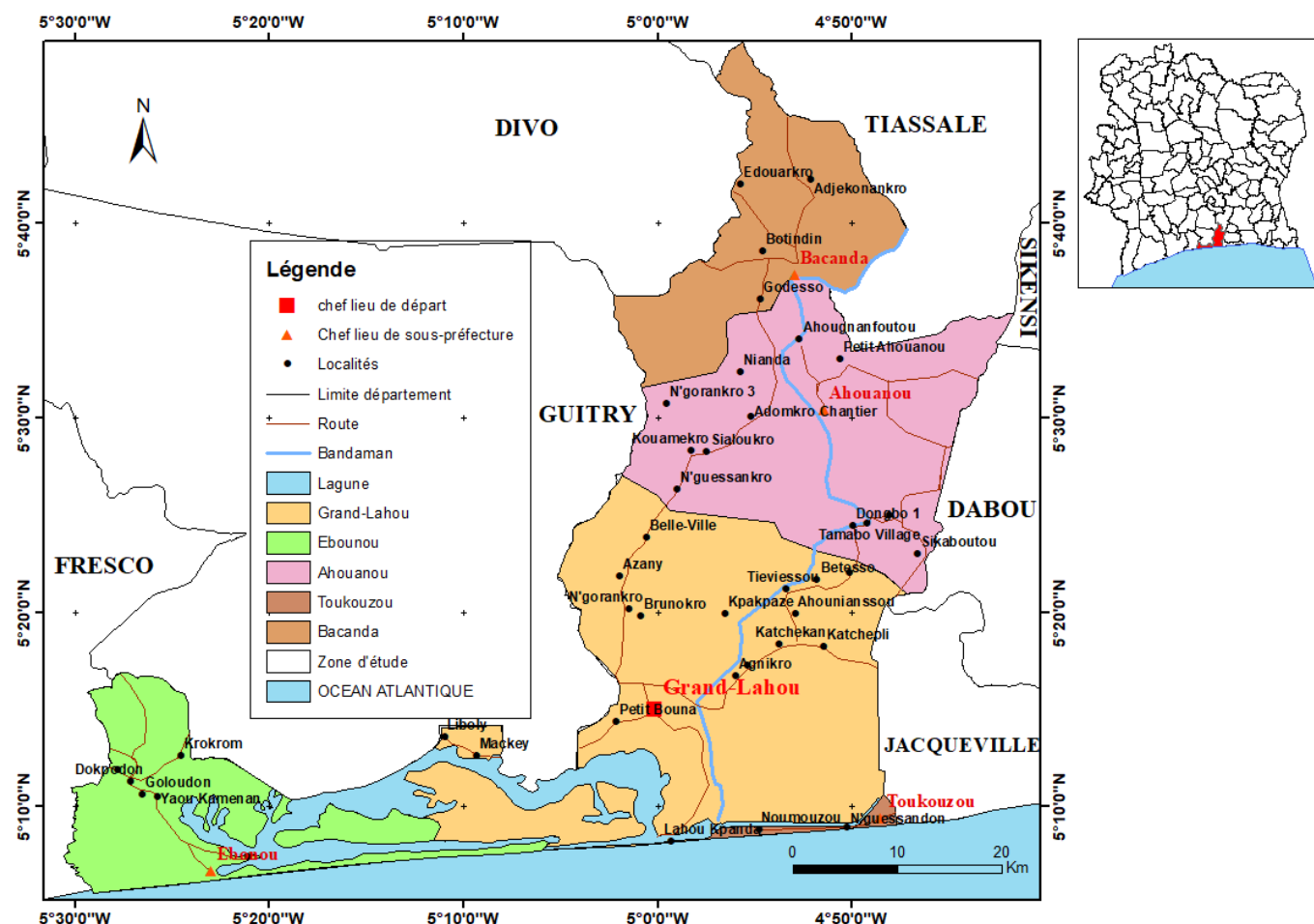


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude

La population est estimée à 155 832 habitants [11]. Elle est composée d'autochtones (Adjoukrou, Abidji, Avikams, N'zima, Dida) et d'allochtones représentés en grande partie par les ressortissants des pays limitrophes de la Côte d'Ivoire vivant dans les villages et les nombreux campements de la zone d'étude. On trouve également dans la zone, des populations d'autres régions du pays [12]. La couverture végétale ne permet pas de dégager les grands aspects du relief. Toutefois, dans son ensemble, le relief est assez plat et monotone. Nous avons le secteur littoral, avec ses lagunes et ses marécages, situé à une altitude voisine du niveau de la mer, mais quelques 5 sommets se distinguent, comme les collines au sud-ouest de Brahéri, avec un point culminant à 283 m [12].

La végétation correspond au domaine de la forêt dense. Cette forêt regroupe trois secteurs qui sont le secteur ombrophile, le secteur mésophile et le secteur littoral [7]. Elle s'étendait jadis au sud de l'isohyète 1600 mm. Le secteur ombrophile est caractérisé par une forêt dense humide sempervirente liée au climat de type équatorial. Les espèces végétales rencontrées sont *Trichilia heudelotii*, *Uapaca guineensis*, *Terminalia ivorensis*, etc. Le secteur mésophile est représenté par la forêt dense semi-décidue. Le secteur littoral quant à lui est marqué par une complexité des groupements végétaux liés aux conditions édaphiques diverses. Il va de la forêt sempervirente à la savane littorale (Grand-Lahou) en passant par les mangroves à rhizophora et palétuviers, les forêts marécageuses des bas-fonds et les cordons lagunaires. Le climat de la zone d'étude est de type équatorial de transition qui associe deux saisons pluvieuses à deux saisons sèches [13]. Le département de Grand-Lahou dispose d'une hydrographie dense et variée [14]. Le littoral de Grand-Lahou est dominé par un vaste plan d'eau où communiquent les lagunes, le fleuve Bandama et la mer. Son réseau hydrographique est donc constitué d'un complexe lagunaire d'une superficie de 190 km² [15] et de plusieurs cours d'eaux permanents ou saisonniers. Le complexe lagunaire, d'une longueur totale de 50 km, est composé de quatre (4) petites lagunes qui sont, d'Ouest en Est: les lagunes Tadio, Nouzoumou, Mackey et Tagba. Les cours d'eaux permanents sont essentiellement le Boubo et le fleuve Bandama. Les formations géologiques peuvent être regroupées suivant quatre grands domaines à savoir: le Quaternaire, le Méso-Cénozoïque, le Protérozoïque et le Birimien. Du point de vue géologique, la zone d'étude appartient à un ensemble formé de deux unités géologiques dont les formations du socle au Nord et le bassin sédimentaire situé au Sud. Les formations du socle sont variées, mais on peut les regrouper selon leur âge en trois grands ensembles, les formations archéennes (migmatites), libériennes (granitoïdes) et birimiennes (dont le groupe de comblement, à

conglomérats, grès et schistes, est dominant) [13]. Les formations du bassin sédimentaire se regroupent en deux unités géologiques: le Quaternaire et Le Méso-Cénozoïque. Le Quaternaire est représenté par les sables des cordons marins. Ces sables constituent une bande qui s'amenuise progressivement d'Est en Ouest. Le Méso-Cénozoïque (Continental terminal) est constitué de formations essentiellement sédimentaires. Ce sont en général les sables, les argiles et les grès ferrugineux [12]. Deux types d'aquifères, à savoir les aquifères continus et les aquifères discontinus surmontés d'altérites constituent les réservoirs des eaux souterraines de la région [7].

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 MATERIEL

Les données utilisées dans cette étude sont constituées de données hydrochimiques obtenues par mesure *in situ* et analyse en laboratoire. Sur le terrain, nous avons utilisé un GPS pour la localisation des points d'échantillonnage, 60 flacons en polyéthylène de 1L pour le prélèvement des échantillons d'eaux; un appareil multi-paramètre de type HANNA HI98195 pour les mesures des paramètres *in situ*; 5L d'eau distillée pour le rinçage des flacons et des électrodes du multiparamètre de type HANNA HI98195; de l'acide nitrique (HNO_3) pour stabiliser les éléments chimiques; des gants pour éviter des éventuelles contaminations; 2 glacières pour la conservation des échantillons d'eaux souterraines en dessous de 4°C et enfin, d'une voiture pour le transport. Le matériel de laboratoire utilisé pour l'analyse chimique des ions majeurs est composé du spectrophotomètre UV-VIS utilisé pour analyser les sulfates et les nitrates, du spectrophotomètre d'absorption atomique utilisé pour l'analyse du potassium, sodium, magnésium et le calcium, enfin le bicarbonate et le chlorure ont été analysés par dosage potentiométrique.

3.2 METHODES

3.2.1 MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE

Une campagne d'échantillonnage d'eau a été effectuée sur la période du 25 septembre au 03 octobre 2021. Cette étude a porté sur 29 points d'eau dont vingt (20) forages et neuf (9) puits (figure 2). Avant le prélèvement, les forages ont été pompés pendant 2 à 3 minutes pour éviter l'eau stagnante dans la canalisation. Les bouteilles d'échantillonnage ont été stérilisées et rincées 2 à 3 fois avec l'eau à échantillonner avant leur remplissage. De l'acide nitrique (HNO_3) a été ajouté aux échantillons. Après le prélèvement, les échantillons ont été mis dans une glacière contenant de la glace pour leur conservation et sont transportés au Laboratoire Central d'Analyse de l'Université Nangui Abrogoua (LCAUNA). Au cours du prélèvement, les paramètres physiques tels que la température, le pH, la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (TDS) ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre de type HANNA HI98195. La sonde du multiparamètre est plongée dans l'échantillon d'eau et la lecture s'est faite directement à l'écran. Les cations majeurs ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) dans une flamme air-acétylène oxydante. Cette méthode utilise la propriété des atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie. Les chlorures et les bicarbonates sont analysés par dosage potentiométrique. Les teneurs en chlorure ont été déterminées par l'ajout progressif d'une solution titrante de nitrate mercurique de molarité 0,22N ou 2,26N en présence d'un indicateur coloré qui est le diphényl-carbazone. À la fin de la réaction, on obtient une coloration violette-pourpre. La concentration de chlorure est égale à la valeur lue sur le titrimètre, multipliée par un facteur correctif qui dépend de la concentration de la solution titrante et la quantité de l'échantillon à doser. Le dosage du nitrate a été fait par la méthode de réduction au cadmium (HACH, méthode 8039) qui consiste à ajouter, de nitrifier 5 à 10 ml d'échantillon et la lecture directe au spectromètre UV-VIS. Les sulfates ont été dosés par la méthode néphélométrique qui consiste à précipiter en milieu chlorhydrique les sulfates à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de « tween 20 » ou de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre à 650 nm. La teneur en ammonium a été réalisée par la méthode de salicylate qui consiste à ajouter du salicylate d'ammonium et du cyanurate d'ammonium à 10 ml d'échantillon et la lecture directe au spectromètre UV-VIS.

Le contrôle de la qualité des résultats d'analyse a été fait par simple calcul de la balance ionique (BI) (voir équation 1).

$$BI = \frac{\sum + - \sum -}{\sum ++ \sum -} \times 100 \quad (1)$$

Avec :

$\sum +$: Somme des cations (en méq/L).

$\sum -$: Somme des anions (en méq/L).

La balance ionique est exprimée en pourcentage.

Si $BI < 5\%$, l'analyse est satisfaisante, les méthodes de dosage ont été précises.

Si $5 < BI < 10\%$, l'analyse est jugée acceptable.

Si $BI > 10\%$, l'analyse est douteuse et doit être reprise pour une vérification.

Si $BI > 10\%$, l'analyse est douteuse et doit être reprise pour une vérification.

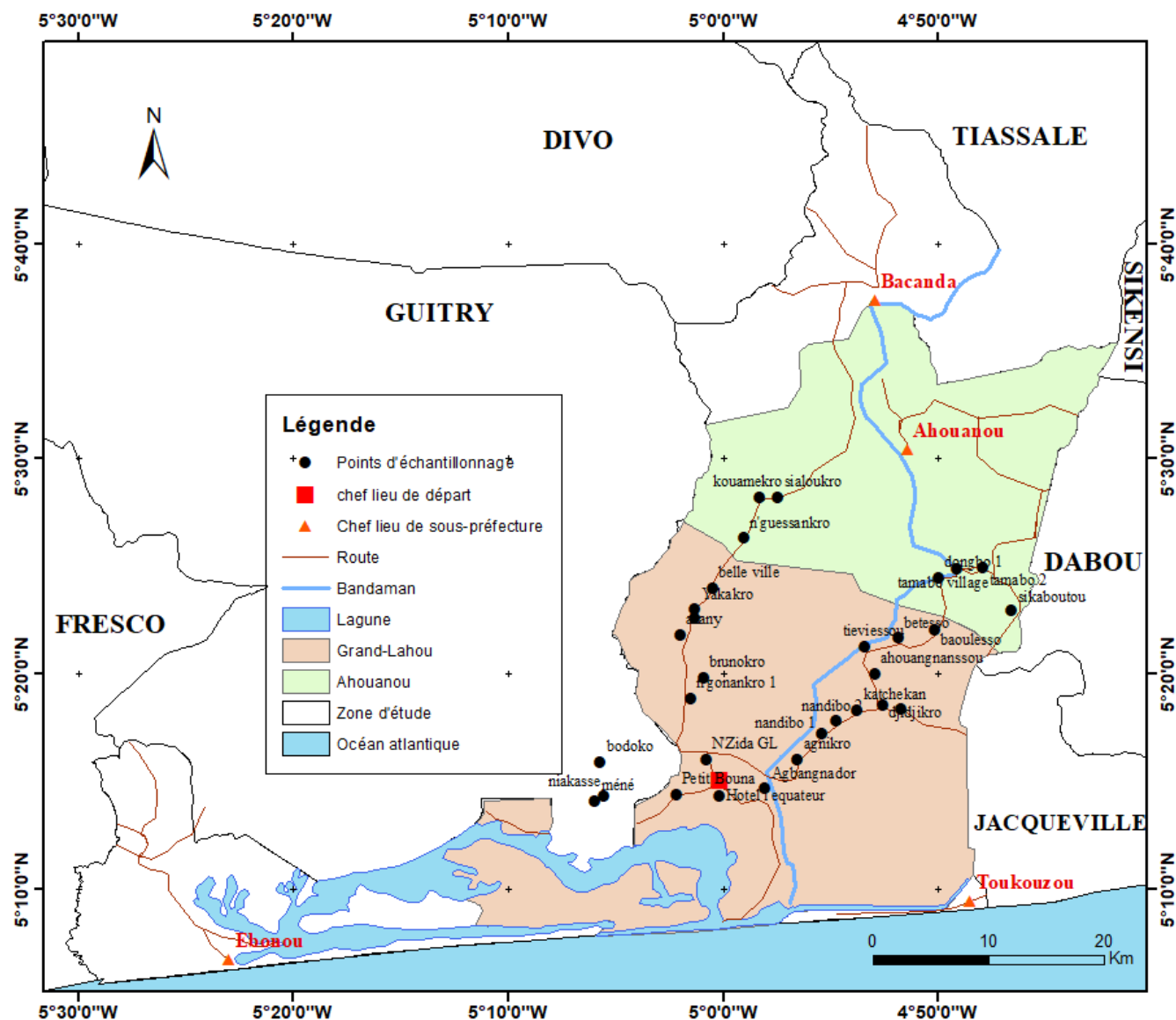


Fig. 2. Carte des points d'échantillonnage

3.2.2 DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Une analyse descriptive sommaire a permis de faciliter l'exploitation des données hydrochimiques. Elle consiste à étudier les valeurs extrêmes (minima et maxima), les valeurs centrales notamment la moyenne et les paramètres de dispersion (écart-type, coefficient de variation) des différents paramètres hydrochimiques.

Le diagramme de [16] a été utilisé pour déterminer les faciès chimiques des eaux. Ce diagramme est le plus fréquemment utilisé dans le domaine de l'hydrochimie avec de très bons résultats ([7]; [17]; [18]; [19]; [20]; [21]).

3.2.3 CALCUL DE L'INDICE DE QUALITE WQI

L'indice de qualité de l'eau (IQE) ou Index Quality Water (WQI) en anglais, est une technique de classification de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationale respectives [22]. En d'autres termes, l'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (par exemple, excellent, bon, mauvais, etc.), en générant un score qui décrit l'état qualitatif de l'eau en vue d'un usage domestique [22]. Au cours des dernières années, plusieurs études ont eu recours à ce concept pour estimer la qualité de l'eau souterraine en utilisant différentes méthodes de calculations [23]; [22].

L'indice de qualité WQI a été appliqué dans cette étude pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux souterraines. Les variables utilisées pour cette étude sont: les TDS, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le fer, l'ammonium, le chlorure, le nitrate, le sulfate et le phosphate.

L'indice WQI est calculé en assignant dans une première étape des poids aux paramètres mesurés sur la base de leur importance relative. Les poids (w_i) assignés aux différents paramètres dans cette étude sont fondés sur l'approche de [24] dans la ville de Busan en Corée. Ainsi, le poids maximum de 5 a été attribué aux paramètres sodium, chlorure, TDS, nitrate et sulfate car ces composants sont très étroitement liés à la contamination des eaux souterraines. Le bicarbonate ne contribue pas à la contamination des eaux souterraines selon [25], [26], il n'a donc pas été pris en compte. Dans la deuxième étape, le poids relatif W_i est calculé selon l'équation 2 suivante:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

où: W_i est le poids relatif, w_i le poids de chaque paramètre et n le nombre de paramètres.

Dans la troisième étape, une échelle d'évaluation de la qualité (q_i) est attribuée à chaque paramètre en divisant sa concentration dans chaque échantillon d'eau par sa norme respective, conformément aux lignes directrices définies par [9], et le résultat est multiplié par 100. Le calcul de q_i se fait selon l'équation 3 suivante:

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100 \quad (3)$$

où q_i est la cote de qualité, C_i est la concentration de chaque paramètre chimique en milligramme par

litre, S_i est la norme de l'OMS pour chaque paramètre chimique en milligrammes par litre, conformément aux lignes directrices de [9].

Pour le calcul final, l'indice SI est d'abord déterminé pour chaque paramètre chimique à l'aide de l'équation 4 et WQI par l'équation 5 comme suit:

$$SI_i = W_i \times q_i \quad (4)$$

$$WQI = \sum SI_i \quad (5)$$

où SI_i est le sous-indice du $i^{\text{ème}}$ paramètre, q_i est le classement basé sur la concentration du $i^{\text{ème}}$ paramètre, n est le nombre de paramètres.

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau WQI (Tableau 1).

Tableau 1. Classification des eaux basée sur les valeurs WQI. [24]

WQI	Qualité de l'eau
WQI < 50	Excellente
50 < WQI < 100	Bonne
100 < WQI < 200	Mauvaise
200 < WQI < 300	Très mauvaise
WQI > 300	Impropres

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

Les valeurs de la balance ionique sont comprises entre -10% et 0%. Dix (10) échantillons sont compris entre 1% et 5%. Ces valeurs montrent que l'analyse est acceptable.

4.1.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

4.1.1.1 STATISTIQUES ÉLÉMENTAIRES

Le tableau 2 présente les résultats des statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines. L'analyse du tableau montre que dans l'ensemble, les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques respectent les normes OMS en dehors du pH et du fer. Les eaux sont donc aptes à la consommation humaine. Les coefficients de variation obtenus pour la température (4; 92%), le pH (13,08%), le sodium (Na^+) (39,55%) et le nitrate (NO_3^-) (41,59%) sont inférieurs à 50%. Cela traduit une homogénéité de leurs données aux niveaux des eaux souterraines, donc une faible variation.

Tableau 2. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines du département de Grand-Lahou

Variables	Unité	Minimum	Maximum	Moyenne	σ	CV (%)	Norme OMS (2011)
TDS	mg/L	18,00	242,00	79,93	53,92	67,46	≤ 1000
T°C	°C	26,20	31,34	28,26	1,39	4,92	25°C à 30°C
pH	-	4,59	7,49	5,75	0,75	13,08	6,5 < pH < 8,5
CE	$\mu\text{S}/\text{cm}$	32,00	404,00	139,09	105,05	75,53	≤ 500
Ca^{2+}	mg/L	0,76	37,98	13,72	15,31	111,52	≤ 100
Mg^{2+}	mg/L	0,39	19,93	6,39	5,18	81,13	≤ 50
Na^+	mg/L	6,27	37,19	22,93	9,07	39,55	≤ 200
K^+	mg/L	0,01	25,50	3,45	4,86	140,68	≤ 12
Fe^{2+}	mg/L	0,02	1,41	0,33	0,35	104,30	$< 0,3$
NH_4^+	mg/L	0,01	0,93	0,21	0,29	140,92	$\leq 1,5$
HCO_3^-	mg/L	2,67	200,26	61,42	54,94	89,45	-
Cl^-	mg/L	4,10	54,02	12,17	12,10	99,41	< 250
SO_4^{2-}	mg/L	0,98	10,75	4,69	2,67	56,94	< 250
PO_4^{3-}	mg/L	0,07	6,67	0,59	1,23	208,58	≤ 5
NO_3^-	mg/L	17,26	78,12	39,49	16,42	41,59	≤ 50

σ : écart type, CV: coefficient de variation.

4.1.1.2 FACIÈS CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

La figure 3 montre la projection des échantillons d'eau dans le diagramme de Piper. L'analyse de la figure montre que les eaux souterraines se répartissent en trois faciès. Ce sont le faciès bicarbonaté calcique et magnésien avec 9 échantillons soit 31,03%, le faciès chloruré sodi-potassique représenté par 15 échantillons soit 51,72% et le faciès bicarbonaté sodi-potassique avec 5 échantillons d'eau soit 17,24%.

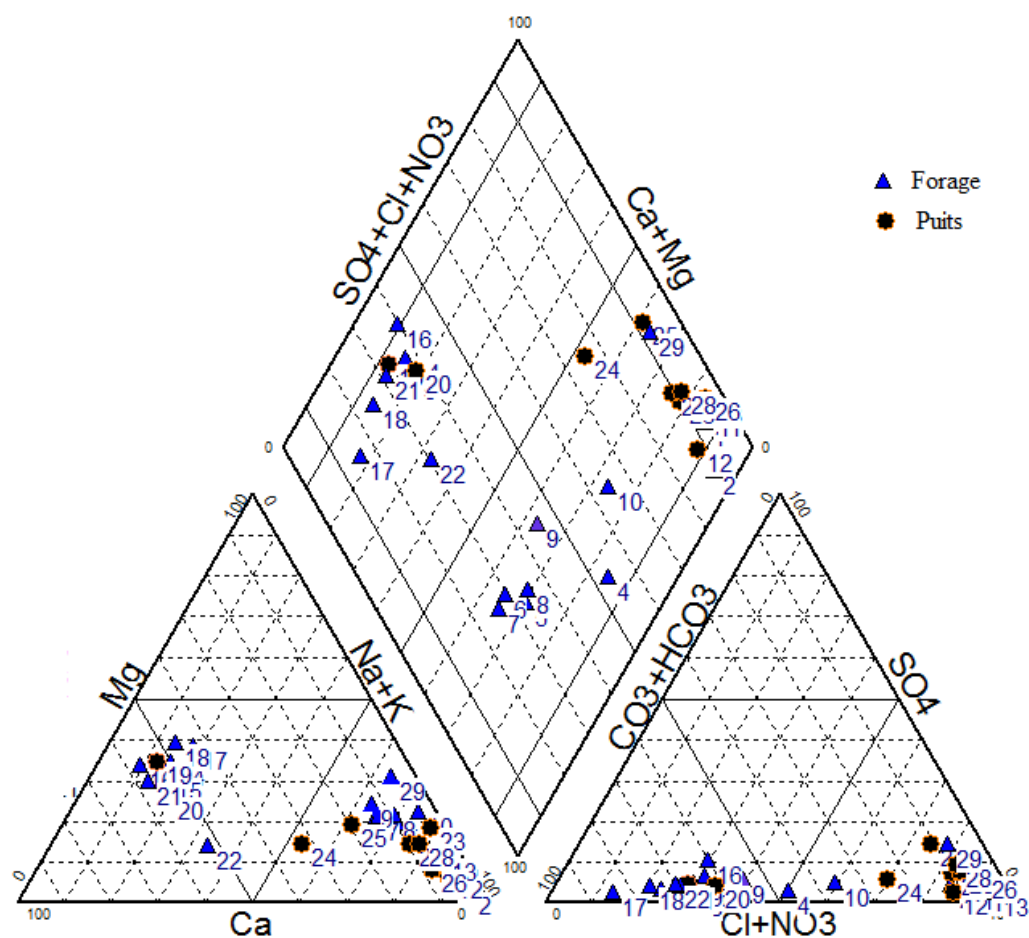


Fig. 3. Projection des échantillons d'eau souterraine dans le diagramme de Piper

4.1.2 ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES À PARTIR DE L'INDICE WQI

Le tableau 3 présente les valeurs de l'indice de qualité WQI des eaux souterraines. L'analyse du tableau montre que les valeurs de l'indice WQI sont comprises entre 9,54 et 55,58. Sur vingt-neuf (29) ouvrages, 28 ouvrages soit 96,55% ont une eau de qualité excellente. Seul le forage de Tamabo 2 avec un indice WQI de 55,58 supérieur à 50 appartient à la classe de qualité bonne.

Tableau 3. Résultats de l'indice WQI des eaux souterraines du département de Grand-Lahou

Code	Localité	WQI	Classe de qualité
F1	Agnikro	23,19	Excellente
F2	Nanibo 1	24,12	Excellente
F3	Nanibo 2	23,33	Excellente
F4	Ahouangnanssou	30,18	Excellente
F5	Tieviéssou	26,32	Excellente
F6	Bétéssou	23,56	Excellente
F7	Baouléssou	28,16	Excellente
F9	Tamabo 2	55,58	Bonne
F10	Tamabo village	24,33	Excellente
F11	Dongbo 1	23,63	Excellente
F12	Katchepi	18,54	Excellente
P1	Djidjikro	18,88	Excellente
F13	Katchekan	22,80	Excellente
F14	N'gonankro 1	30,78	Excellente
F15	Belle ville	36,00	Excellente
F16	N'guessankro	33,93	Excellente
F17	Kouamékro	47,17	Excellente
F18	Sialoukro	41,28	Excellente
P2	Yakakro	22,13	Excellente
P3	Broukro	25,33	Excellente
F19	Azany	23,69	Excellente
F20	Brunokro	16,39	Excellente
P4	Bodoko	27,42	Excellente
P5	Niakassé	46,32	Excellente
P6	Méné	46,48	Excellente
P7	N'Zida GL	10,59	Excellente
P8	Hôtel l'équateur	9,54	Excellente
P9	Agbangnador	13,99	Excellente
F21	Petit Bouna	12,73	Excellente

F: forage, P: puits

4.2 DISCUSSION

Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines du département de Grand-Lahou donnent une moyenne de température de 28,26°C. Cette valeur est proche de celle obtenue dans la région de Dabou (28,24°C) par [27]. Elle correspond aux variations saisonnières des températures atmosphériques ambiantes. Selon [28], la valeur impérative de 25°C est difficile à observer en Afrique de l'Ouest où la température moyenne de l'eau tend vers 30°C en raison des conditions climatiques. La valeur moyenne du pH (5,75) montre que les eaux souterraines de la zone d'étude sont acides. Cette acidité des eaux a été observée dans plusieurs régions de la Côte d'Ivoire notamment dans la région de Tiassalé [17], dans la région de Dabou [29], dans le degré carré de Grand-Lahou [7] et dans la région de San-Pédro [1]. Selon [30], l'acidité des eaux est principalement liée à la production du CO₂ dans les couches superficielles du sol sous l'action des activités biologiques. Les valeurs de la conductivité électrique des eaux dans la zone d'étude varient de 32 µS/cm à 404 µS/cm avec une moyenne de 139,09 µS/cm. Ces eaux sont faiblement minéralisées, ce qui correspond à un trait chimique bien reconnu dans le pays.

La classification chimique à l'aide du diagramme de Piper a mis en évidence trois (3) faciès qui sont le faciès chloruré sodi-potassique (50%), le faciès bicarbonaté calcique et magnésien (30%) et le faciès bicarbonaté sodi-potassique (20%). Ce résultat est en accord avec les travaux de [7] dans le degré carré de Grand-Lahou. Selon plusieurs auteurs notamment [31], le faciès bicarbonaté est le plus représenté dans le socle. En effet, l'abondance des ions bicarbonates dans ces eaux pourrait s'expliquer par l'hydrolyse des feldspaths

que l'on rencontre en abondance dans les roches acides [30]. Contrairement en zone de socle, le faciès chloruré sodi-potassique est le plus représenté en zone sédimentaire. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans la région du grand Abidjan par [32], [33] et ceux de [8] A dans la région d'Agboville.

Le calcul de l'indice WQI a révélé deux classes de qualité d'eau qui sont la classe excellente (96,55%) et la classe bonne (3,45%). Ces résultats démontrent que les eaux souterraines sont de bonne qualité. L'abandon d'un point d'eau relève ici de considérations socio-culturelles ou organoleptiques [7]. Par ailleurs, l'attribution des poids des paramètres étant liée à l'appréciation de chaque personne, les valeurs de WQI peuvent varier pour une même étude.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer la qualité des eaux souterraines du département de Grand-Lahou à partir de l'indice numérique WQI. La caractérisation physico-chimique montre que ces eaux souterraines sont acides avec un pH moyen de 5,75. Elles sont peu minéralisées ce qui est conforme à un trait chimique bien reconnu dans le pays. En dehors du pH et du fer, tous les paramètres physico-chimiques respectent les normes guides OM. Les eaux sont donc aptes à la consommation humaine. Elles présentent trois faciès dont le plus dominant est le faciès chloruré sodi-potassique (51,72%). Les résultats de l'indice WQI confirment ceux des statistiques élémentaires. Ils révèlent que 96,55% des eaux sont de qualité excellente et 1 seul échantillon de qualité bonne. Cette étude constitue un apport indéniable dans la gestion des eaux souterraines.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les populations des localités des points d'eau échantillonnés pour leur accueil et leur collaboration lors de la mission d'échantillonnage. Ils remercient plus particulièrement les chefs de villages.

REFERENCES

- [1] T. Lasm, O. Lasm, Y.M.S. Oga, M.Youan Ta, D. Baka, F. Kouamé et K.T. Yao, «Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région de San Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)», International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol. 5, n°2, pp. 642-662, 2011.
- [2] L. Matini, J.M.Moutou, et M.S. Kongo-Mantono, «Évaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo», Afrique SCIENCE, vol. 5, n°5, pp. 82-98, 2009.
- [3] P. Jain, J.D.Sharmah, D. Sohu et P. Sharma, «Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Jaipur District», International Journal of Environmental Science and Technology, vol. 2, n°4, pp. 373-379, 2005.
- [4] K.T. Yao, Y.M.S. Oga, O. Fouché, D. Baka, C. Pernelle et J. Biémi, «Évaluation de la potabilité chimique des eaux souterraines dans un bassin versant tropical: cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire», International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol.6, n°6, pp. 7069-7086, 2012.
- [5] G.E. Aké, B.E. Kouadio, K. Dongo, B. Dibi, K.F. Kouamé et J. Biémi, «Application des méthodes DRASTIC et SI pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution par les nitrates (NO₃⁻) de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)», International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol. 4, n°5, pp. 1676-1692, 2010.
- [6] L.O. Blé, G.E. Aké, T. Soro, G. et E.Y. Kouadio, « Évaluation de la qualité hydrochimique des eaux souterraines de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)», International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 14, n°4, pp. 896-907, 2016.
- [7] N. Soro, Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand Lahou et ses environs (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université de Cocody, 272 p., 2002.
- [8] K.E. Ahoussi, Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville», Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 348 p., 2008.
- [9] OMS, Guidelines for Drinking-water Quality. Recommendations; Fourth Edition; 518 p., 2011.
- [10] M.Kamagaté, S.Kamagaté et T. Gogbe,«Les entités décentralisées et le renforcement de la couverture médicale du département de grand-Lahou en Côte d'Ivoire. Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé, vol. 1, n°2, pp. 47- 61, 2018.
- [11] RGP. Résultats globaux, 37 p., 2001.
- [12] T. D. Soro, Variabilité climatique et son impact sur l'alimentation des ressources en eau du degré carré de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire), Mémoire de DEA des Sciences de la Terre, Université de Cocody, 90 p., 2006.
- [13] T.D. Soro, N. Soro, Y.M.S. Oga, T. Lasm, G. Soro, K.E. Ahoussi et J. Biémi, «La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)», Physio-Géo, vol 5, pp. 56-73, 2011.

- [14] K.S. Konan, K.L. Kouassi, K.I. Kouamé, M. Aka, A.M. Kouassi et D. Gnakri, «Hydrologie et hydrochimie des eaux dans la zone de construction du chenal du port de pêche de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, n°2, pp. 819-831, 2013.
- [15] A.V.I. Wognin, (2004). Caractérisation hydrologique et sédimentologique de l'embouchure du fleuve Bandama. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, 195 p., 2014.
- [16] A.M. Piper. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. US GeolSurv Groundwater Note 12 Sulin VA (1948) Water of petroleum formation in systems of natural waters. Costoptekhizdat, Moscow, 96 p., 1953.
- [17] Y.M.S. Oga, T. Lasm, K.T.Yao, K. Soro, N., M.B. Saley., D. Kouassi et F. Gnamba. «Caractérisation chimique des eaux des aquifères de fracture: Cas de la Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire», *European Journal of Scientific Research*, vol.31, n°1, pp. 72- 87, 2009.
- [18] K.E. Ahoussi, N. Soro, Y.B. Koffi, G. Soro et J. Biémi, «Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de la zone Sud de la Côte d'Ivoire: cas de la région d'Abidjan-Agboville,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, n°3, pp. 782-797, 2010.
- [19] T.D.Soro, Évolution des ressources en eau du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) dans un contexte de variabilité et de changement climatiques: Impact hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 243 p., 2014.
- [20] A. Diabagaté, T. A. Goula et G. E. Soro, «Hydrochimie des eaux souterraines de la Région du Poro (Côte d'Ivoire)», *European Scientific Journal*, vol. 15, n°9, pp.247-262, 2019.
- [21] G. N'guettia, O.M.J. Mangoua, N.K. Aboua, A.G.Douagui et D.L. Goné, «Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du bassin versant de la Baya, Est Côte d'Ivoire», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 13, n°1, pp. 574-585, 2019.
- [22] S. Zamiche, F. Hamaidi-Chergui and A.Demiai, «Pollution of the quaternary aquifer of mitidja (Algeria) by nitrates: origins and impacts on the quality of water for human consumption», *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol.10, n°1, "pp. 113-131, 2018.
- [23] B. Belkacem¹ B. Sabria, J.D.Taupin³ P. Nicolas ³et A. Habib, «Cartographie de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Ghriss, Nord-Ouest Algerien,» *Eau-Société-Climat*, Hammamet le 2,3 et 4 Octobre 2017, 6p.
- [24] S.Y. Chung, M. Venkatramanan, T.H. Kim, D.S. Kim and T. Rankumar, Influence of hydrogeochemical processes and assessment of suitability for groundwater uses in Busan City, Korea, *Environment, Development and Sustainability*, vol.17, pp.423-441, 2015.
- [25] M. Vasanthavigar, K. Srinivasamoorthy, K.Vijayaragavan, R. Rajiv Ganthi, S. Chidambaram and P. Anandhan P. «Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India», *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 171, pp.595–609, 2010.
- [26] P. J Sajil Kumar, L. Elango and E. J. James, «Assessment of hydrochemistry and groundwater quality in the coastal area of South Chennai, India», *Arabian Journal of Geosciences*, vol.7, pp.2641-2653, 2014.
- [27] A. Tapsoba-Sy, Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire): Hydrochimie, isotopie et indice de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de Doctorat 3è cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 200 p., 1995.
- [28] J. Biémi J. «Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)», Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université d'Abidjan, 480 p., 1992.
- [29] B. Dibi, D.Inza, Y.A. N'go et D.L. Goné, «Origine et mécanisme de la minéralisation des eaux souterraines de la région de Dabou, Côte d'Ivoire. Apport de l'analyse en composantes principales normées», *BIOTERRE*, vol. 5, n° 1, pp. 1-12, 2005.
- [30] T. Lasm, K.T. Yao, Y.M.S. Oga, K.F.Kouamé, P. Jourda, K.E. Kouadio and D. Baka, «Analysis of the physico-chemical characteristics of groundwater in Proterozoic Land region of the Tiassalé Area (Southern Côte d'Ivoire)», *European Journal of Scientific Research*, vol.20, n° 3, pp. 526-543, 2008.
- [31] B. Adiaffi, «Apport de la géochimie isotopique, de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact socle-bassin sédimentaire du Sud-Est de la Côte d'Ivoire», Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, Orsay France, 217 p., 2008.
- [32] J.P. Jourda, «Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du grand Abidjan (Côte d'Ivoire)», Thèse de Doctorat 3è cycle, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France, 317 p., 1987.
- [33] Y.M.S.Oga, Ressources en eaux souterraines dans la région du Grand-Abidjan (Côte d'Ivoire): Approches hydrochimique et isotopique», Thèse de Doctorat, Université Paris XI Orsay, France, 241 p., 1998.

Évaluation de la toxicité aiguë des feuilles d'*Albizia adianthifolia* S. et de *Combretum molle* R.

[Assessment of the acute toxicity of leaves of *Albizia adianthifolia* S. and *Combretum molle* R.]

Mukadi Kanku Obed¹ and Fimbo Ntenta Daniel²

¹Assistant, Institut Supérieur Pédagogique de Kolwezi, B.P 300, Kolwezi, RD Congo

²Chargé d'enseignement, Institut Supérieur Pédagogique de Lubumbashi, B.P 1796, Lubumbashi, RD Congo

Copyright © 2022 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 use of traditional herbal recipes is increasing increasingly all over the earth. These plants, use in the treatment of various pathologies, are for the most part of source of sometimes tragic and fatal poisoning.

The objective of this study was to evaluate the acute toxicity of the leaves of *Albizia adianthifolia* S. and *Combretum molle* R. plants frequently used in traditional medicine in the city of Lubumbashi, respectively for treatment of eye diseases, against diabetes and as an anthelmintic. The assessment of acute toxicity was carried out by observing certain clinical signs of toxicity. The assay of the biochemical parameters namely urea, creatinine, albumin, bilirubin was also carried out.

The aqueous extracts of macerated leaves of *Albizia adianthifolia* S. and *Combretum molle* R. as plant material were administered orally to male guinea pigs during the experiment at three doses (1000, 2000 and 3000 mg/kg).

Renal, hepatic and cardiac toxicity as well as haematologic toxicity were observed by the disturbance of the parameters analyzed, including loss of hair in the abdomen and back, aggressiveness, chills, abnormal breathing, eating disorder, isolation and difficulty in locomotion.

In conclusion, the use of *Albizia adianthifolia* S. at doses greater than 1g/kg would be toxic for guinea pigs although the LD₅₀ is above 3 kg/kg and with regard to the use of *Combretum molle*, it can be classified in the category of low toxic plants.

KEYWORDS: plants, poisoning, signs, disturbance, guinea pigs, Lubumbashi.

RESUME: L'utilisation des recettes traditionnelles à base des plantes accroît de plus en plus sur toute l'étendue de la terre. Ces plantes exploitées dans la prise en charge des pathologies diverses sont pour la plupart source d'intoxications parfois tragiques et mortelles.

Cette étude s'est fixé comme objectif, l'évaluation de la toxicité aiguë des feuilles d'*Albizia adianthifolia* S. et de *Combretum molle* R. plantes utilisées fréquemment en médecine traditionnelle dans la ville de Lubumbashi respectivement pour le traitement d'affections oculaires, contre le diabète et comme vermifuge.

L'évaluation de la toxicité aiguë a été réalisée par l'observation de certains signes cliniques de toxicité. Le dosage des paramètres biochimiques à savoir l'urée, la créatinine, albumine, bilirubine a été également réalisé.

Les extraits aqueux de macéré des feuilles d'*Albizia adianthifolia* et de *Combretum molle* comme matériel végétal ont été administrés per os aux cobayes mâles lors de l'expérimentation en raison de trois doses différentes (1000, 2000 et 3000 mg/kg).

Une toxicité rénale, hépatique, cardiaque ainsi qu'une toxicité hématologique ont été observées par la perturbation des paramètres analysés. Certains symptômes de toxicité ont été observés, notamment la perte des poils au niveau de l'abdomen et au dos, agressivité, frissons, respiration anormale, trouble alimentaire, isolement et difficulté de locomotion.

En conclusion, l'usage d'*Albizia adianthifolia* aux doses supérieures à 1g/kg serait toxique pour le cobaye bien que la DL₅₀ soit au-delà de 3g/kg et en ce qui concerne l'usage de *Combretum molle*, elle peut être classée dans la catégorie des plantes faiblement toxiques.

MOTS-CLÉS: plantes, intoxication, signes, perturbation, cobayes, Lubumbashi.

1 INTRODUCTION

La santé est une préoccupation majeure de tout être vivant qui cherche à maintenir son état d'équilibre physique, mental ou moral. Les pathologies courantes telles que le paludisme, la diarrhée et les infections sexuellement transmissibles rongent sans distinction, toutes les couches sociales, dans les quartiers pauvres et riches des agglomérations humaines [1].

Depuis la nuit des temps, les hommes apprécient les vertus apaisantes et analgésiques des plantes. Aujourd'hui encore, les deux tiers de la pharmacopée ont recours à leurs propriétés curatives. À travers les siècles, les traditions humaines ont su développer la connaissance et l'utilisation des plantes médicinales. Si certaines pratiques médicinales paraissent étranges et relèvent de la magie, d'autres au contraire semblent plus fondées, plus efficaces [2]. C'est pourquoi, la connaissance de la toxicité de plantes utilisées est un facteur important pour leur bon usage.

Albizia adianthifolia et *Combretum molle* sont des plantes utilisées en médecine traditionnelle congolaise, plus particulièrement à Lubumbashi et ses environs pour ses diverses vertus thérapeutiques notamment dans le traitement d'affections oculaires, contre le diabète et pour l'*Albizia adianthifolia* dont la sciure peut causer une irritation des voies nasales et de la gorge; les activités antibactériennes, antiprotistes pour *Combretum molle* et antifongiques [3]. La détermination de leur toxicité aiguë et/ou chronique s'avère indispensable pour ainsi promouvoir leur utilisation.

Ce travail a pour objectif de déterminer la toxicité aiguë des extraits aqueux des feuilles d'*Albizia adianthifolia* et celles de *Combretum molle*.

Cette évaluation sera faite en quatorze jours [4] sur les cobayes (*Cavia porcellus*) qui recevront en dose unique de 1000 mg/kg, 2000 mg/kg et 3000 mg/kg par gavage les extraits aqueux des feuilles d'*Albizia adianthifolia* et de *Combretum molle*. Les signes cliniques révélateurs d'intoxications: la variation de poids, les différents paramètres biochimiques et hématologiques seront déterminés ainsi que l'estimation de la dose létale pouvant tuer 50 % des animaux d'expérience (DL₅₀) tant que possible par la méthode de Dragstedt et Lang [5].

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MATÉRIELS

2.1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal comprend les feuilles d'*Albizia adianthifolia* et de *Combretum* récoltées le 27 avril 2020 à 14 heures, à l'état frais dans les zones forestières claires situées à la limite nord de la ville de Lubumbashi. *Albizia adianthifolia* a été récolté aux coordonnées GPS: NS: 11°37'49,297"; EO: 27°26'24,489" et *Combretum molle* aux coordonnées GPS: S: 11°37'48,3"; EO: 27°27'28,398". Ce matériel a été également séché et conservé à l'abri du soleil à température ambiante pendant environ 2 semaines.

