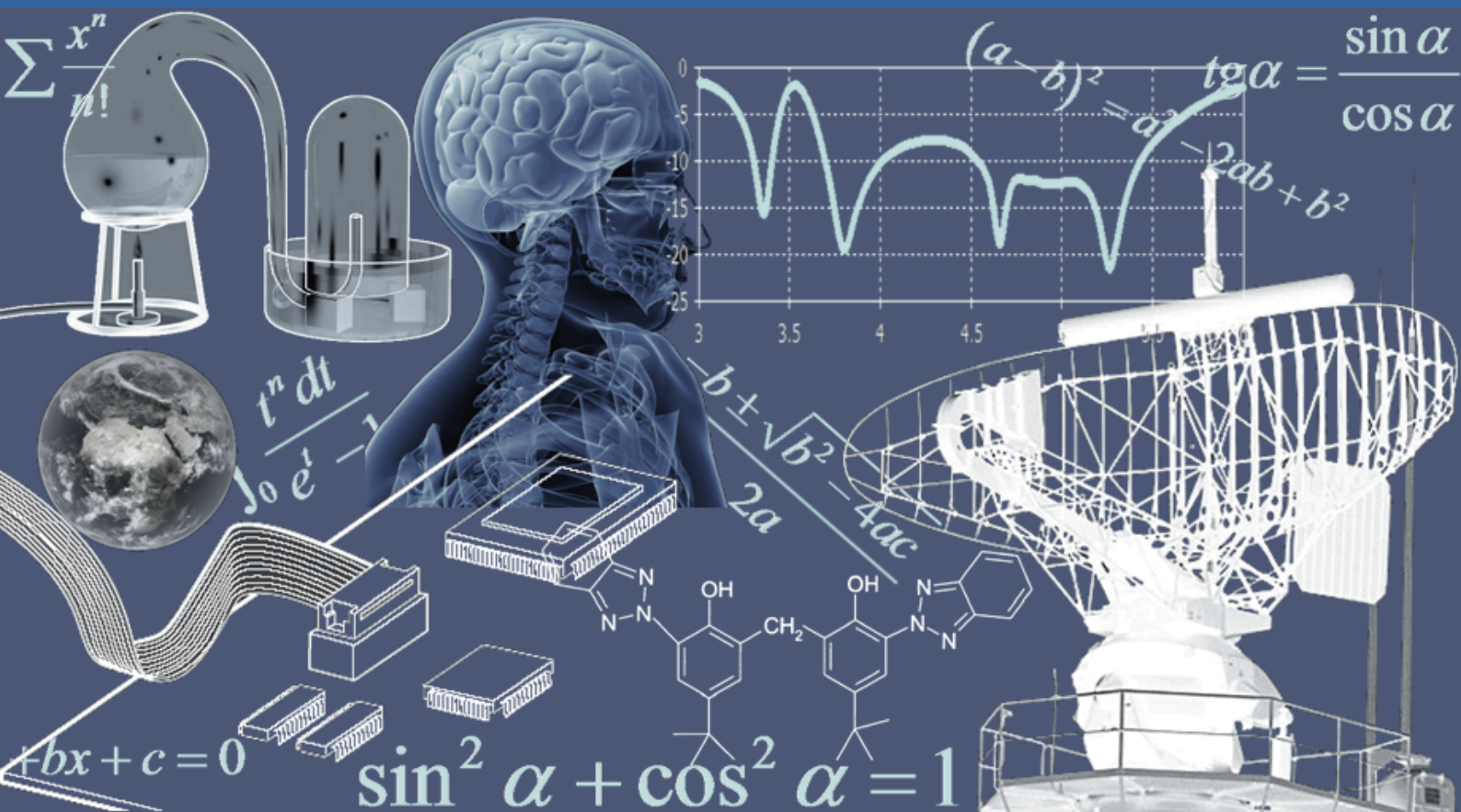


# INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 44 N. 2 December 2024



International Peer Reviewed Monthly Journal



## ***International Journal of Innovation and Applied Studies***

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

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

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

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

## ***Editorial Advisory Board***

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

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

## Table of Contents

A Hybrid Scheduling Algorithm for Reducing Average Waiting Time of Processes in Wireless Sensor Nodes <i>Deepak Kapila</i>	290-296
Usages des technologies de l'information et de la communication (TIC) et digitalisation de l'administration judiciaire au Togo: Etude de cas du tribunal de Kara <i>Adjeta Essossinam and Laptoro Achagnime</i>	297-304
Déterminants et logiques socio-économiques des pratiques paysannes dans les exploitations productrices de maïs dans les zones soudanienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso <i>Ouédraogo Eric, Zongo Koulibi Fidèle, GNANKAMBARY Zacharia, and Nacro Bismarck Hassan</i>	305-323
Diversité floristique de la forêt classée de Niégré (Sud-Ouest) de la Côte d'Ivoire <i>Anny Estelle N'Guessan, Konan Bienvenu Amani, Zinsi Roseline Gouli Gnanazan, and Ndja Justin Kassi</i>	324-335
Analyse d'un indicateur de gestion de réseau de distribution 30/6,6 kV et 30/20 kV du poste de LIMINGA en RDC <i>MIENANDI NE SAMBA Gilles, MPASI BENGI André, TSHIBANGU LUENDU Marcher, and Tangenyi Okito Marcien</i>	336-344
Autonomie de décision et consentement libre et éclairé des femmes pour l'accès aux soins de santé reproductive: Apport de la théorie socio-économique en milieu communautaire dans la zone de santé de N'DJILI <i>Mbongopasi Ekeni Bertine</i>	345-353
Etude des facteurs influençant la contamination des ressources en eau en milieu agricole dans le département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) <i>Kotchi Rodrigue OROU, Zahibo Oscar ONETIE, and Dotanhan YEO</i>	354-362
Famille comme écosystème de l'éducation à l'entrepreneuriat juvénile en RDC: Retour sur l'expérience entrepreneuriale d'un enfant de 11 ans <i>Galekwa Vundawe Jean-René, Banza Nsomwe-A-Nfunkwa Eustache, and Yakandi Mote René</i>	363-370
Interprétation des données gravimétriques et contribution à l'étude structurale du bloc Bilma (Bassin de Termit, Niger oriental) <i>Abdourhmane Halidou Amadou, Ismaël Ibrahim Cissé, and Adji Ousmane Gambo</i>	371-382
Weight and economic performance of goats in village fattening: Influence of choice of animal and duration <i>Adamou Karimou Ibrahim, ZAKOU Amadou, ABDOU Harouna, GARBA GOUSMANE Mariama, and Moumouni Issa</i>	383-392
The role of association in achieving sustainable development: Reality and interventions - Case study of Guelmim city (Morocco) <i>Fatma Bellali and Mohamed Jadaoui</i>	393-402
Conception d'outils/guides interactifs d'information et de sensibilisation: Application à la drépanocytose <i>Donald Romarick Rotimbo Mbourou and Lucrèce M. Delicat Loembet</i>	403-412
Novel benzophenone and xanthenes from leaves and root bark of <i>Salacia nitida</i> (Benth.) N.E. Br. <i>Assamala NOBA, Akoua Philomène KOUASSI-YAO, Zachée Louis Evariste AKISSI, Sandrine COJEAN, Soulaf SUYYAGH-ALBOUZ, Sébastien Pomell, Philippe M. LOISEAU, Kouassi Pierre Alain KONAN, Kouamé Jean Michel KOFFI, Alexandre MACIUK, Anoubile Benie, and Yao Denis N'DRI</i>	413-425
Effet de la dose de Glyphosate sur les caractéristiques chimiques du sol: Cas de quatre Commune rurale de la Préfecture de N'Zérékoré <i>Paul Lamah, Hamidou Bah, Adoté Hervé Gildas Akueson, Gbadieu Prosper Soumaoro, Aminata Camara, Nicole Gobéza Kolamou, and Diawadou Diallo</i>	426-434
Dynamic of CEC and exchangeable bases influenced by a sudanian forest in hydromorphic soil of Western Burkina Faso <i>Moïse YONI</i>	435-449
Influence de la Diversité Morphologique sur la Phénologie Florale de cultivars de <i>Phaseolus lunatus</i> L. en Côte d'Ivoire <i>Yao Kouakou Abessika Georges, Gbotto Ahou Anique, Anzara Gnigouan Kadio Guy Roland, Tiemoko Baqui Fabien, Gore bi Boh Nestor, Akaffou Doffou Sélastique, and Zoro Bi Irie Arsène</i>	450-456

Evaluation de variétés de niébé pour la tolérance à la sécheresse à la station expérimentale de Saria au Burkina Faso	457-463
<i><u>Antoine BARRO, Joseph NANAMA, Teyioué Bénéit Joseph Batiéno, and Zinmanké COULIBALY</u></i>	
Effect of indoor residual spraying on the entomological parameters of malaria transmission in Nassian, North-East in Côte d'Ivoire	464-477
<i><u>Roseline Josée Monsan Yapo, Constant Edi, Bernard Loukou Kouassi, Constant Guy N'guessan Gbalegba, Firmain N'dri Yokoly, Armand Kouassi Ekra, Nombour Gning Cissé, Joseph Chabi, Emmanuel Tia, Benjamin Guibéhi Koudou, and Grégoire Yapi Yapi</u></i>	
Réathlétisation d'un foot balleur après une ligamentoplastie du ligament croisé antérieur: Etude de cas	478-483
<i><u>Mame Ngoné Bèye, Mountaga Diop, Papa Serigne Diène, Ndiack Thiaw, Daouda Diouf, Mamouthiam Diop, Ndarao Mbenque, Amadou Diouf, Thierno Diouf, A. C. Thiam, Abdoulaye BA, Djibril Seck, and Abdoulaye Samb</u></i>	
L'analyse Cyclostratigraphie dans la mise en évidence des cortèges sédimentaires dans la marge d'Abidjan	484-491
<i><u>Blandine Akissi Egoran, Bi Youzan Aimé Gbamble, Fori Yao Paul Assale, and Mondé Sylvain</u></i>	
Levels of Bank Borrowing Preferences as a Source of Working Capital Finance Needs and the Financial Performance of SMEs in Cameroon	492-502
<i><u>Vivian Tueam Bongfomo, Emmanuel Beyina, and Etienne Francois Eloundou</u></i>	
Composition, diversité et structure de la végétation ligneuse du Sud-Ouest Nigérien	503-516
<i><u>Mourtala YOUNFA ABDOU, Maman Maarouhi INOUSSA, Maman Laouali ADAMOUBRAHIM, Idrissa Soumana, and Abdoul Latif HAMANI NOMA</u></i>	
De l'imaginaire au réel du développement durable: Comment mesurer les progrès accomplis vers l'idéal d'une agriculture familiale africaine durable ?	517-530
<i><u>Kouamé Kouadio Fernand and Ballo Zié</u></i>	
Analyse des variations des conditions météorologiques favorisant la durée d'humectation des feuilles d'anacardier dans les zones nord et centre-ouest de la Côte d'Ivoire	531-545
<i><u>Kignielman Riffard Luc Coulibaly, Alex Zilé Kouadio, Kouassi Amani, Nicaise Kassi Ette, Guillaume Koffi Kouassi, Wawogninlin Brice Coulibaly, and Christophe Kouamé</u></i>	
Effets de l'aménagement d'une cuvette oasienne pour une gestion durable des ressources naturelles dans le sud-est du Niger	546-557
<i><u>Maigari MALAM ASSANE, Lawandi KANEMBOU, Moctar ALLI SALEY, and Mahamane Ali</u></i>	

## A Hybrid Scheduling Algorithm for Reducing Average Waiting Time of Processes in Wireless Sensor Nodes

*Deepak Kapila*

Automobile Engineering, Chandigarh University, Gharuan, Mohali, Punjab, India

Copyright © 2024 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:** Wireless networks generally contain a large number of sensors, which are arbitrarily and densely located. These networks find use in various applications such as process management, health care monitoring, traffic analysis, and industrial process monitoring. Scheduling is commonly a technique which is used for controlling the process order of a Computer CPU. In wireless sensor networks for reducing the sensor's energy consumption and terminal delays, scheduling plays an important role for a choice of data packets like real-time data packets and non-real time data packets. Scheduling algorithms for instance First Come First Serve, preemptive and non-preemptive priority algorithms puts large processing overhead and long terminal delays in data transmission. The development of packet scheduling algorithms can efficiently improve the delivery of packets between various wireless links in wireless networks. With the use of algorithms like packet scheduling, quality of service can be assured and transmission rate can be improved for wireless sensor networks. This paper fundamentally focuses on the wireless sensor network nodes as for each node the process execution requires the minimum reach to target. In this work the First Come First Serve Algorithm and Priority Scheduling algorithm has been applied for calculating the end-to-end delay. It can further be used for combining the coverage area for next processes. Shortest Job First (SJF) scheduling algorithm is then applied for finding the execution time on the basis of priority time reduction. Finally, a contrast of end-to-end delay with process execution time is done.

**KEYWORDS:** WSN, Delay, Matlab, Scheduling, FCFS, CPU, SJF.

### 1 INTRODUCTION

The process of scheduling users for communication, in a wireless communication system plays a significant job for improvement of performance. The scheduling is usually a part of common resource management; usually involves the allocation of communication resources, particularly for shared transmission resources of wireless medium, with user based on their priority sequence. Scheduling has utmost importance for several wireless applications that supports user-to-user communication services like IP Multimedia Subsystem (IMS). As an example the real-time node to node MTS (Multimedia Telephony Services) have a great importance for gratifying the needs of a choice of user services for improving their quality [1].

For multimedia service which is being used by a dense population of users concomitantly, there is a great need for efficient allocation of communication resources available. For this the prime requirement is the proficient approach and implementation for scheduled access of communication resources to the users. For efficient process scheduling, a round-robin approach commonly employ the time-sharing, providing each process a fixed time-slot (CPU time allocation) and giving an interrupt to a process until it is completed. The process will start again when time window is allocated to that particular process. In case of no timesharing or if the allocated time slot is large in comparison to the size of processes, a job which produces large processes will be preferential over other processes.

## 2 SCHEDULING TYPES

### 2.1 FCFS (FIRST COME FIRST SERVE) SCHEDULING

FCFS scheduling algorithm is of non-preemptive type. For assigning priority to a process the First in – First out strategy is used in the order a request is made by a process. The process which requests the CPU at first is allotted the CPU at first. Other processes in the queue have to wait for CPU unless it is free. FCFS algorithm does not prove useful for scheduling of interactive users as it has a long average waiting time. First In First Out (FIFO), Run to Completion and Run Until Done are also known as the other types of FCFS [2].

### 2.2 SJF (SHORTEST JOB FIRST) SCHEDULING

In SJF scheduling technique the job which is shortest amongst the ready queue is executed first. The waiting time for the SJF is minimal. It is most appropriate for the bulk jobs that's run time are known in advance. Finding out which incoming process is shorter than other is the main disadvantage of this scheduling algorithm.

### 2.3 ROUND ROBIN SCHEDULING

The Round robin algorithm is specifically designed for the time shared systems. Round robin is similar to FCFS but it has the additional functionality of preemption to toggle between processes. Fixed time slots are assigned to each process in a rounded order for all processes regardless of their priority. Implementation of this algorithm is easy. It is also suitable for many other scheduling techniques like packet scheduling for computer networks [3].

## 3 FACTORS AFFECTING SCHEDULING

Scheduling is essentially a technique that defines the access provided to a user to transmit and to receive in each time slot. In Wireless Networks, scheduling reviews the difficulty on scheduled channel access with prominence on ad-hoc and wireless sensor networks contrasting to Wi-Fi, infrastructure-based, and cellular network [4]. It is focused to present pin-point of problems raised during allocation of shared resources within current and future wireless networks. A few factors affecting the scheduling are listed below:

### 3.1 DEADLINE

The scheduling techniques are divided based on deadline of coming of data packet at base station (BS), and are as:

- First Come First Serve (FCFS): In FCFS, data that arrives with a delay at the intermediate nodes of the network from the farthest nodes and requires a larger time for their delivery at base station (BS) whereas data from nearer neighbouring nodes requires lesser time for processing at intermediate nodes [5].
- Earliest Deadline First: Each packet has a defined deadline whenever it is available at the ready queue during which it will be sent to base station. Data packets with nearest deadline are first sent. The algorithm is very efficient pertaining to waiting time of packets and end delay [6].

### 3.2 PRIORITY

The scheduling techniques are divided based upon priority of packets which the sensor senses at diverse sensor node.

- Non-preemptive: In this technique, If packet X start its execution, it keeps on running even if any packet Y arrive at the ready queue. Therefore packet Y has to wait until the execution of packet X is complete [7].
- Preemptive: In this packet scheduling, the packets with higher priority are first processed and can make wait the lower priority packets if they are running already [8].

## 4 PROPOSED ALGORITHM

Scheduling is essentially used for managing implementation of all the processes in a wireless sensor network node. In a computer system CPU is the only important resource which is scheduled before its use. Priority packet scheduling is first used for scheduling diverse data packets at nodes. Most scheduling techniques in sensor networks use FCFS and are associated long end delay problems in transmission of data, higher consumption of energy [9]. The denial of high priority data packets is also problematic in allocating packets for execution. In this research a combination of scheduling algorithms like priority is made considering the coverage area. By combining SJF all the priority related problems were reduced. Thus the execution time of processes is significantly reduced and better results are obtained than previous [10].

### 4.1 OBJECTIVES

- To implement a hybrid scheduling technique
- To minimize end-to-end delay
- To minimize the final execution time
- Comparison with other scheduling algorithms

## 5 RESEARCH METHODOLOGY

In this research process we have made a hybrid algorithm of scheduling in wireless networks that includes the following steps:

- Creation of a table of sensor nodes present in the wireless network for their burst time and priority
- Application of FCFS scheduling algorithm for calculating the average time
- Simultaneously, application of the priority algorithm to calculate the average waiting time.
- Choosing the appropriate algorithm among these two (FCFS & Priority) for making a hybrid algorithm along with coverage area.
- Determination of nodes in the coverage area and reduction of processing time based on their distance from the base station (BS).
- After application of priority algorithm for time reduction, SJF (shortest job first) algorithm is applied for calculating the new average process waiting time.
- Comparison of average delay and processing time of hybrid algorithm with the previous ones.

## 6 RESULT ANALYSIS

Matlab tool is used for this analysis. A certain number of processes (see Table 1) are taken which arrive at sensor node simultaneously in a given order. The scheduling techniques such as FCFS, Priority and Proposed scheduling techniques have been applied for the analysis of performance of processes at sensor node.

*Table 1. Group of Processes at Sensor Node*

Process Name	Burst Time (ms)	Priority Order
P1	15	2
P2	24	7
P3	18	1
P4	22	8
P5	36	4
P6	21	6
P7	46	3
P8	14	10
P9	16	5
P10	9	9

**6.1 FCFS ALGORITHM IMPLEMENTATION**

Gantt chart for group of processes as per FCFS is:

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
0	15	39	57	79	115	136	182	196	212	221

Average time =  $1031/10$

= 103.1000 ms

Turnaround time = burst time + waiting time

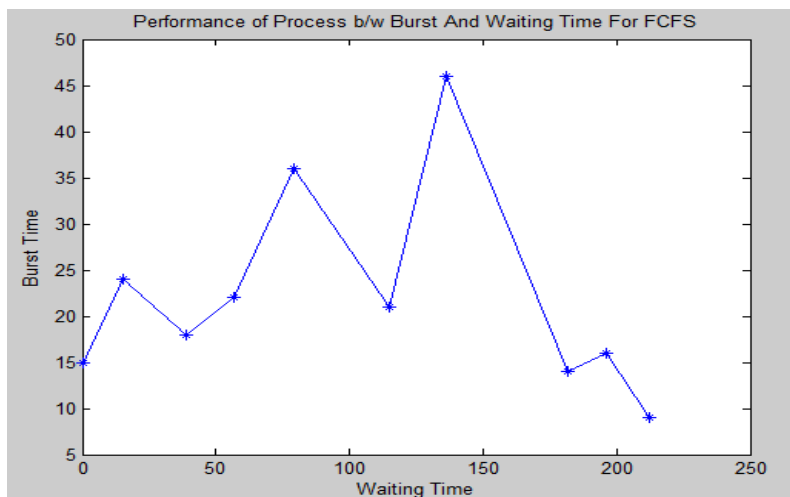
=  $1031 + 221$

= 1252 ms

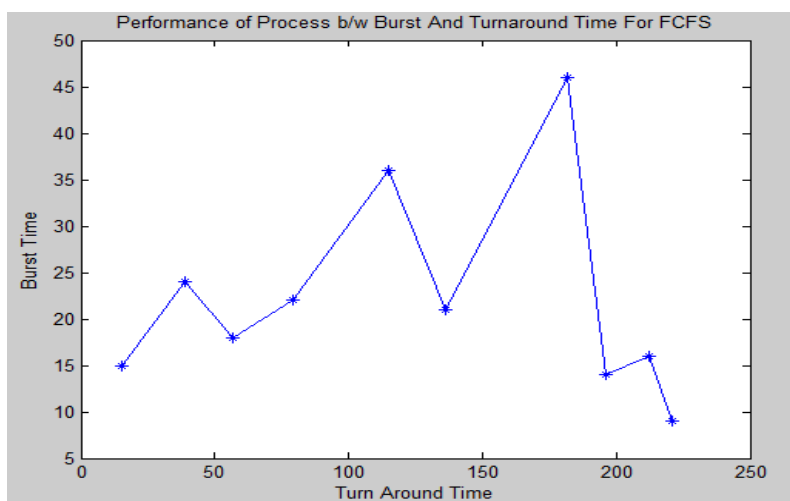
Average turnaround time =  $1252/10$

= 125.2000 ms

Matlab results for FCFS algorithm:



**Fig. 1. Average waiting time for FCFS**



**Fig. 2. Turnaround time for FCFS**

6.2 PRIORITY ALGORITHM IMPLEMENTATION

Gantt chart for group of processes as per Priority Algorithm is:

P3	P1	P7	P5	P9	P6	P2	P4	P10	P8	
0	18	33	79	115	131	152	176	198	207	221

Average waiting time =  $1109/10$

= 110.9000 ms

Turnaround time = burst time + waiting time

= 1109 + 221

= 1330 ms

Average turnaround time =  $1330/10$

= 133 ms

Matlab results for Priority algorithm:

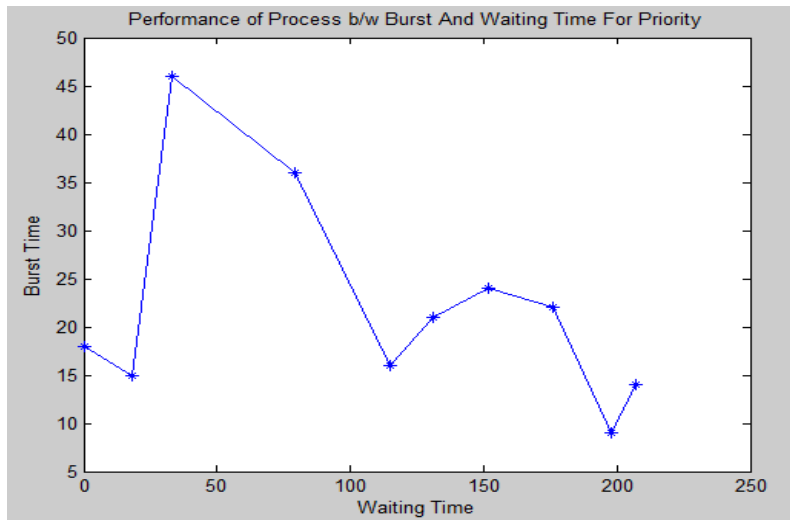


Fig. 3. Average waiting time for Priority Algorithm

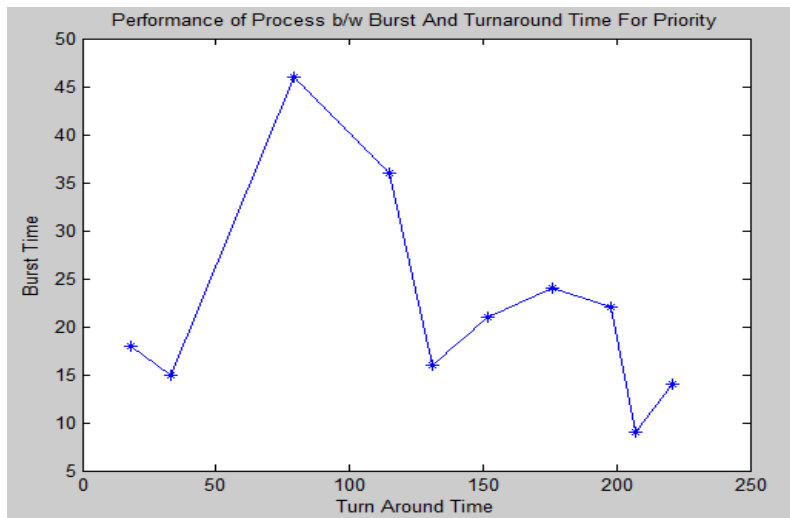


Fig. 4. Turnaround time for Priority Algorithm

**6.3 HYBRID ALGORITHM IMPLEMENTATION**

Gantt chart for group of processes as per Priority Algorithm is:

P10	P8	P1	P9	P3	P6	P4	P2	P5	P7	
0	7	16	27	39	54	73	94	117	149	194

Average waiting time =  $576/10$

= 57.6000 ms

Turnaround time = burst time + waiting time

=  $576 + 194$

= 770 ms

Average turnaround time =  $770/10$

= 77 ms

Matlab results for Proposed algorithm:

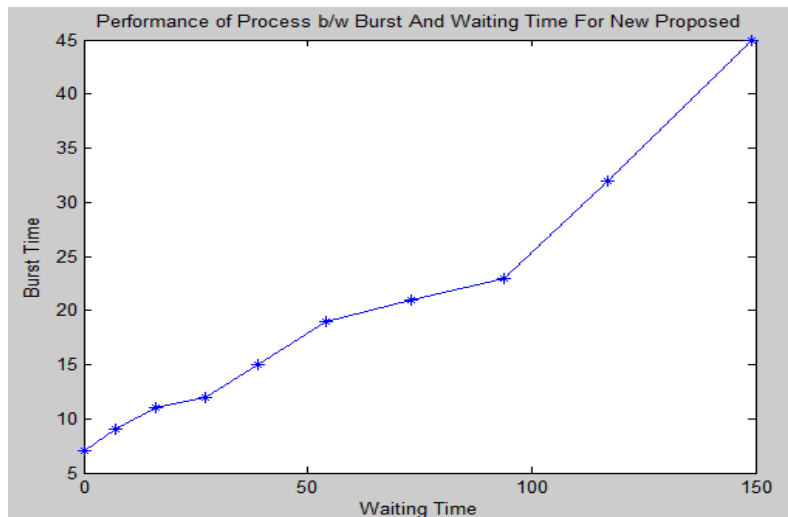
Final results are shown below obtained after applying hybrid scheduling technique for calculating average completing time and also a relative analysis is done with further techniques such as FCFS and Priority scheduling.

*Table 2. Average Time Delay*

FCFS	PRIORITY	PROPOSED
103.1000 ms	110.9000 ms	57.6000 ms

*Table 3. Execution Time*

FCFS	PRIORITY	PROPOSED
125.2000 ms	133 ms	77 ms



*Fig. 5. Comparison between Burst and Waiting time*

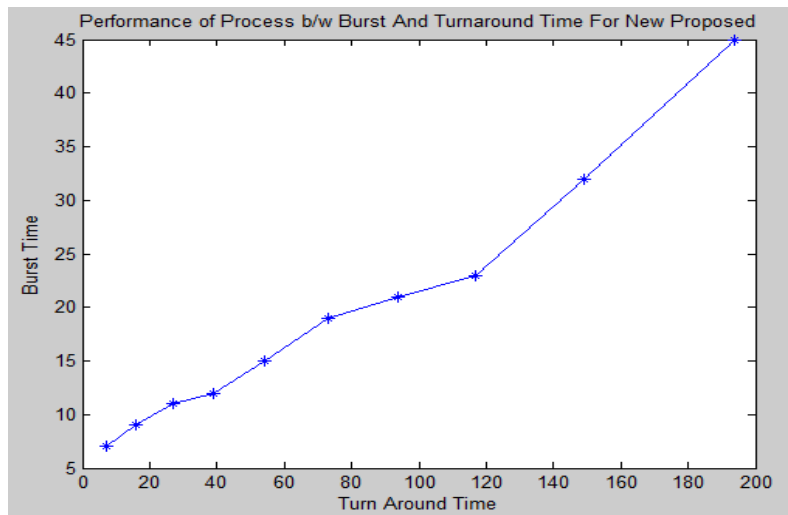


Fig. 6. Comparison between Burst and Turnaround

## 7 CONCLUSION

This experimentation shows the proposed hybrid scheduling algorithm yields improved performance as compared to old FCFS and Priority algorithms for average waiting time and delay time calculation. The higher priority data transmission is assured for end to end. The system degradation problem has been significantly reduced. The deadlock is reduced for real time processes and they don't need to wait for a longer time for execution. In this experimentation a hybrid algorithm for scheduling is proposed for reducing the process execution time in wireless sensor networks.

## REFERENCES

- [1] C. Annadurai, «Review of Packet Scheduling Algorithms in Mobile Ad Hoc Networks,» *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 15, no. 1, pp. 7–10, 2011.
- [2] A. Science, «R-t w s n,» 2007.
- [3] N. Naji, M. R. Abid, N. Krami, and D. Benhaddou, «Energy-aware wireless sensor networks for smart buildings: A review,» *J. Sens. Actuator Networks*, vol. 10, no. 4, pp. 1–22, 2021.
- [4] J. Medina-García, T. Sánchez-Rodríguez, J. A. G. Galán, A. Delgado, F. Gómez-Bravo, and R. Jiménez, «A wireless sensor system for real-time monitoring and fault detection of motor arrays,» *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 3, 2017.
- [5] R. Wan, N. Xiong, and N. T. Loc, «An energy-efficient sleep scheduling mechanism with similarity measure for wireless sensor networks,» *Human-centric Comput. Inf. Sci.*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [6] N. Nasser, L. Karim, and T. Taleb, «Dynamic multilevel priority packet scheduling scheme for wireless sensor network,» *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 12, no. 4, pp. 1448–1459, 2013.
- [7] M. Sirisha and S. Swetha, «A Survey On WSN OS Using Real-Time Scheduling Strategy,» vol. 1, no. 5, pp. 13–19, 2013.
- [8] A. Chandrakasan *et al.*, «Design considerations for distributed microsensor systems,» *Proc. Cust. Integr. Circuits Conf.*, pp. 279–286, 1999.
- [9] M. Andrews, «A Survey of Scheduling Theory in Wireless Data Networks,» vol. 07974, pp. 1–17, 2007.
- [10] S. R. A. O. Peram and P. Bulla, «Analysis on Priority Based Data Packet Scheduling Algorithms for Adhoc Sensor Networks,» no. 1, pp. 224–229, 2017.

## Usages des technologies de l'information et de la communication (TIC) et digitalisation de l'administration judiciaire au Togo: Etude de cas du tribunal de Kara

### [ Uses of information and communication technologies (ICT) and digitalization of judicial administration in Togo: Case study of the Kara court ]

*Adjeta Essossinam and Laptor Achagnime*

Université de Kara, Togo

---

Copyright © 2024 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:** Information and communication technologies (ICT), as a means of disseminating and transmitting information, have conquered the whole world through their role and function within society. The aim of this research is to describe the role of ICT in the modernization of the justice system. Achieving this objective by combining a mixed methodology, through a triangulation of methods and tools with 99 Internet users, has enabled us to show that ICT has had a positive effect on digitization, as these tools have been used to disseminate information and speed up case processing. From these results, we can see that ICTs have made advances in the functioning of the justice system, even if others perceive it as complicated because it's not adapted to their reality. But we can say that innovation was a fundamental reality to save justice from its ills.

**KEYWORDS:** judicial administration, digitalization, modernization, ICT, Togo.

**RESUME:** Les technologies de l'information et de la communication (TIC) comme moteur de diffusion et de transmission de l'information ont conquis tout le monde entier à travers les diverses fonctions qu'elles remplissent au sein de la société. La présente recherche a pour objectif de décrire le rôle des TIC dans la modernisation de la justice. L'atteinte de cet objectif à combiner une méthodologie mixte, à travers une triangulation de méthodes et d'outils auprès de 99 enquêtés nous a permis de montrer que les TIC ont eu un effet positif dans la digitalisation, ces outils ont été utilisés pour diffuser les informations et une célérité dans le traitement des dossiers. De ces résultats, il faut retenir que les TIC ont eu des avancées dans le fonctionnement de la justice. Quand bien même que d'autres la perçoivent comme compliqué parce qu'elles ne sont pas adaptées à leur réalité, nous disons quand même que l'innovation était une réalité fondamentale pour sauver la justice de ses maux.

**MOTS-CLEFS:** administration judiciaire, digitalisation, modernisation, TIC, Togo.

## 1 INTRODUCTION

La révolution industrielle et le progrès scientifique a été mentionné comme l'un des facteurs du développement de nombreux secteurs de la vie. La transformation des sociétés traditionnelles en sociétés industrielles a été possible grâce à cette révolution. Le désir des individus vivants dans la société de communiqué ensemble a conduit à une forme de communication celle du son des tambours, le message envoyé par les animaux. Par ailleurs, ces modes de communication sont passés des phases archaïques vers les phases modernes avec l'industrialisation de la société. L'objectif de la communication étant de diffuser l'information et atteindre un public plus vaste et plus loin a suscité l'instauration des technologies de l'information et de la communication (TIC) qui vont désormais révolutionner les modes de communication entre les individus. Pour N. M. Gnane

(2014: 13) « *l'émergence de ces technologies dites de l'information et de la communication (tic) est à mettre à l'actif du processus qualifié d'informatisation de la société* ».

De même, pour S. Proulx cité par N. M. Gnane (2014: 13):

Ces technologies informationnelles ont été mobilisées dans la réorganisation en profondeur des sociétés industrielles depuis 1975. La clé technique qui a permis l'envol des technologies informationnelles réside dans la numérisation du signal qui a rendu possible la convergence technologique entre les grands domaines de l'informatique, des télécommunications et de l'audiovisuel. Le monde a fait donc son entrée dans le numérique, marqué aujourd'hui par le développement de l'internet et du téléphone mobile qui pénètrent tous les secteurs de la vie.

Ainsi, cette transformation de la société par les moyens de communication les plus modernes a facilité le contact entre individus. Plusieurs domaines: politique, judiciaire, économique, sociale, éducatif, sanitaire, agricole, religieux etc... ont vu leur performance développer. Grâce à cette révolution technologique, l'information passe désormais par les canaux tels que ordinateurs, téléphones portables, smartphones rendant plus délicate et rapide l'information quel que soit le lieu où se trouve une personne. Pour C. Qiang cité par N. M. Gnane (2014: 16):

Grâce à la diffusion des technologies sans fil, l'accès aux services de téléphonie s'est considérablement renforcé dans les pays en développement. Cette technologie a probablement eu un impact plus fort et plus rapide sur la vie de ses utilisateurs que toutes celles qui l'ont précédée.

L'avancée rapide et significative de cette technologie et de nombreuses innovations opérées dans divers domaines ont permis de tourner un regard vers la digitalisation de l'administration judiciaire qui constitue un élément important de la présente recherche.

Le développement des technologies de l'information et de la communication a eu un élan très rapide sur la performance des activités dans les institutions et dans les industries. Confrontée depuis plusieurs années à la difficulté d'archivage des documents, de s'étendre à toutes les couches sociales, de fournir un service satisfaisant à tout citoyen, l'administration judiciaire a donné le coup de signal à l'Etat Togolais avec l'aide du PNUD et Union Européenne à lancer le processus de digitalisation de la justice. En effet, plusieurs programmes, projets et lois ont meublé la réalisation de ce processus de modernisation.

Parmi ces programmes, le programme national de modernisation de la justice (PNMJ) dont l'échéance s'est étendue de 2005 à 2010 avec l'objectif de rendre la justice plus efficace, efficiente et accessible à tous les citoyens même les plus vulnérables. Le programme d'appui au secteur de la justice (PASJ) lancé en 2014 avec comme objectif de renforcer l'accès, la performance et la qualité de la justice au Togo, lutter contre la corruption et l'enrichissement illicite. La politique nationale de la justice avec un plan d'action 2016-2020. La loi (N° 2009-24 du 30 octobre 2009) de création du Centre des formations des professions de justice (CFPJ) et la loi du 30 octobre 2019 portant code de modernisation de la justice avec mission la construction du tribunal militaire, la construction du tribunal de commerce et la digitalisation de la justice par l'introduction des technologies de l'information et de la communication (tic). Ce processus de digitalisation de la justice consiste à remplacer de plus en plus systématiquement les anciens outils papier (répertoires, registres et fichiers) et permettre d'accéder à quelques minutes aux dossiers numérisés. Réduire les coûts d'accès aux juridictions, réduire sa lenteur, le rapproché aux justiciables, alléger les tracasseries liées à son accès et le rendre plus efficace, efficiente rapide et accessible à tous.

Cette recherche a pour objectif de décrire le rôle des TIC dans la digitalisation de l'administration judiciaire et sa contribution pour la modernisation de la justice au Togo. A partir de l'exemple du tribunal de Kara, il s'agit spécifiquement d'évaluer les perceptions et connaissances des usagers de l'administration judiciaire de Kara sur l'utilisation des TIC dans la modernisation de la justice, connaître l'état de fonctionnement de la justice avant le projet de modernisation et ensuite décrire la contribution des TIC dans la digitalisation de la justice.

## **2 CADRE THEORIQUE DE REFERENCE ET METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE**

### **2.1 APPROCHE THÉORIQUE**

Dans le but de mieux appréhender le phénomène de l'usage des TIC dans la modernisation de la justice au Togo, nous nous sommes référés à deux théories en guise de modèle d'analyse. Il s'agit du modèle de l'acceptation des technologies (TAM) de F. D. Davis et la théorie de la diffusion de l'innovation d'Everett Rogers. La première théorie tire ses origines de la théorie de l'action raisonnée, pour montrer comment l'introduction d'une technologie au sein d'un groupe d'individus ou institution peut être acceptée en fonction de l'utilité et les conditions facilitatrices de son utilisation. Selon ce modèle le destinataire doit être

rassuré que cette technologie satisfera son besoin et qu'il ait les moyens de l'adopter. Sur la base du modèle de l'acceptation des technologies, le lien qu'on peut établir avec cette recherche est que cette théorie permet de montrer comment une technologie peut influencer les individus et contraindre ces derniers à l'adopter au regard de son utilité et avantage perçu.

La seconde théorie est celle de la diffusion de l'innovation (en anglais, Innovation Diffusion Theory). Proposée en 1962 par Everett Rogers, elle a été appliquée autant sur le plan individuel (Rogers, 1995) que sur le plan organisationnel (Zaltman, Duncan et Holbeck, 1973). Bien que ne concernant pas uniquement les technologies informatiques, elle offre un cadre conceptuel au concept d'acceptabilité car son but est d'expliquer comment une innovation technologique évolue du stade d'invention à celui d'utilisation élargie. Selon Rogers (1995), il existerait cinq éléments qui détermineraient l'adoption ou la diffusion d'une nouvelle technologie. L'avantage de cette théorie est de montrer comment une innovation évolue dans les sociétés ou organisations et les conditions qui sous-tendent ou qui obligent une structure d'adopter cette innovation et partant de là exposer les résultats qui en découlent de l'adoption de cette technologie.

## 2.2 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

Cette section nous a permis de définir les méthodes de collecte de données, la population cible le nombre de personnes a enquêté et le types de questionnaires à administrer, ainsi que les types de recherche à savoir la recherche documentaire, la recherche qualitative et celle quantitative.

Les recherches de terrain nous ont permis de retenir un effectif de (99) individus interrogés; cette portion d'individus constitue l'échantillon d'enquête. Dans le présent article nous avons adopté pour l'échantillonnage de type aléatoire simple où tous les individus ont été interrogés sans distinction de profession de niveau d'instruction ou de classe sociale. La collecte des données sur le terrain à l'aide du questionnaire, le guide d'entretien nous a conduit à la phase de vérification et validation des données; puis à un traitement informatique, du dépouillement ainsi que la présentation des résultats. Dans le but d'assurer un soin particulier au traitement et à la présentation des résultats, le dépouillement s'est fait avec le logiciel SPSS (Statistical Package of Social Science). A la suite du dépouillement, ce même logiciel nous a servi pour la construction des tableaux, des diagrammes ainsi que des histogrammes.

Le traitement des données qualitatives s'est fait par retranscription et après nous avons regroupé les informations de même tendance et nous avons procédé à l'interprétation et la discussion des résultats, le logiciel WPS nous a aidé dans l'accomplissement de cette tâche.

## 3 RÉSULTATS

L'enquête de terrain réalisée dans la ville de Kara qui abrite le tribunal qui fait objet d'étude (enquête par questionnaire et entretiens individuels), a abouti à des résultats diversifiés. Il consiste ici de présenter ces résultats comme tel et de les analyser avant de passer à leur interprétation et discussion.

### 3.1 PERCEPTION ET CONNAISSANCE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION AU SEIN DE LA JUSTICE PAR LES CITOYENS.

**Tableau 1.** Répartition des enquêtés selon la connaissance des TIC au sein de la justice et leur perception liée à l'utilisation

Connaissance des TIC au sein de la justice		Perception de l'usage des TIC au sein de la justice				Total
		Facile	Pas facile	Complicé	Moyen	
Oui	Effectif	62	22	4	1	89
	%	95.3%	91.6%	80%	100%	93.6%
Non	Effectif	3	2	1	0	6
	%	4.6%	8.3%	20%	0%	6.3%
Total	Effectif	65	24	5	1	95
	%	68.4%	25.2%	5.2%	1.0%	100%

*Source: enquête de terrain, mars 2024*

Selon le tableau1 ci-dessus, la perception de l'usage des TIC au sein de la justice dépend de la connaissance de cet outil. Il ressort que 95.3% (n=62) ont connaissance des technologies au sein de la justice et ils affirment que l'utilisation de cet outil est facile; 91.6% (n=22) aussi ont connaissance de cette technologie mais affirment que l'utilisation n'est pas facile. Par contre, d'autres interviewés affirment ne pas avoir connaissance de cette digitalisation au sein de la justice. 20% (n=1) prétendent que

l'usage est compliqué soit 100% de l'échantillon total. Après analyse il ressort que 95.3% (n=62) des interviewés sont ceux qui utilisent facilement cet outil pour accéder ou avoir un document au sein de la justice.

**Tableau 2. Répartition des enquêtés selon l'appréciation des TIC par rapport au type de technologie utilisé**

Appréciation des TIC		Le type de technologie utilisé				Total
		Ordinateurs	Téléphones portable	Smartphones	Ordinateur, smartphone	
Très bon	Effectif %	12 41.3%	48 82.7%	4 57.1%	0 0%	64 67.3%
Bon	Effectif %	17 58.6%	10 17.2%	3 42.8%	1 1%	31 32.6%
Total	Effectif %	29 100%	58 100%	7 100%	1 100%	95 100%

Source: enquête de terrain, mars 2024

L'utilisation d'une technologie est toujours suivie d'une appréciation qu'elle soit bonne ou mauvaise, les internautes dans le tableau ci-avant apprécient les TIC selon l'usage qu'ils en font; 41.3% (n=12) des enquêtés utilisent les ordinateurs pour les services de la justice et ces derniers ont une très bonne appréciation; d'autres par contre 82.7% (n=48) utilisent le téléphone portable pour les services de la justice. Ils ont aussi une très bonne appréciation des technologies, de même les utilisateurs de smartphones ont aussi une très bonne appréciation des technologies. Ils représentent 57.1% (n=4) de l'échantillon. Soit un total de 100% de l'échantillon total. Il ressort de ce tableau que le téléphone portable est l'élément le plus utilisé et son usage laisse une très bonne appréciation de la part de nos internautes.

### 3.2 L'ETAT DE FONCTIONNEMENT DE LA JUSTICE AVANT LE PROJET DE MODERNISATION.

**Tableau 3. Répartition des enquêtés selon les raisons de l'instauration des TIC au sein de la justice**

Les raisons de l'instauration des TIC au sein de la justice	Effectif	Pourcentage
Difficulté d'accès à la justice	9	9.4%
Mauvaise gestion des dossiers archivés manuellement	14	14.7%
Perte de dossiers des justiciables	8	8.4%
Lenteur dans le traitement des dossiers	10	10.5%
Lenteur dans le traitement des dossiers, mauvaise gestion des dossiers archivés manuellement, pertes des dossiers, la corruption	54	56.8%
Total	95	100%

Source: enquête de terrain, mars 2024

Le tableau n°3 ci-dessus présente les raisons qui ont suscité le projet de modernisation de la justice, il ressort après lecture que, 56.8% (n=54) disent que c'est la lenteur dans le traitement des dossiers, la mauvaise gestion des dossiers archivés manuellement, la perte des dossiers ainsi que la corruption sont les véritables raisons de cette digitalisation au sein de l'appareil judiciaire, 14.7% (n=14) estiment que c'est la mauvaise gestion des dossiers archivés manuellement soit un total de 100% de l'échantillon total.

De ce tableau nous pouvons dire que les causes de l'instauration des technologies au sein de la justice sont liées à la lenteur dans le traitement des dossiers, la mauvaise gestion des dossiers archivés manuellement, la perte des dossiers ainsi que la corruption.

### 3.3 RÔLE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION AU SEIN DE LA JUSTICE

**Tableau 4.** Répartition des enquêtés selon la connaissance des TIC au sein de la justice et le rôle des TIC dans la prestation des services judiciaires

Rôles des TIC dans la prestation des services judiciaire		Connaissance des TIC au sein de la justice		Total
		Oui	Non	
Amélioration du travail au sein de la justice	Effectif %	6 6,7%	0 0%	6 6.3%
Réduction des coûts liés à la justice	Effectif %	3 3.3%	1 25%	4 4.2%
Institutionnalisation du casier judiciaire	Effectif %	9 10.1%	0 0%	9 9.4%
Amélioration du travail, institutionnalisation du duplicata de nationalité	Effectif %	25 28.0%	2 18.2%	27 28.4%
Amélioration du travail institutionnalisation du casier judiciaire	Effectif %	21 23.6%	0 0%	18 18.9%
Amélioration du travail au sein de la justice, réduction des coûts lié à la justice	Effectif %	17 19.1%	2 10%	19 20.0%
Institutionnalisation du casier judiciaire et du duplicata de nationalité	Effectif %	8 8.9%	1 5.6%	9 9.4%
Total	Effectif %	89 100%	6 100%	95 100%

Source: enquête de terrain, mars 2024

Les résultats du tableau n°4 ci-dessus montrent les différents propos des internautes sur le rôle des TIC au sein de la justice, on constate que, 28.0% (n=25) pensent que les TIC ont amélioré le travail au sein de la justice ainsi que l'institutionnalisation du duplicata de nationalité, 19.1% (n=17) affirment que les TIC non seulement ont amélioré le travail au sein de la justice; ils ont aussi réduit les coûts liés à la justice. Par contre certaines de nos internautes n'ont pas connaissance de cet outil au sein de la justice mais pour 25% (n=1) cela permet de réduire les coûts liés à la justice, 18.2% estiment que cela améliore le travail au sein de la justice et l'obtention facile du duplicata de nationalité.

D'après analyse, le rôle des technologies a été remarquable au sein de la justice. Il en résulte que les technologies ont amélioré le travail au sein de la justice, réduit les coûts liés à la justice, l'institutionnalisation du duplicata de nationalité et du casier judiciaire.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 PERCEPTION ET CONNAISSANCE DE L'USAGE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION AU SEIN DE LA JUSTICE PAR LES CITOYENS

Les résultats de la recherche montrent que les citoyens perçoivent les outils technologiques comme des instruments d'accélération du travail et de réduction de temps dans les différentes tâches de l'administration judiciaire. La célérité et la réduction du temps de traitement des dossiers font partie intégrante de la diffusion de l'information au sein de la justice. Le modèle de l'acceptation des technologies de F. D. Davis (1989) explique en partie cette perception des technologies au sein de la justice, parce que selon cette théorie les individus évaluent l'utilité ou les avantages d'un outil avant son adoption pour une activité. La digitalisation de l'administration judiciaire au moyen des TIC a été évaluée comme une pratique ayant réduit un tant soit peu, les peines des usagers dans le traitement des dossiers et ayant facilité le travail aux agents du tribunal de Kara.

Cette perception de certains de l'usage des technologies au sein de la justice n'a pas fait véritablement l'unanimité de tous les internautes; car, d'autres les considèrent comme trop compliquées en raison de leur incapacité à s'adaptation et les complications qui font partie intégrante à cet outil et préfère toujours ce contact physique au lieu de celle virtuel malgré les nombreux atouts qu'offre cette technologie. Notre recherche rejoint celle de D. Horvilleur, (2011) qui pense que malgré l'existence d'internet et le fait qu'il impact l'interaction des individus, les pratiques traditionnelles ne pourront être remplacées du fait que le contact physique reste très important chez les individus.

Par contre, comme le prédisent les tenants de l'acceptation des technologies, bien que l'utilité d'une technologie soit bien déterminante il faille néanmoins qu'après la décision de l'utiliser que l'individu ait les moyens pour s'en procurer. Dans une étude, F. Daghami (2011) montre que les technologies bien qu'elles soient les outils de diffusion de l'information, les pays du sud ont des problèmes liés aux infrastructures techniques, l'analphabétisme, le faible pouvoir d'achat qui constituent un frein pour accéder à l'internet. Ce résultat est une évidence parce que certaines personnes analphabètes et ceux en manque de moyens pour s'offrir cet outil sont ceux qui perçoivent déjà cette innovation comme une dépréciation des normes établies, donc difficile. En effet, bien que certaines personnes soient instruites et possédant les moyens pour se procurer ces outils afin de faciliter le travail, elles trouvent toujours des dérives et des difficultés dans leur utilisation.

L'importance de cette hypothèse du point de vue de cette recherche est d'avoir fait un contour sur la perception des citoyens de l'utilisation des TIC au sein de l'administration judiciaire. Eu égard à notre échantillon d'étude nous pouvons dire que ces résultats peuvent être extrapolés à la population totale.

#### **4.2 ETAT DE FONCTIONNEMENT DE LA JUSTICE AVANT LE PROJET DE MODERNISATION**

Les résultats de recherche sur le terrain ont montré que les difficultés dans la prestation des services judiciaires en termes d'archivage, la lenteur dans le traitement des dossiers en temps record, la corruption sont en quelque sorte les difficultés auxquelles était confrontée le tribunal de Kara. Ce résultat rejoint celui d'une étude antérieure réalisée par les auteurs P. Noreau et A. Pasca (2014, p. 44) dans leurs études sur les grands modèles de la justice. Il ressort de leur analyse que, la justice canadienne et québécoise sont trop lentes, coûteuses et très éloignées. La longueur des délais et des procédures est en quelque sorte les facteurs évoqués par les citoyens sur la justice. En effet, bien qu'il existe une rigueur au sein des tribunaux occidentaux ces dérives ne sont pas écartées des juridictions. De même, bien qu'étant plus nantis avec une accessibilité facile aux outils informatiques, ces pays sont aussi confrontés à la lenteur des procédures; ce qui ne cesse de faire sujet de discussion des justiciables.

Les résultats de la présente étude corroborent ceux de Jean du Bois de Gaudusson (2014) réalisée en Afrique sur la véritable portée de la digitalisation de l'appareil judiciaire au regard des défis qui sont toujours d'actualité. De même, dans ce vaste champ de critique dressée contre le fonctionnement de la justice une autre étude réalisée au Sénégal par S. Moussa (2014) a révélé le phénomène d'éloignement des tribunaux. En effet, non seulement ceux-ci sont éloignés mais les seuls qui existent sont mal repartis géographiquement. En conséquence, les justiciables parcourent une longue distance pour bénéficier des services de l'administration judiciaire. Ces résultats sont comparables à ceux d'une étude du ministère de la justice de l'Etat togolais en 2005 qui révèlent que les tribunaux sont non seulement éloignés mais mal repartis sur le territoire togolais et la grande partie se trouve dans les locaux délabrés avec une absence d'infrastructures de fonctionnement, absence d'outil de gestion informatisé, obligeant les professionnels de la justice à exercer leurs activités manuellement, source d'allongement dans le traitement des dossiers. Cette situation a entraîné la fusion des tribunaux de première, deuxième et troisième classe en tribunaux de première instance afin d'éviter cet étalage sans gestion efficace.

Le mauvais archivage des dossiers stockés manuellement est l'une des situations révélées par les résultats auxquels nous sommes parvenus dans nos investigations sur le terrain. A cet effet, un enquêté s'exprime à ces termes: « avant les réformes de modernisation de la justice au Togo, nous étions toujours confrontés à d'énormes difficultés liées à l'archivage des dossiers. Il arrive parfois qu'on enregistre des pertes de dossiers. Cela a toujours causé du tort et des désagréments aux justiciables ». Ces résultats rejoignent ceux de F. B. Berger (2002) qui montrent que l'usage du support papier et des tomes au sein de la justice constitue un obstacle dans l'avancement des affaires judiciaires. L'auteur déclare que ces supports occupent trop de place et encombrant les chambres et les bureaux.

Non seulement le contact physique entre justiciables et professionnels de la justice dans le cadre du traitement manuel des dossiers est source de corruption, mais retarde également la procédure du traitement. Un enquêté déplore la situation en ces termes:

C'est embêtant de mettre une à deux semaines avant de réussir à voir un professionnel de justice pour un quelconque service à cause des affluences insupportables devant les bureaux du tribunal de Kara. Les rendez-vous pour rencontrer un juge par exemple sont parfois négociés et payant auprès de certains démarcheurs qui revendiquent être des agents de la justice. Cela rallonge la durée du traitement des dossiers et provoque la corruption.

Nos travaux rejoignent ceux d'une étude réalisée au Bénin par Afri Map et Open Society Initiative for West Africa (2010) où il ressort que la corruption et l'intégration du pouvoir exécutif dans le fonctionnement de la justice constitue le nerf de son dysfonctionnement.

Les résultats de cette recherche ont permis de toucher du doigt les réalités qui ont conduit l'administration judiciaire en général et celle du tribunal de Kara en particulier à procéder à sa digitalisation enfin de parvenir à une meilleure prestation. De ces résultats nous pouvons affirmer que notre seconde hypothèse est confirmée.

#### 4.3 RÔLE DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION AU SEIN DE LA JUSTICE

Les résultats de la recherche attestent le rôle des TIC au sein de la justice. En effet, les TIC ont contribué au rapprochement des justiciables aux juridictions et ont facilité l'archivage numérique des dossiers et la synchronisation des juridictions pour faciliter la délivrance des actes tels que les casiers judiciaires, les certificats de nationalité, etc. Une enquêtée se réjouit de la digitalisation de l'administration judiciaire en termes :

Depuis que la digitalisation des services de la justice est devenue une réalité au Togo, nous sommes très soulagés. Les citoyens ne sont plus obligés de se rendre dans leurs lieux de naissance avant de se faire délivrer un casier judiciaire parce que la demande de cet acte se fait directement en ligne. En 24 heures ou 48 heures le demandeur peut retirer le document dans le tribunal de son lieu de résidence.

Ce résultat peut être expliquée par la théorie de la diffusion de l'innovation d'E. Rogers (1995). Pour cet auteur, l'utilisation d'une innovation améliore le statut social de l'individu et distingue deux dimensions dans l'attribut de l'observabilité. Ces deux dimensions sont la visibilité de l'innovation et la possibilité d'en démontrer les résultats. De cette théorie, nous disons que les technologies de l'information ont été cette innovation qui est arrivée au sein de l'administration judiciaire et a amélioré non seulement la prestation des professionnels de la justice, mais a aussi facilité au niveau des justiciables, une célérité dans l'acquisition de leurs pièces. En marge de la célérité dans le traitement des dossiers, les avantages de cette innovation ont été visibles dans l'établissement des casiers judiciaires et des duplicatas de nationalité dont l'obtention était complexe il y a quelques années.

Dans le même contexte, les résultats d'une étude réalisée sur les technologies au sein de la justice par D. Piana (2019, p. 257-268), ont montré qu'avec les technologies l'innovation est arrivée au sein de la justice; ce qui a remplacé l'usage du support papier, les registres etc. De même les TIC ont permis de réduire les dépenses au sein de la justice en lui conférant une capacité d'être plus performante. A partir des bases de données, la communication et la transmission des documents se font de façon instantanée et ceci réduit le temps du travail.

Les résultats des travaux de F. Banna-Berger (2002) corroborent ceux de la présente recherche. Selon cet auteur, l'utilisation de l'informatique au sein de la justice a remplacé l'usage du support papier (répertoire, fichier, archive) et a permis d'accéder facilement aux dossiers numérisés à partir de la nomenclature et stocker dans une base de données. Cette numérisation a favorisé l'enregistrement des recours et le suivi des dossiers en ligne.

Les résultats de la présente recherche sont similaires à ceux de l'étude de S. Tran (2010, p. 203) qui montrent que plus on utilise la technologie plus cela s'avère bénéfique pour l'organisation (productivité, coordination, diffusion des informations). Cette même étude de S. Tran (2010, p. 203) a révélé que les TIC font fonction de plus en plus d'outil de sauvegarde des données, notamment grâce à l'augmentation des capacités de stockage et d'outils de texte, de notes pour les comptes rendus.

Nos résultats de recherche ont montré aussi d'une part que grâce à cet outil la sauvegarde des données devient la chose la plus facile avec la présence des disques durs. De même, avec l'utilisation de l'internet au sein des juridictions, le transfert de document d'une juridiction vers une autre a été amélioré. Aucune juridiction n'a plus besoin forcément de se déplacer ou envoyer un courrier physique à une autre juridiction, mais avec la présence du logiciel e-courrier les données sont transférées en un temps record et cela facilite le traitement des données. Les justiciables et les professionnels du tribunal de Kara suivent désormais l'évolution de leur demande en ligne sans nécessité se déplacer.

Ce résultat rejoint celui de F. B. Berger (2002), qui stipule que l'utilisation de l'application Pack-Web permet la circulation d'information aux dossiers sous format PDF dans un bureau contenant 10 à 40 personnes. La personne en charge de cette tâche procède par numérisation et enregistrement et le balance sur un serveur intranet et l'envoi est automatique aux personnes concernées. Ce qui implique un avantage qui ne nécessite pas pour un demandeur des services de la justice de se déplacer.

Dans une autre étude de L. Dumoulin et L. Christian (2010, p. 50-51), il ressort qu'une des solutions avancées est la contribution des TIC au rapprochement des usagers à l'administration judiciaire. Même si le tribunal de Kara n'utilise pas encore ce dispositif, la visioconférence par exemple est l'un des mécanismes qui permet aux justiciables de témoigner à distance en réduisant l'importance de la présence d'un témoin lors d'un procès. Cette expérience a eu ses bases dans les justices européennes avec l'évolution des procès en ligne mais de nos recherches cette innovation relative à la visioconférence

n'est pas encore fondamentale dans la justice togolaise vu que les infrastructures ne sont pas encore adaptées aux réalités des tribunaux.

Ceci dit, ce résultat nous a permis d'avoir des informations sur le rôle des technologies de l'information et de la communication dans le fonctionnement de la justice. Les TIC ont contribué au rapprochement des justiciables aux juridictions, facilité l'archivage numérique des dossiers et facilité le contact entre les juridictions.

## **5 CONCLUSION**

La présente recherche portant sur l'usage des TIC au sein de la justice a pour objectif de décrire le rôle des technologies de l'information et de la communication dans la modernisation de la justice au Togo à partir de l'exemple du tribunal de Kara. Pour atteindre cet objectif l'hypothèse selon laquelle l'usage des TIC dans le système judiciaire a facilité l'archivage numérique des dossiers, la réduction de temps de travail et le rapprochement des juridictions a nécessité un travail de terrain pour la collecte des données empiriques dans la ville de Kara par une méthodologie mixte qui a combiné l'approche quantitative et celle qualitative.

Il ressort de cette recherche que la digitalisation a été d'une grande utilité dans le fonctionnement de l'appareil judiciaire avec pour avantages la célérité dans le traitement des dossiers et un accès facile aux juridictions. De ce fait, cette réalité n'est pas évidente vu que certaines personnes trouvent cette innovation comme une dépravation. Les résultats de la recherche ont montré dans un premier temps que les justiciables et les professionnels de la justice ont des perceptions différentes des outils technologiques. La majorité des enquêtés perçoivent cette innovation comme une opportunité d'avoir accès à la justice à distance et un moyen de traitement rapide des dossiers soumis par usagers du tribunal de Kara. Cependant, les résultats ont aussi révélé que la digitalisation de l'administration judiciaire nécessite l'utilisation des outils que certains usagers trouvent non seulement difficiles d'accès en raison du manque de moyen, mais aussi compliqués. Ils préfèrent donc le traitement manuel.

Les résultats ont aussi révélé l'état de la justice avant le projet de modernisation. L'administration judiciaire en générale et celle du tribunal de Kara en particulier étaient confrontées à plusieurs défis relatifs à la lenteur dans le traitement des dossiers qui résulte de l'utilisation des machines à taper mécaniques, d'une part et de la perte des dossiers, d'autre part. La corruption était un facteur limitant véritablement le bon fonctionnement de la justice en raison du contact physique entre les justiciables et les professionnels du tribunal de Kara. Enfin, le rôle des TIC a été démontré dans la modernisation du tribunal de Kara avec son impact réel sur la prestation de la justice à travers les demandes des documents en ligne en tout temps et tout lieu avec pour conséquence une performance remarquable de la justice à travers les documents digitalisés.

## **REFERENCES**

- [1] BANA-BERGER Françoise, 2002, « Le dossier numérique aux seins de la justice », Lavoisier, 2002 /1vol. 6, pp. 61-68.
- [2] DAVIS Fred D., 1989, « Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology » in Management Information Systems Research Center, University of Minnesota, Vol. 13, n°3, pp. 319-340.
- [3] DE GAUDISSION Jean du bois, 2014, « La justice en Afrique: nouveau défis, nouveau acteurs » de Boeck supérieur, 2014/2 n°250 pp. 13-28.
- [4] DUMOULIN Laurence et LICOPE Christian, 2011, « Les cahiers de la justice », visioconférence dans la justice pénale: retour sur la fabrique d'une politique publique à la fin des années 1990, 2011/2 n°2 pp. 29-52.
- [5] GNANE Napo Moucaïla, 2014, « Singularité des TIC et lien social en Afrique noir francophone: une illustration à travers le téléphone portable dans la ville de Lomé » Thèse de Doctorat, université de Lomé.
- [6] NOREAU Pierre et PASCA Alexandre, 2014, « Les grands modèles de la justice de proximité » bilan d'une nouvelle pratique juridique, 2014, R.G.D, pp. 305-352.
- [7] PIANA Daniela, 2019, La justice numérique « un panorama européen » dans les cahiers de la justice 2019/2 (N°2), pp. 257-268.
- [8] ROGERS Everett, 1995, Diffusion of innovations, The Free Press, New York.
- [9] SAMB Moussa, 2014, « L'accès des justiciables à la justice au Sénégal », vers une justice de proximité, Afrique contemporaine, 2014/2 n°250.
- [10] TRAN Sébastien, 2010, « Quand les TIC réussissent trop bien dans les organisations: cas du courrier électronique chez les managers », 2010/4 n° 2, pp. 29-52.

## Déterminants et logiques socio-économiques des pratiques paysannes dans les exploitations productrices de maïs dans les zones soudanienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso

### [ Determinants and socio-economic logic of peasant practices in corn-producing farms in the Sudanian and Sudano-Sahelian zones of Burkina Faso ]

*Ouédraogo Eric<sup>1</sup>, Zongo Koulibi Fidèle<sup>2</sup>, Gnankamary Zacharia<sup>3</sup>, and Nacro Bismarck Hassan<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Université Nazi Boni, Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol et Systèmes de production (LERF-SP), 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

<sup>2</sup>Centre universitaire de Tenkodogo, Laboratoire Sols, Matériaux and Environnement (SME) de l'Unité de Formation et de Recherche-Sciences de la vie et de la terre de l'Université Joseph Ki-ZERBO, Université Thomas SANKARA, 12 BP 417 Ouagadougou 12, Burkina Faso

<sup>3</sup>Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Ouagadougou, Burkina Faso

---

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In maize-producing farms in the Sudanian and Sudano-Sahelian zones of Burkina Faso, the factors that guide the choice of peasant practices are linked to the type of maize field and the socio-economic conditions of farmers. The study conducted in 2020 aimed to identify the determinants and socio-economic logics of the choice of peasant practices in maize-producing farms. Data were collected from 100 farm heads in four (4) villages: Ouroubonon, Dio, Waly and Sangoulema. Stratified sampling made it possible to randomly select maize farms regardless of their number in the villages concerned. Variables of socio-economic characteristics and cropping systems were collected and then multiple correspondence and frequency analyses were carried out. The study showed that the socio-economic factors that best discriminate the choice of farming practices are age, level of education and/or literacy, household size and number of agricultural workers. The farmers of the three types of fields are divided into different age groups. However, those in the 30 to 40 and 40 to 56 age groups are the most numerous and represented in all fields. The 40 to 56 age group includes the largest proportion of farmers regardless of the type of field. The youngest and oldest farmers are found exclusively in village and bush fields. Farmers in these last two types of fields have larger households and agricultural assets. Investment costs per hectare for the purchase of NPK fertilizers and urea are higher in village fields than in hut and bush fields. The recommended doses of organic and mineral manure are applied only in village fields by some groups of farmers. However, the lowest doses are found in bush fields with non-recommended application methods.

**KEYWORDS:** field type, cropping system, group of farmers, organic and mineral manure.

**RESUME:** Dans les exploitations productrices de maïs des zones soudanienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso, les facteurs qui orientent le choix des pratiques paysannes sont liés au type de champ de maïs et aux conditions socio-économiques des exploitants agricoles. L'étude conduite en 2020 avait pour objectif d'identifier les déterminants et les logiques socio-économiques du choix des pratiques paysannes dans les exploitants agricoles productrices de maïs. Les données ont été collectées auprès de 100 chefs d'exploitations dans quatre (4) villages que sont Ouroubonon, Dio, Waly et Sangoulema.

Un échantillonnage stratifié a permis de choisir de façon aléatoire les exploitations agricoles de maïs quel que soit leur nombre dans les villages concernés. Des variables de caractéristiques socio-économiques et de systèmes de cultures ont été collectées puis des analyses de correspondances multiples et de fréquence ont été réalisées. L'étude a montré que les facteurs socio-économiques qui discriminent au mieux le choix des pratiques paysannes sont l'âge, le niveau de scolarisation et/ou d'alphabétisation, la taille du ménage et le nombre d'actifs agricoles. Les exploitants des trois types de champs sont repartis dans des classes d'âge différents. Cependant, ceux de la tranche d'âge de 30 à 40 ans et de 40 à 56 ans sont les plus nombreux et représentés dans tous les champs. La tranche d'âge de 40 à 56 ans comprend la plus grande proportion d'exploitants quel que soit le type de champ. Les plus jeunes et les exploitants les plus âgés se retrouvent exclusivement dans les champs de village et de brousse. Les exploitants de ces deux derniers types de champs ont des ménages et des actifs agricoles plus importants. Les couts d'investissement par hectare pour l'achat des engrais NPK et de l'urée sont plus élevés dans les champs de village que les champs de case et de brousse. Les doses recommandées de fumure organique et minérale sont apportées uniquement dans les champs de village par certains groupes d'exploitants. Cependant, les plus faibles doses sont rencontrées dans les champs de brousse avec des modes d'apport non recommandés.

**MOTS-CLEFS:** type de champs, système de culture, groupe d'exploitants, fumure organique et minérale.

## **1 INTRODUCTION**

Dans l'approche systémique de la recherche et de la vulgarisation agricole, l'exploitation agricole est vue comme une entreprise. C'est à dire un système d'exploitation constitué d'un ensemble de facteurs de production [1], [2]. C'est donc un ensemble de terres, de bâtiments et de cheptels [3]. Elle implique avant tout, un centre de décision, une unité de production, une organisation et un ensemble d'interactions entre les différentes composantes [3]. Les exploitations agricoles sont différentes face à des problèmes décisionnels distincts ce qui entraînent leur diversité [4]. Cette diversité constitue la source d'inefficacité d'innombrables interventions des pouvoirs publics et privés [5]. La typologie des exploitations est l'une des méthodes pour identifier des solutions, planifier des opérations de développement ou faire de la prospective [4]. Selon [6] l'élaboration des typologies utilise plusieurs méthodes qui font références aux analyses statistiques notamment celles de fonctionnement. Ces méthodes ont été utilisées par plusieurs auteurs pour décrire les exploitations agricoles au Burkina Faso [7], [8], [9], [10], [11] et ailleurs [12], [4]). En outre, des typologies d'exploitation ont été aussi réalisées sur la base de la distribution spatiale des usages agricoles du terroir [13], [14], [15]. Cette méthode détermine la distance des exploitations agricoles par rapport aux concessions et permet leur répartition en champ de case, de village et de brousse.

Dans cette étude la méthode basée sur la typologie de fonctionnement a été utilisée avec la distribution spatiale des exploitations agricoles afin de mieux comprendre la variabilité des pratiques paysannes d'un type de champ à un autre. L'identification des déterminants et les logiques de choix opérés par les exploitants agricoles peuvent également conduire à l'établissement de typologies. En outre, de nombreux travaux rapportent que les systèmes de culture rencontrés dans les exploitations agricoles concilient à la fois une logique de choix technique et socioéconomique [16], [17], [18]. Les facteurs déterminants des choix de ces systèmes de cultures dans les différents types d'exploitations sont divers. Des contraintes socio-économiques peuvent justifier le rejet de propositions techniques pourtant performantes du point de vue de la production [19], [9]. En conséquence, si la variabilité des systèmes de cultures est bien connue, l'on dispose de peu de références pour comprendre comment les exploitants agricoles d'une région raisonnent le choix de leurs pratiques les unes par rapport aux autres [9]. Malgré la multiplicité des études, très peu ont abordé les déterminants et logiques socio-économiques des pratiques paysannes dans les exploitations productrices de maïs dans les zones soudanienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso. Nous formulons l'hypothèse que les systèmes de cultures sont déterminés par les conditions socio-économiques des paysans dans les différents types d'exploitations agricoles de maïs dans les zones soudanienne et soudano-sahélienne du Burkina Faso.

L'objectif de cette étude est d'identifier les déterminants et les logiques socio-économiques du choix des systèmes de culture dans les exploitations agricoles productrices de maïs des zones soudanienne et soudano-sahélienne au Burkina Faso.

## 2 MATERIELS ET METHODES

### 2.1 SITE DE L'ETUDE

L'étude a été conduite dans quatre (04) villages, dont deux (02) situés dans la région de la Boucle du Mouhoun (Dio: 12° 20' 03" N, 3° 51' 47" W et Ouroubonon: 11° 42' 0" N, 2° 56' 0" W) et deux (02) autres dans les Hauts Bassins (Waly: 12°42'20" N, 4°24'01" E et Sangoulema: 11° 23' 25" N, 4° 29' 52" W). Le village de Sangoulema appartient à la zone climatique soudanienne, situé entre les isohyètes 900 et 1100 mm, tandis que les villages de Dio, Ouroubonon et Waly sont situés dans la zone climatique soudano-sahélienne entre les isohyètes 600 et 900 mm [20].

### 2.2 CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE ET DES PRODUCTEURS ENQUETES

Les critères de sélection des régions ainsi que des provinces d'études ont été fondés sur la représentativité, les superficies emblavées et la production de maïs à partir des données statistiques du ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-agricoles [21]. Les villages ont été choisis selon les critères que sont l'importance dans la production du maïs, l'ouverture du village à l'adoption des pratiques agricoles innovantes et l'accessibilité. La sélection des villages et des exploitations agricoles a été réalisée en collaboration avec les présidents des conseils villageois de développement et les chefs de zones d'appui techniques. Dans chaque village, vingt-cinq (25) exploitations agricoles de maïs ont été choisies de manière aléatoire, quel que soit le nombre d'exploitations agricoles dans le village. Cette méthode est considérée comme un échantillonnage stratifié non proportionnel [22]. Elle vise à éliminer les échantillons qui produiraient des estimations aberrantes en assurant la représentation dans l'échantillon de tous les éléments de la population. Elle permet également de réduire le nombre d'échantillons possibles à ceux qui représentent le mieux la population étudiée, d'avoir une meilleure diversité des réponses, la réduction des coûts et de la charge de travail.

### 2.3 COLLECTE DES DONNEES D'ENQUETE ET CARACTERISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

#### 2.3.1 COLLECTE DES DONNEES D'ENQUETE

Les enquêtes ont été conduites à l'échelle de l'exploitation agricole telle que définie par la FAO (2000). Celle-ci représente 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, indépendamment du titre de possession, mode juridique ou de la taille. A cet effet, est considéré comme chef d'exploitation dans cette étude la personne physique qui assure la gestion courante de l'exploitation agricole. La collecte des données a été effectuée en juillet 2020 auprès de 100 chefs d'exploitation dans les quatre (4) villages concernés. Avant la conduite de l'enquête sur le terrain, une pré-enquête a été réalisée auprès de cinq (05) exploitants agricoles du village de Waly repartis entre les trois types de champs afin d'ajuster et adapter les fiches au contexte de l'étude. Après cette phase et en fonction des réponses recueillies, certaines rubriques du questionnaire ont été modifiées afin de prendre en compte les réalités du terrain. Les principaux axes du questionnaire final portaient sur les caractéristiques générales des exploitations de maïs, le patrimoine foncier, la main d'œuvre, les équipements agricoles, la production végétale et la gestion de la fertilité des sols dans les champs de maïs.

#### 2.3.2 CARACTERISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

##### 2.3.2.1 VARIABLES DE CARACTERISATION SOCIO-ECONOMIQUE

La caractérisation socio-économique des exploitations agricoles s'appuie sur deux jeux de variables collectées par enquête. Il s'agit des variables de statut social et économique des chefs d'exploitation. Les variables de statut social regroupent l'âge (Ag), la situation matrimoniale (Sm), le niveau de scolarisation et/ou d'alphabétisation (Ns) et la taille du ménage (Tm). Les variables de statut économique concernent les activités principales (Ap) et secondaires (As), le nombre d'actifs agricoles (Na), la superficie du champ en hectare (Sc), les couts à l'hectare liés aux achats d'engrais NPK (CnPk) et de l'urée (Cu) en FCFA.

##### 2.3.2.2 VARIABLES DE CARACTERISATION DES SYSTEMES DE CULTURE

La caractérisation des systèmes de culture s'appuie sur des variables ou indicateurs considérés comme les plus susceptibles d'entraîner des différences de performances et d'être en lien avec le contexte socio-économique des exploitants agricoles. Ces variables concernent: les variétés de maïs cultivées (Var), les précédents culturaux (Pre), les écartements de semis (Ec), les rendements (Rdt), la gestion des résidus de récolte (Grcu), les pratiques culturelles de gestion de la fertilité des sols (Pgfer), le

type de fumure organique utilisé (Tfo), la dose de fumure organique utilisée (Qtfo), la dose de NPK appliquée (NPK) et de l'urée (U) le nombre d'application du NPK (Nanpk) et de l'urée (Nau), la période d'application du NPK (Papnkp) et de l'urée (Papu) et les techniques de conservation des eaux et sols/défense et restauration des sols (CES/DRS) utilisées (Tcesdrs).

## **2.4 ANALYSES STATISTIQUES**

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel XL STAT 4.1 (1398) ADDINSOFT version 2023. Les variables expliquées dans cette étude sont les caractéristiques de systèmes de culture et les variables explicatives testées sont les caractéristiques socio-économiques des exploitations telles que décrites par les indicateurs ci-dessus. Les variables quantitatives et qualitatives ont été codées et regroupées en classe, en fonction des variables étudiées à la suite d'une classification ascendante hiérarchique (CAH). Cette dernière a permis de trouver des classes de modalités de réponses en utilisant une similarité à l'aide de la corrélation de Pearson au seuil de 5%. Des indicateurs ont été attribués aux modalités des variables en leur affectant les chiffres 1, 2 et 3. La plupart des variables ont été regroupées en classes de modalités afin de former des variables qualitatives pertinentes pour l'interprétation [23]. Des analyses de correspondances multiples (ACM) ont été réalisées sur les variables de caractéristiques socio-économiques des exploitants agricoles et de systèmes de cultures en fonction du type de champ. Les variables socio-économiques projetées sur l'ACM des variables de systèmes de cultures ont été projetées en variables supplémentaires et ne participent pas à la formation des axes. Elles sont donc traitées comme des variables synthétiques, susceptibles d'expliquer ou d'être expliquées par un ensemble d'autres variables.

Des groupes d'exploitants agricoles par type de champs (G1, G2, etc.) ont été ensuite formés en se basant sur des critères objectifs de proximité et de liaison des modalités qui constituent le groupe. Aussi, l'opposition des groupes de modalités par rapport à chaque axe des ACM a été considérée comme un critère de distinction de groupes différents.

## **3 RESULTATS**

### **3.1 CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES EXPLOITANTS PAR TYPE DE CHAMPS**

#### **3.1.1 CHAMPS DE CASE**

Les caractéristiques socio-économiques des exploitants agricoles (EA) dans les champs de case sont présentées par le Tableau 1. Les résultats montrent que 71% des EA sont scolarisés et/ou alphabétisés (Nica1), ils sont tous mariés (71%) et 57% ont un âge compris entre 40 et 56 ans (Agca2). Soixante-onze pourcent (71%) ont un ménage comprise entre 5 et 9 personnes (Tmca2). Cinquante-sept pourcent (57%) ont entre 2 et 4 d'actifs agricoles et 86% pratiquent l'agriculture comme activité principale (Apc1). L'élevage constitue une activité secondaire (Asca2) pour 72% de ces exploitants agricoles. Les champs ont des petites superficies comprises entre 0,5 et 1 ha. Plus de 2/3 des EA investissent entre 20 100 et 50 000 FCFA pour l'achat du NPK et entre 13 500 et 30 000 FCFA pour l'urée. Il faut noter que près du tiers des EA n'investissent pas dans l'achat de l'urée. Aussi la même proportion investit entre 50 000 FCFA et 64 000FCFA pour l'achat du NPK.

Tableau 1. Caractéristiques socio-économiques des exploitants agricoles dans les champs de case

Variabes socio-économiques	Modalités	Indicateurs	Pourcentages% (n = 7)
<b>Scolarisé et/ou alphabétisé</b>			
Oui	1	Nsca1	71
Non	2	Nsca2	29
<b>Situation matrimoniale</b>			
Marié	1	Smca1	100
Célibataire	2	Smca2	0
<b>Age (an)</b>			
[30 ;40]	1	Agca1	43
]40 ; 56]	2	Agca2	57
<b>Taille du ménage</b>			
[3 ;5]	1	Tmca1	29
]5 ; 9]	2	Tmca2	71
<b>Activités principales</b>			
Agriculture	1	Apca1	86
Elevage	2	Apca2	14
Activité secondaire			
Aucune activité	1	Asca1	14
Elevage	2	Asca2	72
Agriculture	3	Asca3	14
<b>Nombre d'actifs agricoles</b>			
[2 ;4]	1	Naca1	57
]4 ; 6]	2	Naca2	43
<b>Superficie totale (ha)</b>			
[0,5 ;0,75]	1	Scca1	57
]0,75 ; 1]	2	Scca2	43
<b>Cout NPK (FCFA/ha)</b>			
[20100 ; 50000]	1	Cnpkca1	71
]50000 ; 64000]	2	Cnpkca2	29
<b>Cout urée (FCFA/ha)</b>			
Aucun apport	1	Cuca1	29
[13500 ; 30000]	2	Cuca2	71

### 3.1.2 CHAMPS DE VILLAGE

Les caractéristiques socio-économiques des exploitants agricoles dans les champs de village sont présentées par le Tableau 2. Les résultats montrent que 75% des EA sont scolarisés et/ou alphabétisés (Nicv1) et 92% sont mariés (Smcv1). Les exploitants les plus âgés (Agcv3) représentent 54% contre 15% d'exploitants jeunes (Agcv1). Cinquante-huit pourcent (58%) disposent des plus grands ménage (Tmcv3). Ils pratiquent tous l'agriculture comme activité principale et une grande majorité (84%) pratiquent l'élevage en activité secondaire. La moitié des exploitants dispose d'un nombre important d'actifs agricoles compris entre 10 et 17. La superficie des champs varie de 1 à 7ha et 67% des exploitants agricoles ont des champs qui varient entre 1 et 4 ha. Tous les exploitants agricoles investissent entre 42000 et 68000 FCFA à l'hectare dans l'achat de l'engrais NPK et entre 12000 et 34000 FCFA à l'hectare dans l'achat de l'urée.

Tableau 2. Caractéristiques socio-économiques des producteurs dans les champs de village

Variables socio-économiques	Modalités	Indicateurs	Pourcentages% (n = 12)
<b>Scolarisé et/ou alphabétisé</b>			
Oui	1	Nscv1	75
Non	2	Nscv2	25
<b>Situation matrimoniale</b>			
Marié	1	Smcv1	92
Célibataire	2	Smcv2	8
<b>Age (an)</b>			
[19 ;30]	1	Agcv1	15
]30 ; 40]	2	Agcv2	31
]40 ;56]	3	Agcv3	54
<b>Taille du ménage</b>			
[6 ;8]	1	Tmcv1	25
]8 ;13]	2	Tmcv2	17
]13 ;26]	3	Tmcv3	58
<b>Activités principales</b>			
Agriculture	1	Apcv1	100
Activité secondaire			
Aucune activité	1	Ascv1	8
Elevage	2	Ascv2	84
Commerce et élevage	5	Ascv3	8
<b>Nombre d'actifs agricoles</b>			
[4 ;8]	1	Nacv1	42
]8 ; 10]	2	Nacv2	8
]10 ; 17]	3	Nacv3	50
<b>Superficie totale(ha)</b>			
[1 ;2]	1	Sccv1	42
]2 ; 4]	2	Sccv2	25
]4 ; 7]	3	Sccv3	33
<b>Cout NPK(FCFA/ha)</b>			
[42000 ;45000]	1	Cnpkcv1	50
]55000 ; 68000]	2	Cnpkcv2	50
<b>Cout urée (FCFA/ha)</b>			
[12000 ;19100]	1	Cucv1	50
]28000 ; 34000]	2	Cucv2	50

### 3.1.3 CHAMPS DE BROUSSE

Dans les champs de brousse, les caractéristiques socio-économiques des exploitants agricoles présentées dans le Tableau 3 montrent que 94 % sont scolarisés et/ou alphabétisés (Nicb1) et sont mariés (Smcb1) à 98%. Les EA dont l'âge varie entre 40 et 56 ans sont les plus nombreux, ils représentent la moitié des exploitants. Les exploitants les plus jeunes (19 à 30 ans) et les plus âgés (56 à 71) représentent respectivement 18% et 6%. Plus de la moitié (52%) de ces exploitants ont un ménage de grande taille (Tmcb2) comprise entre 9 et 20 personnes, contre 37% qui ont un ménage de 4 à 9 personnes. Ils pratiquent tous l'agriculture comme activité principale et 57% n'ont aucune activité secondaire (Ascb1) contre 37% qui pratiquent l'élevage (Ascb2). Cinquante-six pourcent (56%) des EA ont peu d'actifs agricoles (Nacb1) compris entre 3 et 7 contre 41% qui disposent d'un nombre important d'actifs (7 à 20). Quatre-vingt-neuf pourcent (89%) ont des champs dont la superficie varie entre 0,5 et 5 ha. Cinquante-deux pourcent (52%) des exploitants investissent entre 28000 et 45000 FCFA à l'hectare pour l'achat d'engrais NPK (Cnpkcb2). Cinquante-neuf (59%) investissent entre 14000 et 30000 dans l'achat de l'urée (Cucb2).

Tableau 3. Caractéristiques socio-économiques des producteurs dans les champs de brousse

Variables socio-économiques	Modalités	Indicateurs	Pourcentages% (n = 81)
<b>Scolarisé/ou alphabétisé</b>			
Oui	1	Nscb1	94
Non	2	Nscb2	6
<b>Situation matrimoniale</b>			
Marié	1	Smcb1	98
Célibataire	2	Smcb2	2
<b>Age (an)</b>			
[19 ;30]	1	Agcb1	18
]30 ; 40]	2	Agcb2	26
]40 ; 56]	3	Agcb3	50
]56 ; 71]	4	Agcb4	6
<b>Taille du ménage</b>			
[4 ;9]	1	Tmcb1	37
]9 ; 20]	2	Tmcb2	52
]20 ; 66]	3	Tmcb3	11
<b>Activités principales</b>			
Agriculture	1	Apcb1	100
Activité secondaire			
Aucune activité	1	Ascb1	57
Elevage	2	Ascb2	37
Commerce	4	Ascb4	2
Commerce et élevage	5	Ascb5	4
<b>Nombre d'actifs agricoles</b>			
[3 ;7]	1	Nacb1	56
]7 ; 20]	2	Nacb2	40
]20 ; 43]	3	Nacb3	4
<b>Superficie totale (ha)</b>			
[0,5 ;1,5]	1	Sccb1	43
]1,5 ; 5]	2	Sccb2	46
]5 ; 10]	3	Sccb3	11
<b>Cout NPK (FCFA/ha)</b>			
[14000 ;28000]	1	Cnpkcb1	20
]28000 ; 45000]	2	Cnpkcb2	52
]45000 ; 64400]	3	Cnpkcb3	28
<b>Cout urée (FCFA/ha)</b>			
Aucun apport	1	Cucb1	2
[14000 ; 30000]	2	Cucb2	59
]30000 ; 42000]	3	Cucb3	38

### 3.2 CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES DE CULTURE PAR TYPE DE CHAMPS

#### 3.2.1 CHAMPS DE CASE

Le Tableau 4 présente les caractéristiques des systèmes de cultures dans les champs de village. Trois variétés de maïs sont cultivées avec une préférence pour la variété Barka. Le coton est le principal précédent cultural (43%). Les précédents culturaux maïs ou soja sont pratiqués à des fréquences similaires (28%). Un tiers des EA pratiquent l'écartement recommandé (40cmx80cm) et plus de la moitié des EA préfèrent un écartement plus serré entre les lignes (40cmx70cm). Les rendements de plus de la moitié des exploitants varient entre 2 et 4 t/ha Les résidus de récolte sont principalement utilisés comme fourrage

ou épandus dans les champs. La majorité des EA (71%) utilisent les bonnes pratiques de fertilisation associant les engrais chimiques, la fumure organique et la rotation culturale. Le compost à base de substrats domestiques (Tfoca3) est utilisé par un tiers des EA. Cinquante-sept pourcent (57%) apportent des doses de fumures organiques comprises entre 0,75 et 2,5 t/ha et 43% ne font aucun apport. Le NPK est appliqué à la dose recommandée (150 - 200 kg/ha) par 57% des exploitants en deux applications, deux à trois semaines après semis et au buttage. Les EA qui appliquent moins de la dose recommandée (67-150 kg/ha) le font en une fraction, entre deux et trois semaines après semis. L'urée est appliquée entre 50 et 100 kg/ha par 71% des EA et ce en une fraction au moment du buttage. Dans les champs de case, seulement 14% des EA ne pratiquent aucune technique de CES/DRS.

**Tableau 4. Caractéristiques des systèmes de culture dans les champs de case**

<b>Variables de systèmes de culture</b>	<b>Modalités</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Pourcentages % (n = 7)</b>
<b>Variétés utilisées</b>			
Barka	1	Varca1	57
Massongo	2	Varca2	14
SR21	3	Varca3	29
<b>Précédents culturaux</b>			
Maïs	1	Preca1	29
Coton	2	Preca2	43
Soja +arachide	3	Preca3	14
Soja	4	Preca4	14
<b>Ecartement semis</b>			
40x80 cm	1	Ecca1	29
35x90 cm	2	Ecca2	14
40x70 cm	3	Ecca3	57
<b>Rendements maïs (t/ha)</b>			
[1,60 ;2]	1	Rdtca1	43
]2 ; 4]	2	Rdtca1	57
<b>Gestion des résidus de récolte</b>			
Compostage +Fourrage	1	Grcuca1	14
Fourrage	2	Grcuca2	43
Epandage dans les champs	3	Grcuca3	43
<b>Pratiques culturales gestion fertilité des sols</b>			
Engrais chimique +rotation culturale +fumure organique	1	Pgferca1	71
Engrais chimique +Rotation culturale	2	Pgferca2	15
Fumure organique	3	Pgferca3	14
<b>Type de fumure organique utilisé</b>			
Aucun	1	Tfoca1	43
Compost de substrats domestiques divers +Fumier +Litière	2	Tfoca2	43
Fumier +litière	3	Tfoca3	14
<b>Dose de fumure organique (t/ha)</b>			
Aucun apport	1	Qtefoca1	43
[0,75 ; 2,5]	2	Qtefoca2	57
<b>Dose de NPK appliquée (kg/ha)</b>			
[67 ; 150]	1	NPKca1	43
[150 ; 200]	2	NPKca2	57
<b>Dose d'urée appliquée (kg/ha)</b>			
Aucun apport	1	Uca1	29

[50 ; 100]	2	Uca2	71
<b>Nombre d'application NPK</b>			
Une fois	1	Nanpkca1	57
Deux fois	2	Nanpkca2	43
<b>Nombre d'application urée</b>			
Aucun apport	1	Nauca1	14
Une fois	2	Nauca2	86
<b>Période d'application du NPK</b>			
Deux à trois semaines après semis	1	Papnpkca1	57
Deux à trois semaines après semis et au buttage	2	Papnpkca2	43
<b>Période d'application de l'urée</b>			
Aucun apport	1	Papuca1	14
Au buttage	2	Papuca2	86
<b>Techniques de CES/DRS utilisées</b>			
Aucun	1	Tcesdrsca1	14
Cordons pierreux +agroforesterie	2	Tcesdrsca2	15
Agroforesterie	3	Tcesdrsca3	57
Zaï +agroforesterie	4	Tcesdrsca4	14

### 3.2.2 CHAMPS DE VILLAGE

Le Tableau 5 présente les caractéristiques des systèmes de cultures dans les champs de village. Six variétés de maïs sont cultivées avec une préférence pour les variétés Barka (42%) et Komsaya (25%). Le coton demeure le principal précédent cultural (75%). Les précédents culturaux sésame ou soja sont pratiqués à des fréquences similaires (25%). Seulement 42% des EA pratiquent l'écartement recommandé (40cmx80cm) et plus de la moitié des EA préfèrent un écartement plus serré entre les lignes. Plus de deux tiers des exploitants ont des rendements qui varient entre 1,7 et 3,5 t/ha. Les résidus de récolte sont principalement utilisés comme fourrage ou pour le compostage. Tous les EA (100%) utilisent les bonnes pratiques de fertilisation associant les engrais chimiques, la fumure organique et la rotation culturales. Le compost à base de substrats domestiques (Tfoca3) est utilisé par la moitié des EA. Soixante-quinze pourcent (75%) apportent des doses de fumures organiques comprises entre 1,5 et 7,5 t/ha. Le NPK est appliqué à la dose recommandée (150 - 200 kg/ha) par tous les exploitants et plus de deux tiers des EA l'appliquent en deux fractions, deux à trois semaines après semis et au buttage. Un tiers des EA l'appliquent en une fraction, entre deux et trois semaines après semis. L'urée est appliquée entre 50 et 100 kg/ha par les EA et ce en une fraction au moment du buttage. Dans les champs de village, les EA pratiquent soit la technique des cordons pierreux et/ou l'agroforesterie comme technique de CES/DRS.

Tableau 5. Caractéristiques des systèmes de culture dans les champs de village

Variables de Systèmes de culture	Modalités	Indicateurs	Pourcentages% (n = 12)
<b>Variétés utilisées</b>			
Barka	1	Varcv1	42
Wari	2	Varcv2	8
SR21	3	Varcv3	17
Komsaya	4	Varcv4	25
Bondofa	5	Varcv5	8
<b>Précédents culturaux village</b>			
Sésame/soja	1	Precv1	25
Coton	2	Precv2	75
<b>Ecartement semi-champ de village</b>			
40X80 cm	1	Eccv1	50
60X80 cm	2	Eccv2	8
25X80 cm	3	Eccv3	8
30X80 cm	4	Eccv4	17
30X70 cm	5	Eccv5	17
<b>Rendements maïs (t/ha)</b>			
[0,8 ;1,70]	1	Rdtecv1	25
]1,70 ; 2,5]	2	Rdtecv2	42
]2,5 ; 3,50]	3	Rdtecv3	33
<b>Gestion des résidus de récolte</b>			
Compostage +Fourrage	1	Grcucv1	42
Fourrage	2	Grcucv2	58
<b>Pratiques culturales gestion fertilité des sols</b>			
Engrais chimique +rotation culturale +fumure organique	1	Pgfercv1	100
<b>Type de fumure organique utilisé</b>			
Compost de substrats domestiques divers +fumier	1	Tfocv1	25
Compost de substrats domestiques divers	2	Tfocv2	50
Litière	3	Tfocv3	25
<b>Dose de fumure organique (t/ha)</b>			
[1,5 ;3]	1	Qtefocv1	42
]3 ; 7,5]	2	Qtefocv2	33
]7,5 ; 12,50]	3	Qtefocv3	25
<b>Dose de NPK appliquée (kg/ha)</b>			
150	1	NPKcv1	50
200	2	NPKcv2	50
<b>Dose d'urée appliquée (kg/ha)</b>			
50	1	Ucv1	42
100	2	Ucv2	58
<b>Nombre d'application NPK</b>			
Une fois	1	Nanpkcv1	33
Deux fois	2	Nanpkcv2	67
<b>Nombre d'application urée</b>			
Une fois	1	Naucv1	83
Deux fois	2	Naucv2	17

<b>Période d'application NPK</b>			
Deux à trois semaines après semis	1	Papnpkcv1	42
Deux à trois semaines après semis et au buttage	2	Papnpkcv2	58
<b>Période d'application de l'urée</b>			
Au buttage	1	Papucv1	83
Un mois après semis et au buttage	2	Papucv2	17
<b>Techniques de CES/DRS utilisées</b>			
Cordons pierreux + agroforesterie	1	Tcesdrscv1	67
Agroforesterie	2	Tcesdrscv2	33

### 3.2.3 CHAMPS DE BROUSSE

Le Tableau 6 présente les caractéristiques des systèmes de cultures dans les champs de brousse. Six variétés de maïs y sont cultivées avec une préférence pour la variété Barka (40%). Le coton est le principal précédent cultural (73%). Seulement 27% des EA pratiquent l'écartement recommandé (40cmx80cm) et plus de la moitié des EA préfèrent un écartement plus serré entre les lignes (30cmx70cm). Plus de deux tiers des exploitants ont des rendements faibles qui varient entre 0,5 et 2 t/ha. Les résidus de récolte sont principalement utilisés comme fourrage, compostage ou épandus dans les champs. La majorité des EA (71%) utilisent les bonnes pratiques de fertilisation associant les engrais chimiques, la fumure organique et la rotation culturales. Le compost à base de substrats domestiques (Tfoca3) ou en association avec le fumier est utilisé par plus de la moitié des EA. Cinquante-six pourcent (56%) apportent des doses de fumures organiques comprises entre 0,75 et 4 t/ha. Le NPK est appliqué à la dose non recommandée (100 - 150 kg/ha) par plus de la moitié des exploitants et plus de deux tiers des EA le font en une application, deux à trois semaines après semis. Un tiers des EA l'appliquent en deux fractions, entre deux et trois semaines après semis et au moment du buttage. L'urée est appliquée entre 50 et 100 kg/ha par 94% des EA et ce en une fraction au moment du buttage. Dans les champs de brousse, 71% des EA pratiquent soit la technique des cordons pierreux et/ou l'agroforesterie comme technique de CES/DRS.

**Tableau 6. Caractéristiques des systèmes de culture dans les champs de brousse**

<b>Variables de Systèmes culture</b>	<b>Modalités</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Pourcentages % (n = 81)</b>
<b>Variétés utilisées</b>			
Barka	1	Varcb1	40
Wari	2	Varcb2	5
SR21	3	Varcb3	17
Komsaya	4	Varcb4	15
Massongo	5	Varcb5	19
Bondofa	6	Varcb6	4
<b>Précédents culturaux brousse</b>			
Sésame/soja	1	Precb1	5
Coton	2	Precb2	73
Sorgho	3	Precb3	15
Mil	4	Precb4	3
Maïs	5	Precb5	4
<b>Ecartement semi-champ de brousse</b>			
40X80 cm	1	Eccb1	27
25X80 cm	2	Eccb2	3
30X80 cm	3	Eccb3	5
30X70 cm	5	Eccb4	50
20X75 cm	6	Eccb5	3
50X60 cm	7	Eccb6	5
30X60 cm	8	Eccb7	3
20X60 cm	10	Eccb8	4

<b>Rendements maïs (t/ha)</b>			
[0,5 ;1,5]	1	Rdtcb1	38
]1,5 ; 2]	2	Rdtcb2	36
]2 ; 3,20]	3	Rdtcb3	26
<b>Gestion des résidus de récolte</b>			
Aucun	1	Grcucb1	2
Compostage +usage domestiques	2	Grcucb2	7
Compostage +Fourrage	3	Grcucb3	25
Epandage au champ +Compostage +fourrage	4	Grcucb4	24
Brûlage au champ +Compostage +fourrage	5	Grcucb5	9
Epandage au champ +fourrage	6	Grcucb6	9
Fourrage	7	Grcucb7	19
Epandage dans les champs	8	Grcucb8	5
<b>Pratiques culturales gestion fertilité des sols</b>			
Engrais chimique +rotation culturale +fumure organique	1	Pgfercb1	91
Engrais chimique +Rotation culturale	2	Pgfercb2	7
Fumure organique	3	Pgfercb3	2
<b>Type de fumure organique utilisé</b>			
Aucun	1	Tfocb1	5
Compost de substrats domestiques divers +Fumier + litière	2	Tfocb2	35
Compost de substrats domestiques divers	3	Tfocb3	32
Litière+ fumier	4	Tfocb4	25
Compost de substrats domestiques divers +Litière	5	Tfocb5	3
<b>Dose de fumure organique (t/ha)</b>			
Aucun apport	1	Qtefocb1	14
[0,75 ; 4]	2	Qtefocb2	56
]4 ; 10]	3	Qtefocb3	31
<b>Dose de NPK appliquée (kg/ha)</b>			
[50 ;100]	1	NPKcb1	23
]100 ; 150]	2	NPKcb2	52
]150 ; 200]	3	NPKcb3	25
<b>Dose d'urée appliquée (kg/ha)</b>			
Aucun apport	1	Ucb1	4
[50 ;100]	2	Ucb2	94
]100 ; 150]	3	Ucb3	2
<b>Nombre d'application NPK</b>			
Aucun apport	1	Nanpkcb1	1
Une fois	2	Nanpkcb2	66
Deux fois	3	Nanpkcb3	33
<b>Nombre d'application urée</b>			
Aucun apport	1	Naucb1	4
Une fois	2	Naucb2	87
Deux fois	3	Naucb3	9
<b>Période d'application du NPK</b>			
Aucun apport	1	Papnpkcb1	1
Pendant le semis	2	Papnpkcb2	2

Deux à trois semaines après semis	3	Papnpkcb3	62
Au buttage	4	Papnpkcb4	6
Deux à trois semaines après semis et au buttage	5	Papnpkcb5	29
<b>Période d'application de l'urée</b>			
Aucun apport	1	Perapucb1	4
Au buttage	2	Perapucb2	86
Un mois après semis et au buttage	3	Perapucb3	10
<b>Techniques de CES/DRS utilisées</b>			
Aucun	1	Tcesdrscb1	5
Cordons pierreux +agroforesterie	2	Tcesdrscb2	22
Agroforesterie	3	Tcesdrscb3	49
Cordons pierreux Haie vive +bandes enherbées +agroforesterie+ paillage	4	Tcesdrscb4	24

### 3.3 DETERMINANTS ET LOGIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES PRATIQUES PAYSANNES PAR TYPE DE CHAMPS

#### 3.3.1 CHAMPS DE CASE

La Figure 1 présente l'analyse des correspondances multiples (ACM) des variables socio-économiques et des systèmes de culture dans les champs de case où 51% de la variance est expliquée par les deux axes F1 et F2. Deux groupes d'exploitants agricoles (EA) se distinguent en tenant compte de ces axes: Le premier groupe d'EA (G1) où les chefs d'exploitations sont plus jeunes et ont entre 30 et 40 ans (Agca1), ils sont tous mariés et ont des ménages plus importants (Tmca2). Ils ne sont pas scolarisés et/ou alphabétisés (Nica2). Ce groupe comprend le plus faible nombre d'actifs et de superficie de champs. Ils pratiquent l'élevage comme activité principale (Apca2) et l'agriculture en activité secondaire (Asca3). Ces deux activités sont positivement et fortement corrélées avec l'axe F1. Ils investissent pour l'achat d'engrais NPK (CNPkca1) et pas du tout pour l'urée (Cuca1). Concernant les systèmes de cultures, la variété améliorée de maïs Barka (Varca1) est la seule utilisée avec des écartements non recommandés entre les lignes de 40 cm x70 cm (Ecca3). Ils pratiquent la monoculture (Preca1) et apportent de la fumure organique comprises entre 0,75 et 2,5 t/ha (Qtefoca2). Les résidus de récolte sont épandus directement au champ sous forme de litière et de fumier et ne pratiquent aucune technique de CES/DRS.

Le second groupe (G2) comprend les EA les plus âgés (Agca2). Ils sont tous mariés, scolarisés et/ou alphabétisés (Nica1) et disposent d'un ménage de petite taille (Tmca1). Cependant, ils ont un plus grand nombre d'actifs agricoles (Naca2), exploitent de plus grandes superficies et pratiquent l'agriculture comme activité principale. Ils sont parfois sans activité secondaire (Asca1) ou pratiquent l'élevage. Ils investissent plus d'argent dans l'achat du NPK (Cnpkca2) et de l'urée. Ils cultivent les variétés améliorées de maïs Massongo et SR21 avec plusieurs écartements de semis pratiqués dont ceux recommandés (Ecca1) et non recommandés (Ecca2). Les rendements sont plus élevés que ceux du premier groupe (2 à 4 t/ha). Les précédents culturaux sont le coton et le soja en association avec l'arachide. Ils n'apportent pas de fumure organique (Qtefoca1) mais appliquent des doses recommandées de NPK et d'urée. Les apports du NPK se font en deux fractions entre deux à trois semaines après semis et au buttage; l'urée est apportée en une seule fraction au moment du buttage. Les résidus de récolte sont compostés et/ou utilisés comme fourrage. Ils pratiquent plusieurs techniques de CES/DRS telles que l'agroforesterie seule ou en combinaison avec les cordons pierreux ou le zai (Tcesdrsc2, Tcesdrsc3, Tcesdrsc4).

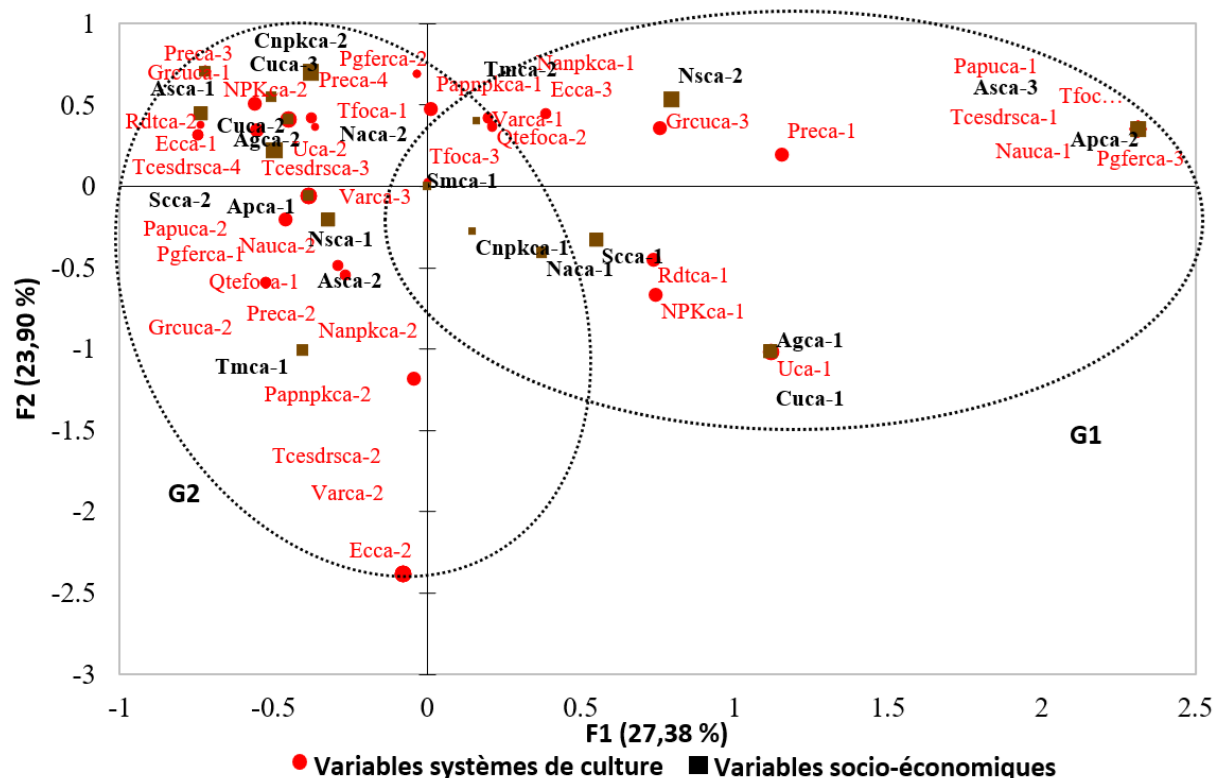


Fig. 1. Relations entre variables socio-économiques et systèmes de cultures dans les champs de case (les abréviations indiquées pour les variables sont décrites dans les Tableaux 1 et 4)

### 3.3.2 CHAMPS DE VILLAGE

L'analyse des correspondances multiples (ACM) des variables socio-économiques et de systèmes de culture dans les champs de village est présentée par la Figure 2 où 41% de la variance est expliquée par les deux axes F1 et F2. Deux groupes d'exploitants agricoles (EA) se distinguent suivant ces axes: Le premier groupe d'EA (G1) où l'âge est compris entre 30 et 40 ans (Agcv2), ils sont mariés avec un ménage de taille moyenne (Tmcv2) et sont scolarisés et/ou alphabétisés (Nicv1). Ce groupe comprend deux types d'exploitants dont ceux ayant un nombre important d'actifs agricoles (Nacv3) et ceux qui en ont moins (Nacv1). Ils pratiquent l'agriculture comme activité principale (Apcv1) ainsi que le commerce et l'élevage (Ascvc3) en activité secondaire. Ils investissent moins pour l'achat du NPK (Cnpkacv1) et de l'urée (Cucv1).

Quant aux systèmes de cultures, les variétés améliorées de maïs Wari (Varcv2) et Komsaya (Varcv4) sont cultivées avec des écartement non recommandés (Eccv2 et Eccv6). Deux niveaux de rendements allant des plus faibles (Rdtcv1) aux plus élevés (Rdtcv3) sont observés dans ce groupe. Les précédents culturaux sont le soja ou l'arachide. Ils apportent des doses non recommandées de fumure organique (Qtfov1 et Qtfov2) et minérale. L'engrais NPK est apporté en une seule fraction entre deux à trois semaines après semis et l'urée en deux fractions, soit un mois après semis et au buttage. Les résidus de récolte sont compostés ou utilisés comme fourrage. Les cordons pierreux en combinaison avec l'agroforesterie (Tcesdrsc1) sont pratiqués comme techniques de CES/DRS.

Le second groupe (G2) comprend les EA les plus jeunes (Agcv1) et les plus âgés (Agcv3). Ils ne sont pas scolarisés et/ou alphabétisés (Nicv2) et disposent de ménages de petite taille (Tmcv1) et de grande taille (Tmcv3). Ils disposent entre 8 et 10 actifs agricoles (Nacv2) ainsi que de petites (Sccv1) et de grandes superficies (Sccv3). Ils pratiquent l'agriculture comme activité principale et sont sans activité secondaire (Ascvc1) ou pratiquent l'élevage. Ils investissent plus d'argent dans l'achat du NPK (Cnpkcv2) et de l'urée (Cucv2).

Ils cultivent les variétés améliorées de maïs Barka (Varcv1), SR21 (vacv3) et Bondofa (Varcv5) avec ou sans respect des écartements recommandés de semis (Eccv1, Eccv3, Eccv4, Eccv5). Les rendements sont plus stables que ceux du premier groupe. Les précédents culturaux sont le coton (Precv2). Ils apportent des doses recommandées de fumure organique (Qtfov3) et minérales (NPKcv3 et Uvc2). Le NPK est apporté en deux fractions, deux à trois semaines après semis et au

buttage et l'urée est apportée en une seule fraction au moment du buttage. Les résidus de récolte sont utilisés comme fourrage (Grcucv2) et l'agroforesterie (Tcesdrscv2) est la seule technique de CES/DRS pratiquée.

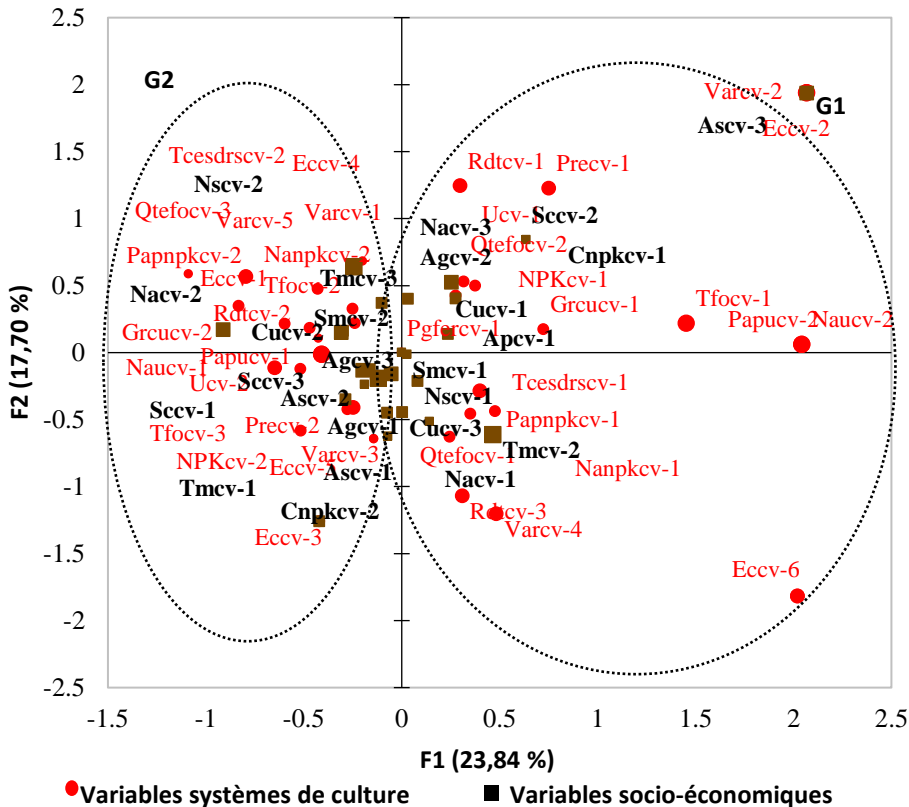


Fig. 2. Relations entre variables socio-économiques et systèmes de cultures dans les champs de village (les abréviations indiquées pour les variables sont décrites dans les Tableaux 2 et 5)

3.3.3 CHAMP DE BROUSSE

La figure 2 présente l'analyse des correspondances multiples (ACM) des variables socio-économiques et de systèmes de culture dans les champs de brousse. Seulement 11% de la variance est expliquée par les deux axes F1 et F2. Les variables de systèmes de culture ne contribuent pas à la formation des deux axes. Aussi, les variables socio-économiques ne permettent pas d'expliquer ou d'être expliquées par les variables de systèmes de culture. Cela se traduit par le regroupement des modalités des différentes variables au centre du graphique formant un seul groupe d'exploitants agricoles (G1) qui ont des pratiques homogènes dans les champs brousse.

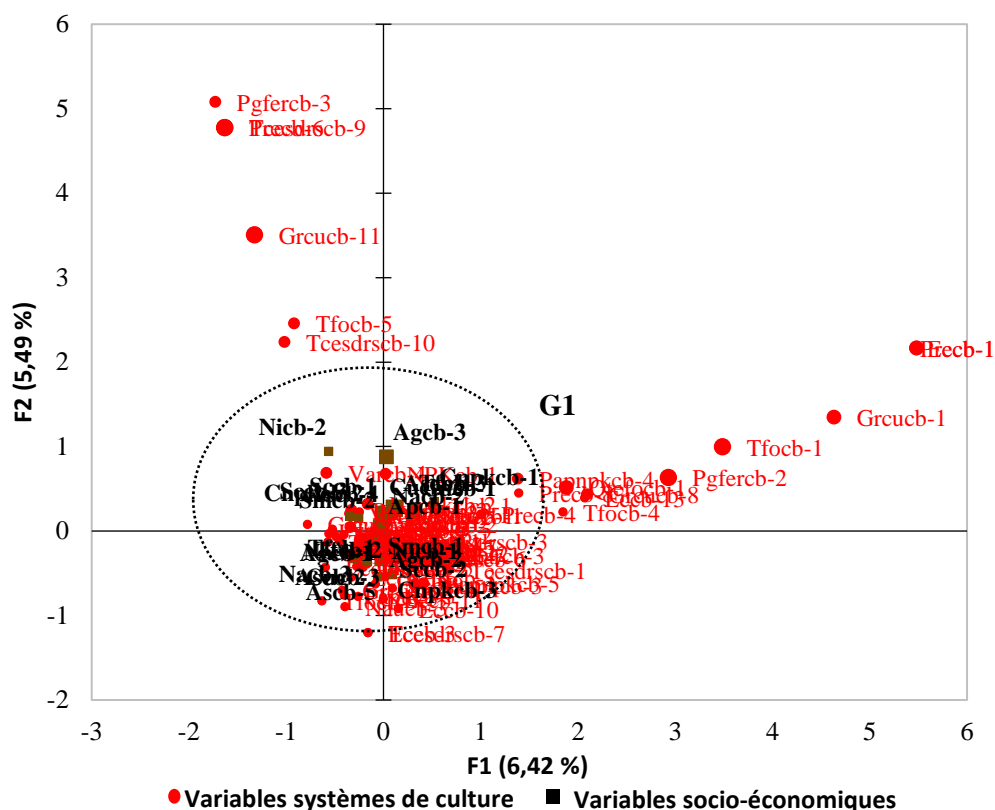


Fig. 3. Relations entre variables socio-économiques et systèmes de cultures dans les champs de brousse (les abréviations indiquées pour les variables sont décrites dans les Tableaux 3 et 6)

## 4 DISCUSSION

### 4.1 DETERMINANTS ET LOGIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES PRATIQUES PAYSANNES DANS LES CHAMPS DE CASE

Dans les champs de cases, les exploitants du premier groupe ont des pratiques agricoles non recommandées avec pour conséquence de faibles rendements. Ces exploitants non scolarisés, qui ne disposent pas assez d'expérience avec moins d'actifs agricoles adoptent difficilement les technologies. Nos résultats confirment ceux obtenus par [24] qui rapportent que le nombre d'actifs agricoles et le niveau de scolarisation sont des facteurs déterminants de l'adoption des technologies en milieu paysan.

Cependant, le niveau de scolarisation et/ou l'alphabétisations des exploitants du second groupe ainsi que le nombre important d'actifs agricoles sont des atouts pour l'adoption des pratiques recommandées. Ce qui se traduirait par l'adoption des pratiques de fertilisation organo-minérales et de CES/DRS avec des rendements plus élevés. [24] ont montré que le nombre d'actifs avait un effet positif sur l'utilisation d'engrais minéraux dans les systèmes de culture. En effet, les ménages agricoles qui ont plus d'actifs agricoles constituent un grand atout en termes de disponibilité de main d'œuvre pour le chef de ménage. Des auteurs tels que [25], [26] ont aussi rapporté une corrélation positive entre le niveau d'éducation et l'adoption des innovations dans les milieux paysans. Les exploitants les plus instruits approuvent aussi rapidement l'introduction des innovations parce qu'ils anticipent déjà sur les effets bénéfiques à tirer. Une meilleure compréhension et l'esprit d'ouverture des lettrés aux innovations expliquent le fait que les producteurs instruits adoptent plus les pratiques de gestion de la fertilité des sols que les producteurs non instruits ([26]).

Par ailleurs, l'étude a également montré que tous les exploitants utilisent les semences de variétés améliorées de maïs. L'effet positif et significatif des variétés améliorées sur le rendement des cultures et les revenus des exploitants est cité par beaucoup d'auteurs dont [27], [28].

#### 4.2 DETERMINANTS ET LOGIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES PRATIQUES PAYSANNES DANS LES CHAMPS DE VILLAGE

Dans les champs de village, le premier groupe d'exploitants comprend les ménages de grande taille avec plus d'actifs agricoles se traduisant par l'exploitation de grandes superficies. Nos résultats sont en accord avec ceux de [4] qui rapportent que les exploitations ayant un nombre plus important d'actifs agricoles disposent plus facilement de la main d'œuvre exploitable pour répondre aux besoins de la production. Cependant, l'extension de la superficie peut entraîner des apports de faibles quantités de fumures organiques et minérales d'où le faible niveau d'investissement pour l'achat des engrais par ce groupe. [29] ont rapporté qu'avec de grandes superficies et ne disposant pas de quantités suffisantes de fumure organique et minérales, les paysans développent une pratique alternative en réalisant des apports localisés avec de fortes doses. Ces résultats sont en phase avec ceux de [17] qui avaient montré en Afrique de l'Est que les différences dans la gestion de la fertilité organique des champs sont déterminées par la taille des exploitations agricoles et la possession de bétail. Concernant le fractionnement de l'urée par ce groupe d'exploitant, il serait lié à la disponibilité de la main d'œuvre. Les auteurs comme [11] ont rapporté que lorsque le nombre d'actifs agricole est important dans l'exploitation agricole, il permet aux exploitants d'utiliser cette main d'œuvre pour les travaux d'entretien des parcelles notamment l'application des engrais. En outre, les résidus de récolte compostés ou utilisés comme fourrage par ce groupe d'exploitant sont en accord avec les résultats de [30] qui ont montré que les résidus issus des cultures notamment les céréales sont prioritairement utilisées à 30% pour l'alimentation du bétail et 22% pour la production de la fumure organique.

En revanche, la non-scolarisation associée, à la taille du ménage ainsi que le nombre d'actifs agricoles de certains exploitants du deuxième groupe sont un frein pour l'exploitation de grandes superficies et l'adoption de pratiques innovantes. [31] ont apporté des précisions en montrant que l'éducation améliore la capacité du producteur à disséquer les informations relatives à l'environnement économique. [32] ont rapporté que la taille du ménage constitue une variable clé dans l'adoption de nouvelles technologies. La présence des jeunes et des exploitants âgés constitue un atout pour ce groupe, car les jeunes disposant de plus de ressources peuvent facilement adopter l'innovation et pratiquer l'agriculture intensive [24]. Quant aux exploitants âgés et expérimentés, ils perçoivent plus vite la baisse de la fertilité des sols et adoptent plus rapidement des pratiques permettant de maintenir leur sol toujours fertile [33]. Ce qui se traduit par un investissement plus important dans l'achat des engrais et l'apport doses importantes de fumure organique que le premier groupe. Cependant, les modes d'apport des engrais minéraux ne sont pas conformes aux recommandations de la recherche qui consiste à appliquer le NPK en une seule fraction et l'urée en deux fractions pour la culture du maïs.

#### 4.3 DETERMINANTS ET LOGIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES PRATIQUES PAYSANNES DANS LES CHAMPS DE BROUSSE

L'existence d'un seul groupe d'exploitants dans les champs de brousse se traduirait par une homogénéité des pratiques. En effet, la grande proportion d'exploitants (56%) ayant moins d'actifs agricoles (3 à 7), exploitent des superficies comprises entre 0,5 et 5 ha, avec des rendements faibles. Ils apportent des doses non recommandées de fumures organiques et minérales et les modes d'apport des engrais minéraux ne sont pas conformes aux recommandations. [11] ont rapporté que le nombre d'actifs agricoles sont les facteurs qui influencent le nombre d'apports de fumure organique, d'engrais NPK et de l'Urée. Le manque d'actifs agricoles est un frein pour l'exploitation de grandes superficies et l'adoption de pratiques innovantes. Pour [34], la distance entre la concession et le champ affecte négativement l'adoption des technologies de fumure. Les producteurs qui ne sont pas à proximité du champ payeront plus chers pour le coût de transport des fertilisants comparativement à ceux qui sont à proximité. Selon [35], les principales raisons du faible apport des engrais dans l'agriculture sont leurs coûts élevés, les difficultés d'approvisionnement, le faible niveau de revenus des producteurs, et leur faible disponibilité au moment voulu.

## 5 CONCLUSION

L'étude a été conduite dans les zones soudaniennes et soudano-sahéliennes du Burkina Faso, en vue d'identifier les déterminants et les logiques socio-économiques du choix des systèmes de culture dans les exploitations agricoles productrices de maïs.

L'étude a montré que les facteurs socio-économiques qui discriminent au mieux le choix des pratiques sont fonction des types de champs. Ces facteurs de discrimination sont l'âge, le niveau de scolarisation et/ou d'alphabétisation, la taille du ménage et le nombre d'actifs agricoles avec des spécificités pour chaque type et supporte notre hypothèse.

Les exploitants des trois types de champs sont repartis dans des classes d'âge différents. Cependant, ceux de la tranche d'âge de 30 à 40 ans et de 40 à 56 ans sont les plus nombreux et représentés dans tous les champs. La tranche d'âge de 40 à 56 ans comprend la plus grande proportion d'exploitants quel que soit le type de champ. Les plus jeunes et les exploitants les plus âgées se retrouvent exclusivement dans les champs de village et de brousse avec une faible proportion. Les exploitants de

ces deux derniers types de champs ont des ménages et des actifs agricoles plus importants permettant d'emblaver de grandes superficies. Les couts d'investissement par hectare pour l'achat des engrais NPK et de l'urée sont plus élevés dans les champs de village que les champs de case et de brousse. Les doses recommandées de fumure organique et minérale sont apportées uniquement dans les champs de village par certains groupes d'exploitants. Cependant, les plus faibles doses sont rencontrées dans les champs de brousse avec des modes d'apport non recommandés.

## REFERENCES

- [1] T. Kobrich, C. Rehman et M. Khan, Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan, *Agricultural Systems*, vol.76, pp 41 -157, 2002.
- [2] C.H. Sossou, P. Lebaillly et C. L. Hinnou, Essai de typologie des exploitations agricoles axée sur le financement de la production agricole au Bénin, 7ème Journées de Recherches En Sciences Sociales., INRA-SFER-CIRAD, pp 1 -23, 2013.
- [3] F. Zahm, A. L. Ugaglia, H. Boureau, B. Del'Homme, J. M. Barbier, P. Gassel, M. Gafsi, L. Guichard, C. Loyce, V. Manneville, A. Menet et B. Redlingshofer, Agriculture et exploitation agricole durables: état de l'art et proposition de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. *Innovations Agronomiques*, vol.46, pp 105 -125, 2015.
- [4] Adjobo OMFR, Yabi JA et Gouwakinnou JY. 2020. Typologie des exploitations agricoles productrices d'anacarde au Nord et au Centre du Bénin, Glazoué, Tchaourou et Djougou. *Afrique SCIENCE* 16 (5) 303 – 316.
- [5] F. G. Crinot, P. Y. Adegbola, N. R. Ahoyo adjovi, A. Adjanohoun, G. A. Mensah et D. Kossou, Compétitivité des systèmes de cultures à base d'anacarde au Bénin: Application d'une méthode dynamique de la matrice d'analyse des politiques (MAP), *Annales des sciences agronomiques*, vol. 19, n° 2, pp 589 -616, 2018.
- [6] M. Gafsi, P. Dugué, J.Y. Jamin, J. Brossier, Exploitations agricoles familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre: Enjeux, caractéristiques et éléments de gestion. CTA, éditions QUAE, 475p, 2007.
- [7] A.W. Sempore, Rôle de la modélisation dans l'aide à la conception de systèmes de production innovants: le cas des exploitations de polyculture élevage à l'Ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso. 119 p, 2015.
- [8] M. Koutou, M. Sangare, M. Havard, A. Toillier, L. Sanogo, T. Thombiano, D.S. Vodouhe, « Sources de revenus et besoins d'accompagnement des exploitations agricoles familiales en zone cotonnière ouest du Burkina Faso ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, vol. 20, n° 1, pp 42-56, 2016.
- [9] K.F. Zongo, E. Hien, J.J. Drevon, D. Blavet, D. Masse, C. Clermont-Dauphin, «Typologie et logique socio-économique des systèmes de culture associant céréales et légumineuses dans les agro-écosystèmes soudano-sahéliens du Burkina Faso», *International Journal of Biological and Chemical Science*, vol. 10, n°1, pp 290-312, 2016.
- [10] K. Coulibaly, F. Sankara, S. Pousga, P.J. Nacoulma, H.B. Nacro, «Pratiques avicoles et gestion de la fertilité des sols dans les exploitations agricoles de l'Ouest du Burkina Faso». *Journal of Applied Biosciences*, vol. 127, pp 12770-12784, 2018.
- [11] A. Sanon, A.P.K. Gomgnimbou, H. Sigue, K. Coulibaly, S. Fofana, C. A. Bambara, H. B. Nacro, Typologie des systèmes de culture de riz pluvial strict en zone nord et sud soudanienne: Cas des régions de l'Est, des Hauts Bassins et du Plateau Central du Burkina-Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 33, n° 2, pp 344-353, 2021.
- [12] S. C. G. Assogba, R. C. Tossou et P. Lebaillly, Diversité des pratiques paysannes de gestion de la matière organique dans les exploitations productrices de coton biologique à Kandi. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron*; vol. 8, n° 1, pp 85-93, 2018.
- [13] C. Y. Prudencio, Ring management of soils and crops in the West African semi-arid tropics: The case of the mossi farming system in Burkina Faso. *Agric Ecosyst Environ*. Vol. 47, pp 237-264, 1993.
- [14] S. J. B. Taonda, R. Bertrand, J. Dickey, J. L. Morel, K. Sanon, Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso. *Cah Agric.*, vol. 4, pp 363-369, 1995.
- [15] L. Ouedraogo, Typologie des champs agricoles d'un terroir: l'efficacité de l'approche du système d'information géographique. In *sidwaya le journal de tous le Burkinabè*. N° 7595 du mardi 04 février 2014, p. 23, 2014.
- [16] F. Affholder, C. Poeydebat, M. Corbeels, E. Scopel, P. Tittone, The yield gap of major food crops in family agriculture of the tropics: assessment and analysis through field surveys and modeling. *Field Crop. Res.*, vol. 143, pp 106-118, 2013.
- [17] R. Chikowo, S. Zingore, S. Snapp, A. Johnston, Farm typologies, soil fertility variability and nutrient management in smallholder farming in Sub-Saharan Africa. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, vol. 100, pp 1-18, 2014.
- [18] B. I. Koura, H. Dedehouanou, H. L. Dossa, B. V. Kpanou, F. Houndonougbo, P. Hounngandan, G. A. Mensah, M. Houinato, Determinants of crop-livestock integration by small farmers in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9, n° 5, pp 2272-2283, 2015.

- [19] C. Clermont-Dauphin, E. Blanchart, G. Merciris, J. M. Meynard, Cropping Systems to improve soil biodiversity and ecosystem services: The Outlook and Lines of Research. In *Agroecology and Global Change, Sustainable Agriculture Reviews 14*, Ozier-Lafontaine H, Lesieur-Jannoyer M (eds). Springer International Publishing: Switzerland. 2014.
- [20] J. Fontes, S. Guinko, Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Ministère de la Coopération Française: projet campus (88313 101), 67p, 1995.
- [21] DGESS/MAAH, Annuaire des statistiques agricoles 2018, 437 p, 2019.
- [22] A. Satin et W. Shastry, L'échantillonnage: Un guide non mathématique-2<sup>e</sup> édition. 114p, 1993.
- [23] V. Kuentz Simonet, S. Lyser, J. Candau, P. Deuffic, M. Chavent, Une approche par classification de variables pour la typologie d'observations: le cas d'une enquête agriculture et environnement. Société Française de Statistique et Société Mathématique de France. *J. Soc. Fran. Stat.*, vol. 154, n° 2, pp 37-63, 2013.
- [24] N. Ollabode, G. P. Tovihoudji, R. N. Yegbemey, D.G.B. Aihounton, H. Edja, P.B.I. Akponikpè, A. J. YABI, Facteurs déterminants l'utilisation des engrais minéraux et organiques par les producteurs de maïs en zones soudanienne et soudano-sahélienne du nord-Benin. *Agronomie Africaine*, vol. 34, n° 2, pp 229-242, 2022.
- [25] Atchikpa el al., évaluation qualitative et quantitative des perceptions des agriculteurs sur le changement climatique cas de culture du maïs dans le nord du Bénin. Faire progresser la recherche sur le changement climatique en Afrique de l'Ouest: tendances, impacts, vulnérabilité, résilience, adaptation et questions de durabilité Editeur: Nova Science Publishers, Inc. pp.19, 2018.
- [26] J.A. Yabi, F.X. Bachabi, I. A. Labiyi, C.A. Ode et R.L. Ayena, Déterminants socio-économiques de l'adoption des pratiques culturales de gestion de la fertilité des sols utilisées dans la commune de Ouaké au Nord-Ouest du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 10, n°2, pp 779-792, 2016.
- [27] K.H. Berihun, K.A. Bihon, A.W. Kibrom, Adoption and impact of agricultural technologies on farm income: evidence from Southern Tigray, Northern Ethiopia. *International Journal of Food and Agricultural Economics*, vol. 2, pp 91-106, 2014.
- [28] O.H. Issoufou, S. Boubacar, T. Adam, B. Yamba, Déterminants de l'adoption et impact des variétés améliorées sur la productivité du mil au Niger. *Afr. Crop Sc. J.*, vol. 25, pp 207-220, 2017.
- [29] M. Blanchard, K. Coulibaly, S. Bognini, P. Dugué, E. Vall, Diversité de la qualité des engrais organiques produits par les paysans d'Afrique de l'Ouest: quelles conséquences sur les recommandations de fumure? *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol. 18 n° 4, pp 512-523, 2014.
- [30] T. Noufé, Capital humain, productivité agricole et pauvreté rurale au Burkina Faso. Thèse de doctorat. Université Thomas Sankara de Ouagadougou. 2018.
- [31] A. Sale, D.P. Folefack, G.O. Obwoyere, W. Lenah, W.V. Lenzemo et A. Wakponou, Changements climatiques et déterminants d'adoption de la fumure organique dans la région semi-aride de Kibwezi au Kenya, *Afrique SCIENCE*, vol. 08, n° 2, pp 22-33, 2014.
- [32] P.D. Folefack, A. Salé, A. Wakponou, Facteurs affectant l'utilisation de la fumure organique dans les exploitations agricoles en zone sahéenne du Cameroun, *Afrique SCIENCE*, vol. 08 n° 2, pp 22-33, 2012.
- [33] R.N. Yegbemey, J.A. Yabi, B.G. Aihounton, A. Paräiso, Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique: cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cah Agric.* vol. 23, pp 177-87, 2014.
- [34] M.B. Pouya, M.O. Sawadogo, J. Ouedraogo, I. Serme, G. Vognan, D. Dakuo, M. P. Sedogo and F. Lompo: Déterminants socio-économiques de la dégradation des sols et de l'adoption des technologies de gestion de la fertilité des sols selon les perceptions paysannes dans les zones cotonnières du Burkina Faso. *Asian journal of Science and Technology*. Vol. 11, n° 06, pp 11003-11011, 2020.
- [35] I. Acosta-Alba, E. Chia, N. Andreu, The LCA4CSA framework. Using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability of climate smart agriculture options at farm and crop system levels, *Agricultural systems*, vol.171 pp 155-170, 2019.

## Diversité floristique de la forêt classée de Niégré (Sud-Ouest) de la Côte d'Ivoire

### [ Floristic diversity of the classified forest of Niégré (South-West) of the Ivory Coast ]

*Anny Estelle N'Guessan<sup>1</sup>, Konan Bienvenu Aman<sup>2</sup>, Zinsi Roseline Gouli Gnanazan<sup>3</sup>, and Ndja Justin Kassi<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire des Milieux naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>UFR des Sciences de la Nature (SN), Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Laboratoire des Systématiques, Herbiers et Musée botanique, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The present study was initiated to contribute to the sustainable management of the Niégré classified forest. It analyzed the floristic diversity, vegetation structure and conservation value of this forest. The methodology used consisted in randomly installing 100 m x 20 m (2,000 m<sup>2</sup>) plots in each biotope (old-growth forest, 1-10 year-old fallow, 11-19 year-old fallow, 20-30 year-old fallow and 30+ year-old fallow). In each plot, chest height diameter (CHD) and height measurements were taken for all woody species 2.5 cm and over. A total of 419 species in 286 genera and 92 families were recorded. The most important families are Fabaceae, Rubiaceae and Euphorbiaceae. The flora of this forest is also characterized by the presence of special-status species (55), two of which are endemic to Côte d'Ivoire. This work also shows that stand composition and structure parameters increase with the age of the fallow. Efforts to conserve the endemic, rare and endangered species of the Niégré classified forest must be a top priority.

**KEYWORDS:** biodiversity, conservation value, Niégré classified forest, Ivory Coast.

**RESUME:** La présente étude a été initiée pour contribuer à la gestion durable de la forêt classée de Niégré. Elle a permis d'analyser la diversité floristique, la structure de la végétation et la valeur de conservation de cette forêt. La méthodologie utilisée a consisté à installer de manière aléatoire, dans chaque biotope (forêts anciennes, jachères de 1 à 10 ans, jachères de 11 à 19 ans, jachères de 20 à 30 ans et jachères de 30 ans et plus), des parcelles de 100 m x 20 m (2000 m<sup>2</sup>). Dans chaque parcelle, les relevés de diamètres à hauteur de poitrine (DBH) et les mesures de hauteurs de tous les ligneux de 2,5 cm et plus ont été effectués. Au total 419 espèces réparties en 286 genres et 92 familles ont été recensées. Les familles les plus importantes sont les Fabaceae, les Rubiaceae et les Euphorbiaceae. La flore de cette forêt est aussi caractérisée par la présence des espèces à statut particulier (55) dont deux endémique ivoirienne. Ces travaux montrent également que les paramètres de composition et de structures des peuplements augmentent avec l'âge de la jachère. Les efforts de conservation des espèces endémiques, rares et menacées d'extinction de la forêt classée de Niégré doivent être une priorité absolue.

**MOTS-CLEFS:** biodiversité, valeur de conservation, forêt classée Niégré, Côte d'Ivoire.

## 1 INTRODUCTION

Les écosystèmes forestiers de la Côte d'Ivoire faisaient partis des écosystèmes les plus riches et les plus diversifiés de l'Afrique tropicale jusqu'au début des années 1960 [1]; [2]; [3]; [4]. Le pays présente aujourd'hui, l'un des taux de couverture forestière les plus faibles. En effet cette réduction du couvert forestier est due à l'économie de la Côte d'Ivoire basée sur l'agriculture, à la croissance démographique, à l'exploitation abusive des bois d'œuvres et à la dégradation majeure des écosystèmes [1]; [5]; [6].

Pour [7], la biodiversité végétale est donc menacée par des activités qui augmentent la pression sur les forêts au point où celles-ci connaissent des taux de déforestation annuels de 1,86 % par an pendant la décennie 2000. Pourtant, ces forêts tropicales sont des puits importants, pour la lutte contre les changements climatiques [8]. Elles constituent 40 à 50 % du carbone terrestre et jouent un rôle majeur dans le cycle global du carbone [9]. Au vu de cela, les forêts tropicales sont des "trésors" pour la conservation des espèces, pour la survie de l'humanité et pour la bonne santé de la planète.

Les aires protégées constituent l'élément clé de toute stratégie de conservation de la biodiversité en Côte d'Ivoire. En effet, les forêts classées bénéficient des mesures juridiques pour assurer leurs protections [10]. Cependant, elles font face depuis les années 1970 à une infiltration massive des populations empêchant ainsi leur conservation durable [11]. C'est le cas de la forêt classée de la Niégré qui constitue l'un des grands massifs forestiers du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire [12]. Dans ce massif, les études réalisées par la SODEFOR montrent que le taux d'implantation des populations est passé de 25 à 40% entre 1992 et 2006 [13]. Ainsi, ces travaux vont nous permettre de répondre aux questions de recherches suivantes: quelle est la diversité floristique de cette forêt ? Quelle est la valeur de conservation de cette forêt ? L'objectif général de cette étude est d'établir un état référentiel de la composition floristique de cet écosystème forestier. Plus spécifiquement, il s'agit (a) de déterminer la richesse et la composition floristique de cette forêt et (b) d'évaluer sa valeur de conservation.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 SITE D'ÉTUDE

La forêt classée de Niégré (92 500 hectares) est à cheval entre les régions de la Nawa et du Gbôklè. Elle est située entre les Départements de Sassandra et de Guéyo [10]. Elle tire son nom de la rivière Niégré qui la traverse du Nord-Est au Sud-Ouest. C'est une forêt ombrophile, située au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire entre les latitudes Nord: 5° et 5°40', et les longitudes Ouest: 6° et 6°30' (Figure 1). Le relief de la zone est constitué en grande partie de plateau comportant de nombreuses vallées. Les sols sont ferrallitiques d'origine granitique faiblement dénaturés. Le climat de la région est de type équatorial de transition avec quatre saisons et de très fortes précipitations annuelles de l'ordre de 1470 mm/an. Les températures de notre zone d'étude oscillent entre 25°C et 29°C [14].

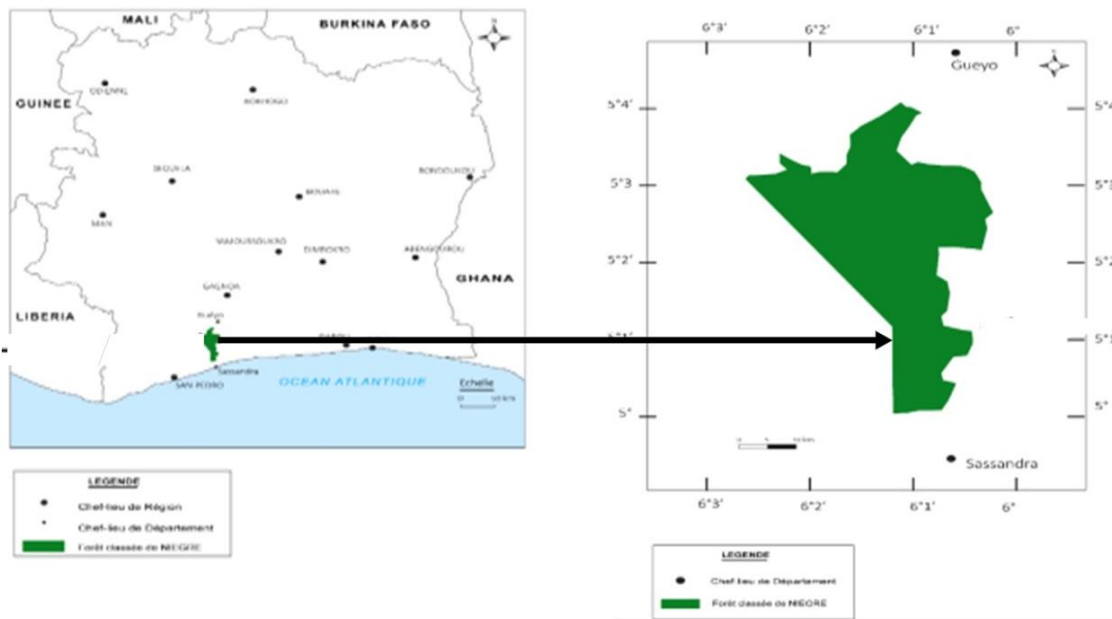


Fig. 1. Localisation de la forêt classée de Niégré en Côte d'Ivoire [13]

## 2.2 COLLECTE DES DONNÉES

Le plan d'échantillonnage a été conçu de sorte à placer des parcelles dans les différents types de végétations rencontrées sur le site: les forêts anciennes et les jachères post-culturelles classées en quatre (4) classes d'âge. Ce sont: les jachères de 1-10 ans (catégorie 1), les jachères de 11-19 ans (catégorie 2), les jachères de 20-29 ans (catégorie 3) et les jachères de 30 ans et plus (catégorie 4).

Deux méthodes de relevés botaniques ont été utilisées dans cette étude. La méthode de relevés de surfaces à consister à installer 20 parcelles de manière aléatoire, dans chaque biotope, des parcelles de 100 m x 20 m (2000 m<sup>2</sup>). Cette méthode a permis de recenser toutes les espèces vasculaires présentes dans la surface-échantillon et à mesurer le diamètre à hauteur de poitrine (dbh) supérieur ou égal à 2,5 cm des ligneux à 1,30 m du sol dans les parcelles délimitées [3]; [15]. Elles se répartissent comme suit: forêts anciennes (n=4 parcelles), jachères de 1 à 10 ans (n= 4 parcelles); jachères de 11 à 19 ans (n = 4 parcelles); jachères de 20 à 30 ans (n= 4 parcelles), et 4 parcelles pour les jachères de 30 ans et plus. La hauteur de ces ligneux a été mesurée en vue de la stratification de la végétation. Un inventaire itinérant a été associé pour obtenir plus d'informations sur la composition floristique de la forêt. Pour ce faire, nous avons parcouru les biotopes dans toutes les directions, en notant toutes les espèces de plantes rencontrées [1]. L'identification des espèces botaniques inventoriées a été faite sur le terrain grâce à la clé d'identification de [16]. Nous avons souvent eu recours à des ouvrages tels que "arbres, arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest " [17]. Les noms des espèces inventoriées ont été mises à jour à partir de [18]. La nomenclature adoptée est celle de [19].