2.1.2 MATÉRIEL ANIMAL

Le matériel animal a été constitué par des cobayes mâles fournis par des éleveurs de villages de Luwuwoshi et de la périphérie de la ville de Lubumbashi. Ces animaux pesaient entre 319±30 grammes.

Ces cobayes ont été logés dans des cages en bois à la température ambiante pour une période d'acclimatation de 2 semaines avant la manipulation. Ils ont été nourris par des granulés pour rongeurs, de l'eau *ad libitum* et un supplément en vitamine C par gavage oral à raison de 20 mg/kg/jour. Ces animaux ont été choisis sur base de leur accessibilité physique et économique mais également sur base des exigences limitées de leurs soins.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 PREPARATION DES EXTRAITS DES PLANTES ET LEUR MISE EN SOLUTION

Les feuilles d'*Albizia adianthifolia* et *Combretum molle* séchées à l'abri du soleil ont été réduites grossièrement en taille par concassage à l'aide d'un mortier et pilon en acier puis respectivement 216 et 205 grammes de la matière sèche en poudre ont été macérés dans l'eau distillée pendant 24 heures. Ensuite le mélange a été filtré et la quantité de solvant contenue dans le filtrat a été séchée à l'aide d'un évaporateur rotatif à 40°C. La solution de l'extrait a été obtenue à partir de la dissolution de 10 g d'extrait sec dans 50 ml d'eau distillée (200 mg/ml). Les solutions administrées ont été préparées extemporanément.

2.2.2 TRAITEMENT DES ANIMAUX ET ÉVALUATION DE LA TOXICITÉ AIGUË

L'étude toxicologique a été effectuée sur 28 animaux répartis en 7 lots de 4 cobayes chacun, dont 3 lots pour chacune des plantes. Un lot a été utilisé comme témoin et les autres lots ont été traités chacun par une dose unique des extraits aqueux d'*Albizia adianthifolia* et *Combretum molle*.

Après un jeûne de 14 heures, l'administration a été réalisée sur des cobayes dans leur groupe correspondant par gavage oral [6] comme décrit ci-dessous.

Groupe contrôle: les animaux ont reçu 3 ml d'eau distillée par kilo de poids.

Groupe I: les animaux de ce lot ont reçu 1000 mg/kg d'extrait,

Groupe II: les animaux de ce lot ont reçu 2000 mg/kg d'extrait,

Groupe III: les animaux de ce lot ont reçu 3000 mg/kg d'extrait.

Après l'administration de l'extrait, les animaux ont été surveillés pendant 14 jours d'observation, afin de prélever les différents signes cliniques (alimentation, locomotion, aspect extérieur, état de l'abdomen et la respiration) et le nombre de mort. Directement après administration des différentes substances selon les lots, les cobayes ont été suivis les 30 premières minutes puis 2h après reprise de l'habitude alimentaire. Ensuite ils ont été suivis chaque 6h pendant 2 jours, chaque 12h pendant 2 jours et enfin chaque 24h pendant les 10 jours restants.

Durant l'observation, les troubles cliniques prélevés ont été notés pour chaque cobaye. Les cas de décès de cobaye devraient être également notés pour effectuer le calcul de la DL₅₀ par la méthode de Dragstedt et Lang. Au bout du 14^{ème} jour d'observation, un prélèvement de 4 ml de sang a été réalisé à l'aide d'une seringue de 5cc au niveau de la veine jugulaire après tonte de la zone de ponction en arrière de l'angle mandibulaire sur chaque cobaye et directement mis dans des tubes avec anticoagulant. Le sang ainsi prélevé a été centrifugé à 3000 tour/ 10 minutes pour l'obtention du plasma utilisé pour la mesure des paramètres biochimiques dont les transaminases [ALAT (Alanine amino-transférase) et ASAT (Aspartate amino-transférase)], l'Urée et la Créatinine [5].

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 OBSERVATION DES SIGNES CLINIQUES

Tableau 1. Signes cliniques observés

Espèce végétale	Doses	Signes cliniques
<i>Albizia adianthifolia</i> <i>Combretum molle</i>	1000mg/kg	Perte des poils au niveau de l'abdomen, début de perte des poils au dos
	2000mg/kg	Respiration anormale, perte des poils au niveau de l'abdomen
	3000mg/kg	Perte des poils au niveau de l'abdomen, agressivité, frissons, respiration anormale, trouble alimentaire
	1000mg/kg	Frissons, difficulté de locomotion, augmentation de l'alimentation
	2000mg/kg	Difficulté de locomotion, perte des poils au niveau de l'abdomen
	3000mg/kg	Isolement, perte des poils au niveau de l'abdomen, difficulté de locomotion, respiration anormale
Groupe contrôle	3 ml/kg Eau distillée	Absence de toute anomalie remarquable

Le tableau ci-haut montre les signes cliniques observés durant les 14 jours d'expérimentation. Il a été observé les signes suivants: une respiration anormale, une agressivité quelques temps après administration, une augmentation de l'alimentation les premiers jours suivants l'administration de l'extrait. Au cours des jours suivants; un isolement des cobayes, des frissons, une certaine difficulté de locomotion, une perte des poils au niveau de l'abdomen et au dos, trouble alimentaire et dans le groupe ayant reçu que de l'eau distillée aucune anomalie n'a été observée. Aucun cas de décès n'a été enregistré au cours de l'expérimentation.

Une étude faite sur l'extrait d'un mélange des plantes ainsi que sur l'extrait de *Carica papaya* L. montre que les animaux n'ont pas tous manifesté de changement important dans leur apparence physique c'est qui rejoint le cas de cette étude où la perte des poils au niveau du dos n'ont été observées que dans un groupe qui a reçu 1000mg/kg d'extraits d'*Albizia adianthifolia* [7].

Parfois, des petites périodes d'agitation, une difficulté de locomotion ainsi qu'un trouble alimentaire, une respiration anormale ont été observé chez les animaux quelques temps après administration des extraits. Ces mêmes observations ont été faites dans l'étude sur l'extrait total aqueux de *Mansonia altissima* [8].

3.2 VARIATION PONDÉRALE JOURNALIÈRE

3.2.1 ALBIZIA ADIANTHIFOLIA

La variation journalière du poids des cobayes en fonction de l'extrait aqueux d'*Albizia adianthifolia* est consigné dans le graphique ci-dessous.

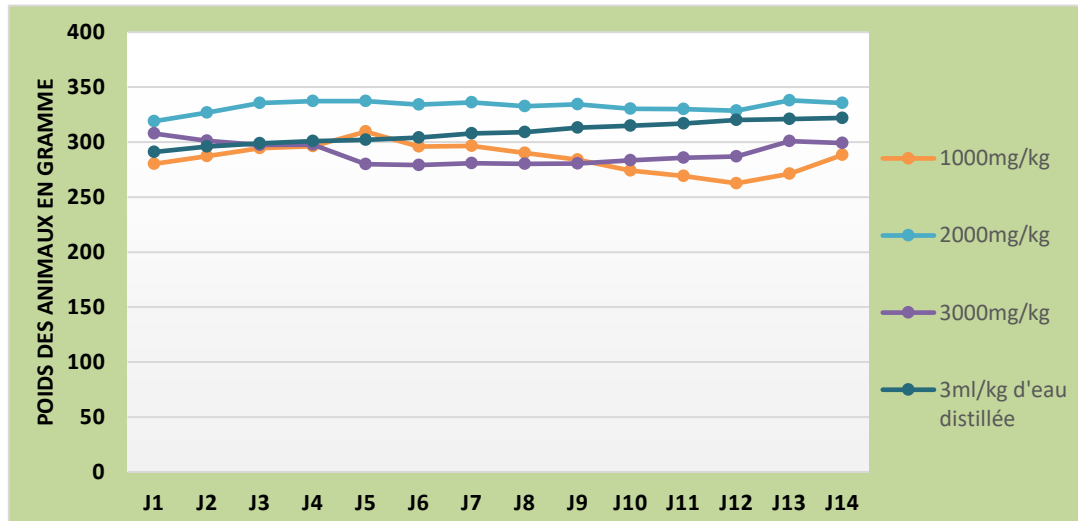


Fig. 1. Variation pondérale journalière des animaux traités par *Albizia adianthifolia*

En observant le graphique ci-dessus, nous constatons une augmentation du poids des cobayes ayant reçu de l'eau distillée et ceux ayant reçu la dose de 2000 mg/kg. Les cobayes ayant reçu 1000 mg/kg de poids, la variation de leur poids présente une diminution remarquable en mi-période d'expérimentation et ces résultats vont de pair avec ceux démontrés par Bain [9] disant à doses élevées la 2,3,7,8-TCDD provoque une réduction de poids, et du tissu adipeux. D'autres travaux ont démontré aussi une diminution du poids des rats après administration par voie orale de l'extrait de *Chicococca alba* [10] et celui de *Stryphnodendron adstringens* [11]. Par contre ceux ayant reçu la dose de 3000 mg/kg de poids ont eu une variation remarquable en termes de poids. Tout ceci montre l'influence de l'extrait sur le poids de cobayes l'ayant reçu, contrairement à ceux n'ayant reçu que de l'eau distillée.

3.2.2 COMBRETUM MOLLE

La variation journalière du poids des cobayes en fonction de l'extrait aqueux de *Combretum molle* est consignée sur la figure.

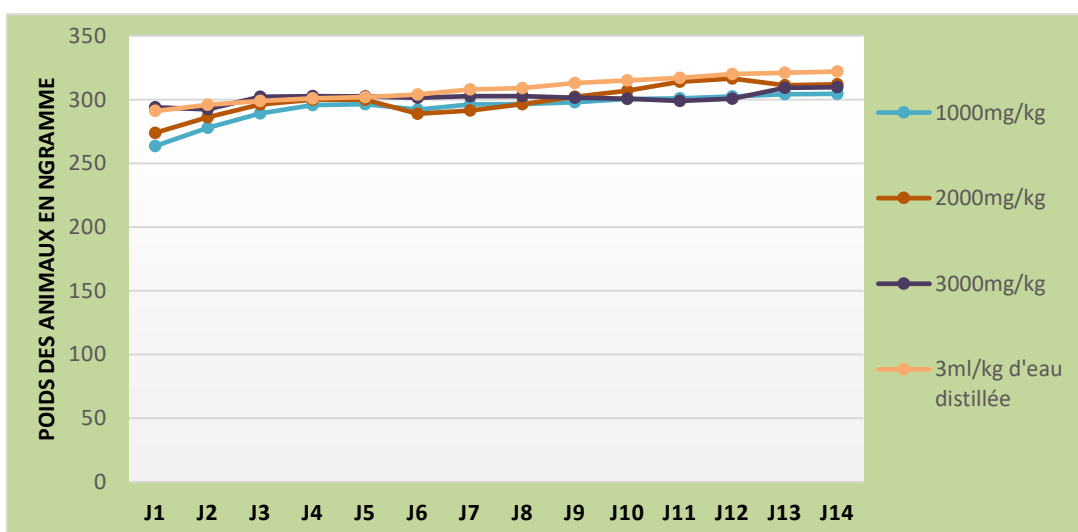


Fig. 2. Variation pondérale journalière des animaux traités par *Combretum molle*

Du graphique ci-dessus, nous remarquons une augmentation du poids des cobayes ayant reçu de l'eau distillée et ceux ayant reçu la dose de 1000 mg/kg. Les cobayes ayant reçu 2000 mg/kg de poids, présentent une légère perturbation en termes de variation de leur poids en la période d'expérimentation, par contre ceux ayant reçu la dose de 3000 mg/kg de poids ont eu une variation peu remarquable avec presque une tendance en termes de poids. Tout ceci montre l'influence de l'extrait sur le poids de cobayes l'ayant reçu, ce qui est contraire à ceux qui n'ont reçu que de l'eau distillée.

3.3 EVALUATION DES PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES

3.3.1 ALBIZIA ADIANTHIFOLIA

3.3.1.1 FONCTION RÉNALE

3.3.1.1.1 RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DE L'URÉE

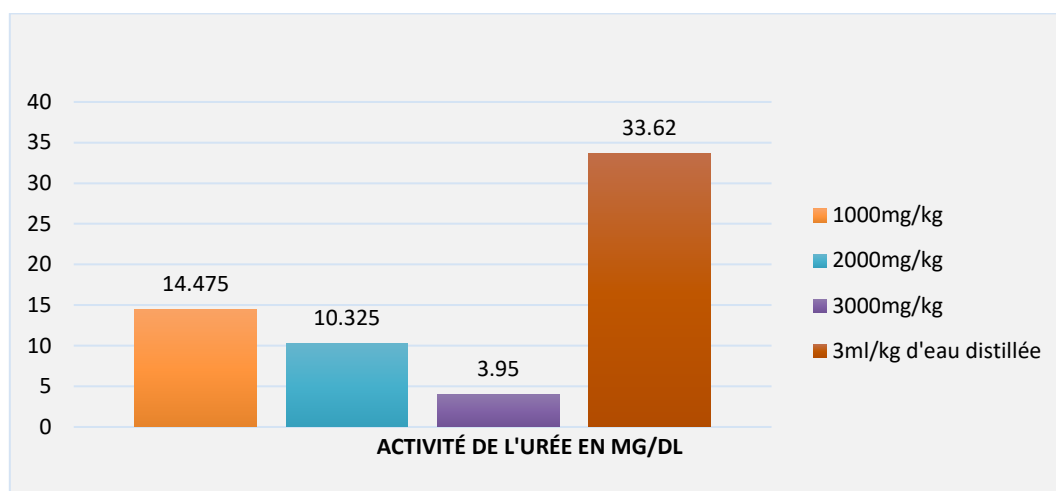


Fig. 3. Évaluation de la concentration de l'urée

L'histogramme ci haut-présenté, montre que tous les cobayes ayant reçu une dose quelconque d'extraits n'ont pas atteint la concentration de l'urée du groupe des cobayes du groupe contrôle, mais il faut noter que, ceux qui ont reçu la dose de 1000 mg/kg ont une activité de l'urée un peu plus élevée que ceux ayant reçu une dose de 2000mg/kg de poids et plus encore élevée que ceux qui ont reçu une dose de 3000mg/kg de poids. Ces résultats montrent que l'extrait administré diminue sensiblement le taux de l'urée chez les cobayes et par conséquent, il provoque des perturbations biochimiques aux animaux.

3.3.1.1.2 RESULTATS DE L'ÉVALUATION DE LA CRÉATININE

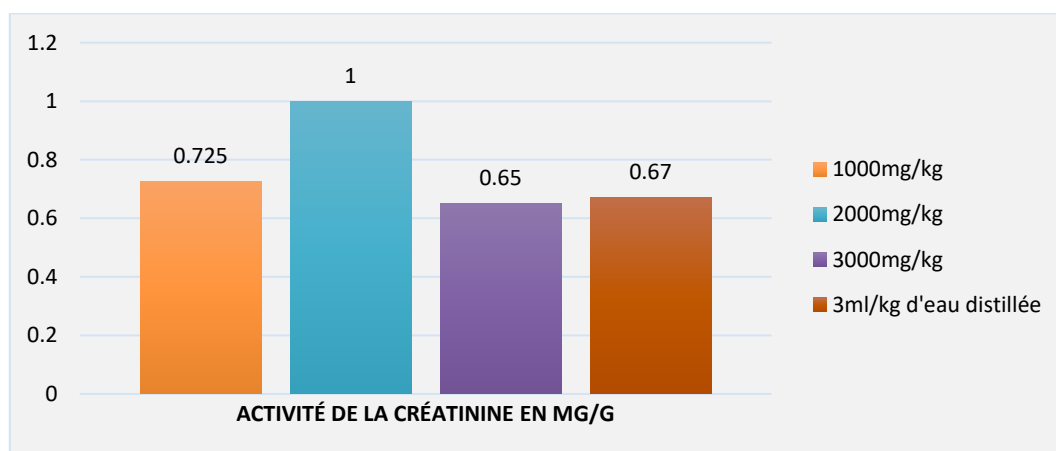


Fig. 4. Évaluation de la concentration de la créatinine

La figure présentée ci-haut montre que les cobayes ayant reçu une dose de 2000 mg/kg de poids ont leur créatinine plus élevée que celle du groupe contrôle également ceux qui ont reçu la dose de 1000 mg/kg ont le taux de la créatinine élevé que le groupe contrôle et pour ceux qui ont réussi une dose 3000 mg/kg de poids ont leur créatinine inférieure soit approximative à celle des cobayes du groupe contrôle. Ces observations suggèrent que la dose de 2000 mg/kg soit celle qui provoque des perturbations biochimiques importantes aux animaux. Toutefois, l'élévation du taux de la créatine dans le sang peut être due à des dommages induits par l'extrait aqueux d'*Albizia adianthifolia* dans le foie. Ces résultats rejoignent ceux de Baliga *et al.* (2004) qui ont administré l'extrait de *Alstonia scholaris* riche en alcaloïdes à des souris et des rats par voie orale.

3.3.1.1.3 EVALUATION DE L'ALANINE AMINOTRANSFÉRISE

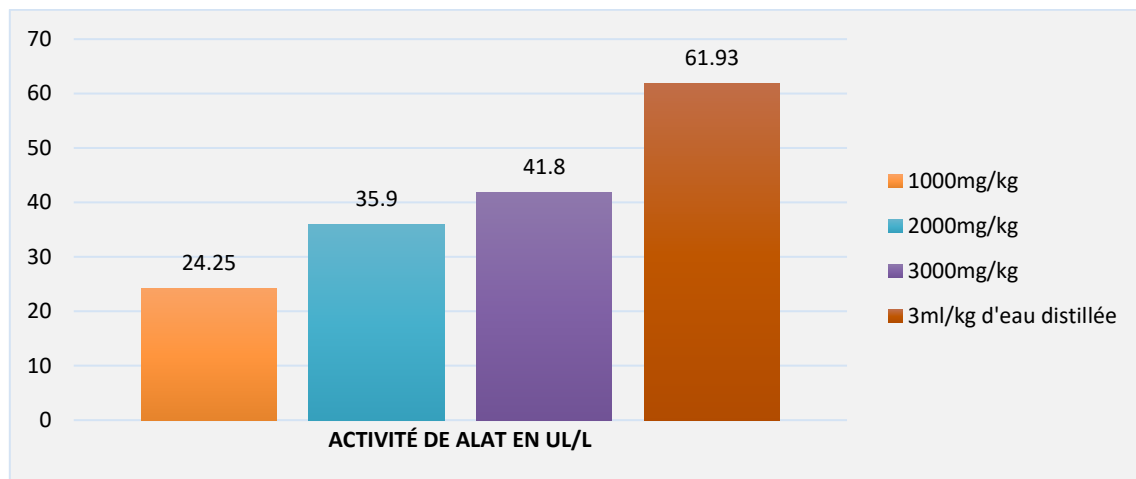


Fig. 5. Evaluation de l'activité enzymatique de l'alanine aminotransférase

La figure ci-haut montre que l'activité enzymatique de l'ALAT est diminuée de façon décroissante pour les cobayes qui ont reçu l'extrait par rapport au groupe contrôle. Une étude sur la toxicité aiguë et chronique de l'extrait aqueux de l'*Artemisia afra* chez les rongeurs montre que les niveaux d'activité n'étaient augmentés au cours du temps que chez les rats témoins et chez ceux traités avec une faible dose de *Artemisia afra*, alors qu'ils étaient maintenus aux taux de pré-dose chez les rats traités par la dose élevée [12].

3.3.1.1.4 EVALUATION DE L'ASPARTATE AMINOTRANSFÉRISE

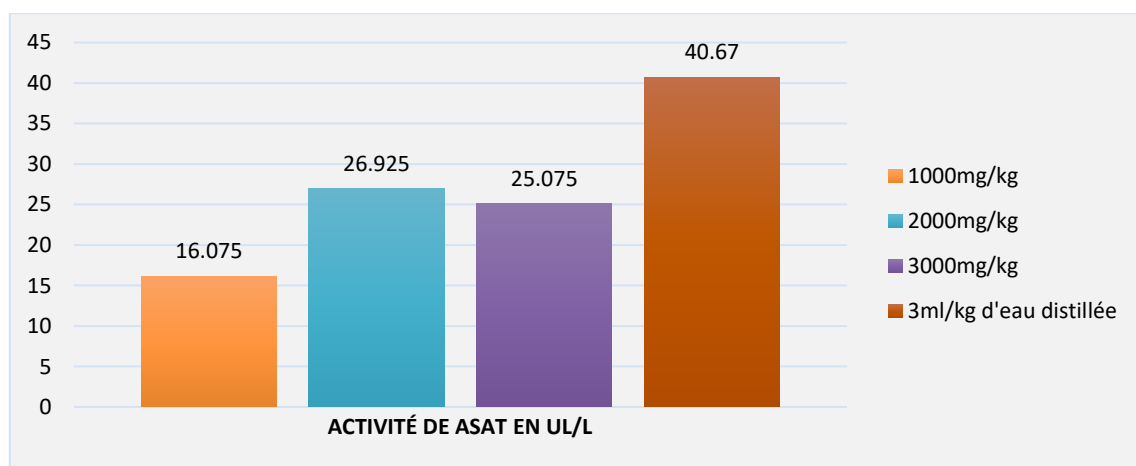


Fig. 6. Evaluation de l'activité enzymatique de l'aspartate aminotransférase

Nous remarquons sur la figure ci-haut que la variation de la concentration de l'ASAT du groupe contrôle par rapport aux autres groupes a été significative, c'est qui veut dire que l'extrait a influencé la concentration de l'ASAT.

3.3.1.1.5 EVALUATION DE LA PHOSPHATASE ALCALINE

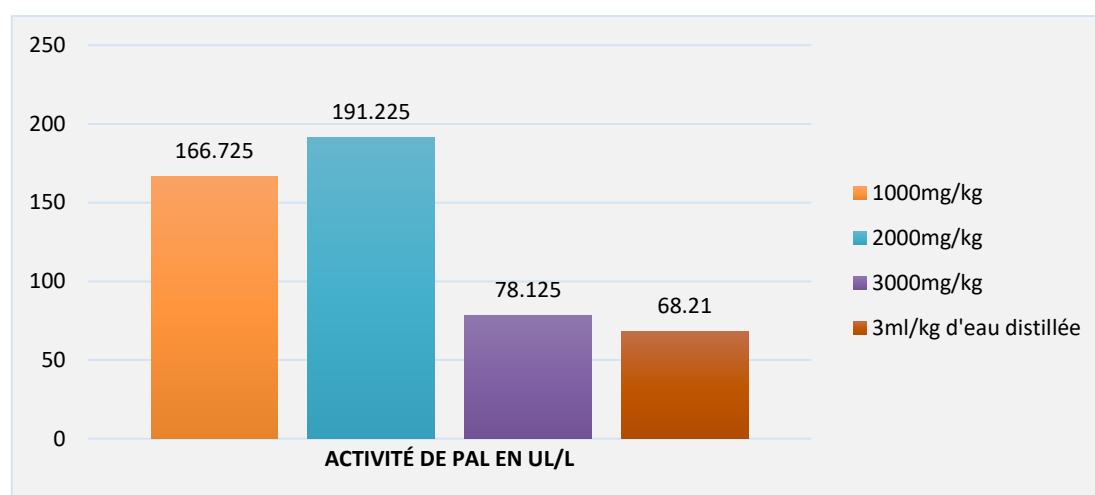


Fig. 7. Évaluation de l'activité enzymatique de phosphatase alcaline

La figure présentée ci-haut montre que tous les cobayes ayant reçu une dose ont leur PAL plus élevée que celle du groupe contrôle. Ces résultats sont confortés par ceux trouvés par Baiga et al. [7] qui a conclu que, les études sériques effectuées sur les rats traités par l'extrait aqueux de *Retama sphaerocarpa* montrent une augmentation significative des paramètres PAL, AST, CPK, LDH chez les femelles par rapport aux témoins et des paramètres PAL, AST, CPK, GLUC, LDH chez les mâles par rapport aux témoins. Ce qui nous amène à dire que, l'extrait administré aux cobayes a une activité enzymatique de phosphatase alcaline et provoque ainsi des perturbations biochimiques importantes aux animaux.

3.3.1.1.6 EVALUATION DE LA BILIRUBINE TOTALE

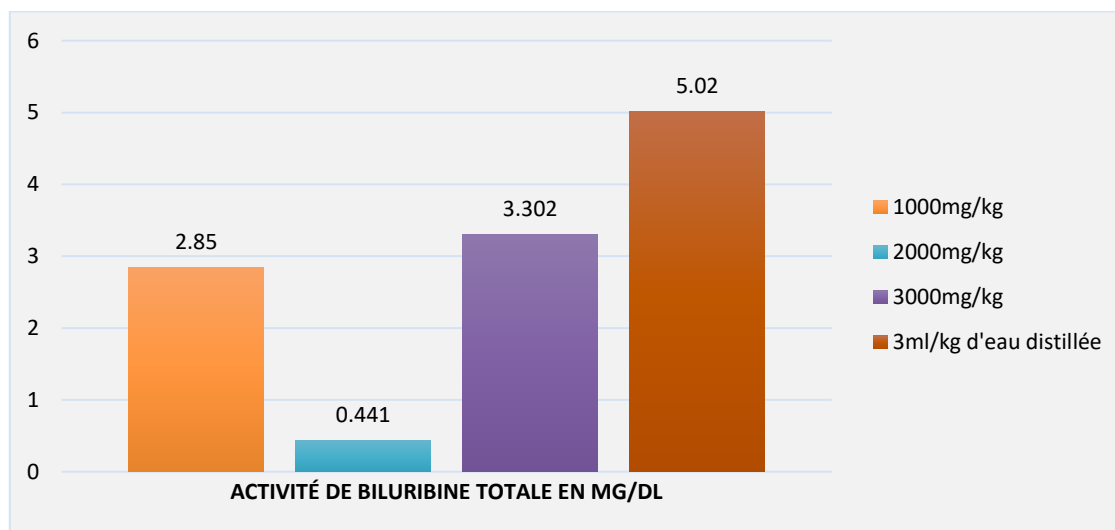


Fig. 8. Évaluation de la concentration de la bilirubine totale

La figure présentée ci-dessus, montre une diminution sensible de la concentration en bilirubine totale du groupe des cobayes ayant reçu une dose de 2000mg/kg de poids par rapport au groupe contrôle. Ceux ayant reçu une dose de 1000 et 3000mg/kg ont une activité environnante de bilirubine totale avec ceux du groupe contrôle.

3.3.1.1.7 EVALUATION DE LA BILIRUBINE DIRECTE

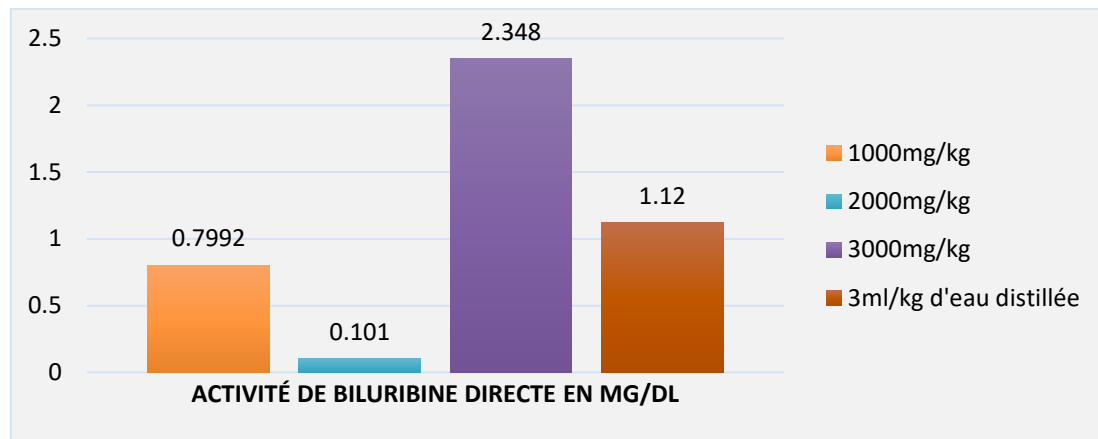


Fig. 9. Evaluation de la concentration de la bilirubine directe

La figure susmentionnée, montre que les cobayes ayant reçu une dose de 3000 mg/kg de poids ont leur bilirubine directe plus élevée que celle du groupe contrôle par contre ceux qui ont reçu la dose de 1000 mg/kg et 2000 mg/kg de poids ont leur bilirubine directe inférieure à celle des cobayes du groupe contrôle. L'augmentation de cet enzyme est un indice d'une toxicité probable au niveau des organes et nécessite des analyses complémentaires. Ces observations suggèrent que la dose de 3000 mg/kg soit celle qui provoque des perturbations biochimiques importantes aux animaux. Ces résultats rejoignent ceux de Baliga *et al.* [7] qui ont administré l'extrait de *Alstonia scholaris* riche en alcaloïdes à des souris et des rats par voie orale.

3.3.1.1.8 EVALUATION DE LA BILIRUBINE INDIRECTE

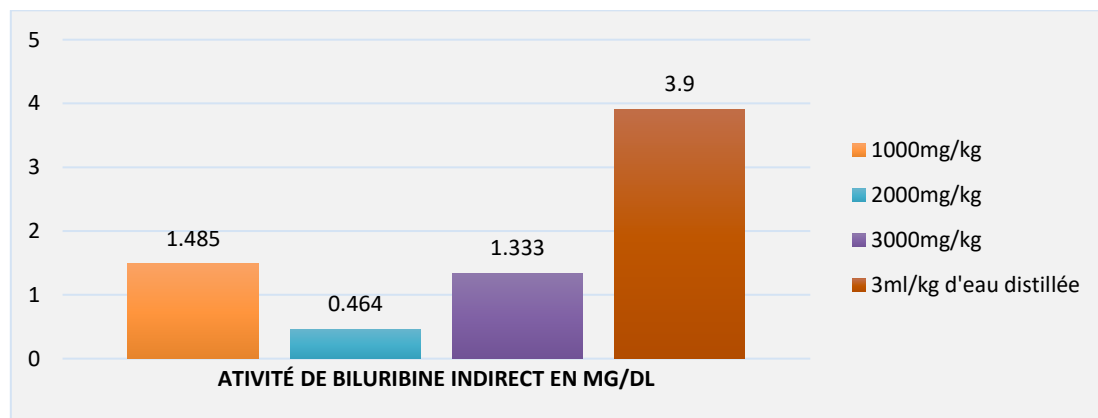


Fig. 10. Evaluation de la concentration de la bilirubine indirecte

La concentration de la bilirubine indirecte du groupe ayant reçu 2000 mg/kg est largement inférieure à celle du groupe contrôle par contre celles du groupe ayant reçu une dose de 1000 et 3000 mg/kg sont approximatives à celle du groupe contrôle. Toutefois les résultats indiquent une diminution significative du taux de la bilirubine indirect chez les cobayes comparés aux témoins. Selon les travaux de Rasekh *et al.* [13], l'extrait aqueux de *T. poliuma* cause une réduction du taux du cholestérol total chez les rats.

3.3.1.2 FONCTION HÉMATOLOGIQUE

3.3.1.2.1 EVALUATION DES PROTÉINES TOTALES

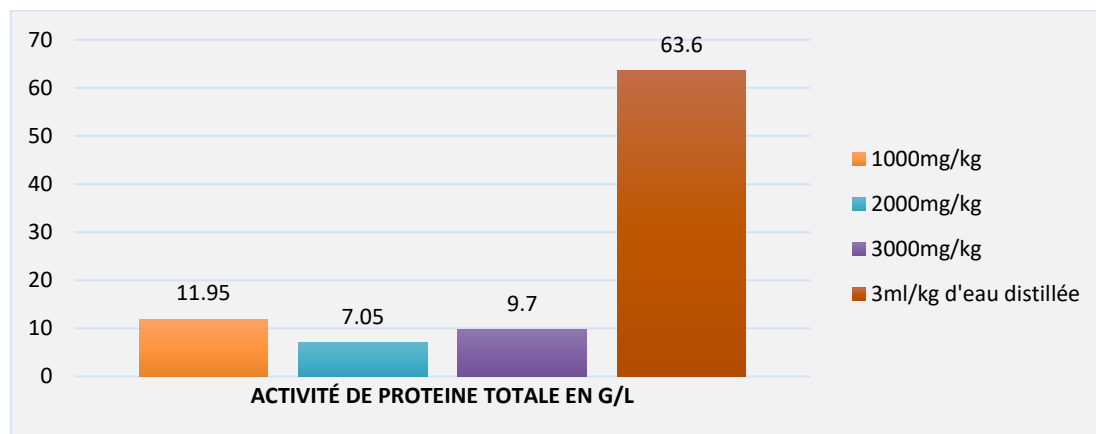


Fig. 11. Evaluation de la concentration des protéines totales

La figure ci-haut, montre une diminution importante sensible de la concentration des protéines totales de cobayes ayant reçu l'extrait par rapport au groupe contrôle. Ce qui démontre l'activité d'extrait administré.

3.3.1.2.2 EVALUATION DE L'ALBUMINE

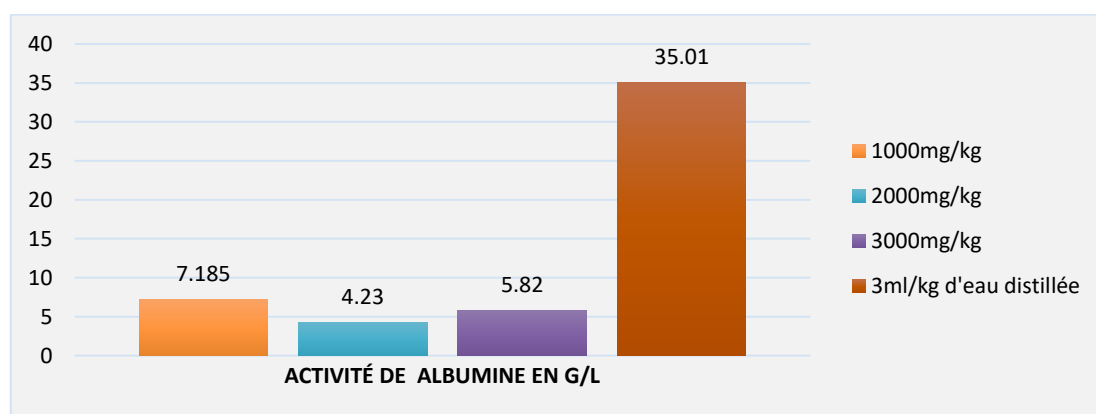


Fig. 12. Evaluation de la concentration des protéines totales

La figure susmentionnée montre que la variation de la concentration en albumine des groupes auxquels l'extrait a été administré est largement inférieure à celle du groupe contrôle.

3.3.2 COMBRETUM MOLLE

3.3.2.1 FONCTION RÉNALE

3.3.2.1.1 EVALUATION DE L'URÉE

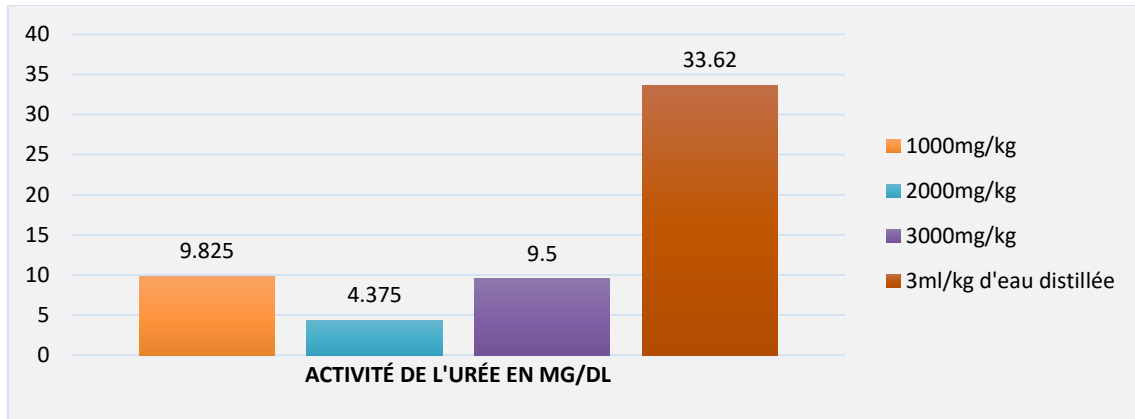


Fig. 13. Evaluation de la concentration de l'urée

La figure ci-haut présentée, montre que l'activité de l'urée des groupes traités avec l'extrait aqueux de feuilles de *Combretum molle* est largement inférieure à celle du groupe contrôle. Ce qui revient à dire que l'extrait a condescendit le taux de l'urée chez les cobayes de ces groupes.

3.3.2.1.2 EVALUATION DE LA CRÉATININE

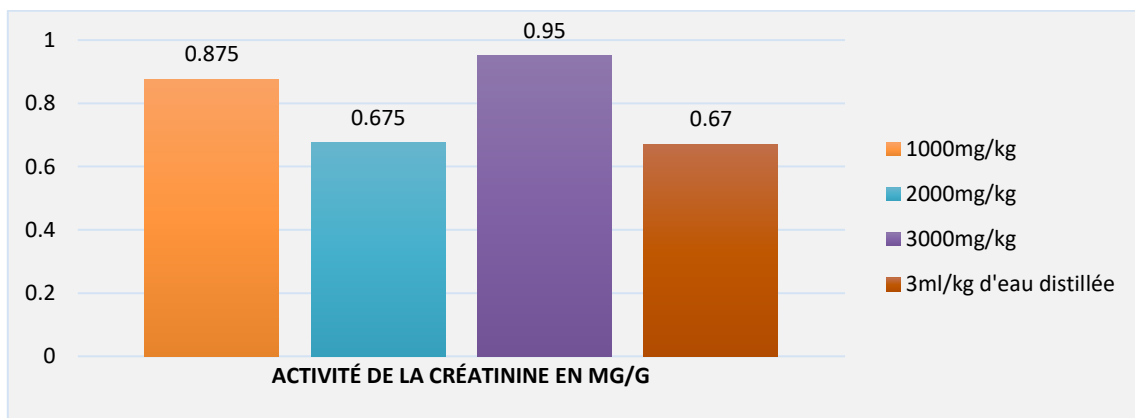


Fig. 14. Evaluation de la concentration de la créatinine

La figure ci-haut nous montre qu'il n'y a pas une grande différence en activité de la créatinine entre les cobayes des différents groupes par rapport au groupe contrôle.

3.3.2.2 FONCTION HÉPATIQUE ET CARDIAQUE

3.3.2.2.1 EVALUATION DE L'ALANINE AMINOTRANSFÉRASE

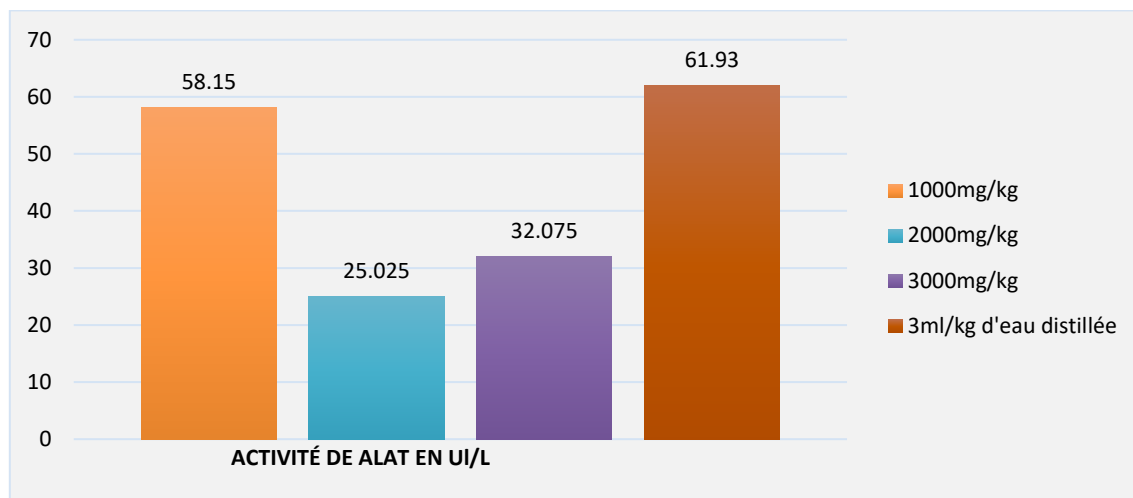


Fig. 15. Evaluation de l'activité enzymatique de l'alanine aminotransférase

La concentration de l'ALAT du groupe ayant reçu 1000 mg/kg est approximative à celle du groupe contrôle par contre celle du groupe ayant reçu une dose de 3000 mg/kg est inférieure et celle du groupe ayant reçu 2000 mg/kg est largement inférieure à celle du groupe contrôle.

3.3.2.2.2 EVALUATION DE L'ASPARTATE AMINOTRANSFÉRASE

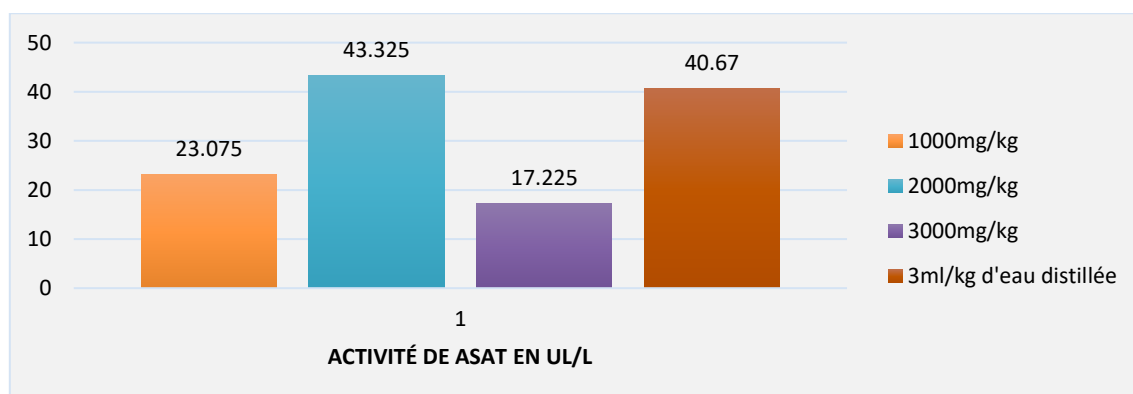


Fig. 16. Evaluation de l'activité enzymatique de l'aspartate aminotransférase

L'histogramme ci-dessus manifeste un taux un peu plus élevé du groupe qui a reçu une dose de 2000mg/kg par rapport au groupe contrôle. Ces résultats corroborent ceux acquis par Rasekh et *al.*, [13] qui ont observés l'augmentation du LDH et du CPK suite à l'administration de l'extrait de *Galega officinalis* (fabacées), par voie orale, à des rats Albino Wistar.

3.3.2.2.3 EVALUATION DE LA PHOSPHATASE ALCALINE

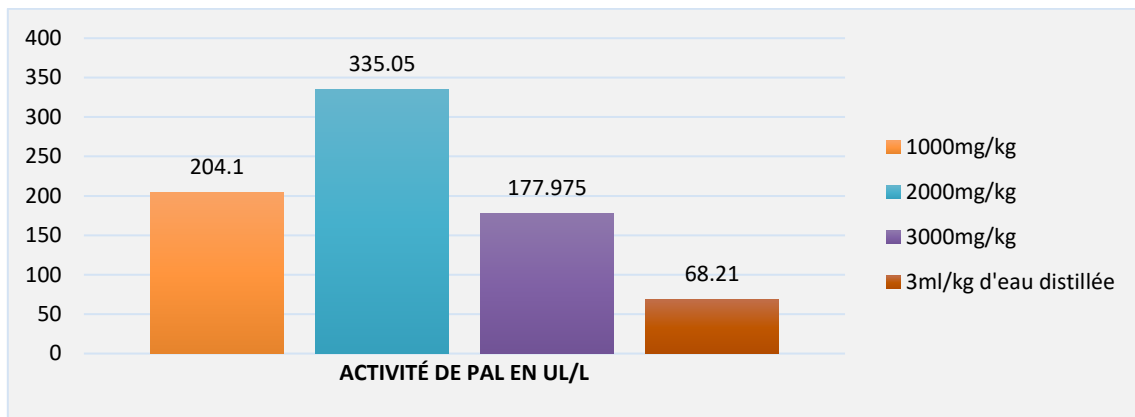


Fig. 17. Evaluation de l'activité enzymatique de phosphatase alcaline

La figure présentée ci-haut, montre une augmentation très significative de l'activité enzymatique de phosphate alcaline chez les cobayes ayant reçu une dose de l'extrait aqueux de feuilles de *Combretum molle*. Evidemment que c'est le groupe dosé à 2000mg/kg qui a une activité élevée que d'autres. Ces résultats rejoignent ceux de Boussahel en 2011 qui a remarqué qu'après administration de l'extrait aqueux de *Retama sphaerocarpa* PAL augmente significativement chez les deux sexes, ce qui mène à suggérer que l'extrait provoque des effets directs sur le foie et les reins.

3.3.2.2.4 EVALUATION DE LA BILIRUBINE TOTALE

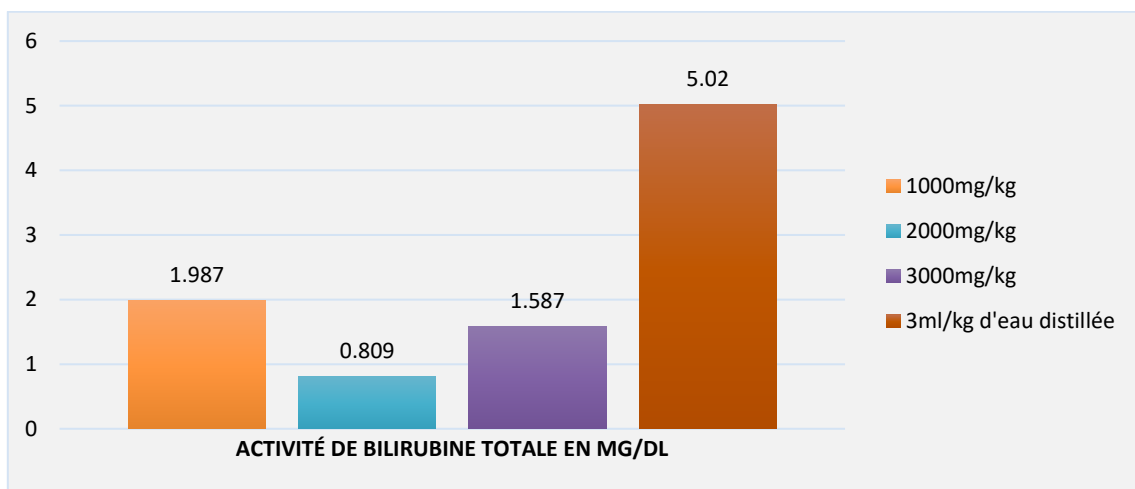


Fig. 18. Evaluation de la concentration de la bilirubine totale

La figure ci-haut, explique une forte diminution du taux de la bilirubine totale des cobayes ayant reçu une dose de 2000mg/kg comparativement au groupe contrôle bien qu'on peut aussi constater une diminution importante de la bilirubine totale chez les cobayes ayant reçu les doses de 1000 et 3000mg/kg par rapport au groupe contrôle.

3.3.2.2.5 EVALUATION DE LA BILIRUBINE DIRECTE

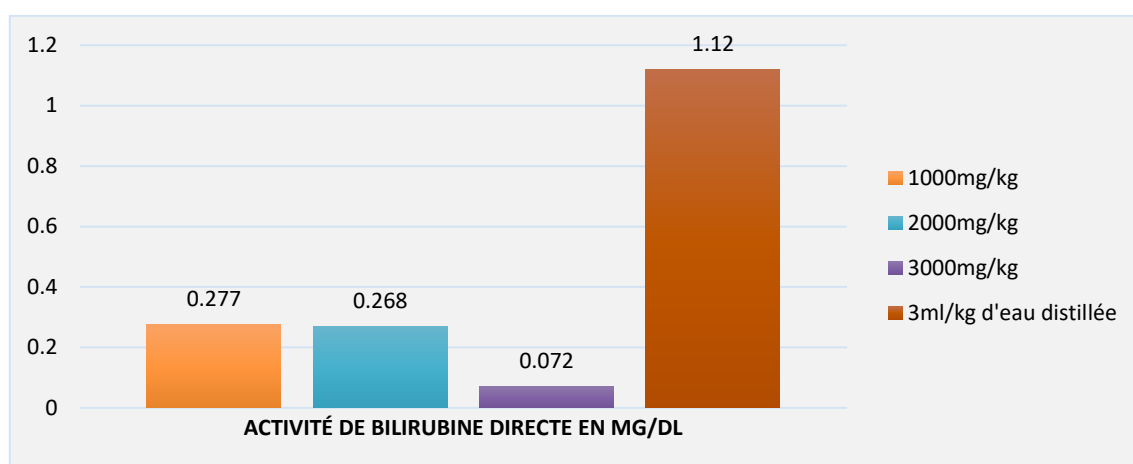


Fig. 19. Evaluation de la concentration de la bilirubine directe

Le graphique ci-haut montre une diminution sensible de l'activité de la bilirubine directe des cobayes qui ont reçu la dose de 3000mg/kg de poids comparée au groupe contrôle bien que cela peut s'observer aussi avec les groupes ayant reçu les doses de 1000 et 2000mg/kg de poids.

3.3.2.2.6 EVALUATION DE LA BILIRUBINE INDIRECTE

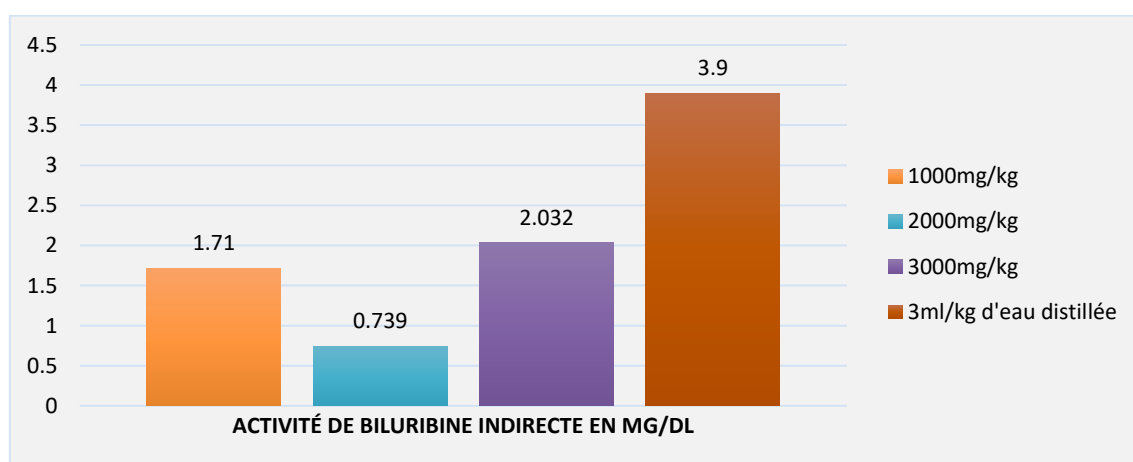


Fig. 20. Evaluation de la concentration de la bilirubine indirecte

La figure susmentionnée montre une diminution approximative de l'activité de bilirubine chez les cobayes ayant reçu les doses de 1000 et 3000 mg/kg de poids et pour ceux qui ont reçu une dose de 2000 mg/kg de poids elle a fortement baissé par rapport au groupe contrôle.

3.3.2.3 FONCTION HÉMATOLOGIQUE

3.3.2.3.1 EVALUATION DES PROTÉINES TOTALES

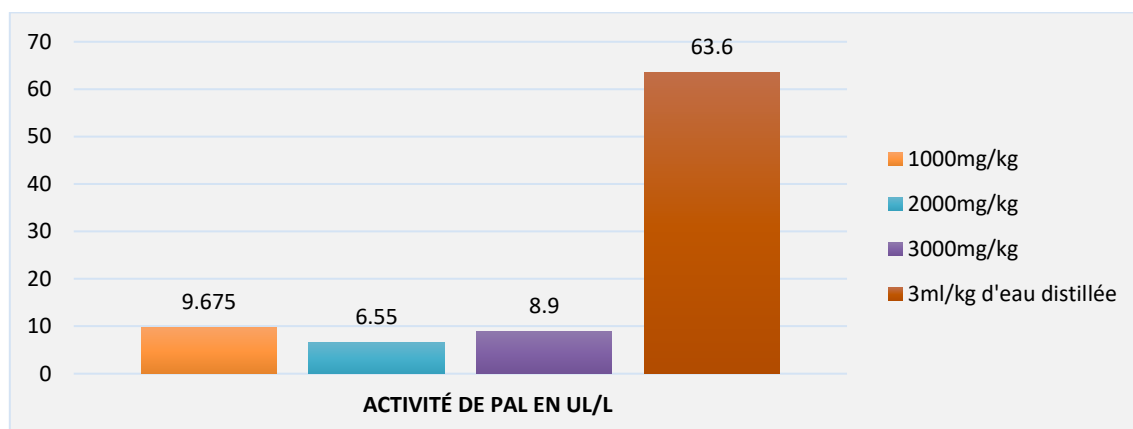


Fig. 21. Evaluation de la concentration des protéines totales

Comme l'indique clairement la figure ci-haut, l'extrait aqueux de feuilles de *Combretum molle* a sensiblement baissé l'activité de PAL chez les cobayes l'ayant reçu.

3.3.2.3.2 EVALUATION DE L'ALBUMINE

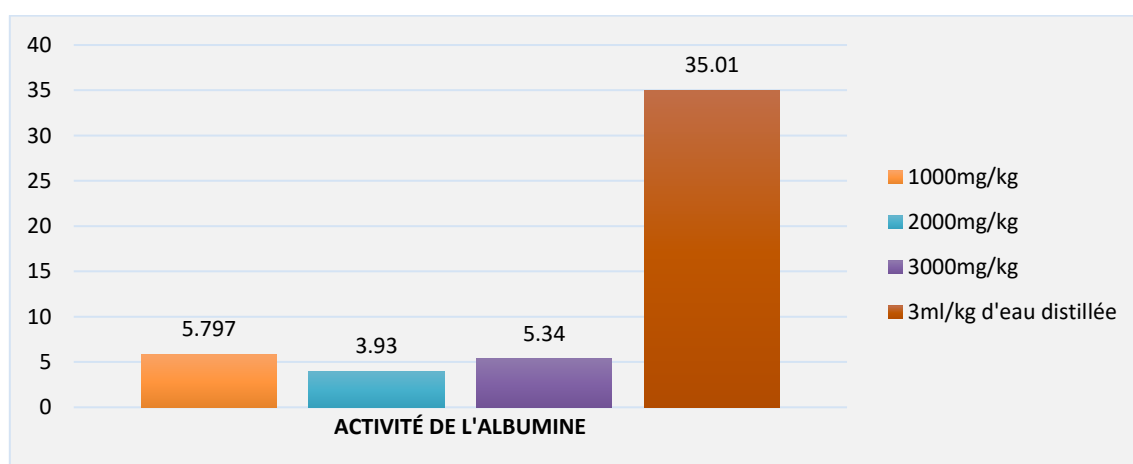


Fig. 22. Evaluation de la concentration de l'albumine

Ici, la concentration de l'albumine a connu une diminution importante chez les cobayes après administration de l'extrait par rapport au groupe contrôle tel que montré par la figure ci-haut.

3.4 DÉTERMINATION DE LA DL50

La détermination de la dose létale 50 tient compte du nombre de morts. Les résultats obtenus n'ont pas permis de déterminer cette dernière étant donné que les doses utilisées n'ont pas causé la mort des animaux pour les deux plantes étudiées. Les différentes doses létales 50 se situeraient au-delà de 3000 mg/kg qui est la dose la plus élevée exploitée par cette étude.

4 CONCLUSION

Ce travail a porté sur l'évaluation de la toxicité aiguë des extraits aqueux des feuilles d'*Albizia adianthifolia* et de *Combretum molle*, deux plantes porteuses de plusieurs vertus thérapeutiques et qui sont utilisées en médecine traditionnelle congolaise dans le Haut-Katanga.

Pour y arriver, l'étude a procédé par administration orale d'une dose unique d'extrait aqueux d'*Albizia adianthifolia* et ceux d'extrait aqueux de *Combretum molle*. L'observation des signes de toxicité pendant quatorze jours suivie de l'évaluation de l'activité de certaines enzymes indicatrices de la toxicité. Cette étude a été faite sur 28 cobayes répartis en sept groupes dont six ont reçu l'extrait aux doses respectives de 1000, 2000 et 3000 mg/kg et un groupe contrôle qui a reçu de l'eau distillée à une dose de 3 ml/kg de poids.

Les signes cliniques d'intoxication dont la perte des poils au niveau de l'abdomen et au dos, agressivité, frissons, respiration anormale, trouble alimentaire, isolement et difficulté de locomotion ont été observés. Le poids des cobayes ayant reçu l'extrait d'*Albizia adianthifolia* a connu certaines variations au cours d'observation. Cependant pour les cobayes ayant reçu l'extrait *Combretum molle*, le poids accru petit à petit jusqu'à la fin de l'observation. Les différents paramètres biochimiques observés montrent un potentiel de toxicité de l'extrait d'*Albizia adianthifolia* sur la physiologie du cobaye et peu toxique pour l'extrait de *Combretum molle*.

Cette étude montre que l'usage en médecine traditionnelle d'*Albizia adianthifolia* doit être surveillé pour éviter les intoxications éventuelles aux doses supérieures à 1g/kg même si la DL₅₀ se situerait au-delà de 3g/kg.

Ce travail rend accessible l'étude probable de l'évaluation de la toxicité subaiguë et chronique de ces plantes pour leur emploi plus sécurisé et l'exploitation des doses plus élevées pour déterminer leur doses létales 50.

REFERENCES

- [1] Kanta M. (2016). Les plantes qui guérissent mon peuple, inédit, Mbuji-Mayi, RDC.
- [2] Victoria H, Rachida M & Mohamed A. (2013). Plantes toxiques à usage médicinal du pourtour méditerranéen; Springer, Paris, pp. 97-102.
- [3] Neuwinger HD. (2000). African traditional medicine: a dictionary of plant use and applications. Medpharm Scientific, Stuttgart, Germany, pp 589.
- [4] Phycher. (2001). Toxicité aiguë par voie orale, méthode par classe de toxicité aiguë. OCDE Essai n°423.
- [5] Dragstedt A & Lang B. (1957). Etude de la toxicité par administration unique d'un nouveau médicament. Annales pharmaceutiques françaises 11.
- [6] Teo S, Stirling D, Thomas S, Hoberman A, Kiorpes A, Khetani V. (2002). A 90-day oral gavage toxicity study of d-methylphenidate and d, l-methylphenidate in Sprague–Dawley rats. Toxicology 179: 183–196.
- [7] Balig MS, Jagetia GC, Ulloor JN, Baliga MP, Venkatesh P, Reddy R, Rao KM, Baliga BS, Devi S, Raju SK et al. (2004). The evaluation of the acute toxicity and long term safety of hydroalcoholic extract of Saphthaparna (*Alstonia scholaris*) in mice and rats; Toxicology Letters 151: 317–326.
- [8] Delanoë S. (2014). Intoxication des animaux de compagnie par les plantes d'appartement. Thèse de doctorat en pharmacie, Faculté des Sciences Pharmaceutiques, Université Toulouse 3^{ème} Edition, Paul Sabatier, Toulouse.
- [9] Bain BJ. (2006). Blood cells a practical guide. Ed Blackwell, Australia, pp. 71-89.
- [10] Gazda VE, Gomes-Carneiro MR, Barbi NS, Paumgartten FJR. (2006). Toxicological evaluation of an ethanolic extract from *Chiococca alba* roots. Journal of Ethnopharmacology 105, 187–195.
- [11] Rebecca MA, Ishii-Iwamoto EL, Grespan R, Cuman RKN, Caparroz-Assef SM, Mello JCP, Bersani-Amado CA. (2002). Toxicological studies on *Stryphnodendron adstringens*. Journal of Ethnopharmacology 83: 101–104.
- [12] Mukinda J & Syce J. (2007). Acute and chronic toxicity of the aqueous extract of *Artemisia afra* in rodents. Journal of Ethnopharmacology 112: 138–144.
- [13] Rasekh HR, Nazari P, Kamli-Nejad M, Hosseinzadeh L. (2008). Acute and subchronic oral toxicity of *Galega officinalis* in rats. Journal of Ethnopharmacology 116: 21-26.

Effect of level of feeding on the preweaning growth performance of kids

Nourou Abdou¹, Ousseini Mahaman Malam Mouctari², Abdoulaye Soumana Gouro², and Ignatius Verla Nsahlai³

¹Department of Animal Production, National Institute for Agricultural Research, Niamey, Niger

²Department of Animal Production, Faculty of Agronomy, University Abdou Moumouni, Niamey, Niger

³Department of Animal and Poultry Science, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa

Copyright © 2022 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: Red Maradi goats from Caprine Centre of Maradi in South of Niger were used during two subsequent lactations from 2 weeks post kidding to 13 weeks (91 days) to evaluate to determine the effect of previous level of feeding on production performance of dams and their kids. For the first lactation, sixty goats were placed into six groups of 10, and randomly assigned to six treatments (T1, T2, T3, T4, T5, and T6) with four levels of feeding (g/kg DM): T1=842, T2=T5=T6=934, T3=1079 and T4=1300 corresponding to 200 g, 400g, 600g and 800g of milk production, respectively. During the subsequent lactation, 35 lactating does and 17 kids were used. All does were given one dietary treatment (T4) to determine the effect of previous levels of feeding on preweaning performance of kids and determine the potential milk production of Red Maradi goat. At the 1st lactation, the linear effect of level of feeding increased ($P<0.001$) dry matter intake, ME intake and milk yield of dams. During the 2nd lactation the previous levels of feeding did not affect these parameters; however, previous levels of feeding affected ($P<0.001$) final liveweight and live weight change of dams. During 1st kids' ME intakes increased ($P<0.001$) linearly with levels of feeding and kids' final weight also increased linearly with feeding level of does. During the 2nd lactation, the daily ME intake of dams, and daily milk yield (mean milk yield of 367 g/day) were not affected by previous level of feeding.

KEYWORDS: Red Maradi goat, preweaning performance, feeding levels, metabolisable energy, kids.

1 INTRODUCTION

The Red Maradi (Sokoto) goat is known as multipurpose breed because it produces meat, milk and good quality skin throughout West Africa; these skins are exported to Europe. Goats play an important role in generating income, capital storage and improving household nutrition [1]. Being small in size, they do not require large housing space per head compared to cattle and can easily be handled and managed by women and children. Goats play an important role in the national economy of Niger where they contribute about 51.61% of live animal exports and 59.38% of total hide and skin [2]. Red Maradi goat is more dominant in Southern Niger and represent the most important goat breed reared by smallholder farmers due to its prolificacy and milk production [3]. In the semi-arid areas, goats are the most important animal species for milk production next to cows for smallholder farmers, and on live weight basis, goat is a more efficient milk producer than the cattle and sheep [4]. It was also reported that 61% of households raise at least 1 to 5 goats and goats are the most common animals sold by rural households for immediate cash income used to purchase food items [5]. However, the livestock system in this area is characterised by an acute shortage of feed supply where animals graze only poor natural pastures in the dry season and were offered cut-and-carry grass and shrubs in the rainy season. Studies on phenotypic and zootechnical characterization and then on diet of red Maradi goat in a controlled environment, refer to improving its performance [6], [7]. Nowadays, it appears that Red Maradi goat has undergone a dilution which influences negatively some production attributes namely birth and weaning weights, growth rate and body condition. Among numerous productions constraints, the nutritional factor constitutes the most crucial as most of the others can be manipulated by their improvement [8]. Dietary protein deficiency was highlighted as a major limiting factor to small ruminant production in tropical Africa and suggested the use of agro-industrial by-products as feed supplements to alleviate this constraint [9]. Thus, adequate nutrition and the improvement of dietary protein and energy intake may influence does to express their genetic potential for self-production and production performance of its kids. The preweaning performance of kids is the most important trait for successful animal production but very little is known about this trait for Red Maradi goat although some authors by evaluating effect of weaning age of kids on quantity and composition of milk resulted in an average milk production per lactation of 120 days which amounts to 75.5 kg, with a fat content average of 4.59% and an average protein level of 3.51% [10]. The amounts of fat and protein are respectively 3.50 kg and 2.59 kg. Therefore, the present study intended to determine the effect of previous levels of feeding on production performance of dams and kids during three months post kidding corresponding to weaning period.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY SITE

The study took place in the Caprine Centre of Maradi (1850 ha and 893 animals in 2012) which is located at East of Maradi. It is located in the sahelio-sudanian zone of Niger with a mean annual rain fall of 350-600 mm, latitude 13°30'N, longitude 7°6'E and an altitude of 347 m above sea level. The climate is relatively dry and the rainy season occurs between June and September. The dry season begins around the 15th October with dry and cold weather from November to February. Hot weather occurs from March to June. The mean min/max temperature is 22/36°C with a peak in April-May (>40°C); heat decreases when the rains begin. The relative humidity from October to June is < 20% and July to September is > 80%. The natural vegetation is Sahelo-Sudanian woodland dominated by various *Acacia* species, with sparse ground regenerating shrubs and perennial or annual grasses.

2.2 ANIMAL AND HOUSING

Sixty (60) lactating does with their seventy three (73) kids were used in this experiment from 14 days post kidding until weaning (at 3 months) at the first kidding while 35 lactating does with seventeen (17) kids were used at the second kidding. Kids were kept together with dams in individual pens where they ate the same diets and suckled their dams until weaned at 3 months of age. Kid survival rate was 78% at the first kidding and 47% at the second kidding. Kids' mortality was due to lack of milk yield and infectious diseases (Pasteurellosis; see Appendix A) mostly.

2.3 FEEDS AND FEEDING MANAGEMENT

Feed troughs were made by cutting a barrel in three parts each of which became a feed trough. Untreated and urea treated millet stover, groundnut haulms, wheat bran and cottonseed cake were used as feed ingredients. During the 1st lactation, diets were formulated using milled (10mm) urea treated or untreated and uncrushed millet stover (MS), crushed groundnut haulms (GH), cottonseed cake (CSC) and wheat bran (WB). Table 1 shows that treatments T1, T2, T3 and T4 were derived from diet 1. Treatment T5 was derived from diet 2 and treatment T6 was derived from diet 3. During the 2nd experiment (lactation), only T4 was offered to all does to determine the effect of previous levels of feeding. Every day, diet offered and orts in plastic bags were measured with an electronic balance (Santorin 6100g d=0.1 g) the previous day in the afternoon just to facilitate the feeding process and measuring intake. Diets were offered in the morning at 8: 00 h and refusals were collected the following day between 7: 00 h to 8: 00 h. Mineral lick was hung in individual pen permanently per animal as supplementary ingredient. Tap water was offered *ad libitum* in a 10-liter basin. Representative diets and refusals were collected daily and dried (for DM determination) in an oven at 65°C for 48h. An electronic balance and a scale were used for measurements. At the end of the week a composite sample (5%) of diets and refusals were taken and stored and at the end of the experiment, representative samples (5%) of diets offered and refusals were collected for chemical analyses.

Table 1. Ingredient and chemical composition of diets

Ingredient (g of DM)	Diet 1				Diet 2	Diet 3
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
CUTMS	385	384	385	385	-	-
CMS	-	-	-	-	384	-
MS	-	-	-	-	-	384
GH	308	307	308	308	307	307
WB	230	231	231	231	231	231
CSC	77	77	77	77	77	77
Total	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Chemical composition						
N (g/kg DM)	16.93	16.93	16.93	16.93	16.52	16.52
ME of diet (MJ/kg DM)	9.24	9.24	9.24	9.24	8.8	8.8
Rationing						
Target milk production (g)	200	400	600	800	400	400
Rationing level (g/day)	842	934	1079	1300	934	934
Feeding level	0.65	0.72	0.83	1	0.72	0.72

MS: millet stover; CMS: crushed millet stover; CUTMS: crushed and urea treated millet stover; GH: groundnut haulms; WB: wheat bran; CSC: cottonseed cake; ME: metabolisable energy.

2.4 EXPERIMENTAL DESIGN

The six (6) treatments (T1, T2, T3, T4, T5 and T6) allocated to dams were also available to their kids. Sixty animals were blocked according to weight, parity and litter size into groups of 10 animals each, which were randomly allocated to six (6) dietary treatments, making a total of ten (10) animals per treatment. The six dietary treatments were offered to lactating does from 14 days to 3 months post kidding. After weaning, these animals continued on the same diet until the next kidding. After the 2nd kidding, all animal were fed one dietary treatment (T4) to determine the effect of previous feeding levels. Each dams and its kid (s) stayed together in the same pen, except during test days. On a test day, a dam and its kids were separated and milk yield measured from 18: 00 h to 18: 00 h the next day.

2.5 MEASUREMENTS

At the beginning (evening of day 14 and morning of day 15) and end (evening of day 90 and morning of day 91) of each experiment, body weights of kids and dams were taken during two consecutive days after starvation for 12 hours from 18: 00 h to 06: 00 h. The live weight of each dam or its kid (s) corresponded to an empty live weight. Empty kids' weights were recorded weekly from 14 days after kidding until weaning (91 days after kidding). Empty body weights of dams were recorded every two weeks from 14 days after kidding.

Milk intake of kids was recorded weekly until weaning. From 14 days post-partum, milk yield was collected weekly until at the end of the experiment after week 13. Feed offered to dams and refusals were measured daily in order to determine the feed intake. A method of weigh-suckle-weigh followed by hand milking were used to record the milk yield. Thus, measurements were recorded thrice during the test day; in the morning (06: 00h), afternoon (12: 00h) and evening (18: 00h); this was followed by hand milking immediately after the last weighing at 18: 00 h. If a kid urinated during the period of suckling its day's record was cancelled but the measurement was repeated during the following day. The total daily milk yield was the sum of four measurements (3 from kid weight after suckling and 1 from milking hand). During the previous day of milking, kids were separated from dams from evening (18: 00 h) to following evening (18: 00 h) after finishing milk recording.

2.6 CHEMICAL ANALYSES

Samples of feeds offered and refusals were collected for chemical analyses. The metabolizable energy (ME) of feed offered was derived from *in sacco* degradability using effective degradability (ED) of OM based on suggestion by Nsahla and Apaloo (2007): $ED \times 15.06 / 0.9$, where 15.06 is a factor suggested by Czerkawski (1986). At the end of the experiment, samples of feed offered and orts were analyzed to determine DM, ash, crude protein (Nx6.25), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL). Dry matter was determined by drying samples in an oven at 60°C for 48h until weight became constant. Ash was determined by combusting 1 g of sample per crucible in a muffle furnace for four hours at 550°C. Nitrogen content was determined using the Leco TruMac CNS/NS. NDF, ADF and ADL were determined in duplicates using ANKOM-A200/2220 (2052 O'Neil Road, Macedon NY 14502, www.ankom.com) as described by Van Soest et al. (1991). Neutral detergent fibre content was assayed without a heat stable amylase. Both NDF and ADF were expressed inclusive of residual ash. ADL or lignin (sa) was determined by solubilization of cellulose with sulphuric acid. Hemicellulose was obtained by difference of between NDF and ADF and cellulose was calculated as the difference between ADF and lignin (sa). All these analyses were done in the laboratory of Discipline of Animal Science, University KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg.

2.7 STATISTICAL ANALYSIS

Does which were sick, infected with mastitis pathogens or lost their kids before the end of the experiment were removed before analysing data. Variables were feeds intake of dams, metabolisable energy (ME) intake, milk yield, milk intake, initial live weight, live weight gain, and final live weight of kids; starting weight, final weight and live weight change of dams. Data were analyzed using the General Linear Model of SAS (Statistical Analysis System) to determine the Least Square Means (LSmeans), means and the level of differences between treatments. The model of analysis was as follows:

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + B_j + P_k + T_l + L_m + E_{ijklmno}$$

Where: Y_{ijklmn} is the independent variable (feed intake, ME intake, milk yield, milk intake, final live weight of dam and kid, live weight change of dam and kid live weight gain). μ is the overall mean; A_i is the effect of dam ages; B_j is the effect of birth type; P_k is the effect of parity; T_l is the effect of treatments; L_m is the effect of initial live weight of kids; $E_{ijklmno}$ is the residual error. The treatment sum of square was partition to test of the effect of treating with urea (T2 vs. T5) and the effect of crushing (T5 vs. T6). Linear and quadratic contrasts were used to compare the effect of level of feeding diet 1. For the second lactation, the effects of previous treatments on the same parameters cited above were tested.

3 RESULTS

3.1 CHEMICAL COMPOSITION OF FEEDS AND DIETS

Table 2. Chemical composition of feeds

Feeds	MS	MS	GH	WB	CSC
Urea treatment	No	Yes	no	no	no
Dry matter	954	619	932	953	980
Organic matter	913	911	889	951	948
Nitrogen (N)	6.20	7.28	17.50	26.07	35.45
Neutral detergent fibre (NDF)	816	799	495	477	570
Acid detergent fibre (ADF)	518	523	386	125	437
ME (MJ/kg DM)	4.57	5.71	11.31	12.65	8.30
ADIN	1.4	1.6	2.2	0.8	3.2
ADIN: N	22.8	22.4	12.5	3.0	9.1
Hemicellulose	298	276	110	352	133
Cellulose	394	406	265	86	339
Acid detergent lignin	130	118	116	35	101

ME: Metabolizable energy; ADIN: Acid detergent insoluble nitrogen; ADIN: N: ratio acid detergent insoluble nitrogen in nitrogen content of feed; MS: Millet stover; GH: Groundnut haulms; WB: Wheat bran; CSC: Cottonseed cake.

Table 3. Chemical composition of feeds offered and refusals (g/kg DM)

Parameters	Feed	Diet1				Diet2	Diet3
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
DM	Offered	822	822	822	822	949	949
	Refusal	965	965	965	965	970	980
OM	Offered	916	916	916	916	916	916
	Refusal	933	947	940	959	945	955
NDF	Offered	613	613	613	613	619	619
	Refusal	713	715	672	726	700	823
ADF	Offered	385	385	385	385	383	383
	Refusal	510	519	480	531	479	576

DM: Dry matter; OM: Organic matter, NDF: Neutral detergent fibre; ADF: Acid detergent fibre

3.2 EFFECT OF FEEDING LEVELS ON FEED INTAKE AND PRODUCTION PERFORMANCES OF DAMS

Feed intake varied ($P<0.001$) among treatments (Table 4). Feed intake increased linearly ($P<0.001$) with increasing levels of feeding dams without any quadratic effect. None of dam variables or kid variables affected dam intake. The metabolizable energy intake of dams (dMEi) increased linearly ($P<0.001$) with increasing levels of feeding (Table 4.) without the quadratic effect. Neither age, nor parity nor birth type of dams affected dMEi. Milk yield varied ($P<0.001$) among treatments (Table 5.4).

Milk yield increased either linearly ($P<0.001$) or in a decreasing rate ($P<0.01$) with increasing feeding level of dams. The age, parity and birth type did not affect ($P>0.05$) milk yield. Weekly milk yield of different treatments were relatively stable from week 3 to week 9; thence they tended to decrease from week 9 to week 13 except for treatment 4 (Figure 5.1). For the whole period of study milk yield of treatment 4 (T4) was the highest compared to other treatments.

Dam final live weight (dfwt) and dam weight change (dwtc) were not affected by treatments (Table 4). All dependent variables of dam did not affect ($p>0.05$) dfwt and dwtc. The live weight change of lactating does tended to increase ($P<0.05$) linearly and positively with increasing levels of feeding until weaning.

3.3 EFFECT OF UREA TREATMENT AND CRUSHING OF MILLET STOVER ON FEED INTAKE AND PRODUCTION PERFORMANCE OF DAMS

The contrast between treatments 2 versus 5 and between treatments 6 versus 5 showed that both urea treatment and crushing of millet stover did not affect ($P>0.05$) feed intake, dMEi or milk yield of lactating does before weaning (Table 4).

Table 4. Effect of level of feeding dams on production performance of lactating does

Treatment	Initial weight	DMI	dMEi	Daily milk yield	Dam final weight	Daily weight change (g)
T1	20.51	742	6.85	237	21.3	3.9
T2	21.57	800	7.4	236	21.5	1.3
T3	22.1	901	8.33	271	22	13.2
T4	23.72	978	9.04	354	22.4	19.2
T5	21.7	799	7.05	230	21.6	3.2
T6	20	764	6.75	246	21.6	2.5
Variation sources						
RMSE		49.34	0.45	40.99	1.25	15.67
Treatment		***	***	***	NS	NS
Age		NS	NS	NS	NS	NS
Parity		NS	NS	NS	NS	NS
Typeb		NS	NS	NS	NS	NS
Linear		***	***	***	NS	*
Quadratic		NS	NS	**	NS	NS
Contrast						
T2 vs T5		NS	NS	NS	NS	NS
T6 vs T5		NS	NS	NS	NS	NS

T: treatment; Typeb: birth type; dMEi: dam metabolisable energy intake; DMI: dry matter intake; RMSE: root mean square error; NS ($P > 0.05$); * ($P < 0.05$); ** ($P < 0.01$); *** ($P < 0.001$).

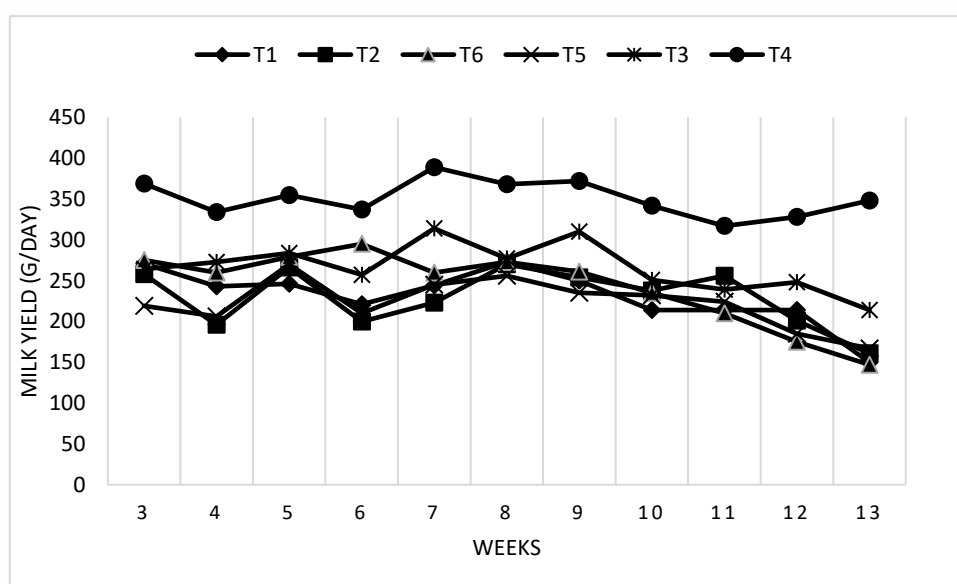


Fig. 1. Effect of level of feeding on weekly milk yield of lactating does

3.4 EFFECT OF FEEDING LEVELS OF DAMS ON METABOLISABLE ENERGY INTAKE AND GROWTH PERFORMANCE OF KIDS BEFORE WEANING

The level of feeding dams increased linearly ($P < 0.001$) metabolisable energy intake of kids before weaning (Table 5). The type of birth (0.173 (0.031), $t = 5.45$, $P < 0.001$) and kid initial weight (kiwt) (0.154 (0.029), $t = 5.23$, $P < 0.001$) affected strongly ($P < 0.001$) kids' metabolisable energy intake while the age and parity of dam did not exert any effect. Kids would have an increase consumption of 0.154 MJ ME /kg per day for an extra change of 1 kg of kid initial weight.

The kid final weight (kfw) and kid weight gain (kwtg) increased ($P < 0.001$) linearly with increasing feeding level of dams without any quadratic effect (Table 5). The kfw and kwtg were not affected ($P > 0.05$) by all dam and kid variables except that with a 1 kg increased in kiwt the kfw increased ($t = 3.80$; $P < 0.001$) by 0.862 (0.227) kg.

3.5 EFFECT OF UREA TREATMENT AND CRUSHING OF MILLET STOVER ON FEED INTAKE AND PRODUCTION PERFORMANCES OF KIDS

Urea treatment of millet stover did not affect ($P>0.05$) the ME intake, final weight and liveweight change of kids whereas crushing negatively influence ($P<0.01$) final weight and liveweight change of kids (Table 5).

Table 5. Effect of level of feeding dams on preweaning growth performance of kids

Treatment	Kiwt	KMEint	Kfwt	Kwtg
T1	2.37	0.696	2.84	7.22
T2	2.46	0.766	3.16	11.49
T3	2.49	0.91	3.39	14.81
T4	2.52	1.066	4.37	27.16
T5	2.41	0.747	2.81	7.15
T6	2.35	0.737	3.69	18.31
Variation sources				
RMSE		0.262	0.48	6.27
Treatment		***	***	***
Age		NS	NS	NS
Parity		NS	NS	NS
Typeb		***	NS	NS
kiwt		***	***	NS
ksex		NS	NS	NS
Linear		***	***	***
Quadratic		NS	NS	NS
Contrast				
T2 vs T5		NS	NS	NS
T6 vs T5		NS	**	**

T: treatment; Typeb: birth type; kiwt: kid initial weight; ksex: kid sex; Kiwt: kid initial weight; KMEint: kid metabolisable energy intake; Kfwt: kid final weight; Kwtg: kid weight gain; RMSE: root mean square error; NS: not significant ($P > 0.05$); * ($P < 0.05$); ** ($P < 0.01$); *** ($P < 0.001$).

3.6 EFFECT OF PREVIOUS FEEDING LEVELS ON FEED INTAKE, METABOLISABLE ENERGY INTAKE AND MILK YIELD OF DAMS

Feed intake, metabolisable energy intake and milk yield of dam were not affected ($P<0.05$) by previous levels of feeding (Table 6). However, previous levels of feeding, age and parity affected (at least $P<0.05$) final liveweight and liveweight change of dams. Birth type affected only final liveweight of dams.

Table 6. Effect of previous levels of feeding dams on production performance of lactating does

Ptreatment	Dam initial weight	Dry matter intake	dMEi	Daily milk yield	Dam final weight	Dam weight change
T1	23.52	818	7.55	219	21.28	-2.15
T2	23.5	1060	9.8	332	24.65	29.32
T3	25.26	708	6.54	142	23.53	-10.13
T4	25.13	910	8.41	369	22.84	3.13
T5	22.15	898	8.29	229	22.22	3.64
T6	21.8	890	8.22	308	23.6	14.37
Variation sources						
RMSE		95.05	0.87	81.54	0.7	8.64
Ptreatment		NS	NS	NS	***	*
Age		NS	NS	NS	***	***
Parity		NS	NS	*	*	*
Typeb		NS	NS	NS	**	NS

Ptreatment: previous treatment; T: treatment; Typeb: birth type; dMEi: dam metabolisable energy intake; RMSE: root mean square error; NS: Not significant ($P > 0.05$).

4 DISCUSSION

4.1 EFFECT OF LEVEL OF FEEDING

The linear increase of feed intake from T1 to T4 may be due to increasing levels of feeding which is in agreement with other reports [11], [12], [13], [14]. Some researchers reporting that DM intake of goats varied from 3 to 4% of live weight [15], [16]. When converted to DM intake/kg metabolic weight, feed intake ranged between 76.98 to 92.37 g which was relatively high compared to other works [17], [18], [19] where it has been reported 60 g/kg metabolic weight in lactating West African [18]. Again, it has been reported that DM intake could range between 13 to 50 g/kg live weight [19]. In another study, it was incorporation of supplements such as malic acid at 6 g / kg and 9 g / kg that increased food consumption in Roux bucks of Maradi [7]. Also, some researchers showed that the combination of formic acid and propionic acid in drinking water improves growth performance in rabbits [20]. DM intake in the present study was lower than that of 102 to 116 g/kg $W^{0.75}$ /day and 119.6 g/kg $W^{0.75}$ /d reported by some authors [21], [22]. In fact, dMEi increased also linearly as it was derived from dry matter. The dMEi in the present study was supposed to satisfy the ME requirement (7.1 to 9.9 MJ/day) for targeted milk production of 200 to 800 ml/day. Furthermore, the dMEi ranged from 0.7012 to 0.8410 MJ/kg $BW^{0.75}$ which is so far higher than MEm required of 0.5013 and 0.462 MJ/kg $BW^{0.75}$ by some researchers [23], [24].

The linear increase of milk yield with increasing feeding levels of dam corroborated the findings of others [11], [12], [14], [25] who reported that milk production is related to the quantity of feed offered to lactating goats. So poor nutrition would lead to a drop in milk production and poor reproductive performance, slow growth, loss of body condition and increased susceptibility to disease. The variation in the amount of milk produced is relative to the species and the incorporation of an additive in the ration from which one author showed that an intake of 30 g of malic acid per Holstein dairy cows decreases feed consumption and increases milk production [26]. Diet can influence milk production hence some researchers showed that among the goats on the semi-intensive diet, those who received more energy produced quantitatively more milk (1090 g / d / animal against 954 g / d / animal) [27]. From the point of view of the chemical composition of milk, the best values were also recorded with the supplemented goats. The results in terms of mean daily gain indicate positive values in the supplemented goats (on average 25.8 and 31.2 g). The daily milk yield in the present study was lower than that observed in other studies with Red Maradi (Sokoto) goat [14], [28] and Sahelian goat [29]. The milk yield varied weekly among dietary treatments and the weekly milk yield during three months post kidding was lower than that observed on Red Maradi and West African Dwarf goats [30]. The slight variation of weekly milk yield observed until week 9 may be explained by the relative constant dry matter intake and energy intake. The decrease of milk yield from week 9 to week 13 can be attributed to physiological changes of does which naturally affected milk yield with stage of lactation [31]. The levels of female milk production can influence growth of the Creole kid as was shown in study of some author [32]. The highest milk yield of T4 may be due to high metabolisable energy intake compared to other treatments and this is in agreement with other works [33], [34], [35]. It has been postulated that milk yield increased with increasing ME intake [33]. Kids reared by dams receiving a high dietary level of 0.78 to 1 UFL / day and 85 to 105 g PDIN / day, respectively, in wet season and dry season (4), grow at start of lactation (0 to 40 d) 60% higher (83 g / d + 18 VS 53 + 17 g / d) than those whose dams receive only green forage (0.44 to 0.68 UFL/j d and 35 to 57 g PDIN / j). However, these dMEi did not satisfy the expected milk production mentioned above and this could be attributed to genetic potential of Red Maradi goat which would be considered as very low. Nowadays, Red Maradi goat is subjected to genetic dilution in Caprine Centre of Maradi due to inbreeding and low feeding allowances. The environment was too hot and dry perhaps due to global warming. Differences in milk yield compared to other studies may be attributed to feeding system, breed and livestock management systems [30], [36].