## 2.3 ANALYSE DES DONNÉES

### 2.3.1 DIVERSITÉ QUALITATIVE DE LA FLORE

La mesure de la richesse floristique consiste à dénombrer toutes les espèces recensées dans un biotope sans tenir compte de leur abondance. Une base de données floristique contenant, les données taxonomiques (Famille, genre, espèce, sous-espèce ou variété et nom de l'auteur) a été réalisée. Cette liste floristique établie a servi de base d'analyse synthétique. Pour chaque espèce identifiée, le type biologique, la phytochorie et le mode de dissémination ont été établis. Les ouvrages botaniques [20]; [18]; [21]; [22] ont servi de référence. La valeur de conservation de la biodiversité de la forêt a été évaluée en tenant compte des espèces à statut particulier. Ce sont les espèces endémiques à la Côte d'Ivoire (GCI), les endémiques des forêts de la Haute Guinée (HG) et celles du bloc forestier ouest-africain (GCW), les espèces rares et en voie d'extinctions de la flore ivoirienne et les espèces présentes sur la liste des espèces rares et menacées selon [2]; [21]; [22]; [23]; [24].

Les espèces à valeur commerciale généralement appelées essences commerciales ont également été recensées. Selon [25], en Côte d'Ivoire, les espèces commercialisées sont regroupées en trois catégories en fonction de leurs valeurs technologique et commerciale. On distingue ainsi la catégorie P1: espèces couramment commercialisées, la catégorie P2: espèces sporadiquement commercialisées et la catégorie P3: espèces à promouvoir.

### 2.3.2 DIVERSITÉ QUANTITATIVE DE LA FLORE

Nous avons choisi l'indice de [26] et de [27] pour évaluer la diversité spécifique du site d'étude.

L'indice de Shannon (H') mesure la composition en espèce d'un peuplement en tenant compte de la richesse spécifique et de l'abondance relative. Cet indice varie de 0 (une seule espèce présente) à ln (S) (toutes les espèces présentes ont une même abondance, donc bonne diversité) selon [28]. Il se calcule en utilisant la formule suivante:

$$H' = -\sum [(ni/N) \times \ln (ni/N)]$$

Le calcul de l'indice de diversité spécifique s'accompagne toujours de celui de l'équitabilité. L'indice d'équitabilité (E) de [27], appelé également indice d'équirépartition [29] est le rapport entre l'indice de Shannon de l'échantillon et la diversité maximale. L'équitabilité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce et vers 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance. Il se calcule selon la formule mathématique suivante:

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

### 2.3.3 STRUCTURE DE LA VÉGÉTATION

Elle a été analysée à travers divers paramètres. Il s'agit de la densité, des aires basales de toutes les tiges ayant un dbh d'au moins 2,5 cm et de la distribution des individus par classe de diamètre en centimètre (] 2,5; 10 [, ] 10; 20 [, ] 20; 30 [, ] 30; 40 [, ] 40; 50 [, ] 50; 60 [, ] 60; 70 [, ] 70; 80 [, ] 80; 90 [, ] 90 et 100 [, ] 100, + [). Des courbes de distribution des tiges en fonction des classes de diamètre ont été aussi construites pour déterminer l'état de stabilité des différents biotopes dans le site. Au niveau de la structure verticale, 4 strates ont été établies pour la végétation du site en nous référant aux travaux de [30]. Ce sont la strate arbustive inférieure (< 4 m de hauteur); la strate arbustive supérieure (4 à 8 m de hauteur); la strate arborée inférieure (8 à 16 m de hauteur); la strate arborée supérieure (16 à 32 m de hauteur) et plus.

La densité est définie comme étant le nombre d'individus par unité de surface (nombre de tiges par hectare). Elle est calculée avec la formule suivante:

$$d = n/s$$

L'aire basale représente la surface de la section des troncs de tous les arbres d'un relevé si l'on suppose que la coupe se fait à 1,30 m au-dessus du sol. Sa formule est la suivante:

$$S = D^2 \times \pi / 4$$

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 RICHESSE ET COMPOSITION FLORISTIQUE

La flore de la forêt de Niégré comporte 419 espèces sur les 20 parcelles inventoriées. Ces espèces se répartissent entre 286 genres et 92 familles. Les travaux ont révélé que la famille des Fabaceae avec 44 espèces soit (10,50%) est la mieux représentée (Figure 2). Elle est suivie des familles des Malvaceae (24 espèces soit 5,73%), des Euphorbiaceae (20 espèces soit 4,77%), des Rubiaceae (20 espèces soit 4,77%), des Apocynaceae (20 espèces soit 4,77%), des Moraceae (19 espèces soit 4,53%). D'autres familles sont, quant à elle, représentées que par une seule espèce. Il s'agit des Phyllanthaceae et Loranthaceae avec une seule espèce (soit 0,24%).

Le spectre biologique des espèces inventoriées sur l'ensemble du site d'étude, met en évidence une nette dominance des phanérophytes avec 268 espèces soit 64% (Figure 3). Les hémicryptophytes suivent avec 15 espèces (3%), les géophytes avec 12 espèces (3%), les chaméphytes avec 11 espèces (3%), les thérophytes avec 5 espèces (1%) et les épiphytes avec 4 espèces (0,95%). Les hydrophytes renferment avec une (01) espèce (0,24%). Au niveau des phanérophytes, ce sont les microphanérophytes qui sont dominants avec 103 espèces (24%) suivis des mésophanérophytes 74 espèces (18%) et des nanophanérophytes 57 espèces (13,57%) suivi des Mégaphanérophytes 37 espèces (9%). Parmi les phanérophytes nous avons recensées 82 espèces qui sont des lianes.

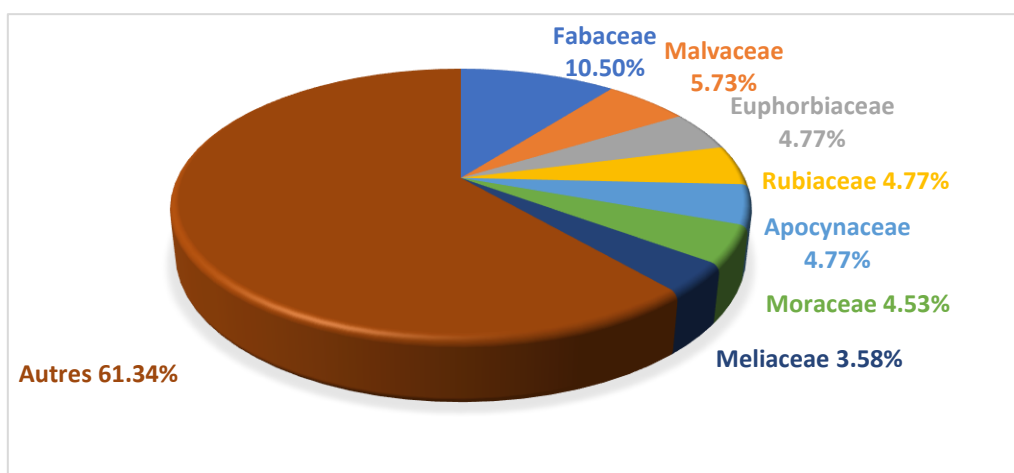


Fig. 2. Spectre des familles botaniques représentées dans la forêt de Niégré

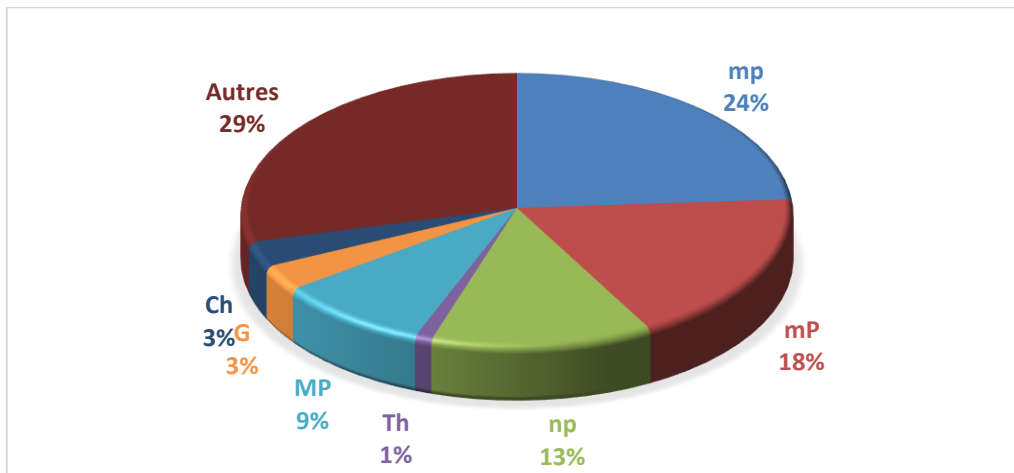


Fig. 3. Spectre des types biologiques des espèces de la forêt

Légende: mp: microphanérophytes, mP: mésophanérophytes, np: nanophanérophytes, MP: mégaphanérophytes, G: géophytes, H: hémicryptophytes, Ch: chaméphytes, Ep: épiphytes, H: hydrophytes; Th: thérophyte

Ainsi nous avons des lianes microphanérophytes (Lmp) avec 58 espèces (70,73%) qui sont les plus dominantes suivi des lianes mésophanérophytes (Lmp) avec 13 espèces (15,85%), les lianes nanophanérophytes (Lnp) avec 7 espèces (8,53%) et les lianes mégaphanérophytes (LMP) avec 4 espèces (4,87%). La flore de notre site d'étude est majoritairement composée d'espèces guinéo-congolais GC avec 252 espèces soit 60,24 % (Figure 4). Les espèces de transition forêt- savanes ou de liaison guinéo-congolaises-soudano-zambiennes (GC-SZ) suivent avec un effectif de 32 espèces soit 8%. La répartition des autres espèces se présente de la manière suivante: les espèces de la zone Afro-Tropicale (AT, 41 espèces) soit 10%; espèces Introduites (I, 28 espèces) soit 7%; les espèces Pantropicales (Pan, 25 espèces) soit 6%; les espèces Plurirégionales africaines (PA, 18 espèces) soit 4%; les espèces Afro-américaines (Aam, 9 espèces) soit 2,15%; les espèces Paléotropicales (Pal, 5 espèces) soit 1,19% et les espèces Afro-Américaines (AM, 3 espèce) soit 0,71% sont moins représentées. L'endozoochorie avec 250 espèces soit 60 % (Figure 5) est le mode de dissémination le plus représenté, sont suivis de L'anémochorie avec 113 espèces (27%) et l'épizoochorie avec 28 espèces (7%). Les espèces barochores avec 20 espèces (5%) et les espèces hydrochores sont les moins représentées avec seulement 2 espèces (0,48%).

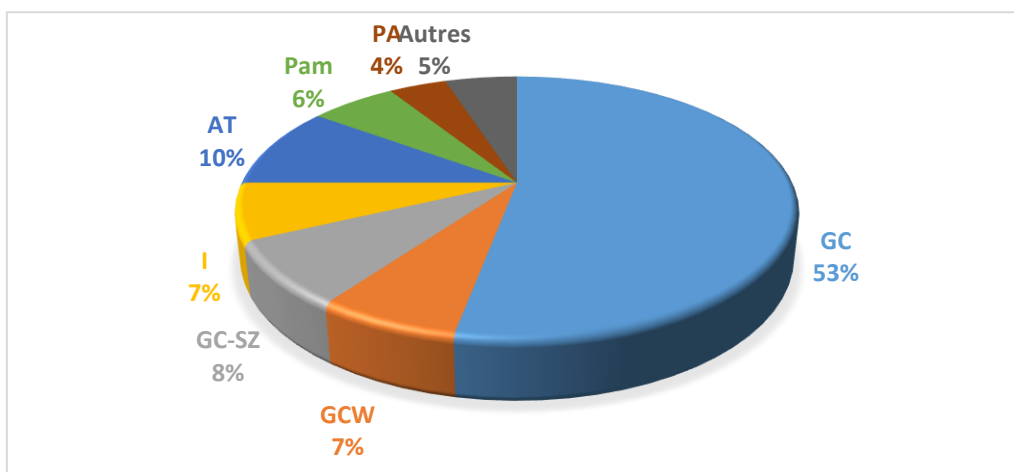


Fig. 4. Spectre de distribution phytogéographique des espèces du domaine

Légende: GC: Guinéo-congolaises, SZ: Soudano-Zambéziennes; GC-SZ: transition GC et SZ, AT: afrotropicales; Pan: Pantropicales; PA: plurirégionales africaines; I: introduites

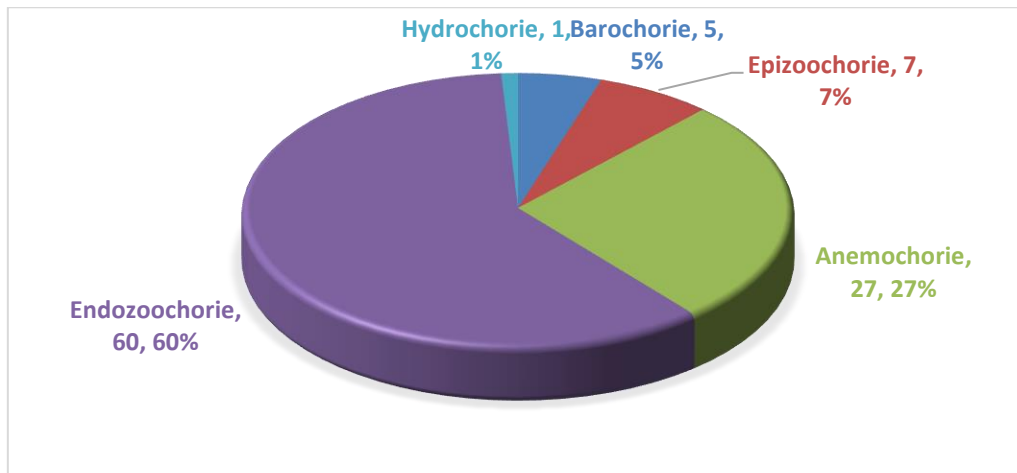


Fig. 5. Spectre du mode de dissémination des diaspores

### 3.2 INDICES DE DIVERSITÉ FLORISTIQUE

L'indice de Shannon varie de (1,87) pour les plus jeunes jachères à (2,18) pour les jachères de 30 ans et plus (Tableau 1). Les valeurs observées dans les forêts anciennes (2,18) sont nettement supérieures aux autres valeurs observées. L'indice d'équitabilité tend vers 1 sur l'ensemble de la flore. Les valeurs sont de 0,96 pour les jachères 0- 9 ans et de 0,99 pour tous les autres biotopes. Ces valeurs révèlent que la répartition des espèces est régulière et qu'il n'existe pas de dominance d'une espèce au sein des biotopes.

Tableau 1. Indices de diversité des biotopes étudiés

Formations végétales	Indice de Shannon	Indice d'Equitabilité
Jachères ≥30 ans	2,18	0,9907
Jachères (20-29 ans)	2,06	0,9903
Jachères (10-19 ans)	1,87	0,98
Jachères ≤10 ans	1,59	0,96

### 3.3 DIVERSITÉ STRUCTURALE

Au cours de cette étude nous avons recensé sur l'ensemble des biotopes 6234 individus à dbh ≥ 2,5 cm. Ces individus ont été recensés sur 4 ha soit 1558,5 pieds/ha. La densité varie au niveau des différents biotopes. La plus forte densité est observée au niveau des forêts anciennes (371,75 pieds/ha). Elles sont suivies des jachères de plus de 30 ans avec une densité de 349 pieds/ha. Les jachères de 20- 29 ans et les jachères de 10-19 ans suivent respectivement avec 332,25 pieds/ha et 305,75 pieds/ha. La plus faible densité est observée au niveau des plus jeunes jachères (224,75 pieds/ha). Les individus recensés sur l'ensemble des biotopes ont une aire basale 16792,24 m<sup>2</sup> pour les 4 ha avec une moyenne de 4198,06 m<sup>2</sup>/ha. L'aire basale des forêts anciennes est de 429,81 m<sup>2</sup>. Les aires basales pour les autres biotopes sont 8045,09 m<sup>2</sup> pour les jachères de plus de 30 ans, 4853,03 m<sup>2</sup> pour les jachères de 20-29 ans, 2524 m<sup>2</sup> pour les jachères de 10-19 ans et enfin 940,31 m<sup>2</sup> pour les jeunes jachères de 0-9 ans. La distribution des différentes tiges par classes de hauteurs (Figure 6) laisse clairement voir une augmentation des effectifs des ligneux, depuis les jachères récentes aux vieilles jachères. Elle est caractérisée par une diminution du nombre des individus des jeunes arbres au profit des individus de grandes tailles. La distribution des individus en fonction des classes de diamètre varie d'un biotope à un autre (Figure 7). Elle montre une courbe en « J inversé » dans les différents biotopes, traduisant ainsi une bonne régénération naturelle de la flore des biotopes. Cette allure de la courbe traduit aussi une décroissance du nombre d'individus lorsque le diamètre des individus croit.

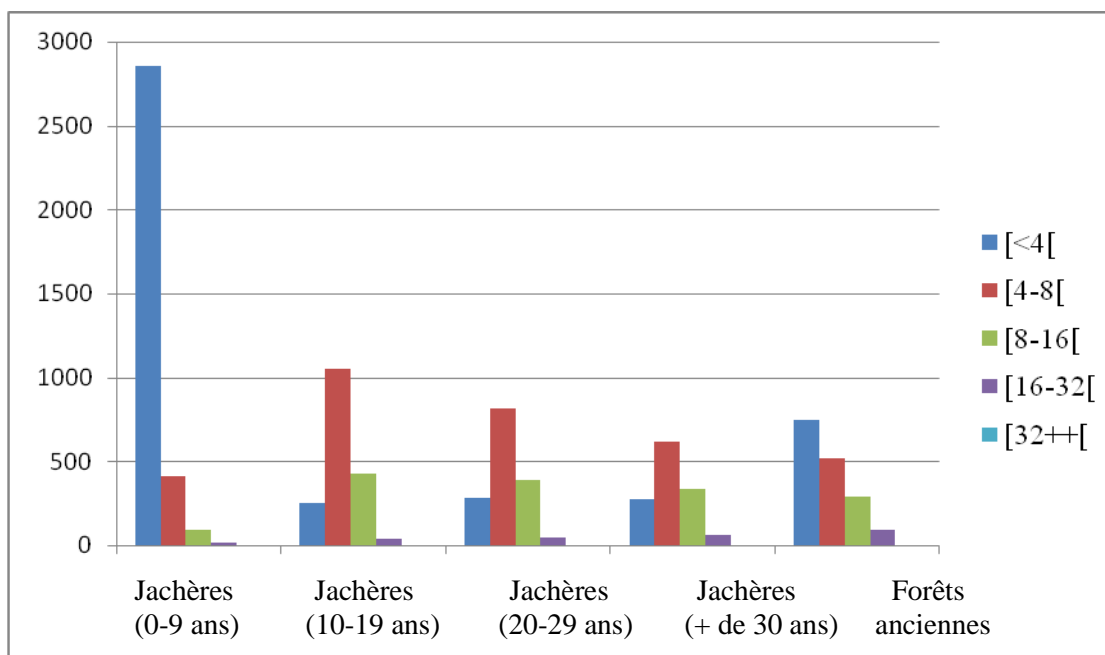


Fig. 6. Distribution des tiges par classes de hauteurs dans les différents biotopes

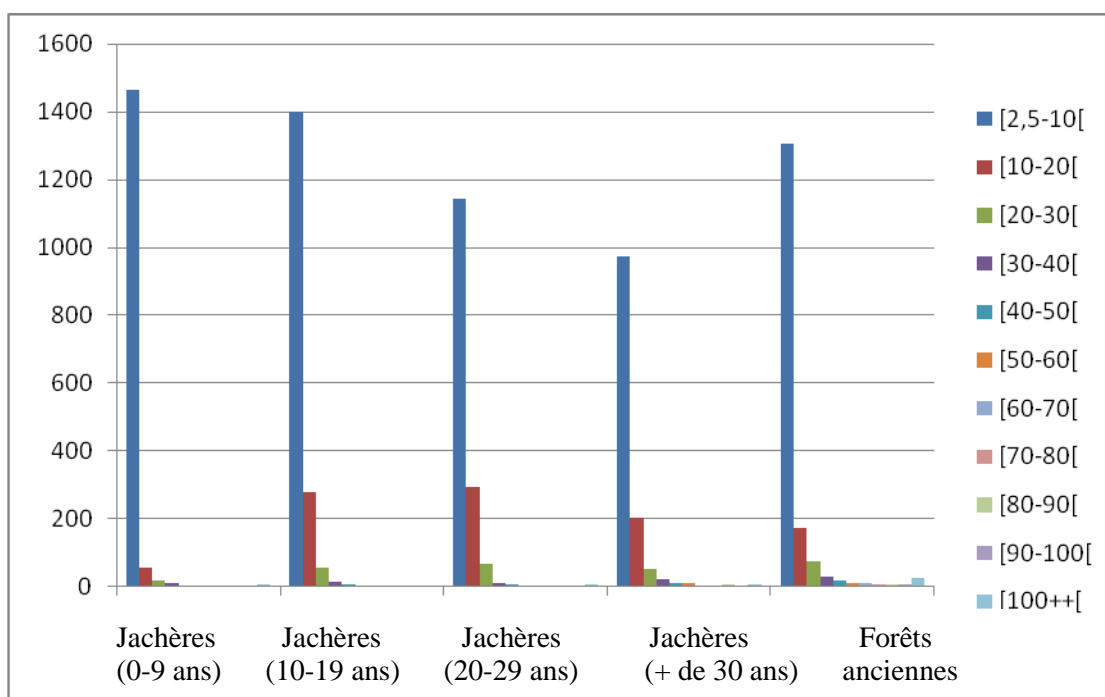


Fig. 7. Distribution des tiges par classes de diamètres dans les différents biotopes

### 3.4 VALEUR DE LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE DE CE SITE

#### 3.4.1 ESPÈCES À STATUT PARTICULIER

L'inventaire floristique de la forêt a permis de recenser au total 55 espèces à statut particulier (Tableau II). Parmi les espèces recensées dans le domaine, 26 (soit 6,20% de l'effectif total) sont endémiques Ouest africaines (GCW). Parmi celles-ci, deux (02) espèces sont endémiques ivoiriennes (GCI). Les espèces endémiques des forêts de la Haute Guinée (HG) sont au nombre de 20 (soit 4,77% de l'effectif total). La confrontation de la liste générale des espèces du site avec celle de [24] et celle de [2];

[21]; [22] nous a permis d'identifier 20 espèces (soit 4,77%) figurant sur la liste rouge de [24] et 7 espèces (soit 1,67%) figurant sur la liste de [2]; [21]; [22] comme espèces rares (AA). Ce sont: *Placodiscus boya* Aubrév. & Pellegr et *Garcinia kola* Heck., espèces vulnérables et *Cola heterophylla* (P.Beauv.) Schott & Endl, qu'on ne rencontre qu'en Côte d'Ivoire selon Aké-Assi. Parmi les 20 espèces présentes sur la liste rouge de l'UICN, 12 sont vulnérables (VU), 7 quasi menacées (NT), et une (1) en danger (EN), *Tieghemella heckelii* Pierre ex A. Chev.

### 3.4.2 ESPÈCES COMMERCIALES

L'inventaire floristique de la forêt a permis de recenser au total 48 espèces commerciales utilisées comme matières premières dans l'industrie du bois soit 11,45 % des espèces inventoriés dont, 27 sont de la catégorie P1, 14 de la catégorie P2 et 7 de la catégorie P3. (Tableau II).

N°	Espèces	Famille	UICN 2023	AA	Catégorie de bois d'œuvre	HG	GCW et GCi
1	<i>Afzella bella</i> Harms var. <i>gracillor</i> Keay	Fabaceae				HG	GCW
2	<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth.	Fabaceae	NT		P2		
3	<i>Amorphophallus accrescens</i> N. E. Br.	Araceae					GCW
4	<i>Baphia bancoensis</i> Aubrév.	Fabaceae					GCi
5	<i>Calpocalyx brevibracteatus</i> Harms	Fabaceae				HG	
6	<i>Chassalia afzelii</i> (Hiern) K. Schum.	Rubiaceae					GCW
7	<i>Chrysophyllum taiense</i> Aubrév. & Pellegr.	Sapotaceae				HG	GCi
8	<i>Cola caricaefolia</i> (G. Don) K. Schum.	Malvaceae				HG	GCW
9	<i>Cola reticulata</i> A. Chev.	Malvaceae	VU			HG	
10	<i>Combretum grandiflorum</i> G. Don	Combretaceae					GCW
11	<i>Copaifera salikounda</i> Heckel	Fabaceae	VU		P2	HG	GCW
12	<i>Daniellia thurifera</i> Benn.	Fabaceae			P1	HG	GCW
13	<i>Dialium aubrevillei</i> Pellegr.	Fabaceae				HG	GCW
14	<i>Diospyros heudelotii</i> Hiern	Ebenaceae				HG	GCW
15	<i>Diospyros vignei</i> White	Ebenaceae		AA		HG	GCW
16	<i>Ehretia trachyphylla</i> C. H. Wright	Boraginaceae				HG	GCW
17	<i>Entandrophragma angolense</i> (Welw.) C. DC.	Meliaceae	NT		P1		
18	<i>Entandrophragma candollei</i> Harms	Meliaceae	VU		P1		
19	<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague) Sprague	Meliaceae	VU		P1		
20	<i>Erythrina vogelii</i> Hook. f.	Fabaceae		AA			
21	<i>Euadenia eminens</i> Hook. f.	Brassicaceae				HG	GCW
22	<i>Eugenia leonensis</i> Engl. & V. Brehm.	Myrtaceae					GCW
23	<i>Ficus ottoniifolia</i> (Miq.) Miq. subsp. <i>ottoniifolia</i>	Moraceae				HG	
24	<i>Garcinia kola</i> Heckel	Clusiaceae	VU				
25	<i>Guarea cedrata</i> (A. Chev.) Pellegr.	Meliaceae	NT		P1	HG	
26	<i>Holarrhena floribunda</i> (G. Don.) Dur. & Schinz	Apocynaceae					GCW
27	<i>Hunteria eburnea</i> Pichon	Apocynaceae					GCW
28	<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry-Lecomte ex O'Rorke) Baill.	Irvingiaceae	NT				
29	<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.	Meliaceae	VU		P1		
30	<i>Landolphia micrantha</i> (A. Chev.) Pichon	Apocynaceae				HG	GCW
31	<i>Lannea nigritana</i> (Sc. Elliot) Keay var. <i>nigritana</i>	Anacardiaceae		AA			
32	<i>Lophira alata</i> Banks ex Gaertn.f.	Ochnaceae	VU		P1		
33	<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) Berg	Moraceae	NT	AA	P1		
34	<i>Milicia regia</i> (A. Chev.) Berg	Moraceae	VU	AA	P1	HG	GCW
35	<i>Millettia lanne-poolei</i> Dunn	Fabaceae					GCW
36	<i>Nauclea diderichii</i> (De Wild. et Th. Due.) Merrill	Rubiaceae	NT		P1		
37	<i>Nesogordonia papaverifera</i> (A. Chev.) Cap.	Malvaceae	VU		P1		

38	<i>Neuropeltis prevosteoides</i> Mangenot	Convolvulaceae					GCW
39	<i>Okoubaka aubrevillei</i> Pellegr. & Normand var. <i>aubrevillei</i>	Santalaceae		AA			GCW
40	<i>Pouteria altissima</i> (A. Chev.) Baehni	Sapotaceae			P1		
41	<i>Pterygota macrocarpa</i> K. Schum.	Malvaceae	VU		P1		
42	<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Warb.	Myristicaceae			P1		
43	<i>Raphia palma-pinus</i> (Gaertn.) Hutch.	Arecaceae	NT				
44	<i>Rinorea oblongifolia</i> (C. H. Wright) Marquand ex Chipp	Violaceae					HG
45	<i>Samanea dinklagei</i> (Harrns) Keay	Fabaceae					GCW
46	<i>Scotellia klaineana</i> Pierre var. <i>klaineana</i>	Achariaceae					GCW
47	<i>Strophanthus barteri</i> Franch.	Apocynaceae		AA			
48	<i>Tarrieta utilis</i> (Sprague) Sprague	Malvaceae			P1		HG
49	<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	Combretaceae	VU		P1		
50	<i>Tieghemella heckelii</i> Pierre ex A. Chev.	Sapotaceae	EN		P1		
51	<i>Tiliacora dinklagei</i> Engl.	Menispermaceae					GCW
52	<i>Turraea heterophylla</i> J. Sm.	Meliaceae					HG
53	<i>Turraeanthus africanus</i> (Welw. Ex C.DC.) Pellegr.	Meliaceae	VU		P1		
54	<i>Vitex micrantha</i> Gürke	Lamiaceae					GCW
55	<i>Xylopi villosa</i> Chipp	Annonaceae					HG

Légende: GCW = Espèces endémiques Ouest africaines; GCi = endémiques ivoiriennes; de la liste Rouge de UICN: VU = vulnérable; NT = Quasi menacée; EN= En danger; Aké-Assi (AA) = plantes rares, devenues rares et en voie d'extinction ou ne se rencontrant qu'exceptionnellement selon Aké-Assi.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 RICHESSE ET COMPOSITION FLORISTIQUES

Les inventaires floristiques menés, au sein de la forêt classée de Niégré, ont permis de dénombrer 419 espèces réparties en 286 genres au sein de 92 familles. Ces espèces constituent une richesse assez importante et représentent 10,79 % de la totalité de la flore ivoirienne (3 882 espèces), telle que recensée par [21]; [22]. Cette flore peut être revue à la hausse car cette étude n'est qu'une étude préliminaire qui s'est déroulée sur seulement une superficie de 4 hectares. Les familles botaniques les plus dominantes sur le site sont les Fabaceae, les Rubiaceae, les Euphorbiaceae, les Malvaceae et les Apocynaceae comme c'est le cas dans la majorité des forêts ivoiriennes. En effet, plusieurs forêts ivoiriennes sont dominées par le même cortège de familles [30]; [31]; [32]; [33]; [5]. Lorsqu'on considère les types biologiques, les phanérophytes (64,52 %) constituent le fondement du Cortège floristique des forêts classées de Niégré. Le site est dominé par les microphanérophyte (70,73%) et les mésophanérophytes (15, 85%). Nos résultats montrent que les espèces guinéennes (GC: 60,24 %) et les espèces de transition fort-savanes (GC-SZ: 7,83 %) sont largement dominantes, avec des proportions qui atteignent 68,07%. Pour [34], la dominance des espèces guinéennes dans le fond floristique de la flore étudiée, est une preuve que cette forêt appartient au centre endémique guinéo-congolais de [20]; [35]. Le pourcentage élevé des espèces introduites, témoigne de l'impact des infiltrations des agriculteurs dans cette forêt classée malgré son statut juridique d'aire protégée. Pour [36], la phytogéographie est un outil principal pour la gestion et la conservation des espèces. Elle permet de poser des hypothèses sur l'âge, l'origine géographique, la vitesse d'évolution et les voies de migration des taxons du site. La majorité des espèces de forêt de notre zone de recherche sont endozoochores. La zoochorie de notre zone de recherche, comme dans bien d'autres études: [37] et [5], implique les oiseaux et les vertébrés frugivores, présentent dans la forêt. Aussi la présence remarquable d'espèces anémochores inventoriées dans la forêt (27,44%) pourrait s'expliquer par la dominance des Fabaceae, dont beaucoup d'espèces de la zone forestière sont anémochores. En effet, l'anémochorie constitue une stratégie principale de dissémination pour les grands arbres de la voute des forêts tropicales [38]. Le mode barochore est moins utilisé par les plantes (4,77%). Ces chiffres sont similaires à ceux observés par [5] dans la forêt classée de Bamo (2,17 %).

### 4.2 DIVERSITES QUANTITATIVE ET STRUCTURALE DES DIFFERENTS BIOTOPES

L'indice de diversité de Shannon est plus élevé dans les forêts anciennes et les jacères de plus de 30 ans. Les plus faibles valeurs sont observées dans des formations dominées par les activités anthropiques (jachères jeunes). Les milieux dont l'indice est élevé bénéficient des conditions écologiques et de stabilité relativement favorables au maintien de plusieurs groupes

d'espèces. Selon [33], la valeur de l'indice de diversité de Shannon élevée est synonyme d'une stabilité importante de la flore du site. L'indice d'équitabilité calculé tend vers 1 sur l'ensemble du domaine. Les valeurs s'étendent de 0,96 à 0,99. Cela montre que la répartition des individus des différentes espèces est faite de façon régulière dans les biotopes et qu'il n'y a pas de dominance d'un groupe d'espèces par rapport aux autres. L'allure en «J» renversé de la distribution des classes de diamètre obtenues sur les groupements végétaux de notre site d'étude est typique aux milieux en reconstitution [39]. Selon cet auteur en milieu naturel, cette allure est généralement attribuée à une régénération des espèces, qui créent une forte concentration des individus dans les petits et moyens diamètres. Les valeurs des surfaces terrières et la densité plus élevée dans les jachères de plus de 30 ans et dans les forêts anciennes comparativement aux jeunes jachères de moins de dix ans pourraient s'expliquer selon [3] par la différence de pression anthropique au niveau des jachères de 30 ans et plus et dans les forêts anciennes. Les paramètres structuraux analysés dans cette étude notamment la densité et l'aire basale sont considérées comme des bases techniques préliminaires pour la définition des objectifs d'aménagement [15].

#### 4.3 VALEUR POUR LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

Cette étude a montré que, la forêt classée de Niégré renferme 55 espèces à statut particulier. Ce chiffre représente 13, 12 % de la richesse floristique de la zone d'étude. Cette richesse englobe des espèces endémiques [2]; [23], des espèces rares et en voie d'extinction ainsi que des espèces vulnérables et en danger [24]. la forêt classée de Niégré renferme un taux non négligeable d'espèces à valeur de conservation donc dispose d'une bonne valeur de conservation. Selon [40], les espèces figurants sur la liste rouge de l'UICN, les espèces endémiques ainsi que les espèces rares et menacées d'extinction sont celles pour lesquelles les efforts de conservation doivent être prioritaires. La préservation de ces espèces surtout pour une zone en proie à l'emprise des pressions anthropiques au fil des années est plus que nécessaire.

## 5 CONCLUSION

Les inventaires réalisés dans le cadre de ce travail ont permis de recenser 419 espèces. Les familles botaniques les plus importantes au niveau spécifique sont les Fabaceae, les Rubiaceae, les Euphorbiaceae, les Malvaceae et les Apocynaceae. La diversité de la flore de la forêt classée est aussi reflétée par la présence de plusieurs espèces à statut particulier telles que les espèces endémiques ivoiriennes (02 espèce) et ouest africaines (26 espèces) et surtout celles de la liste rouge de l'UICN (20 espèces). Le spectre des types biologiques a montré que de manière générale, les phanérophytes dominent la flore de la forêt classée. Ces espèces sont disséminées dans leur majorité par les animaux et le vent. Sur le plan phytogéographique, la présente étude a montré la dominance des espèces guinéo-congolaises. Cette forêt mérite d'être au cœur de toute démarche de conservation et d'utilisation durable.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Société de Développement des Forêts (SODEFOR) qui joue un rôle important dans la conservation de la Biodiversité et qui a permis que cette étude se réalise dans la forêt classée de Niégré. Ils remercient également tous les habitants des villages riverains de la forêt classée de Niégré qui les ont reçus et qui ont bien voulu partager les informations sur les biotopes étudiées.

## REFERENCES

- [1] L. Aké-Assi, Flore de la Côte d'Ivoire: Etude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse Doctorat d'Etat, Université Nationale d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 1206 p, 1984.
- [2] L. Aké-Assi, Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Côte d'Ivoire. *Monogr. Syst. Bot. Missouri Botanic Garden*, 25: 461-46, 1998.
- [3] A. E. N'Guessan, Dynamique de la végétation et facteurs de reconstitution de la biomasse des forêts secondaires dans la forêt classée d'Agbo 1 (Côte d'Ivoire), Thèse Doctorat Université Félix Houphouët-Boigny, 179 p, 2018.
- [4] B. H. K. Amani, A. E. N'Guessan, G. Derroire, N. J. Kassi, G. M.E. Aka, K. Traoré, I. C. Zo-Bi and B. Hérault, The potential of secondary forests to restore biodiversity of the lost forests in semi-deciduous West Africa. *Biological Conservation*, 259: 109154-109165, 2021.
- [5] M. M. A. O. Adingra, Dynamique du peuplement et stock de carbone dans la mosaïque de végétation de la forêt classée de Bamo (Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire, 158 p, 2017.
- [6] A. E. Gbozé, O. M. M. A. Adingra, A. Sanogo and N. J. Kassi, Systematic and plant geography analysis of Badénouforest (Korhogo, Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 14 (9): 3156-3167, 2020. DOI: 10.4314/ijbcs.v14i9.15.

- [7] M. Koné, Y. L. Kouadio, D. F. R. Neuba, D. Malan and L. Coulibaly, Evolution de la couverture forestière de la Côte d'Ivoire des années 1960 au début du 21<sup>e</sup> siècle. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7 (2): 782-794, 2014.
- [8] T. Lubalega, Evolution naturelle des savanes mises en défens à Ibi village, sur le Plateau des Bateke, en République Démocratique du Congo. Thèse de Doctorat, Université Laval Québec, Canada., 134 p, 2016.
- [9] Y. Pan, A. R. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, E. P. Kauppi, A. W. Kurz, L. O. Phillips, A. Shvidenko, L. S. Lewis, G. J. Canadell, P. Ciais, B. R. Jackson, S. Pacala, A. D. McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch and D. Hayes, A large and persistent carbon sink in the World's Forests. *Science*, 333 (6045): 988-993, 2011. DOI: 10.1126/science.1201609.
- [10] J. M. O. Eblin, P. A. Yéo, Y. C. Amani and B. M. Yoro, 2018.-Réseaux d'implantation des ressortissants ouest africains dans la forêt classée de la Niégré (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue Africaine d'Anthropologie, Nyansa-Pô*, n° 27: 193-206, 2018.
- [11] Y. C. Amani, La sédentarisation des communautés rurales dans la forêt classée des Rapides Grah (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat, Abidjan, Université Abobo-Adjamé, 361 p, 2008.
- [12] E. Leonard & J. G. Ibo, Appropriation et gestion de la rente forestière en Côte d'Ivoire. Rapport, non publié, MESRS-ORSTOM, Abidjan, 36 p, 2005.
- [13] SODEFOR, Plan d'aménagement de la forêt classée de la Niégré 92500ha. Rapport, non publié, SODEFOR, Abidjan, 108 p, 2007.
- [14] K. E. Ahoussi, Rapport de mission, Projet de réhabilitation de la voirie de la côtière. Document non publié, Abidjan, 29 p, 2021.
- [15] A. E. N'Guessan, N. J. Kassi, N. O. Yao, H. K. B. Amani, G. Z. R. Gouli, C. Pioniot, C. Z. Irie Bi and B. Héroult, Drivers of biomass recovery in a secondary forested landscape of West Africa. *Forest Ecology and Management*, Vol. 433: 325-331, 2019.
- [16] W. D. Hawthorne, Guide de terrain pour les arbres des forêts denses de la Côte d'Ivoire et des pays limitrophes avec clés végétatifs sur plus de 650 espèces d'arbres, à partir de 5 cm de diamètre. Univ. Agronomique de Wageningen (Pays Bas), 279 p, 1996.
- [17] M. Arbonnier, Arbres, arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest. Edition CIRAD-MNHN, Paris (France), 573 p, 2002.
- [18] J. P. Lebrun & A. L. Stork, Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève, Genève (Suisse). Vol. 1 (249 pp.), vol. 2 (257 pp.), vol. 3 (341 pp.) et vol. 4 (711 pp.), 1991-1997.
- [19] APG IV, An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181: 1-20, 2016.
- [20] F. White, The vegetation of Africa, a descriptive memoir to accompany the UNESCO AETFU-UNSO vegetation map of Africa. Natural Resources Research n°20, UNESCO, Paris (France), 356 p, 1983.
- [21] L. Aké-Assi, Flore de Côte d'Ivoire 1 catalogue systématique, biogéographie et écologie. Conservatoire et Jardin Botaniques, Genève (Suisse) tome 1: 396 p, 2001.
- [22] Aké-Assi, 2002 L. Aké-Assi, Flore de Côte d'Ivoire 2, catalogue systématique, biogéographie et écologie. Conservatoire et Jardin Botaniques, Genève (Suisse) tome 2: 401 p, 2002.
- [23] I. Poorter, F. Bongers, N. F. Kouame & W. D. Hawthorne, Biodiversity of West Africa Forest: An Ecological Atlas of Woody Plant Species. CABI Publishing. Nederland (Pays Bas), 521 p, 2004.
- [24] IUCN (International Union for the Conservation of the Nature), IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023.2. [Online] Available: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- [25] B. Dupuy, Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. Cirad-forêt, Campus International de Baillarguet, Montpellier (France), 326 p, 1998.
- [26] C. E. Shannon, A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423, 1948.
- [27] Piélou (1966) E. C. Pielou, The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.* 13: 131-144, 1966.
- [28] A. E. Magurran, Measuring biological diversity. Blackwell Publishing Company United Kingdom, New Jersey, US, 248 p, 2004.
- [29] J. Blondel, Biologie et écologie. Masson & Cie, Paris (France), 173 p, 1979.
- [30] N. F. Kouamé, Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat 3<sup>e</sup> Cycle, UFR Biosciences, Université Cocody- Abidjan (Côte d'Ivoire), 227 p, 1998.
- [31] A. Bakayoko, Comparaison de la composition floristique et de la structure forestière de parcelles de la Forêt Classée de Bossématié dans l'Est de la Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, Université de Cocody -Abidjan (Côte d'Ivoire) 72 p, 1999.
- [32] L. Nusbaumer, L. Gautier, C. Chatelain & R. Spichiger, Structure et composition floristique de la forêt classée de la Scio (Côte d'Ivoire). Etude descriptive et comparative. *Candollea*, 60 (2): 393-443, 2005.

- [33] A. E. N'Guessan, Diversité floristique d'une forêt privée à Dianra au Nord de la Côte d'Ivoire. Master II. Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences; 51 p, 2016.
- [34] O. D. Yongo, Contribution aux études floristiques, phytogéographique et phytosociologique de la forêt de N'Gotto (République de Centrafrique). Résumé de Thèse, *Acta Botanica Gallica* 150: 119-124, 2003.
- [35] F. White, La végétation de l'Afrique. Traduite de l'anglais par Bamps, Paul. Jard. Nat. Belg., 383 p, 1986.
- [36] K. J. Koffi, D. Champluvier, F. R. D. Neuba, C. Cannière, D. Traoré, J. Lejoly, E. Robbrecht & J. Bogaert, Analyse de la distribution des Acanthaceae en Afrique centrale: comparaison avec les théories phytogéographiques de Robyns, White et Ndjele. *Sciences & Nature* 5 (2): 101-110, 2008.
- [37] J. G. Bertault, Etude de l'effet d'interventions sylvicoles sur la régénération naturelle au sein d'un périmètre expérimental d'Aménagement en forêt dense humide de Côte d'Ivoire. Thèse Doctorat, Université de Nancy (France), 254 p, 1986.
- [38] B. Senterre, Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicale. Thèse Doctorat, Université Libre de Bruxelles, 345 p, 2005.
- [39] K. Wala, B. Sinsin, K. A. Guelly, K. Kokou & K. Akpagana, Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la préfecture de Doufelegou (Togo). *Sécheresse*, 16 (3): 209- 216, 2005.
- [40] N. Myers, R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. Da Fonseca & J. Kent, Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858, 2000.

## Analyse d'un indicateur de gestion de réseau de distribution 30/6,6 kV et 30/20 kV du poste de LIMINGA en RDC

### [ Analysis of a 30/6.6 kV and 30/20 kV distribution network management indicator for LIMINGA substation in DRC ]

MIENANDI NE SAMBA Gilles<sup>1</sup>, MPASI BENGI André<sup>2</sup>, TSHIBANGU LUENDU Marcher<sup>1</sup>, and TANGENYI OKITO Marcien<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de Physique et des Sciences Appliquées, Faculté des Sciences, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

<sup>2</sup>Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa, Section Electronique, RD Congo

Copyright © 2024 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 LIMINGA substation in the municipality of LIMETE, one of the three nodes of the City of KINSHASA's HV distribution network, is experiencing operating difficulties due in particular to the absence of an optimal planning sheet, capable of concretely defining the priority areas for intervention. This substation is a key facility in the city, supplying power to the communes of LIMETE, LEMBA, MASINA, MATETE, KINSESO MAKALA, NGABA, KIMBANSEKE, N'DJILI and NGALIEMA. It is therefore of paramount interest to analyze the operating parameters of its 30/6.6 kV and 30/20 kV distribution network in this entity, in order to avoid the alarming situation of load shedding, black pockets and lack of electricity that the population of these communes is often confronted with on a daily basis.

**KEYWORDS:** load rate, distribution network, management indicator, LIMINGA substation, load shedding, black pockets.

**RESUME:** Le poste LIMINGA dans la commune de LIMETE, l'un des trois nœuds du réseau de distribution HT de la Ville de KINSHASA connaît des difficultés de fonctionnement liée notamment à l'absence d'une fiche de planification optimale, capable de définir d'une manière concrètes les axes prioritaires d'intervention. Ce poste est une installation très capitale de la ville car, il désert en énergie électrique, les communes de LIMETE, LEMBA, MASINA, MATETE, KINSESO MAKALA, NGABA, KIMBANSEKE, N'DJILI ainsi que celle de NGALIEMA. Il est donc d'intérêt primordiale de bien analyser les paramètres de fonctionnement de son réseau de distribution 30/6,6 kV et 30/20 kV dans cette entité enfin d'éviter la situation alarmante de délestage, des poches noires, et de manque d'électricité que la population de ces communes est souvent confrontée au quotidien.

**MOTS-CLEFS:** taux de charge, réseau de distribution, indicateur de gestion, Poste de LIMINGA, délestage, des poches noires.

## 1 INTRODUCTION

Les contraintes surtout les efforts, action physiques ou chimiques susceptibles de produire une usure ou une déformation d'un matériel électrique doivent être en tout prix éviter pour garantir une longévité des équipements. Pour y arriver, le réseau électrique doit être contrôlé en permanence. Un des moyens de contrôle est la vérification du taux de charge des équipements électromécanique.

Le taux de charge est un indicateur de gestion qui permet soit de réduire soit d'éviter les usures qui résulteraient d'une variation des paramètres en exploitation; il s'exprime en pourcentage (%). Les expressions mathématiques sont les suivantes:

### 1.1 POUR LES TRANSFORMATEURS DE POSTES, ET SOUS-STATIONS

Le taux de charge pour un transformateur est fonction du courant de ligne et surtout de la puissance installée des installations, ce taux de charge est donné par l'expression 1 ci-dessous.

$$T_x = \frac{I_L \times U_c \times \sqrt{3} \times 100}{P_i} (\%) \quad (1)$$

- $T_x$ : taux de charge
- $I_L$ : courant pour charge lue sur l'ampèremètre;
- $U_c$ : tension de consigne ou de service;
- $P_i$ : puissance installée.

La tension de consigne tient compte du  $\cos \phi$  et permet d'atténuer certaine chute de tension.

### 1.2 POUR UN FEEDER

Le feeder qui permet la conduite de l'énergie électrique est en soi un conducteur dont le courant nominale à véhiculé est prédéterminé, son taux de charge est donné par l'expression 2 ci-après.

$$T_x = \frac{I_L \times 100}{I_n} (\%) \quad (2)$$

- $I_L$ : charge lue ou intensité atteinte;
- $I_n$ : intensité nominale du feeder.

### 1.3 POUR UN TRANSFORMATEUR MT/BT

Le transformateur du poste de distribution MT/BT ou cabine un organe qui est souvent à la merci des taux de charge exagéré. L'expression de taux de charge est:

$$T_x = \frac{I_{moy} \times 100}{I_{nTfo}} (\%) \quad (3)$$

Avec:

$$I_{moy} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} (A) \quad (4)$$

$I_{nTfo}$ : Courant nominal au secondaire du Tfo

### 1.4 POUR LE TABLEAU GENERAL BASSE TENSION (TGBT)

Le TGBT est un équipement sur lequel sont accroches les différents départs BT, il est dimensionné en fonction des courants nominaux des conducteurs BT.

$$N_{dép} = \frac{I_{nTfo} \times 100}{I_{nc}} \quad (5)$$

- $I_{nTfo}$ : intensité nominale au secondaire Tfo
- $I_{nc}$ : intensité nominale au conducteur BT

En pratique, l'on multiplie  $I_{nTfo}$  par 1,2 (coefficient de surcharge admissible).

### 1.5 POUR LES DÉPARTS BT

$$T_x = \frac{I_{moy} \times 100}{I_{nc}} (\%) \quad (6)$$

$I_{nc}$ : Intensité nominal du conducteur de départ.

Coefficient de surcharge admissible, les charges au réseau augmente en fonction d'accroissement de la population et des récepteurs; les difficultés financières ne pouvant suivre le rythme, ont contraire les entreprises d'électricité à fixer un seuil de tolérance appelé seuil admissible, le quel varie en l'exploitation de  $I_n \times 0,8 \leq I_n \leq 1,2 \times I_n$ .

Dans ces conditions, il est admis:

### 1.6 POUR UN FEEDER ET LE TRANSFORMATEUR

En appliquant ce coefficient de sécurité, l'expression 2 devient:

$$T_x = \frac{I_L \times 100}{I_n \times 1.2} (\%) \quad (7)$$

### 1.7 POUR LE TABLEAU GENERAL B.T

L'expression 5 devient:

$$N_{dép} = \frac{I_{nTfo} \times 1.2 \times 100}{I_{nc}} (\%) \quad (8)$$

Le taux de charge détermine logiquement la puissance demandée par l'équipement en sollicitation.

Cela grâce à l'expression mathématique ci-après:

$$S_d = \frac{T_x \times S_i}{100} \quad (9)$$

- $S_d$ : la puissance demandée en (kVA)
- $T_x$ : le taux de charge en (%)
- $S_i$ : la puissance installée; en (kVA)

## 2 METHODOLOGIE

### 2.1 PRÉSENTATION DU POSTE DE LIMINGA

Le poste de Liminga est situé dans la zone sud - est de la ville province de Kinshasa, voir la 15<sup>ème</sup> Rue Limete Industriel, Poids lourds Le poste HT/MT est mise en service en 1973, Il reçoit une tension de 220kV en provenance du poste de dispersion de Kimwenza.

Il sert de transit pour l'alimentation du poste HT/MT de Funa, Il distribue une tension de 30 kV via 12 départs 30 kV pour alimenter 7 sous – stations de la SNEL et 8 sociétés privées et la Regideso de Kingabwa et N'djili:

Il est équipé de 3 transformateurs de 220/30 kV – 75 MVA qui fonction normalement comme suit:

1. Le TFO 1 alimente 3 départs 30kV ci – après
  - Départ 30 kV Limete 2
  - Départ 30 kV Limete 3
  - Départ 30 kV Fameco
2. TFO 2 alimente 7 départs 30 kV suivants:
  - Départ 30 kV Limete 1
  - Départ 30 kV Limete 4
  - Départ 30 kV Sendwe 2
  - Départ 30 kV Sendwe 3
  - Départ 30 kV Regideso
  - Départ 30 kV Mégacongo
  - Départ 30 kV D10
3. Le TFO 3 alimente 2 départs 30 kV ci – dessous
  - Départ 30 kV Masina
  - Départ 30 kV D11

Une sous - station électrique est un poste de transformation suivant à abaisser la tension électrique d'un niveau moyen à un autre inférieur à 30 kV afin de distribuer dans les cabines électriques à travers des départs électriques moyenne tension

Les 7 sous stations alimentées par le poste de Liminga, sont suivantes:

1. S/S Limete
2. S/S Lemba
3. S/S UPN
4. S/S SENDWE
5. S/S CDA
6. S/S Kingabwa
7. S/S Masina

Les 8 sociétés privées sont alimentées par le poste de Liminga:

1. Méga congo
2. Food life
3. Sami Ajami
4. Beltexco
5. Kabeco
6. Palmco
7. Copnevco
8. Fameco

## 2.2 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

La démarche suivis pour ce travail est la suivante:

- Présentation prélèvement de l'indicateur de gestion du réseau à savoir: les taux de charges

En effet, la Commission Electrotechnique Internationale impose un taux de charge de 80 % pour les transformateurs, ce pourcentage sera comparé à celui des prélèvements pour déduire les conséquences.

La situation énergétique des Feeder 30 kV, 20 kV et 6,6 kV, la connaissance de taux de charge des feeders permet non seulement de décharger ces derniers mais surtout d'examiner l'autre inducteur de la gestion du réseau. Plus la ligne ou le Feeder est long plus il est sujet des chutes de tension surtout si ce feeder fonction en régime de surcharge.

Les taux de charges des transformateurs 30/20 kV et 30/6,6 kV; ces transformateurs jouent le rôle des sources pour les cabines (poste BT) et feeders qui acheminent l'énergie aux abonnés. Leurs taux de charge doivent respecter les normes de CEI.

- Analyses et traitement de ces prélèvement;

Les prélèvements ont été faits sur tout le réseau de distribution de la ville de Kinshasa d'où la nécessité d'extraire les données relatives au poste de Liminga et calculer les sommes et les moyennes des gradeurs telles que les courants admissibles des câbles et des transformateurs, les taux de charges des feeders et transformateurs...

- Interprétation et discussion des résultats

## 2.3 OUTILS

A ce qui concerne les outils, nous utilisons des logiciels d'analyser des données SPSS et Excel

## 3 PRESENTATION DES PRELEVEMENTS

Les tableaux 1 et 2 issus de la documentation de la Société Nationale d'Electricité (SNEL) de la République Démocratique du Congo donnent une idée sur la situation énergétique des réseaux de distribution 30/20 kV et 30/6,6 kV du poste de Liminga.

Tableau 1. Situation des taux de charge des feeders 20 kV

ITEM	DESIGNATION	SECTION DU CABLE (mm <sup>2</sup> )	I adm (A)	I att (A)	TAUX DE CHARGE (%)
69	LIMINGA - F 2611	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	15	4%
70	LIMINGA - F 2612	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	HS	
71	LIMINGA - F 2620	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	201	59%
72	LIMINGA - F 2621	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	77	
73	LIMINGA - F 2631	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	72	21%
74	LIMINGA - BAODE (F 2626)	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	80	24%
75	LIMINGA - NOVAPRODUCT	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	—	
76	MASINA - FC6	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	10	4%
77	MASINA - FC7	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	200	80%
78	MASINA - F1		340	150	44%
79	MASINA - NDOMBI	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	95	38%
80	MASINA - SONAPANGU	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	161	64%
81	MASINA - MASINA 7	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	87	35%
82	MASINA - DEP LUNDULA	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	33	13%
83	LEMBA 677	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	140	56%
84	LEMBA 678	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	180	72%
85	LEMBA 679	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	113	46%
86	LEMBA 680	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	750	80	11%
87	KINSUKA D7	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	—	
88	KINSUKA D8	240 mm <sup>2</sup> - AL	340	—	
89	KINKOLE/KNL - F 1493	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	100	42%
90	KINKOLE/KNL - F 1499	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	80	32%
91	KINKOLE/KNL - F 1500	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	170	68%
92	NSELE/SNEL - F 126/ NGARA	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	HS	
93	NSELE/SNEL - F 127/ MBENZAL	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	—	
94	KIMBANSEKE F 1	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	180	72%
95	KIMBANSEKE F 2	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	180	72%
96	KIMBANSEKE F 3	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	279	112%
97	KIMBANSEKE F 4	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	210	84%
98	KIMBANSEKE F 8	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	—	
99	KIMBANSEKE F 9	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	250	100%
100	KIMBANSEKE F 10	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	0	0%
101	CAMPUS - MONT TABOR (F 750)	150 mm <sup>2</sup> - AL	250	64	26%
102	MITENDI - FATIMA (F 2901)	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	250	68	27%
103	MITENDI - FATIMA (F 2902)	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	250	77	31%
104	MITENDI - FATIMA (F 2903)	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	250	115	46%
105	MITENDI - (F 2904)	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	250	25	10%
106	MITENDI - (F 2905)	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	250	HS	
107	MITENDI - (F 2906)	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	250	0	0%
108	MITENDI - (F 2907)	3*1*150 mm <sup>2</sup> - AL	250	—	
<b>Moyenne</b>			<b>285</b>	<b>135</b>	<b>46,179 %</b>

Tableau 2. Situation des taux de charge des feeders 6,6 kV

DESIG NATION S/STATION	ITEM	FEEDERS	SECTION DU CABLE mm <sup>2</sup>	I adm (A)	I att (A)	TAUX DE CHARGE
BANDAL	1	F 1547	150 AL	250	275	110%
	2	F 1507	150 AL	250	286	114%
	3	F 1540	150 AL	250	260	104%
	4	F 1554	95 Cu	210	270	129%
	5	F 54	95 Cu	210	260	124%
BADIADINGI	1	F 321	50 Cu	142	270	190%
	2	F 361	50 Cu	142	240	169%
	3	F 350	95 Cu	210	HS	—
	4	F 301	95 Cu	210	180	86%
	5	F 358	150 AL	250	270	108%
	6	F 304	240 AL	340	280	82%
	7	F 307	150 AL	300	270	90%
	8	F 357	95 Cu	210	250	119%
KINSUKA	11	F S A	95 Cu	210	—	—
	1	F 501	150 Cu	300	267	89%
	2	F 502	150 AL	250	260	104%
	3	F 503	150 AL	250	170	68%
	4	F 504	150 AL	250	145	58%
	5	F 516	95	210	HS	—
	6	F 510	240 AL	340	290	85%
	7	F 511	150 AL	250	285	114%
	8	F 512	95	210	240	114%
	9	F 556	240 AL	340	320	94%
	10	F 514	95	210	280	133%
	11	F 515	150 Cu	300	314	105%
	12	F 509	240 AL	340	233	69%
	13	F 507	95 Cu	210	150	71%
14	F 505	150 AL	250	81	32%	
DEVINIERE	14	F 508	150 AL	250	318	127%
	15	F 946 B	150 AL	250	270	108%
	2	F 946 A	150 AL	250	250	100%
	3	F 921	50	142	145	102%
	4	F 50	95	210	108	51%
	5	F 951	50	142	273	192%
	6	F 54	95	210	240	114%
	7	F 56	95	210	244	116%
	8	F 21	50	142	78	55%
	9	F 51	95 Cu	210	265	126%
	10	F 52	95	210	170	81%
	11	F 55	95	210	225	107%
	12	F 57	95	210	260	124%
	13	F 58	95	210	208	99%
	14	F 59	50	142	237	167%
	15	F 2	95	210	262	125%
	16	F 960	150 AL	250	260	104%
SENDWE	17	F 952	150 AL	250	79	32%
	1	F 229	95	210	HS	—
	2	F 228	95	245	HS	—

	3	F 227	150 AL	250	48	19%	
	4	F 263	95	210	220	105%	
	5	F 200	50	142	123	87%	
	6	F 254	95	210	330	157%	
	7	F 212	95 Cu	210	244	—	
	8	F 230	150 AL	300	HS	—	
	9	F 271	95	210	198	94%	
	10	F 12	50	352	95	27%	
	11	F 272	95	210	0	0%	
	12	F 214	150 AL	300	126	42%	
	13	F 265	95	210	310	148%	
	MASINA	1	F C B	150 AL	250	90	36%
		2	F 9SC	150 AL	250	220	88%
3		F C 9	240 AL	340	240	71%	
4		F 1095 A	95 Cu	210	110	52%	
5		F 1095 B	95 Cu	210	250	119%	
6		F 1068 A	95 Cu	210	260	124%	
7		F 1068 B	95 Cu	210	300	143%	
8		F 1074	150 AL	250	200	80%	
9		F 95 A	95 Cu	210	187	89%	
10		F 95 B	95 Cu	210	80	38%	
KINGABWA	1	F 1675	95 Cu	210	190	90%	
	2	F 1676	95 Cu	210	267	127%	
	3	F 1673	150 AL	250	240	96%	
	4	F 1672	95 Cu	210	240	114%	
	5	F 1668	95 Cu	210	180	86%	
	6	F 1649	95 Cu	210	270	129%	
	7	F 1674	95 Cu	210	240	114%	
LIMETE	1	F 60	95 Cu	210	168	80%	
	2	F 61	95 Cu	210	184	88%	
	3	F 61 B	95 Cu	210	HS	—	
	4	F 63 A	95 Cu	210	210	100%	
	5	F 64	95 Cu	210	170	81%	
	6	F 65 A	95 Cu	210	190	90%	
	7	F 67	75	210	159	76%	
	8	F 68	95 Cu	210	239	114%	
	9	F 69	95 Cu	210	170	81%	
	10	F 70	95 Cu	210	200	95%	
	11	F 71	95 Cu	210	98	47%	
	12	F 72 A	240 AL	340	222	65%	
	13	F 73	95 Cu	210	145	69%	
	14	F 74	240 AL	340	214	63%	
	15	F 75	95 Cu	210	HS	—	
	16	F 76	95 Cu	210	176	84%	
	17	F 63 B	150 AL	250	147	59%	
	18	F 72 B	95 Cu	210	186	89%	
	19	F 72 C	70 Cu	200	188	94%	
LEMBA	1	F 668	150 AL	250	225	90%	
	2	F 647	150 AL	250	260	104%	
	3	F 641	150 Cu	300	200	67%	
	4	F 648	150 AL	250	240	96%	

	5	F 661	95 Cu	210	205	98%	
	6	F 645	150 AL	250	270	108%	
	7	F 649	150 AL	250	200	80%	
	8	F 667 B	150 AL	250	180	72%	
	9	F 646	150 AL	250	180	72%	
	10	F 676	95 Cu	210	168	80%	
	11	F 667 A	95 Cu	210	280	133%	
	12	F 669	95 Cu	210	230	110%	
	13	F 643	95 Cu	210	250	119%	
	14	F 675	150 AL	250	210	84%	
	GOLF	1	F S A	95 Cu	210	201	96%
		2	F L5	50	142	73	51%
		3	F 12	50	142	HS	—
		4	F 16	50	142	—	—
5		F 6	95	210	70	33%	
6		F 38	95 Cu	210	15	7%	
7		F 20	50	142	95	67%	
8		F 5	50	142	140	99%	
9		F 14	50	142	170	120%	
10		F 4	50	142	60	42%	
11		F 805	50 Cu + 50 Cu	352	12	3%	
12		F 814	50	142	106	75%	
13		F 812	50	142	87	61%	
14		F 818	150 Cu	300	HS	—	
15		F 804	95	210	122	58%	
16		F 838	95	210	195	93%	
17		F 824	50	142	HS	—	
18		F 816	50	142	143	101%	
19		F 837	95	210	120	57%	
20		F 820	95	210	206	98%	
21		F 826	95	210	244	116%	
CDA	1	F 16 A	50	284	—	—	
	2	F 916	50	142	75	53%	
	3	F 106	150 AL	250	150	60%	
	4	F L 9	150 AL	250	140	56%	
	5	F 14	50	142	170	120%	
	6	F 905	175	142	36	25%	
	7	F 5	50	142	HS	—	
	8	F 18	50	284	60	21%	
	9	F 918	150 AL	250	0	0%	
	10	F 38	95 Cu	210	—	—	
	11	F 938	150 AL	250	—	—	
	12	F 937	150 AL	250	15	6%	
	13	F 101	150 AL	250	—	—	
	14	F 102	150 AL	250	60	24%	
	15	F 912	50	142	—	—	
	16	F 12	50	142	120	85%	
	17	F 4	50	142	150	106%	
	18	F 920	150 AL	250	150	60%	
	19	F 914	50	142	20	—	
	20	F 904	50	142	87	61%	

	21	F 917(915)	150 AL	250	107	43%
	22	F 919	150 AL	250		—
	23	F 924	95	210	170	81%
	24	F 16 B	150 AL	250	84	34%
	25	F 37	95	210		—
<b>Moyenne</b>				<b>221,1</b>	<b>186</b>	<b>86%</b>

#### 4 INTERPRETATION ET DISCUSSION

Le tableau 1 renseigne que le taux de charge le plus élevé est de 112 % tandis que celui le moins élevé est à 4 % par contre, le taux de charge moyen pour le réseau de distribution 30/20 kV est de 46,179 %. Pour un réseau de distribution, ce taux de charge moyen est excellent car la Commission Electrotechnique Internationale CEI fixe le taux de charge pour un transformateur à 80 %. Néanmoins, la charge n'est pas équitablement répartie, ce qui fait que certain Feeder nécessite une politique de décharge.

Le tableau 2 quant à lui montre que le taux de charge moyen est de 86 % pour le réseau de distribution 30/6,6 kV. Ce taux de charge légèrement supérieur à celui fixé par la Commission Electrotechnique Internationale CEI de 80 % indique toute la difficulté qu'éprouve les gestionnaires de ce réseau. Le taux de charge le plus élevé est de 192 % et celui le moins élevé est à 6 %. Un tel réseau mérite une politique de décharge appropriée surtout que la majorité des feeders est dans un état de charge inadmissible.

#### 5 CONCLUSION

Le maintien du taux de charge d'un réseau de distribution dans un état admissible à l'occurrence 80 % pour les transformateurs évite au réseau des conséquences telles que les brulures des câbles, les délestages, les poches noires dans la ville et autres. Cela permettra aux communes desservies par le poste de LIMINGA d'avoir un taux de dessert plus confortable mais également permettra aux gestionnaires de poser des actes avec beaucoup d'assurance.

Nous recommandons:

- Un transfert d'une partie de la charge du réseau de 30/6,6 kV vers le réseau 30/20 kV pour une gestion optimale étant donné que le taux de charge moyen pour le réseau 30/20 kV est encore à 46, 179 %;
- Revoir l'état des lignes car c'est l'une des difficultés de gestion à la base des transferts des charges parfois vers les feeders déjà chargés.

#### REFERENCES

- [1] Batiki Nkoy Remy, Meni Babakidi Narcisse, and Kinyoka Kabalumuna God'El. *Planification du réseau de distribution de l'énergie électrique dans la ville de Kindu à l'horizon 2040*, in International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 41 No. 2 Dec. 2023, pp. 696-705, 2023.
- [2] Lievin, Yaba Moke Ngeme. Etude d'impact de l'économie d'énergie dans le réseau de distribution Moyenne-Tension/Basse-Tension du quartier Camps LUKA, dans la commune de Ngaliema, ville province de Kinshasa en RD Congo, in International Journal of Innovation and Applied Studies 36.1 (2022) pp.226-230.
- [3] BAZANGIKA MFUMUANENE Victoire, KINYOKA KABALUMUNA Godel, and TANGENYI OKITO Marcien. Exploration des facteurs sous-jacents à la défaillance de la desserte énergétique à Mbanza-Ngungu en République Démocratique du Congo: Une analyse basée sur la méthode de Pareto et la matrice de criticité, in International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 43 No. 2 Aug. 2024, pp. 431-440, 2024.
- [4] BAZANGIKA MFUMUANENE Victoire, KINYOKA KABALUMUNA Godel, and TANGENYI OKITO Marcien. Recueil d'opinions des abonnés sur les origines des interruptions fréquentes d'électricité dans la cité de Mbanza-Ngungu en République Démocratique du Congo (RDC), in International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 43 No. 2 Aug. 2024, pp. 468-477.
- [5] SNEL/DDK/DEM/EXK/AST.

## **Autonomie de décision et consentement libre et éclairé des femmes pour l'accès aux soins de santé reproductive: Apport de la théorie socio-économique en milieu communautaire dans la zone de santé de N'DJILI**

### **[ Decision-making autonomy and free and informed consent of women for access to reproductive health care: Contribution of socio-economic theory in the community setting in the N'DJILI health zone ]**

*Mbongopasi Ekeni Bertine*

Apprenante à l'école doctorale ISTM, KINSHASA et Assistant 2 à l'ISTM, BANDUNDU, RD Congo

Copyright © 2024 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 article entitled: Women's decision-making autonomy and free and informed consent for access to reproductive health care: contribution of socio-economic theory in the community of the N'djili Health Zone in Kinshasa / Democratic Republic of Congo aims to analyze the factors influencing women's decision-making. Their autonomy and their capacity to give informed consent to access reproductive health care. The central question is rooted in the desire to understand how cultural norms and socio-economic conditions shape women's choices regarding their reproductive health, integrating socio-economic theory to contextualize these experiences (Sen, 2022). Our research revealed that many women in the N'djili community experienced difficulties in exercising their decision-making autonomy in reproductive health, which compromised their capacity to give informed consent (Benson et al. 2020). Furthermore, the lack of information and awareness about reproductive health rights and options contributes to the maintenance of existing inequalities (WHO, 2018). By integrating socio-economic theory, this study demonstrates that education and economic resources are crucial determinants in promoting women's autonomy (Fathallah et al. 2021). It is therefore imperative to develop educational and awareness programs that not only inform women of their rights, but also involve the community and health professionals to promote sustainable change.

**KEYWORDS:** autonomy, decision, consent, free, informed, women, access, care, health, reproductive, contribution, theory, socio-economic, environment, community, area, health, N'djili.

**RESUME:** L'article intitulé: Autonomie de décision et consentement libre et éclairé des femmes pour l'accès aux soins de santé reproductive: apport de la théorie socio-économique dans la communauté de la Zone de Santé de N'djili à Kinshasa / République démocratique du Congo vise à analyser les facteurs influençant la prise de décision des femmes. Leur autonomie et leur capacité à donner leur consentement éclairé pour accéder aux soins de santé reproductive. La question centrale est ancrée dans le désir de comprendre comment les normes culturelles et les conditions socio-économiques façonnent les choix des femmes concernant leur santé reproductive, en intégrant la théorie socio-économique pour contextualiser ces expériences (Sen, 2022).

Nos recherches ont révélé que de nombreuses femmes de la communauté de N'djili éprouvaient des difficultés à exercer leur autonomie décisionnelle en matière de santé reproductive, ce qui compromettrait leur capacité à donner un consentement éclairé (Benson et al. 2020).

En outre, le manque d'informations et de sensibilisation sur les droits et les options en matière de santé reproductive contribue au maintien des inégalités existantes (OMS, 2018). En intégrant la théorie socio-économique, cette étude démontre que l'éducation et les ressources économiques sont des déterminants cruciaux pour favoriser l'autonomie des femmes (Fathallah et al. 2021). Il est donc impératif de développer des programmes éducatifs et de sensibilisation qui non seulement informent les femmes de leurs droits, mais impliquent également la communauté et les professionnels de la santé pour promouvoir un changement durable.

**MOTS-CLEFS:** autonomie, décision, consentement, libre, éclairé, femmes, accès, soins, santé, reproductive, apport, théorie, socio-économique, milieu, communautaire, zone, santé, N'djili.

## **1 INTRODUCTION**

Le contexte des soins de santé reproductive des femmes dans les communautés a longtemps été un sujet de préoccupation majeur en matière de santé publique. En effet, l'accès aux services de santé reproductive est crucial pour garantir le bien-être des femmes et la réduction des inégalités en matière de santé. Cependant, de nombreux obstacles persistent, notamment en termes d'autonomie de décision et de consentement libre et éclairé des femmes pour l'accès aux soins de santé reproductive (World Health Organization. (2019).

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons à l'impact de la théorie socio-économique en milieu communautaire sur l'autonomie de décision et le consentement des femmes pour l'accès aux soins de santé reproductive dans la zone de santé de N'djili. En effet, les facteurs socio-économiques jouent un rôle essentiel dans la capacité des femmes à prendre des décisions éclairées concernant leur santé reproductive (Mackenzie, R., Collins, K., & Milliken, J. (2020).

En nous appuyant sur la littérature existante, nous constatons que les femmes font face à de multiples défis pour accéder aux soins de santé reproductive, notamment en raison des normes sociales restrictives, des barrières économiques et des lacunes en matière d'éducation sexuelle. De plus, le manque d'autonomie de décision des femmes et le non-respect de leur consentement sont des problématiques récurrentes qui entravent l'accès équitable aux services de santé reproductive. (Patel, V., & Koenig, M. A. (2018).