An increase in live weight change of dams is expected due to the increase in DMI and ME intake of dams with advancing lactation compared to early lactation where lactating does had low appetite. Nevertheless, mean liveweight change of all treatments stayed positive which is in agreement with some authors [21] who reported live weight gain in german fawn goat. However, other workers [11], [28], [37] observed negative liveweight change in their studies.

The linear increase of kid metabolisable energy intake (kMEint) may be explained by kids' milk intake which corresponded with daily milk yield of dam; in the present study, milk yield increased with increasing level of feeding. This kMEint ranged from 277 to 364 kJ/kg $BW^{0.75}$ which is far lower than values of 485 and 521 kJ/kg $BW^{0.75}$ recommended by some authors respectively, for suckling or preweaning kids [38], [39]. These differences might be partially attributable to breed and experimental conditions, because the ME derived from feed intake of kids was practically impossible to measure since kids stayed together with their dams. Furthermore, some researchers found that kid growth in the first three months is largely determined by milk production of their dams [29]. Some authors have shown that among the factors that influence the growth of kids during the first months, feeding under the mother promotes better growth, in fact the kids reared from a bottle have on average a lower ADG of 20% to kids raised under the mother, which leads to typical age weight 12% lower (an average difference of 1 kg at one month and 1.6 kg at 2 months) [40].

4.2 EFFECT OF UREA-TREATMENT OF MILLET STOVER

Urea treatment is known to increase feed intake because it reduces lignification and increases the rate of digestion. However, after kidding intake of lactating does is low but increases thence. That is why there appears to be an increase of feed intake with stage of

lactation compared to the previous experiment where DM intake of dams before 14 days post-partum was low due to the physiological changes of does [41]. Secondly, the environment was dry and hot with low humidity, so feed dried out quite rapidly. Thus, at this phase of study, there was no difference in DM intake between T2 and T5 implying that urea treatment of millet stover did not affect dam intake which could be explained by the increase in does' intake as the lactation period progressed while liveweights of does were improving. Furthermore, at this phase of lactation does were able to eat enough feeds to meet the ME requirements to attain the goal of 400 g of milk yield. In fact, treatments T2 and T5 had the same level of feeding and the improvement of DM intake may explain the no-effect of urea treatment which is in agreement with work of some author with Red Maradi goats when comparing intake of urea treated and untreated straws during three months of study [28]. It has shown that the average quantities of raw materials ingested (824.53 g / d) of the treatment at which the ration contains millet stalks not treated with urea are lower than those of the treatment (1065.61 g / d) whose ration contains millet stalks treated with urea [42]. This shows the effect of millet stem urea treatment on food consumption in goats.

4.3 EFFECT OF CRUSHING MILLET STOVER

The non-significant effect between T6 and T5 showed that crushing millet stover did not affect doe's intake and similar findings were observed by some researchers who reported no intake improvement by crushing barley straw for goats and sorghum stover for cattle respectively [43], [44]. Crushing of millet had no effect due to increased DM intake in this stage of lactation in order to satisfy ME requirements of 400 g of milk production which is in agreement with some researcher [41]. Crushing reduces particle size but made it impossible to select feeds, causing feeds to become even drier in an environment characterized by low humidity, and extreme hot weather. Based on NDF (g/ kg DM) of feed offer (619) and Orts (813), goats offered long millet stover were able to select what they ate. Furthermore, since T6 and T5 had the same feeding and nutrient levels, the increase of DM may be explained the similarities of DM intake and production performances of lactating does. The fact that final weight and liveweight gain of kids from T6 (3.69 kg and 18.31 g) were higher than those of T5 (2.81 kg and 7.15 g) in spite of similarity of metabolisable energy intake of milk showed that crushing of millet stover influenced negatively final weight and liveweight gain of kids. This could be due probably to superiority in dry matter intake of kids (T6) which easily ate mixed diet (groundnut haulms, wheat bran and cottonseed cake) but reject millet stover offered alone compared to kids (T5) for which diet palatability was low. Indeed, kids (T5) may not have prehension ease of diet based on crushed millet stover which could have impacted on the intake of feed and ME. These differences on kid DM intake may be explained by selective behaviour of goats which is in agreement with results reported by several authors [41], [45], [46], [47], [48]. The use of millet stalk after crushing is one of the alternatives that allows the enhancement of local food resources and the improvement of the palatability of coarse fodder such as millet straw (Soumana et al., 2016).

4.4 EFFECT OF PREVIOUS LEVELS OF FEEDING

The influence of previous levels of feeding on dams' final weight and liveweight change could be due to the significant effect of feed and metabolisable energy intakes of dams when allocated to different feeding levels where does' weight varied with graded levels of feeding during the interval of two subsequent kiddings. This is in agreement with some author who found that Matebele does previously given different levels of ME gained differently in a subsequent lactation [25]. The variation of dam final weight could be due to physiological changes before kidding where the type of pregnancy would differ among treatments and this is shown by the influence of birth type on liveweight of dam in the present study. In fact, age, parity and birth type exerted effect on liveweight which may be explained by the characteristic of Red Maradi goat which is reputed as a prolific breed in West Africa [3] of which prolificacy is influenced by age/parity [49] and the recurring pregnancies increased body size of dam [50].

4.5 GENERAL

The significant effect of birth type on kid metabolisable energy intake is a reflection of milk production and the fact that twin kids shared their milk. This is the reason why kids born as singles have higher ME intake than twins. Similar findings were observed by one result in their study on Sahelian goats [29]. Kids weaning weight in the present study overlapped some results of working on Sahelian and Red Sokoto goats found weaning weights after three months of 5.6 and 3.9 kg, respectively [51]. However, results in the present study were even lower than observed (9.05 kg) by one result during 90 days on the same breed in caprine center of Maradi [52]. It has been observed 6.06 kg of kid weight only at 60 days of age on the same breed under village conditions [53]. Similarly, higher weaning weight of 5.41-7.41 kg, 10.46-12.02 kg and 14.41-23.25 kg were reported, respectively, by some authors at 3 months of age on Sahelian goat, at 4 months of age on Sahelian crossed with Anglo-Nubian goats and at 3 months of age on Damascus goats in Sudan [29], [54], [55]. The significant influence of kid initial weight on kid final weight is in agreement with some author on the same breed and Sodi (2004) in his study on Kacang and Peranakan Etawah goats in Indonesia [52]. The average daily weight gain (ADG) in the present study were also lower than those observed by some researchers on the same breed [52], [53]. Similarity, some authors reported higher ADG of 88-92 and 66.9 g/day on Tswana goats in Botswana and Red Sokoto goat in Nigeria, respectively [51], [56]. These differences on weaning weight and live weight gain before weaning compared to other studies might be attributed to experimental conditions, kids' energy intake, perhaps to genotype and genetic dilution of red Maradi goats at Caprine Centre of Maradi. Other authors like went further

to investigate effect of early weaning on growth and viability of kids and on milk production of Draa goats [10]. They showed that influence of early weaning in 45 days did not significantly influence the amount of milk in 120 days of lactation, the amount of protein, or protein level. On the other hand, amount of fat and fat content were significantly better in goats from early weaning lot. Clemence has shown that early weaning at 10 kg bodyweight did not affect body development, reproductive performance, or even milk production in young goats. On the other hand, a higher intake of concentrate during the rearing phase increased body development and the weight of the mammary gland

5 CONCLUSION

The level of feeding affected linearly milk yield, feed intake and ME intake of lactating Red Maradi goats with an increase of live weight change before weaning. Urea treatment and crushing of millet stover did not affect feed intake of lactating does. The effect of previous levels of feeding had effect on final liveweight of lactating does. Levels of feeding had positive effect on ME intake, final weight and average daily gain of kids. In the present study, the targeted milk yield was not attained in spite of ME supplied corresponding to the requirements, and kid's growth was very low compared to studies with the same or other breeds. It could well be that the genetic potential of Red Maradi goats is limited or even degenerated. Further investigations should be made on management system of genetic aspects to improve the phenotypic potential of this breed in Caprine Centre of Maradi.

REFERENCES

- [1] Kosgey, I. & Okeyo, A. (2007). Genetic improvement of small ruminants in low-input, smallholder production systems: Technical and infrastructural issues. *Small Ruminant Research* 70 (1): 76-88.
- [2] INS-Niger (2011). Le Niger en chiffres. 79p.
- [3] Djariri, B. (2005). Monographie de la chèvre rousse de Maradi. 27p.
- [4] Malau-Aduli, A. E. O. & Anlade, Y. R. (2002). Comparative study of milk compositions of cattle, sheep and goats in Nigeria. *Animal Science Journal* 73 (6): 541-544.
- [5] Wane, B., Delbaere, J. & Charpentier, C. (2005). Analyse de la sécurité alimentaire et de la vulnérabilité au Niger (CFSVA) Partie 1: Rapport. Programme Alimentaire Mondial des Nations Unies. Projet Strengthening Emergency Needs Assessment Capacity (SENAC). Rome: FAO/PAM: 87p.
- [6] Abdou N, Gouro AS, Nsahlai IV. 2018. Effect of feeding level on production performance of lactating Red Maradi goats and post-natal performance of kids. *Int. J. Bio. Chem. Sci.*, 11 (6): 2826-2836. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.21>.
- [7] Barazi AA, Chaibou M, Mahaman MMO, Nouhou ME. 2019. Effect of supplementation of rations with feed additive on weight growth and carcass yield of Roux kids from Maradi in Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (6): 2487-2496 <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.5>.
- [8] Smith, O. & Akinbamijo, O. (2000). Micronutrients and reproduction in farm animals. *Animal Reproduction Science* 60: 549-560.
- [9] Ademosun, A. A. (1994). Constraints and prospects for small ruminants research and development in Africa. In: Proceedings of the Second Biennial Conference on the African Small Ruminant Research Network. AICC, Arusha, Tanzania, 7–11 December 1992,; pp. 1–6.
- [10] Ibbelbachyr M., Alouani S., Noutfia Y., Boujenane J. 2019. Effect of early weaning on the growth and viability of kids and on milk production of Drâa goats. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2019) 7 (1): 143-148 145.
- [11] Greyling, J., Mmbengwa, V., Schwalbach, L. & Muller, T. (2004). Comparative milk production potential of Indigenous and Boer goats under two feeding systems in South Africa. *Small Ruminant Research* 55 (1): 97-105.
- [12] Morand-Fehr, P., Fedele, V., Decandia, M. & Le Frileux, Y. (2007). Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research* 68 (1): 20-34.
- [13] Sultana, S., Khan, M., Hassan, M. & Khondoker, M. (2012). Effects of concentrate supplementation on growth, reproduction and milk yield of Black Bengal goats (*Capra hircus*). *Bangladesh Veterinarian* 29 (1): 7-16.
- [14] Luka, J. & Kibon, A. (2014). Milk production of Red Sokoto goats fed with supplements in Bauchi State, Nigeria. *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences* 2 (8): 258-263.
- [15] Kabir, F., Shahjalal, M., Miah, G., Uddin, M. & Rahman, M. (2002). Effect of concentrate supplementation to grazing on growth and reproductive performance in female goats and sheep. *Journal of Biological Sciences* 2: 333-335.
- [16] Rashid, M. (2008). Goats and their nutrition. In *Manitoba Goat Association*.
- [17] Gall, C. (1981). *Goat production*. Academic Press Inc. (London) Ltd.
- [18] Adenuga, M., Tolkamp, B., Ademosun, A., Montsma, G. & Brouwer, B. (1991). Effect of pregnancy and lactation on liveweight, feed intake and feeding behavior in West African Dwarf (WAD) goats. *Small Ruminant Research* 4 (3): 245-255.
- [19] Haenlein, G. (1991). Dietary nutrient allowances for goats and sheep. *Feedstuffs (USA)*.
- [20] Gohier C, Menini FX, Salaün JM, Bourdillon A, Perdriau A, 2017. Effect of the use of organic acids in oral solution on the growth performance and mortality of fattening rabbits. 17th Cunicultural Research Days, Le Mans: France; 135-138.
- [21] Chowdhury, S., Rexroth, H., Kijora, C. & Peters, K. (2002). Lactation performance of german fawn goat in relation to feeding level and dietary protein protection. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 15 (2): 222-237.

- [22] AFRC (1998). The Nutrition of Goats. CAB International, New York, NY.
- [23] Luo, J., Goetsch, A., Sahlu, T., Nsahla, I., Johnson, Z., Moore, J., Galyean, M., Owens, F. & Ferrell, C. (2004). Prediction of metabolizable energy requirements for maintenance and gain of preweaning, growing and mature goats. *Small Ruminant Research* 53 (3): 231-252.
- [24] Nsahla, I., Goetsch, A., Luo, J., Johnson, Z., Moore, J., Sahlu, T., Ferrell, C., Galyean, M. & Owens, F. (2004). Metabolizable energy requirements of lactating goats. *Small Ruminant Research* 53 (3): 253-273.
- [25] Sibanda, L., Ndlovu, L. & Bryant, M. (1997). Effects of feeding varying amounts of a grain/forage diet during late gestation and lactation on the performance of Matebele goats. *The Journal of Agricultural Science* 128 (04): 469-477.
- [26] Hani MZ, Ahmed EK, Dyaeldin AM, Osama HM, Uchenna YA, Sobhy MS, 2018. Enhancing lactational performance of Holstein dairy cows under commercial production: malic acid as an option. *J Sci Food Agric.*, 99: 885-892.
- [27] Gnanda I. B., Nianogo, A. J. Zoundi, J. S. Faye B and Zono O. 2008. Effect of energy supplementation in wet periods on the milk production of the goat of the Burkina Faso Sahel *African Agronomy* 20 (1): 109 - 118 (2008).
- [28] Djibrillou, O. A., Pandey, V. S., Gouro, S. A. & Verhulst, A. (1998). Effect of urea-treated or untreated straw with cotton seed on performances of lactating Maradi (Red Sokoto) goats in Niger. *Livestock Production Science* 55 (2): 117-125.
- [29] Sangaré, M. & Pandey, V. (2000). Food intake, milk production and growth of kids of local, multipurpose goats grazing on dry season natural Sahelian rangeland in Mali. *Animal Science* 71 (1): 165-173.
- [30] Ahamefule, F., Odilinye, O. & Nwachukwu, E. (2012). Milk Yield and Composition of Red Sokoto and Wea Dwarf Does Raised Intensively in a Hot Humid Environm. *Iranian Journal of Applied Animal Science* 2 (2): 143-149.
- [31] Assan, N. (2014). Influence of stage of lactation on quantitative and qualitative milk production parameters in goats. *Scientific Journal of Animal Science* 3 (12): 291-300.
- [32] Alexandre G. 1991. Pre-weaning growth of kids in Guadeloupe. *Elev review. Med. vet. Pays trop.*, (special issue): 57-62.
- [33] Hadjipanayiotou, M. & Morand-Fehr, P. (1991). Intensive feeding of dairy goats. *EAAP Publication (Netherlands)*.
- [34] Montaldo, H., Almanza, A. & Juárez, A. (1997). Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Ruminant Research* 24 (3): 195-202.
- [35] Min, B., Hart, S., Sahlu, T. & Satter, L. (2005). The effect of diets on milk production and composition, and on lactation curves in pastured dairy goats. *Journal of Dairy Science* 88 (7): 2604-2615.
- [36] Stelwagen, K. (2001). Effect of milking frequency on mammary functioning and shape of the lactation curve. *Journal of Dairy Science* 84: E204-E211.
- [37] Bajhau, H. & Kennedy, J. (1990). Influence of pre-and postpartum nutrition on growth of goat kids. *Small Ruminant Research* 3 (3): 227-236.
- [38] Sahlu, T., Goetsch, A., Luo, J., Nsahla, I., Moore, J., Galyean, M., Owens, F., Ferrell, C. & Johnson, Z. (2004). Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Ruminant Research* 53 (3): 191-219.
- [39] NRC (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants*. The National Academies Press, Washington, D.C.
- [40] Fanny Thuault and Antoine Tisseur, 2017. Growth of young people of Pyrenean breed Butcher goats Renewal goats. Association of the Pyrenean goat breed. Technical sheet, November, 4p.
- [41] Fedele, V., Claps, S., Rubino, R., Calandrelli, M. & Pilla, A. (2002). Effect of free-choice and traditional feeding systems on goat feeding behaviour and intake. *Livestock Production Science* 74 (1): 19-31.
- [42] Moumouni Ayoub Fati. 2020. Promotion of agricultural by-products and Sida cordifolia in the diet of the Red Goat of Maradi. End of cycle thesis with a view to obtaining a master's degree in animal production and biotechnology. Faculty of Agronomy Abdou Moumouni University 74p.
- [43] Wahed, R. (1987). Stall-feeding barley straw to goats: The effect of refusal-rate allowance on voluntary intake and selection. University of Reading.
- [44] Osafo, E., Owen, E., Methu, J., Abate, A., Tanner, J. & Aboud, A. (1997). Excess Feeding of Stovers from Sorghum and Maize for Small Ruminants and Cattle in Cereal-based Integrated Farming Systems in Africa.
- [45] Animut, G., Goetsch, A., Aiken, G., Puchala, R., Detweiler, G., Krehbiel, C., Merkel, R., Sahlu, T., Dawson, L. & Johnson, Z. (2005). Performance and forage selectivity of sheep and goats co-grazing grass/forb pastures at three stocking rates. *Small Ruminant Research* 59 (2): 203-215.
- [46] Jørgensen, G. H. M., Andersen, I. L. & Bøe, K. E. (2007). Feed intake and social interactions in dairy goats—the effects of feeding space and type of roughage. *Applied Animal Behaviour Science* 107 (3): 239-251.
- [47] Basha, N., Scogings, P. & Nsahla, I. (2009). Diet selection by Nguni goats in the Zululand Thornveld. *South African Journal of Animal Science* 39 (1): 33-36.
- [48] Glasser, T., Landau, S., Ungar, E., Perevolotsky, A., Dvash, L., Muklada, H., Kababya, D. & Walker, J. (2012). Foraging selectivity of three goat breeds in a Mediterranean shrubland. *Small Ruminant Research* 102 (1): 7-12.
- [49] Soumana I, Ayssiwe S, Issa S, et Missouhou A: 2016 Effets de la complémentation avec des blocs multi-nutritionnels concentrés à base de Sida cordifolia L., une plante invasive, sur les performances zootechnico-économiques des antenais de race Balami à Déréki/Dosso (Niger). *International Journal of Innovation and Applied Studies* 15, 716.

- [50] Awemu, E., Nwakolar, L. & Abubakar, B. (2002). The biological productivity of the yankasa sheep and the red sokoto goat in Nigeria, 2002. *Dept. of Animal Science, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria*.
- [51] Mioč, B., Prpić, Z., Vnučec, I., Barać, Z., Samaržija, D. & Pavić, V. (2008). Factors affecting goat milk yield and composition. *Mljekarstvo* 58 (4): 305.
- [52] Makun, H., Ajanusi, J., Ehoche, O., Lakpini, C. & Otaru, S. (2008). Growth rates and milk production potential of Sahelian and Red Sokoto breeds of goats in northern Guinea Savannah. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS* 11 (4): 601-606.
- [53] Djibrillou, O. A. (1989). Facteurs influant les poids a age-types des chèvres rousses de Maradi en station au Niger - Factors affecting weight-for-age of red Maradi (Sokoto) goats at a Niger research station. *Small Ruminant Research and Development*.
- [54] Marichatou, H., Mamane, L., Banoin, M. & Baril, G. (2002). Performances zootechniques des caprins au Niger: étude comparative de la chèvre rousse de Maradi et de la chèvre à robe noire dans la zone de Maradi= Rendimientos zootécnicos de los caprinos de Niger: estudio comparativo de la cabra roja de Maradi con su pariente de pelaje negro en la zone de Maradi= Zootechnical performance of goats in Niger: comparative study of the Maradi russet goat with the black-coat goat in Mardi area. *Revue d'Elevage et de Médecine vétérinaire des Pays Tropicaux* 55 (1).
- [55] Shaker Momani, M., Sanogo, S., Coulibaly, D., Al-Olofi, S. & Alkhewani, T. (2012). Growth performance and milk yield in Sahelian× Anglo-Nubian goats following crossbreeding in the semi-arid zone of Mali.
- [56] Mahmoud, N., El Zubeir, I. & Fadlelmoula, A. (2012). Colostrum composition and performance of Damascus goats raised under Sudan conditions. *Wudpecker J. Agr. Res* 1 (8): 341-345.
- [57] Madibela, O., Boitumelo, W., Manthe, C. & Raditedu, I. (2002a). Chemical composition and in vitro dry matter digestibility of local landraces of sweet sorghum in Botswana. *Livestock Research for Rural Development* 14 (4): 1-6.

Analyse des risques d'agressivités pluviométriques sur les sols du bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire)

[Analysis of the risks of rainfall aggressiveness on the soils of the N'zi watershed (Côte d'Ivoire)]

Yao Koffi Léon¹⁻²⁻³, Kouakou Koffi Eugène²⁻³, Kouassi Amani Michel²⁻³, and Gnangouin Asaph¹⁻²⁻³

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terres et des Ressources Minières (STeRMi), Côte d'Ivoire

³Laboratoire, Génie Civil, Géosciences et Sciences Géographiques, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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 is entitled «Analysis of the rainfall aggressiveness on the soils of the N'zi watershed. The objective is to analyze the importance of precipitation on soil erosion. To achieve the objective, daily, monthly and annual rainfall data on the N'zi watershed were collected over the period 1960 to 2019. The analysis of rainfall risks was possible for the index of erosivity of Arnoldus and Rango-Arnoldus rainfall, to graphical and spatial representations with R software and ArcGIS software. The results of the analysis of the interannual variability of precipitation show that the temporal aggressiveness generally declined during the 1970s. The rainfall aggressiveness indicates on a monthly scale a weak aggressiveness in general and the strongest would be seasonal at the level of the localities of the basin. It highlights three levels of rainfall aggressiveness on an annual scale: very aggressive aggressiveness (32%), less aggressive (48%) and more or less aggressive aggressiveness (20%), at the basin scale. Five (5) classes were distinguished; excess dominance (41%) qualified as high rainfall aggressiveness, dry period (30%) qualified as low rainfall aggressiveness, a minimum period (18%) qualified as very low rainfall aggressiveness, a maximum period (9%) qualified very high rainfall aggressiveness and a normal period (2%) qualified as average rainfall aggressiveness.

KEYWORDS: aggressiveness of rainfall, erosivity index, N'zi catchment area (Côte d'Ivoire).

RESUME: Cette étude est intitulée « Analyse d'agressivités pluviométriques sur les sols du bassin versant du N'zi. L'objectif est d'analyser l'importance des précipitations sur l'érosion des sols. Pour atteindre l'objectif, les données de pluies journalières, mensuelles et annuelles sur le bassin versant du N'zi ont été collectées sur la période 1960 à 2019. L'analyse des risques pluviométriques a été possible à partir de l'indice d'érosivité des pluies d'Arnoldus et Rango-Arnoldus, aux représentations graphiques et spatiales avec le logiciel R et logiciel ArcGIS. Les résultats de l'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations montrent l'agressivité temporelle a baissé généralement au cours de la décennie 1970. L'agressivité pluviométrique indique à l'échelle mensuelle une agressivité faible en général et les plus fortes serait saisonnière au niveau des localités du bassin. Elle souligne à l'échelle annuelles trois niveaux d'agressivité pluviométriques: une agressivité très agressive (32%), moins agressive (48%) et une agressivité plus ou moins agressive (20%), à l'échelle du bassin. Cinq (5) classes ont été distinguées; une domination excédentaire (41%) qualifiée d'agressivité pluviométrique forte, période sèche (30%) qualifiée d'agressivité pluviométrique faible, une période minimale (18%) qualifiée d'agressivité pluviométrique très faible, une période maximale (9%) qualifiée d'agressivité pluviométrique très forte et une période normale (2%) qualifiée d'agressivité pluviométrique moyenne.

MOTS-CLEFS: agressivité des pluies, indice d'érosivité, bassin versant du N'zi (Côte d'Ivoire).

1 INTRODUCTION

A l'indépendance de la Côte d'Ivoire en 1960, son développement économique était lié aux atouts naturels et particulièrement l'exploitation agricole. Ce premier choix se traduit clairement de 1960 à 1985, dénommé miracle économique; où l'agriculture est présentée comme le premier pilier ivoirien [1], [2]. Par ailleurs, un pays essentiellement agricole, l'agriculture employait le taux le plus élevé de la population en 1998 [3] et l'expansion de l'agriculture de 62 % [4]. Le développement contigu de ces cultures, les zones de choix idéal étaient, de préférence les régions forestières et autour des cours d'eau; où les conditions naturelles sont favorables [2]. Les atouts naturels que fournissent les bassins versants (climat propice à l'agriculture, accès à l'eau d'irrigation, sol fertile, ressources humaines disponibles) favorisaient un développement prodigieux des cultures [1].

En effet, le patrimoine forestier a été soumis à une déforestation systématique de grande échelle pour la création des plantations de cafés, cacaos, palmiers à huiles, hévéas, ananas, etc., qui ont fait de la Côte d'Ivoire un grand pays agricole [1]. En outre, l'agriculture subit les aléas du climat, réduisant ainsi la production. La dégradation de la couverture végétale a une influence sur les régimes climatiques [5] et donc sur les régimes hydrologiques.

Par ailleurs, le bassin versant du N'zi renferme une partie utile de la Côte d'Ivoire au plan socio-économique (ancienne boucle du cacao). Il constitue un atout majeur pour le développement de la Côte d'Ivoire. Le fleuve N'zi est une sorte de cordon ombilical reliant les zones humides du Sud aux régions sèches du Nord. Le fleuve se comporte comme une artère nourricière qui entretient les conditions de vie pour l'homme.

La fragilité du milieu naturel du bassin du fleuve N'zi est liée aux phénomènes hydrologiques. Ils sont perçus comme des contraintes majeures. L'intensité de la grande sécheresse, la baisse de la pluviométrie des décennies 70 et 80 conjuguées à une exploitation humaine excessive du milieu ont entraîné l'exacerbation des phénomènes d'érosion qui ont provoqué une dégradation continue de l'état de surface, voire irréversible du potentiel biologique productif. Malgré une amélioration des conditions pluviométriques depuis le début des années 90, ce problème reste préoccupant et constitue une entrave à la conservation des ressources naturelles et un frein au développement durable [6].

Ainsi que, l'augmentation de la population remarquable de la région du N'zi entre 2010 et 2014 est respectivement de 900.000 habitants [7] et 3.030.381 habitants [8]. Elle a des conséquences sur les ressources et hydrosystèmes.

Selon les ministères de l'environnement et des mines géologies, les sites des activités de l'orpaillage clandestin se fructifient dans la région [9]. Les déclenchements d'événements extrêmes tels que les mouvements de terrain et les inondations (coulée boueuse, ruissellement), naissant de l'érosion hydrique, ont aussi favorisé les dégradations physiques de la surface des sols agricoles. Ces événements dont l'occurrence risque d'augmenter avec les changements climatiques [10], [11] ont des effets importants sur les activités humaines (vies humaines, destruction de terres arables, infrastructures, sécurité alimentaire).

Certaines études [12] dans la région du N'zi-Comoé, ils distinguent trois classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique: les zones à faible vulnérabilité (29 %); les zones à vulnérabilité moyenne (34 %) et les zones fortement vulnérables (37 %). L'agressivité des pluies est d'une importance primordiale parmi les moteurs naturels qui affectent l'érosion des sols. Les gouttes de pluie peuvent briser les agrégats et disperser leurs particules constitutives. Ces particules se produisent à la surface du sol, lorsque la force de ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol. La bonne connaissance du potentiel érosif de la pluie peut aider les aménageurs à lutter contre l'érosion et à réduire l'envasement des retenues. Dans ce cadre, on insiste essentiellement sur l'agressivité des pluies en tant que facteur déterminant de l'érosion. L'analyse de l'érosivité des pluies permet d'orienter, de prévoir le potentiel érosif des sols.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant du N'zi est un sous-bassin versant du fleuve Bandama situé entre les longitudes 3°49'00" et 5°22'00" Ouest et les latitudes 6°00'00" et 9°25'59" Nord (Figure. 1). Il couvre une superficie de 35 500 km² et parcourt 725 km de long. Le fleuve N'zi prend sa source au Nord, dans la région de Ferkessédougou à une altitude de 400 m et se jette dans le Bandama à Tiassalé.

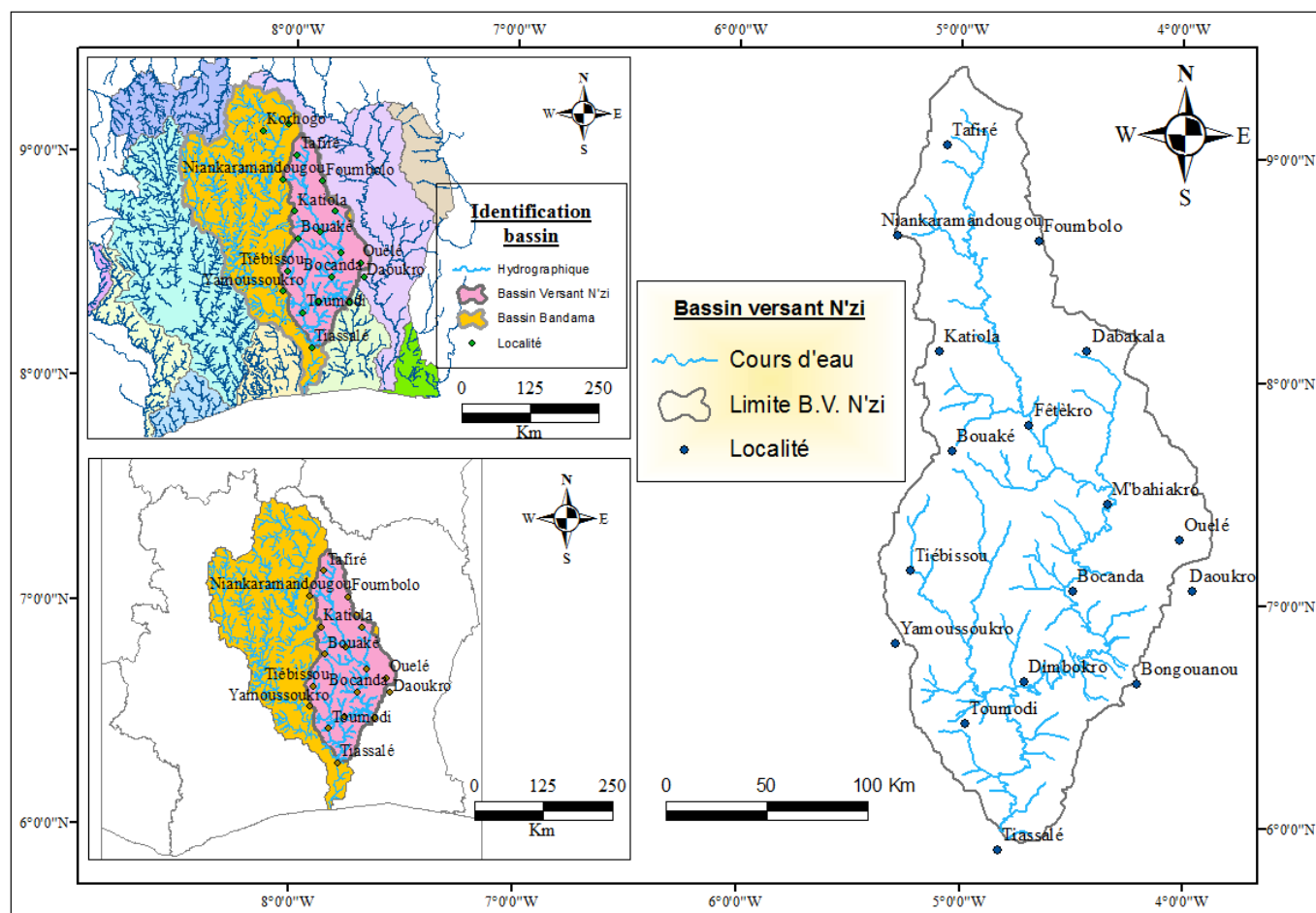


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude (bassin versant du N'zi)

Du fait de sa configuration géographique allongée, le bassin versant du N'zi (Figure 1) est représentatif des grands ensembles climatiques de la Côte d'Ivoire. Au Nord, règne le régime tropical de transition (climat soudano guinéen). Le régime tropical humide (climat baouléen) se situe dans la partie centrale du bassin. Le Sud du bassin se caractérise par un régime subéquatorial (climat attiéen). Le bassin du N'zi se localise par une végétation savanicole dans le centre et le Nord, et une végétation de forêt dans le Sud. Le relief du bassin est peu accidenté. Il est généralement constitué de plateaux (100 m à 400 m en moyenne). Cette monotonie est rompue par la chaîne Baoulé. Les principaux types de sol sont les sols ferralitiques moyennement désaturés (Nord) et les sols ferralitiques fortement désaturés (Centre et Sud).

2.2 MATÉRIEL

2.2.1 DONNÉES

L'appréciation de l'agressivité des pluies sur le bassin versant du N'zi se basent sur les données pluviométriques mensuelles de 1960 à 2019 proviennent de quatorze (14) postes pluviométriques et s'étendent sur 59 années. Ces données proviennent de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ce nombre de stations est considéré comme largement représentatif du phénomène d'érosivité des pluies dans cette zone d'étude. Les stations concernées sont: Tafiré, Ferké, Niakara, Katiola, Dabakala, Bouaké, M'bahiakro, Bocanda, Tiébissou, Dimbokro, Daoukro, Bougouanou, Béoumi et Tiassalé.

2.3 MÉTHODES

La méthode de l'analyse de l'agressivité pluviométrique est expliquée avec les formules statistiques sous Microsoft Excel. De plus, les logiciels R Studio, et ArGIS 10.4.1 ont servi à faire les cartes et la répartition spatiale des pluies.

2.3.1 CARACTERISATION DE L'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE À L'ECHELLE ANNUELLE

Le calcul d'un indice d'agressivité des pluies (IAP) se fait à l'aide de l'indice des Précipitations Centrées Réduites (noté PCR=IAP):

$$IAP = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

Avec:

- X_i , pluviométrie de l'année i ;
- $\bar{X}$ et σ sont respectivement la moyenne et l'écart-type de la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence

Lorsque:

- $IAP > 0$, l'année est considérée comme une agressivité climatique importante (érosion très active);
- $IAP < 0$, l'année est considérée comme une agressivité climatique faible (érosion faible) et
- $IAP \pm 0$, l'année est considérée comme une agressivité climatique moyenne (érosion $\pm$ agressive)

Pour mieux visualiser et déterminer l'agressivité des pluies à l'échelle interannuelle, dans cette étude, nous avons montré l'effet de l'agressivité des pluies sur notre zone d'étude. Nous avons créé les classes d'agressivité pluviométrique (tableau 1). Ces auteurs ([13], [14], [15], [16]) ont utilisé cette méthode pour déterminer les régimes excédentaires et déficitaires. Selon la variation du IAP, cinq classes sont retenues (tableau 1).

Tableau 1. Classification de l'agressivité pluviométriques à l'échelle interannuelle [13], [14]

Régimes pluviométriques	Classes IAP	Degré d'agressivité pluviométrique
Très humide	$IAP < -1,49$	Très forte
Humide	$-1 < IAP < -1,49$	Forte
Normal	$IAP = 0$	Moyenne
Sec	$-1 < IAP < -1,49$	Faible
Très sec	$IAP < -1,49$	Très faible

Ceci met en évidence le caractère "événementiel" des processus érosifs du bassin versant du N'zi à l'échelle interannuelle.

2.3.2 CARACTERISATION DE L'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE À L'ECHELLE MENSUELLE

L'agressivité pluviométrique mensuelle est évaluée à partir de l'indice d'Arnoldus et Rango-Arnoldus. L'indice d'Arnoldus et Rango-Arnoldus [17] a permis de calculer l'érosivité pluviométrique mensuelle selon la relation suivante:

$$\log R = 1.74 * \log \sum \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1.29$$

Où P_i représente les précipitations mensuelles (en mm) et P les précipitations annuelles (en mm). Le tableau 2 suivant présente les différentes classes de l'indice de l'agressivité pluviométrique mensuelle.

Tableau 2. Classification de l'indice d'agressivité d'Arnoldus et Rango-Arnoldus (IA) [18]

Indice d'agressivité des pluies (IA)	Degré d'agressivité pluviométrique
0-60	Très faible
60-90	Faible
90-120	Moyenne
120-160	Forte
>160	Très forte

2.3.3 LA REPRESENTATION SPATIOTEMPORELLE DE L'AGRESSIVITE DES PLUIES ET DE L'EROSIVITE SUR LE BASSIN

La représentation spatiale de la dynamique de l'agressivité des pluies et l'érosivité par la cartographie a été faite par la méthode de moyenne glissante [19] sur 10 ans. Et s'applique aux valeurs de l'agressivité et de l'érosivité, puis a été combiné avec des moyennes décennales sur la période d'étude (1960-2019). À partir du logiciel Arcgis 10.4.1., la méthode d'interpolation par spline a permis de cartographier l'évolution de l'agressivité et d'érosivité des pluies sur le bassin versant du N'zi. Ainsi, ont été comparées les variations spatiotemporelles de l'agressivité et de l'érosivité des pluies sur des décennies 1960-1969, 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 et 2010-2019.

3 RÉSULTATS

3.1 VARIABILITE DE L'INDICE D'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE À L'ECHELLE ANNUELLE

L'observation de la figure 2 montre l'évolution interannuelle de l'agressivité pluviométrique annuelle du bassin versant du N'zi. L'analyse graphique (figure 2), a permis de dégager trois (3) au niveau de variation de l'agressivité climatique dans chaque localité étudiée, donc les résultats sont consignés dans le tableau 3. On note une période humide caractérisée par des valeurs d'indice d'agressivité pluviométrique forte (19 années, soit 32%) traduisant une érosion très active, un indice d'agressivité pluviométrique faible (29 années, soit 48%) traduisant une érosion faible et un indice d'agressivité pluviométrique moyenne (12 années, soit 20%) correspondant à une érosion plus ou moins agressive. Cette situation est constatée au niveau de toutes les stations du bassin versant.

Tableau 3. *Caractéristiques de l'agressivité des pluies à l'échelle annuelle*

Stations Pluviométriques	Agressivité climatique: érosivité des pluies		
	IAP > 0	IAP < 0	IAP = ± 0
Dimbokro	20 années, soit 36%	28 années, soit 50 %	8 années, soit 14%
Bouaké	18 années, soit 32%	28 années, soit 50 %	10 années, soit 18%
Bocanda	22 années, soit 39%	25 années, soit 45 %	9 années, soit 16%
Dabakala	25 années, soit 45%	24 années, soit 43 %	7 années, soit 12%
Tafiré	16 années, soit 29%	28 années, soit 50 %	12 années, soit 21%
Niakaramandougou	17 années, soit 30%	30 années, soit 52 %	10 années, soit 18%
M'bahiakro	11 années, soit 20%	31 années, soit 54 %	15 années, soit 26%
Tiébissou	11 années, soit 19%	30 années, soit 51 %	17 années, soit 20%
Béomi	22 années, soit 39%	25 années, soit 44 %	10 années, soit 17%
Tiassalé	18 années, soit 32%	30 années, soit 52 %	09 années, soit 16%
Daoukro	23 années, soit 40%	22 années, soit 39 %	12 années, soit 21%
Bongouanou	33 années, soit 33%	30 années, soit 53 %	08 années, soit 14%
Ferkessedougou	20 années, soit 35%	29 années, soit 51 %	08 années, soit 14%
Katiola	13 années, soit 23%	28 années, soit 49 %	16 années, soit 28%
Moyenne	19 années, soit 32%	28 années, soit 48%	11 années, soit 20 %

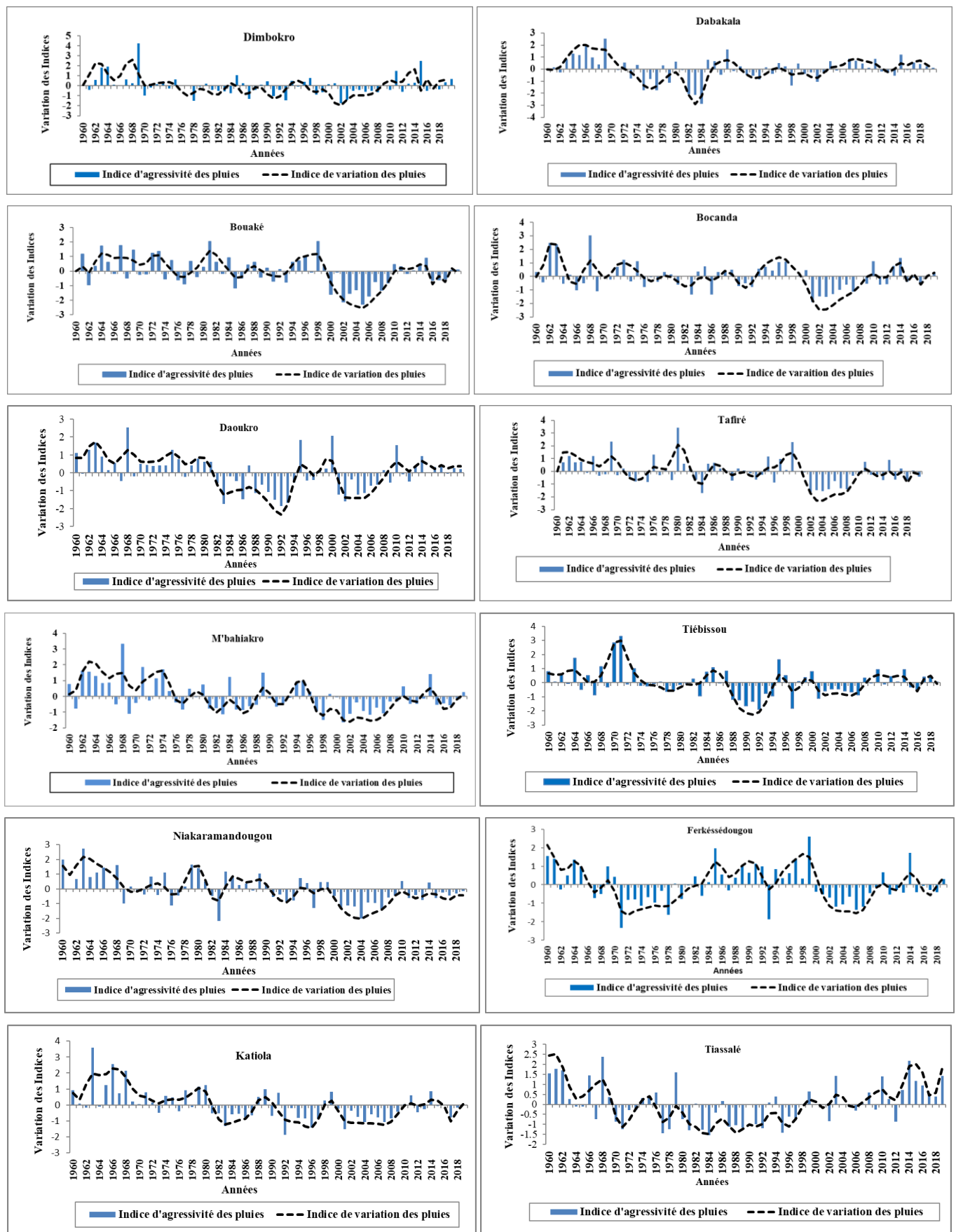


Fig. 2. Variabilité interannuelle de l'agressivité des pluies annuelles sur le bassin versant du N'zi

3.2 VARIABILITE INTERANNUELLE DE L'AGRESSIVITE DES À L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT

La figure 3 montre deux tendances de l'agressivité pluviométrique sur le bassin versant du N'zi. Après analyse de l'évolution du graphique (Figure 3) dont les résultats sont consignés dans le tableau 4. Il distingue une période de domination excédentaire de 41%, qualifiée d'agressivité pluviométrique forte, une période sèche de 30% qualifiée d'agressivité pluviométrique faible, une période minimale de 18% qualifiée d'agressivité pluviométrique très faible, une période dite maximale de 9% qualifiée d'agressivité pluviométrique très forte et une période dite normale de 2% qualifiée d'agressivité pluviométrique moyenne (Tableau 4).

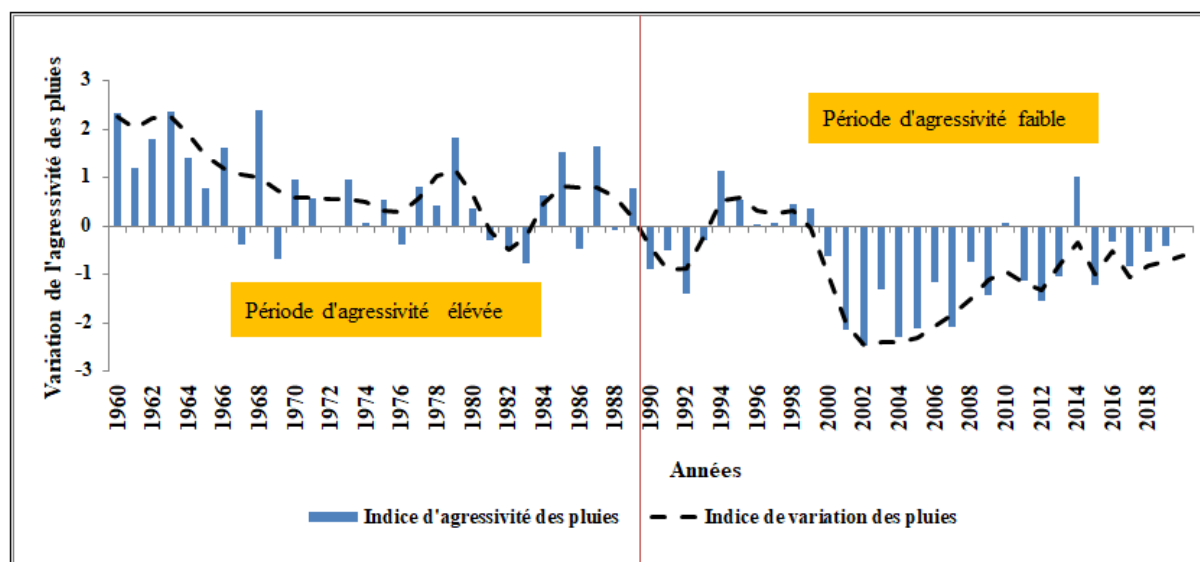


Fig. 3. Variation interannuelle de l'agressivité des précipitations à l'échelle du bassin versant N'zi

Tableau 4. Caractérisation de l'agressivité des précipitations à l'échelle du bassin

Classes	Nombre d'années (%)	Agressivité pluviométrique
$IAP < 1,49$	5 (9%)	Très Forte
$1 < IAP < 1,49$	23 (41%)	Forte
$IAP = 0$	10 (18%)	Moyenne
$-1 < IAP < -1,49$	17 (30%)	Faible
$IAP < -1,49$	4 (2%)	Très Faible

3.3 VARIABILITE DE L'EROSIVITE PLUVIOMETRIQUES À L'ECHELLE MOYENNE MENSUELLE

Les précipitations moyennes mensuelles des stations ont permis d'analyser la variation de l'érosivité à l'échelle mensuelle, qui est consignée dans le tableau 5. L'évaluation de l'érosivité moyenne mensuelle des pluies est calculée sur la série d'études (1960-2019) à partir de l'indice d'érosivité d'Arnoldus et Rango-Arnoldus. Les résultats obtenus montrent que l'indice d'érosivité (IA) est faible aux différentes localités du bassin versant du N'zi, selon la classification des indices d'agressivité établis (Tableau 2). Ce tableau a servi à apprécier l'évolution de l'agressivité pluviométrique du bassin. Cependant, pour l'ensemble des 14 localités, les pluies les plus élevées se notent uniquement pour les mois de juin, août et septembre. Sur la base de ces résultats, nous remarquons que l'érosivité est variable aussi bien temporellement que spatialement dans les quatorze (14) localités. Les stations sont caractérisées par une forte précipitation reflétant une forte valeur de l'indice de Rango et d'Arnoldus. La valeur de l'indice d'érosivité des pluies la plus faible (9,11 au mois de janvier) est enregistrée à la station de Bouaké, ainsi la valeur de l'indice d'érosivité des pluies la plus forte (95,50 au mois de septembre) au niveau du bassin. L'indice d'érosivité plus forte correspond à la période d'août à septembre dans les localités de Tafiré, Dabakala, Niakaramandougou, Ferkéssédougou, Katiola, alors dans autres localités, c'est au niveau du mois de juin qu'il est observé (Tableau 5).

Tableau 5. Indice d'érosivité pluviométrique moyenne mensuelle (1960-2016)

Stations	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Dimbokro	9,78	13,85	30,42	41,75	50,26	70,20	28,33	19,67	36,54	36,51	15,89	10,48
Bouaké	9,11	9,34	15,41	21,28	62,74	44,15	12,99	52,41	95,50	41,28	10,86	9,16
Bocanda	9,45	13,62	29,70	40,45	47,68	56,31	24,68	27,97	43,34	38,57	14,94	10,35
Dabakala	9,43	11,22	21,07	38,62	36,68	39,66	33,28	50,10	67,20	32,20	11,38	9,73
Tafiré	9,16	10,38	14,00	23,35	34,20	36,50	50,08	67,23	65,30	32,46	12,06	9,68
M'bahiakro	9,59	13,54	30,99	38,97	45,13	51,77	26,45	31,91	44,16	30,06	11,70	9,89
Tiébissou	9,83	15,28	28,42	44,20	42,16	51,80	23,00	26,77	41,91	27,52	13,64	10,25
Niakaramandougou	9,35	12,40	16,88	30,38	35,34	31,00	41,83	63,61	69,49	32,53	11,01	9,89
ferkessedougou	9,19	9,62	12,86	24,41	33,74	36,78	57,25	83,73	67,57	29,65	10,62	9,34
Katiola	9,49	12,04	21,50	34,60	36,58	36,78	30,64	39,93	62,56	28,78	11,83	10,35
Tiassalé	9,91	14,80	30,67	42,00	63,66	77,10	25,92	12,85	28,18	44,42	25,92	11,78
Béoumi	9,37	13,83	24,45	34,34	36,32	36,47	28,70	36,38	66,20	29,30	13,92	9,56
Daoukro	9,49	13,74	27,41	42,61	42,23	52,57	23,11	27,50	38,55	32,00	12,82	9,84
Bongouanou	9,38	12,66	29,62	39,72	43,79	65,42	29,13	24,27	35,10	34,77	15,37	10,78

La variation moyenne mensuelle de l'indice d'érosivité du bassin est visualisée par la figure 4. Elle montre clairement les valeurs les plus élevées correspondent aux mois abondants en pluie. À la station de Dimbokro et Bocanda les carreaux importants correspondent à la grande saison des pluies d'avril à juin (50 à environ 75) qualifié d'érosivité moyenne à très forte. la petite saison des pluies comprend à la période de septembre à octobre (10 à 50) qualifié d'érosivité très faible à moyenne. Cependant, dans les localités de Dabakala et Tafiré les mois les plus abondants en pluie sont les mois d'août et septembre. L'indice d'érosivité varie environ 10 à 100 qualifié d'érosivité faible à forte. Au niveau de la station de Bouaké une irrégularité des pluies d'avril à septembre. L'indice d'érosivité varie d'avril à juin environ 63 et de juillet à septembre de 30 à environ 100, l'érosivité varie progressivement de faible à très forte. Quant aux autres stations les indices varient de 10 à 75. Face à ces résultats, les risques d'érosion des pluies des sols sont faibles (Indice d'érosivité des pluies est compris entre 9,11 et 95,50) sur l'ensemble des stations du bassin versant du N'zi par rapport aux classes d'agressivité pluviométrique proposées (Tableau 2). L'érosion serait donc importante et variable dans le temps et spatialement au niveau des mois abondants en pluie. Les sols étant déjà saturés. L'infiltration étant très faible, favorisera le ruissellement. Ce qui va provoquer des dégâts néfastes sur la vie de la population.

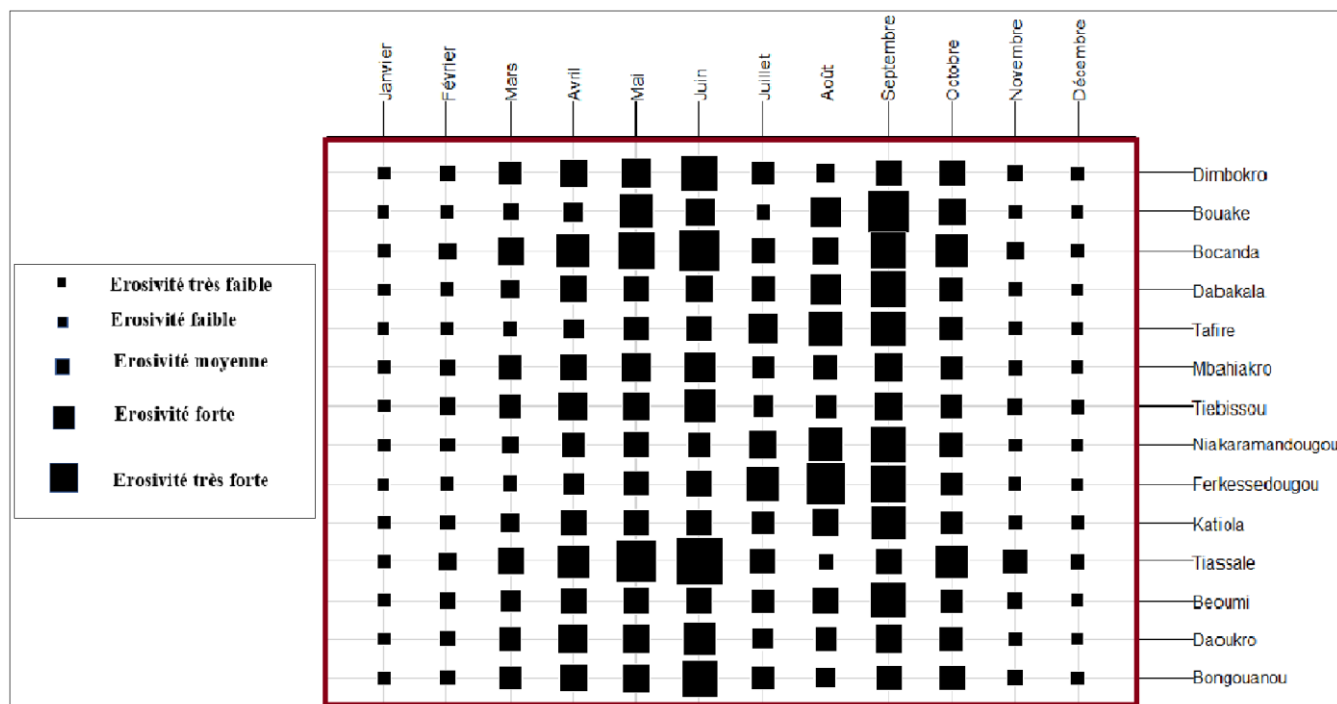


Fig. 4. Variation de l'indice érosivité des pluies moyenne mensuelle

3.4 ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'AGRESSIVITE PLUVIOMETRIQUE MOYENNE INTERANNUELLE DU BASSIN VERSANT DU N'ZI (1960-1989 ET 1990-2019)

L'analyse statistique de l'évolution spatio-temporelle de l'agressivité pluviométrique répartie de 1960-1989 et 1990-2019, les résultats sont consignés dans le tableau (6). L'analyse de la variation spatio-temporelle représentée par la figure 5, a permis d'observer cinq (5) degré d'agressivité des pluies aux différentes périodes. L'étude statistique de l'agressivité des pluies montre que la classe $1 < IAP < 1,49$, niveau d'agressivité pluviométrique forte sur les terres représente 2313,49 Km², soit 35,54% sur la période 1960-1989, alors que sur la période 1990-2019, cette même classe représente 10287 Km², soit 29,69%, nous constatons une baisse de la superficie au niveau de cette classe. En plus des faits similaires se reproduisent au niveau de la classe d'agressivité moyenne des pluies sur les terres. Cependant, les autres classes présentent des cas contraires (Tableau 6), où les valeurs de 1990-2019 sont partiellement en hausse par rapport à celle de 1960 à 1989.

L'analyse de la figure 5 souligne aussi que la classe d'agressivité des pluies très fortes s'observe autour des localités de Bouaké, Tiébissou et Daoukro de 1960 à 1989 alors que sur la période de 1990 à 2019, elle s'observe au niveau Katiola et Tiébissou, Bocanda, Tiassalé.

La classe d'agressivité des pluies moyenne s'enregistre au niveau des localités de, Dimbokro, Bocanda et Katiola sur la période de 1960 à 1989, par contre sur la période de 1990 à 2019, elle s'observe dans les localités de Bocanda, Bouaké, Dabakala, Bongouanou et Tafiré (Figure 5).

En effet, Cette agressivité des pluies qui évolue dans le temps et dans l'espace; décroît d'une localité à l'autre. Elle est particulièrement plus accentuée au Nord-Ouest et l'Est du bassin et moyennement accentuée au Centre et au Sud du bassin. Elle ne peut être justifiée que par l'intensité de pluie, le type d'occupation du sol et du couvert végétation des sols dans ces différentes localités.

Tableau 6. Caractérisation statistique de l'agressivité des pluies en surface

Classes (Mj.mm/Km ² /an)	1960 -1989		1990 -2019		Niveau d'Agressivité des Pluies
	Surface (Km ²)	Surface (%)	Surface (Km ²)	Surface (%)	
IAP <1,49	1174,92	3,39	2493,49	7,20	Très Forte
1 < IAP <1,49	12313,49	35,54	10287,00	29,69	Forte
IAP = 0	8150,62	23,53	7099,89	20,49	Moyenne
IAP < -1,49	9407,38	27,16	10051,78	29,02	Faible
-1 < IAP < -1,49	3596,31	10,38	4710,56	13,60	Très faible
Total	34642,72	100	34642,72	100	

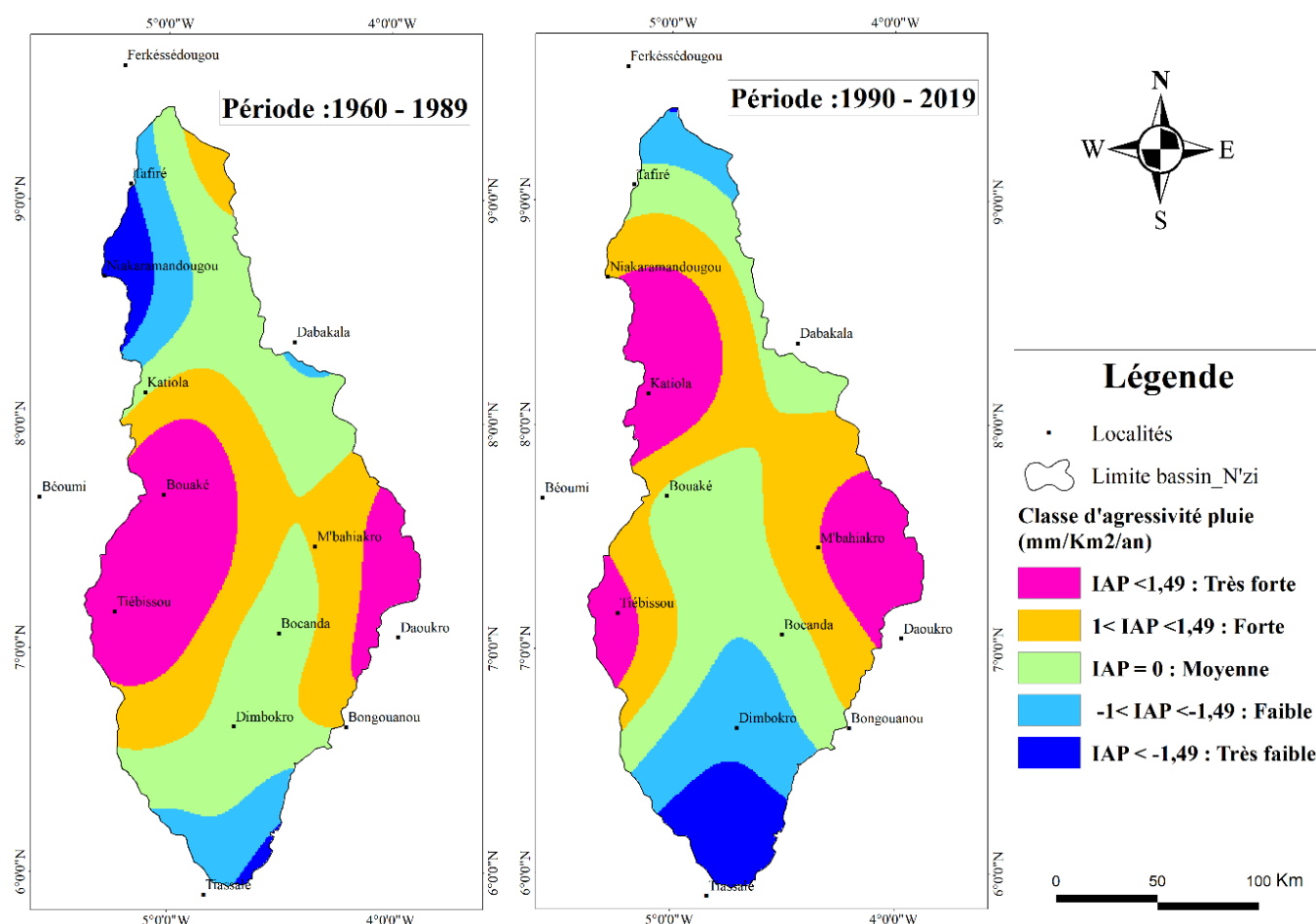


Fig. 5. Carte de d'évolution spatiotemporelle de l'agressivité pluviométrique (1960-1989 et 1990-2019)

3.5 VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE L'ÉROSIVITÉ DES PLUIES ANNUELLES DECENNALES 1960 À 2019

La variation spatiale de l'érosivité pluviométrique illustrée par les Figures 6, 7 et 8, montrent que le bassin versant est réparti en cinq (5) classes d'érosivité pluviométrique. La variation statistique des classes d'érosivité des pluies est consignée dans les Tableaux 7, 8 et 9.

L'analyse de la variation statistique des classes d'érosivité sur le bassin versant du N'zi (Tableau 7, 8 et 9) a montré que l'érosivité pluviométrique sur les sols se manifeste de façon irrégulière les différentes périodes (1960-1969; 1970-1979; 1980-1989; 1990-1999; 2000-2009; 2010-2019). Les valeurs respectivement des classes présentent un niveau d'agressivité pluviométrique forte et moyenne sur une superficie de 11076,76 Km², soit 31,97%. Et s'étendent sur une superficie de 12665,45 Km², soit 36,56 % (1960-1969; 1970-1979). Ce même constate est faite au niveau des périodes de (1980-1989; 1990-1999) sur une superficie de 10127,33 Km², soit 29,23% et sur une superficie de 12318,64 Km², soit 35,56%. Au niveau des périodes de (2000-2009; 2010-2019), la classe d'érosivité des pluies présentant un niveau d'agressivité faible enregistrent les valeurs en hausse (9817,72 Km², soit 28,34% et 15522,35Km², soit 44,81%) par rapport aux autres classes sur les différentes décennies (Tableau 7, 8 et 9).

L'analyse respectivement des figures 6, 7 et 8, montre que la classe d'érosivité très forte est observée au niveau des localités de Dimbokro, Dabakala, Niankaramandougou, Tiassalé et M'bahiakro (figure 6), ainsi que la figure 7 indique les localités de Tafiré, Katiola, Dabakala et Niankaramandougou. Quant à la figure 8 ce sont les localités de Tiassalé, Dimbokro, Dabakala. Alors que les stations de Tafiré et Niankaramandougou enregistrent une érosivité moyenne. Dans l'ensemble, les classes d'érosivité pluviométrique de très faible à moyenne est les plus fréquents (figures 7 et 8), par rapport à la figure 6 ce sont les classes d'érosivité forte (1960-1969) et la classe d'érosivité moyenne (1970-1979) qui sont plus étendues. L'indice d'érosivité traduisant l'agressivité des pluies sur les sols confirme une érosivité pluviométrique irrégulière sur la différente décennale (Figure 6, 7, 8).

Tableau 7. Caractérisation statistique de la variation de l'érosivité des pluies au pas de temps décennale

Pas de temps	1960-1969		1970-1979		Degré d'érosivité des pluies
Classes (mm/Km ² /an)	Surface (Km ²)	Surface (%)	Surface (Km ²)	Surface (%)	
[-1 à -2]	3920,79	11,32	2459,72	7,10	Très faible
[0,4 à -1]	3586,57	10,35	10870,17	31,38	Faible
[0,2 à -0,4]	6271,78	18,10	12665,45	36,56	Moyenne
[1 à 0,2]	11076,76	31,97	4993,27	14,41	Forte
[2 à 1]	9786,81	28,25	3654,10	10,55	Très forte
Total	34642,72	100	34642,72	100	

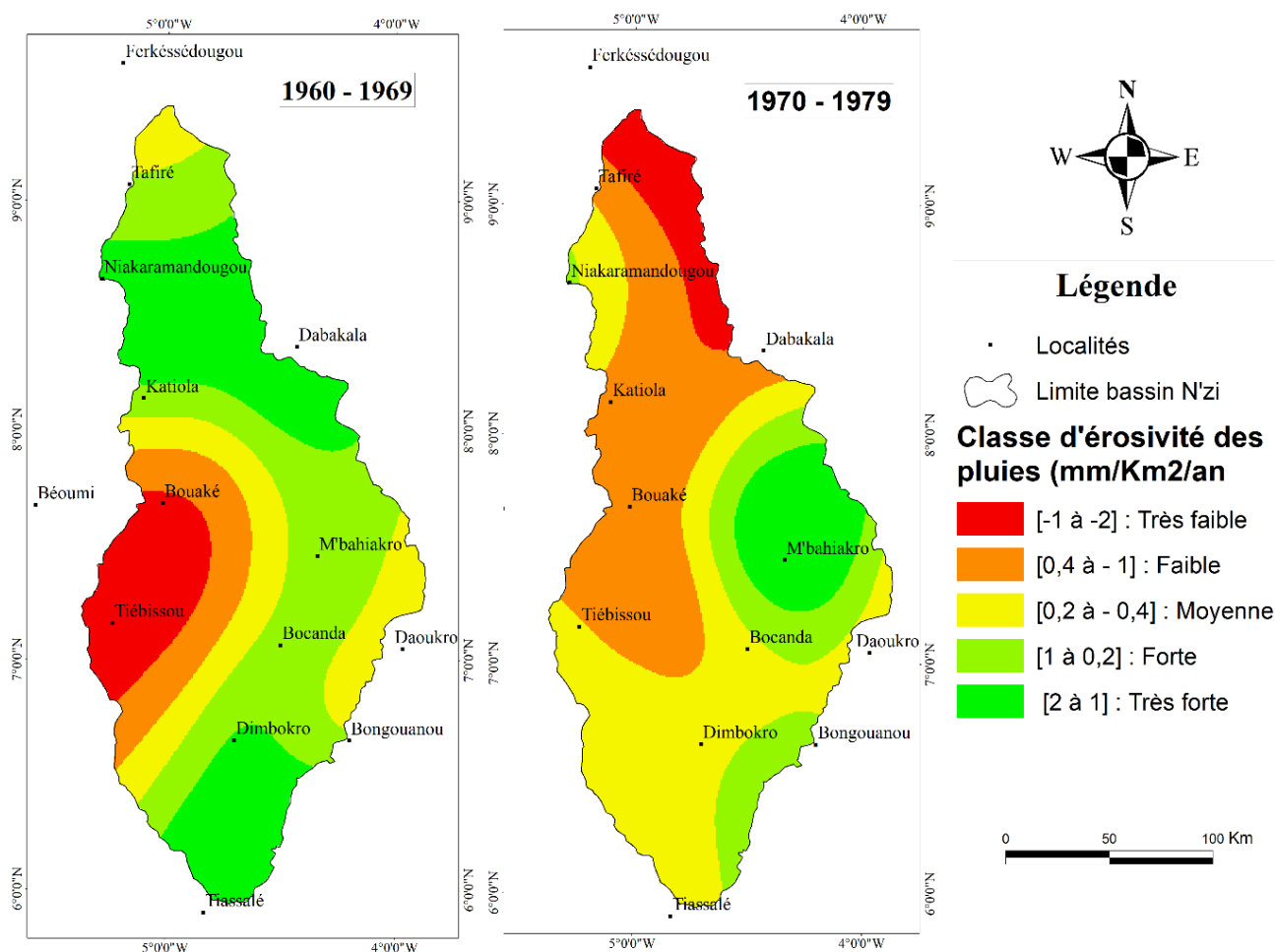


Fig. 6. Variation spatiale de l'érosivité des pluies moyenne décennale (1960-1969 et 1970-1979)

Tableau 8. Caractérisation statistique de la variation de l'érosivité des pluies au pas de temps décennale

Pas de temps	1980-1989		1990-1999		Degré d'érosivité des pluies
Classes (mm/Km ² /an)	Surface (Km ²)	Surface (%)	Surface (Km ²)	Surface (%)	
[-1 à -2]	2988,52	8,63	6809,16	19,66	Très faible
[0,4 à -1]	4505,10	13,00	9736,45	28,11	Faible
[0,2 à -0,4]	7345,40	21,20	10127,33	29,23	Moyenne
[1 à 0,2]	12318,64	35,56	5391,02	15,56	Forte
[2 à 1]	7485,04	21,61	2578,76	7,44	Très forte
Total	34642,72	100	34642,72	100	

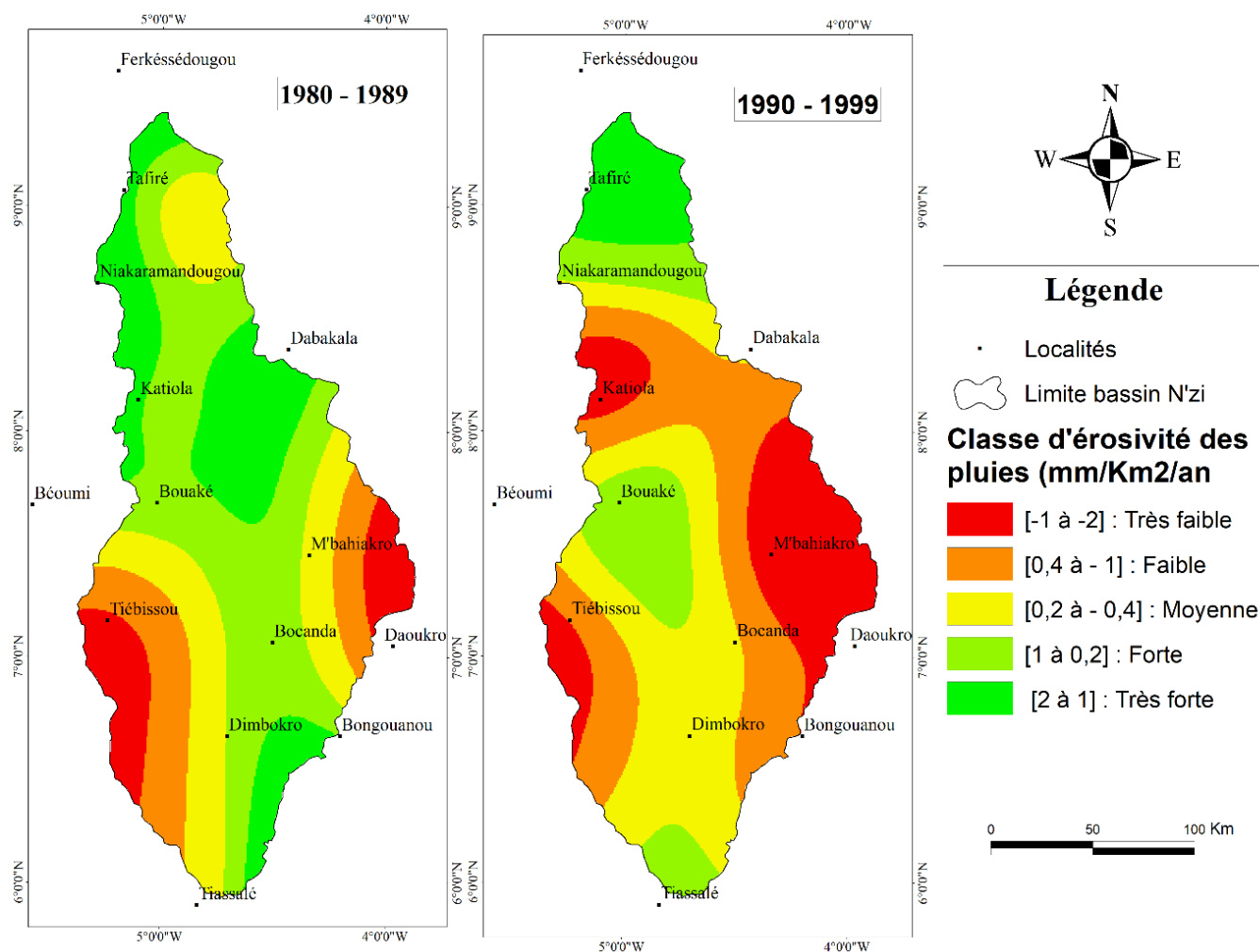


Fig. 7. Variation spatiale de l'érosivité des pluies moyenne décennale (1980-1989 et 1990-1999) l'érosivité

Tableau 9. Caractérisation statistique de la variation de l'érosivité des pluies au pas de temps décennale

Pas de temps	2000-2009		2010-2019		Degré d'érosivité des pluies
Classes (Mj.mm/ha/an)	Surface (Km ²)	Surface (%)	Surface (Km ²)	Surface (%)	
[-1 à -2]	2682,35	7,74	8402,43	24,25	Très faible
[0,4 à - 1]	9817,72	28,34	15522,35	44,81	Faible
[0,2 à - 0,4]	8930,09	25,78	4088,47	11,80	Moyenne
[1 à 0,2]	7503,37	21,66	3003,98	8,67	Forte
[2 à 1]	5709,21	16,48	3625,49	10,47	Très forte
Total	34642,72	100	34642,72	100	

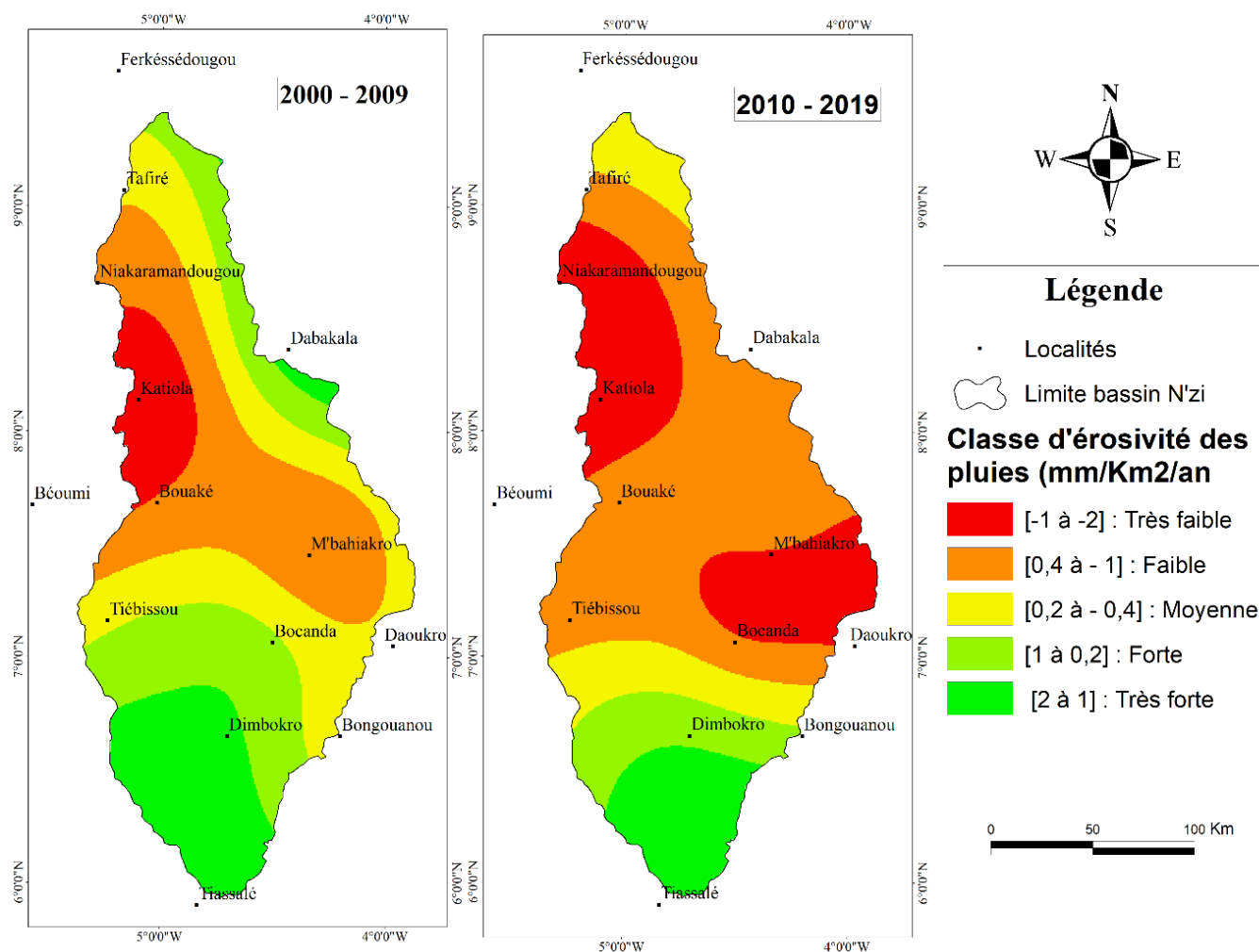


Fig. 8. Variation spatiale de l'érosivité des pluies moyenne décennale (2000-2009 et 2010-2019)

4 DISCUSSION

L'appréciation de l'agressivité pluviométrique sur le bassin versant du N'zi à partir de l'indice pluviométrique montre que l'érosion très active environ 32%, moins active environ 48% et une érosion plus ou moins active environ 20%.

Les risques d'érosion mensuelle sont très faibles. Les valeurs les plus élevées correspondent aux mois abondants en pluie sur l'ensemble du bassin versant. Plusieurs auteurs l'ont déjà expérimenté sur de nombreux bassins versants [20] aux USA (Washington); [21] au Cameroun; [22] en Turquie; [23] en Grèce; [24], [26] au Maroc; [27], [28], [29] en l'Algérie, [30] au Ghana et [12], [31], [32] en Côte d'Ivoire.

Deux facteurs a priori peuvent expliquer ces observations:

- L'irrégularité, mensuelle ou interannuelle de l'érosivité suit l'irrégularité des pluies journalières, inter-mensuelle ou interannuelle des pluies;
- La localisation et l'exposition aux flux humides sont aussi déterminantes de cette irrégularité

Dans ce contexte, la position géographique du bassin versant du N'zi et la disposition du relief en tant qu'éléments qui orientent et activent les aléas climatiques. En fait, le bassin versant du N'zi présente un paysage topographique très varié (collines, plateaux, plaines et dépressions) mais caractérisé par des modestes altitudes (0 à 300 m) [2].

Dans un bassin versant la pente est facteur déterminant, selon les expériences de Wischmeier et Smith (1958-1978), le taux d'érosion augmente avec la longueur de pente. Le bassin versant du N'zi, est de préférence une zone de forte activité agricole [3] ce qui expose de plus en plus le bassin versant aux effets de l'érosion des pluviométriques.

Le type de formation géologique qui affleure dans les bassins à une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en général une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables, mais meubles et érodables, comme des marnes et argiles, avec une végétation moyenne présentent souvent une densité de drainage élevée. Ceci favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration [33], [34]. Et il rend notre milieu plus vulnérable: ce qui facilite l'accélération de l'érosivité des pluies. En effet, en contexte tropical et sous l'impulsion de la déforestation, l'occupation du sol et les états de surfaces du sol ont pu être modifiés. En ce sens, la structure et la perméabilité représentent donc des paramètres qui ont pu changer dans le temps. Il est considéré qu'en fonction de la brutalité/rapidité et du type de défrichement (manuel/mécanisé), les propriétés chimiques et physiques du sol pour les horizons superficiels sont modifiées. Une fois les sols dénudés, la modification de ces sols est favorisée par l'agressivité du climat, la fragilité des sols et la minéralisation rapide des matières organiques; l'ensemble de ces processus en action entraîne alors l'accélération des pertes de sols. En parallèle, les phénomènes d'érosion augmentent une fois les sols dénudés et croissent en cas de cultures discontinues les années suivantes.

5 CONCLUSION

Le bassin versant du N'zi, avec un poids agricole déterminant dans l'économie de la Côte d'Ivoire, sa grande production dépend des saisons pluvieuses. Ce déterministe (pluies) est un élément fondamental du bon fonctionnement des écosystèmes et des agrosystèmes. Or ces sols se trouvent aujourd'hui fortement menacés par le risque potentiel de l'érosion. L'érosivité des pluies est vue ici comme un risque climatique et environnemental potentiel. Ce risque est en fait le produit des aléas climatiques et de la vulnérabilité de l'environnement géographique. La connaissance de ce facteur d'érosion, l'érosivité des pluies du bassin versant du N'zi, s'avère d'un grand intérêt dans toute sa stratégie d'aménagement et de développement agricole.

L'étude révèle que cette partie de la Côte d'Ivoire est aussi menacée par le risque potentiel de l'érosion hydrique saisonnière qui menace les activités agricoles.

L'indice pluviométrique souligne trois niveaux d'érosion: une érosion très agressive (32%), moins agressive (48%) et une érosion plus ou moins agressive (20%) à l'échelle interannuelle. Au niveau du bassin versant, on retient une période très humide de 1960 à 1988 et une période sèche de 1989 à 2019. Avec, une période de domination excédentaire (41%), qualifiée d'agressivité pluviométrique forte et une période sèche (30%) qualifiée d'agressivité pluviométrique faible.

A l'échelle mensuelle du bassin cinq (5) classes ont été définies. Selon les classes de l'indice d'érosivité d'agressivité pluviométrique proposée par CEC (1992), le risque d'érosivité des pluies est faible (compris entre 9,11 à 95,50) sur l'ensemble des stations du bassin versant du N'zi. L'érosivité s'exprime ici de façon événementielle, tant à l'échelle interannuelle, mensuelle et serait saisonnière. Au cours d'une année, les risques climatiques se situent aux intersaisons et durant les mois, où les précipitations sont abondantes, où quelques "risques érosifs" interviennent.

Au niveau de la représentation spatiotemporelle, l'agressivité de pluviométrique montre une évolution de l'érosivité progressive du sud vers le nord. L'érosivité forte se situe au niveau des localités du sud-est, du centre et nord-ouest.

REFERENCES

- [1] Brou Y T., 2005. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côté d'Ivoire. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Techniques de Lille, France, 212 p.
- [2] Kouassi A., 2007. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest: cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, thèse de doctorat, université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, 234 p.
- [3] Noho Y.A.W., N'guessan K.F. et Koli B.Z., 2018. Caractérisation de la végétation du bassin versant du N'zi (côte d'ivoire), université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, n°1: 31-42.
- [4] REDD+ (Réduction des Emissions de gaz à effet de serre issues de la Déforestation et la Dégradation forestière, incluant la conservation, l'augmentation des stocks de carbone et la gestion durable des forêts), 2016. Analyse qualitative des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts en Côte d'Ivoire, Rapport Final, République de Côte d'Ivoire Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 114 p.
- [5] Brou Y. T., 1997. Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le Sud forestier ivoirien: recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de Doctorat de 3ème cycle de l'Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 211p.

- [6] Niang A.J., 2008, Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le sud-ouest de la Mauritanie, Approach by analysis multisource, PhD Thesis, University of Liège, 286.
- [7] Oulaà J.M., 2011, Evaluation et analyse géostatistique des paramètres hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (centre-est de la Côte d'Ivoire), mémoire de fin d'étude, Technicien Supérieur des Mines et de Géologie, Institut National Polytechniques Houphouët Boigny (INP-HB), Yamoussoukro, 43pp.
- [8] National Institute of Statistics (INS), General Population and Housing Census (RGPH., 2014)., Anonymous. Ministry of State, Ministry of Planning and Development, Republic of Côte d'Ivoire, <http://www.ins.ci>, anonymous PP.
- [9] Kaman P., 2013, Analyse des vulnérabilités aux catastrophes et des capacités de réponse en Côte-d'Ivoire; République de Côte D'Ivoire, Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales, Plan de Développement de l'Agriculture (1992-2015) Version finale, Archives République de CI, UEMOA, (65 p); 171 p.
- [10] Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl T.R., & Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science* 289, 2068-2074.
- [11] Nearing, M.A., F.F. Pruski et M.R. O'Neal., 2004. Expected Climate Change Impacts on Soil Erosion Rates: A Review. *Journal of Soil and Water Conservation* 59 (1): 43- 50.
- [12] Aké G.É., Kouadio B.H., Adja M.G., E J-B., Effebi K. et Biémi J., 2012. Cartographie de la vulnérabilité Géographie physique et environnement, 6: 1-19.
- [13] Mc Kee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. Report of the eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim (California), 6 p.
- [14] Totin V.S.H., Houndénou C., Boko M., et Afouda A., 2009. Variabilité pluviométrie et bilan climatique dans le bassin de la Volta au Bénin. *Climat et développement*, 8: 81-94.
- [15] Sinsin B., Sare B.A., Totin V.S.H. et Houssou C.S., 2015. Variation du régime pluviométrique de la périphérie de la réserve de biosphère transfrontalière du W au Bénin, XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015: 509-514.
- [16] Etene C. G., 2017. Erosion ravinante dans l'arrondissement de togba au Benin; Laboratoire Pierre Pagny. *Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE)*, de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin). *Climat et Développement*, N°23, pp 41 à 56.
- [17] Arnoldus H.M. J et Rango A., 1987. Aménagement des bassins versants. *Cahiers techniques de la FAO*: 1-11.
- [18] CEC (Commission of European Communities)., 1992. Corine Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. Brussels, Commission of the European Community EUR13233 EN, Luxembourg, Office for official Publications of the European Community, 97 p; Doi: 10.1097/00010694-196108000-00029.
- [19] Sahani M., Moeyersons J., Vandedastele I, Trefois Ph., Ozer P., 2012: Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 à 2010. *Geo-Eco-Trop.*, 36, 121-136.
- [20] Wischmeier, W.H., Smith D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses, A guide to conservation planning. USDA-ARS, Washington, Agriculture and book (537): 58 p.
- [21] Fournier F et Hioleil J., 1993. «La gestion des ressources naturelles et la place de l'arbre dans les systèmes agraires en zone marginales du plateau Bamiléké: toposéquence de Fossong-Wetcheng». Proposition d'un programme de recherche/développement dans le cadre du projet Santchou Département de foresterie, Université de Dedschang. 12 p.
- [22] Apaydin H., Erpul G., Bayramin I. et Gabriels D., 2006. Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia, Project, Turkey J. Hydro 1328: 726-732pp.
- [23] Koul. I.M., Soupios.P. & Vallenatos, F., 2008. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environ Geol* (2009) 57: 483-497, Doi: 10.1007/s00254-008-1318-9.
- [24] El bouqdaoui K., Ezzine H., Badrahoui M., Rouchdi M., Zahraoui M. et Ozer A., 2005. Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, 29: 25-36.
- [25] El Garouani A., Chen H., Lewis L., Tribak A. et Abharour, M., 2008. Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG IDRISI au nord-est du Maroc. *Télédétection*, 8 (3): 193-201.
- [26] Fatiha C, Mohamed C, Mustapha N, Damien R, Yannick P, 2016., Impact du changement climatique sur l'évolution de l'érosivité des pluies dans le rif occidental (Nord Du Maroc), *European Scientific Journal* November 2016 edition vol.12, No.32, 16 p. doi: 10.19044/esj. 2016.v12n32p79.
- [27] Kouri L., 1993. L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 232 p.
- [28] Meddi M., 2013. Sediment transport and rainfall erosivity evolution in twelve Basins in Central and Western Algeria. *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)*, v.7, (2): 253-263. Doi: 10.4090/juee. 2013.v7n2.253263.