Par conséquent, cette étude vise à explorer comment la théorie socio-économique peut être mobilisée pour renforcer l'autonomie des femmes et garantir un consentement libre et éclairé dans le contexte des soins de santé reproductive en milieu communautaire. En adoptant une approche participative et inclusive, nous espérons identifier des pistes d'action concrètes pour améliorer l'accès aux services de santé reproductive des femmes dans la zone de santé de N'djili.

Selon les rapports des enquêtes menées en RD Congo de 2015 à 2021, la situation de la planification familiale reste préoccupante. En effet, ces rapports montraient qu'en 2010, seulement 5,4% des Congolaises en union utilisaient une méthode moderne de contraception, ce qui est l'un des niveaux les plus faibles en Afrique. Les Congolaises avaient en moyenne 6,3 enfants, alors que dans les pays émergents les femmes ont en moyenne deux à trois enfants. Il est à noter que 24% des femmes congolaises expriment un besoin non satisfait en planification familiale, c'est-à-dire souhaitent soit espacer ou ne plus avoir d'enfants, mais curieusement elles n'utilisent aucune méthode contraceptive pour éviter une grossesse non désirée (Planification familiale. 2014).

Cependant, dans la communauté de la zone de santé de N'djili, il existe des obstacles spécifiques qui peuvent entraver la mise en pratique du consentement libre et éclairé dans l'accès à la santé reproductive des femmes. Ces obstacles seraient d'ordre social et culturel. Dans cette optique des recherches menées par Jones et al. (2018) ont mis en évidence des barrières socio-culturelles, telles que les normes de genre et les croyances traditionnelles, qui peuvent limiter la capacité des femmes à prendre des décisions éclairées concernant leur santé reproductive.

Ainsi, ce projet de recherche qui envisage d'éclairer ce domaine de santé reproductive en mettant l'accent sur l'autonomie de décision et le consentement libre et éclairé des femmes non exploré dans la ZS de N'djili, cherche à répondre à la question suivante:

Quelles interventions et stratégies adaptées aux besoins et au contexte sont à inclure dans la conception et la mise en œuvre d'un programme pilote destiné au renforcement de l'autonomie décisionnelle et du consentement libre et éclairé des femmes de 15 à 49 ans en vue d'un accès aux soins de santé reproductive dans la zone de santé de N'djili à Kinshasa ?

## **2 MÉTHODOLOGIE**

Le site choisi pour mener la recherche sur l'impact du consentement libre et éclairé sur l'accès à la santé reproductive des femmes de la communauté est la zone de santé de N'djili, située dans la ville Province de Kinshasa, en République démocratique du Congo.

La zone de santé de N'djili a été choisie pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle présente une population importante et diversifiée, offrant ainsi une représentation significative des femmes de la communauté dans le contexte de la santé reproductive. Cela permettra d'obtenir des résultats plus généralisables et applicables à d'autres régions similaires.

### **2.1 CHOIX MÉTHODOLOGIQUE**

Pour mener cette étude une approche qualitative et participative pourrait être privilégiée en impliquant les femmes de la zone de santé (ZS) de N'djili dans le processus de recherche. Des entretiens individuels et des groupes de discussion pourraient être organisés pour recueillir des données approfondies sur les obstacles socioéconomiques à l'accès aux soins de santé reproductive. Une analyse qualitative des données permettrait de comprendre en profondeur les facteurs influençant la prise de décisions autonomes et le consentement des femmes en matière de santé reproductive.

Il s'est agi d'une étude Transversale analytique qui a été réalisée dans les aires de santé de la Zone de Ndjili à la période allant du 25 Septembre au 26 Octobre 2022.

### 3 OBJECTIFS POURSUIVIS

Les objectifs spécifiques que l'on cherche à atteindre, sont les suivants:

1. Déterminer à partir de vécu et expérience des femmes de 15 à 49 ans, les déterminants et les interventions pouvant favoriser l'autonomie décisionnelle et le consentement libre et éclairé lors de l'accès aux services de santé reproductive dans la zone de santé de N'djili;
2. Co-construire avec les femmes un programme de renforcement de l'autonomie décisionnel et du consentement libre et éclairé à l'aide du modèle socio-économique, répondant aux besoins et pouvant améliorer l'accessibilité aux services de santé reproductive dans milieu sous étude;
3. Appliquer et évaluer lors de l'accès aux services de santé reproductive, le programme-pilote de renforcement décisionnelle et consentement libre et éclairé inspiré du modèle socio-économique et basé sur l'expérience des femmes en faveur des femmes dans la zone de santé de N'djili.

### 4 RESULTATS OBTENUS ET LEUR INTERPRETATION

Les différents tableaux ci-dessous résument les résultats trouvés et pour chaque tableau, il y a une interprétation résumant les contenus. Le tableau 1 ci-dessous présente les données issues des participantes sous forme des thèmes, qui sont subdivisés en sous thèmes appuyés par des catégories correspondantes à chaque question du guide d'entretien.

**Tableau 1. Répartition des participantes selon les caractéristiques sociodémographiques**

Variable	Age	Niveau d'instruction	Etat matrimonial	Statut Socio-économique	Fréquentation de service de santé reproductive	Profession	Code
Participante 1	40 ans	A1	Mariée	Classe moyenne inférieure	Active	Nutritionniste	P1
Participante 2	37 ans	En cour du deuxième cycle	Célibataire	Classe Moyenne	Active	Administrateur Gestionnaire	P2
Participante 3	42 ans	L2	Mariée	Classe moyenne supérieure	Active	Infirmière superviseur	P3
Participante 4	39 ans	L2	Mariée	Classe moyenne supérieure	Active	Comptable	P4
Participante 5	38 ans	D6	Célibataire	Classe moyenne Inferieure	Active	Ménagère	P5
Participante 6	20 ans	En cours de licence	Célibataire	Classe Moyenne	Active	Étudiante	P6
Participante 7	19 ans	D6	Célibataire	Classe Moyenne	Active	Ménagère	P7
Participante 8	45 ans	L2	Mariée	Classe Moyenne	Active	Administrateur Gestionnaire	P8
Participante 9	44 ans	D6	Mariée	Classe moyenne inférieure	Active	Vendeuse	P9

Il ressort du tableau 1, les données de 9 participantes retenues dans l'étude.

Les résultats présente une diversité de caractéristiques personnelles et professionnelles notamment en ce qui concerne l'âge, le niveau d'instruction; l'état matrimonial, le statut économique, la profession et le code des participantes.

Ces données permettent de constater une diversité des profils parmi les participantes ce qui pourrait fournir des informations intéressantes pour une analyse de la fréquentation de service de santé reproductive en lien avec les caractéristiques individuelles et professionnelles.

**Tableau 2. Renforcement de l'autonomie décisionnelle et du consentement libre et éclairé des femmes pour l'accès aux soins de santé reproductive**

Sous-thème	Catégorie	Verbatim
1. Sensibilisation à l'autonomie décisionnelle et au consentement libre et éclairé :	- Organiser des séances d'information et de sensibilisation sur les droits des femmes en matière de santé reproductive.	P3. Les femmes croient en l'accès de l'éducation sur la santé reproductive pour des décisions éclairées sur propre corps. P6. Les femmes pensent que l'accès à une éducation complète et de qualité sur la santé est un droit fond. P9. Les femmes ont conscience que l'éducation sur la santé reproductive peut contribuer à la prévention des maladies sexuellement transmissibles et des grossesses non désirées.
	- Former les femmes sur la prise de décisions concernant leur santé reproductive.	P4. Les femmes estiment que l'éducation sur la santé reproductive permet de briser les tabous et les stigmates associés à la sexualité. P5. Les femmes considèrent que l'éducation sur la santé reproductive est essentielle pour promouvoir l'autonomie et l'empowerment des femmes. P7. Les femmes trouvent primordial que les hommes soient également sensibilisés à la santé reproductive pour une meilleure compréhension mutuelle.
	Instituer des campagnes de communication pour promouvoir le consentement libre et éclairé.	P1. Les femmes pensent que l'éducation sur la santé reproductive devrait être incluse dans les programmes scolaires dès un jeune âge. P2. Les femmes reconnaissent que l'éducation sur la santé reproductive contribue à la planification familiale et à la maternité/paternité responsables. P8. Les femmes soulignent l'importance de la sensibilisation sur les droits sexuels et reproductifs pour lutter contre les discriminations et les violences basées sur le genre.
2. Renforcement des compétences en communication et en négociation :	- Organiser des ateliers de communication et de négociation pour aider les femmes à exprimer leurs besoins et préférences en matière de santé.	P1. Les femmes comprennent que la promotion de la santé reproductive des femmes est essentielle pour leur bien-être et leur autonomie. P2. Les femmes reconnaissent l'importance de l'implication des femmes dans la gouvernance des services de santé reproductive pour garantir une approche centrée sur les besoins des femmes. P3. Les femmes estiment que leur expérience en tant qu'usagères des services de santé reproductive peut apporter une perspective unique et des idées novatrices à la gouvernance de ces services.
	- Former les professionnels de santé à communiquer de manière respectueuse et empathique avec les femmes.	P4. Les femmes souhaitent être consultées et impliquées dans la prise de décisions concernant les politiques de santé reproductive pour garantir une approche inclusive et équitable. P5. Les femmes considèrent qu'une gouvernance inclusive et diversifiée des services de santé reproductive est nécessaire pour répondre aux besoins variés des femmes de tous âges, origines et situations. P6. Les femmes comprennent que leur participation active dans la gouvernance des services de santé reproductive peut contribuer à l'amélioration de la qualité des soins et à la promotion de la santé des femmes.
	- Encourager le dialogue ouvert et la prise de décisions partagées lors des consultations médicales.	P7. Les femmes reconnaissent que l'implication des femmes dans la gouvernance des services de santé reproductive peut aider à identifier et à combler les lacunes existantes dans l'offre de services. P8. Les femmes estiment que leur participation dans la gouvernance des services de santé reproductive peut renforcer la légitimité et la crédibilité des décisions prises. P9. Les femmes considèrent que leur implication dans la gouvernance des services de santé reproductive peut favoriser une approche holistique et globale de la santé des femmes.
3. Renforcement de la participation des femmes aux prises de décisions en matière de santé :	- Impliquer les femmes dans la conception et la mise en œuvre des programmes de santé reproductive.	P4. Formation des femmes sur leurs droits en matière de santé reproductive, afin de renforcer leur capacité à prendre des décisions autonomes et éclairées. P7. Mise en place de groupes de discussion et de partage d'expériences entre femmes, pour favoriser l'échange et l'émancipation des participantes.

		P8. Sensibilisation sur l'importance du consentement libre et éclairé en matière de soins de santé reproductive, en mettant l'accent sur le respect de la volonté des femmes.
	- Encourager la création de groupes de soutien et de plaidoyer dirigés par des femmes pour défendre leurs droits en matière de santé.	P1. Accompagnement psychologique pour les femmes victimes de violences ou de pressions familiales, afin de les aider à prendre des décisions en toute liberté. P5. Mise en place d'un système de suivi et d'évaluation régulier du programme, pour mesurer l'impact des interventions et ajuster les actions en fonction des besoins identifiés. P6. Renforcement des capacités des professionnels de santé sur l'importance du respect de l'autonomie décisionnelle des femmes, notamment dans le domaine de la santé reproductive.
	- Mettre en place des mécanismes de feedback pour que les femmes puissent exprimer leurs besoins et préoccupations concernant les services de santé reproductive.	P2. Création d'un espace d'écoute et de conseil pour les femmes en situation de précarité économique, afin de lever les obstacles financiers à l'accès aux soins de santé reproductive. P3. Organisation de séances d'information et de sensibilisation sur les méthodes de contraception et de planification familiale, en mettant l'accent sur le droit des femmes à choisir librement leur méthode contraceptive. P9. Promotion de la participation des femmes dans les instances de décision en matière de santé, pour garantir une prise en compte adéquate de leurs besoins et de leurs droits.

Comme indique cet encadré, les réponses des participantes mettent en évidence leur compréhension profonde de l'importance de la promotion de la santé reproductive des femmes et de leur participation active dans la gouvernance des services de santé reproductive. Elles soulignent l'importance d'une approche inclusive, centrée sur les besoins réels des femmes et intégrant leur expérience en tant qu'usagères des services de santé reproductive. Les femmes reconnaissent également que leur participation peut contribuer à l'amélioration de la qualité des soins, à l'identification des lacunes existantes et à la promotion d'une approche holistique et équilibrée de la santé des femmes. Les interviewées insistent sur la nécessité d'une gouvernance diversifiée et paritaire pour garantir une représentation équitable des besoins et des perspectives des femmes dans la prise de décisions. Ces réponses soulignent donc l'importance de donner aux femmes une voix forte et significative dans la gouvernance des services de santé reproductive.

**Tableau 3. Autonomie décisionnelle et consentement libre et éclairé lors de l'accès aux services de santé reproductive en milieux communautaires**

Sous-thème	Catégorie	Verbatim
1. Déterminants de l'autonomie décisionnelle	- Influence sociale et familiale	P1. Ma famille ne discute pas de sexualité, c'est un sujet tabou." P4. Pressions familiales ou du partenaire, ma belle-famille m'a forcée à avoir des enfants même si je n'étais pas prête."
	- Connaissances en santé reproductive	P5. On m'a dit que les préservatifs ne sont pas naturels." P6. Les rumeurs sur les effets secondaires des contraceptifs m'ont dissuadée d'en utiliser."
	- Accès à l'information	P9. Je n'ai pas reçu d'éducation sexuelle, donc je ne sais pas comment protéger ma santé reproductive."
	- Barrières culturelles et religieuses	P1. Normes socioculturelles restrictives P2. Interdits religieux, ma religion considère que la contraception est un péché, ma religion prône la famille nombreuse, donc je n'ai pas le droit de limiter les naissances." P8. Les femmes qui prennent la pilule sont vues comme immorales dans ma culture." P10. Ma communauté considère qu'une femme qui ne veut pas d'enfants est égoïste, peur de jugement de la communauté
2. Interventions favorisant l'autonomie décisionnelle :	Éducation et sensibilisation	P1. Organiser des séances de sensibilisation sur la planification familiale et les méthodes contraceptives." P3. Organiser des ateliers pour apprendre à négocier mes besoins en matière de contraception avec mon partenaire." P7. organiser des campagnes de sensibilisation sur les droits reproductifs pour connaître mes droits et les revendiquer."
	Renforcement des capacités de prise de décision	P4. Organiser un atelier renforcement de l'estime de soi pour prendre des décisions qui me sont bénéfiques."

		P10. donner des informations claires et accessibles sur les différentes méthodes contraceptives disponibles."
	Accompagnement personnalisé	P5 organiser des accompagnement psychologique pour surmonter les pressions familiales et culturelles." P9. Créer des groupes de soutien entre femmes pour partager nos expériences et s'entraider."
	Formation des prestataires de santé	P6. Organiser des formations pour les professionnels de santé afin qu'ils soient plus sensibles et informatifs sur la santé reproductive." P2. Donner un accès facile à des services de santé reproductive confidentiels et respectueux."

Ces réponses mettent en lumière l'importance des interventions éducatives, sociales et politiques pour renforcer l'autonomie décisionnelle des femmes en matière de santé reproductive. L'éducation, la sensibilisation, le soutien psychologique, l'accès à des services de santé adaptés et le renforcement de la confiance en soi sont des éléments clés pour permettre aux femmes de prendre des décisions informées et autonomes. Il est essentiel de mettre en place des programmes et des actions qui répondent aux besoins des femmes, tout en les aidant à surmonter les obstacles culturels et sociaux qui limitent leur autonomie dans ce domaine.

**Tableau 4. Renforcement de l'autonomie décisionnelle et du consentement éclairé des femmes pour améliorer l'accessibilité aux services de santé reproductive à N'djili**

Sous-thème	Catégorie	Verbatim
1. Renforcement des compétences en matière de prise de décision et de communication pour les femmes	1. Contraception	P2. Coût élevé des contraceptifs, manque d'information sur les options disponibles P3. Manque d'informations sur les différentes méthodes de contraception P7. Manque de soutien familial pour prendre des décisions en matière de planification familiale P9. Manque de formation des professionnels de santé sur les questions de santé reproductive
	2. Consultations gynécologiques	P5. Attentes longues pour obtenir un rendez-vous chez un gynécologue
	3. Accès aux soins de maternité	P8. Stigmatisation sociale autour de la maternité précoce et difficultés d'accès aux services de santé reproductive
	4. Education sexuelle	P4. Tabous culturels autour de la sexualité et de la contraception
	5. Accompagnement post-avortement	P9. Difficulté à obtenir une prise en charge après un avortement P1. Manque de structures de santé à proximité de mon lieu de résidence

Il ressort de ces réponses que les participantes rencontrent différents obstacles pour accéder aux services de santé reproductive et de planification familiale. Les principaux obstacles semblent être le manque d'information, le coût élevé, les barrières culturelles et sociales, ainsi que les difficultés logistiques. Il est donc essentiel de mettre en place des actions pour garantir un accès équitable à ces services pour toutes les femmes.

**Tableau 5. Renforcement de la prise de décision et du consentement et éclairé pour les services de santé reproductive des femmes dans la zone de santé de N'djili**

Sous-thème	Catégorie	Verbatim
1. Sensibilisation et éducation des femmes sur leurs droits en matière de santé reproductive	Connaissance des droits en matière de santé reproductive	<p>P1. Le droit à l'information sur la contraception</p> <p>P2. Le droit à l'avortement sécurisé</p> <p>P3. Le droit à des soins pré et postnataux de qualité</p> <p>P4. Le droit au choix de la méthode de contraception</p> <p>P5. Le droit à la vie sexuelle et reproductive épanouie</p> <p>P6. Le droit à la confidentialité des informations médicales</p> <p>P7. Le droit à un consentement éclairé pour tout traitement ou intervention médicale</p> <p>P8. Le droit à des services de santé reproductive adaptés à leurs besoins</p> <p>P9. Le droit à l'éducation sexuelle complète</p>
2. Renforcement des compétences des professionnels de la santé pour garantir un consentement éclairé	Communication avec les clientes	<p>P1. Je m'attends à ce que les professionnels de la santé soient formés sur les droits des patients et les lois en vigueur.</p> <p>P2. J'aimerais que les professionnels de la santé sachent communiquer de manière claire et empathique pour m'expliquer les risques et bénéfices d'un traitement.</p> <p>P3. Je souhaite que les professionnels de la santé prennent le temps de répondre à toutes mes questions et de s'assurer que j'ai bien compris les informations fournies.</p> <p>P4. Il est important pour moi que les professionnels de la santé respectent mes décisions et ne me poussent pas à accepter un traitement sans mon consentement éclairé.</p> <p>P5. Je veux me sentir en confiance avec mon médecin et être certaine qu'il ou elle respectera ma volonté.</p> <p>P6. Les professionnels de la santé doivent être sensibilisés à la diversité culturelle et aux besoins spécifiques des différents groupes de patients.</p> <p>P7. La formation continue des professionnels de la santé sur le consentement éclairé est essentielle pour garantir des soins de qualité.</p> <p>P8. Je suis convaincue que le renforcement des compétences des professionnels de la santé en matière de consentement éclairé améliorera la relation de confiance avec les patients.</p> <p>P9. Les professionnels de la santé devraient être formés à reconnaître les signes de non-consentement et à respecter la volonté des patients.</p>
3. Évaluation de l'impact du programme sur l'accès aux services de santé reproductive	Pratiques de consentement éclairé	<p>P2. Je suis l'amélioration de l'accès aux contraceptifs : meilleure disponibilité dans les centres de santé, accès gratuit aux contraceptifs grâce au programme, davantage de choix de méthodes contraceptives.</p> <p>P3. J'aimerais avoir la Facilité de l'accès aux services de planification familiale : mise en place de séances des informations et de sensibilisation, réduction des délais d'attente, plus grande confidentialité dans la consultation.</p> <p>P4. Je désire l'amélioration de l'accès aux services de dépistage des IST : disponibilité accrue des tests, sensibilisation à l'importance du dépistage, accompagnement dans le processus de dépistage.</p> <p>P5. J'aimerais avoir la Facilité de l'accès aux services d'avortement sécurisé : réduction des obstacles légaux, disponibilité de conseils pré et post-avortement, accès à des cliniques spécialisées.</p> <p>P6. Je désire l'amélioration de l'accès aux services de santé maternelle : meilleurs conseils et suivi pendant la grossesse, accès à des examens prénataux, facilitation de l'accès aux soins post-partum.</p> <p>P7. Améliorations souhaitées pour faciliter l'accès aux services de santé reproductive : réduction des coûts, augmentation du nombre de centres de santé, formation du personnel de santé sur la santé reproductive.</p> <p>P8. J'aimerais l'Influence positive du programme sur la santé reproductive : meilleure connaissance de son corps, prise de décisions éclairées en matière de santé reproductive, réduction des risques de complications pendant la grossesse.</p>

		<p>P9. Je constate plusieurs différences depuis la participation au programme : plus grande confiance dans l'accès aux services de santé reproductive, meilleure communication avec le personnel de santé, réduction du nombre d'incidents liés à la santé reproductive.</p>
<p>4. Intégration des perspectives socio-économiques et expériences des femmes dans la conception des services de santé reproductive.</p>	<p>Perception générale des participantes sur la santé reproductive</p>	<p>P1. Il faudrait mettre davantage l'accent sur l'éducation sexuelle et la prévention des maladies sexuellement transmissibles."                  P2. "Les services de santé reproductive devraient être plausibles aux femmes des communautés marginalisées."                  P3. "Il est important que les professionnels de la santé soient formés pour traiter les questions de santé reproductive de manière respectueuse et non discriminatoire."                  P4. "Il faudrait proposer des services de planification familiale adaptés aux besoins des femmes."                  P5. "Les femmes devraient pouvoir bénéficier de conseils et de soutien psychologique en cas de difficultés liées à leur santé reproductive."                  P6. "Il est crucial d'inclure les femmes dans la conception des programmes de santé reproductive, afin de mieux répondre à leurs besoins spécifiques."                  P7. "Les services de santé reproductive devraient être abordables pour toutes les femmes, quel que soit leur statut socio-économique."                  P8. "Il faudrait mettre en place des campagnes de sensibilisation sur les droits des femmes en matière de santé reproductive."                  P9. "Les femmes devraient avoir accès à un choix éclairé en matière de contraception et de suivi médical."</p>

**Nota:**

Les femmes ont une bonne connaissance de leurs droits en matière de santé reproductive, mais il est important de renforcer leur accès à l'information et aux services de santé reproductive pour garantir une prise de décision autonome et éclairée. Il est également nécessaire de surmonter les barrières socio-culturelles et économiques qui peuvent entraver l'exercice de ces droits.

Les réponses des femmes mettent en lumière l'importance pour les professionnels de la santé de développer des compétences spécifiques pour garantir un consentement éclairé. Elles soulignent le besoin de communication claire, de respect de la volonté des patients, de sensibilisation à la diversité culturelle et de formation continue. Ces attentes soulignent l'importance d'une approche centrée sur le patient et Catégories.

Les réponses des femmes mettent en lumière l'importance de prendre en compte leurs expériences et leurs perspectives socio-économiques dans la conception des services de santé reproductive. Il est primordial de garantir l'accessibilité, la non-discrimination et la personnalisation des services, tout en tenant compte des besoins spécifiques des femmes. Cette approche centrée sur les femmes permettrait d'améliorer significativement leur accès aux soins de santé reproductive et leur bien-être global.

**5 DISCUSSION**

L'accès aux soins de santé reproductive constitue un droit fondamental pour toutes les femmes, mais il demeure largement influencé par des facteurs socio-économiques et culturels. Cette étude a mis en lumière les défis que rencontrent les femmes de la zone de santé de N'djili à Kinshasa pour exercer leur autonomie de décision et pour donner un consentement libre et éclairé lorsqu'il s'agit d'accéder à des soins de santé reproductive.

L'autonomie de décision est essentielle pour garantir que les femmes peuvent choisir librement les services de santé reproductive qu'elles souhaitent utiliser. Cependant, notre étude révèle que de nombreuses femmes se heurtent à des obstacles sociaux et économiques qui compromettent cette autonomie. Les données collectées indiquent que la majorité des participantes est influencée par des normes culturelles et familiales qui conditionnent leurs choix (Benson et al., 2020). En effet, la pression exercée par les membres de la famille ou par la communauté peut restreindre la liberté des femmes à prendre des décisions indépendantes concernant leur santé reproductive. (Benson, C., Smith, J., & Wang, L. (2020).

Le consentement libre et éclairé est un principe fondamental des droits humains et de l'éthique médicale, qui exige que les individus soient pleinement informés des risques, des bénéfices et des alternatives avant de prendre une décision concernant leur santé (WHO, 2018). Hélas, cette étude révèle que, dans la communauté de N'djili, une proportion importante de femmes ne reçoit pas l'information nécessaire pour pouvoir donner un consentement éclairé. Les praticiens de santé, souvent sous pression en raison de ressources limitées, n'accordent pas le temps et l'attention nécessaires pour informer adéquatement leurs patientes (Kinsella, 2019). Cette lacune peut conduire à des décisions mal informées, compromettant ainsi la qualité des soins. (Fathallah, Y., Lemoine, F., & Hage, M. (2021).

L'application de la théorie socio-économique a permis de mieux comprendre le contexte dans lequel se situent les décisions des femmes en matière de santé reproductive. Selon cette perspective, les conditions socio-économiques, telles que le niveau de revenu, l'éducation et l'accès aux ressources, jouent un rôle crucial dans l'autonomie personnelle et la capacité à obtenir des soins de santé appropriés (Sen, 1999). Par exemple, les femmes ayant un niveau d'éducation plus élevé sont plus susceptibles de comprendre leurs droits et les services disponibles, ce qui leur permet de revendiquer un accès équitable aux soins de santé reproductive.

Il est impératif d'améliorer l'autonomie de décision et d'assurer un consentement libre et éclairé pour les femmes dans la zone de santé de N'djili à Kinshasa. Sur ce, des interventions ciblées, incluant des programmes d'éducation sur la santé reproductive et des initiatives visant à modifier les normes sociales, pourraient renforcer la position des femmes. De plus, une formation accrue des professionnels de santé sur l'importance du consentement éclairé est essentielle pour garantir que les patientes soient véritablement informées et autonomes dans leurs choix. Il est essentiel de continuer à explorer l'interaction entre les facteurs socio-économiques et la santé reproductive pour influencer des politiques et des interventions efficaces.

## 6 CONCLUSION ET QUELQUES RECOMMANDATIONS DE L'ÉTUDE

Pour conclure sur les résultats de cette étude, plusieurs pistes de recherche et d'action sont envisagées:

1. Études longitudinales: Il serait bénéfique de mener des études longitudinales pour observer les changements dans l'autonomie des femmes et leur accès aux soins reproductifs au fil du temps, en tenant compte des évolutions socio-économiques et politiques.
2. Interventions ciblées: Des programmes de sensibilisation et d'éducation ciblant non seulement les femmes, mais aussi les hommes et les membres de la communauté, pourraient aider à modifier les normes culturelles et soutenir les femmes dans leur quête d'autonomie.
3. Renforcement des capacités des professionnels de santé: Des formations continues pour les professionnels de santé sur le consentement éclairé et l'importance de l'écoute des patientes doivent être instaurées pour garantir un meilleur respect des droits des femmes lors de l'interaction avec le système de santé.
4. Politique de santé publique: il est essentiel que les décideurs politiques prennent en compte les résultats de cette étude pour élaborer des politiques de santé publique qui favorisent l'accès équitable aux services de santé reproductive et soutiennent l'autonomie des femmes.

Somme toute l'évolution des attitudes et des pratiques concernant la santé reproductive nécessite un effort concerté de la part des autorités sanitaires, des acteurs communautaires et des femmes elles-mêmes.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent aux autorités de la zone de santé de N'djili en l'occurrence le Docteur Médecin chef de zone BOLAMBA GHELOGO Edouard, au comité de gestion de l'ISTM-Kinshasa et à l'équipe de pilotage composée de: Professeur MUKANDU BASUA BABINTU PhD investigateur, coordinateur et promoteur de la présente rédaction, Professeur NTOTO NKUNZI BERNARD investigateur et co-promoteur de ce mémoire.

## REFERENCES

- [1] Benson, C., Smith, J., & Wang, L. (2020).
- [2] Fathallah, Y., Lemoine, F., & Hage, M. (2021).
- [3] Kinsella, S. (2019). Challenges in Provid.
- [4] Mackenzie, R., Collins, K., & Milliken, J. (2020).
- [5] Patel, V., & Koenig, M. A. (2018).
- [6] World Health Organization. (2019).
- [7] Sen, A. (1999). Development as Freedom. Oxford University Press.
- [8] WHO. (2018). Ensuring Respect for Sexual and Reproductive Health and Rights. World Health Organization.
- [9] Rapport d'enquête mené en RDC Congo de 1998 à 2010.
- [10] Planification familiale 2019.

## Etude des facteurs influençant la contamination des ressources en eau en milieu agricole dans le département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)

### [ Study of the factors influencing the contamination of water resources in agricultural environments in the Agboville department (South-East of Côte d'Ivoire) ]

*Kotchi Rodrigue OROU<sup>1</sup>, Zahibo Oscar ONETIE<sup>2</sup>, and Dotanhan YEO<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>UFR Agriculture, Ressources Halieutiques et Agro-Industries (UFR-ARHAI), Université de San-Pedro, BP 1800 San-Pedro, San-Pedro, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Département Géosciences, UFR des Sciences Biologiques, Université Péléforo Gon COULIBALY (UPGC), BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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 increase in agricultural production is accompanied by a growth in the use of plant protection products, with inappropriate use of doses and frequency of treatment, leading to negative effects on the environment and human health. The aim of this study is to identify the parameters that contribute to the deterioration of surface and groundwater quality in agricultural environments in the department of Agboville. The methodology involved studying the relationships between chemical elements indicative of agricultural contamination and pesticide residues measured in the water sampled. The results show that more than half (52%) of the water points sampled were surface water and 48% were groundwater. In the rainy season, 68% of water points have an NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration > 10 mg/L and in the dry season, 85% of water points have an NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration > 10 mg/L. Nitrates come mainly from leaching from agricultural land and the decomposition of organic matter. High concentrations of herbicides (glyphosate: 0,52 µg/L and glyphosate isopropylamine salt: 0,30 µg/L) were detected in water from rubber plantations and rice fields, while high levels of insecticides (deltamethrin: 0,3 µg/L and chlorpyrifos-ethyl: 0,4 µg/L) were observed in water from market gardens. Water points located inside and/or near old plantations (over 15 years old) are the most contaminated. Surface water is more contaminated than groundwater, and contamination is greater in the rainy season than in the dry season.

**KEYWORDS:** factors, contamination, water, agriculture, Agboville.

**RESUME:** L'augmentation de la production agricole s'accompagne d'une croissance de l'utilisation de produits phytosanitaires avec un usage inadapté des doses et des fréquences de traitement engendrant des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Ce travail vise à identifier les paramètres qui contribuent à la dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines en milieu agricole dans le département d'Agboville. La méthodologie se rapporte à l'étude des rapports entre les éléments chimiques indicateurs d'une contamination agricole et les résidus de pesticides dosés dans les eaux échantillonnées. Les résultats montrent que plus de la moitié (52%) des points d'eau échantillonnés sont des eaux de surface et 48% des points d'eau sont des eaux souterraines. En saison pluvieuse, 68% des points d'eau ont une concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > 10 mg/L et en saison sèche, 85% des points d'eau ont une concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > 10 mg/L. Les nitrates proviennent essentiellement du lessivage des terres agricoles et de la décomposition de la matière organique. Les fortes concentrations d'herbicides (glyphosate: 0,52 µg/L et du glyphosate sel d'isopropylamine: 0,30 µg/L) ont été détectées dans les eaux des plantations d'hévéa et dans les rizières; quant aux fortes teneurs d'insecticides (deltaméthrine: 0,3 µg/L et chlorpyrifos-éthyl: 0,4 µg/L) ont été observées dans les eaux des maraîchages. Les points d'eau situés à l'intérieur et/ou à proximité des vieilles plantations (plus de 15 ans) sont les plus contaminées. Les eaux de surface sont contaminées que les eaux souterraines et la contamination est plus importante en saison pluvieuse qu'en saison sèche.

**MOTS-CLEFS:** facteurs, contamination, eaux, agriculture, Agboville.

## 1 INTRODUCTION

L'eau est essentielle à la survie et au bien-être de l'homme et est indispensable au fonctionnement de nombreux secteurs de l'économie. Les ressources en eau sont inégalement réparties dans l'espace et le temps, et souffrent des pressions qu'exercent sur elles les activités humaines [1]. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au bon maintien de la santé [2]. La préservation et la sauvegarde de cette ressource est donc une nécessité qui concerne à la fois ses usages et sa valeur environnementale [3]. La pollution de l'eau est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Cette pollution provient de plusieurs sources d'origine anthropique dont l'agriculture par l'utilisation des engrais et pesticides [4], [5], [6], [7], [8]. Les intrants utilisés par les agriculteurs pour augmenter leurs rendements et les effluents d'élevage sont des sources de pollution des eaux lorsque la capacité de prélèvement des végétaux et d'épuration naturelle des sols sont dépassées. Les phénomènes en cause sont le lessivage et l'érosion des parcelles cultivées [9]. Aux États-Unis d'Amérique, l'agriculture est la principale source de pollution des cours d'eau, la deuxième source dans les zones humides et la troisième source dans les lacs [10]. En Chine, l'agriculture est responsable d'une grande partie de la pollution des eaux de surface et est presque exclusivement responsable de la pollution des eaux souterraines par l'azot [11]. En France, les travaux de [6] ont montré que sur 7716 captages abandonnés et 39% l'ont été en raison de teneurs trop élevées en nitrates ou en pesticides. Au Bénin, [12] ont prouvé que les pratiques agricoles sont les facteurs et origines de pollution des eaux de surface. En Côte d'Ivoire, les travaux de [13] ont montré que la qualité des eaux de Loka a été fortement influencée par la pratique de la riziculture irriguée par l'emploi de pesticides de manière cyclique et répétée au fil des années. Les travaux de [14], [15] ont démontré que le pluviollessivage des sols agricoles est l'un des phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux dans la même zone d'étude. L'augmentation de la production agricole s'accompagne d'une croissance de l'utilisation de produits phytosanitaires avec un usage inadapté des doses et des fréquences de traitement engendrant des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Cependant à Agboville, il existe très peu d'études relatives aux facteurs de contamination des eaux en milieu agricole. Il était donc impérieux d'étudier et de comprendre les facteurs qui influencent la contamination des eaux souterraines et de surface en milieu agricole. Autrement dit, quel est le type d'eau le plus exposé à cette contamination? Quelle est la culture la plus polluante? L'âge des plantations et le degré d'aménagement des points d'eau exposerait-ils plus la ressource? Ce travail vise à identifier les paramètres qui contribuent à la dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines en milieu agricole dans le département d'Agboville.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 ZONE D'ÉTUDE

Situé dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 5°35'N et 6°15'N, et les longitudes 3°55'W et 4°40'W, le département d'Agboville couvre une superficie d'environ 3850 km<sup>2</sup> (Figure 1). Selon [16], la population a été estimée en 2021 à environ 384340 habitants, avec une densité de 100 habitants/km<sup>2</sup> et l'agriculture constitue la principale activité.

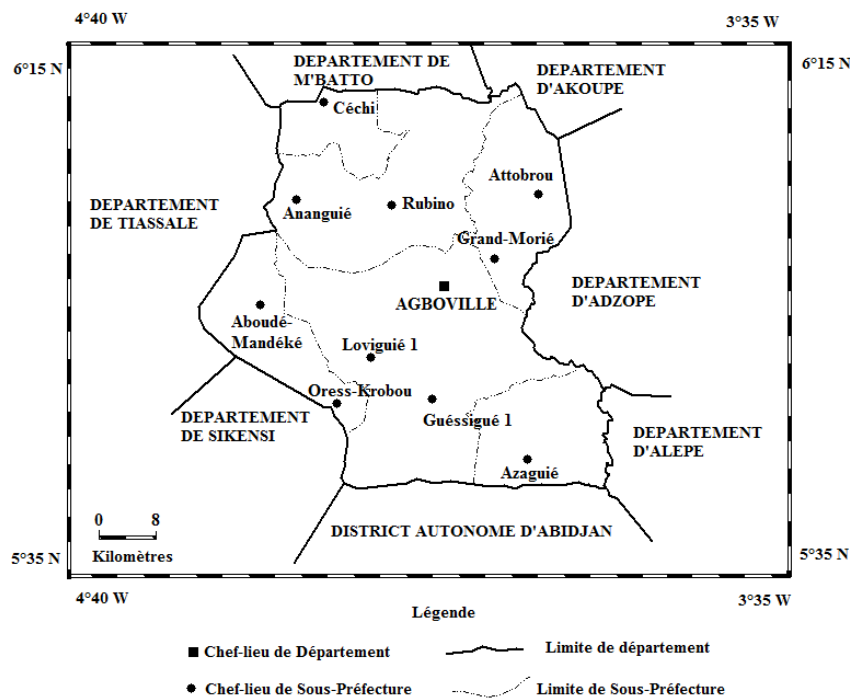


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

## **2.2 MATÉRIEL**

Le matériel utilisé est essentiellement constitué de données géomorphologiques, géologiques, cartographiques et hydrochimiques.

## **2.3 MÉTHODES**

La stratégie d'échantillonnage adoptée dans le cadre de ce travail est fondée sur une couverture spatiale d'un ensemble de système agricole dans la zone d'étude. Elle a été réalisée au niveau des points d'eau (puits et cours d'eau) utilisés par les cultivateurs pour l'irrigation, souvent pour leur alimentation en eau et dont l'accès nous a été autorisé. Le choix tient compte de la distance points d'eau – plantation et de l'influence de la position des surfaces cultivées par rapport aux points d'eau. Ils se répartissent en 31 points d'eau de surface et 24 puits traditionnels (*Figure 1*). Les prélèvements des eaux ont été effectués en saison sèche et pluvieuse et les paramètres physico-chimiques ont été déterminés avec une chromatographie ionique au laboratoire central du Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL). Les paramètres physiques tels que le pH et la conductivité ont été dosés *in situ* à l'aide d'un multimètre de marque « Hanna » et un GPS de marque « GUARMINN » a permis de géoréférencer tous les points d'eau. La méthodologie se rapporte à l'étude des rapports entre les éléments chimiques indicateurs d'une contamination agricole et les résidus de pesticides dosés dans les eaux échantillonnées. Elle a été des investigations menées sur le terrain pour la vérification des hypothèses.

### **HYPOTHÈSE 1: CERTAINES PRATIQUES CULTURALES CONTAMINERAIENT PLUS LES RESSOURCES EN EAU ?**

Certaines pratiques culturelles avec l'utilisation irrationnelle des produits phytosanitaires compromettent la qualité des eaux surface et des eaux souterraines. Il s'agira de détecter des résidus de pesticides et de comparer la concentration de certains paramètres chimiques (les composés azotés,  $K^+$ ,  $PO_4^{3+}$ ...) avec le fond géochimique des eaux souterraines et de surface [17], [18], [19]. Le fond géochimique des eaux de surface est inférieur au fond géochimique des eaux souterraines car les eaux de surface sont plus exposées à une contamination anthropique et nous avons utilisé celui des eaux souterraines.

### **HYPOTHÈSE 2: LES POINTS D'EAU À L'INTÉRIEUR OU À PROXIMITÉ DES PLANTATIONS SERAIENT-ILS PLUS EXPOSÉS À LA CONTAMINATION AGRICOLE ?**

La proximité des points d'eaux aux exploitations agricoles sont des facteurs aggravant la pollution agricole [20]. Il s'agira de montrer que les fortes concentrations de résidus de pesticides et des composés azotés,  $K^+$  et  $PO_4^{3+}$  ont été observées à l'intérieur ou à proximité des plantations.

### **HYPOTHÈSE 3: L'ÂGE DES PLANTATIONS FAVORISERAIENT LA CONTAMINATION DES RESSOURCES EN EAU ?**

L'épandage répétitif annuel des pesticides et des engrais dans une exploitation dégradent la qualité de l'eau [13]. Il s'agira de montrer que les fortes concentrations de résidus de pesticides et des composés azotés,  $K^+$  et  $PO_4^{3+}$  ont été observées dans des points d'eau à l'intérieur ou à proximité des plantations les plus anciennes.

### **HYPOTHÈSE 4: LES EAUX DE SURFACE SERAIENT PLUS EXPOSÉES À LA CONTAMINATION QUE LES EAUX SOUTERRAINES ?**

La résolution de la problématique environnementale par des inventaires sur la qualité de l'eau ont montré que plus de 65% des eaux de surface et 80% des eaux souterraines sont contaminées par des pesticides et plus de 50% des matières actives retrouvées sont des molécules d'herbicides [21]. Il s'agira de montrer que les fortes concentrations de résidus de pesticides et des composés azotés,  $K^+$  et  $PO_4^{3+}$  ont été observées dans des eaux de surface ou dans les eaux souterraines.

## **3 RESULTATS**

### **3.1 CONTAMINATION DES EAUX ÉCHANTILLONNÉES ET CULTURES PRATIQUÉES**

Les résultats du bilan de contamination des points d'eau échantillonnés par les pesticides et les engrais en fonction des cultures pratiquées sont consignés respectivement dans le Tableau 1 et 2. Trois quarts (75%) des points d'eau échantillonnés sont des eaux de surface et 25% des points d'eau sont des eaux souterraines. En saison pluvieuse, 91,67% des points d'eau (22) ont été contaminés par des pesticides tandis que 83,33% de ces ressources en eau (20 points d'eau) ont été contaminés par des pesticides en saison sèche. Les fortes teneurs des matières actives des herbicides ont été détectées dans des rizières et des plantations d'hévéa, quant aux fortes teneurs des résidus des insecticides ont été observées dans les maraîchères. Les résultats du bilan de contamination des points d'eaux échantillonnés par l'utilisation des engrais montrent que plus de la moitié (52%) des points d'eau échantillonnés sont des eaux de surface et 48% des points d'eau sont des eaux souterraines. En saison pluvieuse, 68% des points d'eau ont une concentration en  $NO_3^- > 10$  mg/L

et en saison sèche, 85% des points d'eau ont une concentration en  $\text{NO}_3^- > 10 \text{ mg/L}$ . Ce résultat confirme l'hypothèse que certaines pratiques culturales ont contaminé plus les ressources en eau.

**Tableau 1.** Bilan de contamination des points d'eaux échantillonnés par les pesticides suivant les cultures pratiquées

Cultures pratiquées	Type de ressources		Nombre de points d'eaux échantillonnés par culture	Nombre de points d'eaux avec des résidus de pesticides	Pourcentage
	Eaux de surface	Eaux souterraines			
Cacao	5	3	8	7	87,50 %
Hévéas	7	4	11	9	81,81 %
Palmeraie	5	0	5	5	100 %
Maraîchage	4	3	7	7	100 %
bananes	4	1	5	5	100 %
Riziculture	6	2	8	8	100 %

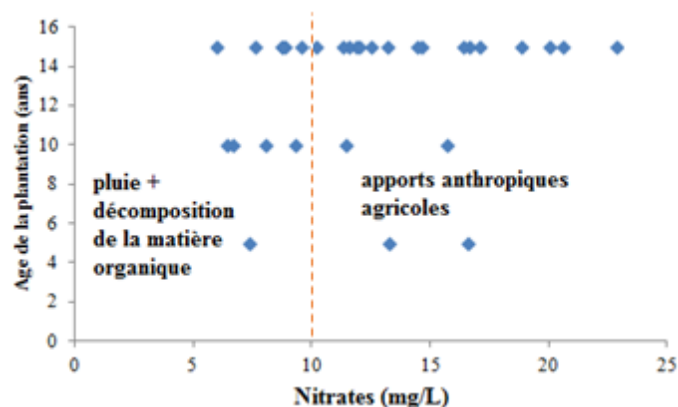
**Tableau 2.** Bilan de contamination des points d'eaux échantillonnés par l'utilisation des engrais suivants les cultures pratiquées

Cultures pratiquées	Type de ressources		Nombre de points d'eaux ayant une teneur de $\text{NO}_3^- < 10 \text{ mg/L}$		Nombre de points d'eaux ayant une teneur de $\text{NO}_3^- > 10 \text{ mg/L}$	
	Eaux de surface	Eaux souterraines	SP	SS	SP	SS
Cacao	5	9	4	2	10	11
Hévéas	9	15	8	0	16	24
Palmeraie	7	3	2	3	8	7
Maraîchage	5	4	1	0	8	9
Bananes	9	3	5	4	7	8
Riziculture	7	3	3	1	7	9
Autres	5	3	2	2	6	6

SP: saison pluvieuse SS: saison sèche

### 3.2 L'ÂGE DES PLANTATIONS, DISTANCE POINTS D'EAU-PLANTATIONS ET CONTAMINATION DES RESSOURCES EN EAU

Les Figures 2 et 3 montrent l'âge des plantations en fonction des concentrations de nitrates suivant les saisons. Les fortes concentrations en nitrates ( $\text{NO}_3^- > 15 \text{ mg/L}$ ) des eaux de surface ont été observées dans les plantations ayant au moins 15 ans d'existence. Les plantations de plus de 10 ans ont présenté également des teneurs élevées en nitrates ( $\text{NO}_3^- > 15 \text{ mg/L}$ ).



**Fig. 2.** Age des plantations en fonction des teneurs en nitrates des eaux de surface

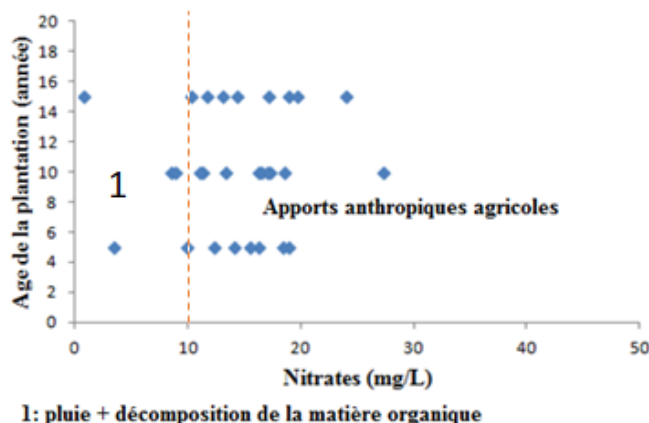


Fig. 3. Age des plantations en fonction des teneurs en nitrates des eaux souterraines

Il s'agit dans ce cas des points d'eau situés près des plantations (Figures 4 et 5). On peut noter aussi que d'autres points situés à moins de 20 m pour les eaux de surface et moins de 100 m pour les eaux souterraines des plantations n'ont pas été contaminées ( $\text{NO}_3^- < 10 \text{ mg/L}$ ). Les eaux prélevées dans les maraîchers, bananeraies et les rizières ont montré des concentrations en  $\text{NO}_3^- > 20 \text{ mg/L}$ . Les fortes teneurs des nitrates ont été enregistrées en saison sèche comme en saison pluvieuse. Les eaux souterraines sont plus contaminées que les eaux de surface.

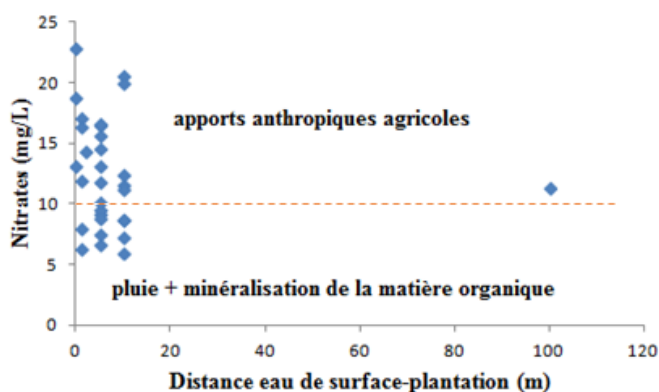


Fig. 4. Concentration en nitrates des eaux de surface en fonction de la distance point d'eau-plantation

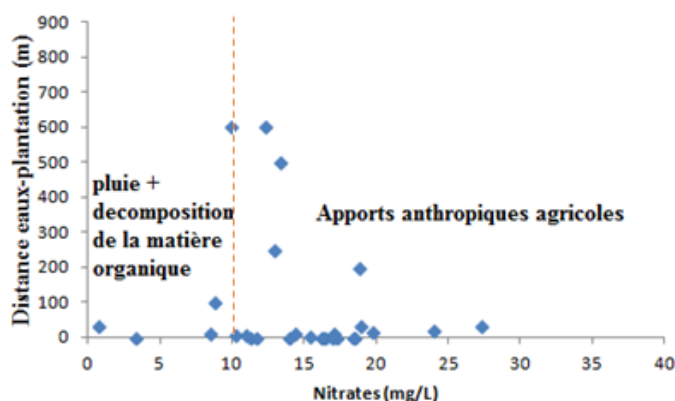


Fig. 5. Distance point d'eau-plantation en fonction des teneurs en nitrates des eaux souterraines

Les Figures 6 et 7 montrent respectivement les teneurs des résidus de pesticides des eaux étudiées en fonction de l'âge des plantations en saison pluvieuse et en saison sèche. Les fortes concentrations des matières actives ( $> 0,5 \mu\text{g/L}$ ) dans les eaux sont observées dans les plantations ayant au moins 10 ans d'existence avec une importance fréquence d'utilisation des pesticides. Les Figures 8 et 9 montrent respectivement les teneurs des résidus de pesticides des eaux étudiées en fonction de l'âge de la distance plantations-

points d'eau en saison pluvieuse et en saison sèche. Les points d'eau situés à l'intérieur et à moins de deux (2) mètres des plantations indiquent une contamination importante des matières actives ( $> 0,5 \mu\text{g/L}$ ). La contamination est plus importante en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Cependant, certains points d'eau situés en dehors des plantations et d'autres points situés très proche des plantations sont non contaminés par les pesticides. Ces résultats confirment d'une part l'hypothèse que les points d'eau à l'intérieur ou à proximité des plantations ont été plus exposés à la contamination agricole et d'autre part l'hypothèse que les plantations les âgées ont favorisé la contamination des ressources en eau.

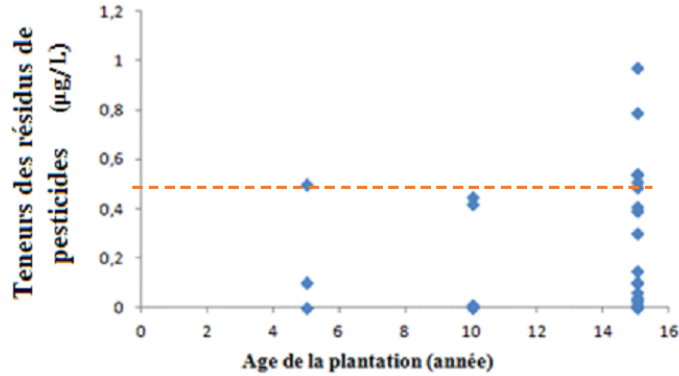


Fig. 6. Teneurs des résidus de pesticides des eaux en fonction de l'âge de la plantation en saison pluvieuse

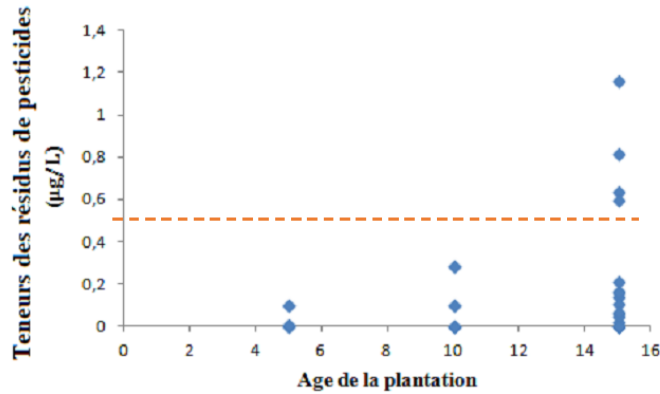


Fig. 7. Teneurs des résidus de pesticides des eaux en fonction de l'âge des plantations en saison sèche

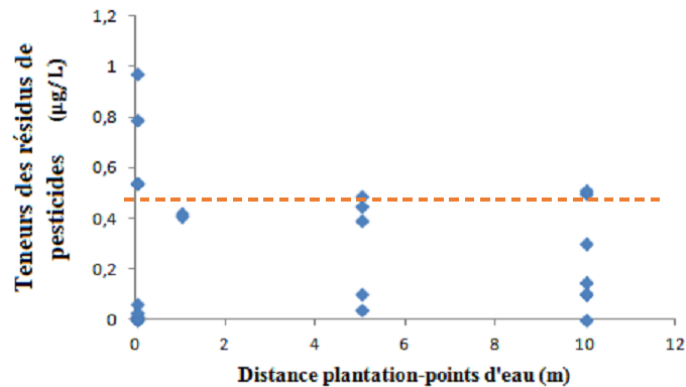


Fig. 8. Teneurs des résidus de pesticides des eaux en fonction de la distance point d'eau-plantation en saison pluvieuse

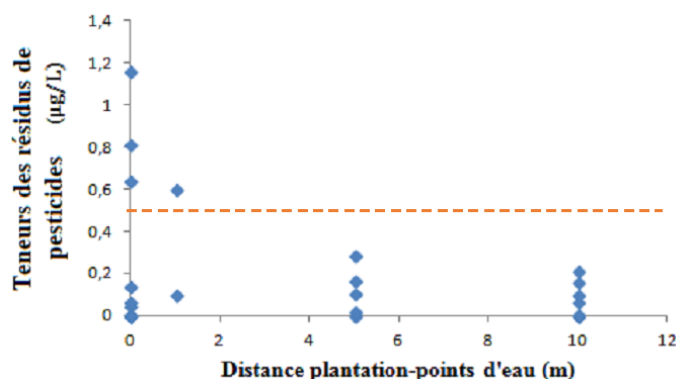


Fig. 9. Teneurs Des Résidus De Pesticides Des Eaux En Fonction De La Distance Point D'eau-Plantation En Saison Sèche

Ces résultats confirment l'hypothèse que les eaux de surface ont été plus exposées à la contamination que les eaux souterraines.

#### 4 DISCUSSION

On remarque que les ressources en eau échantillonnées sont plus contaminées en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Par contre, les eaux de surface sont en général de mauvaise qualité par rapport aux eaux souterraines, car elles ont été échantillonnées dans des barrages, des étangs et des rivières à faible écoulement. La contamination des eaux de surface et des eaux souterraines par les déchets agricoles se fait par le lessivage des sols et l'infiltration des eaux riches en composés organiques. Dans la présente étude, ces eaux fortement contaminées par les engrais sont à proximité des plantations de plus de 10 ans d'existence. Dans ces plantations l'utilisation des engrais et des pesticides sont importantes. Ces points d'eaux sont de qualité acceptable pour être consommée, mais pouvant le cas échéant faire l'objet d'un traitement de désinfection, car les valeurs des différents paramètres de qualité se rapprochent des concentrations maximales admises de potabilité tout en restant inférieure à ces normes. Les fortes teneurs des matières actives des herbicides (0,42 µg/L et 0,28 µg/L) ont été détectées dans les plantations d'hévéa et de riz. Quant aux fortes teneurs des matières actives des insecticides (0,30 µg/L et 0,32 µg/L), elles ont été observées dans les maraichères. Les concentrations des matières actives observées autour des étangs et des puisards montrent l'étendue de l'influence de l'utilisation des pesticides sur la qualité de ces ressources en eau. Les herbicides ont été détectés dans les eaux situées dans les plantations d'hévéa et les rizières et les insecticides ont été détectés dans les eaux situées dans les plantations de cacao et de maraichages. Ce constat est identique aux travaux de [13] où les rizières ont fortement dégradé la qualité des eaux de surface par l'emploi de pesticides de manière cyclique et répétée. Les maraichères ont de nombreuses pathologies et reçoivent des traitements chimiques intensifs. En plus de la forte utilisation de ces produits, la proximité des plantations et parfois le degré d'aménagement très faible des points d'eau traduisent la présence des résidus de pesticides dans les eaux. Les travaux de [22] ont montré que les points d'eau à proximité des plantations dans quatre (4) régions agricoles (Abidjan, Buyo, Grand-Lahou et Yamoussoukro) ont des fortes concentrations en matières actives des pesticides. Au Mali, les eaux du bassin du Bani ont été marquées par une pollution d'origine agricole et animale, identifiée notamment par les nitrates, les ammoniums et les pesticides [23]. La contamination des eaux par les pesticides est plus marquée en saison pluvieuse qu'en saison sèche et seraient dues au ruissellement des eaux de pluies sur les plantes traitées par les insecticides, au lessivage des sols agricoles traités par les pesticides pendant la saison sèche et à la remobilisation des molécules des matières actives accumulées dans les sédiments. Les eaux les plus contaminées sont à moins de 5 (cinq) mètres des plantations. Cette variation saisonnière de la concentration des eaux en résidus de pesticides du fait des activités agricoles a été rapportée par d'autres auteurs. [24] ont indiqué qu'une pollution des eaux avec de fortes concentrations en endosulfan en saison pluvieuse au Burkina-Faso et c'est dans les eaux de barrage qu'ils ont enregistré les fortes concentrations. Au Canada, [25] ont montré des concentrations maximales des pesticides dans les eaux de surface en saison pluvieuse. Les eaux de surface sont plus contaminées par les pesticides que les eaux souterraines. Ce constat pourrait s'expliquer également par l'action du vent. Les pesticides pulvérisés sur les terres agricoles entrent en suspension et peuvent parcourir de longues distances par les airs, allant de 10 m à 150 m du lieu de pulvérisation des pesticides [26], [27]. La présence des matières actives des pesticides dans les eaux souterraines qui sont naturellement protégées peut s'expliquer par la faible profondeur, le mauvais aménagement des puits, la mauvaise utilisation des équipements de préparation, de remplissage, de pulvérisation des produits phytosanitaires et la proximité des plantations. Ces observations sont similaires à celles de [22] qui stipulent que la présence des pesticides dans les eaux souterraines est due à la faible profondeur des puits (inférieure à 3 m) et à la proximité des plantations. Les fortes teneurs en nitrates ont été enregistrées plus en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Les eaux souterraines sont les plus contaminées que les eaux de surface. Ce qui pourrait s'expliquer par l'influence de plusieurs facteurs contrôlant la qualité des eaux souterraines et de surface. En saison pluvieuse, 32,05% et 67,95% des points d'eau ont respectivement une concentration en  $\text{NO}_3^- < 10 \text{ mg/L}$  et  $\text{NO}_3^- > 10 \text{ mg/L}$ . En saison sèche, 15,38% et 84,61% des points d'eau ont respectivement une concentration en  $\text{NO}_3^- < 10 \text{ mg/L}$  et  $\text{NO}_3^- > 10 \text{ mg/L}$ . Aucun point n'a une concentration en nitrates excédant la valeur guide de [22] qui est de 50 mg/L et les nitrates constituent le composé azoté le plus abondant dans l'eau et ils migrent

aisément à cause de sa solubilité [14]. Les nitrates sont plus abondants en saison pluvieuse pour les eaux de surface et en saison sèche pour les eaux souterraines ( $\text{NO}_3^- > 10 \text{ mg/L}$ ) et proviennent de la décomposition de la matière organique et des engrais azotés minéraux. La forte contamination des eaux souterraines se peuvent se traduire par l'infiltration efficace chaque année des eaux issues du lessivage des terres agricoles. L'accumulation des infiltrations est confirmée par l'âge des plantations car les plus fortes teneurs en nitrates (38,58 mg/L et 29,13mg/L) ont été observées dans puits à proximité ou l'intérieur des plantations d'au moins quinze ans d'existence. Ces fortes concentrations ont été observées dans les puits mal aménagés et mal entretenus. Ces puits sont tous dans des bas-fonds et présentent également des fortes valeurs de turbidités en saison pluvieuse. Les eaux prélevées dans les maraîchers, bananeraies et les rizicultures ont montré des concentrations en  $\text{NO}_3^- > 20 \text{ mg/L}$ . Plus de 65% des points d'eau ayant une concentration en  $\text{NO}_3^- < 10 \text{ mg/L}$  sont à proximité des plantations qui n'utilisent pas d'engrais et moins de 35% ont une utilisation rationnelle des engrais pour la fertilisation des terres agricoles. Les eaux de surface présentant de fortes teneurs en nitrates sont situées à proximité des plantations à moins de 20 m et de plus 10 ans d'existence. Tandis que les eaux souterraines qui ont de fortes teneurs en nitrates sont à proximité des plantations de plus 10 ans d'existence et situées à moins de 100 m des plantations. En effet, l'absence et l'insuffisance d'aménagement des puits favorisent contamination des eaux par les nitrates et les résidus de pesticides. Cette vulnérabilité a déjà été signalée dans les travaux de [29] dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Ces observations sont caractéristiques des zones agricoles où les nitrates des eaux souterraines et des eaux de surface proviennent en grande partie des engrais utilisés dans les activités agricoles et de la décomposition de la matière organique. Les travaux de [30] ont montré que les fortes concentrations en pesticides, de nitrite, de fer et de plomb ont été observées en saison pluvieuse dans les eaux de surface du barrage de Koko dans la commune de Korhogo et sont dues à l'agriculture urbaine pratiquée à proximité du barrage.

## 5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'identifier les paramètres qui contribuent à la dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines en milieu agricole dans le département d'Agboville. Les fortes teneurs des matières actives des herbicides (0,42  $\mu\text{g/L}$  et 0,28  $\mu\text{g/L}$ ) ont été observées dans les eaux à proximité ou au sein des plantations d'hévéa et des rizières qui ont plus de 5 ans d'existence. Quant aux fortes teneurs des matières actives des insecticides (0,30  $\mu\text{g/L}$  et 0,32  $\mu\text{g/L}$ ), elles ont été observées dans les maraîchers et des plantations de cacao qui ont également plus de 5 ans d'existence. Les points d'eau ont été contaminés par des pesticides en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Les fortes teneurs des nitrates ont été enregistrées en saison sèche qu'en saison pluvieuse et les eaux souterraines sont plus contaminées que les eaux de surface.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs profondes gratitudeux aux paysans pour l'autorisation d'accéder à leurs exploitations et de prélever des échantillons d'eau.

## REFERENCES

- [1] M. LAGNIKA, M. IBIKOUNLE, F. MAZOU, N. SAKITI et C. BOUTIN (2014). Diversité faunistique et qualité physicochimique de l'eau des puits à Parakou (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 150: pp. 59-72.
- [2] P. QUEVAUVILLER (2010). Protection des eaux souterraines: Législation européenne et avancées scientifiques. Editions TEC & DOC, Lavoisier, 432 p.
- [3] N. NEHME (2014). Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière de Litani, Liban: approche environnementale. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine, France, 359 p.
- [4] B. AGBANDOU, D. HOUESSO, F. THOTO et G. CHABI (2018). Déséquilibre écosystémique du complexe lagunaire lac Nokoué. *Centre d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable, Abomey-Calavi, Bénin* 8p.
- [5] D. LEENHARDT et M. VOLTZ (2020). Chapitre 1 - Les impacts réciproques de l'agriculture et de la ressource en eau In: L'eau en milieu agricole: Outils et méthodes pour une gestion intégrée et territoriale. Versailles: Éditions Quæ, pp. 19-37.
- [6] E. F. KOUADIO (2021). Facteurs associés à la qualité et évaluation des risques sanitaires liés à l'eau de consommation de sept localités de la Côte d'Ivoire. Thèse Unique de Doctorat, Institut National Polytechnique Felix Houphouët- Boigny, République de Côte d'Ivoire, 161 p.
- [7] FAO et CIRAD (2021). Fruits et légumes - Opportunités et défis pour la durabilité des petites exploitations agricoles. Rome, 194 p. <https://doi.org/10.4060/cb4173fr>.
- [8] FAO and IWMI (2017). Water pollution from agriculture: a global review - Executive summary. 29 p.
- [9] US EPA 2016. Water quality assessment and TMDL information. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency (US EPA) (available at: [https://ofmpub.epa.gov/waters10/attains\\_index.home](https://ofmpub.epa.gov/waters10/attains_index.home)).
- [10] FAO (2013). Guidelines to control water pollution from agriculture in China, Water Report 40.

- [11] N. M. FASSINO, F. M. GOUISSI, O. S. GOURA, W. B. YESSOUFOU, T. S. BIAOU (2023). Impact de la contamination agricole sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux de surface: synthèse bibliographique. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. Vol. 39 No. 1 June 2023, pp. 64-83.
- [12] K. J. P. KONAN, K. T. YAO et B. ADIAFFI (2023). Évaluation de la pollution des ressources en eau par les activités agricoles dans le bassin versant de la Loka dans le département de Sakassou, Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 22 (3), pp. 34 – 43.
- [13] K. E. AHOUSI, N. SORO, Y. B. KOFFI, G. SORO et J. BIEMI (2010). Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de la zone Sud de la Côte d'Ivoire: cas de la région d'Abidjan-Agboville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4 (3), pp. 782-797.
- [14] K. R. OROU, G. SORO, T. D. SORO, N. M. R. FOSSOU, Z. O. ONETIE, K. E. AHOUSI et N. SORO (2016). Variation saisonnière de la qualité physicochimique des eaux souterraines des aquifères d'altérites du département d'Agboville (Sud-Est De La Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, Vol.12, No.17, pp.213-240.
- [15] INSTITUT NATIONAL DE STATISTIQUE (2021). Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2021. Résultats Globaux Définitifs, 68 p.
- [16] B. LADOUCHE, L. CHERY et E. PETELET-GIRAUD (2004). Contribution à la caractérisation des états de référence géochimie des eaux souterraines. Application de la méthodologie en milieu de socle fracturé (Naizin, Morbihan), B.R.G.M/RP-53025-FR-Rapport final, 67p.
- [17] MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE et AGENCES DE L'EAU (2003a). Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau: Grilles d'évaluation SEQ-eau, version 2, 40p.
- [18] MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE et AGENCES DE L'EAU (2003b). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines SEQ - Eaux Souterraines Rapport de présentation, version 1, 22p.
- [19] ARRA: Association Rivière Rhône Alpes (2015). POLLUTION DE L'EAU LIÉE AUX ACTIVITÉS AGRICOLES. Actes de la journée technique du 27 février 2015, Alixan (26), France, 34 p.
- [20] N. PARE (2011). POLLUTION DE L'EAU PAR LES PESTICIDES EN MILIEU VITICOLE LANGUEDOCIEN: Construction d'un modèle couplé pression-impact pour l'expérimentation virtuelle de pratiques culturales à l'échelle de petits bassins versants. Thèse Unique de Doctorat, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques (Montpellier SupAgro), France, 301 p.
- [21] S. K. TRAORE, K. MAMADOU, A. DEMBELE, P. LAFRANCE, P. MAZELLIER et P. HOUENOU (2006). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire (Centre, Sud et Sud-Ouest). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 8, pp. 157-170.
- [22] A. BONNEFOY (1998). Impact des intrants agricoles sur la qualité des eaux en zone cotonnière du Mali-Sud (bassin du Bani). Institut Universitaire Professionnalisé « Environnement, Technologies et Société » Spécialisation « Environnement, Chimie Analytique et Ecosystèmes», ORSTOM/LECOM, Bamako, 24 p.
- [23] K. H. Tapsoba et L. Y. Bonzi-Coulibaly (2006). Production cotonnière et pollution des eaux par les pesticides au Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* N°21, pp. 87-93.
- [24] V. M. TRUDEAU, M. RONDEAU et A. SIMARD (2011). Pesticides aux embouchures de tributaires du lac Saint-Pierre (2003-2008), Environnement Canada, Direction des sciences et de la technologie de l'eau, Section monitoring et surveillance de la qualité de l'eau, Montréal, xiv + 62 p.
- [25] P. SUTTON, J. PERRON, L. C. GIUDICE et T. J. WOODRUFF (2011). Pesticides Matter. A primer for reproductive health physicians. Program on Reproductive Health and the Environment, University of California, San Francisco, USA, p. 23. [https://prhe.ucsf.edu/sites/g/files/tkssra341/f/pesticidesmatter\\_whitepaper.pdf](https://prhe.ucsf.edu/sites/g/files/tkssra341/f/pesticidesmatter_whitepaper.pdf)
- [26] M. ALLSOP, C. HUXDORFF, P. JOHNSTON, D. SANTILLO, K. THOMPSON. (2015). Santé: les pesticides sèment le trouble. Greenpeace Research Laboratories, School of Biosciences, University of Exeter, p. 54.
- [27] OMS (2011). Guidelines for Drinkingwater Quality, 4 th éd., p 518.
- [28] K. T. YAO, M-S. OGA, O. FOUCHÉ, D. BAKA, C. PERNELLE et J. BIEMI (2012). Évaluation de la potabilité chimique des eaux souterraines dans un bassin versant tropical: cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (6), pp. 7069-7086.
- [29] N. S. ANDON, K. A. ALLA et Y. S. KOFFI (2018). Impact de l'agriculture urbaine sur la qualité des ressources en eau de surface du nord de la Côte d'Ivoire: cas du barrage de Koko dans la Commune de Korhogo. *International Journal of Humanities and Social Science Research*, Vol.4, No 2, pp. 20-29.

## Famille comme écosystème de l'éducation à l'entrepreneuriat juvénile en RDC: Retour sur l'expérience entrepreneuriale d'un enfant de 11 ans

### [ Family as an ecosystem for education in youth entrepreneurship in the DRC: A look back at the entrepreneurial experience of an 11-year-old child ]

*Galekwa Vundawe Jean-René, Banza Nsomwe-A-Nfunkwa Eustache, and Yakandi Mote René*

Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2024 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 research explores the role of the family as an ecosystem for youth entrepreneurship education in the Democratic Republic of Congo (DRC), focusing on the entrepreneurial experience of an 11-year-old child. The central question is how the family, as an educational ecosystem, fosters the development of youth entrepreneurship in the DRC. The aim of this study is to analyze the role of the family as an ecosystem for youth entrepreneurship education in the DRC, using the example of an 11-year-old child. The results highlight children's roles in entrepreneurial experiences, the nature of the entrepreneurship initiated, the entrepreneurial skills and values developed, the influence of the family environment on children's entrepreneurial education, and the challenges of family entrepreneurial education. This study sheds valuable light on the central role of the family in the development of the entrepreneurial spirit in young people.

**KEYWORDS:** education ecosystem, youth entrepreneurship, opportunity entrepreneurship, necessity entrepreneurship, entrepreneurship education.

**RESUME:** Cette recherche explore le rôle de la famille en tant qu'écosystème d'éducation à l'entrepreneuriat des jeunes en République démocratique du Congo (RDC), partant d'un retour sur l'expérience d'un enfant de 11 ans. La question centrale est de savoir comment la famille, en tant qu'écosystème éducatif, favorise le développement de l'esprit d'entreprendre chez les jeunes en RDC. L'objectif de cette étude est d'analyser le rôle de la famille en tant qu'écosystème de l'éducation à l'entrepreneuriat des jeunes en RDC, en utilisant l'exemple d'un enfant de 11 ans. Les résultats mettent en évidence les rôles des enfants dans les expériences entrepreneuriales, la nature de l'entrepreneuriat initié, les compétences et les valeurs entrepreneuriales développées, l'influence de l'environnement familial sur l'éducation entrepreneuriale des enfants, et les défis de l'éducation entrepreneuriale familiale. Cette étude apporte un éclairage précieux sur le rôle central de la famille dans le développement de l'esprit entrepreneurial chez les jeunes.