- [29] Maamar-Kouadri K., Kouri L. et Chebouti Y., 2016. Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie), la revue Geo-Eco-Trop., 40 (4): 287-296.
- [30] Andoh H.F., Antwi B.O., Wakatsuiki T. et Atakora E.T., 2012. Estimation of soil erodibility and rainfall erosivity patterns in the agroecological zones of Ghana, Journal of Soil Science and Environmental Management Vol.3 (11): 275-279 pp. Doi: 10.5897/JSSEM11.081.
- [31] N'go Y. A., 2015. Hydrologie et dynamique de l'état de surface des terres dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire: impacts et moteurs de dégradation, Thèse d'état, Université Nangui Abrogoua, Abidjan-Côte d'Ivoire, 220 p.
- [32] N'go Y.A., Kouadio Z.A., Deguy A.J-P., Hien S.A., Goula B.T. A. et Savané I., 2018. Influence de la dynamique de l'occupation du sol sur la quantité de perte de sol au sud du bassin versant du Sassandra (Cote D'ivoire). International journal of Advanced research Journal; 6 (4): 830-838.Doi: 10.21474/IJAR01/6918.
- [33] Roose E., 1985. « Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux », Machinisme Agricole Tropical, n° 98, 14 p.
- [34] Helioui Y.et Hajri J., 2015, Érosivité des pluies dans la région du Cap Bon (Tunisie), XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015: 509-514.

Diagnostic de la fertilité chimique des principaux sols rizicoles de la Vallée du Sourou au Burkina Faso

[Diagnosis of the chemical fertility of the main rice-growing soils of the Sourou Valley in Burkina Faso]

Jean Ouedraogo¹, Constantin Kpoda Kpieroouhib¹, Mathias Bouinzwemwendé Pouya², Sansan Youl¹, and Idriss Serme²

¹International Fertilizer Development Center, 11 BP 82 Ouaga 11, Burkina Faso

²Department, Gestion des Ressources Naturelles, Systèmes de Production, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

Copyright © 2022 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 diagnosis of fertility is a prerequisite for the formulation of balanced and site-specific fertilizer recommendations. To do this, omission trials were set up on 60 plots in the Sourou Valley. The trials were divided into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils and Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils. Each trial included 06 treatments: 0N-0P-0K, 0N-30P-40K, 120N-0P-40K, 120N-30P-0K, 120N-30P-40K and 120N-30P-40K + 2.5 t.ha⁻¹ of organic matter. Grain and straw yields, soil chemical characteristics and plant nitrogen, phosphorus and potassium exports were determined. The results showed that Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils are slightly richer in carbon, nitrogen and phosphorus than into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils. Indeed, the initial nitrogen, phosphorus and potassium contents calculated from the exports were respectively 71.20 kg.ha⁻¹, 30.02 kg.ha⁻¹ and 187.19 kg.ha⁻¹ for the Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils, against 52.47 kg.ha⁻¹, 19.10 kg.ha⁻¹ and 159.62 kg.ha⁻¹ for the into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils. Furthermore, the results showed that nitrogen and phosphorus are the two limiting nutrients for rice production on these two soil types. The internal N use efficiency was 80.59 kg grain.kg⁻¹ N on into Hydromorphic tropical eutrophic ferruginous brown soils and 60.09 kg grain.kg⁻¹ N for Vertic tropical eutrophic ferruginous brown soils. The results of this diagnostic will be used as a basis for the formulation of balanced and site-specific fertilizer recommendations.

KEYWORDS: Omissions trials, initial fertility, internal efficiency, irrigated rice, nutrient uptake, limiting nutrients.

RESUME: Le diagnostic de la fertilité est un préalable pour la formulation de recommandation d'engrais équilibrée et spécifique au site. Pour ce faire, des essais soustractifs ont été mis en place sur 60 parcelles à la Vallée du Sourou. Les essais ont été répartis sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH) et les sols b sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV). Chaque essai comportait 06 traitements: 0N-0P-0K, 0N-30P-40K, 120N-0P-40K, 120N-30P-0K, 120N-30P-40K et 120N-30P-40K + 2,5 t.ha⁻¹ de matière organique. Les rendements grains et pailles, les caractéristiques chimiques des sols et les exportations en azote, phosphore et potassium des plantes ont été déterminés. Les résultats ont montré que les sols BEHV sont légèrement plus riches en carbone, en azote et en phosphore que les sols BEFH. En effet, les teneurs initiales en azote, en phosphore et en potassium calculées à partir des exportations ont été respectivement de 71,20 kg.ha⁻¹, 30,02 kg.ha⁻¹ et 187,19 kg.ha⁻¹ pour le sol BEHV, contre 52,47 kg.ha⁻¹, 19,10 kg.ha⁻¹ et 159,62 kg.ha⁻¹ pour le sol BEFH. Par ailleurs, les résultats ont montré que l'azote et le phosphore constituent les deux éléments nutritifs limitant la production du riz sur ces deux types de sols. L'efficacité interne de l'utilisation de l'azote a été de 80,59 kg grain.kg⁻¹ N sur le sol BEFH et 60,09 kg grain.kg⁻¹ N pour le sol BEHV. Les résultats de ce diagnostic serviront de base pour la formulation de recommandations d'engrais équilibrées et spécifiques au site.

MOTS-CLEFS: Essais soustractifs, fertilité initiale, efficacité interne, riziculture irriguée.

1 INTRODUCTION

Le riz est une culture importante qui joue un rôle économique majeur et nourrit environ la moitié de la population mondiale. En Afrique subsaharienne, le riz est fondamental pour la sécurité alimentaire et la stabilité sociale [2]. La consommation de riz s'est accrue progressivement sous les effets conjugués de l'urbanisation, de la croissance démographique et du changement des habitudes alimentaires. Pourtant, la production de riz est restée faible et est principalement liée à l'augmentation des superficies [3]. En effet, [4] ont montré que dans huit pays de l'Afrique Subsaharienne, le rapport production: consommation variait de 0,16 à 1,18 en 2012. Aussi, le taux de croissance de la production rizicole reste inférieur à celui de la croissance démographique pour la plupart de ces pays [5]. La plupart des pays africains dépendent alors des importations pour satisfaire leur besoin en riz. En effet, l'Afrique subsaharienne représentait en 2007, 25 % des importations mondiales de riz, pour un coût de plus de 1,5 milliard de dollars par an. Ces importations pourraient atteindre 15,4 millions de tonnes d'ici 2026 [6]. L'épidémie de Covid-19 qui a entraîné la fermeture des frontières et la perturbation temporaire des échanges dans les principaux pays exportateurs de riz d'Asie ont induit une hausse des prix du riz sur le marché international [7].

Pour réduire sa dépendance vis-à-vis des importations, les pays d'Afrique de l'Ouest devront alors mettre l'accent sur les mesures visant à améliorer la productivité du riz [7]. La promotion du riz national est même devenue une priorité vis-à-vis d'autres céréales pour répondre à ce besoin [8]. Par conséquent, de nombreux gouvernements africains accordent une grande priorité au développement de leur secteur rizicole local en tant que composante importante de la sécurité alimentaire nationale, de la croissance économique et de la réduction de la pauvreté.

Cependant, de nombreuses contraintes abiotiques, biotiques et techniques limitent la production de riz sur le continent [9]. Parmi ceux-ci figurent les sécheresses, les inondations, l'irrégularité et la baisse de la pluviométrie, les maladies et ravageurs, les mauvaises pratiques agricoles, mais surtout la faible fertilité des sols ([8], [9], [10], [11], [12]). En effet, la déficience du sol en nutriments majeurs a été identifiée comme l'un des facteurs les plus limitants de la production rizicole ([13], [14], [15]). Aussi, la plupart des riziculteurs en Afrique dépendent-ils de recommandations d'engrais générales [16]. Elles sont donc inadaptées au regard de l'évolution des caractéristiques des sols et de la variabilité climatique ([17], [18]). Or, les besoins de la culture dépendent de nombreux facteurs, tels que la fertilité initiale du sol en éléments nutritifs, le choix de la variété et le rendement visé [14]. Ainsi, il y a un besoin urgent de développer des recommandations de fertilisation spécifiques au site pour optimiser l'efficacité de l'utilisation des nutriments et améliorer la production à l'échelle pour atteindre l'autosuffisance en riz en Afrique subsaharienne [19]. Cette mise à jour des recommandations d'engrais passe d'abord par un diagnostic du statut de la fertilité des sols. Cette étude avait pour objectif global de déterminer le statut nutritionnel des sols rizicoles ainsi que les efficacités internes et les taux de recouvrement des éléments nutritifs majeurs pour la formulation de fertilisation spécifique à la Vallée du Sourou.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été conduite à la vallée du Sourou qui est située au Nord-Ouest du Burkina Faso dans la province du Sourou à environ 270 km de Ouagadougou (03° 20' W et 13° 00' N). Le climat de la zone est de type nord soudanien. Le découpage phytogéographique fait par [20] place la Vallée du Sourou entre deux grands secteurs à savoir le secteur subsahélien caractérisé par une pluviométrie comprise entre 550 et 750 mm par an et le secteur nord soudanien, dont la pluviométrie est comprise entre 700 et 900 mm par an. Les températures basses sont observées en décembre (16,31°C) et janvier (13,8°C). Selon [21], les sols de la zone d'étude peuvent être regroupés en 15 sous-groupes de sols se rassemblant en six classes qui sont: les sols minéraux bruts, les sols peu évolués d'apport, les vertisols, les sols hydromorphes, les sols ferrugineux tropicaux et les sols brunifiés. La présente étude a été conduite sur les sols bruns eutrophes tropicaux vertiques et les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes. Ces deux types de sols répondent aux exigences de la culture du riz irrigué. Ils sont profonds (>100cm), leur drainage interne est très pauvre à pauvre avec une texture est très fine et une charge graveleuse inférieure à 10%. La végétation est soumise aux actions anthropiques et à la dégradation climatique. Compte tenu du contexte pluviométrique (<800mm/an) de la zone, la végétation est celle de la savane arbustive claire à dense. La formation observée sur le terrain est la prairie marécageuse à graminée. Elle se situe dans les zones soumises à une inondation prolongée, les dépressions et cuvette du lit majeur où dominent les graminées *Echinochloa stagnina* (L.) Link. et *Sesbania* sp (L.) Merrill. Les producteurs sont organisés en coopératives pour une meilleure gestion des intrants et de l'eau d'irrigation.

2.2 FERTILISANTS UTILISÉS

Des engrais simples ont été utilisés pour la conduite de l'étude. Il s'agit du Triple Super Phosphate (46% de P₂O₅), du Chlorure de potassium qui contient 60% de K₂O % et de l'urée perlée contenant 46% de N.

Quant à la matière organique, du compost dont la composition varie selon les producteurs a été utilisé. Certains producteurs produisent leur compost avec de la paille de riz associé au fumier de bétail et à l'urée comme activateur, plus un sac de 50 kg du Burkina phosphate, mais aussi de la cendre. D'autres en revanche rassemblent la paille du riz, les tiges de maïs, du sorgho, du fumier comme activateur, plus les 50kg du Burkina phosphate. Le tableau 1 indique les caractéristiques chimiques moyennes des composts utilisés.

Tableau 1. Valeurs moyennes des caractéristiques chimiques du compost

Paramètres	Valeurs moyennes
Matière organique (%)	19,37± 4,69
Carbone total (%)	11,23±2,72
Azote total (%)	0,66±0,27
C/N	18±5
Phosphore total (ppm)	0,39±0,06
Phosphore assimilable (ppm)	37,72±38,74
Potassium total (ppm)	0,87±0,27
Potassium disponible (ppm)	0,08± 0,02

2.3 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les variétés améliorées de riz FKR19, FKR62N et TS2 ont été utilisées. Ces variétés ont été réparties de façon équitable sur chaque type de sol. Le tableau 2 suivant fait la synthèse des caractéristiques des matériels végétaux.

Tableau 2. Variétés et leurs caractéristiques

Variétés	Origine	Cycle semis-épiaison (Jour)	Cycle semis maturité (Jour)	Caractères du grain (poids 1000 Grains (g))	Potentiel de rendement (T/ha)
FKR 19	NIGERIA	85	120	25,3	5-6
NERICA (FKR 62 N)	ADRAO ST Louis	88	118	28,98	5-7
TS2	Taiwanais	-	120	-	9-10

Source: Programme riz de l'INERA (Station de Farako-bâ)

2.4 CHOIX DES PRODUCTEURS

Pour la conduite de l'étude, 60 producteurs ont été sélectionnés de façon participative selon les critères de disponibilité en terre, d'ouverture d'esprit, d'innovateur et ceux acceptant s'engager dans le respect du protocole expérimental. Le choix a également tenu du type de sol. En effet, 30 producteurs ont conduit les essais sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques et les 30 autres sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes.

2.5 DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE DIAGNOSTIC DE LA FERTILITE DES SOLS

Un dispositif en bloc de Fisher avec six (06) traitements a été installé sur les parcelles de soixante (60) producteurs pour le diagnostic de la fertilité des sols soit 30 producteurs par types de sols. Chaque producteur représente une répétition. L'unité expérimentale est une parcelle de 5 m x 5 m soit 25 m² chacune. Les traitements sont par des allées de 0,5 m séparées de 0,5 m. Les parcelles sont séparées par des diguettes de délimitation et l'alimentation en eau a été conduite individuellement pour éviter le passage des nutriments d'une parcelle à l'autre. Les traitements sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Traitements pour la conduite des essais soustractifs

Traitements	Quantité (kg) par hectare			
	Urée	TSP	KCL	Matière organique
Témoin=0N 0P 0K	0	0	0	0
PK=0N 30P 40K	0	148	149	0
NK=120N 0P 40K	261	0	80	0
NP=120N 30P 0K	261	149	0	0
NPK=120N 30P 40K	261	149	80	0
NPK + MO =120N 30P 40K+2,5MO	261	149	80	2500

2.6 CONDUITE DE LA CULTURE

La préparation du sol a consisté à un labour suivi d'une mise en boue et d'un planage. Sur le traitement NPK + MO, la matière organique a été incorporée à la dose de 2,5 t/ha. Le repiquage a été réalisé à l'aide de plants âgés de 21 jours. Il a été repiqué deux brins par poquet avec un espacement de 20 cm x 20 cm. L'irrigation a été faite à la raie, le maintien de la lame d'eau dans la rizière ont a été fonction des besoins en eau de la plante à ses différents stades phénologiques. Les parcelles élémentaires sont séparées par des diguettes de 30 cm et chacune des parcelles est irriguée individuellement. Deux opérations de désherbages manuels ont été effectuées, une avant l'apport de la première fraction d'engrais et la seconde un mois après. D'autres désherbages ont été réalisés à la demande. Les doses d'azote ont été fractionnées en deux apports contrairement au phosphore et au potassium apportés en une seule fois. L'apport des engrais minéraux a été fait à deux semaines après le repiquage. Ainsi, le PK a reçu 30P et 40K sous forme de TSP et du KCL, le traitement NK a reçu 60N et 40K sous forme d'urée et du KCL et le traitement NP a reçu 60N et 30P sous forme d'urée et du TSP. Les NPK et NPK + MO ont reçu les mêmes doses d'engrais minéraux de 60N, 30P, 40K. La deuxième fraction d'urée a été apportée à 40 JAR sur tous les traitements, excepté le témoin et PK. Tous les apports ont été effectués à la volée. L'évaluation des rendements grains et paille a été effectuée sur une parcelle utile de 4 m² (2 m x 2 m) délimitée au centre de chaque parcelle élémentaire.

2.7 ECHANTILLONNAGE ET DETERMINATION DES TENEURS EN N, P ET K DES GRAINS ET PAILLES

Des échantillons de grains et de paille ont été prélevés à la récolte. La détermination des teneurs des grains et paille en N, P et K ont été faites au laboratoire d'analyses de sol, eaux et plantes du BUNASOLS selon les méthodes standards.

2.8 CALCUL DE L'EFFICIENCE INTERNE

L'efficacité interne est la quantité de produit récolté (kg) par kg de nutriment absorbé. Elle est calculée en faisant le rapport du rendement grains à la quantité totale de nutriment absorbée.

$$Efficacité Interne de x = \frac{\text{Rendement grains (kg/ha)}}{\text{Exportation totale de x (kg/ha)}}$$

Où x désigne l'élément considéré.

2.9 FERTILITÉ INITIALE

La fertilité initiale a été calculée à partir des quantités de nutriments absorbés par les grains et les pailles. Elle correspond à l'exportation totale de l'élément dans la parcelle où il a été omis.

2.10 ANALYSE STATISTIQUE

Les données ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel Genstat 9.2. La séparation des moyennes a été faite grâce au test de Student-Newman Keuls lorsque les différences étaient significatives au seuil de 5%.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS BEFH ET BEHV

Les essais soustractifs en milieu réel ont été conduits sur les deux principaux sous-groupes de sols brunifiés (sols dominants à plus de 60%): sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe (BEFH) et sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe vertique (BEHV).

Le tableau 4 présente les caractéristiques chimiques des deux types de sols. Les résultats ont montré que les caractéristiques physico-chimiques de ces deux sols ne diffèrent pas significativement. Cependant, les sols BEHV sont plus riches carbone, en azote et en phosphore que les sols BEFH. Par contre, ces derniers sont plus en potassium. Ces deux types de sols ont un pH neutre.

Tableau 4. *Caractéristiques chimiques des deux principaux types de sols*

Paramètres	Sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe (BEFH)	Sol brun eutrophe ferrugineux tropical hydromorphe vertique (BEHV)	Probabilité (5%)	Coefficient de variation (%)
Argile (%)	38,7	40,3	0,559	11,3
Limon (%)	22,55	23,38	0,453	8,1
Sables (%)	38,7	36,3	0,45	14,5
Matière organique (%)	1,46	1,85	0,14	24,7
Carbone total (%)	0,849	1,073	0,14	24,7
Azote total (%)	0,0635	0,0762	0,188	22,1
Phosphore total (ppm)	199	261	0,371	48,1
Phosphore assimilable (ppm)	1,49	2,33	0,239	56,3
Potassium total (ppm)	1627	2026	0,366	38,7
Potassium disponible (ppm)	211	190	0,71	50,8
pH-eau	7,968	7,732	0,302	5
pH-KCl	7,17	7	0,563	7,3

3.2 MISE EN ÉVIDENCE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS LIMITANT LA PRODUCTION RIZICOLE

Les résultats des essais soustractifs ont montré que les traitements ont induit une différence très hautement significative sur les rendements de paddy sur les deux types de sols (Tableau 5). Pour le sol BEFH, le meilleur rendement paddy a été observé avec le traitement NPK + MO (5700 kg.ha⁻¹). Ce traitement ne diffère pas significativement des traitements NPK et NP, mais diffère des autres traitements. L'omission de l'azote (N) et du phosphore (P) ont alors donné des rendements paddy significativement inférieurs à celui obtenu avec le NPK. Pour le sol BEHV, la formule de fumure NPK+MO a donné le rendement le plus élevé avec 5449 kg.ha⁻¹. Il est suivi des traitements NPK (4833 kg.ha⁻¹) et NP (4663 kg.ha⁻¹). Ces trois traitements ne diffèrent pas significativement entre eux. Le témoin absolu a enregistré le plus faible rendement avec 3085 kg.ha⁻¹. Sur ce type de sol, l'omission de l'azote (N) et du phosphore (P) a entraîné une réduction significative du rendement par rapport au NPK. Par contre, l'omission du potassium n'entraîne pas une baisse significative du rendement paddy.

Concernant les rendements paille, il ressort de l'analyse de variance que les traitements sont significativement différents (Tableau 5). Sur le sol BEFH, les résultats ont montré que l'apport l'omission de l'azote et du phosphore ont induit une baisse significative du rendement paille de 39,52% et 27,02% respectivement par rapport au NPK. Concernant le sol BEHV, le traitement de fumure NPK+MO a donné le rendement paille le plus élevé avec (6 234 kg.ha⁻¹); il ne diffère pas significativement des traitements NPK (5 666 kg.ha⁻¹). Aucune différence significative n'a été révélée entre le traitement NP et le traitement NPK. Par contre, l'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une baisse significative du rendement.

Bien que les rendements varient selon le type de sol, les résultats ont montré que sur la Vallée du Sourou, les éléments nutritifs Azote (N) et Phosphore (P) constituent les deux éléments les plus limitant pour la production du riz. En revanche le potassium (K) n'est pas limitant pour la production rizicole.

Tableau 5. Effets de la fertilisation sur les rendements paddy et paille

Traitement	Sol BEFH		Sol BEHV	
	Rendement paddy (kg.ha ⁻¹)	Rendement paille (kg.ha ⁻¹)	Rendement paddy (kg.ha ⁻¹)	Rendement paille (kg.ha ⁻¹)
Témoin	2 230 ^a	2 425 ^a	3 085 ^a	3 388 ^a
PK	3 580 ^b	3 435 ^{ab}	3 840 ^b	4 108 ^b
NK	3 265 ^b	4 145 ^{abc}	4 226 ^{bc}	4 800 ^c
NP	4 840 ^c	4 930 ^{bc}	4 663 ^{cd}	5 105 ^{cd}
NPK	5 335 ^c	5 680 ^c	4 833 ^d	5 666 ^{de}
NPK+MO	5 700 ^c	6 310 ^c	5 049 ^d	6 234 ^e
CV (%)	16,1	24,1	14,1	16
Probabilité (5%)	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Signification	THS	HS	THS	THS

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Student-Newman Keuls; N: Azote; P: Phosphore; K: Potassium; MO: Matière Organique; HS: Hautement Significatif; THS: Très Hautement Significatif, CV: Coefficient de Variation; BEFH: Sol Brun Eutrophe Ferrugineux tropical Hydromorphe; BEHV: Sol Brun Eutrophe Ferrugineux tropical hydromorphe Vertique.

3.3 EFFET DU TYPE DE SOL, DE LA FERTILISATION ET DE LEUR INTERACTION SUR LES EXPORTATIONS DES MACRONUTRIMENTS

Les résultats ont montré que les exportations de l'azote ont été significativement affectées par le type de sol (Tableau 6). En effet, sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV), 88,1 kg.ha⁻¹ d'azote ont été exporté contre 65,6 kg.ha⁻¹ sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH). Les exportations du phosphore et du potassium n'ont pas significativement varié en fonction du type de sol. Toutefois, elles ont été supérieures sur les sols BEHV.

Concernant la fertilisation, les résultats ont montré que les exportations ont été plus élevées sur les parcelles NPK + MO quel que soit le nutriment alors que les plus faibles exportations ont été enregistrées sur le témoin (Tableau 6). L'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une réduction significative de leurs exportations par rapport aux autres fertilisations. Quant à l'omission du potassium, elle n'a pas impacté significativement son exportation. Par ailleurs, l'interaction entre le type de sol et la fertilisation n'ont pas eu d'effet significatif sur les exportations de macronutriments.

L'analyse de corrélation entre les exportations des nutriments a montré qu'il existe une très forte corrélation positive entre les exportations de l'azote et du phosphore sur les deux types de sols avec un respectivement un coefficient de corrélation de 0,929 pour le sol BEFH (Tableau 7) et de 0,795 pour le sol BEHV (Tableau 8). Par contre, l'exportation du potassium n'est pas corrélée à celle des autres nutriments quel que soit le type de sol.

Tableau 6. Effet du type de sol, de la fertilisation et de leur interaction sur les exportations des macronutriments

Facteurs	Traitements	Exportation de l'azote (kg.ha ⁻¹)	Exportation du phosphore (kg.ha ⁻¹)	Exportation du potassium (kg.ha ⁻¹)
Type de sol	Sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes	65,6 ^a	29,57	150,1
	Sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques	88,1 ^b	39,74	174,3
	Probabilité (5%)	0,045	0,282	0,198
	Signification	S	NS	NS
	Coefficient de variation	30,3	22,3	28,7
Fertilisation	Témoin	51,9 ^a	21,68 ^a	103 ^a
	PK	66,8 ^b	33,22 ^c	132,8 ^b
	NK	76,6 ^c	27,45 ^b	151,7 ^b
	NP	87,6 ^c	37,09 ^c	180,7 ^{bc}
	NPK	103,3 ^c	41,85 ^c	215,4 ^c
	NPK+MO	110,8 ^c	44,41 ^c	227,7 ^c
	Probabilité (5%)	<0,001	<0,001	<0,001
	Signification	THS	THS	THS
	Coefficient de variation	30,3	22,3	28,7
Interaction	Type de sol * Fertilisation	NS (p=0,417)	NS (p=0,26)	NS (p=0,109)

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Student-Newman Keuls; N: Azote; P: Phosphore; K: Potassium; MO: Matière Organique; NS: Non Significatif; THS: Très Hautement Significatif, CV: Coefficient de Variation.

Tableau 7. Corrélation exportation des macronutriments sur les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes

Exportation	Azote	Phosphore	Potassium
Azote	-		
Phosphore	0,929	-	
Potassium	0,3406	0,3767	-

Tableau 8. Corrélation exportation des macronutriments sur les sols bruns eutrophe hydromorphe vertique

Exportation	Azote	Phosphore	Potassium
Azote	-		
Phosphore	0,795	-	
Potassium	0,1219	0,2967	-

3.4 CAPACITÉ NUTRITIVE DES SOLS

La capacité nutritive des sols calculée à partir des exportations correspondant à l'exportation de l'élément nutritif lorsqu'il est mois. Les résultats ont montré que le sol BEHV est plus fertile que le BEFH en azote, en phosphore et en potassium (Tableau 9). En effet, les teneurs en azote et en phosphore ont été respectivement de 71,20 kg.ha⁻¹ et 30,02 kg.ha⁻¹ pour le sol BEHV contre une teneur en azote de 52,47 kg.ha⁻¹ et une teneur en phosphore de 19,10 kg.ha⁻¹ pour le sol BEFH. Pour le potassium, une teneur de 187,19 kg.ha⁻¹ a été observée sur le sol BEHV contre 159,62 kg.ha⁻¹ pour le sol BEFH.

Tableau 9. Capacité nutritive moyenne calculée à partir des exportations sur les parcelles d'omissions pour chaque type de sols

Type de sol	Azote (kg.ha ⁻¹)	Phosphore (kg.ha ⁻¹)	Potassium (kg.ha ⁻¹)
sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes	52,47a	19,10	159,62
sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques	71,20b	30,02	187,19
Probabilité (5%)	0,031	0,11	0,666
Coefficient de variation (%)	54,1	40,9	38,8

3.5 EFFICIENCE INTERNE DES NUTRIMENTS

Les résultats ont montré que l'efficacité interne est plus élevée pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH) par rapport aux sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV) pour les trois nutriments majeurs (Fig. 1). Toutefois, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative entre les deux types de sol. Pour l'azote l'efficacité interne a été de 80,59 kg grain.kg⁻¹ N sur le sol BEFH et 60,09 kg grain.kg⁻¹ N pour le sol BEHV. Concernant le phosphore, les efficacités internes ont été respectivement de 154,7 kg grain.kg⁻¹ P et de 130,20 kg grain.kg⁻¹ P pour les sols BEFH et BEHV. Quant au potassium, les efficacités internes ont été de 33 kg grain.kg⁻¹ K et 27,2 kg grain.kg⁻¹ K respectivement pour les sols BEFH et BEHV.

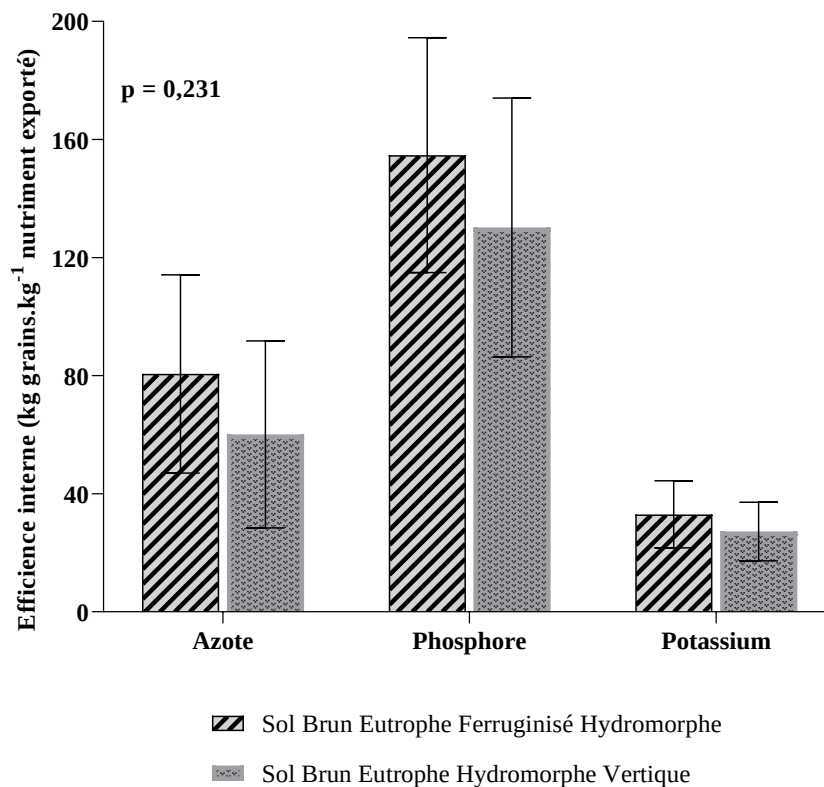


Fig. 1. Efficacité interne des nutriments sur les deux principaux types de sols

4 DISCUSSION

L'approvisionnement potentiel en azote a été de 71,20 kg.ha⁻¹ pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques et 52,47 kg.ha⁻¹ pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes. Ces valeurs sont proches des approvisionnements potentiels observés sur les sols moyennement fertiles à très fertiles de l'Office du Niger par [22] et les sols de la vallée du Kou par [23]. Quant aux approvisionnements en phosphore, ils ont été supérieurs à ceux observés par les mêmes auteurs. Les résultats sur les approvisionnements en potassium corroborent les valeurs maxima observées sur les sols moyennement fertiles à très fertiles de l'Office du Niger par [22]. La fertilité initiale a varié selon le type de sol. En effet, les résultats ont montré que les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques sont plus fertiles que les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux

hydromorphes. Ces résultats confirment les analyses de sols faites sur l'horizon 0-20 cm. Ils confirment également ceux de [24] qui ont montré que bien que les sols de BEHV et BEHF soient de la même classe de fertilité, les sols BEHV ont les teneurs les plus élevées en azote, phosphore et en potassium.

Les résultats des essais soustractifs ont montré que l'azote et le phosphore sont les deux éléments limitants de la production du riz dans la vallée du Sourou. En effet, nos résultats ont montré que leur omission entraîne une réduction significative de leur exportation. Pour le cas de l'azote, ces résultats s'expliquent par une faible fertilité initiale en azote. Aussi, les pertes par lixiviation liée à la forte mobilité de l'azote ou par le phénomène de la dénitrification, de volatilisation ([25], [26], [27], [28]) contribueraient à aggraver ce déficit. Contrairement à l'azote, le phosphore est caractérisé par une faible mobilité dans les sols. Les carences en phosphore ne sont pas à la quantité de phosphore total dans le sol, mais à sa disponibilité. Sa faible disponibilité pour s'expliquer par une forte rétention des ions phosphates par les minéraux secondaires tels que les oxydes de fer et d'aluminium ou les argiles. En effet, [29], [30], [31], [32], [33], [34] et [35] ont montré l'impact des oxydes de fer et d'aluminium ainsi que l'argile de type kaolinite dans l'adsorption du phosphore. Par ailleurs, [36] ont montré que la forte humidité du sol augmentait l'adsorption du phosphore. Ces résultats corroborent ceux de [16], [37] et [38], qui ont montré que l'azote et le phosphore représentaient les éléments majeurs limitant la production au Burkina Faso. Les résultats ont montré que le potassium n'est pas limitant pour la production rizicole dans la vallée du Sourou. Ils s'expliquent principalement par les niveaux élevés de potassium dans les sols de plusieurs plaines inondées des savanes soudano-sahéliennes d'Afrique de l'Ouest [39] et les apports de potassium à travers d'autres sources que sont les eaux d'irrigation, l'eau de pluie, les dépôts atmosphériques [40] et la restitution de la paille riz qui contient près de 80% du potassium [41]. Ces résultats sont en accord avec ceux de [22] observés sur plusieurs périmètres irrigués en Afrique soudano-sahélienne.

Les résultats ont montré que les exportations ont été plus élevées sur les sols BEHV par rapport aux sols BEFH. Ces plus fortes exportations s'expliquent sans doute par la fertilité initiale du sol. En effet, nos résultats ont montré que les sols BEHV étaient plus riches que les sols BEFH. Ces résultats corroborent ceux de [42] qui ont montré que l'exportation de l'azote et du phosphore dépendait de leur disponibilité dans le sol. L'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une réduction significative de leurs exportations par rapport aux autres fertilisations. Ces résultats pourraient s'expliquer par la déficience de ces deux nutriments dans le sol. Ils corroborent ceux de [42]. L'efficacité interne des nutriments majeurs a été plus élevée sur les sols BEFH par rapport aux sols BEHV. Ces résultats montrent que la disponibilité d'un nutriment entraîne une consommation de luxe alors que sa faible disponibilité augmente l'efficacité de son utilisation. Ces résultats corroborent ceux de [43]. Par ailleurs, l'efficacité de l'utilisation du phosphore dépend de facteurs comme sa répartition entre les différents organes ainsi que son accumulation et la remobilisation du phosphore [44].

5 CONCLUSION

L'augmentation de la production rizicole pour satisfaire la demande en riz en Afrique Subsaharienne passe par une intensification de la production. Un des leviers de cette intensification est l'application de recommandation d'engrais équilibrée et spécifique au site. Les essais soustractifs constituent un outil performant. Les résultats de cette étude ont montré que l'azote et le phosphore constituent les éléments minéraux majeurs limitant la production rizicole sur les deux principaux sols rizicoles de la Vallée du Sourou. La capacité nutritive des sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes vertiques (BEHV) en azote, en phosphore et en potassium a été respectivement de 71,2 kg.ha⁻¹, 30,02 kg.ha⁻¹ et 187,19 kg.ha⁻¹. Pour les sols bruns eutrophes ferrugineux tropicaux hydromorphes (BEFH), la capacité nutritive a été de 52,47 kg.ha⁻¹ N, 19,10 kg.ha⁻¹ P et 159,62 kg.ha⁻¹ K. Les exportations de l'azote et du phosphore sont très fortement corrélées avec un coefficient de corrélation de 0,929 pour le sol BEFH et de 0,795 pour le sol BEHV. Par ailleurs, l'omission de l'azote et du phosphore ont entraîné une réduction significative de leurs exportations par rapport aux autres fertilisations. Cette étude a contribué à une meilleure connaissance de la capacité nutritive des types de sols les plus représentatifs et à la détermination des éléments nutritifs limitant la productivité du riz. Ces résultats permettront d'une part de donner des conseils pratiques aux producteurs pour la gestion de la fertilité des sols et d'autre part, ils constituent des données de bases pour la formulation des recommandations d'engrais équilibrées et spécifiques à la Vallée du Sourou.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Centre International pour le Développement des Engrais (IFDC) pour son appui financier. Nous remercions également Monsieur Marc B. IDO, technicien à la DRREA du Nord-Ouest pour son appui pour la conduite des essais.

REFERENCES

- [1] Fahad S., Adnan, M., Noor M., Arif, M., Alam, M., Khan, I. A., Ullah, H., Wahid, F., Mian, I. A., Jamal, Y., Basir, A., Hassan, S., Saud, S., Amanullah, Riaz, M., Wu, C., Khan, M. A., et Wang D., *Major Constraints for Global Rice Production*, In: M. Hasanuzzaman, M. Fujita, J. et K. Biswas (Eds.), *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance*: Elsevier, pp. 1-22, 2019.
- [2] A. Arouna, J. C. Lokossou, M. C. S. Wopereis, S. Bruce-Oliver et H. Roy-Macauley, «Contribution of improved rice varieties to poverty reduction and food security in sub-Saharan Africa», *Global Food Security*, vol. 14, pp. 54–60, 2017.
- [3] S. Nasrin, J. B. Lodin, M. Jirström, B. Holmquist, A. A. Djurfeldt, et G. Djurfeldt, «Drivers of rice production: evidence from five Sub-Saharan African countries», *Agriculture and Food Security*, vol. 4, article n°12, pp. 1-19, 2015.
- [4] P.A.J. van Oort, K. Saito, A. Tanaka, E. Amovin-Assagba, L.G.J. Van Bussel, J. van Wart, H. de Groot, M.K. van Ittersum, K.G. Cassman, et M.C.S. Wopereis, «Assessment of rice self-sufficiency in 2025 in eight African countries», *Global Food Security* vol. 5, pp. 39-49, 2015.
- [5] A. Arouna, I. A. Fatognon, K. Saito, et K. Futakuchi, «Moving toward rice self-sufficiency in sub-Saharan Africa by 2030: Lessons learned from 10 years of the Coalition for African Rice Development», *World Development Perspectives* vol. 21, 100291, 2021.
- [6] G. Nigatu, J. Hansen, N. Childs, et R. Seeley, Sub-Saharan Africa Is Projected To Be the Leader in Global Rice Imports, 2017. [Online] Available: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2017/october/sub-saharan-africa-is-projected-to-be-the-leader-in-global-rice-imports/#:~:text=By%202026%2C%20the%20region%20is,surpassing%20number%20one%20importer%20China>. Consulté le 30 mars 2022.
- [7] C. F. Sers et M. Mughal, «Covid-19 outbreak and the need for rice self-sufficiency in West Africa», *Letters on Urgent Issues/World Development* vol. 135, 105071, 2020.
- [8] G. Serpantié, A. Dorée, J.-L. Fusillier, P. Moity-Maizi, B. Lidon, M. Douanio, A. Sawadogo, A. Y. Bossa, et J. Hounkpè, «Nouveaux risques dans les bas-fonds des terroirs soudaniens. Une étude de cas au Burkina Faso», *Cahiers Agricultures*, vol. 28, 19, 2019.
- [9] V. Balasubramanian, M. Sie, R. J. Hijmans, et K. Otsuka, «Increasing rice production in sub-saharan africa: challenges and opportunities», *Advances in Agronomy*, Vol. 94, pp. 55-133, 2007.
- [10] P.A. J. van Oort et S.J. Zwart, «Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes», *Global Change Biology*, vol. 00, pp. 1-17, 2017.
- [11] Bationo, A. et Fening, J. O., Soil Organic Carbon and Proper Fertilizer Recommendation, In: A. Bationo, D. Ngaradoum, S. Youl, F. Lompo, et J. O. Fening (Eds.), *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizers Recommendation in West Africa Agro-Ecosystems*, Volume 1: Springer, pp. 1-10, 2018.
- [12] M. N. Ndjondjop, P. W. Wambugu, J.R. Sangare et K. Gninkoua, «The effects of drought on rice cultivation in sub-Saharan Africa and its mitigation: A review», *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 13, n°25, pp. 1257-1271, 2018.
- [13] V. B. Bado, K. Djaman, et V. C. Mel, «Developing fertilizer recommendations for rice in Sub-Saharan Africa, achievements and opportunities», *Paddy and Water Environment*, vol. 16, pp. 571–586, 2018.
- [14] K. Saito, E. Vandamme, J.M. Johnson, A. Tanaka, K. Senthilkumar, I. Dieng, C. Akakpo, F. Gbaguidi, Z. Segda, I. Bassoro, D. Lamare, H. Gbakatchetche, B. B. Abera, F. Jaiteh, R. K. Bam, W. Dogbe, K. Sékou, R. Rabeson, N. Kamissoko, I. M. Mossi, B. D. Tarfa, S. O. Bakare, A. Kalisa, I. Baggie, G. J. Kajiru, K. Ablede, T. Ayeve, D. Nanfumba, et M. C. S. Wopereis, «Yield-limiting macronutrients for rice in sub-Saharan Africa», *Geoderma*, vol. 338, pp. 546-554, 2019.
- [15] A. Ibrahim, K. Saito, Vi. B. Bado, et M. C.S. Wopereis, «Thirty years of agronomy research for development in irrigated rice-based cropping systems in the West African Sahel: Achievements and perspectives», *Field Crops Research*, vol. 266, 108149, 2021.
- [16] Ouedraogo, J., Youl, S., et Mando, A., Combining the DSSAT model and the experiment to update the recommendations of doses of fertilizer for the cultivation of rice and maize in Burkina Faso, In: A. Bationo, D. Ngaradoum, S. Youl, F. Lompo, et J. O. Fening (Eds.), *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizers Recommendation in West Africa Agro-Ecosystems*, Volume 2: Springer, pp. 1-22, 2018.
- [17] K. Traoré et A. M. Toé, Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso, version finale de la consultation, Direction Générale des Productions Végétales, 2008.
- [18] G. Nziguheba, B. K. Tossah, J. Diels, A. C. Franke, K. Aihou, E. N. O. Iwuafor, C. Nwoke, et R. Merckx, «Assessment of nutrient deficiencies in maize in nutrient omission trials and long-term field experiments in the West African Savanna», *Plant and Soil* vol. 314, pp. 143–157, 2009.
- [19] K. Saito, J. Six, S. Komatsu, S. Snapp, T. Rosenstock, A. Arouna, S. Colf, G. Taulya, et B. Vanlauwe, «Agronomic gain: Definition, approach, and application», *Field Crops Research*, vol. 270, 108193, 2021.
- [20] J. Fontes et S. Guinko, Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso: notice explicative. Ministère de la coopération Française, 1995.
- [21] BUNASOLS, Etude pédologique de la zone d'aménagement de la Vallée du Sourou. Echelle: 1/20 000è, Rapport technique N°58, 1998.
- [22] S.M. Haefele, M. C. S. Wopereis, M. K. Ndiaye, et M. J. Kropff, «A framework to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in West Africa», *Agricultural Systems* vol. 76, pp. 313–335, 2003.