**MOTS-CLEFS:** écosystème de l'éducation, entrepreneuriat juvénile, entrepreneuriat d'opportunité, entrepreneuriat de nécessité, éducation à l'entrepreneuriat.

## 1 INTRODUCTION

La République Démocratique du Congo (RDC) est un pays en développement avec un fort potentiel économique. Cependant, il est confronté à de nombreux défis, notamment la pauvreté multidimensionnelle, le chômage massif, la croissance démographique rapide et les inégalités de toute nature.

Dans ce contexte, l'entrepreneuriat peut être considéré comme l'une des voies prometteuses pour relever ces défis. A ce propos, Bruyat & Julien (2001) soulignent que dans un contexte mondial de globalisation et d'incertitude, l'entrepreneuriat est placé dans les priorités de nombreux états, car de plus en plus, l'entrepreneuriat apporte de contribution substantielle à l'économie.

Dans le même ordre d'idée, l'Organisation internationale du Travail (2014) considère l'entrepreneuriat comme un moyen de créer des emplois décents et productifs, tout en reconnaissant que, chez les jeunes en particulier, le développement des compétences et attitudes entrepreneuriales pendant le parcours scolaire peut contribuer à renforcer leurs capacités à se montrer concurrentiels sur un marché du travail où les emplois sont rares.

Pour la Fondation européenne pour la formation (INFORM, 2014), il faut davantage accorder d'attention à l'entrepreneuriat en tant que « compétence clé » pour cultiver l'esprit d'entreprendre de la prochaine génération.

Dès lors, il faut doter les jeunes des compétences entrepreneuriales et leur insuffler l'esprit entrepreneurial pour les aider à réussir dans un monde en pleine évolution.

L'éducation à l'entrepreneuriat est donc un élément important du développement social et économique. Cette éducation peut être dispensée dans les écoles, les universités, les organisations communautaires ou au sein même de la famille. Il s'agit de cultiver l'esprit entrepreneurial chez les enfants en les aidant à développer de pensée créative, de curiosité proactive et le sens de prise d'initiative face aux défis, en les encourageant à l'exploration, la résilience face à l'échec, la prise de décision autonome et la volonté de créer des solutions innovantes (Catherine, 2008).

En RDC, la famille peut jouer un rôle particulier dans l'éducation à l'entrepreneuriat des jeunes. Les parents peuvent transmettre des valeurs, des attitudes, des aptitudes, des mentalités et des compétences entrepreneuriales à leurs enfants, et l'environnement familial peut fournir aux enfants des opportunités d'apprendre et de développer leurs compétences (SKrueger et al., 2007).

Le projet de vie que les familles ont pour leurs enfants les conduit à choisir un ensemble cohérent de valeurs qui servent de normes de conduite. Elles veillent en permanence sur ces valeurs, afin de pouvoir mener à bien le projet d'épanouissement de leurs enfants. Ils surveillent leurs fréquentations, leur vision des choses, leurs goûts et leurs préférences, pour éviter qu'ils ne s'éloignent de ces valeurs. Cette vision, commune à toutes les familles, se différencie par le type de valeurs que chacune souhaite transmettre à sa progéniture, qu'elles soient spirituelles, philosophiques, sociales ou autres.

Choisir la bonne école pour ses enfants est aussi une question de valeurs. Au-delà des enjeux économiques liés à l'obtention d'un diplôme et des avantages socioprofessionnels qui y sont associés, les parents fondent leurs décisions sur la conformité des pratiques et des valeurs prônées par l'école avec celles jugées utiles pour leurs enfants.

En tant que premiers responsables de leurs enfants, les parents sont censés connaître mieux que quiconque leur comportement, leur caractère et, parfois, leurs aptitudes. Le choix du type d'encadrement qu'ils souhaitent donner à leurs enfants découle du projet de vie qu'ils ont pour eux. Leur implication dans la vie éducative est donc une nécessité. Cependant, la réalité est tout autre: les parents jouent généralement des rôles secondaires et limités. Ils ne sont pas associés à l'analyse des besoins éducatifs, à l'élaboration des politiques éducatives, à leur mise en œuvre ou à la conception des contenus de formation. Ceci pour diverses raisons idéologiques, politiques, économiques et culturelles.

L'UNESCO (1996) attribue cette difficulté à impliquer les parents à un certain nombre de facteurs, dont l'écart entre leurs attentes en matière d'éducation et la qualité de l'offre scolaire, la croyance que l'éducation relève essentiellement de la responsabilité de l'Etat, et l'ignorance de la structure, des fonctions et de contraintes de l'école. A cela s'ajoute le fait que certaines matières sont considérées comme spécialisées et plus techniques, pour lesquelles l'école est en droit de refuser l'intervention d'un tiers.

Dans cette perspective, le Gouvernement de la RDC a mis en place depuis avril 2021, un programme d'appui à l'entrepreneuriat sur toute l'étendue du territoire national (action 260) en redynamisant la Fédération des jeunes entrepreneurs (action 293), en facilitant l'octroi des microcrédits aux femmes et aux jeunes pour le financement de leurs initiatives entrepreneuriales par le biais du Fonds National de la Microfinance (action 294). (Programme du Gouvernement de l'Union sacrée de la Nation, avril 2021).

Cette option gouvernementale s'aligne sur le quatrième Objectif de développement durable des Nations Unies (ODD4) qui rappelle explicitement dans l'une de ses dix cibles, la nécessité de renforcer les compétences nécessaires à l'emploi, à l'obtention d'un travail décent et à l'entrepreneuriat. Dans le même ordre, l'Objectif de développement durable 8 visant à promouvoir le plein emploi productif et un travail décent pour tous met l'accent sur les politiques orientées sur le

développement qui favorisent les activités productives, la création d'emplois décents, l'entrepreneuriat, la créativité et l'innovation.

Ainsi, une étude sur la famille comme écosystème de l'éducation à l'entrepreneuriat juvénile en RDC pourrait apporter des informations précieuses sur le rôle de la famille dans le développement de l'esprit entrepreneurial des enfants dans ce contexte de pauvreté.

La famille considérée comme noyau de la société, peut détecter tôt le don à l'entrepreneuriat parmi les enfants. Entretenir ce don ou talent inné s'inscrit dans son rôle d'éducation à l'entrepreneuriat. Les initiatives traduisant l'esprit d'entreprendre naissent très tôt chez certains enfants. Celles-ci prennent diverses formes. Les parents avertis peuvent se saisir de l'occasion pour modeler, encourager, inciter, accompagner, orienter et développer ce goût à l'entrepreneuriat encore à l'état embryonnaire.

A cet effet, l'entrepreneuriat ne pourra être que l'apanage des adultes. Les enfants, eux aussi, en famille peuvent développer l'esprit d'entreprendre, prendre d'initiatives, oser, se lancer dans une activité par essai-erreur et réussir s'ils sont encadrés par les parents ou tout autre adulte.

L'article part d'un constat fait sur un enfant atypique de 11 ans, ayant des initiatives entrepreneuriales particulières. L'analyse de ses caractéristiques entrepreneuriales en contexte familial congolais mérite un regard critique. D'où l'intérêt de cet article.

Au regard de ce qui précède, nous nous sommes interrogés partant de l'analyse de l'expérience entrepreneuriale d'un enfant de 11 ans sur comment la famille comme écosystème de l'éducation favorise le développement de l'esprit entrepreneurial chez les jeunes en République démocratique du Congo ?

Nous partons de l'hypothèse selon laquelle, l'exposition des jeunes à des valeurs et attitudes entrepreneuriales promues par leur famille, telles que l'autonomie, le sens d'initiative, la résolution de problèmes, la prise de décision, la prise de risques, la confiance en soi, le sens d'engagement, la gestion du temps, le sens de l'organisation et la remise en question, serait associée à un développement plus favorable de l'esprit entrepreneurial chez ces jeunes.

L'objectif de cette contribution est d'analyser le rôle de la famille comme écosystème de l'éducation à l'entrepreneuriat juvénile en RDC, à travers l'exemple d'un enfant de 11 ans.

## 2 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie adoptée pour cette étude repose sur une approche de recherche par étude de cas, impliquant une série d'observations participantes et des entretiens approfondis avec divers acteurs clés.

Nous avons mené une série d'observations participantes, impliquant une présence active au sein de l'unité de production de l'enfant. Cette approche nous a permis de saisir de manière directe et immersive les activités quotidiennes, ainsi que les interactions de l'enfant avec les clients, les parents, les réparateurs, et les gestionnaires des vélos.

Pour structurer nos observations, nous avons mis en place une grille d'observation. Cette grille a été conçue pour enregistrer de manière systématique les comportements de l'enfant lors de ses interactions avec les clients, les parents, les réparateurs, et les gestionnaires des vélos.

La grille d'observation a été conçue pour mesurer les comportements et attitudes suivants: le sens de l'autonomie, le sens d'initiative, la résolution de problèmes, la prise de décision, la prise de risques, la confiance en soi, le sens d'engagement, la gestion du temps, la gestion financière, le sens de l'organisation, la remise en question.

Des entretiens approfondis ont été menés avec une variété d'acteurs majeurs impliqués dans le quotidien de l'enfant, notamment les parents, les gestionnaires, les réparateurs, les clients et son mentor. Ces entretiens ont été structurés de manière à recueillir des informations détaillées sur les expériences, les perspectives et les rôles de chaque intervenant, contribuant ainsi à une compréhension holistique de la situation.

Les données ont été analysées en utilisant la technique d'analyse de contenu. Les comportements de l'enfant ont été codés en fonction des catégories définies dans la grille d'observation. L'analyse a permis de déterminer la fréquence et l'intensité de chaque comportement. Les données des entretiens ont été analysées en utilisant une analyse thématique. L'analyse a permis de dégager les thèmes principaux qui sont ressortis des entretiens.

L'apprentissage par l'expérience a été considérée comme la base théorique de l'approche de l'éducation à l'entrepreneuriat juvénile. La théorie de l'apprentissage par l'expérience est une théorie pédagogique qui postule que l'apprentissage est un

processus actif et constructif qui se déroule à travers l'expérience. Cette théorie a été développée par plusieurs auteurs, dont John Dewey, David Kolb et Malcolm Knowles. La théorie de l'apprentissage par expérience est basée sur l'idée que l'apprentissage est plus efficace lorsqu'il porte sur des expériences concrètes. Ces expériences peuvent être vécues par l'apprenant lui-même ou par d'autres personnes. Elles peuvent être formelles ou informelles, et avoir lieu dans différents contextes.

Selon cette théorie, l'apprentissage se déroule en quatre étapes:

- L'expérience concrète: l'apprenant est confronté à une situation nouvelle ou inhabituelle.
- La réflexion: l'apprenant réfléchit à son expérience et en tire des conclusions.
- L'abstraction et la généralisation: l'apprenant généralise les conclusions de son expérience à d'autres situations.
- L'application: l'apprenant applique ses nouvelles connaissances et compétences dans des situations réelles.

Cette théorie est utilisée dans de nombreux contextes éducatifs, notamment dans les écoles, les universités, les entreprises et est la mieux indiquée pour l'éducation entrepreneuriale au sein de la famille.

## **2.1 ETUDE DE CAS: L'EXPERIENCE ENTREPRENEURIALE D'UN ENFANT DE 11 ANS EN RDC**

### **2.1.1 CARACTERISTIQUES PERSONNELLES ET FAMILIALES DE GRACIEUX**

Gracieux est un enfant âgé de 11 ans, du sexe masculin. Il est second d'une fratrie de 3 enfants et étudie en 6<sup>ème</sup> primaire au groupe scolaire du Mont-Amba de l'Université de Kinshasa. Il vit avec ses parents au Quartier Plateau I Mandela dans la Commune de Mont-Ngafula, Ville Province de Kinshasa en RDC. Il est comique, social et aime le football, le footing et la danse. Il adore manger surtout les fruits de saison. Son papa est Professeur d'Université et sa maman est de formation économique et travaille à la Division urbaine des finances.

### **2.1.2 PARCOURS ENTREPRENEURIAL DE GRACIEUX:**

a) *L'esprit d'initiative et l'intérêt pour les affaires:* Gracieux affiche ses ambitions à faire des affaires très tôt. A l'âge de huit ans, il commence à faire des économies sur les rentes journalières de 2500 Francs congolais destinés à l'aider à se restaurer pendant la récréation à l'école. Il économise chaque jour entre 500 à 1000 Francs congolais. En 2023, il totalise une économie de 190 \$ (Cent nonante dollars US) et s'engage dans sa première affaire en faisant un petit poulailler. Il négocie avec un partenaire et obtient de faire héberger ses poussins au sein d'un grand poulailler. Son objectif est de vendre des œufs issus de ses pondeuses. Alors que son projet de poulailler est en cours, Gracieux surprend ses parents durant les vacances en proposant de vendre tous leurs anciens vélos pour acheter un nouveau vélo. Devant le refus des parents pour cette initiative, il négocie et obtient la réparation des trois anciens vélos pour vendre les services appelés « tours de vélo » aux jeunes du quartier qui généralement expriment les besoins. Il se saisit de cette opportunité et lance sa deuxième affaire. Cette affaire prend vite de l'ampleur. Il vend le tour de vélo à 100 ou 200 Francs congolais, selon la qualité du vélo. Il prend conscience qu'il s'est assis sur un segment de marché prometteur étant donné qu'il n'y a aucune initiative similaire dans le quartier. Il passe de 3 à 9 vélos en 2 mois. Les recettes journalières passent de 5000 à 60.000 Francs congolais. Il diversifie les offres en proposant différents tarifs en fonction de la qualité des vélos, y compris des offres de location journalière. Sans attendre, à partir de son épargne, Gracieux entrevoit de lancer une troisième affaire qui consiste à l'élevage des poissons en bain artificiel. Il commence l'étude de faisabilité et visite d'autres sites d'élevage des poissons en demandant des conseils sur la possibilité d'aménager l'espace d'hébergement, d'avoir des alevins et des aliments. Il vend ce nouveau projet à son entourage et reçoit un don gratuit d'une citerne. Gracieux affirme: « *Je veux devenir le millionnaire de la famille, construire mes biens personnels, ma maison, construire des hôpitaux, des écoles, des orphelinats et avoir des grandes entreprises avec beaucoup d'employés...* ». Il est téméraire et ambitieux.

b) *La gestion financière:* Les recettes journalières de son entreprise de tours de vélo sont versées dans une caisse en bois fermée qui ne s'ouvre qu'une fois par mois. Gracieux fait appel à son mentor, qui est l'ami de son papa pour ouvrir la caisse et décide des dépenses à faire. Il fait lui-même des propositions des dépenses, notamment des primes pour ses collaborateurs (gestionnaire et réparateur des vélos), des pourcentages à verser à ses frères et parents, de l'achat de nouveaux vélos, de l'argent pour ses loisirs personnels et de l'épargne,...). L'initiative entrepreneuriale de Gracieux l'a amené à mieux comprendre la valeur de l'argent et à développer des habitudes de responsabilité financière. Il a appris à gérer des recettes, des dépenses et à économiser pour des nouveaux objectifs. Il tient lui-même un cahier dans lequel il note toutes ses recettes et dépenses journalières.

- c) *La capacité de leadership et en communication*: Gracieux sait mobiliser ses parents, ses frères et d'autres personnes autour de son projet. Il sait vendre ses idées. Pour commencer son affaire portant sur la vente des tours de vélo, il négocie d'abord avec ses parents, ensuite il convainc ses frères de lui céder leurs vélos en leur promettant de leur verser des pourcentages des recettes. Il ne se limite pas là, il vend son projet à d'autres personnes et reçoit gratuitement deux vélos de don. Gracieux communique verbalement de manière claire et cohérente. Il explique ses idées, ses produits, ses services à ses pairs, aux clients et aux adultes de manière compréhensible. Il négocie avec le réparateur et gestionnaire des vélos, et il participe activement à la recherche des solutions aux problèmes qui surviennent dans le fonctionnement de son entreprise. Il écoute attentivement les autres, pose des questions pertinentes et montre de l'intérêt pour les commentaires et les suggestions.
- d) *La persévérance et la résilience*: Gracieux fait preuve de persévérance en gérant les finances de son entreprise ainsi que les problèmes qui surviennent. Même en cas de fluctuations de revenus, il cherche des moyens créatifs pour équilibrer les recettes et les dépenses, ce qui montre son engagement envers son projet. Lorsque les vélos tombent en panne, il fait preuve de résilience en diagnostiquant les problèmes, en contactant les réparateurs pour effectuer des réparations et à gérer l'entretien de sa flotte. Face à des pannes fréquentes de ses vélos, il montre de la persévérance en développant des compétences de dépannage, en recherchant des solutions à moindre coût et en minimisant les temps d'arrêt de son entreprise. Il fait aussi face à un environnement hostile où les riverains ne sont pas favorables à son entreprise et sa résilience se manifeste par sa capacité à maintenir son enthousiasme et sa motivation malgré les obstacles extérieurs. Les compétences pour faire face à l'échec, à l'adversité et au stress sont enseignées à Gracieux par ses parents pour l'aider à développer sa résilience. Cela inclut des techniques de gestion du stress, des stratégies de résolution de problèmes et des discussions sur la persévérance. Les succès de Gracieux sont célébrés, même les petites réalisations, pour renforcer sa motivation et sa confiance en lui. Gracieux est encouragé à réfléchir sur son entreprise, à identifier les domaines nécessitant des améliorations et à définir des objectifs pour son développement continu.
- e) *La curiosité et l'apprentissage continu*: Gracieux montre de la curiosité en explorant son environnement entrepreneurial. Il est curieux de comprendre comment fonctionnent les choses, de découvrir de nouvelles opportunités et de comprendre les défis auxquels il est confronté. Il apprend par lui-même en utilisant des ressources telles que des vidéos éducatives, ou en posant des questions aux personnes appropriées. Il démontre sa capacité à s'adapter et à apprendre en fonction des besoins changeants de son entreprise. Par exemple, il apprend de nouvelles compétences de gestion, de négociation ou de réparation de vélos en réponse à des situations spécifiques. Il est ouvert à l'apprentissage de la gestion des risques et à la compréhension des avantages et des inconvénients liés à la prise de décisions entrepreneuriales. Il collabore avec d'autres personnes, y compris des mentors, pour apprendre de leurs expériences et de leurs connaissances. Il cherche à développer un large éventail de compétences, des compétences techniques aux compétences en gestion et en communication. Les parents tiennent des réunions régulières avec Gracieux pour évaluer les progrès, fournir des orientations spécifiques et répondre à ses questions ou ses préoccupations. Les erreurs et les défis font l'objet des discussions avec les parents et mentors, y compris les stratégies pour les surmonter ou les corriger. De temps en temps, l'accent est mis sur les pratiques commerciales éthiques et la responsabilité sociale pour aider Gracieux à développer une approche éthique de l'entrepreneuriat.
- f) *Le réseautage et soutien social*: Gracieux tire parti de son réseau personnel et social pour obtenir du soutien émotionnel, des conseils pratiques, des clients et des partenariats qui renforcent sa résilience. Lorsque les défis deviennent accablants, il cherche de soutien auprès de parents, de mentors, d'adultes de confiance ou d'autres entrepreneurs expérimentés pour obtenir des conseils et du réconfort. Il bénéficie d'un environnement familial et social qui soutient et encourage son initiative entrepreneuriale. Gracieux est encouragé par les parents à développer un réseau de soutien composé de mentors, de pairs entrepreneurs et d'adultes de confiance pour fournir un environnement où il peut poser des questions, obtenir des conseils et se sentir soutenu.
- g) *L'influence positive sur son entourage*: L'expérience d'entrepreneuriat de Gracieux suscite un esprit d'initiative parmi ses frères et amis en les incitant à explorer leurs propres idées et projets. Il inspire son entourage en montrant qu'il est possible de créer des opportunités et de réussir à un âge précoce. Il est devenu un modèle de comportement pour ses proches en démontrant que l'âge ne limite pas les possibilités d'entreprendre. Ce qui a fait dire à Pierre Corneille que la valeur n'attend pas le nombre d'années. Son aîné Exaucé, âgé de 14 ans, s'en est inspiré et a initié deux initiatives lucratives: la vente du jeu Kicker ou babyfoot et le poulailler. Son cadet, du nom de Christian, lui aussi a initié son projet consistant à vendre le jeu de balançoire générant de revenu jusqu'à 10.000 Francs congolais par jour.

### **3 RÉSULTATS ET LEÇONS TIRÉES**

#### **3.1 ROLES DE L'ENFANT DANS L'EXPERIENCE ENTREPRENEURIALE**

Dans l'étude de l'expérience entrepreneuriale de l'enfant de 11 ans, trois rôles clés se démarquent de manière récurrente: celui d'initiateur, de réalisateur et de gestionnaire. Ces rôles illustrent la diversité des responsabilités assumées par l'enfant dans la conceptualisation, l'exécution et la gestion de ses projets entrepreneuriaux.

*L'enfant initiateur:* L'enfant joue un rôle central en tant qu'initiateur de ses projets entrepreneuriaux. À travers ses idées novatrices et sa créativité, il identifie les opportunités et les besoins non satisfaits dans son environnement. C'est lui qui prend l'initiative de démarrer des activités entrepreneuriales, souvent motivées par sa passion, ses intérêts personnels ou les défis auxquels il est confronté.

*L'enfant réalisateur:* L'enfant assume la responsabilité de concrétiser ses idées en actions tangibles. Il est impliqué activement dans toutes les étapes de la mise en œuvre de ses projets, de la planification à l'exécution. Cela inclut la recherche de ressources nécessaires, la gestion des aspects opérationnels, la prestation des services, ainsi que la gestion du personnel affecté à son projet. Malgré les défis liés à son jeune âge, l'enfant démontre ainsi sa capacité à transformer ses aspirations en réalisations concrètes.

*L'enfant gestionnaire:* L'enfant endosse le rôle de gestionnaire dans la supervision et la gestion quotidienne de ses activités entrepreneuriales. Il prend des décisions stratégiques, gère les finances, évalue les performances et ajuste ses stratégies en fonction des retours et des circonstances changeantes. En assumant cette fonction, l'enfant développe des compétences en gestion et en leadership, apprenant à gérer les risques et à maximiser les opportunités pour assurer la viabilité et la croissance de ses projets entrepreneuriaux.

#### **3.2 LA NATURE DE L'ENTREPRENEURIAT INITIE**

L'analyse de l'expérience entrepreneuriale de l'enfant de 11 ans révèle une nette prédominance de l'entrepreneuriat d'opportunité par rapport à l'entrepreneuriat de nécessité. Cette distinction met en lumière les motivations, les caractéristiques et les implications de l'engagement entrepreneurial de l'enfant.

L'enfant se positionne principalement comme un entrepreneur d'opportunité, cherchant à exploiter des possibilités commerciales prometteuses dans son environnement. Son engagement entrepreneurial est motivé par la vision d'explorer de nouveaux horizons, de réaliser ses passions ou ses intérêts personnels, et de contribuer de manière proactive au développement économique de sa communauté.

En revanche, l'entrepreneuriat de nécessité, bien qu'il puisse également être présent, n'est pas la principale motivation de l'enfant. Contrairement à ceux qui se lancent dans l'entrepreneuriat par nécessité en raison de contraintes économiques ou sociales, l'enfant aborde ses projets entrepreneuriaux avec une approche proactive et visionnaire. Son objectif n'est pas simplement de survivre ou de subvenir à ses besoins immédiats, mais plutôt de saisir des opportunités de croissance et d'innovation dans son environnement.

L'accent mis sur l'entrepreneuriat d'opportunité suggère un potentiel significatif de développement et d'impact positif à long terme. En encourageant et en soutenant cette approche, les efforts visant à promouvoir l'entrepreneuriat chez les jeunes peuvent catalyser l'innovation, la création d'emplois et la croissance économique durable. De plus, en mettant en avant les réussites de l'enfant en tant qu'entrepreneur d'opportunité, cela a inspiré d'autres jeunes à explorer et à exploiter leurs propres idées entrepreneuriales, contribuant ainsi à créer une culture entrepreneuriale dynamique et prospère au sein de la famille.

#### **3.3 LES COMPETENCES ET LES VALEURS ENTREPRENEURIALES DEVELOPPEES**

L'analyse de l'expérience entrepreneuriale de l'enfant de 11 ans met en évidence le développement de plusieurs compétences et valeurs entrepreneuriales, particulièrement remarquables.

L'enfant présente un esprit entrepreneurial, se manifestant par une forte motivation et un sens de l'initiative; une capacité à identifier et à saisir des opportunités; une aptitude à prendre des risques et à gérer l'incertitude; une persévérance face aux obstacles; une créativité et une capacité à innover et un excellent sens de la communication et du travail en équipe.

Ainsi, l'étude de cas confirme l'hypothèse que l'exposition des jeunes à des valeurs et attitudes entrepreneuriales au sein de leur famille favorise le développement de l'esprit entrepreneurial. L'environnement familial joue un rôle crucial en encourageant l'autonomie, la prise de risques, la créativité et la persévérance, caractéristiques essentielles pour devenir un entrepreneur accompli. Les résultats mettent en évidence l'impact significatif de l'environnement familial sur la formation des compétences et des traits entrepreneuriaux de l'enfant.

### 3.4 INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT FAMILIAL SUR L'EDUCATION À L'ENTREPRENEURIAT DE L'ENFANT

L'étude de cas met en évidence l'influence significative de l'environnement familial sur l'éducation à l'entrepreneuriat de l'enfant, notamment les parents agissent comme modèle et source d'inspiration pour l'enfant; ils valorisent l'autonomie et l'initiative de l'enfant; l'encouragent à prendre des décisions, à résoudre des problèmes et à assumer la responsabilité de ses actions; ils impliquent l'enfant dans des projets familiaux en lui apprenant à gérer son temps et ses ressources; ils soutiennent les projets de l'enfant et lui offrent un cadre propice à l'apprentissage; ils encouragent l'enfant à apprendre de ses erreurs, à ne pas abdiquer face aux obstacles et à croire en ses capacités et à se fixer des objectifs ambitieux.

En tant que source de modèle, de soutien, de connaissances et de culture entrepreneuriale, la famille joue un rôle fondamental dans la formation de l'enfant en tant qu'entrepreneur.

### 3.5 LES DEFIS DE L'EDUCATION ENTREPRENEURIALE FAMILIALE

L'analyse des défis de l'éducation entrepreneuriale familiale à travers l'expérience entrepreneuriale d'un enfant de 11 ans met en évidence certaines faiblesses et défis à prendre en considération dans son encadrement, notamment:

*Le manque d'expérience:* En raison de son jeune âge, l'enfant manque d'expérience pratique dans la gestion d'une entreprise. Il est fréquemment confronté à des situations nouvelles pour lesquelles il n'a pas encore acquis les compétences nécessaires. Il a la propension à faire des dépenses injustifiées surtout pour faire plaisir aux gens. Il succombe facilement à des dépenses excessives au-delà de ses besoins de base. La promotion de son entreprise reste un défi, car il ne sait pas encore comment atteindre efficacement son public cible. Il n'est pas conscient des lois, des réglementations ou des obligations fiscales liées à la gestion d'une entreprise. Il sous-estime les coûts et les complexités associés à la gestion de son entreprise. Il n'arrive pas à anticiper les éventuels obstacles ou difficultés. Il a du mal à élaborer des plans à court, à moyen et à long terme. L'enfant a besoin d'une supervision et d'un soutien plus importants de la part d'adultes pour certaines tâches administratives et décisions importantes.

*La difficulté à gérer le stress, la pression et l'échec:* L'enfant a de fois du mal à gérer et trouver des mécanismes de gestion du stress appropriés. Par exemple, lorsque les commandes s'accumulent, une file d'enfants attendent pour jouer, il se sent submergé par la responsabilité de satisfaire ses clients. Il devient de plus en plus agité lorsqu'on vole un de ses vélos ou les vélos tombent en panne. Il a du mal à faire face à l'échec ou à l'adversité, et cela affecte de fois sa confiance en lui et sa persévérance. Lorsqu'il reçoit des retours négatifs de clients mécontents, il a du mal à faire face émotionnellement.

*La gestion du temps et des priorités:* l'enfant a du mal à équilibrer ses responsabilités entrepreneuriales avec ses obligations scolaires et personnelles. Il a du mal à se concentrer sur une tâche pendant une période prolongée en raison de distractions liées à de nombreuses responsabilités, notamment la gestion de son entreprise, la tenue des registres financiers, la communication avec les clients, l'école, les devoirs, les loisirs, le repos... Il lui arrive de ne pas savoir quelle tâche doit passer en premier. Cela entraîne des défis dans la gestion du temps et des priorités. Cependant, il est encouragé par ses parents à garder un équilibre sain entre l'engagement dans son entreprise, ses loisirs et ses obligations scolaires.

*L'exposition à l'exploitation:* En tant que jeune entrepreneur, l'enfant est vulnérable à l'exploitation ou à des situations où d'autres cherchent à profiter de sa jeunesse et de son manque d'expérience. En voulant réaliser des bénéfices rapidement, il travaille de fois même au détriment de son bien-être en faisant l'objet d'épuisement physique, voire des troubles alimentaires. Il s'agit des faiblesses qui ne sont pas insurmontables. Avec le bon soutien, l'éducation et l'encadrement, l'enfant surmonte ces défis et développe ses compétences entrepreneuriales. Il est essentiel que les adultes qui l'encadrent veillent à sa sécurité, à son bien-être et à son apprentissage.

### 3.6 LEÇONS APPRISSES.

Trois leçons essentielles sont à tirer de l'expérience entrepreneuriale de l'enfant de 11 ans, à savoir:

- L'expérience entrepreneuriale comme source d'apprentissage: L'expérience entrepreneuriale de l'enfant de 11 ans montre que l'entrepreneuriat est un formidable outil d'apprentissage. En plus de permettre à l'entrepreneur en herbe de réaliser

ses rêves, l'aventure entrepreneuriale de l'enfant de 11 ans a permis de développer des compétences et des valeurs précieuses pour son avenir. Elle lui a offert bien plus que des bénéfices financiers. Elle lui a apporté des leçons inestimables sur la gestion financière, la communication et la résilience, etc.

- Entrepreneuriat comme opportunités de réflexions sur les réussites et les échecs: l'aventure entrepreneuriale de l'enfant de 11 ans lui a offert des opportunités inestimables de réfléchir sur les succès et les échecs. Il a appris à apprécier les petites victoires, à tirer des leçons précieuses de l'échec, à persévérer malgré les revers et à s'adapter constamment aux changements. Il a appris que le succès ne se mesure pas seulement en termes de profits, mais aussi en termes de joie et de satisfaction personnelle que l'on tire de ses réalisations. Chaque sourire sur le visage d'un client satisfait, chaque commentaire positif sur son entreprise lui apportait une immense satisfaction. L'enfant a également fait l'expérience de l'échec. Il a connu des jours où les ventes étaient faibles, où il a dû faire face à des critiques ou des vélos volés, voire tombés en panne. Au lieu de se laisser abattre, l'enfant a utilisé ces moments comme des opportunités d'apprentissage. Il a réfléchi aux raisons derrière les échecs, cherché des moyens d'améliorer son produit et sa stratégie de vente, et a émergé plus résilient face à chaque défi.
- Expérience entrepreneuriale comme source d'inspiration pour d'autres enfants et même des adultes. Le Parcours entrepreneurial de l'enfant de 11 ans a prouvé que la jeunesse est une force, et non une faiblesse dans le monde des affaires. Son enthousiasme, sa curiosité et son absence de peur face au risque l'ont aidé à transformer une idée simple en une entreprise, faisant de lui une source d'inspiration pour ses frères et d'autres enfants, voire des adultes.
- Expérience entrepreneuriale comme voie à l'autonomie. La très faible dimension de l'éducation entrepreneuriale dans le système d'enseignement classique en RDC et au sein des familles demeure un handicap majeur à l'autonomie des enfants une fois adulte.

#### **4 CONCLUSION**

L'étude de cas portant sur l'expérience entrepreneuriale d'un enfant de 11 ans en RDC confirme le rôle central de la famille comme écosystème de l'éducation à l'entrepreneuriat juvénile. L'analyse met en lumière l'influence considérable des valeurs et attitudes entrepreneuriales transmises au sein de la famille sur le développement de l'esprit d'entreprise chez les jeunes.

Les résultats de l'étude confirment l'hypothèse formulée. L'exposition de l'enfant à des valeurs telles que l'autonomie, la prise de décision, la confiance en soi et la gestion du temps, encouragées par ses parents, a joué un rôle crucial dans son développement entrepreneurial.

L'étude apporte plusieurs contributions importantes, entre autres l'illustration concrète du rôle de la famille dans l'éducation entrepreneuriale; la mise en évidence des compétences et valeurs entrepreneuriales développées par l'enfant; la compréhension approfondie de l'influence de l'environnement familial sur l'éducation entrepreneuriale et l'identification des défis à relever pour encourager l'éducation entrepreneuriale au sein des familles.

L'étude souligne l'importance de sensibiliser les familles à leur rôle crucial dans l'éducation entrepreneuriale de leurs enfants, et recommande la mise en place des programmes d'éducation et de soutien aux familles pour encourager l'émergence de l'esprit entrepreneurial chez les jeunes.

Cette étude apporte un éclairage précieux sur le rôle central de la famille dans le développement de l'esprit entrepreneurial chez les jeunes. Elle ouvre la voie à de nouvelles recherches et initiatives pour encourager l'éducation entrepreneuriale dès le plus jeune âge.

#### **REFERENCES**

- [1] Bryat.C & JPA, J. (2001). Defining the field of research in entrepreneurship, in *Journal of Business Venturing*, N°8.
- [2] Krueger.N.F. (2007). «What lies beneath? The experiential essence of entrepreneurial thinking», *Entrepreneurship: Theory et Practice*, vol. 31, no 1, p. 123 138.
- [3] Léger-Jarniou, C. (2008). Développer la culture entrepreneuriale chez les jeunes. Consulté le 16 septembre 2024 sur: <https://www.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2008-5-page-161.htm>
- [4] O.I.T. (2014). Eveiller l'esprit d'entreprise chez les jeunes. Genève: O.I.T. Consulté le 07 Août 2024 sur: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---emp\\_ent/---ifp\\_seed/documents/publication/wcms\\_182927.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---ifp_seed/documents/publication/wcms_182927.pdf)
- [5] Reid, J-S (2018). 7 raisons pour faire de l'entrepreneuriat à l'école, consulté le 28 décembre 2023 à l'adresse: <https://ecolebranchee.com/7-raisons-entrepreneuriat-ecole/>.

## Interprétation des données gravimétriques et contribution à l'étude structurale du bloc Bilma (Bassin de Termit, Niger oriental)

### [ Interpretation of gravity data and contribution to the structural study of the Bilma Block (Termit Basin, eastern Niger) ]

*Abdourhmane Halidou Amadou<sup>1,2</sup>, Ismaël Ibrahim Cissé<sup>2</sup>, and Adjil Ousmane Gambo<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire Systèmes Intelligents Géoressources et Energies Renouvelables, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès, Morocco

<sup>2</sup>Ministère du Pétrole, Niamey, Niger

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The present study aims to improve knowledge of the structure of the Bilma block based on the interpretation of gravity anomaly maps. Three filtering methods were applied: upward continuation, horizontal gradient and Euler deconvolution. The analysis of the residual anomaly map upwarded allowed us to understand the behavior of gravity anomalies at the different applied altitudes. The negative anomalies thus resist to the various continuations, unlike the positive ones anomalies. The horizontal gradient method also allowed us to identify and highlight gravity lineaments that may be associated with faults already recognized by geological and geophysical studies. Those faults are responsible for the structuration of the Bilma block and are organized into three families of directions: NW-SE, NNW-SSE and NE-SW, with a prevalence of the NW-SE direction. Finally, the estimated depths by using Euler deconvolution calculations exceed 3 km for the deepest density sources and they are less than 1 km for the shallower ones sources.

**KEYWORDS:** Bilma block, density, lineaments, structure.

**RESUME:** La présente étude a pour objectif d'améliorer la connaissance de la structure du bloc Bilma en se basant sur l'interprétation des cartes d'anomalies gravimétriques. Trois méthodes de filtrage ont été appliquées: le prolongement vers le haut, le gradient horizontal et le calcul de la déconvolution d'Euler. L'analyse de la carte d'anomalie résiduelle prolongée vers le haut nous a permis de comprendre le comportement des anomalies gravimétriques aux différentes altitudes appliquées. Nous y retenons que les anomalies négatives résistent aux différents prolongements contrairement aux anomalies positives. La méthode du gradient horizontal nous a permis également d'identifier et de mettre en évidence des linéaments gravimétriques qui peuvent être associés à des failles déjà reconnues par les études géologiques et géophysiques. Ces failles sont responsables de la structuration du bloc Bilma et sont organisées en trois familles de directions NW-SE, NNW-SSE et NE-SW, avec une dominance de la direction NW-SE. Enfin, les profondeurs estimées par le calcul de la déconvolution d'Euler dépassent 3 km pour les sources de densité les plus profondes et moins de 1 km pour les sources moins profondes.

**MOTS-CLEFS:** bloc Bilma, densité, linéaments, structure.

## 1 INTRODUCTION

Situé à l'est de la République du Niger, le bloc Bilma est un sous-bassin appartenant au système de rift du Niger oriental. Il constitue un vaste synclinal allongé suivant la direction NW-SE et mesure une longueur de 350 km du nord au sud et environ 150 km de large de l'est à l'ouest. (Fig.1). Les études géologiques et géophysiques ainsi que la réalisation des forages ont permis de prouver que le bloc Bilma dispose d'un intérêt pétrolier majeur mettant en évidence des roches mères potentielles, des voies de migration, des roches réservoirs et des pièges d'hydrocarbures. Cependant, malgré la connaissance du potentiel pétrolier du bloc Bilma, nous estimons qu'une étude basée sur l'interprétation des données gravimétriques s'avère nécessaire pour mieux comprendre la structure de ce bloc. Dans le but d'atteindre nos résultats, nous avons appliqué à la carte gravimétrique de la zone d'étude les techniques suivantes: le gradient horizontal, le prolongement vers le haut et le calcul de la déconvolution d'Euler. Ces techniques seront détaillées dans la partie méthodologie.

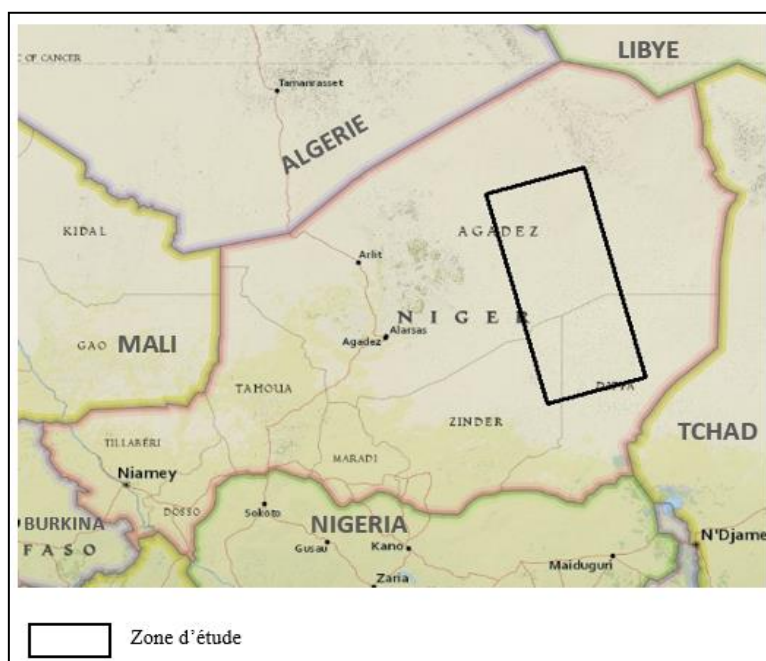


Fig. 1. Carte de localisation du bloc Bilma

## 2 CADRE GEOLOGIQUE

Le bloc Bilma est un vaste synclinal de terrains crétacés appuyés sur le socle précambrien. Il fait partie du Système de Rift Ouest Africain d'âge Méso-cénozoïque [1], [2]. Ce système de rift constitue un continuum géotectonique [3], [4], [5] qui s'étend sur plus de 4000 km à partir du fossé de Gao (Mali) jusqu'au bassin d'Anza (Kenya). La stratigraphie de ce bassin est bien connue depuis les travaux de Faure (Louis, 1970). Elle comprend de la base au sommet les formations suivantes (Fig.2):

- Le socle précambrien: il est composé de granite, de quartz, d'arkose et de granodiorite qui affleurent sporadiquement dans les régions d'Achegour, Fazeï, Fachi, d'Ezerza, de Tiffa et de Dibeilla [6].
- Le Crétacé inférieur: composée des grès clairs, moyens et grossiers d'Achegour, d'environ 200 m d'épaisseur avec des pendages allant de 1 à 30° [7].
- Le Turonien et le Cénomanién supérieur (formation de Donga): elle est principalement composée d'argiles et des calcaires d'une épaisseur approximative à 250 m.
- Le Campanien-Coniacien (formation de Yogou): elle est caractérisée par une alternance de grès fins et d'argiles.
- Le Crétacé terminal (formation de Madama): composée essentiellement des grès de taille moyenne et des siltites d'environ 200 m d'épaisseur.
- Le Paléocène-Eocène (formation de Sokor1): caractérisée par une alternance de grès et d'argilites.
- L'Oligocène (formation de Sokor2): constituée essentiellement d'argilites.
- Le Miocène-Quaternaire (formation récente): on y distingue de sables non consolidés avec quelques horizons d'argiles dans la partie inférieure. On y trouve également du quartz, du feldspath et du gravier.

Les études sismiques réalisées par la Compagnie Générale de Géophysique, complétées par des travaux gravimétriques réalisés en 1982 ont permis d’identifier et de définir l’allure structurale du graben de Bilma. Ce dernier est constitué de blocs basculés affectés par des failles à très fort rejet au socle et est limité à l’est par la faille majeure de Bilma. La plupart de ces failles montent dans les horizons superficiels, où elles détiennent des replis, indiquant le rejet en décrochement des accidents anciens [8].

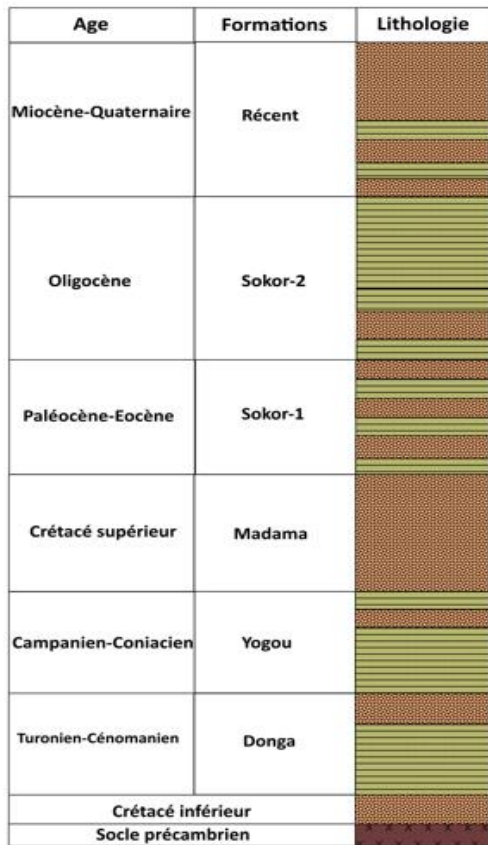


Fig. 2. Colonne lithostratigraphie de Bilma

### 3 MATERIELS ET METHODES

#### 3.1 DONNEES UTILISEES

Les données gravimétriques utilisées dans le cadre de ce travail ont été acquises en 1982 par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG). Elles ont été fournies sous forme de carte numérique au 1/200.000, contenant des courbes isovaleurs. Le traitement de ces données consiste en premier lieu à une digitalisation des intersections des courbes isovaleurs afin de créer une base de données qui va nous servir par la suite pour le traitement. La carte ainsi restituée correspond à la carte d’anomalies de Bouger avec une correction de 2,67 g/cm<sup>3</sup> (Fig.3). Elle montre des anomalies positives et des anomalies négatives de tailles et d’intensités variables allant de 0 à -32 mGal. A partir de la carte d’anomalie de Bouger, nous avons calculé la carte d’anomalie résiduelle sur laquelle les filtres du prolongement vers le haut, du gradient horizontal et le calcul de la déconvolution ont été appliqués afin d’analyser la structure interne du bloc Bilma.

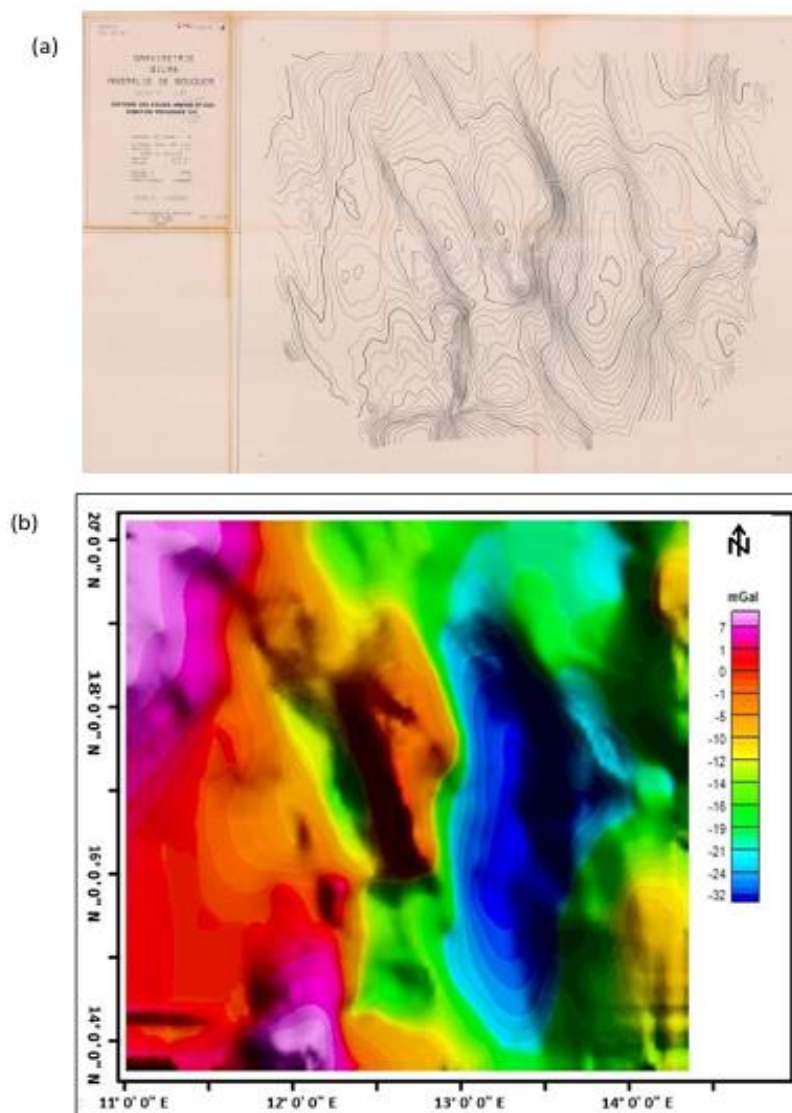


Fig. 3. (a) Carte initiale des isovaleurs des anomalies de Bouguer, (b) Carte des anomalies de Bouguer après digitalisation

## 3.2 METHODES

### 3.2.1 PROLONGEMENT VERS LE HAUT

Le prolongement vers le haut est une technique de filtrage qui consiste à calculer la forme et l'amplitude d'une anomalie sur une surface plus élevée que la surface d'observation et permet ainsi de comparer des données acquises à différentes altitudes [9]. Cette technique consiste donc à transformer le champ potentiel mesuré sur une surface en un champ qui serait mesuré sur une autre surface plus éloignée de toute source [10]. Le prolongement vers le haut permet ainsi de séparer une anomalie gravimétrique résultant de sources profondes à celle des sources moins profondes [11], [12]. Cette transformation met donc l'accent sur les sources profondes et atténue les anomalies en fonction de la longueur d'onde [13]. Afin d'étudier le comportement des anomalies gravimétriques de la zone d'étude, nous avons appliqué le prolongement vers le haut à la carte d'anomalie résiduelle aux altitudes 1000 m, 2000 m, 3000 m et 4000 m.

### 3.2.2 LE GRADIENT HORIZONTAL

La méthode gradient horizontal est considérée comme la technique la plus facile pour localiser les contacts géologiques car elle est basée sur le calcul des deux premières dérivées (x, y) du champ de gravité.

L'identification des maxima à partir de la grille des données a été introduite pour la première fois par Blakely et Simpson (1986) en utilisant la méthode décrite par [12] (Cordell et Grauch, 1982). Cette méthode suppose que les limites de densité peuvent être approximées comme des limites uniques, presque verticales [13] (Grauch et Cordell, 1987). Elle tend à avoir des maxima situés sur les bords du corps causal [13], [14]. Selon [15], les maxima de la méthode du gradient horizontal sont directement liés à la longueur du bord structural et à son contraste de densité. Le gradient horizontal est exprimé par la formule suivante:

$$GH = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

Où

$g$  est la valeur du champ gravimétrique et  $\partial x$ ,  $\partial y$ , les dérivées premières du champ gravimétrique  $g$  en  $x$  et  $y$ .

### 3.2.3 LE CALCUL DE LA DECONVOLUTION D'EULER

À l'origine, la déconvolution d'Euler a été développée en géophysique d'exploration pour estimer rapidement la localisation et la profondeur des sources magnétiques ou gravimétriques [16]. Cette méthode permet ainsi d'estimer la profondeur du corps de la source en utilisant trois gradients orthogonaux de n'importe quelle quantité potentielle [17]. Le choix a priori de l'indice structural (IS) a fait l'objet de nombreuses discussions dans la littérature car il est quelque peu arbitraire et les solutions obtenues dépendaient fortement de ce choix [17]. Ce choix est très important car un indice trop faible donne des profondeurs trop faibles et un indice trop élevé donne des estimations trop profondes [18]. Selon la méthodologie décrite par [19] et [18], l'équation d'homogénéité d'Euler exprimée par la formule suivante:

$$(x - x_0) \frac{\partial g}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial g}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial g}{\partial z} = \eta(\beta - g) \quad (2)$$

Où

$x_0$ ,  $y_0$  sont les coordonnées horizontales du centroïde de la source et  $z_0$  est la profondeur des sources mono ou dipolaires.

Les composantes du gradient  $\frac{\partial g}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial y}$  and  $\frac{\partial g}{\partial z}$ , et sont les dérivées de premier ordre des anomalies de la gravité observées. La constante  $\beta$  est la valeur régionale du champ de gravité. La valeur  $\eta$  indique le IS de la gravité qui dépend de la géométrie de la source.

## 4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 4.1 ANALYSE ET INTERPRETATION DES ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES

La carte des anomalies résiduelles (Fig.4) obtenue après soustraction des anomalies régionales, fait ressortir les principales anomalies gravimétriques qui reflètent la structure interne de la zone d'étude avec des valeurs comprises entre 14 mGal et -20 mGal. On distingue ainsi des zones d'anomalies positives et négatives (Tableau 1) dont leur allure reflète en général celle des structures géologiques superficielle et peu profondes. Elles reflètent également les variations latérales de la densité dans le sous-sol dues à des structures géologiques de dimension variable. Les anomalies négatives seraient dues à des épaissements locaux de la série sédimentaire engendrés par des dépressions du toit du socle précambrien. Ces anomalies négatives sont entourées par des anomalies positives correspondant à des zones de soulèvement du socle. Ainsi, les anomalies positives observées à l'est correspondent au socle de Djado. Les soles de Dibella et de Termit ouest apparaissent respectivement au sud et à l'ouest du bloc Bilma.

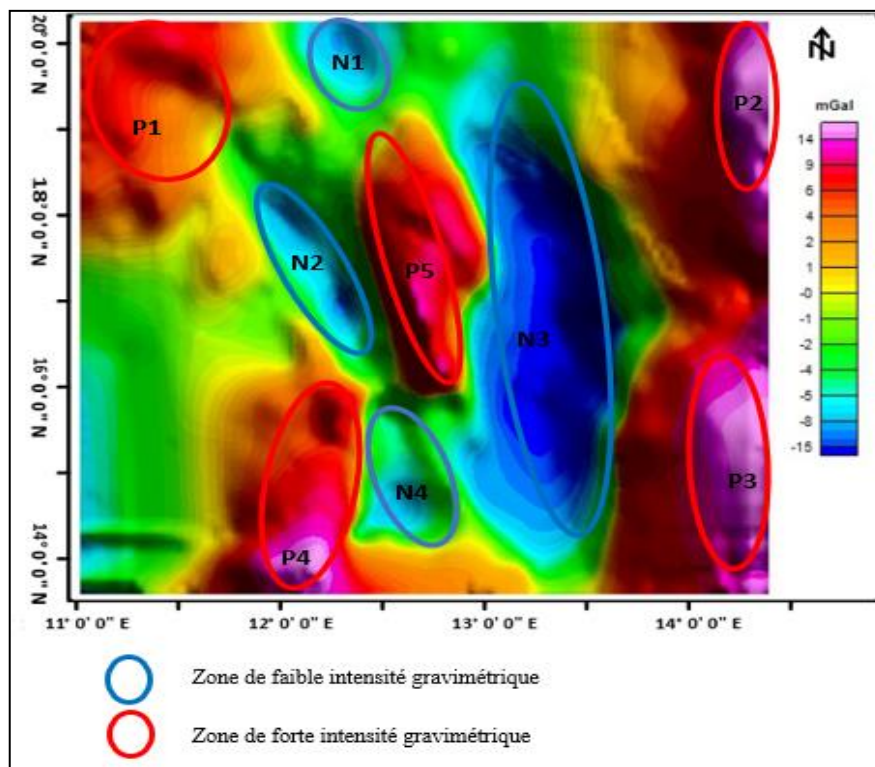


Fig. 4. Carte d'anomalie résiduelle

Tableau 1. Les principales anomalies gravimétriques du bloc Bilma

Anomalie	Direction	Longueur (km)
N1	NW-SE	48
N2	NW-SE	105
N3	N-S	250
N4	NW-SE	88
P1	NW-SE	86
P2	N-S	104
P3	N-S	127
P4	N-S	101
P5	NNW-SSE	118

Afin d'interpréter au mieux la signature gravimétrique de la couverture sédimentaire, nous avons tracé un profil AB orienté NW-SE sur la carte d'anomalie résiduelle (Fig.5). On y observe une courbe d'anomalie accidentée mettant en évidence plusieurs hauts et dépressions gravimétriques. On remarque la présence d'une inflexion de la courbe au NW où la valeur de l'anomalie décroît de 8 à -5 mGal sur la distance comprise entre 45 et 150 Km mettant en évidence un contraste de densité se rapprochant nettement de la signature gravimétrique d'une faille. A partir de 250 km, au centre du bloc, nous remarquons la présence d'un haut gravimétrique qui atteint 10 mGal. Nous observons ensuite une forte dépression gravimétrique avec une valeur qui atteint -18 mGal. Une telle dépression est une signature gravimétrique caractéristique d'un fossé. En effet, cette très longue anomalie négative peut très bien correspondre à un graben qui s'étendrait sur une distance considérable en coupant tout le Niger oriental.

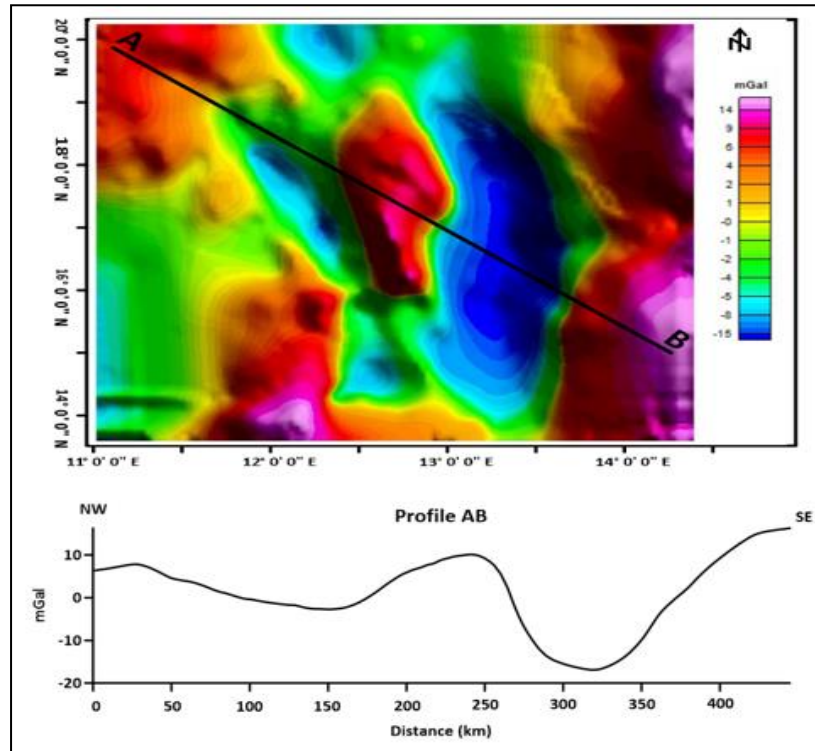


Fig. 5. rofil gravimétrique de la carte d'anomalie résiduelle

#### 4.2 ANALYSE DES CARTES PROLONGEES VERS LE HAUT

Afin de mettre en évidence les sources gravimétriques profondes, un filtre dit prolongement vers le haut a été appliqué à la carte d'anomalie résiduelle. On part du principe que plus on prolonge les données gravimétriques vers le haut, plus on met en évidence des structures profondes. La procédure consiste donc à appliquer une série d'altitudes aux données gravimétriques pour observer le comportement des anomalies gravimétriques. Nous avons ainsi prolongé vers le haut la carte d'anomalie résiduelle aux altitudes 1000 m, 2000 m, 3000 m et 4000 m (Fig.6). On observe que plus on augmente l'altitude plus les anomalies négatives persistent. Cette résistance des anomalies négatives aux différentes altitudes de prolongement explique leur origine profonde. Par contre, les anomalies positives ont tendance à s'atténuer.

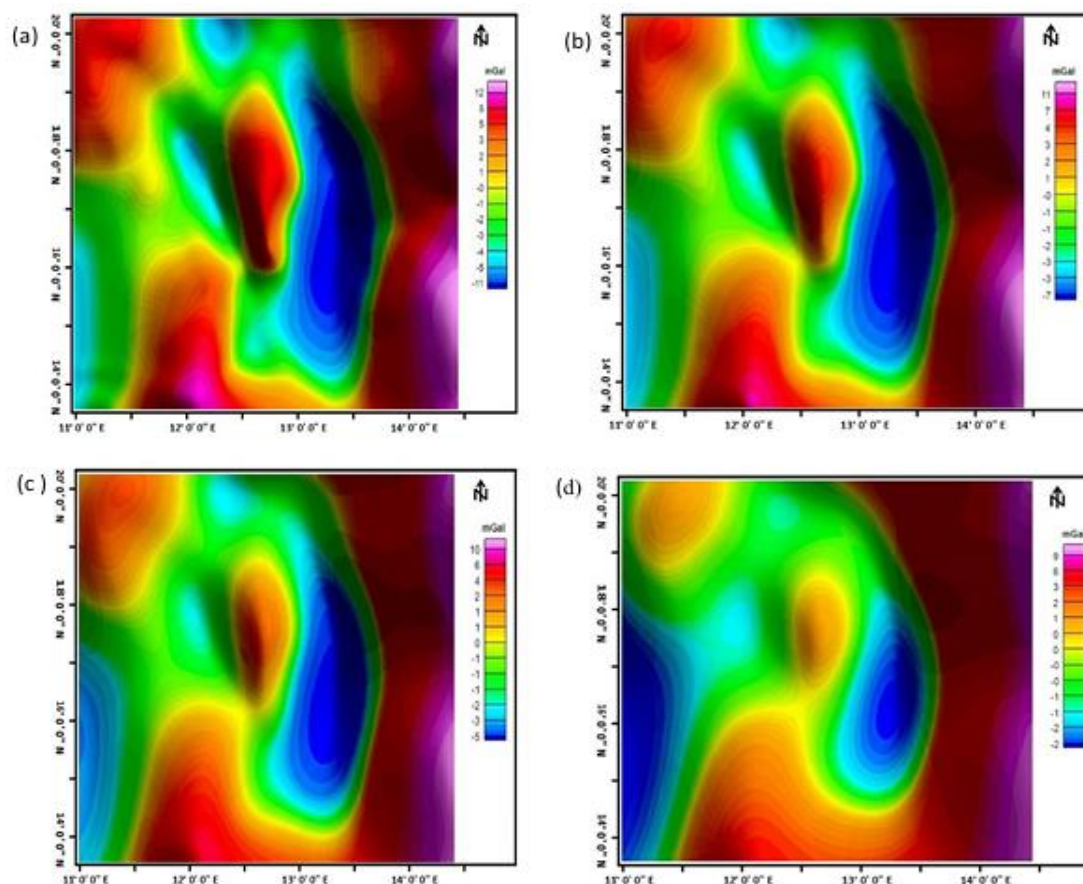


Fig. 6. Carte d'anomalie résiduelle prolongée vers le haut (a) 1000 m, (b) 2000 m, (c) 3000 m, (d) 4000 m

#### 4.3 ANALYSE DES LINEAMENTS GRAVIMETRIQUES

L'application de la technique du gradient horizontal à la carte gravimétrique résiduelle nous a permis d'identifier et de mettre en évidence plusieurs linéaments gravimétriques. La figure 7 montre les différents linéaments gravimétriques. On y observe les directions suivantes: NW-SE, NNW-SSE, N-S, NNE-SSW et NE-SW. Nous remarquons que les linéaments orientés NW-SE sont prédominants par rapport aux autres linéaments. Cette orientation cadre parfaitement avec la direction structurale majeure de la zone d'étude.

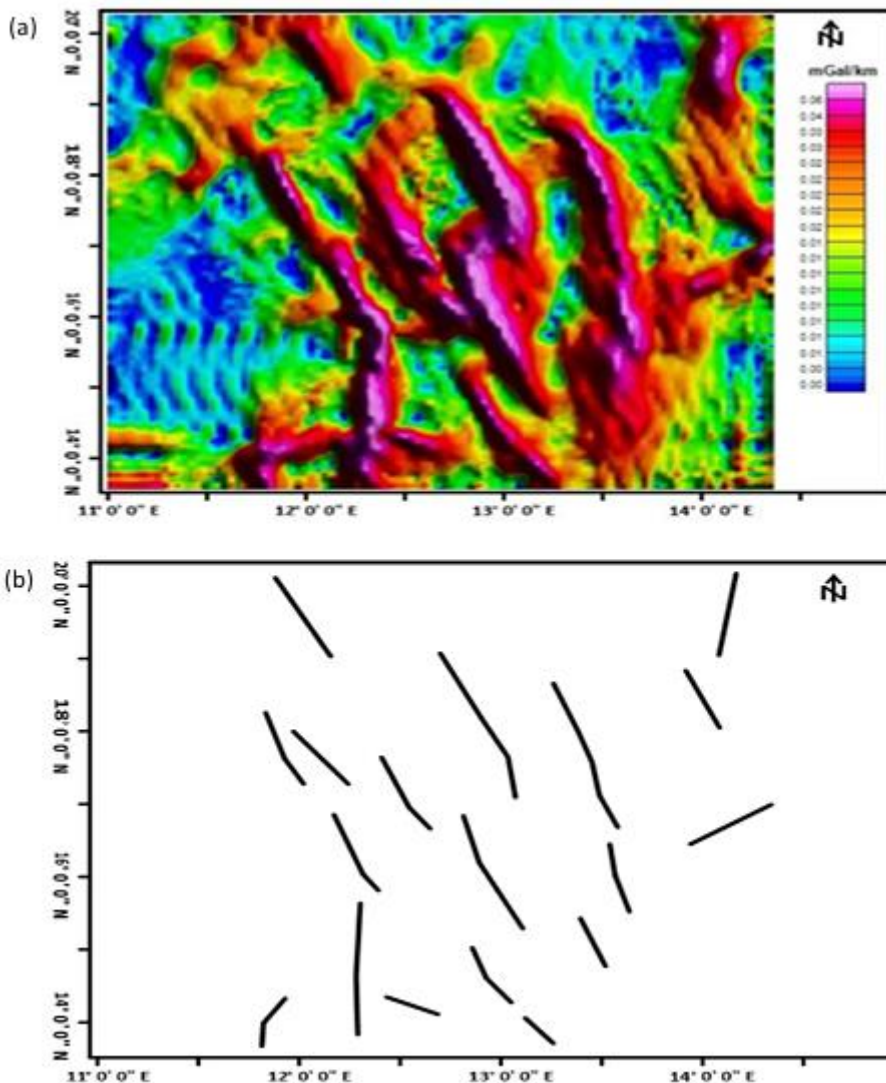


Fig. 7. (a) Carte du gradient horizontal, (b) la carte des linéaments gravimétriques

#### 4.4 ESTIMATION DE LA PROFONDEUR DES SOURCES DE DENSITE

Pour déterminer les profondeurs des sources de densité, plusieurs étapes de filtrage ont été appliquées à la carte d’anomalie résiduelle. La première étape a consisté à déterminer les dérivées horizontales le long des axes x, y et z de ladite carte (Fig.8). Ensuite, la déconvolution d’Euler a été calculée pour déterminer la localisation et les profondeurs des sources de densité. Cependant, pour obtenir une meilleure estimation des profondeurs, les paramètres suivants ont été choisis: indice structural (IS) = 1, taille de la fenêtre = 10 et tolérance d’erreur = 5%. La carte de profondeurs obtenue (Fig.9) montre que les sources de densité ont des profondeurs variables. La profondeur des sources moins profondes est inférieure à 1 km. Elles sont localisées et représentées par les points rouge et jaune dans les parties est, sud-est et ouest de la zone d’étude. Ces zones correspondent aux zones où le socle est moins profond. En revanche, les sources les plus profondes, représentées par les points bleu et vert, occupent le reste de la zone d’étude avec des profondeurs qui dépassent 3 km. Ces zones sont caractérisées par un fort remplissage sédimentaire car elles constituent des zones de dépression. En plus, nous remarquons que les failles sont plus développées dans les zones où le socle est profond dans les zones où il est moins profond.

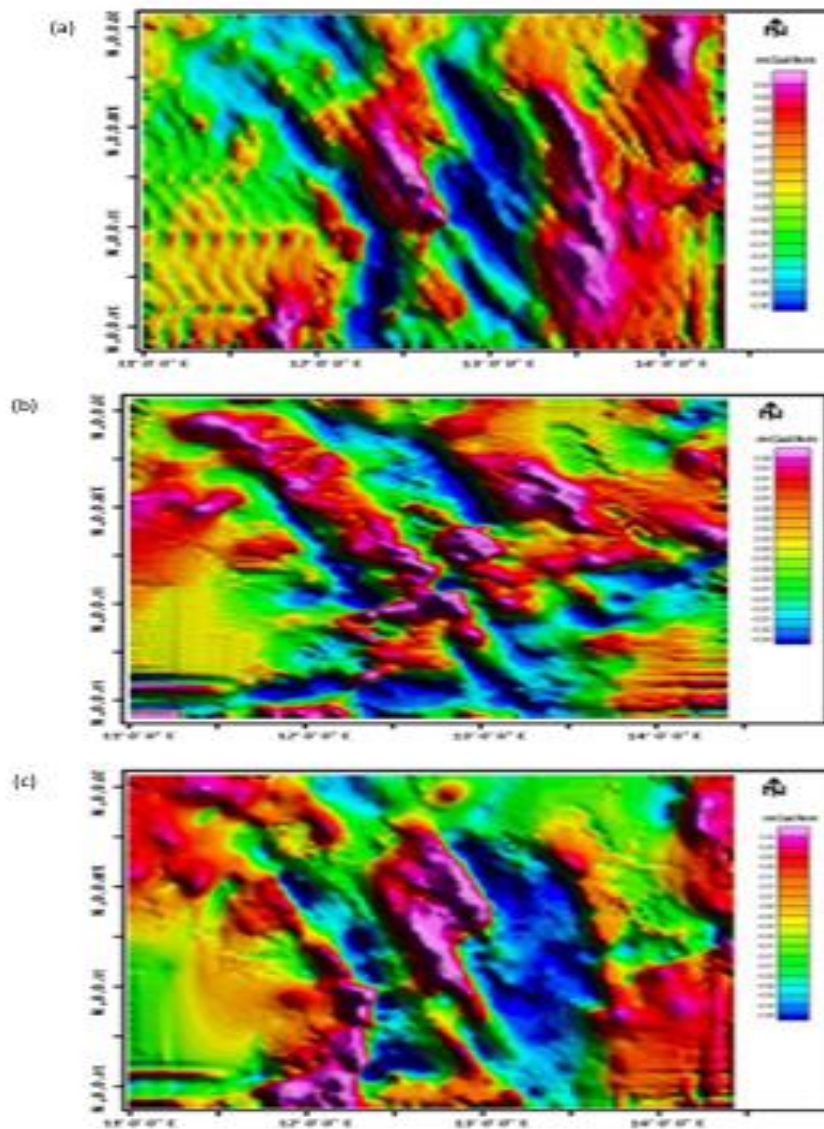


Fig. 8. Carte des dérivées x (a), y (b), z (c)

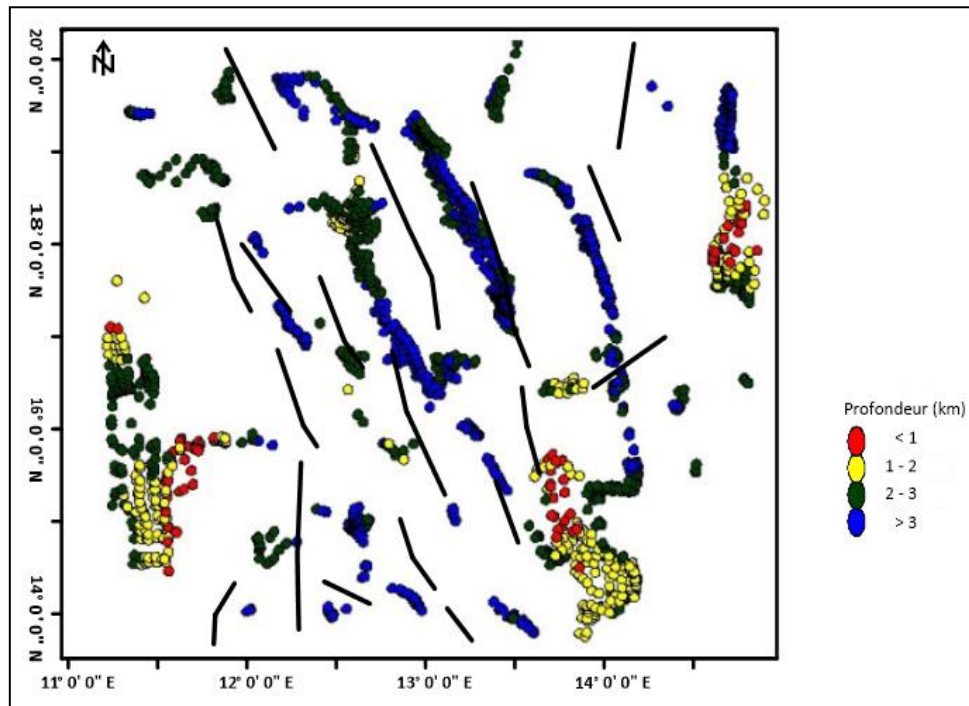


Fig. 9. Carte d'estimation des profondeurs des sources de densité superposé à la carte des linéaments gravimétriques

## 5 CONCLUSION

Le présent travail montre l'intérêt de la réinterprétation des anciennes données géophysiques en utilisant de nouvelles techniques d'analyses. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude contribuent à une meilleure connaissance de la structure du bloc Bilma. En effet, l'analyse de la carte gravimétrique de ce bloc par l'application de la méthode du gradient horizontal a permis de mettre en exergue des linéaments gravimétriques; il s'agit essentiellement de nouvelles failles mises en évidence. Le système de failles responsable de la structuration du bloc Bilma s'avère ainsi organisé selon trois principales familles de directions NW-SE, NNW-SSE et NE-SW. Le calcul de la déconvolution d'Euler nous a permis de localiser et d'estimer la profondeur des sources de densité. Ainsi, on remarque que la profondeur des sources les plus profondes dépasse les 3 km et celle des sources moins profondes est inférieure à 1 km. Ces résultats montrent que la méthode d'analyse utilisée constitue un excellent outil de reconnaissance des zones où les méthodes d'investigation directes sont limitées.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Ministère du Pétrole du Niger d'avoir mis à notre disposition les données utilisées dans le cadre de ce travail.