- [23] S. M. Haefele, M. C. S. Wopereis, M. K. Ndiaye, S. E. Barro, et M. Ould Isselmou, «Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa», *Field Crops Research*, vol. 80, n°1, pp. 19-32, 2003.
- [24] A. Epolyste, H. Yacouba, et P. N. Zombré, «Etat de fertilité des sols du périmètre irrigué gravitaire de Gouran dans la vallée du Sourou au Burkina Faso: Constats et perspectives», *International Journal of Biological Chemical Sciences*, Vol. 8, n°5, pp. 2119-2131, 2014.
- [25] D. Suriya-arunroj, P. Chaikawat, S. Fukai, et P. Blamey, «Identification of Nutrients Limiting Rice Growth in Soils of Northeast Thailand under Water-Limiting and Non-Limiting Conditions», *Plant Production Science* vol. 3 n°4, pp. 417-421, 2000.
- [26] K.C. Cameron, H. J. Di, et J. L. Moir, «Nitrogen losses from the soil/plant system: a review», *Annals of Applied Biology*, vol. 162, pp. 145-173, 2013.
- [27] P. Chen, T. Nie, S. Chen, Z. Zhang, Z. Qi, et W. Liu, «Recovery efficiency and loss of ^{15}N -labelled urea in a rice-soil system under water saving irrigation in the Songnen Plain of Northeast China», *Agricultural Water Management* vol. 222, pp. 139-153, 2019.
- [28] D. Qi, Q. Wu, et J. Zhu, «Nitrogen and phosphorus losses from paddy fields and the yield of rice with different water and nitrogen management practices», *Scientific reports*, vol. 10, 9734, 2020.
- [29] E. L. Dossa, J. Baham, M. Khouma, M. Sene, F. Kizito et R.P. Dick, «Phosphorus sorption and desorption in semiarid soils of Senegal amended with native shrub residues», *Soil Science*, vol. 73, n°10, pp. 669-682, 2008.
- [30] S. K. Pal, «Phosphorus sorption-desorption characteristics of soils under different land use patterns of eastern India», *Archives of Agronomy and Soil Science* vol. 7, n°4, pp. 365-376, 2011.
- [31] F. Gérard, «Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils - a myth revisited», *Geoderma* vol. 262, pp. 213-226, 2016.
- [32] J. Bai, X. Ye, J. Jia, G. Zhang, Q. Zhao, B. Cui, et X. Liu, «Phosphorus sorption-desorption and effects of temperature, pH and salinity on phosphorus sorption in marsh soils from coastal wetlands with different flooding conditions», *Chemosphere* vol. 188, pp. 677-688, 2017.
- [33] Hinsinger P., Ndour Y., Becquer T., Chapuis-Lardy L. et Masse D., Chapitre 26: Les enjeux liés au phosphore dans les sols tropicaux, In: E. Roose (Ed.), Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens: Contribution à l'agroécologie, IRD Éditions, 2017.
- [34] X. Yang, X. Chen, et X. Yang, «Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China», *Soil & Tillage Research* vol. 187, pp. 85-91, 2019.
- [35] T. Rakotoson, Y. Tsujimoto, et T. Nishigaki, «Phosphorus management strategies to increase lowland rice yields in sub-Saharan Africa: A review», *Field Crops Research* vol. 275, 108370, 2022.
- [36] Y. Han, B. Choi, et X. Chen, «Adsorption and Desorption of Phosphorus in Biochar-Amended Black Soil as Affected by Freeze-Thaw Cycles in Northeast China», *Sustainability* vol. 10, 1574, 2018.
- [37] A. SIRI, Détermination de la capacité nutritive des sols en riziculture irriguée dans les périmètres de la vallée du Sourou: approche par les essais soustractifs, et utilisation du modèle QUEFTS-WS pour la formulation des options de fertilisations, Mémoire d'Ingénierat, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de BoboDioulasso, Burkina Faso, 2012.
- [38] Z. Segda, P. L. Yaméogo, A. Mando, S. Kazuki, M.C.S. Wopereis, et M. P. Sedogo, «Le phosphore limite-t-il la production intensive du riz dans la plaine de Bagré au Burkina Faso ?», *International Journal of Biological Chemical Sciences*, vol. 8, n°6, pp. 2866-2878, 2014.
- [39] M. M. Buri, F. Ishida, D. Kubota, T. Masunaga, et T. Wakatsuki, «Soils of flood plains of West Africa: General fertility status», *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 45, n°1, pp. 37-50, 1999.
- [40] S. M. Haefele, Improved and sustainable nutrient management for irrigated rice-based cropping systems in West Africa. PhD Thesis, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 49, Hamburg, Germany, 2001.
- [41] C. Witt, A. Dobermann, S. Abdulrachman, H. C. Gines, G. Wang, R. Nagarajane, S. Satawatananont., T. T. Son, P. S. Tan, L. V. Tiem, G. C. Simbahan, et D. C. Olk, «Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia», *Field Crops Research* vol. 63, pp. 113-138, 1999.
- [42] T. Nishigaki, Y. Tsujimoto, S. Rinasoa, T. Rakotoson, A. Andriamananjara, T. Razafimbelo, «Phosphorus uptake of rice plants is affected by phosphorus forms and physicochemical properties of tropical weathered soils», *Plant Soil* vol. 435, pp. 27-38, 2019.
- [43] H. Zhang, M. Xu, X. Shi, Z. Li, Q. Huang, et X. Wang, «Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China», *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 88, pp. 341-349, 2010.
- [44] M. Irfan, T. Aziz, M. A. Maqsood, H. M. Bilal, K. H. M. Siddique, et M. Xu, «Phosphorus (P) use efficiency in rice is linked to tissue-specific biomass and P allocation patterns», *Scientific Reports* vol. 10, 4278, 2020.

Effet des écartements de haricot associé au maïs et des composantes de non labour aux alentours des zones riveraines du Lac Kivu

[Effect of bean gaps associated with maize and no-till components around the riparian areas of Lake Kivu]

Batenchi Bulambaire Dadier

Département d'agrovétérinaire, Institut Supérieur Pédagogique et Technique, Goma, Nord Kivu, RD Congo

Copyright © 2022 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: South Kivu is heavily influenced by East African supply chains and sources of knowledge, importing inputs and beans and maize is proving essential for clearances especially in the fields of experimentation in the riparian areas of Lake Kivu where even the fish are associated with agriculture for a good yield.

In the DRC, intercropping systems are of paramount importance, particularly in the mountainous Kivu region where more than 80% of bean production by small farmers comes from intercropping on small areas. This practice is dictated by socio-economic and physical considerations, the scarcity of arable land, etc.; but also, the concern for the optimal exploitation of the land. But this practice also complicates the practice of weeding while reducing the yield of each associated crop.

This is how our work set itself the objective of studying the effects of the spacings of the bean associated with the maize and of the no-till components in the riparian areas of Lake Kivu, in South Kivu, it being assumed that the spacings low weeding requirements would be reduced by improving the cover of the maize rows. To do this, a trial was carried out in and the device used was the split-plot with 3 repetitions and 36 plots. The main factor was made up of bean spacings with the variants 20x10, 20x20 and 20x30 cm and the secondary factor was that of the no-till components having as their objects plowing, mulching after plowing, mulching without plowing and the no-till plot. straw serving as control. The plots had 210 corn plants over 45m² and the sub-plots 70 corn plants over 15m².

The results obtained attested that the components of no tillage generally influenced the yield in beans and also in maize because they presented the highest yield in maize 1.93 t / ha and in beans 2, 3 t/ha for maize. Combinations including plowing and mulching have the best returns, regardless of bean spacing. The rate of return is highest when no plowing or mulching is done, otherwise when sowing directly on the substrate without disturbing it. Indeed, field work can present costs ranging from \$277 to \$805 per hectare for average total revenues of \$905 per hectare.

KEYWORDS: Clearances, productivity, no-till components, riparian zone, association.

RESUME: Le Sud-Kivu est fortement influencé par les chaînes d'approvisionnement et les sources de connaissances de l'Afrique de l'Est, l'importation d'intrants et des haricots et des maïs s'avère indispensable pour les écartements surtout dans les champs d'expérimentation dans les zones riveraines du Lac Kivu où même les poissons sont associés à l'agriculture pour un bon rendement.

En RDC les systèmes d'association des cultures revêtent une importance capitale, particulièrement dans la région du Kivu montagneux où plus de 80% de la production du haricot par des petits fermiers provient d'une association des cultures sur des petites superficies. Cette pratique est dictée par des considérations d'ordre socio-économique, physique, la rareté des terres cultivables, etc; mais aussi le souci de l'exploitation optimale des terres. Mais cette pratique complique aussi la pratique des sarclages tout en réduisant le rendement de chaque culture associée.

C'est ainsi que notre travail s'est fixé comme objectif d'étudier les effets des écartements du haricot associé aux maïs et des composantes de non-labour dans les zones riveraines du Lac Kivu, au Sud-Kivu, étant supposé que des écartements faibles permettraient de réduire les besoins de sarclage par amélioration du couvert des interlignes de maïs. Pour ce faire un essai a été réalisé et le dispositif utilisé était le split-plot avec 3 répétitions et 36 parcelles. Le facteur principal était constitué des écartements de haricots avec comme variantes 20x10, 20x20

et 20x30 cm et le facteur secondaire était celui des composantes de non labour ayant pour objets le labour, le paillage après labour, le paillage sans labour et la parcelle non labouré ni paillée servant de témoin. Les parcelles comptaient 210 pieds de maïs sur 45m² et les sous-parcelles 70 pieds de maïs sur 15m². Les résultats obtenus ont attesté que les composantes de non labour ont influencé de manière générale le rendement chez le haricot et aussi chez le maïs car elles ont présenté le rendement le plus élevés chez le maïs 1,93 t /ha et chez le haricot 2,3 t/ha pour le maïs. Les combinaisons incluant le labour et le paillage présentent les meilleures recettes, quels que soit les écartements de haricot. Le taux de rentabilité est la plus élevée quand on ne fait ni labour ni paillage, autrement quand on sème directement sur le substrat sans le déranger. En effet, les travaux de terrains peuvent présenter des coûts allant de 277 à 805\$ par hectare pour des recettes totales moyennes de 905\$ par hectare.

MOTS-CLEFS: Écartements, productivité, composantes de non-labour, zone riveraine, association.

1 INTRODUCTION

L'agriculture en eau douce fait intégralement partie, en chine du système de production agricole. Elle est pratiquée soit comme occupation primaire complétée d'autres récoltes, soit comme activité secondaire ou annexe selon les ressources disponibles. Cette intégration de la pisciculture dans l'agriculture est pratiquée, à un moindre degré, par d'autres pays (par exemple, l'élevage des canards associé à la pisciculture au Népal et en Hongrie). Mais c'est seulement en Chine que l'agriculture est entreprise à l'échelle nationale, totalement intégrée.

Dans le système agricole tropical où les pratiques culturales restent manuelles les cultures associées sont susceptibles de permettre des rendements bruts à l'hectare supérieur à ceux des cultures pures et s'opposent à la dégradation des sols par érosion (Rouanet 1984). En RDC les systèmes d'association de culture revêt une importance capitale particulièrement dans la région du Kivu montagneux où plus de 80% de la production du haricot par des petits fermiers provient d'une association de culture sur des petites superficies. Cette pratique est dictée par des considérations d'ordre socio-économique, physique, la rareté des terres cultivables, etc. mais aussi le souci de l'exploitation optimale des terres. Mais cette pratique complique aussi la pratique des sarclages tout en réduisant le rendement de chaque culture associée (Bowen, cité par Irengé 2014).

Toutefois, il est établi que là où il y a beaucoup de plantes cultivées les mauvaises herbes n'ont pas accès à une plus grande proportion de ressources (Brenda 2010 cité par Rodrigue 2011). Comme quoi l'association bien organisée peut augmenter la rentabilité en réduisant la concurrence des mauvaises herbes, sachant aussi que le maïs a du mal à rivaliser avec les adventices en ce qui concerne l'espace, l'eau et les engrais. En effet on signale une perte de rendement de 40 à 80% dues aux adventices (Ristanovic, 2011).

Les adventices occupent une place importante parmi les facteurs de diminution des rendements et sont souvent à l'origine des très faibles productivités de certaines cultures tropicales, les estimations moyennes de pertes de récolte due aux adventices se situent autour de 25% et peuvent atteindre 50 à 80% pour certaines cultures vivrières (Lavabre 1988). Les pertes annuelles dues à la gestion des mauvaises herbes se chiffrent ainsi à un milliard de dollars (Silvy, 1999 cité par Molima 2014); comme quoi une bonne gestion de ces mauvaises herbes assurent l'efficacité des investissements en améliorant la productivité, c'est-à-dire non seulement le rendement, mais aussi la rentabilité.

De très nombreux systèmes d'associations ont été imaginés dans lesquels se trouve le maïs avec d'autres cultures. Dans la plupart de cas ces associations présentent des avantages par rapport à des cultures pures juxtaposées et en particulier une meilleure utilisation des ressources du sol, exploitées à des diverses profondeurs et à des périodes échelonnées compte tenu des différences de cycle et des comportements des plantes présente dans l'association. Ce qui favorise la protection du sol contre les agents climatiques qui sont particulièrement agressif en culture pure après le semis du maïs et dans les inter-rangs, accroît la limitation des adventices et dans certains cas réduit les attaques des maladies et d'insectes qui se propagent plus aisément en culture pure (Rouanet, 1984 cité par Irengé 2014).

L'association du maïs avec le haricot serait de ce fait une solution pour accroître le rendement et/ou la rentabilité du fait que le maïs, exigeant en lumière, n'est pas concurrencé par le haricot et contribue, par ailleurs, au développement du haricot (Rouaney 1984). Une bonne gestion du haricot sous le maïs pourrait permettre de réduire le nombre de sarclage sans trop affecter le rendement.

Ce travail se donne comme objectif d'observer les effets des écartements du haricot et des composantes de système de non labour sur la productivité et la production en général dans un champ de maïs. Il est question de vérifier si les écartements de plus en plus serrés réduisent sensiblement les besoins de sarclage et la réduction du travail du sol réduirait les dépenses pour accroître la rentabilité. Le but de ce travail est l'optimisation de production et de la productivité du système associé maïs haricot; il est question de produire plus à moindre coût.

L'intérêt de ce travail est que la pratique des cultures associées par les paysans répond à plusieurs impératives, notamment des meilleures productions sur des petites exploitations inférieure à un hectare, réduction des risques d'échec, de la sévérité des maladies et de la sécheresse, meilleure utilisation de la main-d'œuvre en visant des récoltes plus diversifiées (JP Baudouin et al 2001).

2 GENERALITES SUR LE MAIS ET LE HARICOT

2.1 LE MAIS

2.1.1 ORIGINE

Le maïs est la seule plante d'importance cultivée dont l'ancêtre n'est pas connu. Le maïs a été découvert par Christophe Colomb et est originaire de l'Amérique centrale principalement au Mexique (Rinastovic 2011). Il est cultivé depuis des millénaires en Amérique Centrale. Il aurait été domestiqué dans la région centrale du Mexique à partir de téosinte local. La culture du maïs s'est ensuite propagée sur l'ensemble du continent américain et au Canada puis à partir du XV^{ème} siècle, sur les continents, en zone tropicale comme en zone tempérée. Il serait arrivé en Afrique au XVII^{ème} siècle (anonyme 2002).

2.1.2 DESCRIPTION ET SYSTÉMATIQUE

Zea mays L. est une plante monocotylédone diploïde annuelle ($2n=20$) appartenant à la famille des Poaceae, à la tribu des Maydeae, au sein de laquelle les taxonomistes ont reconnus 8 genres différents; 3 entre eux se rencontrent dans les Amériques et les 5 autres en Asie.

La tige du maïs est herbacée et se subdivise en entre-nœuds, le nombre d'entre nœuds varie de 6 à 20. La hauteur de la tige varie entre 1 et 3,5m. La plupart des types de maïs ne forment qu'une seule tige, mais il existe des variétés formant un certain nombre de tiges secondaires ou talles. Les feuilles se forment à partir des nœuds et se présentent alternativement sur les côtés opposés de la tige.

Le système racinaire est fibreux et s'étend dans toutes les directions. Les racines séminales ou primaires se développent à partir de la graine au moment de la germination et acheminent le gros des besoins nutritifs durant les premières semaines; une fois les plantules bien prises, les racines permanentes ou coronales prennent naissance au nœud inférieur juste en dessous de la surface du sol. Plus tard les racines adventives se développent en plus grand nombre à partir des nœuds situés au-dessus du sol et croissent vers l'intérieur du sol, elles ont pour fonction d'ancrer la plante et la maintenir dans sa position verticale.

Le maïs est une graminée monoïque portant sur la même plante les fleurs mâles et femelles séparées. Bien que le maïs soit auto-fertile, le caractère monoïque de la plante et sa protandrie (le pollen arrive à maturité avant que le stigmate ne soit réceptif) assure une pollinisation croisée de l'ordre de 90 à 95%. L'aigrette ou l'inflorescence mâle est une panicule qui s'étend à partir des feuilles engainantes à la pointe de la tige, elle comprend un certain nombre de branches disposées en spirales autour de l'axe principal; les fleurs mâles ou staminées sont présentées dans les épillets sur les branches. Les étamines se prolongent à l'anthèse et le pollen est libéré par les anthères. On estime que chaque anthère renferme 1000 à 2500 grains de pollen et chaque plante est capable de produire plus de dix millions de grains de pollen. L'inflorescence femelle, appelée épi, se développe sur une courte branche latérale qui émerge de l'aisselle d'une des feuilles du milieu de la tige. Normalement seul un ou deux bourgeons se forment en épi. L'axe central de l'épi, appelé rachis ou rafle, porte des épillets en paires, pourvus chacun d'une fleur fertile en rangées longitudinales. C'est pourquoi chaque épi comportera toujours un nombre égal des rangées de grains. La branche latérale porte des structures ressemblant à des feuilles, les enveloppes ou spathes qui, en raison des entre-nœuds très courts, ne débordent pas seulement, mais recouvrent complètement l'épi. Les styles, aussi appelés soies, sont velus, longs et émergent des spathes à la pointe de l'épi. Lorsque le pollen tombe sur une soie réceptive, le grain de pollen traverse le long style et arrive à l'ovaire puis à l'ovule (œuf) qui est ainsi fécondé. La paroi de l'ovaire et l'enveloppe de l'ovule fusionnent pour former le péricarpe (qui est soudé au tégument).

Le fruit a une seule graine et est appelé caryopse ou grain. Par la fécondation, les deux parties du grain en développement se constituent, c'est-à-dire l'embryon qui deviendra la nouvelle plante et d'endosperme amylicé qui sert de réserve nutritionnelle. Dans les conditions normales les grains arrivent à maturité 50 jours après la fécondation. Le grain de maïs est formé d'un embryon (10 à 13 % du grain), d'un endosperme et d'un péricarpe. La couleur, la structure et la composition chimique du grain peuvent varier: la couleur du grain dépend de la nature du tégument ainsi que de la couche d'aleurone (couche la plus externe de l'endosperme). Les couleurs les plus communes du grain sont le jaune et le blanc; la structure dépend du type et de la nature de l'endosperme (Rinastovic 2001).

2.1.3 IMPORTANCE DU MAÏS

Les utilisations du maïs varient beaucoup selon le niveau économique des pays. Dans ceux à faible revenu, le maïs est voué à la consommation humaine directe sous forme d'épis immatures, de farine ou de semoule. En revanche dans les pays développés, il constitue une matière première pour l'alimentation du bétail, l'industrie de la semoule et celle de l'amidon. Cette dernière est en pleine expansion en

Europe et aux Etats unis (près de 20 % des utilisations domestiques). Ses débouchés sont très diversifiés: produits alimentaires (isoglucose, pectines), chimiques, pharmaceutique, textiles, papetiers.

Les germes de maïs donnent de l'huile qui sert pour l'alimentation humaine, pour la fabrication de margarines, de savons, vernis, de textiles artificiels (Anonyme 2002).

2.2 LE HARICOT

2.2.1 ORIGINE

Le haricot est originaire de l'Amérique centrale et du sud. Il a été domestiqué au Mexique, au Pérou et en Colombie, puis introduit en Europe par Christophe Colomb (<https://frm.wikidictionary.xn--orgwikiharicot-idhe/>)

2.2.2 SYSTÉMATIQUE ET DESCRIPTION

Le haricot commun *Phaseolus vulgaris* L, appartient à la sous tribu de Phaseolinae, famille des Papilionaceae (ou Fabaceae) et ordre des legumineuses (ou fabales). Comme chez la plupart des autres espèces de la sous-tribu des Phaseolinae, le nombre chromosomique est $2n=22$. *Phaseolus vulgaris* est une plante herbacée annuelle avec un système racinaire caractérisé par de nombreuses ramifications latérales et adventives le plus souvent localisées en superficie. La germination est épigée (les cotylédons émergent au-dessus du sol).

Les feuilles primaires des plantules sont simples, opposées, stipulées, pétiolées et souvent stipellées. Les stipules sont des appendices foliacés insérés par deux à la base du pétiole tandis que les stipelles sont des appendices insérés par deux à la base de la feuille. Les feuilles adultes, également stipulées, stipellées et pétiolées, sont alternes et trifoliolées. Leurs pétioles canaliculés comportent trois parties avec le pulvillus proximal et distal (respectivement première et deuxième partie renflée), responsable du mouvement de nyctinastie des feuilles c'est-à-dire de l'orientation en fonction de l'angle d'indice de rayons solaires. L'orientation des feuilles s'explique par des mouvements de turgescence dus à l'augmentation de la perméabilité des membranes cytoplasmiques et à l'infiltration du suc vacuolaire dans les espaces intercellulaires.

Les inflorescences sont des pseudo-racèmes, elles ont l'aspect des grappes simples portant sur le rachis plusieurs fleurs géminées de couleur blanche, rose, pourpre ou violettes. En réalité, ces fleurs sont insérées sur des axes latéraux très contractés, qui cessent de croître après la formation de deux ou trois nœuds. Le calice est campanulé avec cinq sépales soudés tandis que la corolle est papilionacée, avec un étendard prononcé au dos de la fleur, des ailes de chaque côté et la carène formée de deux petits pétales soudés; les étamines sont didelphes et disposées en deux cycles. L'ovaire comprimé latéralement contient 4 à 12 ovules. Le stylet est spiralé et le stigmate terminal est dirigé adaxialement. Pour la structure florale, l'anthèse se fait avant l'ouverture de la fleur et la réceptivité éphémère du stigmate favorise l'allogamie naturelle variant entre 1 et 3 %. Les variétés traditionnelles fleurissent en jour cours.

Les gousses sont linéaires, rectilignes ou plus fréquemment recourbées et terminées par un bec, leur structure fibreuse détermine la nature de l'organe consommé. Le fruit contient un nombre très variable de graines (4 à 12) de forme ovoïde, subsphérique ou réniformes et de couleur noire, brune, jaune, rouge, blanche ou marron, avec des marbrures de couleurs et de dessin également très variés. A maturité la graine de haricot ne possède plus d'albumen. Les réserves nutritives sont emmagasinées dans le cotylédon qui représente 90 % de la graine (Baudouin et al 2001).

2.2.3 IMPORTANCE

Les haricots présentent un intérêt dans l'alimentation humaine. Comme beaucoup de légumineuses à graines, ils apportent un sentiment de satiété. Ils sont riches en fibres et en minéraux. Leur consommation contribue à faire baisser le taux de cholestérol et également à l'abaissement du risque d'accident cardio-vasculaire. Beaucoup moins cher que la viande, riche en protéines, le haricot est parfois considéré comme la « viande du pauvre ». Les protéines des haricots sont intéressantes par leur teneur en certains acides aminés essentiels, notamment la lysine, et dans une moindre mesure la méthionine et le tryptophane. Elles complètent heureusement celles des céréales, en particulier du maïs, pauvres en lysine, dans un régime à base de maïs pratiqué traditionnellement chez les Amérindiens (<https://frm.wikidictionary.xn--orgwikiharicot-idhe/>).

Les gousses des haricots sont mangées vertes entières (haricots verts), les feuilles peuvent être consommées comme épinards et les graines séchées constituent un aliment très important. La tige est utilisée comme fourrage (anonyme 2002).

3.1.2 CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

Bukavu jouit d'un climat tropical d'altitude, subéquatorial ou tropical humide à courte saison sèche. La moyenne annuelle des températures journalières pondérées est de 19,80°C (SAMIR MOHAMED cité par Babunga, 2012).

3.2 MATÉRIEL

On a utilisé les semences de haricots nains (variété NABE 4) et de maïs (variété Z M 627) qui nous ont été fourni par l'ADVS. Comme outils, nous avons utilisé les machettes pour le fauchage, les houes pour le labour, la paille pour couvrir le sol, le mètre ruban pour la mesure des hauteurs. Le tableau 1 synthétise les informations techniques des variétés des cultures utilisées.

Tableau 1. Synthèse des fiches techniques des variétés de haricot et de maïs utilisées dans le travail

Espèce	Haricot NABE 4	Maïs ZM 627
Origine	Kenya; Acc.D6Bean	Rwanda
Type	I (nain)	OPV
Couleur de graine	Brun –marron	Blanche
Taille de graine	large	—
Floraison	46jours	45 jours
Maturité	94jours	152jours
Nombre d'épis	—	2
Hauteur de plant	—	1,5 à 2m
Rendement	800 à 1000kg/ha	2300 à 2500kg par ha
Altitude	—	Moyenne et haute
Résistance	Rouille, maladies des taches anguleuses, mosaïque (BCMV)	Résistance aux chenilles légionnaires si elles apparaissent après la floraison; pas résistant aux charbons
Recommandation	Meilleures conditions de climat, sols fertiles; craint les pluies abondantes; pH du sol doit être aux environs de 5,5; Altitude souhaitable se trouve entre 1000-1500m	—

Source: Centre de Recherche de l'INERA-Mulungu, 2016

3.3 MÉTHODES

La méthode utilisée était l'expérimentation en champ, le dispositif expérimental était en split plot avec trois répétitions. Les parcelles mesurent 7,5m de longueur et 6m de largeur. Les facteurs en étude sont:

1. Le facteur écartements des haricots sous le maïs codé F1 et ayant comme variantes F11 = 20×10cm, F12 = 20×20cm et F13 = 20×30cm.
2. Le facteur composante de non labour codé F2 et ayant comme variantes: F21 = Labour, F22 = Labour&paillage, F23 = Paillage sans labour et F24 = Non labour et non paillage (témoin).

Le facteur écartement est principal et de ce fait occupe les petites parcelles de 6×2, 5 m portant 70 pieds de maïs aux écartements de 1×0, 5m à raison de deux pieds par poquet. Les parcelles secondaires sont occupées par le facteur composant de non labour et couvrent une surface équivalente à trois parcelles principales, soit 6×2, 5×3 m; elle compte donc 70×3 = 210 pieds de maïs. Le nombre de pieds de haricot est constant pour les parcelles secondaires alors qu'il varie pour les parcelles principales parce que leurs écartements varient aussi. Les nombre de pieds de haricot par parcelle sont de 720 pour F11, 360 pour F12 et 240 pour F13. Tout l'essai mesurait 30,5m de longueur et 22, 5m de largeur. La figure 1 présente le schéma du dispositif expérimental.

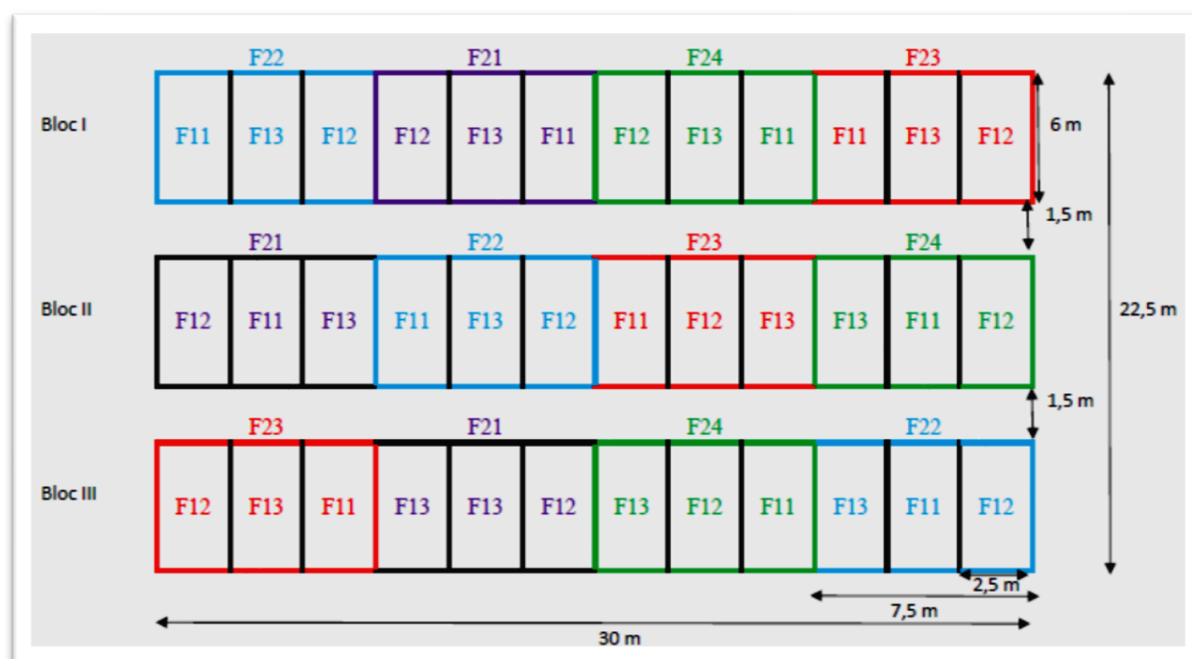


Fig. 2. Schéma du dispositif expérimental

3.3.1 CONDUITE DE L'ESSAI

3.3.1.1 PRÉPARATION DU TERRAIN

La préparation du terrain a consisté au fauchage, labour, paillage et piquetage selon les parcelles.

- **Labour et fauchage:** Le labour a coûté 20\$ soit 24.000 Fc, le fauchage 15\$ soit 12.000 Fc, le paillage 5,583\$ soit 6700fc et le transport a coûté 2,91\$ soit 3500Fc.
- **Semis:** La semi s'est réalisé pendant une semaine du 27-01 au 4-02-2017 à raison d'une répétition par jour.

3.3.1.2 TRAVAUX D'ENTRETIEN

Le haricot comme le maïs ont été semés à raison de 3 graines par poquet pour faire le démariage après la levée, comme on n'avait pas eu assez de temps pour procéder au test de germination avant.

Le sarclage s'est effectué un mois après le semis pendant trois jours c'est-à-dire du 3-03-2017 au 6-03-2017 et a coûté 15\$ soit 19500 Fc. Le deuxième sarclage a coûté 6\$ soit 8100 Fc. Tout se faisait à raison d'une répétition à la fois.

3.3.1.3 RÉCOLTE

- **Le haricot:** La récolte s'est réalisée pour le haricot du 10 au 13 mai 2017 et s'est faite à la main en laissant les pieds des haricots en place, sans les déterrer, et en récoltant seulement les gousses.
- **Le maïs:** La récolte a eu lieu le 29 mai 2017 et s'est faite à la main en laissant les pieds des maïs en place et en ne récoltant que les épis.

Bien que le coût n'a pas été analysé comme paramètre observé, le coût total pour cette expérimentation est de 20\$ + 15\$ + 6\$ + 3\$ + 15\$ + 6\$ + 20\$=85 \$, soit 85\$/36=2,4\$ par parcelle, soit une dépense théorique de 1600\$ par hectare. Celle se repartie de cette manière:

Traitement	Coût par parcelle	Coût total par Ha
F22: Labour	(20+15+2,91) /36	
F22: Labour & paillage	(20+15+5,583+2,91) /36	
F23: Paillage sans labour	(15+2,91) /36	
F24: Non labour et non paillage (témoin).	15/36	

3.3.1.4 PARAMÈTRES OBSERVÉS

➤ Paramètres végétatifs

- **Le taux de levée:** C'est le rapport des plants poussés sur le total de grains mis en terre et il a été prélevé 10 jours après semis pour les deux cultures, supposant que tous les grains viables ont eu assez de temps pour germer et pousser.
- **Hauteur des plants:** Elle a été sur 3 plants de maïs et de haricot pris au hasard par parcelle en formant un triangle après un mois et à la floraison et s'est effectuée à l'aide du mètre ruban. C'est la distance entre le ras du sol et le bourgeon terminal de la plante en végétation.

➤ Paramètre de rendement: Il s'agit des paramètres qui expliquent le rendement.

1. Haricot

- **Biomasse:** C'est la masse de tout l'appareil aérien de la plante sans le produit utile. Elle a été estimée sur base des 30 plantes observables de la parcelle.
- **Nombre de gousse par plant:** Il a été aussi prélevé en considérant la moyenne de nombre de gousses de 30 plantes observables.
- **Nombre de graines par gousse:** Il s'agit aussi du nombre de graines moyen par gousse des 30 plants observés par parcelle.
- **Poids de cent graines:** C'est le poids d'un échantillon de 100 graines prélevés au hasard dans le lot de graines récoltés pour chaque parcelle. Ce poids se mesure par une balance de précision qu'on a eue au laboratoire de science du sol de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'UCB.
- **Poids de graines parcellaire:** C'est la masse totale de graines d'une parcelle à la récolte. Nous avons utilisé une balance de précision pour obtenir ce poids.

2. Maïs

- **Poids de cent grains:** Ce poids a été obtenu en pesant cent grains de maïs par parcelle à l'aide d'une balance de précision.
- **Poids des rafles:** Il consistait à peser les rafles de chaque parcelle à l'aide d'une balance de précision.
- **Poids de grains parcellaire:** Il consistait à peser les grains de chaque parcelle à l'aide d'une balance de précision.

4 RESULTAT ET DISCUSSION

4.1 PARAMÈTRE VÉGÉTATIFS

- Taux de levée chez le maïs en %

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	48,5	48,5	58	88,5	50	52,5	33	50	52,8	60	63,3	63,3
Bloc2	50	63,3	53,3	41,6	40	41,6	41,6	33,3	50	40	63,3	41,6
Bloc3	60	65,7	37,1	70	57,1	51,4	58,5	44,2	72,8	40	34,2	54,28

- Hauteur des pieds de maïs à un moi de végétation

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	34,6	32	25,4	44,6	45	44	27,3	29,3	25	23	29,8	17,3
Bloc2	33	44,6	44,6	47,6	53,6	43	47,6	43,3	26,3	26	30,3	29
Bloc3	33,3	36,3	34,6	34,6	41	39,6	36,3	40,6	41	29,3	32,6	17,3

- Hauteurs des pieds de maïs à la floraison

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	147,3	158,3	140,3	183,3	133	171,3	180	150	144,6	140,3	100,3	83,6
Bloc2	137,6	141,3	175	186,3	188	179,3	176,3	164	137,6	104,6	177,3	105
Bloc3	207	131	191	173,6	148,6	186	180	185,3	186	164,6	129,6	131

4.2 PARAMÈTRE DE RENDEMENT

- Rendement de maïs en tonne/ha

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	1,40	1,75	0,93	1,93	1,66	2,34	1,03	0,95	0,89	0,56	0,94	0,46
Bloc2	0,89	1,46	0,51	1,53	1,23	1,38	1,12	1,38	1,11	0,30	0,35	0,70
Bloc3	1,05	0,40	0,79	0,69	1,31	1,48	0,34	0,96	1,27	0,07	0,33	0,49

- Poids des rafles en gramme

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	567	901,4	430,9	723,1	713,4	875	461,5	274,22	280	344,74	189,9	464,6
Bloc2	595,93	484,47	520,89	850,5	575,4	431,78	200	173,33	672,6	322,66	272,6	614,86
Bloc3	200	173,33	322,66	364,9	206	701,85	371	684,6	53,84	808	234,4	174,1

- Poids sec de cent grains en gramme

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	19,87	17,25	19,51	20,6	22,19	22,34	19,25	18,43	16,53	15,04	13,23	13,63
Bloc2	19,22	13,37	19,91	18,82	20,7	24,44	15,28	14,78	25,85	13,51	13,76	14,04
Bloc3	16,61	19,19	17,17	19,25	15,66	19,71	17,17	21,18	17,65	11,49	11,41	10,13

- Matière sèche chez le maïs en gamme

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	18,9	21,4	21,7	20,1	16,6	21,2	18,2	17,7	17	14,4	13	12,8
Bloc2	18,4	13,76	19,3	18,4	19,8	19,8	14,4	14,3	25,1	13	12,5	19,3
Bloc3	15,8	16,7	16,7	18,4	14,8	18,6	16,9	20,1	16,7	10,8	11	10

- Poids parcellaire des épis en kg

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	1,69	3,77	1,75	0,36	1,97	4,37	1,95	1,13	1,28	1,05	1,41	0,8
Bloc2	2,53	2	2	2,86	1,66	1,75	4,12	2,57	1,11	0,64	0,7	1,36
Bloc3	2,42	1,18	2,73	1,54	1,11	2,19	3,38	2,43	2,43	0,16	1,16	1,04

4.3 LE HARICOT

4.3.1 PARAMÈTRES VÉGÉTATIFS

- Taux de levée chez le haricot en %

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	53,6	67,7	90	79,9	94,4	92	39	90,1	97, 2	59,8	68,8	64,4
Bloc2	62,9	89,6	99,2	38,13	72,26	78,4	72	76,8	48	52,1	59,8	94
Bloc3	63,3	68,2	55,6	21,3	44,8	54	29,6	46,6	74,4	39,3	85,3	70

- Hauteurs des pieds de maïs à un moi de végétation en cm

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	34,6	44,6	32	45	25,4	44	23	27,3	29,8	29,3	17,3	25
Bloc2	33	44,3	44,6	47,6	44,6	53,6	26,3	43	26	47,6	30,3	43,3
Bloc3	29	34,6	33,3	33,3	47	36,3	39,6	29,3	36,3	40,6	17,3	41

- Hauteurs des pieds de haricot à la floraison

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	51,6	39,6	43,3	41,3	30,6	36	29,3	77,6	29,3	26,3	26,6	25,6
Bloc2	38	40	41	29,6	29,3	32,6	38,3	36	39,6	32,6	27	27,6
Bloc3	46,3	32	26	23,6	26,6	38,6	28,3	50,3	36,3	22	19,6	26

4.3.2 PARAMÈTRES DE RENDEMENT

- Poids sec de la biomasse des haricots en tonne/ha

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	60	95, 80	86,80	52,73	117,20	65,60	92,93	58,33	40,07	77,07	107,40	83,0
Bloc2	81,47	70,47	86,93	116,20	99,40	100,47	32,80	39,47	30,20	123,97	161,13	111,53
Bloc3	37,07	36,13	65,73	60,87	66,07	68,60	26,33	32,73	30,20	69,93	57,73	43,13

- Rendement en tonne par hectare

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	0,76	1,6	0,84	1,49	1,55	3,39	0,57	0,95	0,72	1,42	1,72	0,54
Bloc2	1,29	1,53	0,99	1,99	1,15	2,22	0,18	1,8	1,47	0,99	0,34	1,23
Bloc3	0,4	0,68	0,3	0,27	0,62	0,85	0,31	1,3	0,08	1,24	0,09	1,27

- Poids de cent graines

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	43,04	44,49	46,15	53,94	49,06	47	49,33	46,33	51,94	43,38	47,34	43,86
Bloc2	43,38	41,19	45,17	58,82	49,54	51,58	52,85	51,18	53,24	42,06	41,36	51,7
Bloc3	43,74	41,99	48,51	45,62	43,25	49,7	51,43	47,71	51,43	48	40,24	40,57

- Matière sèche des haricots

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	41,7	41,9	42,8	32	45	25,4	44	23	17,	29,3	27,3	23
Bloc2	33	44,3	44,6	47,6	44,6	53,6	26,3	43	30,33	47,6	26	43,3
Bloc3	41	34,6	33,3	29	36,3	39,6	29,3	36,3	17,3	40,6	32,6	41

- Nombre de gousse par plant

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	4,7	6,1	5,8	5	7,3	3	5,8	6,8	4,7	2,7	3,4	2,8
Bloc2	4	6,1	6,1	5,4	7,2	6,9	6,7	6,1	4,6	2	3,6	2
Bloc3	2,3	2,3	3,6	3	3,6	6	4,1	6,3	6,2	2	1,5	2,1

- Nombre de graine par gousse

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	3,3	2,4	3,1	3,3	3,1	3,3	3	3,8	3	3	3,8	2,9
Bloc2	2,5	3,6	3,5	3	2,9	3,2	2	3,7	2,7	2,5	2,9	2,3
Bloc3	2,4	2,5	2,8	2,5	2,6	2,5	2,6	2,7	2,8	2,5	2,6	2,8

4.4 PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES

- Recette maïs par ha

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	700	966,7	873,3	830,0	466,7	1170,0	280	516,7	470	476,7	230	446,7
Bloc2	446,7	766,7	730,0	613,3	253,3	690	150	560	176,6	690	350	556,7
Bloc3	526,7	346,7	200	653,3	396,7	740	33,3	170	163,3	480	243,3	633,3

- Recette haricot par ha

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	304,0	640,0	336,0	596,0	620,0	1356,0	228,0	380,0	288,0	568,0	688,0	216,0
Bloc2	516,0	612,0	396,0	796,0	460,0	888,0	72,0	720,0	588,0	396,0	136,0	492
Bloc3	160,0	272,0	120	108,0	248,0	340,0	124	520,0	32,0	496,0	36,0	508,0

- Recette globale

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	1004	1606,7	1209,3	1426	1086,7	2526	508	896,7	758	1044,7	918	662,7
Bloc2	962,7	1378,7	1126	1049,3	713,3	1578	222	1280	486,0	1048,7	686,7	618,7
Bloc3	1048,7	686,7	644,7	320	6761,3	1080	157,3	690	195,3	976	279,3	1141,7

- Taux de rentabilité

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	43,0	128,9	213,6	77,0	34,9	72,3	53,2	276,1	170,3	230,5	128,5	138,6
Bloc2	37,1	96,4	95,9	75,0	-11,4	60,4	-33,1	285,9	75,0	130,6	277,5	291,0
Bloc3	-2,2	-11,9	34,1	5,5	-20,0	-54,4	-52,6	251,4	108,0	0,6	-41,1	310,9

- Cout de production

Travail du sol	Labour						Non labour					
Composantes de non labour	F21			F22			F23			F24		
Ecartement des haricots	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13	F11	F12	F13
Bloc1	702,04	702,04	702,04	805,43	805,43	805,43	331,67	33,67	331,67	277,78	277,78	277,78
Bloc2	702,04	702,04	702,04	805,43	805,43	805,43	331,67	331,67	331,67	277,78	277,78	277,78
Bloc3	702,04	702,04	702,04	805,43	805,43	805,43	331,67	331,67	331,67	277,78	277,78	277,78

Le tableau 2 donne l'analyse de la variance du taux de levée du haricot selon les composantes de non-labour et les écartements de haricot.