## REFERENCES

- [1] Genik, G.J. (1992). Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic (C.A.R). *Tectonophysics*, 213 (1-2), 169–185.
- [2] Genik, G.J. (1993). Petroleum Geology of Cretaceous-Tertiary Rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic. *AAPG Bulletin*, 77 (8), 1405-1434.
- [3] Fairhead, J.D. (1988). Mesozoic plate tectonic reconstructions of the Central South Atlantic: the role of the West and Central African Rift System. *Tectonophysics*, 155 (1-4), 181–191.
- [4] Fairhead, J.D. & Green, M. (1989). Controls on rifting in Africa and the regional tectonic model for the Nigeria and East Niger rift basins. *Journal of African Earth Sciences*, 8 (2-4), 231-249.
- [5] Binks, R.M. & Fairhead, J.D. (1992). A plate tectonic setting for Mesozoic rifts of West and Central Africa. *Tectonophysics*, 213 (1-2), 141-151.
- [6] Louis, P. (1970). Contribution géophysique à la connaissance géologique du bassin du Lac-Tchad, Ed ORSTOM, Paris, pp 350.

- [7] Faure, H. (1966). Reconnaissance géologies des formations sédimentaires Post-Paléozoïques du Niger oriental, Mémoires BRGM, Paris, 47, pp 620.
- [8] BEICIP. (1991). Evaluation Pétrolière du Niger, Paris, pp145.
- [9] Dubois, J., Michel, D., Cogné, J.P. & Antoine, M. (2011). Géophysique Cours et exercices corrigés (5<sup>e</sup> édition). Dunod, pp 350.
- [10] Blakely, R.J. & Simpson, R.W. (1986). Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, 51 (7), 1494-1498.
- [11] Jacobsen, B.H. (1987). A case for upward continuation as a standard separation filter for potential-field maps. *Geophysics*, 52 (8), 1138-1148.
- [12] Zeng, H., Xu, D. & Tan, H. (2007). A model study for estimating optimum upward-continuation height for gravity separation with application to a Bouguer gravity anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China. *Geophysics*, 72 (4), A47-Z71.
- [13] Driss, E.A., Younès, G. & Christian, H. (2001). Contribution du géomagnétisme à l'étude géologique de la région d'Aguelmous (Est du massif hercynien central marocain). *PANGEA*, 35 (36), 59-66.
- [14] Cordell, L. & Grauch, V.J.S. (1982). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico. *U.S. Geological Survey*, 181-197.
- [15] Grauch, V.J.S. & Cordell, L. (1987). Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data. *Geophysics*, 52 (1), 118-121.
- [16] Fairhead, J.D., Cooper, G.R.J. & Sander, S. (2017). Advances in Airborne Gravity and Magnetics. *Airborne Geophysics*, 113-127.
- [17] Grauch, V.J.S. & Hudson, M.R. (2007). Guides to understanding the aeromagnetic expression of faults in sedimentary basins: Lessons learned from the central Rio Grande rift, New Mexico. *Geosphere*, 3 (6), 596-623.
- [18] Kristofer, D., Yaoguo, L. & Nabighian, M.N. (2005). Automatic detection of UXO magnetic anomalies using extended Euler deconvolution. *SEG-Houston Annual Meeting*, 1133-1136.
- [19] Beiki, M. (2010). Analytic signals of gravity gradient tensor and their application to estimate source location. *Geophysics*, 75 (6), I59-I74.
- [20] Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J. & Somerton, I.W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55 (1), 80-91.
- [21] Thompson, D.T. (1982) A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47 (1), 31-37.

## Weight and economic performance of goats in village fattening: Influence of choice of animal and duration

ADAMOU KARIMOU Ibrahim<sup>1</sup>, ZAKOU Amadou<sup>2</sup>, ABDOU Harouna<sup>3</sup>, GARBA GOUSMANE Mariama<sup>4</sup>, and ISSA Moumouni<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Production and Food Technology, Faculty of Agronomic Sciences, Djibo Hamani University of Tahoua, Niger

<sup>2</sup>Department of Sociology and Rural Economics, Faculty of Agricultural Sciences, Djibo Hamani University, Tahoua, Niger

<sup>3</sup>Animal Production and Nutrition Department, Faculty of Agronomic Sciences, Boubacar BÂ University of Tillabéry, Niger

<sup>4</sup>Department of Animal Production and Food Technology, Faculty of Agronomic Sciences, Djibo Hamani University of Tahoua, Niger

<sup>5</sup>Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Abdou Moumouni University of Niamey, Niamey, Niger

---

Copyright © 2024 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 general aim of this study, which focused on goat fattening, was to investigate, as an initial trial, the weight performance of goats, about which very little is known, with a view to developing sustainable technical and economic proposals for extensive Sahelian farming systems. The methodology was based on weekly measurements of the bucks' weight performance in an experimental batch of 11 bucks fed a ration based on local feed resources and a control batch. The control lot was monitored in parallel under the normal conditions of the area's usual extensive rearing practices. The results showed that the animals in the control batch did not regain weight, with a 3% loss in body weight. In the experimental batch, body weight varied progressively with an average increase of 7 kg per buck. The Consumption Index, which ranged from 6 to 18 kg of dry matter per kg of growth depending on the duration of fattening, shows the sharp efficiency of goats in converting local fodder resources into animal protein. The physical and ethnic characteristics of the animals had a significant influence on their increased economic value. Older, larger and medium-weight Sahelian bucks contributed more to maximising foreign exchange. The average daily gain and gross profit were higher when the duration of fattening was limited to six weeks. After this period, the profit (2047 F CFA on average per billy-goat) fell linearly, resulting only in economic losses from the 9th week onwards. Taking into account the optimum duration and the criteria for choosing the animal will lead to overall improvements in the profitability of fattening goats.

**KEYWORDS:** feed conversion, goat, profitability, animal characteristics, duration, extensive farming.

### 1 INTRODUCTION

The fattening of farmed ruminants is an activity increasingly practised by producers in Sahelian countries and Niger in particular [27, 31]. Fattening is justified by the need to overcome a number of constraints, including animal weight loss in the dry season [2, 15, 23] and low carcass yields [21-22]. In addition, the under-occupation of producers at certain times of the year and, above all, the drastic decline in the carrying capacity of rangelands due to the poor integration of crop and livestock production [26], means that intensive production systems are increasingly being applied.

In Niger, sheep and cattle fattening has been an emerging alternative for boosting competitive production and meeting strong national and sub-regional demand for meat, which explains the fairly abundant literature on these two species [3, 27, 6]. On the other hand, very little research has been devoted to specialising in goat fattening. Research has focused more on sheep [3, 7], and goat breeds have only recently been tackled [1, 4, 8], and had previously been the subject of very few studies in the field of animal nutrition.

As a result, goat rationing was most often based on the technical and economic references for sheep [24]. However, over and above racial traits, there are quite marked differences between sheep and goats in morphological and physical terms [20, 30]. Moreover, goat

farming is just as common in the livestock system, with a huge potential represented by 14.3 million head, or 36.3% of the total national livestock population [12]. The goat herd is growing steadily at a rate of 14.5% [28].

Moreover, most research on fattening has focused on feed as the only source of variation in technical and economic performance [13, 3, 7], without first imposing any particular racial, morphological or physical criteria for choosing animals. However, it is well known that improving the weight performance of a fattening operation is closely linked to a single itinerary that begins with the judicious choice of animals based on precise zootechnical and anatomical criteria [19] and includes compliance with well-coordinated sequences of rearing practices [25]. It is therefore necessary to assess the impact of phase shifts in relation to this technical itinerary on weight and economic performance.

In this study, the analysis of factors influencing economic profitability will focus on the racial and physical traits of goats, as well as the influence of the duration of fattening after regular monitoring of the bucks' weight performance. Highlighting the impact of these factors will enable concrete proposals to be made for corrective models in terms of technology with a view to the sustainable development of this fattening activity for goats in Niger.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 STUDY AREA

The commune of Tajaé is part of the department of Illéla. It lies between longitudes 04°01' and 05°44' East and latitudes 14° and 14°41' North. The Sahelian climate is characterised by three distinct seasons: a cold dry season from November to February, a hot dry season from March to May and a rainy season from June to October. Rainfall is governed by the West African monsoon, a humid wind prevailing in the rainy season, blowing from south-west to north-east over most of the country.

### 2.2 EXPERIMENTAL DESIGN AND SAMPLING

The study was carried out on bucks of the Sahelian and red breeds, which correspond perfectly to the standards of these two breeds [29]. The standard of the Sahelian goat is that of a rectilinear animal of hypermetric type, long and tall. The red goat is rectilinear, medioliner and eumetric, of medium or small size. The experiment lasted 14 weeks and began after a 14-day adaptation period to allow the animals to adapt to the new experimental and feeding conditions.

The experimental set-up consisted of an experimental batch and a second control batch of 11 bucks each, including 8 Sahelian bucks and 3 Maradi red bucks. The 11 bucks in the experimental batch were fed a ration that was constantly adapted to changes in average live weight over the course of the experiment. Rations were distributed in 2 meals per day and refusals were collected every day. As for the control lot, it was monitored in parallel under the normal conditions of breeding practices usual in the study area. These conditions were such that the animals were left to roam and did not benefit from any feed rationing like the experimental batch.

All the animals (experimental batch and control) were identified and then followed by a number thanks to a marker. The characteristics of the two batches before the start of the trial are shown in Table 1.

*Table 1. Specific composition and weight performance of the two batches used*

Average characteristics	Experimental batch	Control batch
Racial composition	8 Sahel goat ant 3 Red goat	8 Sahel goat ant 3 Red goat
Age (months)	16,9±4,5	21,0±6,0
Weight (kg)	21,2±5,1	22,3±8,9
BCS	2,8±0,3	3,3±0,3
Chest size	66,0±7,9	78,0 8,8
Scapulo-ischial length	33,8±5,5	40,0 3,6
Height at withers	63,5±6,7	74,5±8,1

#### 2.2.1 RATIONING

The 11 billy goats in the experimental batch were each kept in a block equipped with a feed trough and a drinking trough. The basic ration for this batch was identical for all animals. It consisted of groundnut or cowpea chaff, fed in two meals (08: 00 and 14: 00). Feed supplementation was carried out at 16: 00 in a single meal during the first two months of fattening and in two meals during the third month. Throughout the trial, the billy goats had free access to drinking water and the lickstone. The quantities of rations distributed during the trial and their bromatological composition changed over the course of the fattening period (Table 2). The bromatological composition of the rations was determined by adjustment using data from [14] and [18].

Table 2. Rationing and changes in quantities of food consumed

Week	Ration	Feed composition of rations (kg)					Bromatological composition			
		Peanut flour	Cowpea fane	Wheat bran	Corn flour	Cotton cake	MS	Ca	P	MAD
1	R1	0	49	8	16	4	70	264	374	5244
2	R2	0	49	7	13	8	69	268	387	6652
3	R3	14	35	8	16	7	73	386	404	6199
4	R4	0	49	10	20	7	73	273	419	6476
5	R5	0	49	11	21	7	78	280	465	6476
6	R6	49	0	11	21	11	83	687	467	6739
7	R6	49	0	11	21	11	83	687	467	6739
8	R7	51	0	14	28	11	84	706	471	6833
9	R8	51	0	19	39	10	94	723	540	6511
10	R9	37	15	21	42	9	107	622	663	6446
11	R10	51	0	23	47	4	108	730	629	4560
12	R11	51	0	28	56	0	111	728	631	3152
13	R12	51	0	28	56	0	123	745	739	3152
14	R12	51	0	28	56	0	123	745	739	3152

### 2.2.2 DATA COLLECTION

For the two batches, experimental and control, measurements were taken each week after restraint to keep the animal upright. Four body measurements were taken for each animal: body weight, height at withers, chest circumference and scapulo-ischial length. The last three weekly morpho-biometric measurements were taken using a tape measure. A 100 kg capacity scale was used to determine body weight. The age of the animals was determined by examining the dentition according to the scale presented by the [10], considering that in the caprine species, the animal reaches adulthood from four pairs of adult incisors [5]. Body condition was assessed by visual observation, using a six-point rating scale [9]. Changes in the market value of the bucks were analysed in focus groups and on the basis of the unit price of the carcass yield. For the participatory focus group evaluation, animal dealers and other qualified local resource persons were invited every fortnight to assess the market value of each of the billy goats in the experimental batch.

To analyse the weight performance and economic profitability of fattening, the following parameters were calculated on the basis of observed parameters:

- i. Consumption index (CI) = Quantity of dry matter consumed (kg) / Total gain by weight (kg);
- ii. Average daily gain (GMQ). This is defined as the growth differential between two dates;
- iii. Carcass weight (kg) =  $57.6 * \text{Live weight (kg)}$ , a barometric equation established by [21] for the Sahelian billy-goat in a sedentary farming system.
- iv. Formula (ii) was used to evaluate, for a given duration of fattening, the carcass weight regain (CWR) calculated from the initial live weight and the final live weight:  $\text{CWR} = 57.6 * (\text{Initial live weight} - \text{Final live weight})$
- v. The economic value gain (EVG) after a given period of fattening is therefore calculated according to the formula  $\text{EVG (F CFA)} = \text{Carcass weight gain} * 3000$  where 3000 is the local unit cost of carcass weight. This RVE was calculated at the level of the experimental batch.
- vi. Gross revenue (GR) was calculated as follows:  $\text{GR} = \text{Economic value gain (EVG)} - \text{cost of fattening}$ .
- vii. In addition, in focus groups, the values of animals entering and leaving fattening were assessed, making it possible to calculate the unit value of the animals' regained live weight (RVW). This VPV was calculated for each animal.

### 2.2.3 STATISTICAL ANALYSIS

The data collected on the experimental trial were first entered into an Excel workbook and then subjected to analysis of variance (Mixed Model for Longitudinal Data) using SPSS software. The duration of fattening (with six modalities) was the random factor introduced into the ANOVA model. Principal Component Analysis was used to assess correlations between weight and economic performance.

### 3 RESULTS

#### 3.1 RATIONING AND FEED CONVERSION RATIO

As the duration of fattening increased, the amount of total dry matter in the rations rose steadily, from 67 kg to over 120 kg of dry matter (Fig.1a). Initially, more fodder was consumed than concentrates. Over the duration of the fattening period, the amount of fodder decreased from 62.5 to 37.5% of the total ration, and that of concentrates increased more or less linearly (Fig.1b) from 37.5 to 62

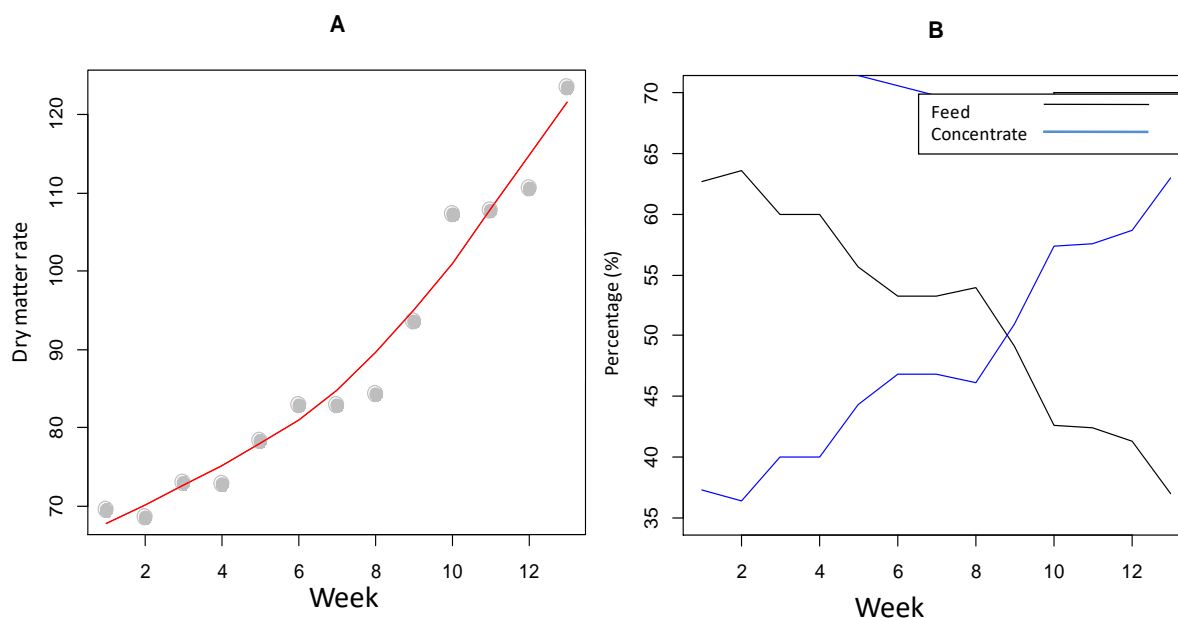


Fig. 1. Rationing during fattening

The Consumption Index (CI) also varied with the duration of fattening (Table 3). A gradual change in CI was observed as the duration of fattening increased. The highest consumption indices were observed for fattening activities lasting more than 9 weeks.

Table 3. Variation in the Consumption Index (CI) according to the duration of fattening

Duration (Week)	N	Total dry matter (kg)	Total weight gain (kg)	IC (kg DM/kg growth)
1	11	70	9	8
2	11	139	13	11
3	11	212	17	12
4	11	285	46	6
5	11	363	30	12
6	11	446	37	12
7	11	529	42	13
8	11	613	48	13
9	11	707	39	18
10	11	814	46	18
11	11	922	56	16
12	11	1033	61	17
13	11	1156	71	16
14	11	1279	78	17

##### 3.1.1 WEIGHT PERFORMANCE OF THE BUCKS

The average body weight of the bucks in the experimental batch varied progressively from an average initial value of 21 kg per buck to an average final weight of 28 kg per buck (Fig. 2). There were two significant drops in weight during weeks 5 and 8. On the other hand, no recovery in weight performance was observed in the animals of the control batch, in which an average loss of 3% of body weight was observed.

Other biometric parameters also showed significant variations. There was a gradual change in chest circumference, from an average value of 65.8 cm per buck to an average of 77.7 cm. Height at the withers fluctuated between average values of 63 and 64.8 cm.

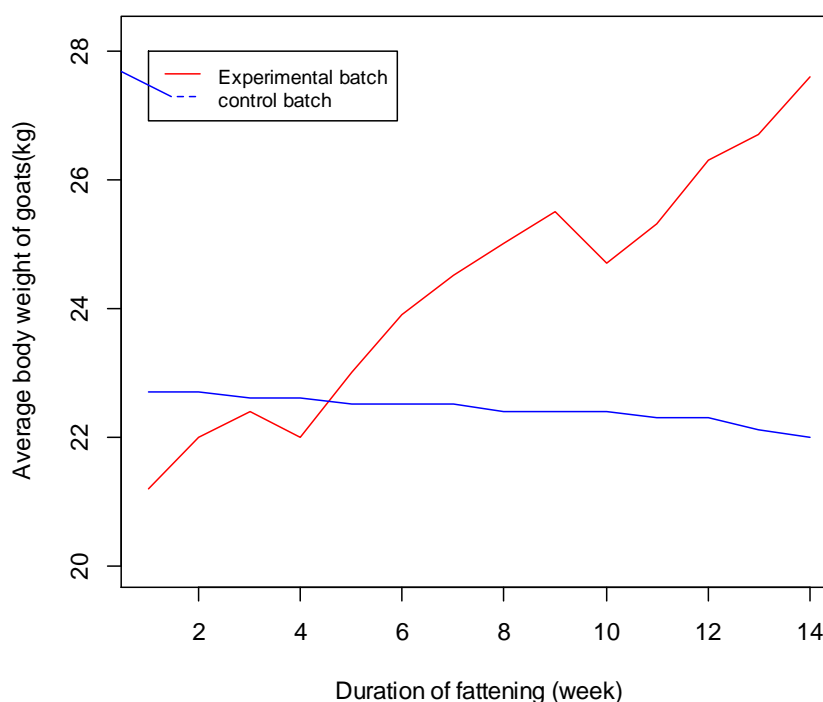


Fig. 2. Changes in weight performance during fattening

### 3.1.2 WEIGHT PERFORMANCE AND VARIATION FACTORS

Analysis of weight performance shows significant differences between the experimental and control batches (Table 4). Thus, for the experimental batch, differences were observed in the average weight measurements of the animals at entry and exit, resulting in a significant increase at exit from fattening. On the other hand, no regain in weight measurements was observed in animals from the control batch. The negative values for regain reflect a loss of weight performance in the bucks from this control batch.

Table 4. Comparative weight performance of plugged and unplugged billy goats

Weight measurements	Experimental batch (n=11)			Control batch (n=11)		
	Start	End	Regain	Start	End	Regain
Body weight (kg)	21.2±5.1	28.2±6.1	7.0	22.8±8.9	22.1±8.9	-0.7
Body condition score (point)	2.7±0.3	4.7±0.3	2.0	3.2±0.3	3.3±0.3	-0.1
Chest circumference (cm)	66±7.9	71.5±4.9	5.5	78±8.8	76.5±8.1	-2.3
Withers height (cm)	62.7±5.8	66.3±8.2	3.6	74.5±8.1	76.0±8.6	-1.5

Descriptive analysis indicates a difference in means between the Sahel and Maradi red billy goats for all weight measurements both at the beginning and at the end of the experiment (Table 5). These differences between the two goat breeds were more marked for body weight. Thus, on the whole, the red billy-goat performed less well in terms of regaining the weight measurements observed.

Table 5. Comparative performance of the sahel and red billy goats

Weight and economic measurements	Sahel goat (n = 8)			Red goat (n = 3)		
	Start	End	Regain	Start	End	Regain
Body weight (kg)	23.5±3.7	31.3±3.3	7.8	15±2.4	20±2.8	5.0
Body condition score (point)	2.8±0.25	4.8±0.3	1.94	2.5±2.5	4.6±0.3	2.2
Chest circumference (cm)	69±6.9	73.8±3.4	4.75	58±3	65.3±2.1	7.3
Withers height (cm)	36.6±3.0	70±4.5	4.25	26.3±2.3	56.3±7.8	1.7
Average value (F CFA)	15625	30063	144378	10333	16667	6333

The descriptive analysis also revealed significant differences in weight performance between bucks aged 12 to 18 months and those over 24 months for all variables except BCS (Table 6). Thus, after 14 weeks of fattening, the animals aged over 24 months showed a higher average weight parameter, except for chest circumference, which showed a greater increase in animals aged 12 to 18 months. Only the scapulo-ischial length of the animals did not change. Also, the increase in market value between entry and exit from fattening was greater for older animals.

**Table 6. Weight performance compared between age groups of billy goats**

Weight and economic measurements	Age group 12 to 18 months			Age group over 24 months		
	Start	End	Regain	Start	End	Regain
Body weight (kg)	22.8±3.9	30.3±3.0	7.4	25.0±0.7	34.5±0.7	9.0
Body condition score (point)	2.8±0.24	4.8±0.25	1.9	2.8±0.4	4.8±0.4	2.0
Chest circumference (cm)	67.16±6.8	72.3±2.3	5.2	74.5±0.7	78.0±0.7	3.5
Withers height (cm)	65.3±3.2	70.3±3.8	4.8	67.0±1.4	69.5±7.8	2.5
Market value (F CFA)	15250	28917	13667	16750	33500	16750

The analysis of variance showed a significant variation in the average daily gain (GMQ according to all the characteristics of the animals described at the start of fattening ( $p < 0.05$ , Table 7). Variations according to age indicate that the highest AQG is obtained with animals 24 months old, while that of animals less than one year old is the lowest. Also, it is the large size that results in the highest AQG. The Maradi red billy-goat, which has a smaller size than the Sahel billy-goat, recorded the lowest AQG.

The duration of fattening also has a significant influence on average daily gain (Table 7). Tukey's multiple comparison test shows that average daily gain is highest when it is calculated over a fattening period limited to one month or one and a half months. As the duration of fattening increases beyond the one and a half month range, the AQG is more or less reduced.

**Table 7. Variation in Average Quotient Gain (AQG) according to animal characteristics**

Factors	Modality	N	AQG (g/jour)	Min	Max	p-value
Overall average		66	85.4±44.9	24	232	
Age	12 month	24	68.9±48.3 <sup>a</sup>	24	232	0.003
	18 month	30	86.4±37.1 <sup>ab</sup>	24	179	
	24 month	12	115.9±42.1 <sup>b</sup>	71	214	
Format	Medium	24	87.1±32.8 <sup>a</sup>	24	179	0.008
	large	24	99.1±44.8 <sup>ab</sup>	43	214	
	small	18	64.8±53.0 <sup>b</sup>	24	232	
Breed	Red	18	65.0±53.0 <sup>a</sup>	24	232	0.003
	Sahel	48	93.1±39.3 <sup>b</sup>	24	214	
Duration of fattening	1 month	11	149.5±58.9 <sup>a</sup>	36	143	P<0.001
	1.5 month	11	85.2±40.3 <sup>a</sup>	36	232	
	2 month	11	76.9±27.0 <sup>a</sup>	27	116	
	2.5 month	11	62.9±21.2 <sup>a</sup>	29	100	
	3 month	11	65.9±23.5 <sup>a</sup>	26	102	
	3.5 month	11	62.1±22.6 <sup>b</sup>	24	101	

Principal Component Analysis (PCA) shows that the increase in animal value at the end of fattening is better explained by variations in body weight than by variations in other weight measurements (Figure 3). It is also observed that the improvement in Body condition score (BCS) does not explain the increase in the value of the animals. Thus, at the end of the trial, the total live weight of the 11 billy goats increased by 80 kg for a total increase in monetary value of 134.500 F CFA (based on the focus group evaluation of the values of the animals on entering and leaving fattening). The PCA also shows that the characteristics of the animals at origin influence their increase in economic value. For example, the oldest, largest and fattest bucks in the Sahel contributed most to maximising income (Figure 3).

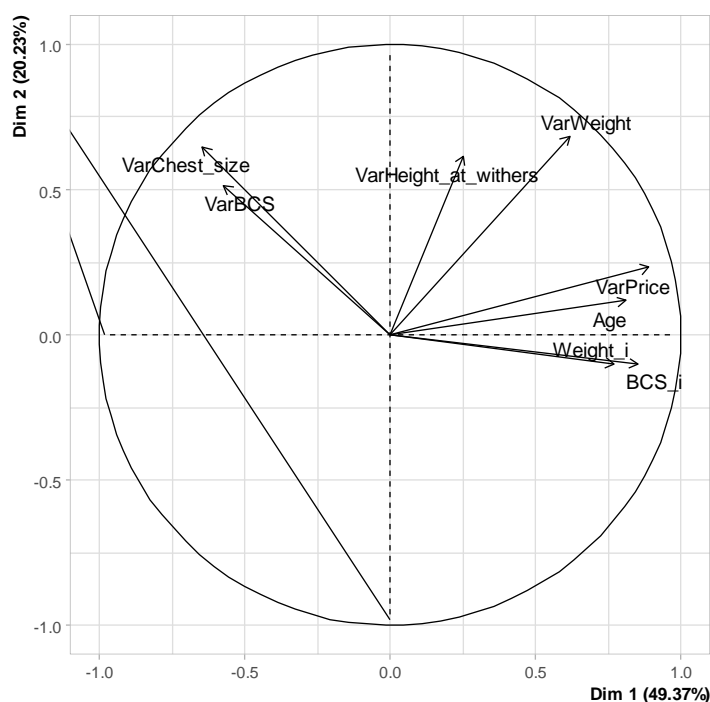


Fig. 3. Analysis of correlations between weight and economic performance

Legend: VarPrice = Variation in market values of bucks; VarWeight = Change in body weight; VarBCS = Change in Body Condition Score; VarChest\_size = Variation of chest size; Weight\_i: Body weight at fattening; BCS\_i: Body condition score at fattening

### 3.1.3 ECONOMIC PROFITABILITY OF FATTENING

The weekly cost of feeding the animals increased linearly from the 1st week, with a value of 5740 F CFA, to the highest cost, observed during the 12th week (15573 F CFA for the 12th week). The variations in weekly cost were relative (11.760 to 11.985 F CFA per week) from the 6th to the 11th week of fattening. After the 11th week, the cost remained constant until fattening stopped (15.573 F CFA per week). The cumulative cost of all the expenses associated with fattening amounted to 156.183 F CFA, or an average of 14.198 F CFA per billy-goat. The total cost of veterinary care, labour and depreciation of the goat house was 9,500 CFA francs, or 6.1% of the total cost.

The ratio of the cost of fattening to regain in live body weight was very low during the first few weeks of fattening, which translates into a low unit cost of regain in live weight (Fig. 4a). This ratio increased linearly with the duration of fattening, reaching a peak at the 9th week, after which a plateau was observed.

The benefit is greatest when the duration of fattening is limited to six weeks (Fig.4). The two evaluation methods, the live weight selling price estimated in focus groups (Fig.4a), and the carcass unit price (Fig.4b), converged towards the same profile with respective maximum profits of 20292 and 22518 F CFA, or 1845 and 2047 F CFA respectively on average per billy-goat. After six weeks, there was a linear fall in profit, leading to economic losses from the 9th week onwards.

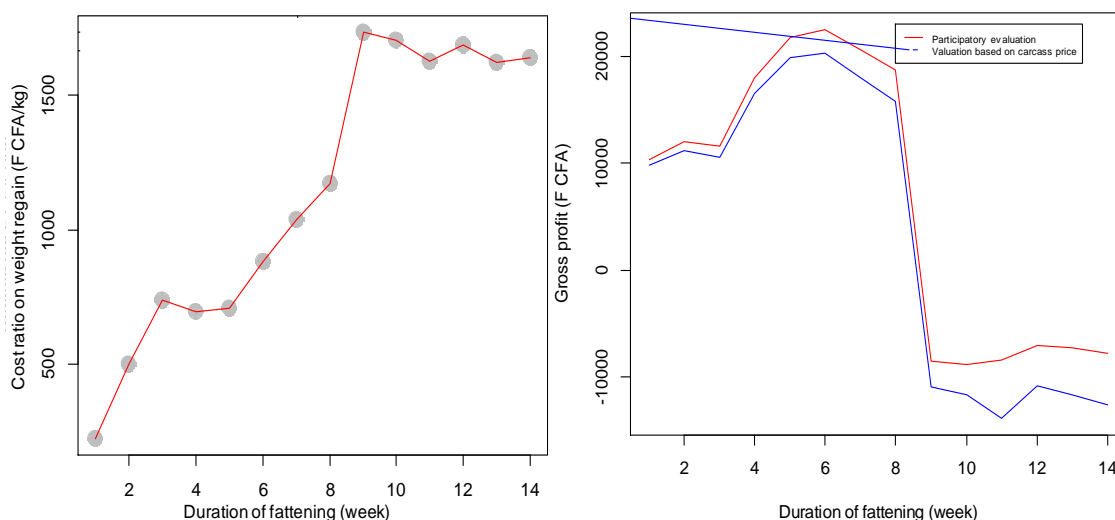


Fig. 4. Evolution of the fattening cost/weight gain ratio and total gross profit for 11 bucks

#### 4 DISCUSSION

All the technico-economic reviews, both for sheep [24] and cattle [25], stress the link between the choice of animal and the profitability of fattening as a lucrative activity, without this being demonstrated experimentally. As the scientific basis for the choice criteria remains unequivocal, the purpose of this study is to identify the modality of each criterion that maximises the profitability of goat fattening.

An initial analysis of the influence of the racial and physical characteristics of the animals has already shown that the oldest and largest Sahelian billy goats have contributed most to maximising the Average Daily Gain (GMQ). In fact, fattening young animals always lengthens the operating time and increases the feed bill [11]. The results show that the economic age for goats can be up to 2 years, although slightly younger or even older animals have been proposed for goats [18, 4, 1] and sheep [19, 17]. Principal component analysis has shown the need to start with physically mature billy goats, large in size, light in weight, but above all associated with a slightly below-average body condition, to give priority to fat deposition over muscle tissue development [19].

The GMQ of 85.4 g/d observed in this trial is hardly comparable to the range of 50.9 to 78.3 g/d reported in Maradi red bucks [18, 8] or that of 86.21 to 117.42 g/d observed in younger red kids (Barazi *et al.*, 2019), let alone the range of 49 to 95 g/d in which most of the GMQs reported in sheep fall [27, 7]. Indeed, as [19] have shown in sheep, the Average Daily Gain is significantly influenced by the duration of fattening and the age of the animals. Significant variations in this gain have also been reported in sheep according to ration composition (Samon *et al.*, 2008; Dan-gomma and Kimba, 2020) [27, 7]. The addition of nutrients to rations seems to increase the GMQ.

The feed conversion ratio reflects the efficiency with which the animal converts feed into animal products. In this case, it varies from 6 to 18 depending on the duration of fattening. In sheep, the CI was evaluated at around 12 kg DM per kg growth, with no significant variation according to the duration of fattening [19]. Only the age of the animals at the start of fattening had an influence on CI, which increased with age [19]. For example, in young male sheep supplemented with *Moringa oleifera* residue, the feed conversion ratio was very low, at between 2.9 and 3.7 kg DM per kg growth [17]. In red goats in Maradi, the reported values of this index vary, under the influence of densified feed, from 7.1 to 10.6 kg DM per kg of growth, which suggests that goats, compared with sheep, are more efficient at converting local resources into animal protein.

The 3% weight loss observed in the control animals is thought to be linked to the dynamics of available forage on natural pastures, which gradually decline as the dry season sets in. These seasonal weight losses, which have a major impact on the production performance and health of the animals, can amount to up to 30% of their body weight [23]. Here, in this study, the weight loss is relative because the trial coincided with the onset of food shortages on pasture.

Duration is a factor influencing the profitability of goat fattening, with the economic maximum corresponding to one and a half months of active rationing. In sheep, the Average Daily Gain is significantly higher when the duration of fattening is less than nine weeks [19], which seems to corroborate the results of the present study. In fact, a longer fattening period increases the quantities of feed consumed and has a negative effect on the efficiency of feed conversion. During the latter part of the fattening period, most of the nutrients are deposited in the form of fat, which is more costly to produce in terms of energy. This would explain the gradual drop in GMQ and the increase in CI during this study.

As the quantities of feed consumed increase with the duration of the fattening period, the costs associated with feeding and maintaining the animals increase, and the profit from the operation is reduced to a greater or lesser extent. The average duration of

fattening proposed in the literature varies greatly depending on the species. Extreme durations of 7 months for sheep and 11 months for cattle have been proposed [16]. In this study, a duration of 6 weeks is required to maximise estimates at 2047 F CFA on average per billy-goat, with colossal losses of currency beyond 9 weeks. This is fairly close to the net profits of 1311 to 1373 FCFA per billy-goat reported for goat fattening [18].

## 5 CONCLUSION

At the end of this study, the Average Daily Gain varied significantly according to the characteristics of the animals entering fattening. The Consumption Index shows that Sahelian billy goats are highly efficient at converting local animal protein resources into foreign currency, provided that the animal is selected and the optimal duration of fattening is chosen.

The criteria that lead to a significant improvement in the profitability of goat fattening are the duration of fattening, the breed, the size, the age and the state of fatness at start-up.

Taking into account the optimum duration and the criteria for choosing the animal will lead to overall improvements in the profitability of goat fattening.

## REFERENCES

- [1] Akourki A., Daka A-R.S., Sidikou D.I. and Chaïbou I., 2019. Effects of *Balanites aegyptiaca* seed cake on feed consumption and zootechnical performance of red cabbages in Maradi. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (7): 3355-3363.
- [2] Ali B.B., Patrice G. and Chantal K., 2010. Factors of variation in live weight and body condition of Arabian zebu in the Sudanian zone of Chad. *Sciences & Nature*, 7 (2): 143 - 153.
- [3] Ayantunde A.A., Fernandez-Rivera S., Dan-Gomma A., 2008. Sheep Fattening with Groundnut Haulms and Millet Bran in the West African Sahel. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop*, 61 (3-4): 215-220.
- [4] Barazi A.A., Chaibou M., Mouctari O.M.M. and ElhadjNouhou M., 2019. Effect of ration supplementation with a feed additive on weight growth and carcass yield of Roux kids from Maradi, Niger, nt. *J. Biol. Chem. Sci.* 13 (6): 2487-2496.
- [5] Bouchel, D., Sow, R.S., Bibe, B., Tixier-Boichard, M., Lauvergne, J.J., Poivey, J.P., Rognon, X. 2006. Characterisation and mapping of goat genetic resources in Senegal using phenoptotic indices, morphobiometric indices and molecular markers: methodology and preliminary results. *Rencontres Recherches Ruminants* 13: 257.
- [6] Dan-Gomma A., M'Bareck M., Ayssiwede S., Salissou I., Mahamadou M. A. Siddo, S., Ibro G., Baye I., Mamann M., Chaibou I., Chaibou M., Moutari M. and Chanono M., 2017. Technical and economic evaluation of multi-nutrient block feed formulas for sheep fattening in Niger. *African Agronomy* 29 (1): 1 - 11.
- [7] Dan-gomma A. and Kimba A., 2020. The practice of sheep fattening: a choice of food rations, INRAN and RECA, Technical sheet, 7p.
- [8] Dan-Gomma A., Issa S., Gambo Y., and Malam-Abdou M., 2021. Technical-economic evaluation of three (3) food formulas based on local resources for the fattening of red goats in Maradi in Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 33 (4): 733-741.
- [9] Eric V., 2020. Harmonized Body Condition Scoring Guide (BCS) for farm animals in the Sahel: Large (Cattle, Camels) and Small (Sheep, Goat) Ruminants and Equidae (Assins and Equines). CIRAD, UMR Selmet, MARCH N° 2019, 43p.
- [10] FAO. 2013. Phenotypic characterization of animal genetic resources. Food and Agriculture.
- [11] INERA (Institute for the environment and agricultural research). 2003. Activity report of the project to improve the performance of bovine milk production and sheep fattening in the area covered by the Union of village groups of Aribinda. Participatory Technology Development (PTD). Institute of the Environment and Agricultural Research (INERA), 16 p.
- [12] INS, 2014. National Institute of Statistics, Statistical Yearbook 2009 - 2013, Ministry of Planning, Land Use Planning and Community Development, Republic of Niger, 245 p.
- [13] Kiema A, Nianogo AJ, Somda J, Ouedraogo T. 2008a. Valorisation of *Cassia obtusifolia* L. in the diet of fattened sheep in the Sahelian region of Burkina Faso. *Tropicultura*, 26 (2): 98-103.
- [14] Kiema A, Nianogo, A.J., Ouedraogo T., Somda J., 2008b. Valorization of local food resources in peasant sheep fattening: technical and economic performance and distribution options. *Agriculture Notebooks* 17 (1): 1-5.
- [15] Lérias J.R., Hernández-Castellano L.E., Morales-delaNuez A., Araújo S.S., Castro N., Argüello A., Capote J., Almeida A.M., 2013. Body live weight and milk production parameters in the Majorera and Palmera goat breeds from the Canary Islands: influence of weight loss, *Trop Anim Health Prod* (2013) 45: 1731-1736.
- [16] Lucol F., 2003. Sheep and cattle fattening in Dosso (Niger): technical and economic aspects and prospects for improvement. Montpellier, Mém. DESS: Productions animales en régions chaudes: Université Montpellier (France), 54 p.
- [17] Malam-Abdou M, Dan-Gomma A., Issa S., Yahoussa G., Karimou M., Bagnan S. and Moussa Y.Z., 2021. Zootechnical performance of young male sheep supplemented with moringa residue (*Moringa oleifera* Lam.) in Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15 (5): 2050-2057.
- [18] Malam-Abdou M., Issa S., Dan-Gomma A. and Sawadogo G.J., 2017. Techno-economic analysis of densified feeds on growth performance of red bucks in Maradi, Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (1): 280-292.

- [19] Mamadou S., Eric Thys and Abdoulaye S. Gouro, 2005. Sheep fattening techniques, choice of animal and duration, animal production in West Africa, Cirades - Model Delphine Yaméogo (Bourkina). Sheet n°13, 5p.
- [20] Mani M., Marichatou H., Mouiche M.M.M., Issa M., Chaïbou I., Sow A., Chaïbou M. and Sawadogo J.G., 2014. Characterisation of the sahel goat in Niger by analysis of biometric indices and quantitative phenotypic parameters. *Animal Genetic Resources*, 21 - 32.
- [21] Mopate L.Y., Madjina T., Djalal A.K. and Mahamat S.S., 2019. Carcass Yield of Sahelian Goats in Guera Province at Central-Eastern, Chad. *International Journal of Livestock Research*. 9 (9): 30: 36.
- [22] Mopaté L.Y., Madjina T., Issa Y.A., Mahamat S.S., J. Appl. Biosci. 2020. Carcass yield of Sahelian sheep in the Guera Province of central-eastern Chad, *Journal of Applied Biosciences* 146 (1): 15074 - 15080.
- [23] Parreira J.R., Hernández-Castellano L.E., Argüello A., Capote J., Castro N., Araújo S.S. and And Imeida A.M., 2020. Understanding seasonal weight loss tolerance in dairy goats: a transcriptomics approach. *Genomics* (2020) 21: 629.
- [24] PRODEX, 2011a. Technical and economic repository of commercial sheep fattening, export development project and agro-sylvo-pastoral markets, INRAN and Ministry of Agriculture and Livestock, 1st Edition – June 2011, 37 p.
- [25] PRODEX, 2011b. Technical and economic repository of commercial cattle fattening, export development project and agro-sylvo-pastoral markets, INRAN and Ministry of Agriculture and Livestock, 11th Edition – June 2011, 37 p.
- [26] Richard D., Alary V., Corniaux C., Duteurtre G., Lhoste P., 2019. Dynamics of pastoral and agro-pastoral livestock farming in intertropical Africa. Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux. Pocket-sized tropical agriculture collection. 250 p. + quadri notebook 18 p.
- [27] Sanon H.O., Kaboré-Zoungrana C., Ledin I., 2008. Growth and carcass characteristics of male Sahelian goats fed leaves or pods of *Pterocarpus lucens* or *Acacia Senegal*. *Livestock Science*. 117 (2–3): 192-202.
- [28] Tchouamo I.R., Tchoumboué J., Thibault L, 2005. Socio-economic and technical characteristics of small ruminant breeding in the West Province of Cameroon. *Tropicultura*, 23 (4): 201-211.
- [29] Wilson R.T., 1992. Small ruminants: production and genetic resources in West Africa Tropiale-Rome: FAO-193p.
- [30] Yayé H.A., Guiguigbaza-Kossigan D., Mahaman-Maaouia A.M., Moumouni I., 2023. Characterization of white and two-tone Fulani sheep from Niger by quantitative variables. *Journal of Husbandry and Veterinary Medicine in Tropical Countries*, 76: 1-8.
- [31] Yakouba B., Kadouamaï S., Cyrille R., 1016. Technical and economic analysis of cattle fattening units in the semi-arid zone of Cameroon. *Africa Science*, 2016, 12 (2): 15-28.

## الجمعيات ودورها في تنزيل التنمية المستدامة: الواقع والتدخلات - نموذج مدينة كلميم

### [ The role of association in achieving sustainable development: Reality and interventions - Case study of Guelmim city (Morocco) ]

Fatma Bellali and Mohamed Jadaoui

Geo-environment and Development of Arid and Semi-Arid Zones Laboratory (GEDEZA), Faculty of Letters and Humans Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

Copyright © 2024 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:** Sustainable development is a shared societal project that requires collective engagement and assuming responsibilities among all actors and stakeholders involved to be implemented effectively. In particular, civil society associations are considered pivotal actors in this implementation. Accordingly, this paper aims to highlight associations' role and interventions in achieving sustainable development in Guelmim city. Data for this study were collected through a survey questionnaire directed to most of the associations in the city of Guelmim, with a response rate of 80 responses. The results revealed the limited interventions of civil society associations in achieving sustainable development goals, with a major focus on the social dimension.

**KEYWORDS:** Civil society associations, sustainable development, knowledge, interventions, Guelmim city.

**ملخص:** نعد التنمية المستدامة بناء ومشروعاً مجتمعياً مشتركاً يتطلب تنزيلها على أرض الواقع انخراطاً جماعياً يتقاسم مسؤولياته جميع الفاعلين، وتعتبر جمعيات المجتمع المدني أحد الفاعلين الأساسيين في تنزيلها. وعليه؛ فإن هدف هذه الورقة إبراز دور الجمعيات وتدخلاتها في تحقيق التنمية المستدامة بمدينة كلميم. وقد اعتمدنا في جمع معطيات هذه الدراسة على الاستبيان، الذي وُجّه لأغلب جمعيات المدينة، إلا أننا لم نتوصل سوى بـ 80 استمارة. استنتجنا من خلالها محدودية تدخلات جمعيات المجتمع المدني في تحقيق أهداف ومبادئ التنمية المستدامة وتركيز أغلبها على البعد الاجتماعي بالأساس.

**كلمات دلالية:** جمعيات المجتمع المدني، التنمية المستدامة، معارف، تدخلات، مدينة كلميم.

## 1 تقديم

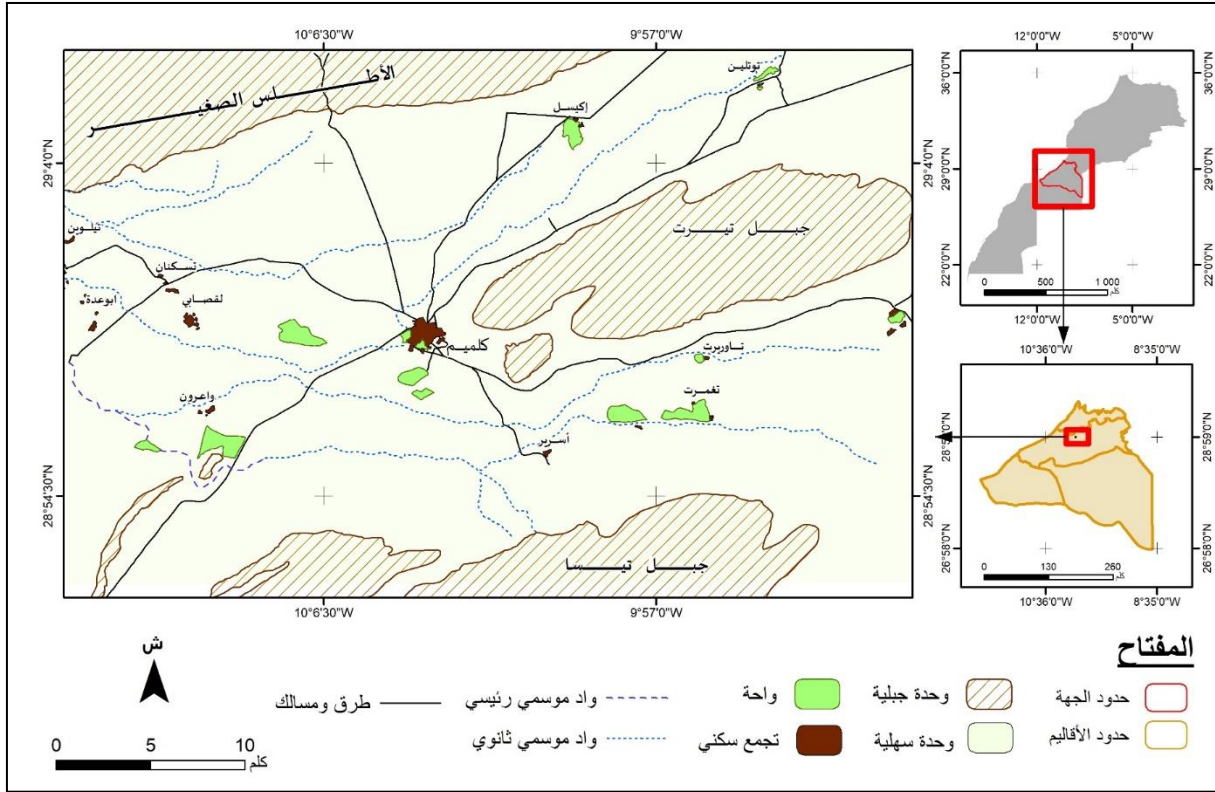
في ظل الاهتمام الدولي والوطني الذي حظيت به التنمية المستدامة والوعي بضرورة الالتزام بتطبيقها، انخرط المغرب في عدة التزامات، لعل آخرها؛ تنفيذ أهداف التنمية المستدامة (ODD)، التي تعد حالياً الإطار المرجعي والموجه الأساسي لتنزيل التنمية المستدامة. وتضم سبعة عشر هدفاً، موزعة على 169 غاية و231 مؤشراً [1]، من بين أهدافها الهدف السابع عشر، الذي أشار بشكل مباشر إلى دور المجتمع المدني في تنزيل التنمية المستدامة. وباعتبار ضرورة الانخراط الجماعي لكافة الفاعلين في تنزيل مضامين التنمية المستدامة على أرض الواقع، فإنه لا يجب تغيير دور المجتمع المدني، ومدى إسهامه في ذلك عبر مختلف الأنشطة والتدخلات التي يقوم بها. إلى جانب تعدد علاقاته بباقي الفاعلين الآخرين وتأثيره عليهم وعلى سيرورة اتخاذ القرارات. إضافة إلى طبيعة علاقاته بالسكان ومعرفة بالمجال وخصوصياته. كما أن لجمعيات المجتمع المدني أيضاً دوراً أساسياً في بناء الوعي بالاستدامة ومكوناتها، من خلال الإسهام في تكوين رأسمال بشري له معارف ووعي بها، وبمختلف السلوكيات والممارسات التي من شأنها تحقيقها؛ وذي مسؤولية حول أفعاله وحقوق الأجيال المقبلة إلى جانب اتخاذ مواقف جماعية خاصة المتعلقة بتحديات الاستدامة.

وقد "عرف المجتمع المدني بالمغرب تطوراً ملموساً، ترجم ذلك بتكاثر الجمعيات وازدياد الحاجة إلى التجمع والتفكير الجماعي بغية حل المشاكل بشكل تشاركي تفاعلي بين كافة الأطراف التي تمسها هذه المشاكل، هذا التنوع في النسيج الجماعي أدى إلى تطوير التجربة وتنوع الخدمات حيث بدأت تظهر خدمات جديدة موجهة بشكل مباشر نحو المواطن ومرتبطة أساساً بقيم الديمقراطية والمواطنة وتسعى إلى محاربة الفقر والامية في أفق تنمية مستدامة (فوزية ويكن، 2011، ص. 167)" (زغدار عبد الحق، وبين حجاز سامية 2016).

وعليه، سنعمل من خلال هذه الورقة البحثية على رصد معارف جمعيات المجتمع المدني وأشكال تنزيلها للتنمية المستدامة بمدينة كلميم، خصوصاً في ظل ندرة الدراسات حول معارف مختلف الفاعلين وأدوارهم في هذا الشأن محلياً. فما هي إذن الخصائص التي تمتاز بها جمعيات المجتمع المدني بمدينة كلميم؟ وما هي الأنشطة والتدخلات التي تقوم بها لتحقيق أهداف ومبادئ الاستدامة بمدينة كلميم؟

## 2 مجال الدراسة

تقع مدينة كلميم عند خط طول  $10^{\circ}3'$  غرب خط غرينتش، وخط عرض  $28^{\circ}59'$  شمال خط الاستواء. وتتواجد المدينة بالجنوب الغربي للمغرب. إذ تتمركز بين ثلاث مرتفعات هي: جبال تيرت شرقا، وجبال الأطلس الصغير شمالا، وجبل تيسا جنوبا، لتشكل بذلك منخفضا يتجه انحداره من الشرق نحو الغرب. أما من الناحية الإدارية، فالمدينة تنتمي إلى جهة كلميم واد نون، حيث تبلغ مساحتها 412,05 هكتارا. تحدها شمالا جهة سوس ماسة وجنوبا جهة العيون الساقية الحمراء. وتقع على طول الطريق الوطنية رقم 1 (خريطة رقم 1).



خريطة 1. توطين مجال الدراسة جغرافيا وإداريا

المصدر: الخرائط الطبوغرافية: كلميم، وبيوزكارن، وسيلي إفي، وتغيجت، 1/100000، 1970، وفاسك، 1/100000، 1973.

## 3 المنهجية وأدوات العمل

اعتمدنا في جمع المعطيات الخاصة بهذه الدراسة على العمل الميداني من خلال إنجاز استبيان وُجّه لأغلب جمعيات مدينة كلميم، بعد توصلنا بأرقام هواتفها سواء من المصالح المكلفة بذلك أو من خلال رؤساء الجمعيات. إلا أننا لم نتوصل سوى بـ 80 استمارة بالرغم من محاولتنا العديدة، وكذا استغلالنا لأي تجمع أو اجتماع يخص جمعيات مدينة كلميم والذي كان آخرها اجتماع عقد بين رئيس المجلس الجماعي وأعضائه وفاعلي جمعيات المجتمع المدني يوم 28 يناير 2022 بمقر الجماعة، لتحديد أعضاء "هيئة المساواة وتكافؤ الفرص ومقاربة النوع". كما تم توزيع الاستمارة إلكترونيا لتسهيل عملية التواصل والتعبئة. إلى جانب تواصلنا مع المصالح الإدارية المختصة للحصول على المعطيات الرسمية الخاصة بالنسيج الجمعي لمدينة كلميم، وتحويلها إلى جداول ورسوم بيانية لتسهيل قراءتها وتتبع تطورها الزمني.

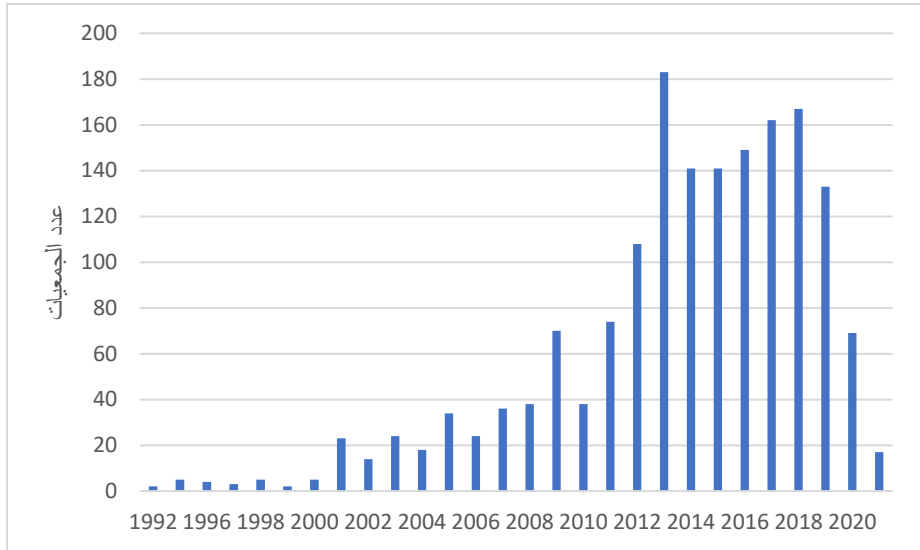
أما فيما يخص عمليتي تفرغ ومعالجة المعطيات الميدانية المحصل عليها، فقد تمت بواسطة برنامج التحليل الإحصائي (SPSS)، وبرنامج الإكسل (Excel). كما اعتمدنا على تحليل المحتوى، وهو تقنية غير مباشرة تطبق على مادة مكتوبة أو مسموعة أو سمعية بصرية، تصدر عن أفراد أو جماعات ...، وتعد هذه التقنية وسيلة مكملة لباقي التقنيات والأدوات المعتمدة، لأهميتها ودورها في فرز وتفسير الأجوبة المحصل عليها من قبل الجمعيات، حيث مكنتنا من تنظيم وتحليل مضمون أجوبة بعض أسئلة الاستبيان ودراسته وفق محددات ومتغيرات البحث، وتحديد أبعاد ومبادئ التنمية المستدامة التي تطرق لها فاعلوا الجمعيات المستجوبة.

## 4 النتائج والمناقشة

### 1.4 تطور وواقع النسيج الجمعي بمدينة كلميم

#### 1.1.4 تطور وواقع النسيج الجمعي بمدينة كلميم

تؤدي جمعيات المجتمع المدني دورا رئيسيا، لكونها فضاءا للتفكير الجماعي وإيجاد الحلول بشكل تشاركي وتفاعلي بين الساكنة، وقد عرفت تطورا ملموسا بالمدينة خلال السنوات الأخيرة، فحسب الإحصائيات المتوفرة بعمالة كلميم يتكون النسيج الجمعي بالمدينة من 1695 جمعية.



شكل 1. تطور عدد الجمعيات بمدينة كميم حسب سنة التأسيس

المصدر: عمالة كميم، 2021

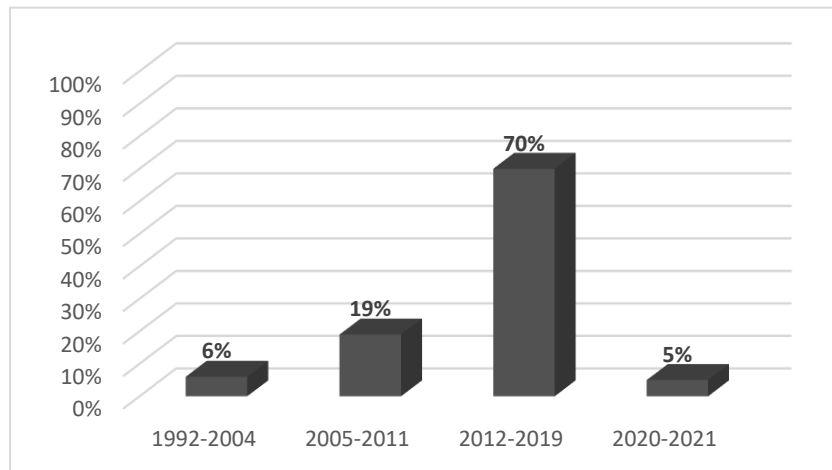
تأسس على معطيات الشكل رقم 1، يتبين أن جمعيات المجتمع المدني بمدينة كميم لم تظهر بشكل رسمي إلا في بداية التسعينيات من القرن الماضي، حيث كان أول ظهور لجمعيتين سنة 1992. ويمكن رصد وتتبع مسار تطور النسيج الجمعوي بمدينة كميم عبر أربع مراحل أساسية نوردتها كالآتي:

**المرحلة الأولى:** امتدت من سنة 1992 إلى سنة 2004، وهي المرحلة التي بلغ فيها عدد الجمعيات 105 جمعية أي ما يمثل 6% من مجموع الجمعيات المؤسسة بالمدينة إلى حدود سنة 2021 (شكل رقم 2). في نفس المرحلة ظهرت 75% من الجمعيات بين سنتي 2001 و2004، بينما 25% من الجمعيات المتبقية قبل سنة 2001.

**المرحلة الثانية:** من سنة 2005 إلى سنة 2011: بلغ عدد الجمعيات في هذه الفترة 314 جمعية، أي نسبة 19% (شكل رقم 2). وقد اتسم تطور عدد الجمعيات خلال سنوات هذه الفترة بنفس الوتيرة، باستثناء سنتي 2009 و2011، حيث تجاوز عدد الجمعيات المؤسسة في السنة 70 جمعية. كما يمكن اعتبار هذه المرحلة مرحلة انطلاق العمل الجمعوي بالمدينة لتزامنها مع إطلاق المبادرة الوطنية للتنمية البشرية سنة 2005، وزيارتين ملكيتين سنتي 2005 و2007 فتحت على إثرهما مجموعة من الأورش، خصصت لها استثمارات جيدة. وهو ما تطلب انخراط الفاعلين لإنجاح وتحقيق المشاريع والأهداف المسطرة لذلك.

**المرحلة الثالثة:** من سنة 2012 إلى سنة 2019: وهي المرحلة التي عرفت فيها الجمعيات تزايداً كبيراً وانتشاراً واسعاً بالمقارنة مع المراحل الأخرى، بحيث وصل عدد الجمعيات خلالها إلى 1184 جمعية، أي ما يعادل 70% من مجموع الجمعيات المؤسسة إلى حدود سنة 2021 (شكل رقم 2).

**المرحلة الرابعة والأخيرة:** من سنة 2020 إلى سنة 2021: عرفت هذه المرحلة تأسيس 86 جمعية، أي ما يمثل 5% فقط من مجموع الجمعيات المؤسسة بالمدينة (شكل رقم 2).



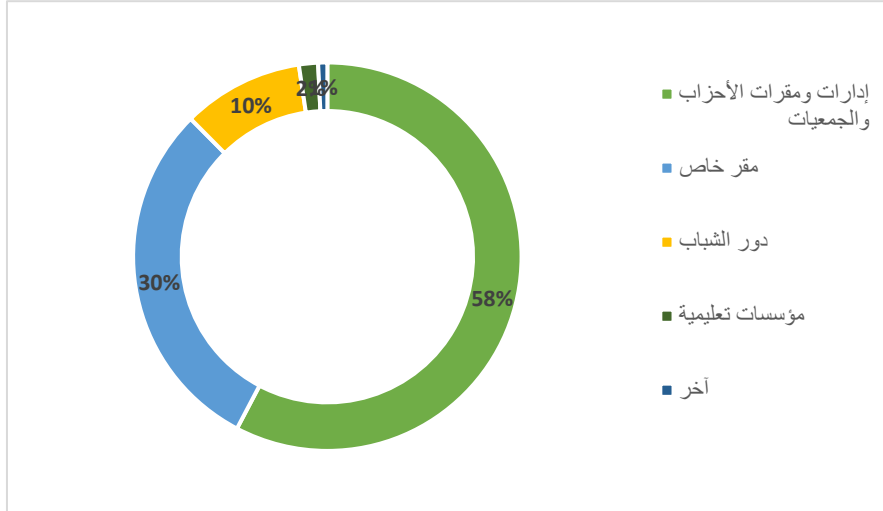
شكل 2. توزيع جمعيات مدينة كميم حسب مراحل تطورها

المصدر: عمالة كميم

نستنتج إذن من خلال تتبع مسار تطور جمعيات مدينة كميم، أن هناك نمواً متسارعاً لعددتها خاصة بالفترة الممتدة ما بين 2012 و2019، وهو ما يطرح عدة تساؤلات عن سبب هذا الارتفاع الكبير خلال هذه المرحلة بالضبط.

## 2.1.4 جمعيات بمدينة كلميم: الواقع ومجالات الاشتغال

في سياق البحث عن واقع جمعيات مدينة كلميم، حاولنا مقارنته بمدى توفرها على مقرات خاصة بها للقيام بأدوارها. وقد تبين أن ما يقارب 70% من مجموع هذه الجمعيات لا تتوفر على مقر، إذ أن ما نسبته 58% جعلت من مجموعة من الإدارات العمومية وبعض مقرات الأحزاب وكذا بعض مقرات الجمعيات الأخرى مقرا لها، في حين أن 10% من باقي الجمعيات اتخذت دور الشباب مقرا، و2% بالمؤسسات التعليمية، بالمقابل نجد 1% من الجمعيات اتخذت دور الثقافة ودور المواطن وبعض مراكز التربية والتكوين وكذا بعض المراكز التربوية والاجتماعية مقرا لها. لتبقى ما نسبته 30% من جمعيات المدينة المتوفرة على مقر خاص بها. (شكل رقم 3).

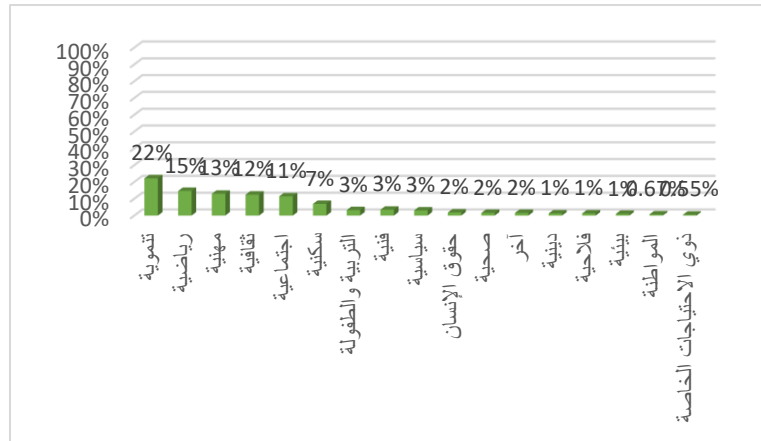


شكل 3. توزيع الجمعيات بكلميم حسب المقرات بكلميم

المصدر: عمالة كلميم، 2021

بالرغم من ارتفاع أعداد جمعيات المجتمع المدني بكلميم، إلا أن أغلبها في الواقع لا يشتغل، بل إن إنشاءها يبنى أساسا على الاستفادة من الدعم ليس إلا. مما أثر على فعالية ومردودية العمل الجماعي وقللة الجمعيات النشيطة بالمدينة، وهذا ما تؤكد مدة صلاحية المكاتب وآخر تاريخ تجديد الهياكل المسيرة.

بالموازاة مع الرقم الكبير لعدد الجمعيات بكلميم، فقد عرفت كذلك تنوعا وتعددا على مستوى مجالات اشتغالها. بناء على الشكل رقم 4، نلاحظ أن الجمعيات المهمة بالتنمية بشكل عام تهيمن على باقي المجالات بنسبة 22%، تليها الجمعيات التي تنشط بالمجال الرياضي (15%). بينما تمثل الجمعيات المهنية ما نسبته 13%، ثم الجمعيات الثقافية (12%). أما الجمعيات التي تستهدف العمل الاجتماعي والخيري فتبلغ نسبتها 11% فقط. كما توجد جمعيات سكنية بنسبة 7%. في حين لا تمثل الجمعيات سواء المهمة بالمجال التربوي والطفولة أو المجال السياسي أو المجال الفني سوى 3%. بالمقابل نسجل حضورا ضعيفا جدا للجمعيات المهمة بالبيئة (1%)، كما هو الشأن بالنسبة للجمعيات التي تنشط بالمجال الصحي والحقوق والفلاحي وكذا المهمة بالأشخاص ذوي الاحتياجات الخاصة والتي تمثل سوى 1% من مجموع جمعيات مدينة كلميم.



شكل 4. مجالات اشتغال الجمعيات بمدينة كلميم (%)

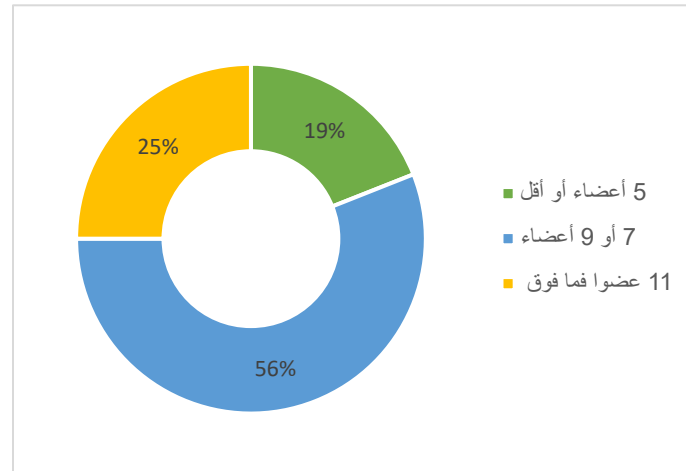
المصدر: عمالة كلميم، 2021

## 2.4 جمعيات المجتمع المدني المستجوبة بكميم: الخصوصيات والمعارف حول التنمية المستدامة

### 1.2.4 الخصائص السوسيو-مهنية لأعضاء مكاتب الجمعيات: حضور قوي للفئة الشابة وشبه غياب لمقاربة النوع

في محاولة للاقتراب من تركيبة جمعيات المجتمع المدني بكميم واكتشاف ملامح نخبه القائمة عليه، يمكن الوقوف عند أهم خصائصها ورصد مكوناتها. في هذا السياق، يعتبر مؤشر عدد أعضاء مكاتب الجمعيات ذو أهمية كبيرة، لرصد صورة عن العلاقة السائدة بينهم، خاصة وأنه كلما كبر العدد، إلا وكثرت الآراء والمقترحات وبالتالي صعوبة التنسيق فيما بينهم وكذا صعوبة توحيد الأفكار والتصورات، ومن ثمة توحيد الأنشطة والمشاريع.

بناء على نتائج العمل الميداني، ينحصر عدد أعضاء مكاتب الجمعيات المستجوبة بين سبعة وتسعة أعضاء بنسبة 56%. بينما تمثل نسبة الجمعيات ذات 5 أعضاء أو ما يقل عنها 19% وأغلبها يتشكل من خمسة أعضاء. أما الجمعيات التي تتكون من إحدى عشرة عضوا فما فوق فقد بلغت نسبتها 25% من مجموع الجمعيات المستجوبة (شكل رقم 5).

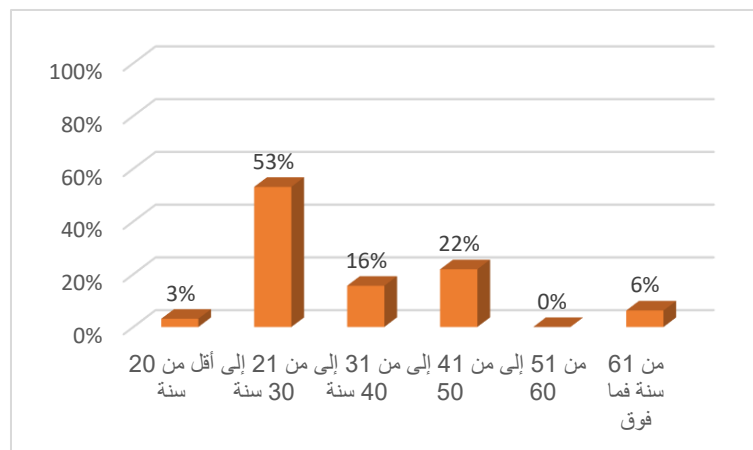


شكل 5. توزيع الجمعيات حسب عدد أعضاء مكاتبها بكميم

المصدر: العمل الميداني 2022/2021

بناء على نتائج العمل الميداني، يتبين أن أغلب رؤساء الجمعيات بمدينة كميم ينتمون إلى الفئة العمرية المحصورة بين 21 و30 سنة بنسبة 53%، تليها الفئة العمرية التي تتراوح بين 41 و50 سنة بما يمثل 22% من مجموع الجمعيات، بينما تصل نسبة رؤساء الجمعيات الذين تتراوح أعمارهم بين 31 و40 سنة إلى 16%. أما الرؤساء الذين تقل أعمارهم عن 20 سنة فلا تتجاوز نسبتهم 3%، في حين تصل نسبة الفئة ذات 61 سنة فما فوق إلى 6% (شكل رقم 6).

ونشير أن متوسط عمر الرؤساء بلغ 34 سنة، بينما يعادل الوسيط والمنوال 30 سنة. وعليه، فإن مسؤولية تدير وتسير الجمعيات بكميم تعهد إلى شباب المدينة والذين هم في سن النضج وتحمل المسؤولية.

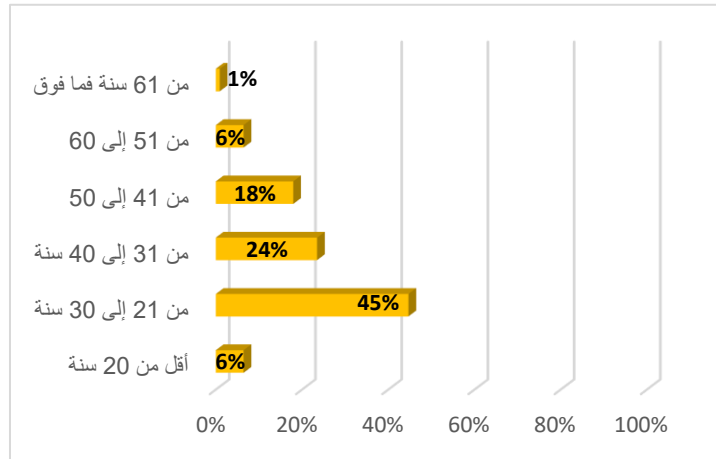


شكل 6. رؤساء جمعيات المجتمع المدني بكميم حسب الفئات العمرية

المصدر: العمل الميداني 2022/2021

بناء على دراسة البنية العمرية لأعضاء مكاتب الجمعيات، يتبين من خلال الشكل رقم 7، أن أغلب الأعضاء ينتمون للفئة العمرية الشابة، إذ تحتل نسبة الفئة العمرية التي تتراوح بين 21 و30 سنة حوالي 45%، تليها الفئة العمرية التي تتراوح بين 31 و40 سنة بنسبة 24% من مجموع الجمعيات المستجوبة، بينما لا تتجاوز الفئة التي تتراوح بين 41

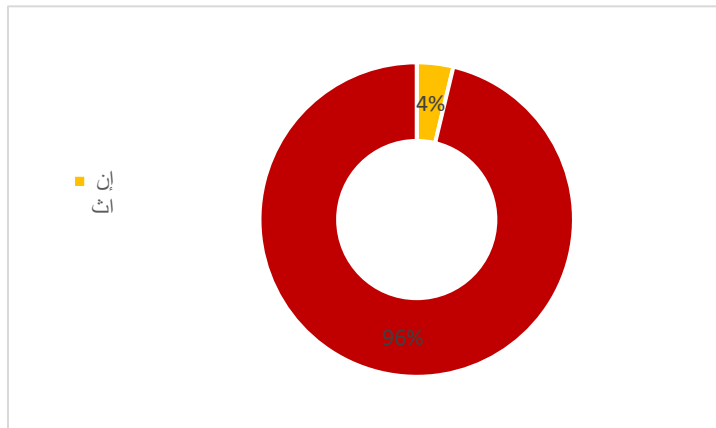
و50 سنة سوى 18%. أما الفئة التي يقل عمرها عن 20 سنة وكذا الفئة التي يتراوح سنها بين 51 و60 سنة فتمثل كل منها 6% من مجموع الجمعيات المستجوبة. في حين نجد أن الفئة العمرية التي تتجاوز 61 سنة لا تمثل سوى 1%. وعليه، نشير إلى أهمية الفئة الشابة بغالبية مكاتب الجمعيات، وهو ما يدل على اهتمام هذه الفئة بالعمل الجماعي وكذا رغبتها في الإسهام في تنمية مدينتها.



شكل 7. توزيع أعضاء مكاتب الجمعيات بكلميم حسب الفئات العمرية

المصدر: العمل الميداني 2021/2022

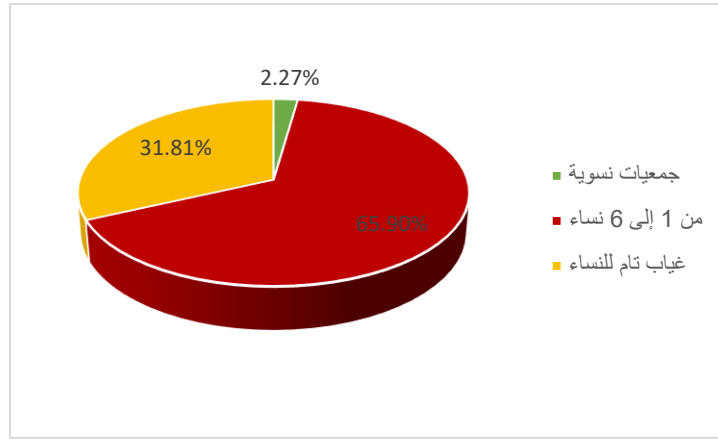
نظرا لأهمية مقارنة النوع ودورها الكبير في تبيان مدى انخراط العنصر النسوي في العمل الجماعي، ومدى إشراكه في تدير الشأن المحلي والتنموي، سنتطرق أولا إلى دراسة رؤساء الجمعيات من خلال مؤشر الجنس. وعليه، نلاحظ ضعف تولى النساء لمهمة رئاسة الجمعيات، بحيث بلغت نسبتهن 4% فقط في مقابل 96% بالنسبة للذكور، وهو ما يطرح عدة تساؤلات تتمحور حول أسباب عدم تولى النساء لمنصب رئاسة الجمعيات (شكل رقم 8).



شكل 8. توزيع رؤساء جمعيات مدينة كلميم حسب الجنس

المصدر: العمل الميداني 2021/2022

أما بخصوص توزيع أعضاء مكاتب الجمعيات المستجوبة ورؤسائها حسب الجنس، فنسجل هيمنة الذكور على الإناث، بحيث تصل نسبتهم إلى 72% في مقابل 28% فقط من النساء اللواتي انخرطن في العمل الجماعي. وبالتالي فمشاركة العنصر النسوي تبقى جد محتشمة بجمعيات مدينة كلميم، وتمثليتهن كذلك ضعيفة. بحيث فقط 66% من الجمعيات التي تضم مكاتبها العنصر النسوي، ويتراوح عدد النساء بها ما بين 1 و6 نساء. بينما تصل نسبة الجمعيات التي تعرف غيابا تاما للنساء إلى 32%، أما الجمعيات النسوية التي تتشكل فقط من النساء فقليلة جدا إذ لا تتجاوز نسبتها 2% فقط (شكل رقم 9).

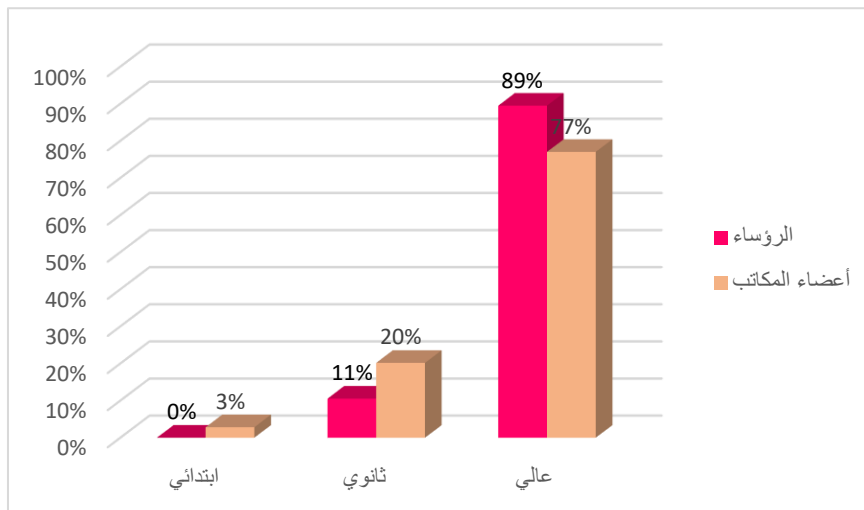


شكل 9. حضور العنصر النسوي في مكاتب الجمعيات المستجوبة بمدينة كميم

المصدر: العمل الميداني 2022/2021

بالنظر لأهمية مؤشر المستوى التعليمي لرؤساء وأعضاء مكاتب الجمعيات، باعتبار المهام التي سيتولونها ضمن مكاتب الجمعيات من تسيير وقيادة وغيرها، تتطلب مستوى تعليميا وتكوينا عاليا للرقى بالعمل الجمعي وتحقيق غاياته، فإن 89% من الرؤساء لهم مستوى تعليمي عال مقابل فقط 11% من الرؤساء الذين لم يتجاوزوا المستوى الثانوي. ما يدل على أهمية المستوى التعليمي لرؤساء الجمعيات بما يشكل نقطة قوة للعمل الجمعي والتنموي للمدينة (شكل رقم 10).

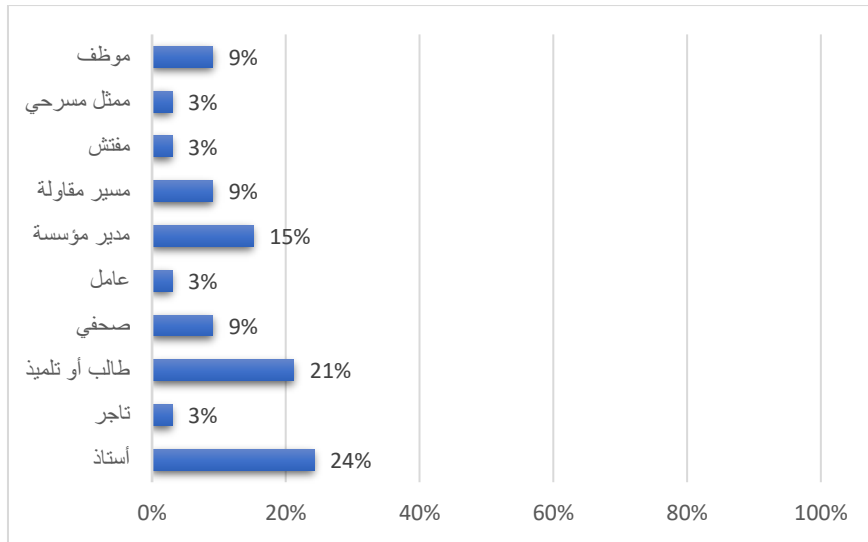
في السياق ذاته، نسجل ارتفاعا مهما في المستوى التعليمي لأغلبية الأعضاء المكلفين بتسيير الجمعيات، حيث تبلغ نسبة ذوي المستوى التعليمي العالي (الجامعي) 77%، إذ أن الأغلبية حاصلة على إجازة أو ماستر أو تتابع دراستها بالتعليم العالي. بينما تمثل نسبة الأعضاء الذين لهم مستوى تعليمي ثانوي 20%، في مقابل فقط 3% من الأعضاء الذين لم يتجاوزوا الابتدائي. ما يشير إلى أهمية المستوى التعليمي لأغلب أعضاء مكاتب الجمعيات بمدينة كميم (شكل رقم 10).



شكل 10. توزيع رؤساء وأعضاء مكاتب الجمعيات المستجوبة بكميم حسب المستوى التعليمي

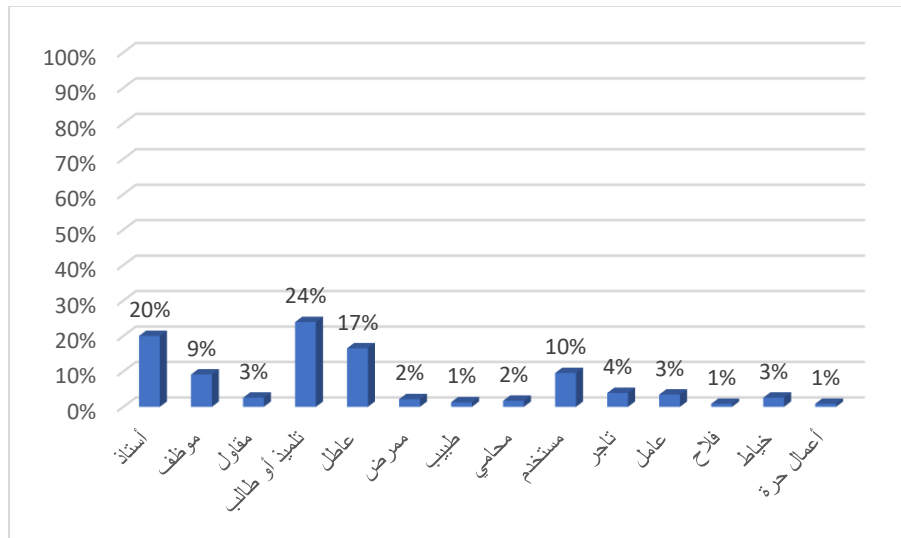
المصدر: العمل الميداني 2022/2021

فيما يخص البنية المهنية لرؤساء جمعيات مدينة كميم، نجد أن 24% من الرؤساء هم أساتذة، و21% طلبة، بينما تصل نسبة المزاولة لمهنة مدير مؤسسة 15%. في حين لا تتعدى باقي المهن 9 و3% (شكل رقم 11). أما فيما يتعلق بتوزيع أعضاء مكاتب الجمعيات بكميم حسب المهنة، فإن النصيب الأكبر تحتله فئة الطلبة بحوالي 24%، بينما تشكل نسبة الأساتذة 20% من المجموع. في حين تبلغ نسبة الأعضاء الذين لا يمارسون أي مهنة 17%، يليهم المستخدمون بنسبة 10%، أما الموظفون فيمثلون 9%. أما باقي المهن فنسبها ضعيفة جدا (شكل رقم 12). وعليه، فأغلب أعضاء مكاتب الجمعيات يمارسون مهنة أستاذ أو لازلوا يدرسون في التعليم العالي أو يبحثون عن عمل.



شكل 11. الوضعية السوسيو-مهنية لرؤساء الجمعيات المستجوبة بكلميم

المصدر: العمل الميداني 2021/2022



شكل 12. توزيع أعضاء مكاتب الجمعيات المستجوبة بكلميم حسب الوضعية السوسيو-مهنية

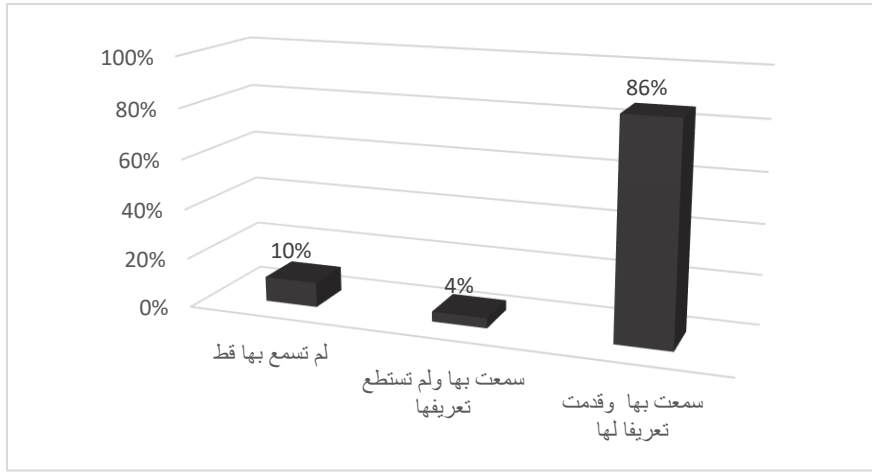
المصدر: العمل الميداني 2021/2022

## 2.2.4 التنمية المستدامة من منظور الجمعيات

بعد رصد خصوصيات جمعيات المجتمع المدني التي شملها العمل الميداني بمدينة كلميم، ننتقل إلى إبراز معارفها حول التنمية المستدامة التي ستسهم في تفسير مختلف التدخلات والأنشطة التي تهدف إلى تحقيق التنمية المستدامة بكلميم. وذلك لتبيان مدى أهمية التنمية المستدامة وكيفية إدراكها من قبل جمعيات المجتمع المدني ومدى استحضارها لجميع مكوناتها وأبعادها. وقبل التطرق إلى ذلك، سنقوم بتعريف مفهوم التنمية المستدامة والتي يقصد بها حسب تقرير اللجنة العالمية للبيئة والتنمية (1987)، "التنمية التي تستجيب لحاجيات الحاضر دون المساس بحاجيات الأجيال القادمة" [2].

بالنظر إلى الإنجازات التنموية المتعددة والمبادرات الإيجابية التي تقوم بها الجمعيات، فإنها تعد من بين الفاعلين الرئيسيين لتحقيق الاستدامة خاصة بعد اتساع مجالات اهتمامها التي تجاوزت مجالات حقوق الإنسان والتربية وإقرار المساواة ومحاربة الأمية وغيرها إلى محاربة الفقر والهشاشة والصحة ونشر قيم التضامن والتعاون وغيرها، والتي تتماشى وأهداف التنمية المستدامة.

بناء على العمل الميداني، نسجل هيمنة نسبة كبيرة من الجمعيات بمدينة كلميم التي صرحت بأنه سبق لها وأن سمعت بمفهوم التنمية المستدامة بنسبة 90%، بينما تصل نسبة الجمعيات التي لم يسبق لها أن سمعت بهذا المفهوم إلى 10% من مجموع الجمعيات المستجوبة، وهي نسبة قليلة بالمقارنة مع النسبة الأولى (شكل رقم 13). هذه الأخيرة التي نجد بأن 86% منها استطاعت تقديم تعريف للتنمية المستدامة في حين لم يتمكن ما نسبته 4% من الجمعيات المستجوبة من إعطاء تعريف لها.



شكل 13. الجمعيات التي استطاعت تقديم تعريف للتنمية المستدامة بمدينة كميم

المصدر: العمل الميداني 2022/2021

قمنا أيضا بدراسة وتحليل التعاريف التي تم إعطاؤها للتنمية المستدامة من قبل الجمعيات، وفي هذا الإطار فقد تم تقييها هذه التعاريف حسب مكونات المفهوم وأبعاده. فتمثلت أولى خطوات تحليل مضمون تعاريف الجمعيات للتنمية المستدامة في تقسيم هذه التعاريف إلى وحدات جملية، بعد القيام بالقراءة الأولية لها تم تقييها في جدول التفرغ لتسهيل عملية التحليل.

بناء على تحليل التعاريف التي قدمتها الجمعيات المستجوبة للتنمية المستدامة، فإن عبارة تلبية احتياجات الأجيال القادمة بلغت نسبة حضورها 16% كأعلى قيمة، حيث تكررت 31 مرة، يليها عبارة الموارد الطبيعية بنسبة 12% والتي تكررت 23 مرة. بينما نجد حضور عبارة تلبية احتياجات الأجيال الحالية تكررت 19 مرة أي بنسبة 10%. في حين تكررت عبارتي البيئة وتطوير المجتمعات والمدن بنفس العدد (11 مرة) وبنسبة 6%. نلاحظ كذلك بأن هناك تكرار لعبارة تحسين ظروف العيش وعبارة التنمية الاقتصادية بنفس الوتيرة أي 10 مرات (5%). أما عبارتي تنمية جميع المجالات وتطوير الأعمال التجارية فقد تم تردهما 7 مرات وبنسبة 4%. بالمقابل، فلم يتم ذكر عبارة الاستثمار في العنصر البشري وعبارة تنمية طويلة الأمد سوى 5 مرات بنسبة 3% فقط. لتتناقص هذه النسبة وتصل إلى 2% بخصوص مجموعة من العبارات على رأسها التنمية الدائمة ومواجهة خطورة التدهور البيئي والمساواة والعدل الاجتماعي والرفاهية وتنمية الجيل الحالي وغيرها حيث تكررت 4 مرات فقط. بينما تم ذكر مجموعة أخرى مرة واحدة فقط على سبيل الذكر التنمية المحلية وترشيد استغلال الثروات والتنوع الحيوي والمناخ والتنمية الاجتماعية وتنمية الموارد المحلية والفقراء والتوازن بين الأبعاد الثلاثة والأنشطة الاقتصادية المحترمة للبيئة وإشراك الساكنة وغيرها من العبارات التي جاءت على لسان الجمعيات المستجوبة بكميم أثناء تقديمهم لتعريف التنمية المستدامة.

اعتمادا على ما سبق، يتضح جليا أن عبارة "تلبية احتياجات الأجيال القادمة" تكررت لدى جمعيات المجتمع المدني بشكل كبير، وهو ما يحيلنا على جزء من تعريف برنتلاند للتنمية المستدامة. بالإضافة إلى عبارتي "الموارد الطبيعية" و"تلبية احتياجات الأجيال الحالية" وهي العبارات الأكثر تكرارا مما يشير إلى أن أغلب الجمعيات تربط مفهوم التنمية المستدامة بتلبية احتياجات الأجيال الحالية والقادمة ووجوب الحفاظ على الموارد الطبيعية. وعليه، تشكل هذه العبارات العناصر المركزية للمعاني التي أعطت الجمعيات للتنمية المستدامة. بالإضافة إلى عناصر أخرى لكنها أقل ترددا وأهمية.

بما أن التنمية المستدامة تتجلى أهميتها في الجمع بين مختلف عناصرها وأبعادها المشكلة للاستدامة، فسيتم كذلك تحليل تعاريف الجمعيات للتنمية المستدامة انطلاقا من الأبعاد أو البعد الذي مُنحت له الأولوية في ذلك. وفي هذا الإطار، نلاحظ أن أغلب الجمعيات تركز على أحد أبعاد الاستدامة أو بعضها، ونادرا ما نجد تعريفا شاملا لهذه الأبعاد.

### 3.4 دور جمعيات المجتمع المدني في تحقيق التنمية المستدامة بمدينة كميم

نظرا للدور الكبير الذي صارت تؤديه جمعيات المجتمع المدني في تدعيم عملية التنمية المستدامة. خاصة في ظل الأدوار والتحول التي عرفها المجتمع المدني في السنوات الأخيرة. فقد انتقلت من دور التوعية والتثقيف والتربية إلى دور الدفاع عن مطالب المجتمع وحاجياته ورهان التغيير الاجتماعي والبناء الثقافي والرهانات التنموية، مما يعكس الأشكال والأدوار الجديدة للعمل الجماعي. وهو ما مكنها من تشكيل قوة يمكن الاعتماد عليها في تحقيق التنمية المستدامة إلى جانب جهود باقي الفاعلين. في هذا الصدد حاولنا تحديد طبيعة دور الجمعيات كآلية من آليات تحقيق التنمية المستدامة، وكيف تسهم في تفعيل وتنزيل مضامين التنمية المستدامة بكميم.

مما لا شك فيه أن قوة العمل الجماعي ومدى فاعليته في تحقيق التنمية المستدامة تقاس من خلال الأنشطة والمشاريع التي يقوم بها في إطار تطبيق الاستدامة بالمدينة. فمن خلال نتائج العمل الميداني، نلاحظ أن 60% من الجمعيات المستجوبة صرحت بأنه ليس لها أي إنجاز أو تدخل أو أنشطة في هذا الصدد، وهو ما أرجعه أغلب الجمعيات إلى حداثة التأسيس، في حين صرح ما نسبته 40% من مجموع الجمعيات بتدخلاتها والأنشطة التي قامت بها في هذا السياق (البحث الميداني 2022/2021). فيما يخص تدخلات وأنشطة هذه الجمعيات، فنلاحظ حسب تصريحاتها أن أغلب الأنشطة موجهة لفئات معينة، كتنظيم لقاءات تأطيرية لفائدة الشباب، وتكوينهم في عدة مجالات، وكذا دعم مشاريعهم الصغيرة جدا وتكوينهم في مجال التشغيل الذاتي وتعريفهم بنظام المقاول الذاتي، والقيام ببرامج تأهيل ومواكبة المقاولات. إلى جانب استفادة سكان بعض الأحياء من حملات النظافة وأنشطة ثقافية وتحسيسية وكذا من عمليات غرس الأشجار.

أنشطة موجهة لتأطير الأطفال وإدماجهم في الأنشطة الرياضية والاجتماعية وتوعيتهم. نسجل أيضا حضورا لأنشطة موجهة لفائدة الأطفال في وضعية صعبة تهدف إلى تدريبهم وتوفير حصص الترويض الطبي لهم، كما تتكفل بنقلهم وتأهيلهم مهنيا. تستفيد كذلك فئة النساء الأراذل من بعض الأنشطة المخصصة لهن كتشغيلهن في مشاريع مدرة للدخل. وفي هذا الإطار يقول الباحث "أحرشاو العالي" " إن المتأمل للمشهد الجماعي العربي سيلاحظ أن أغلبية هذه المشاريع عادة ما تستهدف إما قضايا المرأة وإما مشاكل الطفولة. ورغم إدراكنا حقيقة أن فئة النساء والأطفال ذوي الاحتياجات الخاصة تندرج ضمن الفئات الأكثر تضررا من بعض الأوضاع المتأزمة التي تعيشها البلاد العربية، إلا أننا في المقابل مقتنعون بأن الانخراط في سيرورة التنمية المستدامة يجب أن يستند إلى استراتيجية واضحة تراهن على مضاعفة أعداد الجمعيات المدنية المتدخلة وتنوع أنشطتها

وبرامجها لتشمل جميع الفئات والظواهر، وما أكثرها، التي تتطلب التدخل والمساعدة، بما في ذلك مشاكل الفقر والجهل والأمية والفساد والتهميش والعنف والتلوث" (أحرشواو الغالي 2008).

بالإضافة إلى الأنشطة الموجهة لفئات معينة، نسجل كذلك حضورا مهما للأنشطة الموسمية والمتمثلة بالأساس في ترميم مخلفات الفيضانات وتنظيم مخيمات صيفية وتوزيع قفف المؤونة الخاصة بشهر رمضان وتقديم الإفطار وتوزيع الملابس سواء في الأعياد أو فصل الشتاء.

بالموازاة مع هذه الأنشطة، تم تجهيز مركز صحي وتنظيم قوافل طبية، وبناء مركز خاص بتصفية الدم، ومركز لرعاية المسنين بدون مأوى. إلى جانب تنظيم حملات تحسيسية للاهتمام بالبيئة. وكذا تنظيم معارض قصد التعريف بتراث المنطقة. كما تم تجهيز بعض المدارس بالمكتبات لتشجيع التلاميذ على القراءة.

تأسيسا على ما سبق، يتضح جليا أن أغلب أنشطة وتدخلات الجمعيات تتشابه وتكرر، ونادرا ما تختلف جمعية وتتفرد بأنشطة معينة بالمقارنة مع مثيلاتها. إذ نلاحظ هيمنة للأنشطة والتدخلات ذات البعد الاجتماعي في الغالب، في حين هناك ضعف بالنسبة للأبعاد الأخرى المشكلة للتنمية المستدامة خاصة البعد البيئي. وهو ما يؤكد الباحث "أحرشواو الغالي" في مقال له، حيث قال بأنه "رغم ضخامة الجهود التي بذلتها أغلب هذه الجمعيات في المجالات السابقة الذكر (محاربة الفقر والأمية والفساد والعنف وصون كرامة الإنسان وحقوقه وحرية وحمية البيئة وسلامتها والطفولة والشباب وإدماج المرأة...)، فمن المؤكد أن الإجماع حول تواضع حصيلة إنجازاتها ومحدودية نتائجها التنموية أمر حاصل وبامتياز؛ إذ يقرب به كافة المهتمين بالسلوك المدني، ... فالكل يدرك أن عمل هذه الجمعيات ورغم أهميته وضرورته الاستعجالية ما يزال متواضعا في أنشطته وبرامجه، محدودا في مردوديته ونتائجه، ومتذبذبا في مساراته وتوجهاته" (أحرشواو الغالي 2008).

## 5 خلاصة

ختاما لما سبق، نستخلص من خلال هذه الورقة البحثية محدودية معرفة جمعيات المجتمع المدني بمفهوم التنمية المستدامة، بالرغم من أهمية نسيجها من حيث العدد وتنوع مجالات اشتغالها، وهو ما يتضح من خلال نسب الجمعيات التي استطاعت تقديم تعريف شامل لها. إذ أن جل التعاريف التي أعطيت للتنمية المستدامة تركز على بعض مكونات الاستدامة فقط، وليست شاملة لجميع أبعادها ومكوناتها، باعتبار التنمية المستدامة متعددة الأبعاد وتحققها يتطلب الشمولية وعدم التجزؤ. والأمر نفسه ينطبق على تدخلات وأنشطة جمعيات مدينة كلميم التي تعتبر محدودة في الزمان والمكان وغالبا ما توجه لفئة معينة أو مجال معين في حين تغيب الأنشطة الخاصة بالاستدامة في شموليتها مما يتناقض مع غايات وأهداف الاستدامة. ومع ذلك، فللهذه التدخلات دور أساسي، إلا أنها تحتاج إلى التتبع والتقييم والتثمين والتنسيق مع مختلف الفاعلين بما في ذلك فاعلي جمعيات المجتمع المدني لتفادي تكرار الأنشطة والرفع من جودتها وتحقيق معايير ومبادئ الاستدامة. وهو ما يتطلب إعادة بناء الثقة بين هؤلاء الفاعلين وترسيخ قيم التعاون والاتحاد بينهم، إلى جانب تقوية قدراتهم في هذا الإطار.

## المراجع

- أحرشواو الغالي (2008)، المجتمع المدني العربي ورهانات التنمية المستدامة، مجلة علوم التربية، العدد 36.
- زغدار عبد الحق، وبن حجاز سامية (2016)، دور المجتمع المدني في التنمية المحلية: دراسة على ضوء التجربة المغربية، المجلة الجزائرية للأمن والتنمية، العدد التاسع (09).

## REFERENCES

- [1] Unies, N. (2015). Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 25 septembre 2015. Transforme notre monde: le Programme de développement durable à l'horizon 2030. Soixantedixième session. A/RES/70/1. Consulté le 11 juin 2019. Disponible sur: <https://undocs.org/fr/A/RES/70/1>.
- [2] Brundtland, H. G. (1989). *Notre avenir à tous. Rapport de la Commission mondiale sur l'Environnement et le Développement*

## Conception d'outils/guides interactifs d'information et de sensibilisation: Application à la drépanocytose

### [ Design of interactive information and awareness tools/guides: Application to sickle cell disease ]

*Donald Romarick Rotimbo Mbourou<sup>1-2</sup> and Lucrece M. Delicat Loembet<sup>2-3</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire de Recherche Multidisciplinaire en Environnement (LARME), Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), Mbaya, Route Nationale 1, BP 901 Franceville, Gabon

<sup>2</sup>ONG DrépaZéroCytose Gabon (SCDOGa), Direction Régionale de Santé Sud-Est, Route de l'ancien hôpital, en face de la CNAMGS, Franceville, Gabon

<sup>3</sup>Département de Biologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), Mbaya, Route Nationale 1, BP 901 Franceville, Gabon

Copyright © 2024 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:** Kobotoolbox is a free online application classically used for data collection. Our work has enabled us to design interactive guides aimed at informing and raising awareness of sickle cell disease (a genetic disorder). The four information and awareness guides are AD1 (Diagnose your child's sickle cell status), AD2 (Diagnose your hemoglobin status), AD3 (Susceptibility for a couple to give birth to sickle cell children) and AD4 (Diagnose your child's sickle cell status). Deployed on billions of computers, tablets, phones, including in our NGO, these guides can make a difference.

**KEYWORDS:** Kobotoolbox, sickle cell disease, information support, diagnosis, interactive toolKoBoToolbox.

**RESUME:** Kobotoolbox est une application gratuite en ligne utilisée classiquement pour la collecte de données. Notre travail a permis d'y concevoir des guides interactifs visant à informer et sensibiliser sur la drépanocytose (maladie génétique). Les quatre guides d'information et de sensibilisation sont AD1 (Diagnostic du statut drépanocytaire de votre enfant), AD2 (Diagnostic de votre statut hémoglobinique), AD3 (Susceptibilité pour un couple de donner naissance à des enfants drépanocytaires) et AD4 (Diagnostic du statut drépanocytaire de votre enfant). Déployés sur des milliards d'ordinateurs, tablettes, téléphones, y compris dans notre ONG, ces guides peuvent changer les choses.

**MOTS-CLEFS:** Kobotoolbox, drépanocytose, support d'information, diagnostic, outil interactif.

## 1 INTRODUCTION

Les avantages de la collecte de données sont de plusieurs ordres. C'est un moyen puissant d'aide à la décision dans des domaines d'applications variés tels que l'Environnement [1], la Maintenance industrielle [2], le Traitement du signal [3],... En effet, les données recueillies peuvent être caractérisées via des indicateurs statistiques (moyenne, variance, corrélation,...). Les résultats obtenus sont une source d'informations utiles pour sensibiliser, avertir ou modifier drastiquement les

comportements inadaptés ou obsolètes de nos sociétés. Bien que riche, cet outil pertinent, vulgarisé dans les pays industrialisés, peine encore à s'imposer dans les pays en développement, en particulier dans le domaine de la santé [4], [5].

La collecte de donnée est une discipline en croissante mutation. Traditionnellement, la collecte de données s'est faite en exploitant un formulaire (enquête) imprimé sur du papier. L'épreuve du temps a montré les limites de cette approche: gaspillage du papier, fragilité du support de collecte, fragilité face aux intempéries, temps important dédié à la numérisation des données, analyses statistiques erronées ou peu robustes dues à la présence de mots et/ou expressions synonymes, difficultés à lire l'écriture manuscrite des divers enquêteurs... A contrario, la collecte de données via un formulaire (enquête) numérique nous permet aujourd'hui un gain de temps et une souplesse indéniable, notamment dans sa conception. Dématérialisé, il offre également la possibilité de travailler sur celui-ci de façon simultanée, peu importe le lieu d'habitation. Cela renforce la coopération et donne un feedback rapide qui vise à mettre à jour régulièrement sa pertinence (design, questions, logique,...). Les compétences, pluridisciplinaires en particulier (Statisticiens, Informaticiens, Administratifs, Stagiaires), sont plus aisément mutualisées. De plus, il est possible de recueillir les données sans accès permanent à internet (en mode connecté ou déconnecté) ou via des smartphones [6], [7]. Tout administrateur du formulaire numérique peut récupérer une copie sur ses appareils locaux (téléphone, tablette, ordinateur,...), puisque ce dernier est disponible 24h/24-7h/7 sur le Cloud. A l'heure où les problèmes environnementaux cristallisent toutes les peurs, il n'est plus nécessaire d'imprimer le formulaire numérique.

Le développeur lambda d'interface ou de tableau de bord ne doit pas tomber dans les écueils classiques dus à la conception [8] et à l'exploitation de formulaire numérique de collecte de données. Les questions doivent être choisies claires et courtes, évitant ainsi au questionné de s'égarer. Néanmoins, certaines informations complémentaires mais brèves peuvent compléter chaque question. La manière de répondre aux questions doit être adéquate. Il ne suffit pas seulement de vouloir collecter des informations mais il s'agit aussi de mieux présenter les données (les questions principalement) en vue d'améliorer le rendu et donc les décisions (réponses aux questions posées).

Les problèmes de conception et d'exploitation d'un formulaire numérique peuvent être accentués ou atténués, suivant l'environnement de travail sélectionné. Le commun des mortels peut se retrouver dépourvu face à son manque de compétences informatiques et/ou statistiques: avoir un logiciel intuitif à portée de main devient une priorité. Deux principales catégories de logiciels existent pour créer des formulaires numériques: les résidentes/locales installées sur les appareils et les 100% en ligne stockées sur le Cloud. Néanmoins, certains logiciels peuvent se positionner dans les 2 catégories [9]. Dans notre travail, nous nous limitons à la seconde catégorie. Elle regroupe les logiciels dominants que sont Google Form, Microsoft Form, SurveyMonkey, TypeForm, LimeSurvey, Quickapsurvey, HubSpot, Gravity Forms. Ils se distinguent principalement par leurs fonctionnalités. En général, très peu sont 100% gratuits, la majorité étant payant dès lors que nous dépassons une quantité précise de formulaires créés. Nous pouvons également importer les formulaires d'autres logiciels (exemple du format XLSForm), exporter le formulaire vers son ordinateur par exemple, voire même utiliser la fonction MailChimp (envoi automatisé d'emails). La fonctionnalité la plus recherchée reste sans nul doute l'analyse statistique en temps-réel, intégrée au logiciel en ligne.

KoBoToolbox, cœur de notre travail, fait office de nouveau venu face aux géants sus-cités mais mérite davantage de reconnaissance. Ce logiciel est principalement disponible 100% en ligne, à l'exception de certaines versions résidentes compatibles avec des serveurs (en ligne ou local) ou des distributions Linux. Il a été conçu à partir de ODK (Open Data Kit), un ensemble d'outils gratuits de collecte de données via appareils mobiles sous Android, avec envoi des données sur un serveur en ligne même sans connexion [10], [11]. Il a été bien pensé d'un point de vue ergonomie et a une approche très intuitive. Nous pouvons créer un nombre illimité de formulaires numériques. Ces derniers sont déployables instantanément sur des smartphones ou tablettes, idéal lors de la collecte de données. Habituellement, les formulaires numériques servent à la collecte de données. Dans notre nouvelle approche nous les exploitons de façon innovante et ils permettent cette fois-ci de concevoir des outils interactifs (guides interactifs) servant à sensibiliser et/ou aider au diagnostic, dans le cadre de la drépanocytose. Malheureusement, KoBoToolbox est le seul outil parmi ses concurrents, qui nous a permis d'atteindre son objectif en particulier à cause de sa gratuité sur le long terme (plus de 2 ans d'usage).

La drépanocytose est une maladie génétique dont la prévalence au Gabon (1,34%) [12] est un réel fardeau pour les familles et surtout pour les personnes touchées. En l'absence de prise en charge médicale appropriée, la drépanocytose est responsable des décès chez les enfants de moins de 5 ans sur le continent africain [13], [14]. Il est donc important d'avoir un diagnostic d'orientation afin de commencer une prise en charge précoce pour ainsi améliorer l'état général du patient et son espérance de vie. Toutes les personnes confrontées aux symptômes de la drépanocytose se posent ces questions qui ont été résumées au sein des formulaires interactifs que nous mettons à la disposition de tout public. De nos jours, il est admis que la sensibilisation reste le seul moyen efficace contre la naissance d'enfants drépanocytaires et la formation de couples à risque, ainsi tous les couples à marier dans notre contexte devrait faire un choix éclairé, par rapport à leur partenaire de vie.

## 2 MATERIEL ET MÉTHODES

### 2.1 KOBOTOOLBOX ET CONCEPTS DE BASE

KoBoToolbox permet de créer des formulaires numériques, après création d'un compte en ligne sur le site. Dès lors, il est aisément possible d'accéder à l'interface d'ajout des différentes questions [15]. Dans la suite, nous considérons que le formulaire numérique nommé « Outil/guide interactif d'aide à la décision » a été obtenu en suivant lesdites étapes et que nous sommes à l'étape d'ajout d'une première question. Nous prendrons comme exemple l'ajout d'une liste à choix unique pour rappeler les informations essentielles à retenir. Les questions ①, ② et ③ de la figure 1 servent respectivement à créer une liste à choix unique (notée SU), une liste de cases à cocher à choix multiples (notée SP) et une note informative (notée NO). Ce sont les seules questions exploitées dans notre travail. Les questions ④, ⑤, ⑥ (respectivement ⑧) et ⑦ (respectivement ⑨) de la figure 2 sont les paramètres de base dans l'édition d'une liste à choix unique. Ils représentent ainsi dans l'ordre la question posée (notée d), les informations complémentaires (notées c), une des réponses éventuelles proposées au questionnaire (notée r) et la valeur réelle de ladite question enregistrée dans la base de données de KoBoToolbox (notée b).

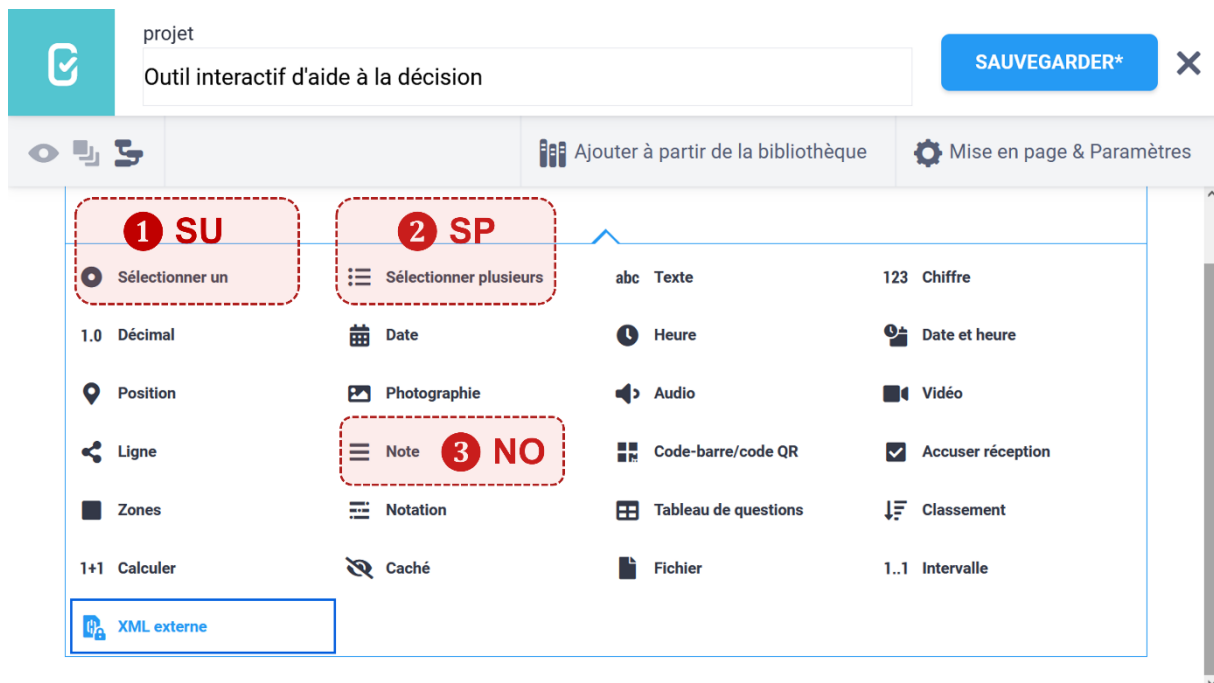


Fig. 1. Face-avant dédiée au choix d'une nouvelle question à insérer, dans le formulaire numérique préalablement créé: choix unique noté SU, choix multiple noté SP et Note notée NO



Fig. 2. Face-avant dédiée à la saisie des paramètres supplémentaires (1er ordre), dans le cas de l'insertion d'une liste à choix unique (notée SU), dans le formulaire numérique préalablement créé

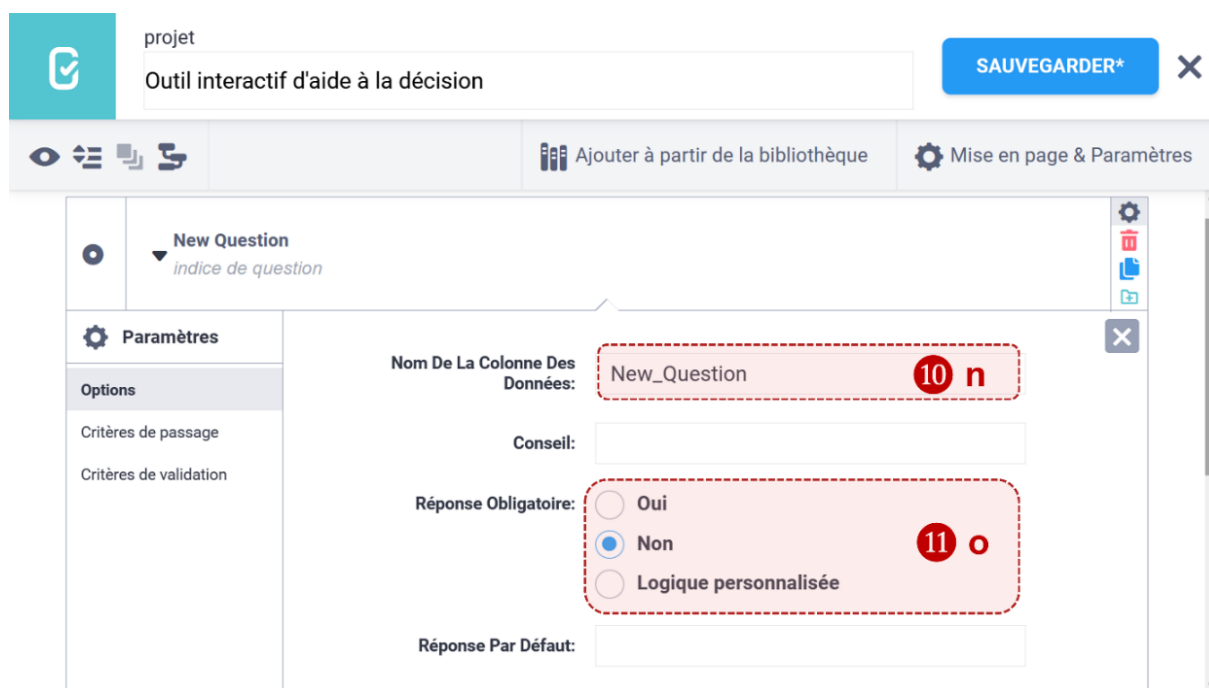


Fig. 3. Face-avant dédiée à la saisie des paramètres supplémentaires (2ème ordre) dans le cas de l'insertion d'une liste à choix unique (notée SU), dans le formulaire numérique préalablement créé

Les questions 10 et 11 de la figure 3 équivalent respectivement au nom attribué au nouveau champ inséré en tant que liste à choix unique (noté n) et le caractère obligatoire de la question (noté o). Les questions 12 et 13 correspondent dans l'ordre aux critères de passage (notés p) simplifiés proposés par défaut l'interface KoBoToolbox ou complexes saisis au format XLSForm par le concepteur du formulaire. Dans notre travail, nous n'avons pas exploité les critères de validation.

Lorsqu'un formulaire numérique est finalisé, il peut être partagé de plusieurs manières. Il est possible d'accéder à son lien web (adresse URL) et de le partager par email, réseaux sociaux, etc... Nous pouvons le télécharger au format XLSForm et l'importer dans d'autres logiciels compatibles comme Google Form. Le plus utile est de le déployer sur le téléphone ou la tablette tactiles de tout utilisateur ayant l'application gratuite KoBoCollect téléchargeable depuis les plateformes d'applications Android (PlayStore, Android Market,...). Nous pouvons aussi récupérer le fichier KoBoCollect au format APK et le transférer sur son téléphone ou sa tablette tactiles, avant de l'installer soi-même.



Fig. 4. Face-avant dédiée à la saisie des paramètres supplémentaires (3ème ordre) dans le cas de l'insertion d'une liste à choix unique (notée SU), dans le formulaire numérique préalablement créé

## 2.2 METHODOLOGIE ET CONCEPTION D'OUTILS INTERACTIFS DEDIES À LA DREPANOCYTOSE

KoBoToolbox est traditionnellement utilisé pour créer de formulaires numériques de collecte de données, le questionné appuyant sur le bouton **Valider** situé à la fin du questionnaire pour envoyer ses informations saisies. Dans notre approche, les données collectées de façon interactives servent à orienter le questionné vers une décision, celui-ci n'ayant pas besoin de cliquer sur le bouton **OK** situé à la fin du questionnaire. Nous avons ajouté un effet d'interactivité en faisant apparaître les questions successives, soit parce que la question précédente a été répondue (figures 2 et 3) ou parce qu'un ensemble de conditions préalables étaient remplies (figure 4). Toutes nos questions, si elles apparaissent, doivent obtenir une réponse avant de passer à la suite (figure 3).

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 RÉSULTATS

A l'heure où en Afrique le système de E-Santé est mis en place dans les différents pays et où les associations de lutte contre la drépanocytose se mettent ensemble afin de mettre en place une stratégie commune de lutte contre la drépanocytose, ces formulaires interactifs pourraient être utiles à toutes les personnes vivant en zones rurales ou urbaines, dans les pays d'Afrique et d'ailleurs. Les résultats obtenus sont une source d'information utile pour sensibiliser, avertir ou modifier drastiquement les comportements inadaptés ou obsolètes de nos sociétés.

Les 4 outils interactifs d'aide à la décision **AD1**, **AD2**, **AD3** et **AD4** obtenus sont présentés dans la suite sous forme de tableau (AD2, AD3 et AD4 sont uniquement accessibles en ligne et les liens d'accès webs sont disponibles en annexe. La 2<sup>ème</sup> colonne **Type** indique la question KoBoToolbox choisie ainsi que le paramètre supplémentaire considéré (le long de la ligne, basée sur les définitions faites dans les figures 1 à 4). La 3<sup>ème</sup> colonne **Niveau** est principalement utilisée dans la présentation de l'ensemble des questions/réponses menant à une certaine décision. Une nouvelle question KoBoToolbox est écrite en gras et précédée par 2 lignes horizontales noires resserrées **==**, dont la première est en gras. Écrit en vert et gras entre crochets, nous avons le paramètre supplémentaire n (figure 3). L'ensemble des réponses éventuelles est précédé d'une ligne horizontale discontinue de type traits long et court **--**. Comme présenté dans la section précédente, **NO** correspond aux informations, SU aux questions ou réponses possibles. Voir les figures 1 à 4 pour plus de détails. En vert et en bleu, nous indiquons les noms donnés aux variables (question ou réponse) et leur valeur respective. En violet, nous avons les conditions permettant de passer à la questions suivantes (critères de passage). Les critères de passage sont précédés d'une ligne horizontale discontinue de type trait court **---**. Dans la présentation des scénarii, le symbole = est précédé de la question considérée et suivi de la réponse sélectionnée. Le symbole **→** indique le passage d'une question KoBoToolbox à une autre, sachant que certaines réponses peuvent impliquer d'accéder à un nombre plus restreint de questions.

Malheureusement, il existe un trop grand nombre de cas de figure. C'est pourquoi nous nous résumons uniquement aux scénarii menant aux décisions mentionnées à la fin de chaque tableau (Scénario). Un seul scénario par décision est mentionné, sachant que plusieurs scénarii pourraient mener à la même décision. Chaque tableau a ses scénarii associés. Nous ne présentons en détails qu'un seul tableau (formulaire), les autres étant disponibles en ligne ou en fichiers numériques attachés à cet article. Tous les détails d'aide au développement informatique sont disponibles sur les plateformes dédiées [16], [17], [18].

Le tableau Tab 3.1 présente le formulaire d'Aide au diagnostic du statut drépanocytaire de votre enfant (AD1). Il est le seul tableau à avoir été détaillé pour permettre de comprendre la contribution informatique. Les scénarii simulent le comportement de l'utilisateur des outils numériques menant aux décisions principales. Les annexes sont les fichiers numériques (aux format XLSFORM) associés à chaque tableau.

**Tableau 1. Formulaire d'Aide au diagnostic du statut drépanocytaire de votre enfant (AD1)**

Type	Niveau		
N0d	1	Ce formulaire numérique a été créé par le Pôle Informatique et Analyse de Données de l'ONG DrépaZéroCytose Gabon (SCDOGa), sous la supervision et orientation techniques de la Présidente de l'ONG. Nous sommes disponibles sur Facebook (@DrepaGab), Instagram (@scdoga_drepa_gab), X (@DrepaGab), Youtube (@Sickle Cell Disease Organization of Gabon), LinkedIn (@SCDOGa-DrépaZéroCytose), internet (www.scdoga.org) et email (contact@scdoga.org ou scdoga.drepassogabon@gmail.com). [N0n=Q1]	
N0c	2	Le but de l'ensemble des questions suivantes est d'aider les parents à savoir si leur enfant est drépanocytaire ou non. [N0n=Q2]	
SUd	3	Êtes-vous drépanocytaire ? [SUn=Q3]	
SUr		3.1	Oui [SUb=Oui]
SUp		3.2	Non [SUb=Non]
SUd	4	Votre époux(se) ou conjoint(e) est-il (est-elle) drépanocytaire ? [SUn=Q4]	
SUr		4.1	Oui [SUb=Oui]
SUp		4.2	Non [SUb=Non]
SUp		SUp1 : Q3 a été répondu	
SUd	5	Tous les 2, connaissez-vous votre statut hémoglobinique ? [SUn=Q5]	
SUr		5.1	Oui [SUb=Oui]
SUp		5.2	Non [SUb=Non]
SUp		SUp1 : Q3 = Non et Q4 = Non	
SUd	6	Quel est le statut hémoglobinique du parent n°1 ? [SUn=Q6]	
SUr		6.1	AA [SUb=AA]
SUp		6.2	Autres (AS, AC, SS, SC) [SUb=Autres]
SUp		SUp1 : Q3 = Non et Q4 = Non et Q5 = Oui	
SUd	7	Quel est le statut hémoglobinique du parent n°2 ? [SUn=Q7]	
SUr		7.1	AA [SUb=AA]
SUp		7.2	Autres (AS, AC, SS, SC) [SUb=Autres]
SUp		SUp1 : Q3 = Non et Q4 = Non et Q5 = Oui	
SUd	8	Connaissez-vous le statut hémoglobinique de votre enfant ? [SUn=Q8]	
SUr		8.1	Oui [SUb=Oui]
SUp		8.2	Non [SUb=Non]
SUp		SUp1 : Q3 a été répondu et Q4 a été répondu et Q8 = Non	
SUd	9	Quel est son statut? [SUn=Q9]	
SUr		9.1	AA [SUb=AA]
SUp		9.2	Autres (AS, AC, SS, SC) [SUb=Autres]
SUp		SUp1 : Q3 a été répondu et Q4 a été répondu et Q8 = Oui	
SUd	10	Votre enfant présente-t-il des signes particuliers (fièvres à répétition, douleurs articulaires ou au ventre, transfusions sanguines récurrentes, fatigue régulière, infections, yeux jaunes, anémies fréquentes, gonflements des pieds et des mains, priapisme) ? [SUn=Q10]	
SUr		10.1	Oui [SUb=Oui]
SUp		10.2	Non [SUb=Non]
SUp		SUp1 : Q5 = Oui ou Q8 = Non ou Q9 = Autres	
SPd	11	Veuillez choisir les signes particuliers observés : [SUn=Q11]	
SPr		11.1	Fièvres à répétition [SPb=Fièvres]
SPr		11.2	Douleurs articulaires ou au ventre [SPb=Douleurs]

		11.3	Transfusions sanguines récurrentes [SPb=Transfusions]	11.4	Fatigue régulière [SPb=Fatigue]
		11.5	Infections [SPb=Infections]	11.6	Yeux jaunes [SPb=Yeux]
		11.7	Anémies fréquentes [SPb=Anemies]	11.8	Gonflements des pieds et des mains [SPb=Gonflements]
		11.9	Priapisme (érection prolongée douloureuse et irréductible) [SPb=Priapisme]		
Spp		SU <sub>p1</sub> : ( \${Q8} = 'Non' and \${Q10} = 'Oui' ) or ( \${Q9} = 'Autres' and \${Q10} = 'Oui' ) or ( \${Q5} = 'Oui' and \${Q10} = 'Oui' )			
Nod	12	Puisque vous reconnaissez au moins 3 signes particuliers ci-dessus chez votre enfant et que son statut hémoglobinique est Autres (AS, AC, SS, SC), il est peut-être drépanocytaire. Prière de vous rapprocher du centre santé le plus proche de chez vous ou de l'ONG DrépaZéroCytose/SCDOGa, pour effectuer un test de dépistage. [NOn=Q12]			
NOp		SU <sub>p2</sub> : \${Q8}='Oui' and \${Q9}='Autres' and count-selected(\${Q11}) >=3 and \${Q5}='Non'			
Nod	13	Puisque vous reconnaissez au moins 3 signes particuliers ci-dessus chez votre enfant et que vous ne connaissez pas son électrophorèse ou hémoglobine, alors votre enfant pourrait être drépanocytaire. Prière de vous rapprocher du centre santé le plus proche de chez vous ou de l'ONG DrépaZéroCytose/SCDOGa, pour effectuer un test de dépistage. [NOn=Q13]			
NOp		SU <sub>p2</sub> : \${Q8}='Non' and count-selected(\${Q11}) >=3 and \${Q5}='Non'			
Nod	14	Vous reconnaissez au moins 3 signes particuliers ci-dessus chez votre enfant. Vos statuts à votre conjoint et vous sont Autres (AC, AS, SC, SS). Votre enfant pourrait être drépanocytaire. Prière de vous rapprocher du centre santé le plus proche de chez vous ou de l'ONG DrépaZéroCytose/SCDOGa, pour effectuer un test de dépistage. [NOn=Q14]			
NOp		Sup2 : \${Q6}='Autres' and \${Q7}='Autres' and count-selected(\${Q11}) >=3			

Tableau 2. Principaux scénarii issus du formulaire d'Aide au diagnostic du statut drépanocytaire de votre enfant (AD1). Voir tableau 1 et annexe 1

Scénario AD1 : 1	Nod1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.1 (Non) → SUD4 = SUR4.2 (Non) → SUD5 = SUR5.2 (Non) → SUD8 = SUR8.2 (Non) → SUD10 = SUR10.1 (Oui) → SPd11 = SPR11.2 (Douleurs) + SPR11.4 (Fatigue) + SPR11.6 (Yeux) + SPR12.9 (Priapisme) → <b>NOD12</b>
Scénario AD1 : 2	Nod1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.1 (Non) → SUD4 = SUR4.2 (Non) → SUD5 = SUR5.2 (Non) → SUD8 = SUR8.1 (Oui) → SUD9 = SUR9.2 (Autres) → SUD10 = SUR10.1 (Oui) → SPd11 = SPR11.2 (Douleurs) + SPR11.4 (Fatigue) + SPR11.6 (Yeux) + SPR12.9 (Priapisme) → <b>NOD13</b>
Scénario AD1 : 3	Nod1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.1 (Non) → SUD4 = SUR4.2 (Non) → SUD5 = SUR5.1 (Oui) → SUD6 = SUR6.2 (Autres) → SUD7 = SUR7.2 (Autres) → SUD10 = SUR10.1 (Oui) → SPd11 = SPR11.1 (Fievres) + SPR11.7 (Anemies) + SPR11.9 (Priapisme) → <b>NOD14</b>

Tableau 3. Principaux scénarii issus du formulaire d'Aide au diagnostic de votre statut hémoglobinique (AD2). Voir annexe 2

Scénario AD2 : 1	Nod1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.1 (Oui) → SUD4 = SUR4.2 (Autres) → SUD5 = SUR5.2 (Autres) → <b>NOD7</b>
Scénario AD2 : 2	Nod1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.2 (Non) → <b>NOD8</b>
Scénario AD2 : 3	Nod1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.1 (Oui) → SUD4 = SUR4.2 (Autres) → SUD5 = SUR5.2 (Autres) → SUD6 = SUR6.2 (Non) → <b>NOD9</b>

Tableau 4. Principaux scénarii issus du formulaire de Susceptibilité de donner naissance à des enfants drépanocytaires (AD3). Voir annexe 3

Scénario AD3 : 1	N0d1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.2 (Non) → SUD4 = SUR4.1 (AA) → N0d8
Scénario AD3 : 2	N0d1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.2 (Non) → SUD4 = SUR4.2 (Autres) → SUD5 = SUR5.2 (Non) → N0d9
Scénario AD3 : 3	N0d1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.2 (Non) → SUD4 = SUR4.2 (Autres) → SUD5 = SUR5.1 (Oui) → SUD6 = SUR6.1 (AA) → N0d10
Scénario AD3 : 4	N0d1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.2 (Non) → SUD4 = SUR4.2 (Autres) → SUD5 = SUR5.1 (Oui) → SUD6 = SUR6.2 (Autres) → N0d11

Tableau 5. Principaux scénarii issus du formulaire d'Aide au diagnostic d'orientation du statut drépanocytaire de votre enfant (AD4). Voir annexe 4

Scénario AD4 : 1	N0d1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.2 (Autres) → SUD4 = SUR4.2 (Autres) → SUD5 = SUR5.1 (Oui) → SPd6 = SPR6.1 (Fievres) + SPR6.2 (Douleurs) + SPR6.4 (Fatigue) → N0d7
Scénario AD4 : 2	N0d1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.1 (AA) → SUD4 = SUR4.1 (AA) → SUD5 = SUR5.2 (Non) → N0d8
Scénario AD4 : 3	N0d1 → NOc2 → SUD3 = SUR3.2 (Autres) → SUD4 = SUR4.1 (AA) → SUD5 = SUR5.2 (Non) → N0d9

### 3.2 DISCUSSION

Le logiciel 100% en ligne KoBoToolbox est très puissant pour la création de formulaires numériques et leur déploiement sur différents équipements (téléphone, tablette, ordinateur,...). La latence dans le travail sur la plateforme est surtout tributaire à la qualité du réseau internet (bande passante). De grandes performances ne sont pas requises du côté du matériel utilisé par le développeur de l'interface (un ordinateur portable avec un processeur Intel Dual Core ou intel Celeron suffisent). L'interface de conception étant sur plusieurs langues, chaque utilisateur peut se sentir mieux accompagné. Toutefois, certains points sont non négligeables. Dans notre travail, nous avons principalement rencontré des difficultés liées aux questions dépendantes. L'apparition des questions dépendantes se corse dès lors qu'elle est tributaire de plus de 2 conditions. Trouver comment écrire correctement certaines conditions complexes nous emmène un dédale d'informations présentes sur les différents sites officiels d'entraide.

Dans le cadre de la drépanocytose, il est important de souligner que ces quatre formulaires interactifs ont déjà été déployés sur les équipements des membres de notre ONG, depuis novembre 2023. Ces formulaires sont très importants. La drépanocytose est la troisième cause d'hospitalisation après le paludisme et les diarrhées au Gabon [19] et est responsables de la division des familles ainsi que de la déscolarisation des personnes touchées. Il paraît si simple vu de loin de se dire que la drépanocytose n'est pas réellement un problème de santé publique par son caractère de handicap invisible. Mais il est triste de constater que les familles des zones rurales où l'accès aux soins et au diagnostic de qualité est très difficile, ne savent pas à quel point se vouer quant au diagnostic drépanocytaire ou non de leur enfant. Il est heureux de se rendre compte qu'il y aurait une alternative à l'heure du développement de l'internet qui serait d'utiliser cet outil pour aider les familles à avoir un diagnostic d'orientation sur le statut hémoglobinique du membre de leur famille.

## 4 CONCLUSION

La démocratisation réseau et informatique au cours des 2 dernières décennies a contribué à ce qu'aujourd'hui, il y ait plus de smartphones, de tablettes,..., et des ordinateurs. D'autre part, l'accès à internet est devenu trivial, même dans les pays en développement. Ces appareils grand public sont un moyen incontournable d'informer les populations. De plus, l'avènement des technologies nouvelles ont permis des avancées majeures, en particulier dans le cadre de la santé.

Même si elle est reléguée en arrière-plan face à des maladies infectieuses comme le VIH ou encore le paludisme, la drépanocytose est la 3ème cause d'hospitalisation au Gabon et de mortalité infantile très importante. A ce jour, aucun remède fiable à 100% n'a été trouvé. Il est important de permettre à ceux qui ne connaissent pas leur électrophorèse d'avoir un diagnostic pertinent. Il est encore plus essentiel d'aider les futurs couples à se former en connaissance de cause car donner naissance à un enfant drépanocytaire a un impact sensible dans la vie du couple et/ou de l'enfant malade.

Les pouvoirs publics devraient prendre un peu plus en main la situation des drépanocytaires et des familles concernées. La méconnaissance de la maladie conduit à un accueil inapproprié ou un mauvais diagnostic dans les services hospitaliers. L'entourage, notamment dans l'environnement scolaire, manquant d'information, a tendance à marginaliser l'enfant drépanocytaire. Nos outils interactifs d'information, de sensibilisation et d'aide au diagnostic sont donc une contribution positive aux conditions de vie des personnes vivants avec la drépanocytose et leurs entourages.

Cet article a également pour objectif d'inciter d'autres chercheurs à se servir d'outils comme KoBoToolbox. La démarche informatique présentée se veut suffisamment clarifiée et simplifiée pour que l'utilisateur profane puisse trouver une solution dans la partie conception de tout outil d'information, de guide virtuel ou même d'interface de sensibilisation.

## REMERCIEMENTS

Dr DELICAT LOEMBET est Maître Assistant CAMES, dans la spécialité Génétique, Biologie Moléculaire et Génomique, au Département de Biologie de la Faculté des Sciences, à l'Université des Sciences et Techniques de Masuku, à Franceville au Gabon. Elle est actuellement la Présidente de NGO Sickle Cell Disease Organization of Gabon / SCDOGa (ONG DrépaZéroCytose Gabon), dont le siège se situe à Franceville au Gabon. Elle a créé cette ONG en 2018 afin de lutter contre la drépanocytose. Tous nos remerciements lui sont adressés car sans ses efforts inlassables, nous n'aurions pas eu les données utiles pour ce travail innovant.

## ANNEXES

Annexe 1: Formulaire d'Aide au diagnostic du statut drépanocytaire de votre enfant (AD1), en fichier attaché de cet article et disponible en ligne, <https://ee.kobotoolbox.org/x/Es6FpvDz>.

Annexe 2: Formulaire d'Aide au diagnostic de votre statut hémoglobinique (AD2) en fichier attaché de cet article et disponible en ligne, <https://ee.kobotoolbox.org/x/j3S9oLZ5>.

Annexe 3: Formulaire de Susceptibilité de donner naissance à des enfants drépanocytaires (AD3) attaché de cet article et disponible en ligne, <https://ee.kobotoolbox.org/x/SZkKdL4B>.

Annexe 4: Formulaire d'Aide au diagnostic d'orientation du statut drépanocytaire de votre enfant (AD4) est en fichier attaché de cet article et disponible en ligne, <https://ee.kobotoolbox.org/x/8QqG0dxx>.

## REFERENCES

- [1] D.-F. Bilenga Moukodouma, D. R. ROTIMBO MBOUROU, C. Atteke Nkoulembene et C. Denis, «A temperatures variation favor human-elephant conflict in Gabon's Lékédi National Park», *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 10 (8), pp.7-26; 2023. [Online] Available: <https://hal.science/hal-04180743v1>.
- [2] D. R. Rotimbo Mbourou, «Contribution à la surveillance et au diagnostic de défauts dans les systèmes de transmission par courroie», *Thèse de doctorat en Mécanique*, Université de Lyon et Université (France) des Sciences et Techniques de Masuku (Gabon), Français, 31 Octobre, 2016. [Online] Available: <https://theses.hal.science/tel-02020540>.
- [3] D. R. Rotimbo Mbourou, G. N'tchayi Mbourou, P. Makanga Koumba, M. Béka Be Nguéma, «Quelques techniques de séparation des composantes déterministes et aléatoires», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 41 No. 1, November 2023, pp. 57-70, ISSN 2028-9324. [Online] Available: <http://www.ijias.issr-journals.org/abs.php?article=IJIAS-23-276-07>.
- [4] Macharia P., Muluve E., Lizcano J., Cleland C., Cherutich P. and Kurth A., «Open Data Kit, a solution implementing a mobile health information system to enhance data management in public health», In *IST-Africa Conference and Exhibition (IST-Nairobi, Kenya)*, p.1-6, 2023. IEEE. [Online] Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6701738>.
- [5] L. M. Délicat-Loembet, J. O. Orango Bourdette, D. R. Rotimbo Mbourou, U. Bisvigou, D. F. Omengue, et al. «Sickle Cell Disease in Southeast Zone of Gabon a Central African Country: A Socio-Economic Study», *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, 3 (2), pp.942-949, 2023. [Online] Available: <https://hal.science/hal-04088212v1>.
- [6] W. Brunette, R. Sodt, R. Chaudhri, M. Goel, M. Falcone, J. Van Orden and G. Borriello, «Open data kit sensors: A sensor integration framework for android at the application-level», *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, 351–364, 2012. [Online] Available: <https://doi.org/10.1145/2307636.2307669>.
- [7] R. Chaudhri, W. Brunette, M. Goel, R. Sodt, J. VanOrden, M. Falcone and G. Borriello, «Open data kit sensors: mobile data collection with wired and wireless sensors», *ACM*, p.9, March 2012.

- [Online] Available: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2160601.2160614>.
- [8] I. Dabbabi, «Conception et génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage contextuels. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain», *Le Mans Université*, 2019. Français.  
[Online] Available: <https://theses.hal.science/tel-02443909v1/>.
- [9] K. K. Poloju, V. R. Naidu, C. R. Rollakanti, R. K. Manchiryal and A. Joe, «New method of data collection using the kobotoolbox», *Journal of Positive School Psychology*, Vol. 6, No. 4, p.1527-1535, 2022.  
[Online] Available: <https://www.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/3305>.
- [10] C. Hartung, A. Lerer, Y. Anokwa, C. Tseng, W. Brunette and G. Borriello, «Open data kit: tools to build information services for developing regions», In Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Information and Communication Technologies and Development (ICTD '10), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 18, p.1-12, 2010. [Online] Available: <https://doi.org/10.1145/2369220.2369236>.
- [11] Brunette, W. and Hartung, C., *The Open Data Kit Project*, In: Madon, T., Gadgil, A.J., Anderson, R., Casaburi, L., Lee, K., Rezaee, A. (eds), Introduction to Development Engineering. Springer, Cham., 2023.  
[Online] Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86065-3\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86065-3_23).
- [12] L. M. Délicat-Loembet, J. Mezui-Me-Ndong, T. M. Mboro, L. Sicas, U. Bisvigou, J. Koko, R. Ducrocq et J.-P. Gonzalez, «Neonatal Screening of Sickle Cell Disease in Gabon : A Nationwide Study», *Journal of Neonatal Biology*, Volume 11, Issue 11, p.1-7; 2022. [Online] Available: <https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/neonatal-screening-of-sickle-cell-disease-in-gabon-a-nationwide-study-116006.html>.
- [13] L. M. Délicat-Loembet, E. Elguero, C. Arnathau, P. Durand, B. Ollomo, S. Ossari, J. Mezui-Me-Ndong, T. Mbang Mboro, P. Becquart, D. Nkoghe, E. Leroy, L. Sica, J.-P. Gonzalez, F. Prugnolle et F. Renaud, «Prevalence of the sickle cell trait in Gabon: a nationwide study», *Infection, Genetics and Evolution : Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics in Infectious Diseases*, 25, p.52-56, 2014. [Online] Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24727548>.
- [14] D. Diallo et G. Tchernia, «Sickle cell disease in Africa», *Current Opinion in Hematology*, 92, p.111-116, 2022. [Online] Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11844993>.
- [15] D. R. Rotimbo Mbourou, «Collecte de données de terrain au sein d'une ONG: utilisation du logiciel KoBoToolbox», *NGO Sickle Cell Disease Organization of Gabon (SCDOGa)*, les 14 et 28/02/2023 (1ère et 2ème session de formation), Franceville, Gabon. [Online] Available: <https://hal.science/hal-04085784>.
- [16] ODK, Centre d'aide. [Online] Available: <https://docs.getodk.org> (date d'accès 2023/11/06).
- [17] KoBoToolbox a 2023. Centre d'aide. [Online] Available: <https://support.kobotoolbox.org> (date d'accès 2023/11/06).
- [18] KoBoToolbox b 2023, Centre d'aide. [Online] Available: <https://community.kobotoolbox.org> (date d'accès 2023/11/06).
- [19] J. Koko, F. Kani, A. Reymond-Yeni, G. Onewin-Andjanga, A. Moussavou et D. Gahouma, «Infections bactériennes chez l'enfant drépanocytaire à Libreville», *Archives de Pédiatrie*, 6. p.1131-1132, 1999. 10.1016/S0929-693X00 86994-8, 1999.