Tableau 2. ANOVA du taux de levée du haricot en pourcent en fonction des composants de non labour et les écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	2751.8	1375.91		
COMPOSANTE DE NL	3	427.3	142.42	0.34	0.7991 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	2528.5	421.42		
ECARTEMENT H	2	4467.2	2233.61	8.54	0.0030 **
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	86.9	14.48	0.06	0.9991 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	4187.1	261.69		
Total	35	14448.8			
Moyenne générale	66.458				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL)	30.89				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)	24.34				

Il ressort de ce tableau qu'il existe des différences significatives entre les différents écartements de haricot. Il est étonnant de constater qu'à la germination les écartements aient une action déjà. La séparation des moyennes en relation avec cet ANOVA est dans le tableau 3.

Tableau 3. Séparation des moyennes du taux de levée en % selon les écartements de haricot

ECARTEMENT H	Moyenne	Groupes homogènes
F13	76.433	A
F12	72.030	A
F11	50.911	B
Alpha	0.05	
Erreur standard de comparaison	6.6042	
Valeur critique de T	2.120	
PPDS	14.000	

Les moyennes suivies d'au moins une même culture ne sont pas significativement différent au seuil de 5%.

Le taux de levée moyen de ce haricot est de 66%, ce qui dénote une mauvaise qualité de la semence. Il aurait été judicieux de faire au préalable le test de germination pour s'assurer de leur qualité avant semis, mais on a fait confiance fournisseur au vu de ses certifications et de son expérience dans le domaine. On constate que le paillage améliorerait la germination du haricot.

Le tableau 4 donne l'analyse des hauteurs des pieds des haricots à un mois de végétation en fonction des composants de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 4. ANOVA des hauteurs des plants de haricot à 1 mois en cm en fonction des composants de non-labour et des écartements

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	171.97	85.984		
COMPOSANTE DE NL	3	558.35	186.118	9.08	0.0120 *
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	123.05	20.508		
ECARTEMENT H	2	160.70	80.350	5.62	0.0142 *
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	70.48	11.746	0.82	0.5692 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	228.67	14.292		
Total	35	1313.22			
Moyenne générale	26.519				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL)	17.08				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)	14.26				

Il ressort de ce tableau qu'il existe des différences significatives pour ce qui concerne les composantes de non-labour entre les moyennes des hauteurs des haricots associés au maïs. Il est de même pour les écartements de haricot, ce qui est étonnant à un stade aussi jeune. Pour ce qui est des composantes de non labour, il y a lieu de croire qu'en décomposant les végétaux employés comme paillis fertilisent le sol et

maintien une humidité adéquate et régulière pour une croissance assurée des plantules, comme quoi le paillage aurait un effet décisif sur la croissance précoce des plantules. En effet le paillage a un effet sur la microfaune du champ en servant de refuge à de nombreux insectes et microorganismes, dont l'action est décisive pour les plantes cultivé (<https://www.rustica.xn--frarticles-jardin-3rip/pailler-jardin-quand-comment-avec-quel-paillis2034.ht>). On améliorerait ainsi l'eau du sol et l'aération par les actions des êtres vivants se nourrissant de paillage. Selon **Anonyme (2017)** le paillage améliore encore les conditions de culture, en réfléchissant le rayonnement solaire vers les plantes. Par contre il probable que les écartements de haricot se combinent avec la présence du maïs pour agir très tôt sur le développement de haricot.

La séparation des moyennes de ces hauteurs des plants de haricot à un mois de végétation selon les composantes de non-labour sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5. Séparation des moyennes des hauteurs de haricot à 1 mois suivant les composantes de non-labour

COMPOSANTE DE NL	Moyenne	Groupes homogènes
F22	31.656	A
F21	27.444	A B
F24	26.356	B
F23	20.622	C

Alpha	0.05
Erreur standard de comparaison	2.1348
Valeur critique de T	2.447
PPDS	5.2237

On constate que le labour assurerait une croissance rapide des plantules et que le paillage aurait tendance à le réduire. En effet le paillage forcerait les plantules à se faufiler avant de pouvoir se développer librement sur base de ses propres moyens vu que les réserves des graines s'épuisent à se frayer un chemin de l'épaisseur de la paille.

La séparation des moyennes des hauteurs des plants de haricot à un mois de végétation selon les écartements de haricot sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6. Séparation des moyennes des hauteurs des plants de haricot selon les composantes de non-labour

ECARTEMENT H	Moyenne	Groupes homogènes
F11	29.092	A
F13	26.550	AB
F12	23.917	B

Alpha	0.05
Erreur standard de comparaison	1.5434
Valeur critique de T	2.120
PPDS	3.2718

Les moyennes suivies d'au moins une même culture ne sont pas significativement différent au seuil de 5%.

Le tableau 7 donne l'analyse de la variance des hauteurs des pieds des haricots à la floraison en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 7. ANOVA des hauteurs des plants de haricots à la floraison en cm en fonction des composants de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	273.80	136.900		
COMPOSANTE DE NL	3	1306.33	435.442	21.89	0.0012 **
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	119.33	19.888		
ECARTEMENT H	2	54.67	27.334	0.36	0.7024 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	1073.25	178.875	2.36	0.0793 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	1210.88	75.680		
Total	35	4038.25			

Moyenne générale 34.547

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL) 12.91

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H) 25.18

Il ressort de ce tableau qu'il existe des différences hautement significatives entre les composantes de non-labour pour les hauteurs des haricots à la floraison; nous pensons que ceci serait due au fait que la matière organique permet à la fois l'alimentation des plantes en libérant éléments minéraux absorbés et le stockage de ces éléments, mais aussi à une meilleure alimentation hydrique des plants (Anonyme, 2002) comme à ce stade, contrairement au stade juvénile, les plants sont dynamiques sur le plan de photosynthèse, d'où l'alimentation hydrique couplée à une insolation adéquate devient de plus en plus crucial.

Les moyennes relatives à cet effet sont reprises dans le tableau 8 qui suit.

Tableau 8. Séparation des moyennes des hauteurs des plants de haricot à la floraison en fonction des composants de non-labour

COMPOSANTE DE NL	Moyenne	Groupes homogènes
F23	40.556	A
F21	39.756	A
F22	32.022	B
F24	25.856	C

Alpha 0.05

Erreur standard de comparaison 2.1023

Valeur critique de T 2.447

PPDS 5.1441

Les moyennes suivies d'au moins une même culture ne sont pas significativement différent au seuil de 5%.

On constate que le labour influence la rapide croissance des pieds de haricots. Le paillage pourrait renforcer cet effet, ma le labour reste important pour la croissance du haricot. Bien que l'activité de la faune du sol comme les vers de terre et les termites permettent à moyen terme une bonne circulation de l'air (Dexter, 1991) et permette l'infiltration de l'eau (www.nzdl.org>gsdlmod_agriculture_information_module); le labour demeure important pour le haricot, une culture exigeante en ce sens qu'elle craint à la fois tout excès d'eau et un peu de sécheresse. Comme quoi le haricot exigerait à la fois une bonne aération et une alimentation hydrique stricte pour exprimer au mieux son potentiel, ce qui correspondrait à un terrain sous non labour depuis bien assez longtemps pour présenter une structure proche de la perfection.

4.4.1 PARAMÈTRES DE RENDEMENTS

Le tableau 9 donne l'analyse de la variance du nombre de gousses par plante en fonction des composants de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 9. ANOVA du nombre de gousses par plante de haricot en fonction des composants de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	12.124	6.06194		
COMPOSANTE DE NL	3	18.511	6.17037	3.55	0.0875 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	10.441	1.74009		
ECARTEMENT H	2	0.011	0.00528	0.01	0.9947 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	51.281	8.54676	8.59	0.0003 **
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	15.922	0.99514		
Total	35	108.289			

Moyenne générale 4.5444

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL) 29.03

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H) 21.95

Il ressort de tableau qu'il y a un effet hautement significatif de l'interaction entre les composantes de non labour et des écartements entre les plants de haricot. Il y a lieu de croire que le paillage assure une bonne couverture pour limiter les effets de la concurrence des mauvaises herbes et que pendant le paillage se décompose, la couverture du haricot et du maïs prend la relève au fur et à mesure en commençant par les écartements les plus basses.

Le tableau 10 donne la séparation des moyennes du nombre des gousses par plant selon l'interaction des composantes de non-labour et les écartements de haricot.

Tableau 10. Comparaison des moyennes du nombre de gousses par plant selon l'interaction Composante de non-labour x Ecartement de haricot

COMPOSANTE DE NL	ECARTEMENT H	Moyenne	Groupes homogènes
F24	F11	6.4000	A
F22	F12	5.9667	A
F22	F11	5.8667	A
F23	F12	5.5333	AB
F21	F13	5.2667	AB
F24	F13	5.1667	AB
F22	F13	4.8333	ABC
F21	F12	4.4667	ABC
F21	F11	3.6667	BCD
F23	F13	2.8333	CD
F24	F12	2.3000	D
F23	F11	2.2333	D

Alpha 0.05

Erreur standard de comparaison 0.8145

Valeur critique de T 2.120

PPDS 1.7267

Il apparait que les écartements les plus serrés associés à peu d'actions perturbateur du sol assure le ma meilleure production des gousses, ou, autrement, une réduction de l'avortement des fleurs.

Le tableau 11 donne l'analyse de la variance du nombre de graines par gousse de haricot en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 11. ANOVA du nombre de graines par gousse en fonction de composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	2.03389	1.01694		
COMPOSANTE DE NL	3	0.84111	0.28037	2.41	0.1651 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	0.69722	0.11620		
ECARTEMENT H	2	0.27722	0.13861	1.00	0.3884 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	0.60056	0.10009	0.73	0.6360 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	2.20889	0.13806		
Total	35	6.65889			
Moyenne générale	2.9056				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL)	11.73				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)	12.79				

On remarque de ce tableau que tous les facteurs n'influencent pas du tout le nombre de graine par plant; c'est à croire que c'est un caractère variétal qui ne se laisse pas influencer par l'environnement. Ainsi si le nombre de gousses n'est pas directement influencé par les 2 facteurs en étude et encore moins le nombre de graines par gousse, il est possible que l'augmentation de la densité de plantation au maximum possible soit corrélée avec le rendement. En effet si le nombre de gousses et de graines par plante est fixé, pour influencer la production, il ne resterait plus que d'agir sur le nombre de plantes par unité de surface.

Le tableau 12 donne l'analyse de la variance du poids de 100 graines en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot sous le maïs.

Tableau 12. Analyse de la variance du poids de 100 graines en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	37.290	18.645		
COMPOSANTE DE NL	3	325.390	108.463	9.65	0.0103 *
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	67.469	11.245		
ECARTEMENT H	2	67.431	33.716	3.25	0.0654 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	38.400	6.400	0.62	0.7141 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	166.008	10.375		
Total	35	701.987			
Moyenne générale	47.226				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL)	7.10				
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)	6.82				

Il ressort de ce tableau que les composantes de non-labour induisent des différences hautement significatives entre les moyennes. Cela proviendrait du fait que le paillage, en enrichissant le sol en matières organiques, minéraux et en une alimentation hydrique adéquate permettrait un meilleur remplissage des graines en optimisant la photosynthèse.

Le tableau 13 donne la séparation des moyennes des poids de 100 graines en gramme en fonction des composantes de non-labour.

Tableau 13. Comparaison des moyennes de poids de 100 graines selon les composantes de non-labour

COMPOSANTE DE NL	Moyenne	Groupes homogènes
F23	50.604	A
F22	49.834	A
F24	44.279	B
F21	44.184	B
Alpha	0.05	
Erreur standard de comparaison	1.5808	
Valeur critique de T	2.447	
PPDS	3.8680	

Il ressort de ce tableau que la matière le paillage a été déterminante pour améliorer la qualité des graines. Bien que poids de cent graines est un caractère végétal qui est peu affecté par les conditions du milieu (Godderis, 1995 cité par kinenwa 2002), le paillage maintient le sol humide en limitant l'évaporation, il fournit aussi des meilleurs conditions de croissance aux plantes, surtout avec paillis végétale, celui-ci se décompose et enrichit le sol en éléments nutritifs (<http://jardinage.lemonde.fr/dossier-677-paillage-definition-vegetaux-utiliser.html>). On dirait que le paillage améliore la photosynthèse qui améliorerait la qualité des graines, sachant la photosynthèse est fonction de l'éclairement certes, mais aussi de l'eau et de la respiration. Le nombre de gousses par plant ne change pas directement du fait des 2 facteurs et le nombre de graines par gousse ne change pas du tout; il ne reste plus que la qualité de graines pour faire la différence pour le rendement.

Le tableau 14 présente le taux de matières sèches dans les graines en fonction des deux facteurs en étude.

Tableau 14. ANOVA de teneur en matières sèches des graines de haricot (%) en fonction de composantes de non-labour et les écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	34.842	17.4212		
COMPOSANTE DE NL	3	193.507	64.5024	6.92	0.0225 *
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	55.954	9.3257		
ECARTEMENT H	2	39.490	19.7449	1.98	0.1705 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	7.167	1.1945	0.12	0.9924 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	159.572	9.9732		
Total	35	490.532			
Moyenne générale		44.087			
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL)		6.93			
CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)		7.16			

Il ressort de ce tableau que les composantes de non-labour influencent significativement la teneur en matières sèches des graines de haricot, ce qui expliquerait aussi le poids de 100 graines. Comme quoi le paillage agirait sur la qualité des graines en optimisant la photosynthèse par une alimentation régulière des plantes en eau et une aération adéquate pour la respiration au niveau des racines du fait des galerie tracées par les êtres vivants du sol qui s'alimentent du paillage. La séparation des moyennes relative à cette analyse de la variance est présentée dans le tableau 15.

Tableau 15. Comparaison des moyennes de taux des matières sèches des graines de haricot en fonction des composantes de non-labour

COMPOSANTE DE NL	Moyenne	Groupes homogènes
F23	47.136	A
F22	45.522	AB
F21	42.056	BC
F24	41.633	C

Alpha: 0.05

Erreur standard de comparaison: 1.4396

Valeur critique de T: 2.447

PPDS: 3.5225

On voit bien que la présence du paillage fait la différence dans la qualité des graines de haricot.

Le tableau 16 donne l'analyse de la variance du rendement en biomasse de haricot selon les composantes de non-labour et les écartements de haricot.

Tableau 16. Analyse de la variance production en biomasse sec de haricot (sans les gousses) en Kg/Ha en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
Bloc	2	6408.0	3203.98		
COMPOSANTE DE NL	3	8969.6	2989.87	6.67	0.0244 *
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	2688.3	448.04		
ECARTEMENTS HARICOT	2	2275.9	1137.94	1.42	0.2698 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT HARICOT	6	4651.8	775.29	0.97	0.4761 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE NL*ECARTEMENT HARICOT	16	12791.2	799.45		
Total	35	37784.7			

Moyenne générale 68.410

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL) 30.94

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H) 41.33

Il ressort de ce tableau que les composantes de non labour induisent des différences significatives. Il est possible que les matières organiques en décompositions en soient les responsables en libérant les minéraux nécessaires dont l'azote pour entretenir la production de biomasse. La séparation des moyennes selon les composantes de non-labour est reprise dans le tableau 17.

Tableau 17. Comparaison des moyennes de rendement en biomasse de haricot selon les composantes de non –labour

COMPOSANTE NL	Moyenne	Groupes homogènes
F22	83.015	A
F24	79.130	A
F21	68.933	A
F23	42.562	B

Alpha: 0.05

Erreur standard de comparaison: 9.9782

Valeur critique de T: 2.447

PPDS: 24.416

L'analyse de la variance du rendement de haricot en fonction des composantes de non labour et des écartements de haricot est reprise dans le tableau 18 suivant.

Tableau 18. ANOVA de rendement de haricot en T/Ha selon les composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	1.57244	0.78622		
COMPOSANTE DE NL	3	1.09824	0.36608	2.08	0.2039 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	1.05434	0.17572		
ECARTEMENT H	2	0.18611	0.09305	0.85	0.4462 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	1.76261	0.29377	2.68	0.0538 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	1.75349	0.10959		
Total	35	7.42722			

Moyenne générale 0.7078

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL) 59.23

CV% (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H) 46.77

On remarque que tous les deux facteurs n'ont pas induit des différences significatives entre les moyennes. Ce qui revient à dire que les différences qui existent entre les calibres des graines ne sont pas suffisantes pour affecter significativement le rendement. Néanmoins cela revient aussi à dire que faire des dépenses supplémentaires dans le labour est superflus autant que dépense plus dans plus de graines n'améliore pas le rendement et devient aussi une dépense superflue.

4.5 LE MAÏS

Le tableau 19 donne l'analyse de la variance du taux de levée de maïs en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 19. ANOVA du taux de levée en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	172.84	86.421		
COMPOSANTE DE NL	3	650.57	216.857	1.18	0.3919 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	1099.10	183.183		
ECARTEMENT H	2	734.12	367.060	2.86	0.0867 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	972.96	162.160	1.26	0.3274 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	2052.88	128.305		
Total	35	5682.46			
Moyenne générale	51.286				
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL)	26.39				
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)	22.09				

Il ressort de ce tableau que le taux de levée de maïs est de 50% et n'est pas influencé par les facteurs en étude. Ce qui revient à dire que la qualité de la semence qui n'était pas bonne. Heureusement que par mesure de prudence il avait été semé 3 grains par poquet pour faire le démarriage après, ce qui permit d'avoir tous les poquets de maïs en place.

Le tableau 20 donne l'analyse de la variance de la hauteur des plants de maïs après 1 mois de végétation en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 20. ANOVA de la hauteur des maïs après 1 mois de végétation en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	498.04	249.020		
COMPOSANTE DE NL	3	699.98	233.327	4.92	0.0466 *
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	284.32	47.386		
ECARTEMENT H	2	79.43	39.715	1.80	0.1972 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	900.03	150.005	6.80	0.0010 **
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	352.97	22.061		
Total	35	2814.77			
Moyenne générale	35.344				
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL)	19.48				
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)	13.29				

Il ressort des différences significatives entre les moyennes en fonction des composantes de non-labour et des différences hautement significatives entre les moyennes de l'interaction entre les composantes de non-labour et les écartements de haricot.

Le tableau 21 donne les moyennes selon l'interaction des composantes de non-labour et les écartements de haricot au seuil de probabilité de 5%.

Tableau 21. Séparation des moyennes selon l'interaction des composantes de non-labour et des écartements de haricot

COMPOSANTE DE NL	ECARTEMENT H	Moyenne	Groupes Homogènes
F22	F13	45.733	A
F22	F11	44.533	A
F21	F12	41.167	AB
F24	F11	39.167	ABC
F21	F13	36.633	ABC
F24	F13	36.433	ABCD
F23	F12	35.533	ABCD
F22	F12	35.433	BCD
F21	F11	32.200	CD
F23	F13	29.467	CDE
F23	F11	26.200	DE
F24	F12	21.633	E

Alpha	0.05
Erreur standard de comparaison	3.8350
Valeur critique de T	2.120
PPDS	8.1298

Il ressort de ce tableau que les croisements impliquant le labour affichent les meilleures croissances à 1 mois. Cela proviendrait du fait que le labour permettrait un meilleur enracinement des grains et une alimentation hydrique et une aération adéquate aux jeunes plantules.

Le tableau 22 donne la séparation des moyennes selon les composantes de non-labour.

Tableau 22. Séparation des moyennes selon les composantes de non-labour

COMPOSANTE DE NL	Moyenne	Groupes homogènes
F22	41.900	A
F21	36.667	AB
F24	32.411	B
F23	30.400	B

Alpha	0.05
Erreur standard de comparaison	3.2450
Valeur critique de T	2.447
PPDS	7.9403

On remarque que le labour est déterminant dans la vigueur de la plantule, du moins au 1^{er} mois de végétation. Cela viendrait du fait que le labour permettrait un développement rapide des racines de la plantule mettant en place très tôt l'alimentation de la plantule par la photosynthèse en place ou en complément de celle des réserves du grain. En effet la photosynthèse dépend de l'exposition à la lumière, mais aussi de l'alimentation hydrique de la plante par les racines.

Le tableau 23 affiche l'analyse de la variance de la hauteur de la plante à la floraison en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 23. ANOVA de la hauteur de maïs à la floraison selon les composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	3299.4	1649.72		
COMPOSANTE DE NL	3	11486.5	3828.82	12.43	0.0055 **
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	1848.5	308.09		
ECARTEMENT H	2	1485.6	742.80	1.29	0.3013 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	3223.3	537.21	0.94	0.4963 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	9183.0	573.93		
Total	35	30526.3			

Moyenne générale 156.06

CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL) 11.25

CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H) 15.35

On remarque que seul le facteur « composantes de non-labour » entraînent des différences hautement significatives dans les hauteurs des plantes à la floraison. La séparation des moyennes y relatif est présenté dans le tableau 23 qui suit:

COMPOSANTE DE NL	Moyenne	Groupes homogènes
F22	172.16	A
F23	167.09	A
F21	158.76	A
F24	126.26	B

Alpha 0.05

Erreur standard de comparaison 8.2743

Valeur critique de T 2.447

PPDS 20.246

Si le labour a permis une croissance précoce de la plantule, il ressort de ce tableau que le paillage prend vite le relais à long terme et assure une croissance continue jusqu'à la taille ultime. Le paillage assurerait une alimentation hydrique régulière des plantes et une libération de certains minéraux dans la solution du sol au fur et à mesure de la croissance de la plante.

Le tableau de 24 donne l'analyse de la variance des poids de 100 grains selon les composantes de non-labour et les écartements de haricot.

Tableau 24. ANOVA du poids de 100 grains selon les composantes de non-labour et les écartements de haricots

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	34.538	17.2690		
COMPOSANTE DE NL	3	189.343	63.1145	6.65	0.0245 *
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	56.903	9.4839		
ECARTEMENT H	2	41.085	20.5426	2.05	0.1618 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	7.289	1.2148	0.12	0.9922 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	160.662	10.0414		
Total	35	489.820			

Moyenne générale 44.073

CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL) 6.99

CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H) 7.19

Il ressort de ce tableau que le poids de 100 grains est influencé par le poids de 100 grains, comme ce fut le cas pour les graines de haricot. Ce qui montre que la qualité des produits principaux, les graines de haricot et les grains de maïs sont fortement influencés par les composantes de non-labour.

Le tableau 25 donne la séparation des moyennes selon les composantes de non-labour.

Tableau 25. Comparaison des moyennes selon les composantes de non-labour

COMPOSANTE DE NL	Moyenne	Groupes Homogènes
F23	47.069	A
F22	45.522	AB
F21	42.056	BC
F24	41.646	C

Alpha	0.05
Erreur standard de comparaison	1.4517
Valeur critique de T	2.447
PPDS	3.5523

Il ressort clairement que le paillage a fait la différence dans la qualité des grains, comme c'est fut le cas pour le haricot. Cela viendrait de l'optimisation de la photosynthèse liée à une alimentation hydrique adéquate issue de la couverture qui réduirait l'évaporation de l'eau du sol et assurerait une bonne ouverture des stomates. En plus de cela, la couverture en décompositions apporterait des minéraux nécessaires pour un remplissage optimal des grains.

Le tableau 26 donne l'analyse de la variance du rendement de maïs en fonction des composantes de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 26. ANOVA de rendement en de maïs en T/Ha selon les composantes de non-labour et les écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	1.32094	0.66047		
COMPOSANTE DE NL	3	3.04399	1.01466	4.42	0.0579 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	1.37751	0.22958		
ECARTEMENT H	2	0.42704	0.21352	3.63	0.0500 *
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	2.19187	0.36531	6.22	0.0016 **
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	0.94016	0.05876		
Total	35	9.30150			
Moyenne générale	1.0003				
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL)	47.90				
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)	24.23				

Bien que le remplissage des grains soit influencé uniquement par les composantes de non-labour, il est étonnant de constater que ce facteur n'influence pas pour autant le rendement en grain, mais c'est plutôt son interaction avec les écartements de haricot qui en plus influencent le rendement de haricot. Cela laisse croire qu'il y aurait une apparition de concurrence de haricot en association sur les performances de maïs. Pour le vérifier, la séparation des moyennes selon cette interaction et les écartements de haricot sont repris respectivement dans les tableaux 27 et 28 qui suivent.

Tableau 27. Séparation des moyennes de rendement en grains selon l'interaction des composantes de non-labour et les écartements de haricot

COMPOSANTES DE NL	ECARTEMENT H	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
F22	F13	1.7333	A
F22	F11	1.4000	A
F21	F12	1.3833	A
F21	F13	1.2033	A
F21	F11	1.1133	A
F24	F11	1.0967	A
F24	F13	1.0900	A
F23	F12	0.8300	B
F22	F12	0.7433	B
F24	F12	0.5500	B
F23	F13	0.5400	B
F23	F11	0.3200	B

Alpha 0.05
 Erreur standard de comparaison 0.1979
 Valeur critique de T 2.336
 PPDS 0.6488

Il faut dire que le tableau n'est pas du tout explicite, raison pour laquelle continuons avec la séparation des moyennes selon les écartements de haricot.

Tableau 28. Séparation des moyennes en fonction des écartements des moyennes

ECARTEMENT DE H	MOYENNE	GROUPES HOMOGENES
F13	1.1417	A
F11	0.9825	AB
F12	0.8767	B

Alpha 0.05
 Erreur standard de comparaison 0.0990
 Valeur critique 2.120
 PPDS 0.2098

4.6 LES PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES

Les dépenses n'ayant pas pu être enregistrées par parcelle pour suivre clairement leurs variations selon les traitements en étude, il été juste été calculé les dépenses totales causées par l'essai, puis ces dépenses ont été divisées également par parcelle. On a ainsi obtenu un total des dépenses de 85\$ pour toute l'étude, sans compter les dépenses des récoltes. Ce qui correspond à 2,4 \$ par parcelle correspondant à 1600\$ par hectare. Il est vrai que cette somme doit être très élevée parce que l'on ne peut négocier les services sur 15 m² de la même manière que pour 1 Ha. En ayant des bases des dépenses pour l'estimation du taux de rentabilité très élevés, ce qui correspondrait aux taux les plus pessimistes possibles.

En considérant l'élimination de certains coûts selon les pratiques y relatives, notamment l'élimination de coût de labour pour le traitement F23 et F24, l'élimination du fauchage et transport pour le traitement F24 et le coût de paillage pour F21, la répartition des coûts par traitements est reprise dans le tableau 29.

Tableau 29. Répartition des coûts de production par traitement

COMPOSANTE NL	N	MOYENNE	ECART-TYPE
F21	9	702,04	0,0000
F22	9	805,43	0,0000
F23	9	331,67	0,0000
F24	9	277,78	0,0000
ECARTEMENT H	N	MOYENNE	ECART-TYPE
F11	12	529,23	238,41
F12	12	529,23	238,41
F13	12	529,23	238,41

Le coût moyen par hectare et par traitement est de ce fait de 530 \$.

Le calcul de ce paramètre a été décomposé en recettes par culture avant de considérer le total de recettes.

Le tableau 29 donne l'analyse de la variance des recettes potentielles de haricot (sur base de prix le plus bas de haricot au marché) selon les composantes de non-labour et des densités de haricot dans le champ.

Tableau 30. ANOVA des recettes de haricot selon les composantes de non-labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	563420	281710		
COMPOSANTE DE NL	3	398188	132729	2.09	0.2029 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	380961	63493		
ECARTEMENT H	2	67206	33603	0.86	0.4415 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	628790	104798	2.68	0.0535 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	624505	39032		
Total	35	2663070			
Moyenne générale		423.78			
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL)		59.46			
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)		46.62			

On remarque que tous les facteurs n'ont pas du tout influencé les recettes de haricot de manière significative au seuil de 5%. En moyenne, sur les 1600\$ de dépenses, le haricot couvre environ 26,5 % des dépenses consentis sur un hectare.

Le tableau 30 donne l'analyse de la variance des recettes de maïs par hectare selon les composantes de non-labour et des écartements de haricot.

Tableau 31. ANOVA des recettes de maïs par hectare selon les composantes de non-labour et les écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	336102	168051		
COMPOSANTE DE NL	3	768502	256167	4.46	0.0568 ns
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	344427	57404		
ECARTEMENT H	2	106221	53111	3.66	0.0492 *
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	553426	92238	6.35	0.0014 **
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	232449	14528		
Total	35	2341126			
Moyenne générale		499.91			
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL)		47.93			
CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H)		24.11			

On constate que les écartements de haricot et les interactions influencent ce paramètre; ce qui va dans le même sens que le rendement de maïs. Les tableaux 31 et 32 donnent respectivement les séparations des moyennes relatives aux écartements de haricot et l'interaction des écartements de haricot et les composantes de non-labour.

Tableau 32. Séparation des moyennes des recettes de maïs par hectare selon les écartements de haricot

ECARTEMENT H	Moyenne	Groupes homogènes
F13	570.83	A
F11	490.00	AB
F12	438.89	B

Alpha 0.05
 Erreur standard de comparaison 49.207
 Valeur critique de T 2.120
 PPDS 104.31

Il ressort de ce tableau que les écartements de haricot les plus larges assurent une meilleure recette de maïs. Cela est directement lié au rendement de maïs qui a été influencé de la même manière. Cela serait dû au fait que des densités très serrées pourraient occasionner une plus grande concurrence au maïs pour l'eau et les minéraux. Le tableau 32 donne la séparation des moyennes des recettes de maïs selon l'interaction entre les composantes de non-labour et les écartements de haricot.

Tableau 33. Comparaison des moyennes des recettes de maïs de l'interaction entre les composantes de non-labour et les écartements de haricot

COMPOSANTE DE NL	ECARTEMENT H	MOYENNES	GROUPE HOMOGENE
F22	F13	866,67	A
F22	F11	698,89	A
F21	F12	693,34	A
F21	F13	601,11	AB
F21	F11	557,78	AB
F24	F11	548,89	AB
F24	F13	545,56	AB
F23	F12	415,56	ABC
F22	F12	372,22	ABC
F24	F12	274,44	ABC
F23	F13	270	ABC
F23	F11	154,44	ABCD

Alpha 0.05
 Erreur standard de comparaison 98.414
 Valeur critique de T 2.120
 PPDS 208.63

Les combinaisons incluant le labour et le paillage présente les meilleures recettes, quels que soit les écartements de haricot. Il apparaît que le test utilisé se montre inefficace pour séparer les moyennes.

Le tableau 33 donne l'analyse de la variance en fonction de la recette totale des parcelles selon les composantes de non labour et les écartements de haricot.

Tableau 34. ANOVA de la recette totale en dollars américains en fonction des composantes de non labour et des écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	1666277	833138		
COMPOSANTE DE NL	3	1929101	643034	5.80	0.0331 *
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL	6	665012	110835		
ECARTEMENT H	2	224951	112475	1.74	0.2075 ns
COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	6	2279431	379905	5.87	0.0021 **
Erreur: BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H	16	1035645	64728		
Total	35	7800416			

Moyenne générale 923.69

CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL) 36.04

CV % (BLOC*COMPOSANTE DE NL*ECARTEMENT H) 27.54

Il ressort des différences significatives entre les composantes de non labour et hautement significatives pour l'interaction entre les composantes de non labour et les écartements de haricot.

Le tableau 35 donne les moyennes des recettes totales (recette de maïs et recette de haricot su base du prix du marché local moyen de l'année) en fonction des composantes de non-labour.

Tableau 35. Séparation des moyennes de la recette totale en fonction des composantes de non-labour

COMPOSANTE DE NL	MOYENNE	GROUPES HOMOGENES
F22	1247.3	A
F21	990.3	AB
F24	849.2	B
F23	608.0	B

Alpha 0.05

Erreur standard de comparaison 156.94

Valeur Critique de T 2.447

PPDS 384.02

Il ressort de ce tableau que le labour améliore la recette des parcelles, mais on remarque que le non labour, produit la même chose, qu'on paille ou pas, ce qui veut dire que le coût de production est déterminant dans la mesure où le gain de recette sur base des travaux supplémentaire de la terre risqueraient de devenir plus faibles que les dépenses consenties.

Le tableau 36 donne les moyennes des recettes totales en fonction de l'interaction entre les composantes de non-labour et les écartements de haricot.

Tableau 36. Séparation des moyennes des recettes totales en fonction de l'interaction entre les composantes de non-labour et des écartements de haricot

COMPOSANTE DE NL	ECARTEMENT H	MOYENNE	GROUPE HOMOGENE
F22	F13	1728.0	A
F21	F12	1201.3	B
F22	F11	1198.9	B
F24	F11	1035.6	BC
F23	F12	955.6	BCD
F24	F13	950.9	BCD
F21	F13	885.1	BCD
F21	F11	884.4	BCD
F22	F12	814.9	BCDE
F23	F13	572.7	CDE
F24	F12	561.1	DE
F23	F11	295.8	E

Alpha 0.05
 Erreur standard de comparaison 207.73
 Valeur critique de T 2.120
 PPDS 440.37

Bien que le labour et le paillage associé aux plus grands écartements affichent la meilleure recette, il est constaté que tous les autres travaux au sol ne se distinguent pas du témoin non labouré ni paillé. Ce qui veut dire qu'il est important de toujours suivre le taux de rentabilité pour éviter de faire des travaux qui rendent le terrain « propre » sans avoir des retombées financières proportionnelles.

Cette observation étant liée à celle du taux de rentabilité des traitements, nous présentons directement l'analyse de la variance selon le taux de rentabilité dans le tableau 34 qui suit:

Tableau 37. ANOVA du taux de rentabilité selon les composantes de non labour et les écartements de haricot

Source	DL	SC	CM	F	P
BLOC	2	52257	26128,5		
COMPOSANTE NL	3	152225	50741,8	24,01	0,0010**
Erreur BLOC*COMPOSANTE NL	6	12682	2113,7		
ECARTEMENT H	2	5867	2933,6	0,70	0,5100
COMPOSANTE NL*ECARTEMENT H	6	127279	21213,2	5,08	0,0043**
Erreur BLOC*COMPOSANTE NL*ECARTEMENT H	16	66811	4175,7		
Total	35	417122			

Moyenne générale 96,236
 CV (BLOC*COMPOSANT) 47,77
 CV (BLOC*COMPOSANTE NL*ECARTEMENT H) 67,15

Ainsi la tendance est la même que les recettes totales. Les moyennes y relatif sont présentés dans le tableau 36.

Tableau 38. Moyennes du taux de rentabilité selon les composantes de non labour

COMPOSANTE NL	MOYENNE	GROUPE HOMOGENE
F24	205,73	A
F23	83,30	B
F22	54,84	B
F21	41,07	B

Alpha	0,05
Erreur Standard de Comparaison	21,673
Valeur Critique de T	2,447
PPDS	53,032

Il ressort du tableau 36 que le taux de rentabilité est la plus élevée quand on ne fait ni labour ni paillage, autrement quand on sème directement sur le substrat sans le déranger. En effet, les travaux de terrains peuvent présenter des coûts allant de 277 à 805\$ par hectare pour des recettes totales moyennes de 905\$ par hectare, ce qui n'exagère pas les marges. Or les rendements et/ou les recettes par hectare ne sont pas significativement différents entre les parcelles minutieusement préparées et la parcelle.

COMPOSANTE NL	ECARTEMENT H	MOYENNE	GROUPE HOMOGENE
F24	F11	272,83	A
F24	F13	242,33	A
F23	F12	188,07	AB
F22	F13	114,53	BC
F24	F12	102,03	BCD
F23	F13	72,67	CDE
F21	F12	71,13	CDE
F22	F11	48,83	CDE
F21	F13	26,10	CDE
F21	F11	25,97	CDE
F22	F12	1,17	DE
F23	F11	-10,83	E

Alpha	0,05
Erreur standard de comparaison	52,762
Valeur critique de T	2,120
PPDS	111,85

5 CONCLUSION

Ce travail s'est réalisé dans la partie riveraine du Lac Kivu au sud Kivu dans le champ expérimental qui avait pour objectif de tester les effets des écartements de haricots associé aux maïs et composantes de non labour dans les zones riveraines du Lac Kivu.

Pour ce faire un essai a été réalisé les champs expérimentaux se trouvant dans les zones riveraines du Lac Kivu et le dispositif utilisé était le split-plot avec 3 répétitions et 36 parcelles. Le facteur principal était constitué des écartements de haricots avec comme variantes 20x10, 20x20 et 20x30 cm et le facteur secondaire était celui des composantes de non labour ayant pour objets le labour, le paillage après labour, le paillage sans labour et la parcelle non labouré ni paillée servant de témoin. Les parcelles 210 pieds de maïs pour 45m² et les sous-parcelles 70 pieds de maïs pour 15m².

Les paramètres observés ont été:

- Chez le haricot: taux de levée, la hauteur des plants à un mois de végétation et à la floraison, le nombre des gousses par plants, le nombre des graines par gousses par plants, la biomasse sèche, le poids de 100 graines en gramme et le rendement extrapolé à l'hectare
- Chez le maïs: taux de levée, hauteurs des plants à un mois de végétation et à la floraison, poids des rafles, poids des épis, poids de cent grains, le rendement extrapolé à l'hectare.

Les résultats obtenus ont permis de constater que:

- Chez le haricot les paramètres comme le taux de levée des graines, hauteurs des pieds de haricots à un moi de végétations et à la floraison, nombre des graines par gousses par plant de haricot, la biomasse sèche et le poids de 100 graines en gramme ont été influencé par les composantes de non-labour car en se décomposant les végétaux employés comme paillis fertilisent le sol; le paillage a un effet sur la microfaune du champ, en effet la couverture végétale sert de refuge à de nombreux insectes et microorganismes, dont l'action est décisive pour les plantes cultivées; On améliorerait l'eau du sol et l'aération en améliorant par les êtres vivants se nourrissant le paillage; le paillage améliore les conditions de culture en réfléchissant le rayonnement solaire vers les plantes; les paramètres comme le rendement des haricots en tonne par hectare et le nombre des graines par gousse n'ont pas été influencé par les écartements, les répétitions et les composantes de non-labour
- Chez le maïs les paramètres comme le taux de levée des graines, les hauteurs des pieds de haricots à un moi de végétations et à la floraison, le nombre des graines par gousses par plant de haricot, la biomasse sèche et le poids de 100 graines en gramme ont été influencé par les composantes de non-labour car le maïs répond mieux aux apports des matières organiques qui par ailleurs améliore la structure du sol, maintient l'humidité du sol
- On a remarqué que tous les facteurs n'ont pas du tout influencé les recettes de haricot de manière significative au seuil de 5%. Cela serait dû au fait que des densités très serrées pourraient occasionner une plus grande concurrence au maïs pour l'eau et les minéraux
- Les combinaisons incluant le labour et le paillage présentent les meilleures recettes, quels que soit les écartements de haricot. le labour améliore la recette des parcelles, mais on remarque que le non labour, produit la même chose, qu'on paille ou pas, ce qui veut dire que le coût de production est déterminant dans la mesure où le gain de recette sur base des travaux supplémentaire de la terre risqueraient de devenir plus faibles que les dépenses consenties. Bien que le labour et le paillage associé aux plus grands écartements affichent la meilleure recette, il est constaté que tous les autres travaux au sol ne se distinguent pas du témoin non labouré ni paillé. Ce qui veut dire qu'il est important de toujours suivre le taux de rentabilité pour éviter de faire des travaux qui rendent le terrain « propre » sans avoir des retombées financières proportionnelles
- Le taux de rentabilité est la plus élevée quand on ne fait ni labour ni paillage, autrement quand on sème directement sur le substrat sans le déranger. En effet, les travaux de terrains peuvent présenter des coûts allant de 277 à 805\$ par hectare pour des recettes totales moyennes de 905\$ par hectare, ce qui n'exagère pas les marges

Eu égard à ce qui précède, l'application du paillage dans l'association maïs haricot augmenterait la productivité du maïs, par contre qu'on labour ou pas on aura le même rendement, qu'on utilise les écartements de 10×10cm, 20×20cm et 30×30cm, on aura le même rendement d'où les dépenses faites pour le labour sont inutiles et les écartements de 20×10cm et de 20×20cm c'est un gaspillage de semences; par contre le taux de rentabilité est la plus élevée quand on ne fait ni labour ni paillage, autrement quand on sème directement sur le substrat sans le déranger.

REFERENCES

- [1] Anonyme, 2002. Mémento de l'agronome CIRAD, GRET, Paris, France: 1600pp.
- [2] Anonyme 2017, <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/pailli>.
- [3] Baudoin.JP; vanderborght, T; kimani, P.M. et Mwang'ombe, A.W, 2001. Haricot: 337-347.In: Raemaekers (Eds): agriculture en Afrique tropicale, DGCI. Bruxelles 1634ppBaudoin et all.1991a culture et l'amélioration des légumineuses (*Phaseolus lunatus*) en zone tropicale gemoux, Belgique, CTA éd.pays Bas: 209pp.
- [4] IFDC Catalist (catalyser l'intensification Agricole Accélérée pour la stabilité sociale et environnementale), 2010.la gestion de la matière organique du sol, Kigali-Rwanda, 21p Lavabre, 1998. Le desheserbage des cultures tropicales, Maisonneuve&larose, 127p.
- [5] Rouanet, G. 1985 le maïs, maison la neuve et larose, paris 142p.
- [6] Raemaekers, R.H; 2001.L'agriculture en Afrique tropicale AGCD, Bruxelles Belgique; 1634pp.
- [7] Rinastovic, 2001.Le maïs: 44-70In Raemaekers: Agriculture en Afrique tropicale, DGCL, 1634pp.
- [8] <https://www.rustica.fr>articles-jardin>/pailler-jardin-quand-comment-avec-quel-paillis> 2034. Ht
- [9] www.nzdl.org>gsdlmod agriculture information module.
- [10] www.nzdl.org>gsdlmod agriculture information module).
- [11] <https://www.rustica.xn--frarticles-jardin-3rip/pailler-jardin-quand-comment-avec-quel-paillis2034.ht>
- [12] <https://fr.m.wikidictionary.xn--orgwikiharicot-idhe/>.
- [13] <https://fr.m.wikidictionary.xn--orgwikiharicot-idhe/>.
- [14] Babunga, 2013. Essai de l'enfouissement de *tithonia Diversifolia* sur le rendement de maïs dans les conditions édaphoclimatiques de karhale, UCB inédit.
- [15] CIJOLI, C. Réponse de deux variétés bio fortifiées de patates douces (*ipomea batatas*) à différents types d'intrants dans les conditions édapho climatiques de karhale, UCB inédit.
- [16] Mageni, K. 1997. Effet de l'enfouissement des engrais verts (cas de *tithonia diversifolia*) sur la production du maïs (*Zea Mays*) dans les conditions écologiques de Bukavu, UCB inédit.
- [17] Rodrigue, I. 2011. Effet des de la densité de semis et de l'inoculation sur le rendement du soja (SB24) à kabamba, UCB inédit.
- [18] Irengé, C. 2014 Effet d'association haricot et maïs sur la croissance et le rendement de ces deux cultures à Karhale, UCB inédit 38p.
- [19] Molima, D.2014 Contribution à la gestion des mauvaises herbes dans un champ de manioc (*Manihot esculenta*) dans les conditions de Karhale, UCB inédit.
- [20] Mwabenda, M.2013 Effet de la fertilisation organominérale sur le rendement et la concentration en fer et zinc du haricot bio fortifié CODMIB 001 dans les conditions édaphiques de Karhale, UCB inédit 63p.
- [21] Kinenwa, M.2002 Réponse du haricot et du maïs sur l'application du *tithonia diversifolia* dans les conditions de Karhale, UCB inédit.