## Novel benzophenone and xanthenes from leaves and root bark of *Salacia nitida* (Benth.) N.E. Br.

Assamala NOBA<sup>1,2</sup>, Akoua Philomène KOUASSI-YAO<sup>4</sup>, Zachée Louis Evariste AKISSI<sup>2</sup>, Sandrine COJEAN<sup>5</sup>, Soulaf SUYYAGH-ALBOUZ<sup>5</sup>, Sébastien Pomell<sup>6</sup>, Philippe M. LOISEAU<sup>5</sup>, Kouassi Pierre Alain KONAN<sup>1</sup>, Kouamé Jean Michel KOFFI<sup>6</sup>, Alexandre MACIUK<sup>3</sup>, Anoubilé BENIE<sup>1</sup>, and Yao Denis N'DRI<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie BioOrganique et de Substances Naturelles, UFR Sciences Fondamentales et Appliquées, Université Nangui ABROGOUA, 02 BP 801, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>BioEcoAgro Joint Cross-Border Research Unit 1158, Univ. Lille, INRAE, Univ. Liège, UPJV, JUNIA, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>3</sup>Equipe «Chimie des substances naturelles» BioCis, Univ. Paris-Saclay, 5 rue J.-B. Clément, 92290 Châtenay-Malabry, France

<sup>4</sup>Université de San Pedro, BP V1800 San Pedro, Côte d'Ivoire

<sup>5</sup>Equipe «Chimiothérapie antiparasitaire» BioCIS, Univ. Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, 5 rue J.-B. Clément, 92290 Châtenay-Malabry, France

<sup>6</sup>Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de Yamoussoukro, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

<sup>7</sup>Laboratoire de Biochimie Alimentaire et de Technologies des Produits Tropicaux (LBATPT), UFR Sciences et Technologies des Aliments, Université Nangui ABROGOUA, 02 BP 801, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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:** *Salacia* species are widely used in traditional medicine for the treatment of several pathologies such as diabetes, liver disorders and skin infections. In Africa, *Salacia nitida* is used for its beneficial effects against typhoid fever and malaria. However, despite the many traditional uses of this plant, few chemical studies have been carried out on this species. Our study aims to extract, isolate and identify phytochemicals from the leaves and root bark of *S. nitida* and evaluate their biological potential. Extraction by successive maceration followed by flash chromatography allowed the isolation of five compounds whose structures were elucidated by spectroscopic techniques (NMR and HRMS) and by comparison with literature data. These are two benzophenones, 4'-hydroxy-2,4,6-trimethoxybenzophenone (1) and 4'-hydroxy-2,4,6-trimethoxyphenone- $\beta$ -D-glucopyranose (2), from leaves, and three xanthenes, salacin A (3), salacin B (4) and mangiferin 5 from the root bark of *Salacia nitida*. Compounds 1 and 5 are already known in the literature. All crude extracts and compounds 1 and 2 were evaluated for their antitrypanosomal activity. Some extracts showed a significant effect on *Trypanosoma brucei gambiense*.

**KEYWORDS:** *Salacia nitida*, phytochemicals, antiprotozoal, *Trypanosoma brucei gambiense*.

### 1 INTRODUCTION

The genus *Salacia* (Celastraceae) has approximately 200 species found in South America, Asia and Africa [1]. In many countries, species of this genus are used in traditional medicine for the treatment of several pathologies such as diabetes, malaria and skin infections [2], [3], [4]. Previous phytochemical works reported pentacyclic triterpenoids [5], [6]. Flavonoids [7], [8], saponin [9], [10], xanthones, benzophenones [11], and thiosugarsulfoniums [12], [13] from *Salacia* species. Their secondary metabolites showed variety of biological activities such as antidiabetic, antimicrobial, and antiplasmodial [11], [14], [15]. The species *Salacia nitida* (Benth.) N.E. Br. commonly in Nigeria under the name Akorkon or Enyim ocha, is a medicinal plant used for the treatment of typhoid fever and malaria. Indeed, previous studies have shown that extracts of this plant possess antiprotozoal and antidiabetic activities [16], [17], [18], [19].

With a view to searching for new bioactive compounds, extracts of *S. nitida* were explored with a view to isolating new molecules and evaluating their biological activities. The investigations focused on the products from the leaves and bark of the roots of *Salacia*

*nitida*. Five compounds were isolated and identified, two benzophenones (compounds **1** and **2**), three xanthenes (compounds **3**, **4** and **5**), including two compounds (**1** and **5**) already known. These compounds were characterized by spectroscopy methods. All extracts and isolated compounds (**1** and **2**) were evaluated for their antiprotozoal activity against *Trypanosoma brucei gambiense*. Here we report the isolation, structure elucidation and antitrypanosomal activity of these extracts, compounds **1** and **2**.

## **2 MATERIAL AND METHODS**

### **2.1 GENERAL EXPERIMENTAL PROCEDURES**

Optical rotations were obtained at 25°C on a Polar 32 polarimeter. UV spectra were recorded at 25°C on a Jasco J-810 spectropolarimeter. The NMR spectra were recorded on a Bruker AM-300 (300 MHz), AM-400 (400 MHz), and AM-600 (600 MHz) (Bruker, Karlsruhe, Germany) equipped with a microprobe TXI 1.7 mm. NMR spectrometers were calibrated using solvent residual signals as references. Analytical HPLC runs were carried out using an Agilent LC-MS system consisting of an Agilent 1260 Infinity HPLC hyphenated with an Agilent 6530 ESI-Q-TOF-MS operating in positive polarity. Silica 330 and 24 g Grace cartridges were used for flash chromatography using an Armen instrument spot liquid chromatography flash apparatus. Sunfire® preparative C18 columns (150 x 4.6 mm, i. d. 5 µm, Waters) were used for preparative HPLC separations using a Waters Delta Prep (Waters Co., Milford, MA, USA) consisting of a binary pump (Waters 2525) and a UV-visible diode array detector (190–600 nm, Waters 2996).

### **2.2 PLANT MATERIAL**

Whole *S. nitida* plants were collected in the Azito area of Abidjan in July 2019. The botanical identification was carried out by Professor MALAN Djah François, from the Nangui ABROGOUA University, Abidjan, Côte d'Ivoire. During four weeks, the collected leaves and root bark were dried in the shade at 25 °C in the laboratory and powdered (250 µm) using an electric grinder.

### **2.3 EXTRACTION AND PURIFICATION OF COMPOUNDS**

#### **2.3.1 COMPOUNDS 1 AND 2**

The dried leaves of *Salacia nitida* (650 g) were chopped and extracted successively by maceration with petroleum ether (3 x 2 L, 24 h each), dichloromethane-methanol (1: 1 v/v, 2 x 2 L, 24 h each) and methanol-water (1: 1 v/v, 2 x 2 L, 24 h each) at room temperature to give a 6.5 g, 46 g and 50 g extracts respectively after the removal of the solvent. The dichloromethane-methanol (46 g) extract was partitioned between biphasic system heptane/acetone/water (103: 85: 12, v / v / v) to give corresponding extracts. The upper extract was submitted to flash chromatography using a Silica 330 g Grace cartridge. The rate of flow was 100 mL/min, and the mobile phases were cyclohexane, AcOEt, MeOH and water. The steps of the gradient are as follows: 100 % cyclohexane to 100 % AcOEt at 30 min, 100 % AcOEt to 100 % mixture AcOEt-MeOH (9: 1) at 30 min, and to mixture AcOEt-MeOH (9: 1) to 100 % mixture AcOEt-MeOH-Water (5: 4: 1) at 30 min. Fraction F5 gave 1 g of 4'-hydroxy-2,4,6-trimethoxybenzophenone (compound **1**). The purification of fraction F6 (0.45 g) by repeated flash chromatography reverse-phase (C18, ACN-H<sub>2</sub>O + 0.1% AF, gradient), gave compound **2** (145 mg).

#### **2.3.2 COMPOUNDS 3, 4 AND 5**

The dried root bark of *Salacia nitida* was pulverized. The plant powder (1 kg) was macerated extracted at room temperature with a mixture of dichloromethane-methanol (1: 1 v/v) (2 x 3 L for 24 hours) and methanol-water (1: 1 v/v, 2 x 3 L, 24 h each). The extract obtained (10 g) was subjected to flash chromatography using a column of 120 g of silica with a gradient of ACN / H<sub>2</sub>O (10 to 100%) to 85mL / min to give 16 fractions (F1-16), according to their TLC profiles. Flash chromatography in normal phase was carried out on the F8 fraction (473 mg) to give five subfractions (F81-F85). The F85 fraction (62 mg) was selected and taken by preparative HPLC separation using a gradient of ACN-H<sub>2</sub>O with 0.1% formic acid (10 to 30%) to give the products compound **3** (1.8 mg), mangiferin **5** (2.5 mg) and compound **4** (1.6 mg).

### **2.4 ANTITRYPANOSOMIAL ACTIVITY**

The extracts and products were evaluated in vitro on blood forms of *Trypanosoma brucei gambiense* (strain FéoITMAP/1893), responsible for Human African trypanosomiasis. The parasites were maintained in HMI9 medium whose composition consisted of Dulbecco's medium modified by Iscove (Gibco, BRL) supplemented with 36 mM NaHCO<sub>3</sub>, 1 mM hypoxanthine, 0.08 mM bathocuproin, 0.16 mM thymidine, 0.2 mM 2-mercaptoethanol, 1.5 mM L-cysteine, 10% heat-inactivated fetal bovine serum, 100 IU penicillin and 100 µg/mL streptomycin [20].

Two-fold serial dilutions of the compounds were made in 100 µL of HMI9 medium in 96-well microplates. Parasites were then added to each well (200 µL of a suspension at 4104 cells/mL). After 72 h of incubation at 37°C in 5% CO<sub>2</sub>, 20 µL of 450 µM resazurin was added

to each well and incubated further for 6 h at 37°C in 5% CO<sub>2</sub>. In living cells, resazurin is reduced to resorufin. This conversion is monitored by measuring the absorbance at specific wavelengths of resorufin (570 nm) and resazurin (600 nm) using a Multiskan MS microplate reader (Labsystems, France). The activity of the compounds was expressed as IC<sub>50</sub>. Pentamidine di-isethionate was used as a reference compound [20].

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

From the leaves and the roots of *Salacia nitida*, two benzophenones (**1** and **2**) and three xanthone (**3**, **4** and **5**), were isolated respectively and structurally characterized.

#### 3.1.1 COMPOUNDS 1 AND 5

The analysis of the spectroscopic data of compounds **1** and **5** (Table 1), by comparison with those of the literature, allowed to identify these compounds, as being 4'-hydroxy-2,4,6-trimethoxybenzophenone (**1**) and mangiferin (**5**) (Fig.1), structures already known [11].

Table 1. NMR spectroscopic data for compounds **1** and **5** in CD<sub>3</sub>OD and DMSO-d<sub>6</sub> respectively (δ in ppm)

Atoms	<b>1</b>		Atoms	<b>5</b>	
	δ <sub>H</sub> m (J in Hz)	δ <sub>C</sub>		δ <sub>H</sub> m (J in Hz)	δ <sub>C</sub>
C=O	-	194.2	<b>1</b>	-	161.7
<b>1</b>	-	111.3	<b>2</b>	-	107.4
<b>2, 6</b>	-	158.8	<b>3</b>	-	163.5
<b>3, 5</b>	6.16 s	91.0	<b>4</b>	6.35 s	93.2
<b>4</b>	-	162.5	<b>4a</b>	-	156.1
<b>1'</b>	-	131.7	<b>5</b>	6.75 s	102.0
<b>2', 6'</b>	7.56 d (8.78)	132.8	<b>6</b>	-	151.4
<b>3', 5'</b>	6.82 d (8.78)	115.4	<b>7</b>	-	144.2
<b>4'</b>	-	160.6	<b>8</b>	7.31 s	106.8
<b>2-O-CH<sub>3</sub></b>	3.67 s	56.0	<b>8a</b>	-	110.4
<b>4-O-CH<sub>3</sub></b>	3.85 s	55.6	<b>9</b>	-	178.7
<b>6-O-CH<sub>3</sub></b>	3.67 s	56.0	<b>9a</b>	-	101.2
			<b>10a</b>	-	151.4
<b>Glycosyl group of 4</b>					
			<b>1'</b>	4.6 d (7.6)	73.1
			<b>2'</b>	2.34 m	70.6
			<b>3'</b>	3.19 m	78.8
			<b>4'</b>	4.02 t (9.5)	70.2
			<b>5'</b>	3.15 m	81.5
			<b>6'</b>	3.4 dd (12.4, 2.2) 3.68 dd (12.4, 5.3)	61.4

The chemical structures of compounds **1** and **5** are shown below (Fig.1).

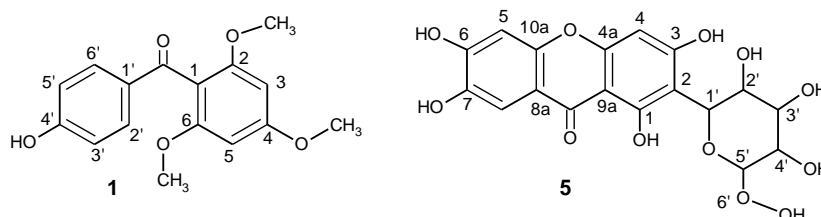


Fig. 1. Chemical structures of compounds **1** - **5** isolated from *Salacia nitida*.

### 3.1.2 COMPOUNDS 2

Compound **2** was isolated as a pale-yellow amorphous powder with the molecular formula  $C_{22}H_{26}O_{10}$ . Its chemical structure was established based on HR-ESI-MS with  $^1H$  NMR and  $^{13}C$  NMR spectra.

A signal at  $m/z$  451.1608  $[M + H]^+$  (calcd. for  $C_{22}H_{26}O_{10}$  554.1250) and 289.1608  $[M + \text{hexose} + H]^+$  corresponded to typical *O*-glucoside terminal to be  $C_{22}H_{26}O_{10}$  from the protonated molecular ion  $[M + H]^+$  at  $m/z$  451.1608 (calcd. for  $C_{22}H_{26}O_{10}$  554.1250) in the HR-ESI mass spectrum (Fig.2). The presence of the ketone functionality was supported by the  $^{13}C$  NMR signal at  $\delta_c$  194.2 (Fig.3). In the  $^1H$  NMR spectrum (Fig.4), the aromatic signals at  $\delta_H$  6.29 (2H, s, H-3 and H-5) and the signals at  $\delta_H$  7.72, (2H, *d*,  $J = 8.95$  Hz, H-2' and H-6') and 7.12, (2H, *d*,  $J = 8.95$  Hz, H-3' and H-5') were assigned to a 1,2,4,6-tetrasubstituted B ring and a 4'-monosubstituted A ring, respectively. A characteristic doublet signal of an anomeric proton with a large coupling constant ( $J = 7.62$  Hz) at  $\delta_H$  5.04 and the remaining  $^1H$  and  $^{13}C$  NMR data of the sugar unit indicated the presence of a  $\beta$ -glucose moiety. Finally, two singlets' signals at  $\delta_H$  3.87 (3H, s) and 3.68 (6H, s) revealed the presence of three methoxyl substitutions. The position of the methoxyl groups and glucose was determined by the HMBC correlations. The  $^{13}C$  and DEPT NMR spectroscopic data showed 6 carbon signals assignable to  $\beta$ -glucopyranose [**21**], [**22**]. Of the remaining 16 signals; 12 carbons are most likely to constitute the trisubstituted and monosubstituted aromatic rings. One forms a carbonyl function due to its chemical shift ( $\delta_c$  194.2) and the one remaining indicates the presence of a methoxyl groups. The  $^{13}C$  NMR and 2D NMR (COSY, HMBC, HSQC and NOESY) (Fig.5-8) signals indicated that the trisubstituted aromatic ring B ( $\delta_c$  158.8, 158.8 and 162.5) is substituted with three methoxyl, respectively and that the aromatic ring A is substituted with a glucosyl moiety ( $\delta_c$  160.6). The aromatic rings A and B are normally expected to be linked with a carbonyl group ( $\delta_c$  194.2). HMBC correlations of compound **2** indicated that the glucosyl group was linked from the C<sub>4</sub>-OH position.

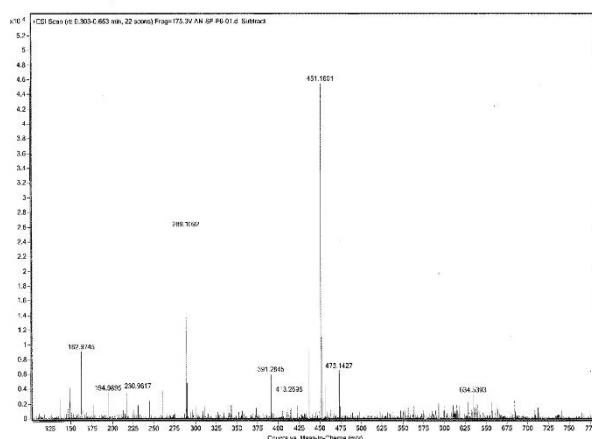


Fig. 2. HR-ESI-MS spectrum of compound 2

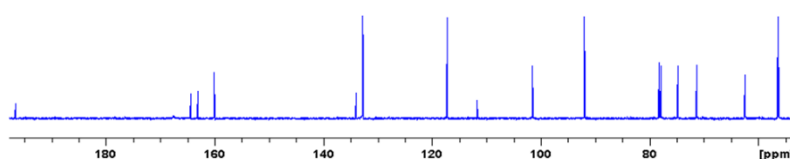


Fig. 3.  $^{13}C$  NMR (100 MHz,  $CDCl_3$ ) spectrum of compound 2

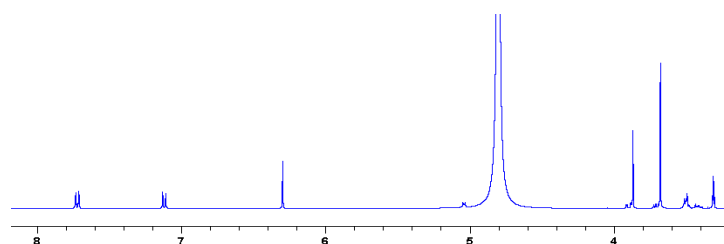
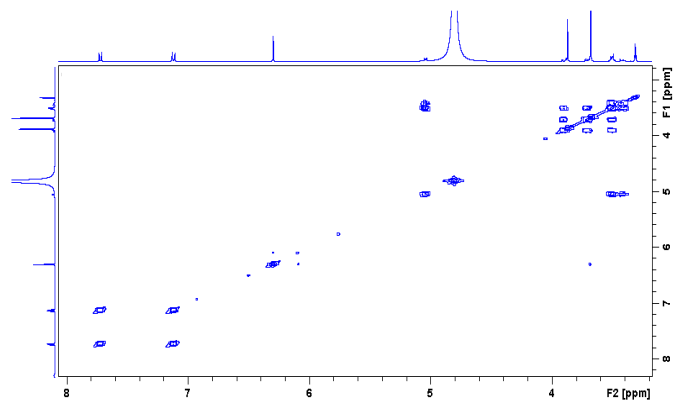
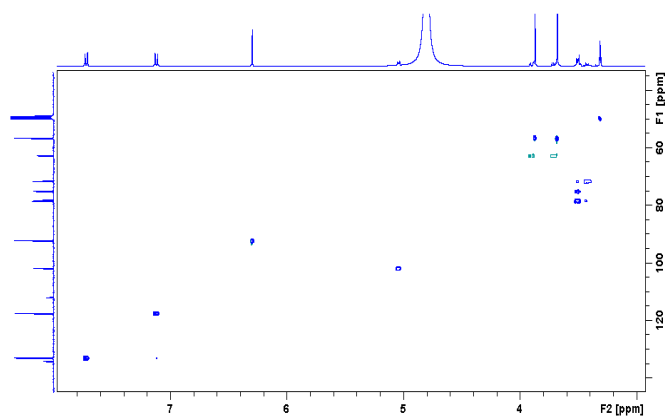


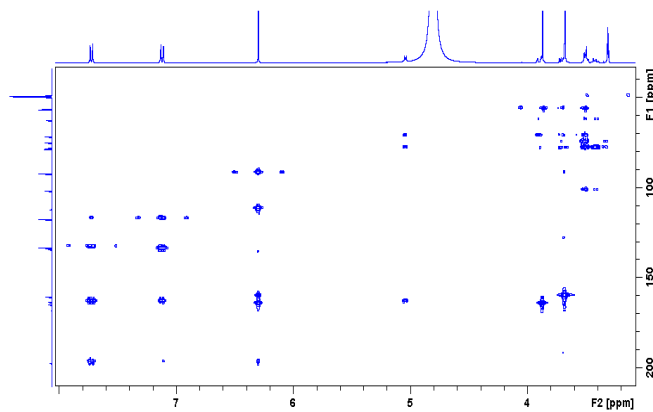
Fig. 4.  $^1H$  NMR (400 MHz,  $CDCl_3$ ) spectrum of compound 2



**Fig. 5.** COSY spectrum of compound 2



**Fig. 6.** HSQC spectrum of compound 2



**Fig. 7.** HMBC spectrum of compound 2

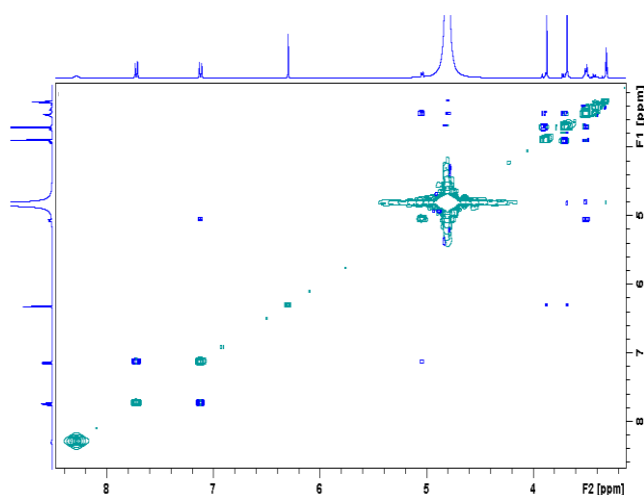


Fig. 8. NOESY spectrum of compound 2

The  $^1\text{H}$  NMR and  $^{13}\text{C}$  NMR spectral data are grouped in Table 2.

Table 2. NMR spectroscopic data for compound 2 in  $\text{CDCl}_3$  ( $\delta$  in ppm)

Atoms	$\delta_{\text{H}}$ ( $J$ in Hz)	$\delta_{\text{C}}$
C=O	-	194.2
1	-	111.6
2, 6	-	158.8
3, 5	6.29 <i>s</i>	91.9
4	-	162.5
1'	-	133.9
2', 6'	7.72 <i>d</i> (8,95)	132.6
3', 5'	7.12 <i>d</i> (8,95)	117.1
4'	-	160.6
2-O-CH <sub>3</sub>	3.68 <i>s</i>	56.3
4-O-CH <sub>3</sub>	3.87 <i>s</i>	56.1
6-O-CH <sub>3</sub>	3.68 <i>s</i>	56.3
1''	5.04 <i>d</i> (7,62)	101.5
2''	3.50 <i>m</i>	74.7
3''	3.52 <i>m</i>	77.8
4''	3.42 <i>m</i>	71.3
5''	3.48 <i>m</i>	78.1
6''	3.70 <i>dd</i> (12.6, 5.54) 3.89 <i>dd</i> (12.16, 2.05)	62.4

Based on the above evidences this compound was expected to be a glucopyranoside of a benzophenone derivative and elucidated as a new natural product, 4'-hydroxy-2,4,6-trimethoxyphenone- $\beta$ -D-glucopyranose (Fig.9).

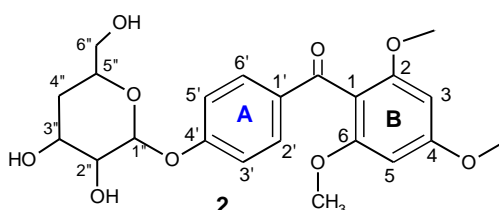


Fig. 9. Chemical structure of compound 2

### 3.1.3 COMPOUNDS 3 AND 4

**Compound 3:** Salacin A or 1,3,6,7-tetrahydroxy-xanthone-2-C- $\beta$ -D-xylopyranosyl- (1 $\rightarrow$ 2) - $\beta$ -D-glucopyranoside

Salacin A (1,3,6,7-tetrahydroxy-xanthone-2-C- $\beta$ -D-xylopyranosyl- (1 $\rightarrow$ 2) - $\beta$ -D-glucopyranoside (**3**) was obtained as a yellow powder, and its chemical structure was established based on HR-ESI-MS with  $^1\text{H}$  NMR and  $^{13}\text{C}$  NMR spectra (Fig.10-16). Its molecular formula was deduced to be  $\text{C}_{24}\text{H}_{27}\text{O}_{15}$  from HR-ESI-MS ( $m/z$  555.1316 [ $\text{M}+\text{H}$ ] $^+$ ) (Fig.10). The  $^1\text{H}$  NMR spectrum of **3** (Fig.11) contained resonances for two anomeric protons [ $\delta_{\text{H}}$  4.95 (1H, d,  $J = 10.4$  Hz) and 4.3 (1H, d,  $J = 7.17$  Hz)] and three uncoupled aromatic protons ( $\delta_{\text{H}}$  6.34, 6.82, and 7.46) (Table 3). All these data suggested **3** to be a xanthone glycoside with a disubstituted **A** ring and a trisubstituted **B** ring. The NMR data of **3** were similar to those of mangiferin [**23**] except that the signals associated the presence of a xylose moiety [**21**], [**22**]. In the HMBC spectrum of **3** (Fig.15), the xylose anomeric proton at  $\delta_{\text{H}}$  4.3 correlated with the resonance for C-2' ( $\delta_{\text{C}}$  82.1) of the glucosyl residue, and the glucosyl anomeric proton at  $\delta_{\text{H}}$  4.95 correlated with the resonances for C-2 ( $\delta_{\text{C}}$  107.6), C-1 ( $\delta_{\text{C}}$  164.7), and C-3 ( $\delta_{\text{C}}$  165.5) of the aglycone. Combining this information with the analysis of the chemical shift of the anomeric carbon of the glucosyl moiety ( $\delta_{\text{C}}$  73.6), **3** was deduced to be a xanthone C-glycoside, with the sugar chain located at C-2 of the aglycone. Thus, **3** was defined as **Salacin A**.

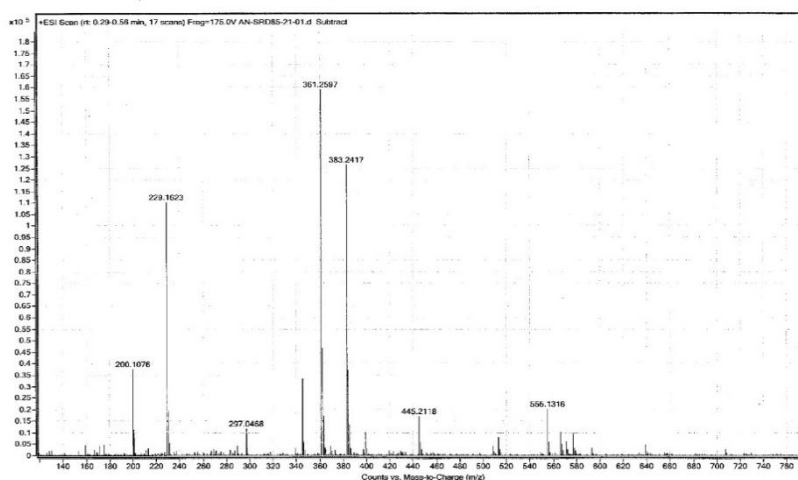


Fig. 10. HR-ESI-MS spectrum of compound 3

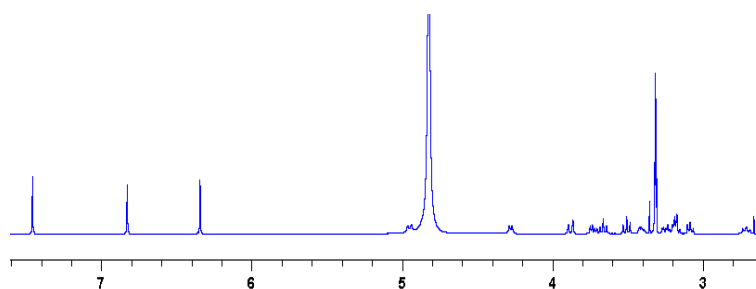


Fig. 11.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) spectrum of compound 3

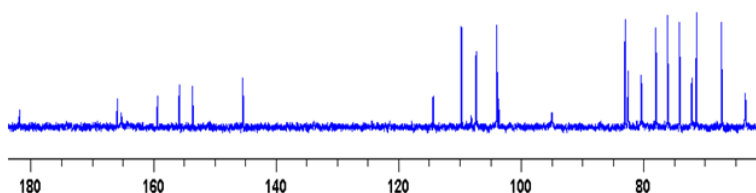


Fig. 12.  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) spectrum of compound 3

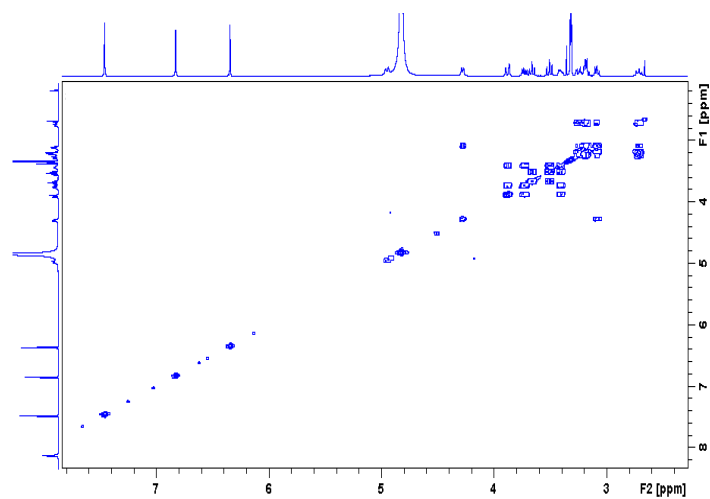


Fig. 13. COSY spectrum of compound 3

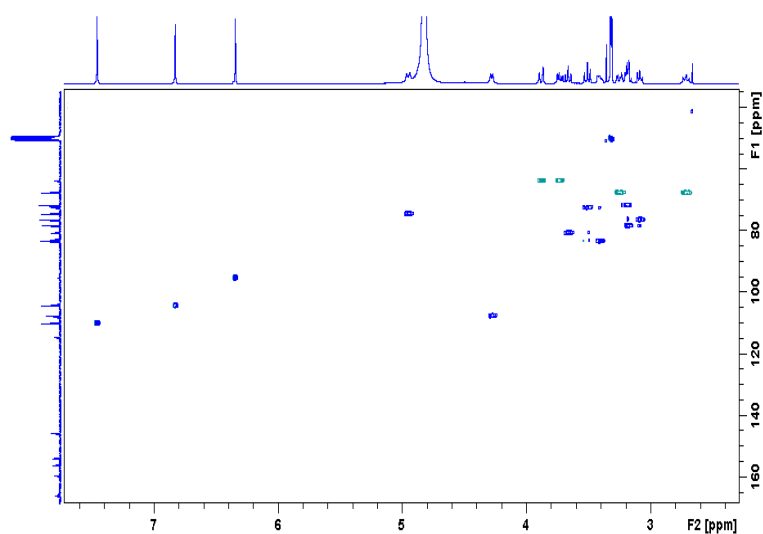


Fig. 14. HSQC spectrum of compound 3

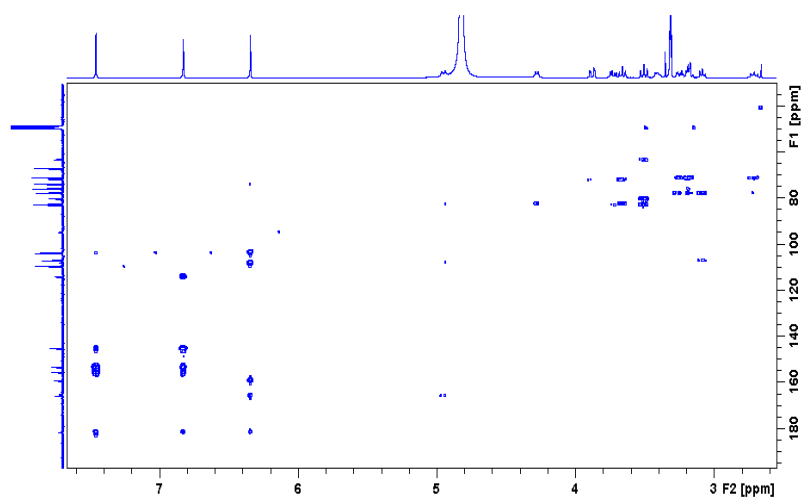


Fig. 15. HMBC spectrum of compound 3

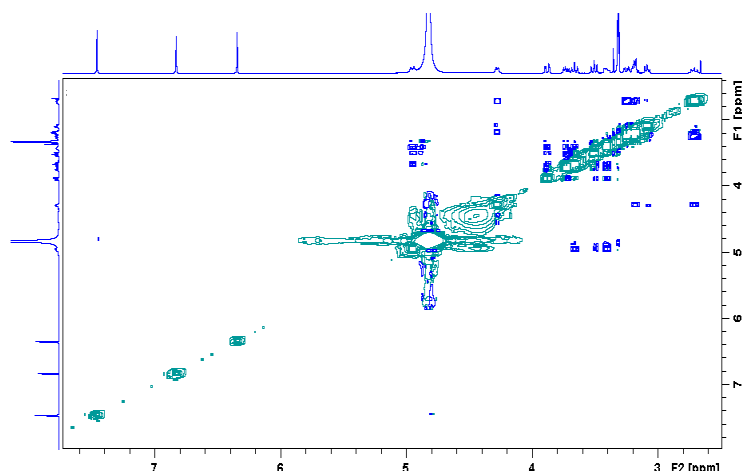


Fig. 16. NOESY spectrum of compound 3

#### Compound 4: Salacin B

Salacin B (**4**) was obtained as light-yellow powder, and its chemical structure was established based on HR-ESI-MS with  $^1\text{H}$  NMR and  $^{13}\text{C}$  NMR spectra (Fig.17-28). Its molecular formula was determined to be  $\text{C}_{19}\text{H}_{17}\text{O}_{10}$  by HR-ESI-MS ( $m/z$  405.0657,  $[\text{M}+\text{H}]^+$  calcd for  $\text{C}_{19}\text{H}_{17}\text{O}_{10}$ , 405.0671), and  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopic data (Table 2), indicated 12 degrees of unsaturation. The  $^1\text{H}$  NMR spectrum of **4** demonstrated the resonances for three aromatic protons [ $\delta_{\text{H}}$  6.01, 6.32, 6.88 (each 1H, s)], four oxygenated methylene protons [ $\delta_{\text{H}}$  3.45 (1H, d,  $J = 11.74$  Hz, H-5'b),  $\delta_{\text{H}}$  3.16 (1H, d,  $J = 11.74$  Hz, H-5'a),  $\delta_{\text{H}}$  2.92 (1H, d,  $J = 16.22$  Hz, H-6'b),  $\delta_{\text{H}}$  2.41 (1H, d,  $J = 16.22$  Hz, H-6'a)], and three oxygenated methine protons [ $\delta_{\text{H}}$  3.32 (1H, m),  $\delta_{\text{H}}$  3.37 (1H, m),  $\delta_{\text{H}}$  3.29 (1H, m)]. The  $^{13}\text{C}$  NMR spectrum of **4** exhibited 19 carbons resonances comprising one keto carbonyl carbon ( $\delta_{\text{C}}$  180.6), six  $\text{sp}^2$  oxygenated tertiary carbons ( $\delta_{\text{C}}$  156.7, 165.0, 157.1, 151.7, 144.7, 150.8), three  $\text{sp}^2$  quaternary carbons ( $\delta_{\text{C}}$  106.1, 110.1, 102.5), three  $\text{sp}^2$  methine carbons ( $\delta_{\text{C}}$  89.1, 101.9, 106.6), one  $\text{sp}^3$  oxygenated tertiary carbon ( $\delta_{\text{C}}$  115.3), three  $\text{sp}^3$  oxygenated methine carbons ( $\delta_{\text{C}}$  70.1, 68.8, 69.7), one  $\text{sp}^3$  oxygenated methylene carbon ( $\delta_{\text{C}}$  66.1) and one  $\text{sp}^3$  methylene carbon ( $\delta_{\text{C}}$  34.7). The HMBC (Fig. 21) correlations from H-5 to C-6/C-7/C-8a, and H-8 to C-10a/C-7/C-9 indicated the linkage of two benzene rings via (4a, O, 10a) -ether bond forming a xanthone skeleton. The relative configuration of **4** was established on the basis for the NOESY spectrum, which showed NOE correlations of H-5'a/H-3', H-2'/H-4', and H-2'/H-6a'. Thus, the structure and the absolute configuration of **salacin B** was defined.

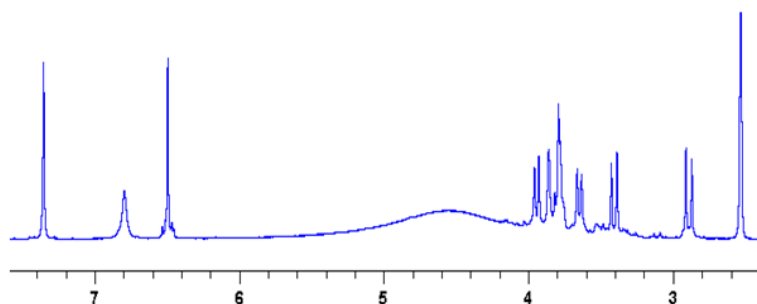


Fig. 17.  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{DMSO-d}_6$ ) spectrum of compound 4

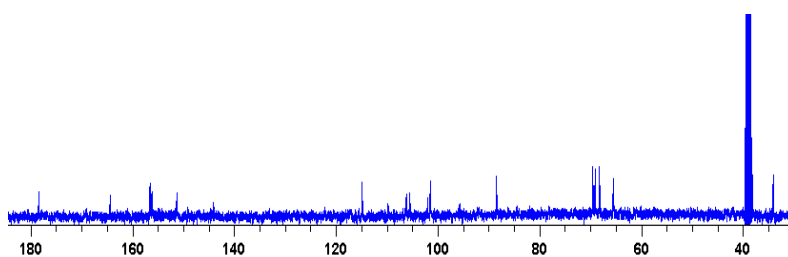


Fig. 18.  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{DMSO-d}_6$ ) spectrum of compound 4

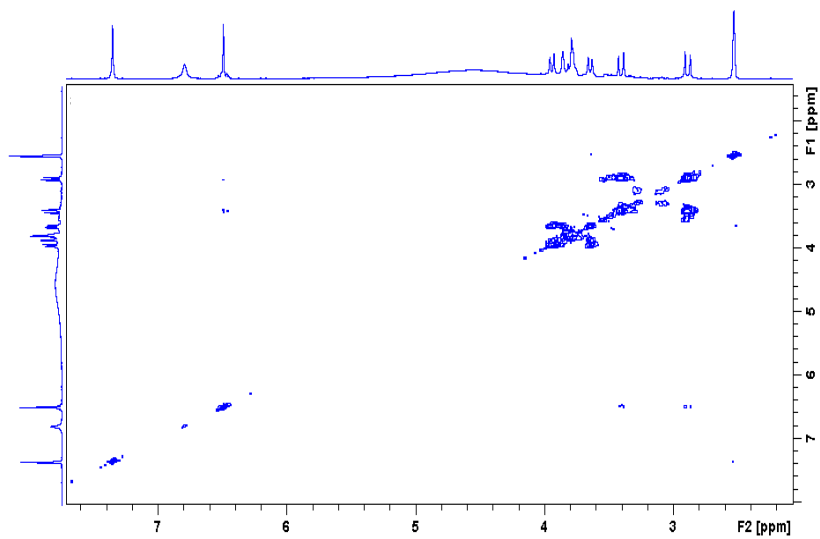


Fig. 19. COSY spectrum of compound 4

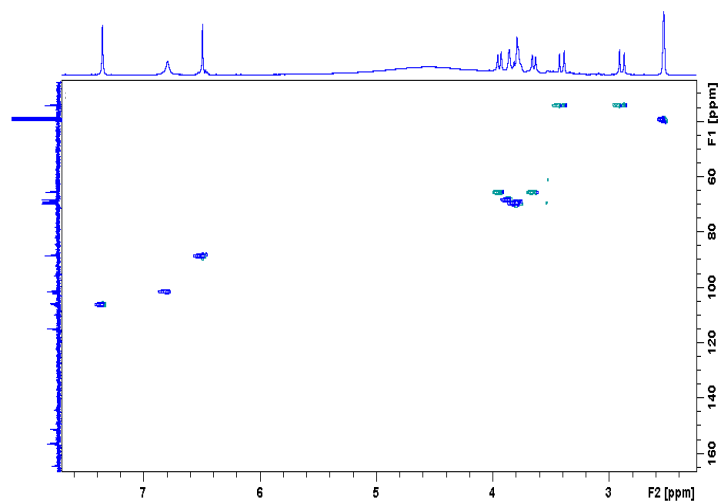


Fig. 20. HSQC spectrum of compound 4

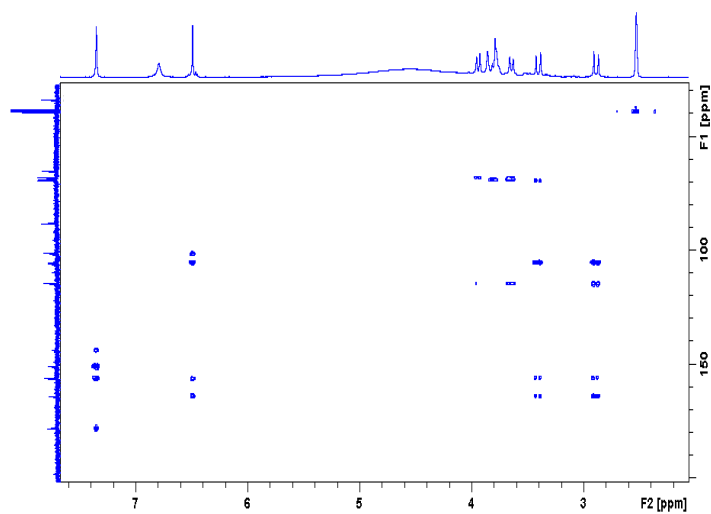


Fig. 21. HMBC spectrum of compound 4

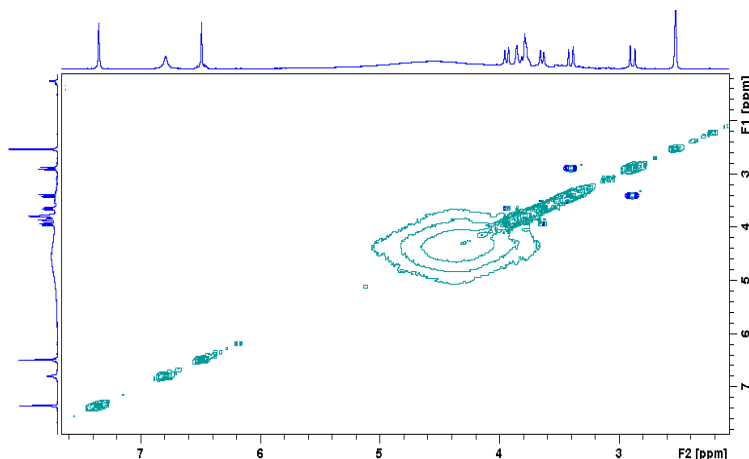


Fig. 22. NOESY spectrum of compound 4

Table 3. NMR spectroscopic data for compounds 3-4 in CD<sub>3</sub>OD and DMSO-d<sub>6</sub> respectively ( $\delta$  in ppm)

Atoms	3	
	$\delta_{Hm}$ (J in Hz)	$\delta_c$
1	-	164.7
2	-	107.6
3	-	165.5
4	6.34 s	94.5
4a	-	158.9
5	6.82 s	103.9
6	-	153.1
7	-	145.0
8	7.46 s	109.3
8a	-	114.0
9	-	181.1
9a	-	103.6
10a	-	155.3
1'	4.95 d (10.4)	74.0
2'	4.42 m	82.1
3'	3.65 t (8.95)	80.3
4'	3.5 t (9.4)	71.7
5'	3.39 m	82.6
6'	3.73 dd (11.3, 5.2) 3.87 dd (11.3, 2.24)	61.3
1''	4.3 d (7.17)	106.9
2''	3.08 t (7.22)	75.9
3''	3.18 m	77.9
4''	3.19 m	70.9
5''	2.70 t (11.1) 3.23 dd (11.1, 5.1)	66.8

Atoms	4	
	$\delta_{Hm}$ (J in Hz)	$\delta_c$
1	-	156.2
2	-	105.5
3	-	164.4
4	6.50 s	88.4
4a	-	156.6
5	6.79 s	102.0
6	-	144.2
7	-	156.2
8	7.35 s	106.2
8a	-	109.8
9	-	178.5
9a	-	101.5
10a	-	149.2
6'	2.89 d (16.05) 3.41 d (16.05)	34.1
1'	-	114.9
2'	3.79 m	69.6
3'	3.80 m	69.2
4'	3.86 m	68.3
5'	3.65 d (11.74) 3.95 d (11.74)	65.6

The chemical structures of salacin **A** and **B** were defined as shown in Figure 23.

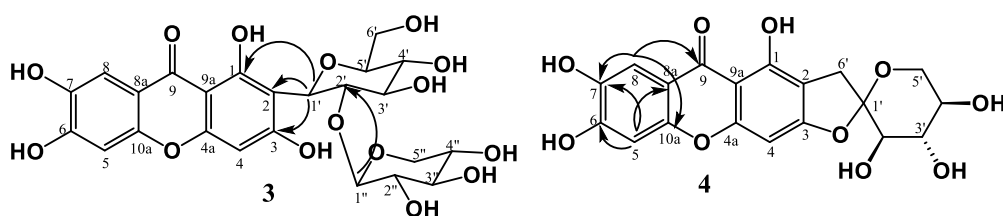


Fig. 23. Chemical structures of salacin A and B

#### 4 ANTITRYPANOSOMIAL ACTIVITY

All extracts and compounds **1-2**, were evaluated for their antitrypanosomal activity on *Trypanosoma brucei gambiense* (Table 4).

Table 4. *In vitro* antitrypanosomal activity of all extracts and compounds 1-2

Extracts and compounds	<i>Trypanosoma brucei gambiense</i> IC <sub>50</sub> ± SD, (µg/mL)
SFE	8.85 ± 0.31
SFD	25.46 ± 4.41
SFM	87.06 ± 3.67
SRD	91.21 ± 9.72
SRM	2.08 ± 0.12
<b>1</b>	17.49 ± 1.23
<b>2</b>	71.50 ± 6.12
Pentamidine	<b>0.0004±0.00007(0.0012±0.0002 µM)</b>

**SFE:** Petroleum ether extract from *S. nitida* leaves; **SFD:** Dichloromethane-methanol (50: 50) extract from *S. nitida* leaves; **SFM:** Methanol-water (50: 50) extract from *S. nitida* leaves; **SRD:** Dichloromethane-methanol (50: 50) extract from the root bark of *S. nitida*; **SRM:** Methanol-water (50: 50) extract from the root bark of *S. nitida*

Two extracts demonstrated antitrypanosomal with an IC<sub>50</sub> < 10 µg/mL. SFE and SRM extracts were active on *Trypanosoma brucei gambiense* (8.85 ± 0.31 and 2.08 ± 0.12 µg/mL, respectively). Compounds **1-2** were, however, inactive on *Trypanosoma brucei gambiense*.

#### 5 CONCLUSION

Three new phenolic compounds, 4'-hydroxy-2,4,6-trimethoxyphenone-β-D-glucopyranose and two salacins **A** and **B**, as well as two known polyphenols (**1** and **5**), were isolated from the leaves and the bark of the roots of *S. nitida*. Two were from benzophenone and three from xanthone. This is the second report of benzophenone and xanthone from *S. nitida*. Evaluation of the biological potential of pure crude extracts showed good antitrypanosomal activity. Additional studies will be necessary to isolate and identify the main active molecules of this plant.

#### ACKNOWLEDGMENT

We thank the managers of the Bio-Organic Chemistry and Natural Substances (LCBOSN) laboratories of Nangui Abrogoua University (UNA) and Chemistry of Natural Substances UMR CNRS 8076 BioCIS, Faculty of Pharmacy Paris-Saclay University (France), within which this work was carried out.

#### REFERENCES

- [1] Santos, J.P. dos, Oliveira, W.X.C., Vieira-Filho, S.A., Pereira, R.C., Souza, G.F. de, Gouveia, V.A., Sabino, A. de P., Evangelista, F.C., Takahashi, J.A., Moura, M.A., 2020. Phytochemical and biological studies of constituents from roots of *Salacia crassifolia* (CELASTRACEAE). *Química Nova* 43, 558–567. doi.org/10.21577/0100-4042.20170520.
- [2] Rodrigues, V.G., Duarte, L.P., Silva, R.R., Silva, G.D., Mercadante-Simões, M.O., Takahashi, J.A., Matildes, B.L., Fonseca, T.H., Gomes, M.A., Vieira Filho, S.A., 2015. *Salacia crassifolia* (Celastraceae): chemical constituents and antimicrobial activity. *Química Nova* 38, 237–242. doi.org/10.5935/0100-4042.20150001.

- [3] Morikawa, T., Ninomiya, K., Tanabe, G., Matsuda, H., Yoshikawa, M., Muraoka, O., 2021. A review of antidiabetic active thiosugar sulfoniums, salacinol and neokotalanol, from plants of the genus *Salacia*. *Journal of natural medicines* 75, 449–466. <https://doi.org/10.1007/s11418-021-01522-0>.
- [4] Carneiro, C.C., Vêras, J.H., Góes, B.R., Pérez, C.N., Chen-Chen, L., 2017. Mutagenicity and antimutagenicity of *Salacia crassifolia* (Mart. Ex. Schult.) G. Don. evaluated by Ames test. *Brazilian journal of biology* 78, 345–350. [doi.org/10.1590/1519-6984.166593](https://doi.org/10.1590/1519-6984.166593).
- [5] Nizer, W.S. da C., Ferraz, A.C., Moraes, T. de F.S., Lima, W.G., Santos, J.P. dos, Duarte, L.P., Ferreira, J.M.S., de Brito Magalhães, C.L., Vieira-Filho, S.A., Andrade, A.C. dos S.P., Rodrigues, R.A.L., Abrahão, J.S., Magalhães, J.C. de, 2021. Pristimerin isolated from *Salacia crassifolia* (Mart. Ex. Schult.) G. Don. (Celastraceae) roots as a potential antibacterial agent against *Staphylococcus aureus*. *Journal of Ethnopharmacology* 266, 113423. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113423>.
- [6] Da Silva, F.M.A., Paz, W.H.P., Vasconcelos, L.-S.F., da Silva, A.L.B., da Silva-Filho, F.A., de Almeida, R.A., de Souza, A.D.L., Pinheiro, M.L.B., Koolen, H.H.F., 2016. Chemical constituents from *Salacia impressifolia* (Miers) A. C. Smith collected at the Amazon rainforest. *Biochemical Systematics and Ecology* 68, 77–80. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.07.004>
- [7] Gomes, N.G.M., Oliveira, A.P., Cunha, D., Pereira, D.M., Valentão, P., Pinto, E., Araújo, L., Andrade, P.B., 2019. Flavonoid Composition of *Salacia senegalensis* (Lam.) DC. Leaves, Evaluation of Antidermatophytic Effects, and Potential Amelioration of the Associated Inflammatory Response. *Molecules* 24, 2530. <https://doi.org/10.3390/molecules24142530>.
- [8] Ferreira, P.G., Ferraz, A.C., Figueiredo, J.E., Lima, C.F., Rodrigues, V.G., Taranto, A.G., Ferreira, J.M.S., Brandão, G.C., Vieira-Filho, S.A., Duarte, L.P., 2018. Detection of the antiviral activity of epicatechin isolated from *Salacia crassifolia* (Celastraceae) against Mayaro virus based on protein C homology modelling and virtual screening. *Archives of virology* 163, 1567–1576. [doi.org/10.1007/s00705-018-3774-1](https://doi.org/10.1007/s00705-018-3774-1).
- [9] Gao, L., Duan, L.-K., Feng, J.-E., Jiang, Y.-T., Gao, J., Fan, J.-T., Dai, R., Jiang, Z.-Y., 2022. Four new triterpene glucosides from *Salacia cochinchinensis* Lour. *Natural Product Research* 36, 2292–2299. [doi.org/10.1080/14786419.2020.1830393](https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1830393).
- [10] You, H.-M., Zhao, J.-W., Jing, Y.-X., Zhang, J.-R., Wang, W., Jiang, Y.-T., Zuo, A.-X., Fan, J.-T., Zhang, L.-Z., Zhou, M., 2019. Bioactive glycosides from *Salacia cochinchinensis*. *Carbohydrate research* 484, 107777. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107777>.
- [11] Mba'ning, B., Ateba, J.E.T., Awantu, A.F., Amaral, L.S., Happi, G.M., Neumann, B., Stammner, G., Lenta, B., Ngouela, S.A., Malavazi, I., Tsamo, E., Sewald, N., Rodrigues-Filho, E., 2019. Chemical constituents from the leaves and liana of *Salacia nitida* (Benth.) N.E.Br. (Celastraceae) and their antimicrobial activities. *Trends in Phytochemical Research* 3, 83–90.
- [12] Akaki, J., Morikawa, T., Miyake, S., Ninomiya, K., Okada, M., Tanabe, G., Pongpiriyadacha, Y., Yoshikawa, M., Muraoka, O., 2014. Evaluation of *Salacia* Species as Anti-diabetic Natural Resources Based on Quantitative Analysis of Eight Sulphonium Constituents: A New Class of  $\alpha$ -Glucosidase Inhibitors. *Phytochemical Analysis* 25, 544–550. <https://doi.org/10.1002/pca.2525>.
- [13] Stohs, S.J., Ray, S., 2015. Anti-diabetic and Anti-hyperlipidemic Effects and Safety of *Salacia reticulata* and Related Species. *Phytother Res* 29, 986–995. <https://doi.org/10.1002/ptr.5382>.
- [14] Paarakh, P.M., Patil, L.J., Thanga, S.A., 2008. Genus *Salacia*: A Comprehensive Review. *Journal of Natural Remedies* 8.
- [15] Rodrigues, V.G., Duarte, L.P., Silva, R.R., Silva, G.D., Mercadante-Simões, M.O., Takahashi, J.A., Matildes, B.L., Fonseca, T.H., Gomes, M.A., Vieira Filho, S.A., 2015. *Salacia crassifolia* (Celastraceae): chemical constituents and antimicrobial activity. *Química Nova* 38, 237–242. [doi.org/10.5935/0100-4042.20150001](https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150001).
- [16] Nwiloh, B., Uwakwe, A., Akaninwor, J., 2019. Biochemical effects of ethanolic extract from root bark of *Salacia nitida* L. benth in *Plasmodium berghei*-malaria infected mice. *American Journal of Physiology, Biochemistry and Pharmacology* 9, 1. <https://doi.org/10.5455/ajpbp.20181114070448>.
- [17] Ogbonna, D., Sokari, T., Agomuo, A., 2008. Antimalarial Activities of Some Selected Traditional Herbs from South Eastern Nigeria Against *Plasmodium* Species. *Research Journal of Parasitology* 3, 25–31. <https://doi.org/10.3923/jp.2008.25.31>.
- [18] Dooka, B., Ezejiofor, A., 2017. Antidiabetic and Cytoprotective Effect of Ethanolic Extract of *Salacia Nitida* Root on Alloxan-Induced Diabetic Rats. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences* 12, 87–93. <https://doi.org/10.9790/3008-1201038793>.
- [19] Zawua, C.I., Kagbo, H., 2018. Anti-Diabetic Properties of the Root Extracts of *Salacia nitida* Benth on Alloxan Induced Diabetic Rats. *European Journal of Medicinal Plants* 24, 1–15. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2018/41430>.
- [20] Pomel, S., Dubar, F., Forge, D., Loiseau, P.M., Biot, C., 2015. New heterocyclic compounds: synthesis and antitrypanosomal properties. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 23, 5168–5174. [doi.org/10.1016/j.bmc.2015.03.029](https://doi.org/10.1016/j.bmc.2015.03.029)
- [21] Agrawal, P.K., 1992. NMR Spectroscopy in the structural elucidation of oligosaccharides and glycosides. *Phytochemistry, The International Journal of Plant Biochemistry* 31, 3307–3330. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(92\)83678-R](https://doi.org/10.1016/0031-9422(92)83678-R).
- [22] Bock, K., Pedersen, C., 1983. Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy of Monosaccharides, in: Tipson, R.S., Horton, D. (Eds.), *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*. Academic Press, pp. 27–66. [https://doi.org/10.1016/S0065-2318\(08\)60055-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2318(08)60055-4).
- [23] Young Kim, C., Ahn, M.-J., Kim, J., 2006. Preparative isolation of mangiferin from *Anemarrhena asphodeloides* rhizomes by centrifugal partition chromatography. *Journal of liquid chromatography & related technologies* 29, 869–875. [doi.org/10.1080/10826070500531391](https://doi.org/10.1080/10826070500531391).

## Effet de la dose de Glyphosate sur les caractéristiques chimiques du sol: Cas de quatre Commune rurale de le Préfecture de N'Zérékoré

### [ Effect of Glyphosate Dose on Soil Chemical Characteristics: Case of Four Rural Communes in the Prefecture of N'Zérékoré ]

*Paul Lamah<sup>1,2</sup>, Hamidou Bah<sup>1,4</sup>, Adoté Hervé Gildas Akueson<sup>4</sup>, Gbadieu Prosper Soumaoro<sup>2</sup>, Aminata Camara<sup>1</sup>, Nicole Gobéza Kolamou<sup>1</sup>, and Diawadou Diallo<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Ecole doctorale en Agriculture Durable et Gestion des Ressources en Eau, Institut Supérieur Agronomique Valéry Giscard d'Estaing de Faranah, BP: 131 Faranah, Guinea

<sup>2</sup>Département de Gestion des Ressources Naturelles, Institut de Recherche Environnementale de Bossou, BP: 20 Lola, Guinea

<sup>3</sup>Département de Primatologie, Institut de Recherche Environnementale de Bossou, BP: 20 Lola, République de Guinea

<sup>4</sup>Département Agriculture, Institut Supérieur Agronomique Valéry Giscard d'Estaing de Faranah, BP: 131 Faranah, Guinea

Copyright © 2024 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 study examines the impact of glyphosate doses on the chemical characteristics of soils in four rural communes of the N'Zérékoré Prefecture in Guinea. The objective is to analyze the variations in pH, cation exchange capacity (CEC), and nutrient levels ( $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $CaO$ , and  $Na_2O$ ) following the application of different glyphosate doses. A complete randomized block design was used, and soil samples were analyzed to determine the agronomic and environmental impacts of this herbicide. The results indicate that the application of high doses of glyphosate significantly affects the pH and CEC, leading to soil acidification and a reduction in its ability to retain nutrients. These observations highlight the importance of managing glyphosate doses to maintain soil health and the sustainability of agricultural practices.

**KEYWORDS:** Glyphosate, soil chemical properties, Guinea, sustainable agriculture.

**RESUME:** L'étude examine l'impact des doses de glyphosate sur les caractéristiques chimiques des sols dans quatre communes rurales de la préfecture de N'Zérékoré en Guinée. L'objectif est d'analyser les variations du pH, de la capacité d'échange cationique (CEC) et des niveaux de nutriments ( $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $CaO$  et  $Na_2O$ ) après l'application de différentes doses de glyphosate. Un dispositif en blocs aléatoires complets a été utilisé, et des échantillons de sol ont été analysés pour déterminer les impacts agronomiques et environnementaux de cet herbicide. Les résultats indiquent que l'application de doses élevées de glyphosate affecte significativement le pH et la CEC, entraînant une acidification du sol et une réduction de sa capacité à retenir les nutriments. Ces observations soulignent l'importance de gérer les doses de glyphosate pour maintenir la santé des sols et la durabilité des pratiques agricoles.

**MOTS-CLEFS:** Glyphosate, propriétés chimiques du sol, Guinée, agriculture durable.

## 1 INTRODUCTION

Dans un contexte agricole où l'optimisation des rendements et la réduction des coûts de production sont des préoccupations majeures, l'utilisation d'herbicides a connu une augmentation significative. Parmi eux, le glyphosate, un herbicide systémique, est devenu l'un des plus utilisés à l'échelle mondiale, principalement en raison de son efficacité dans le contrôle des mauvaises herbes (Kobta et al., 2020). Toutefois, l'usage intensif de ce produit chimique soulève des questions quant à ses effets sur l'environnement, notamment sur les caractéristiques physico-chimiques des sols, qui sont cruciales pour la santé des écosystèmes et la durabilité de l'agriculture.

Les sols jouent un rôle fondamental dans le cycle des nutriments et la production alimentaire. Leur composition chimique détermine non seulement la fertilité, mais également la biodiversité et la résilience des écosystèmes (Assogbadjo et al., 2009). Des études antérieures ont mis en évidence que l'application de glyphosate peut altérer les propriétés chimiques du sol, notamment le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), et les niveaux de macronutriments (Ernest et al., 2020). Ces modifications peuvent avoir des répercussions à long terme sur la productivité des cultures, la qualité de l'eau, et la santé des sols, soulevant ainsi des préoccupations concernant la sécurité alimentaire et la durabilité des pratiques agricoles.

Le pH du sol est un indicateur critique de sa santé et de sa fertilité. Une acidification du sol peut entraîner une disponibilité réduite de nutriments essentiels tels que le calcium et le potassium (Adjakpa et Akpo, 2008). Plusieurs études ont montré que l'application de glyphosate peut entraîner une baisse du pH, ce qui pourrait compromettre la croissance des plantes et l'activité microbienne. Par exemple, une étude menée par Ataguba et al. (2020) a révélé que des doses élevées de glyphosate augmentaient l'acidité du sol, affectant négativement la disponibilité des nutriments. Ces résultats soulignent l'importance de surveiller le pH du sol dans les systèmes agricoles utilisant cet herbicide.

La capacité d'échange cationique (CEC) est un autre indicateur clé de la fertilité du sol. Elle mesure la capacité du sol à retenir et à échanger des cations, essentiels pour la croissance des plantes (Adjakpa et al., 2013). Les études indiquent que l'application de glyphosate peut modifier la CEC, influençant ainsi la disponibilité des nutriments. Par exemple, Abegaz (2022) a constaté que l'application répétée de glyphosate entraînait une diminution significative de la CEC, compromettant la capacité du sol à retenir les nutriments essentiels. Cela pourrait avoir des implications directes sur la productivité agricole, car une CEC réduite entraîne une perte de nutriments par lessivage et une fertilité réduite.

En outre, les niveaux de nutriments tels que le potassium ( $K_2O$ ), le phosphore ( $P_2O_5$ ), et le calcium ( $CaO$ ) sont également affectés par l'utilisation du glyphosate. Des études montrent que cet herbicide peut réduire la disponibilité de ces nutriments, influençant ainsi la croissance et le développement des cultures (Azonnakpo et al., 2020). Par exemple, une recherche menée par Anum et al. (2021) a démontré que les applications de glyphosate entraînaient une diminution des niveaux de  $K_2O$  dans le sol, ce qui a des conséquences sur la croissance des plantes. De plus, le calcium, qui est crucial pour la structure du sol et la santé des racines, peut également être compromis par l'utilisation de glyphosate.

Les conséquences de l'utilisation du glyphosate ne se limitent pas à la fertilité du sol; elles ont également des implications pour la biodiversité et la santé des écosystèmes. L'application de glyphosate peut perturber les communautés microbiennes du sol, essentielles pour le cycle des nutriments et la décomposition de la matière organique (Adla et al., 2022). Des études indiquent que l'exposition au glyphosate peut réduire la diversité microbienne, affectant ainsi la santé globale du sol. Par exemple, une étude de Omokhodion et al. (2021) a révélé que les sols traités avec du glyphosate présentaient une diminution significative de la diversité microbienne, ce qui pourrait compromettre la capacité du sol à se régénérer et à soutenir la croissance des plantes.

L'importance d'étudier les effets du glyphosate sur les caractéristiques chimiques du sol est donc cruciale. D'une part, cela permettra de mieux comprendre les impacts environnementaux de l'utilisation de cet herbicide et, d'autre part, d'orienter les pratiques agricoles vers des méthodes plus durables. Alors que la pression pour maximiser les rendements agricoles continue de croître, il est essentiel de trouver un équilibre entre l'utilisation d'herbicides et la préservation de la santé du sol.

Cette étude vise à fournir des données empiriques sur les effets des différentes doses de glyphosate sur les caractéristiques chimiques du sol, notamment le pH, la capacité d'échange cationique, et les niveaux de nutriments tels que  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $CaO$  et  $Na_2O$ . En examinant ces variables, nous espérons contribuer à une meilleure compréhension des implications agronomiques et environnementales de l'utilisation du glyphosate, tout en fournissant des recommandations pratiques pour une gestion durable des sols.

## 2 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été conduite dans quatre communes rurales (CR) de la Préfecture de N'Zérékoré (Konipara de la CR de Kobéla, Kwèliyépoulou dans la CR de Samoé, Kéréma dans la CR de Bounouma et Pilimou un secteur périurbain de la ville de N'Zérékoré) comme l'indique la Figure 1.

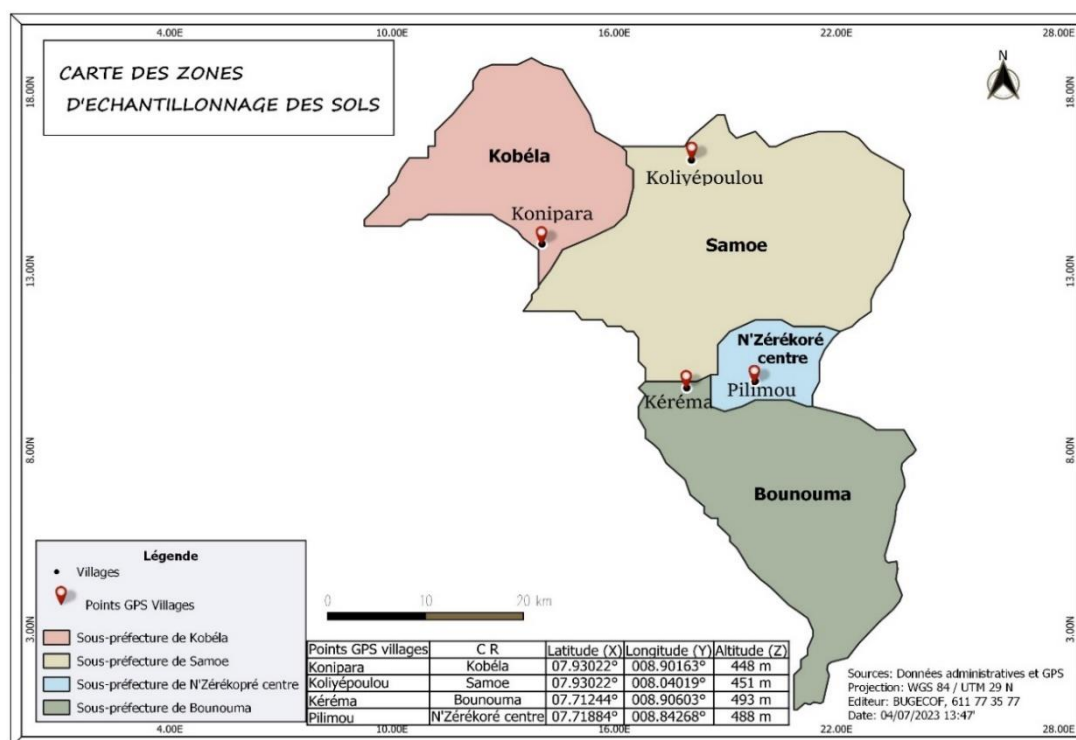


Fig. 1. Zone de prises d'échantillons dans la Préfecture de N'Zérékoré

Le climat de la zone d'étude est de type subéquatorial avec des précipitations abondantes et quasi régulières tout le long de l'année (environ 8 à 9 mois). La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1800 et 2300 mm. La température est donc modérée tout le long de l'année et oscille autour de 25°C.

La forêt dense humide favorise la formation et la conservation des sols ferrallitiques peu profonds et relativement épais. Cette région est le domaine des cultures vivrières et des cultures industrielles (café, cacao, kola, palmier à huile, hévéa,...). Son écosystème donne lieu à trois systèmes de mise en valeur agricole:

- Le système vivrier de coteaux sur brûlis fondé sur la riziculture pluviale base de l'alimentation de la population locale, associée aux cultures alimentaires secondaires (gombo, piment, oseille, taro.) en rotation avec l'arachide et le manioc.
- Les systèmes agroforestiers complexes dénommés par la suite « agro forêts », sont constitués de cultures pérennes comprenant une spéculation principale (café, kola, palmier à huile et cacao), associée à des cultures pérennes secondaires (fruitiers) et sont conduits sous un couvert forestier de composition variée.
- Le système de culture de bas-fond constitue le domaine de la riziculture inondée.

Une analyse de ces sols sur l'horizon 0-30 cm donne les caractéristiques suivantes (Tableau 1).

These are the manuscript preparation guidelines used as a standard template. Author must follow these instructions and ensure that the manuscript is carefully aligned with these guidelines including headings, figures, tables and references. Manuscripts with poor or no typesetting are not preliminary approved and consider for review.

### 2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Pour la réalisation de l'essai, nous avons d'abord et inventoriés les adventices dans les palmerais des sites expérimentaux de konipara dans la CR de Kobéla, de kwèliyépoulou dans la CR de Samoei, de Kéréma dans la CR de Bounouma, et de Pilimou dans la commune urbaine de N'Zérékoré et nous avons procédé ainsi qu'il suit le géo référencement des zones d'échantillonnage de sols.

**Tableau 1. Caractéristiques physiques et agrochimiques des sols étudiés**

Paramètres	Sol des coteaux	Sol de basfond
Matière organique (%)	1,25	2,75
C total (mg/g)	0,52	0,77
N total (mg/g)	0,5	0,12
P total (mg/g)	0,11	0,6
pH eau	6,4	7,25
pH KCl (meq/100g)	5,3	7,23
Ca++ (meq/100g)	0,63	0,42
Mg++ (meq/100g)	0,393	0,124
Na+ (meq/100g)	0,105	0,112
K+ (meq/100g)	0,012	0,13
Fe++ (meq/100g)	0,14	0,17

## 2.2 MATÉRIEL TECHNIQUE

Le GPS, Un ordinateur, la carte de la zone d'étude, Les pulvérisateurs (pulvérisateur à pression continue avec buse miroir à jet plat d'un conte d'une capacité de 450 l/ha, pulvérisateur, pulvérisateur pneumatique de 400 à 500 l/ha avec un débit réglable; les seaux, les sachets plastiques, les masques de protection individuelle Le pluviomètre, Un appareil Photo numérique, le chronomètre, le thermomètre, le mètre ruban, le fer à béton, fil et peinture Pinceaux, des manchettes, des dabas et pioches.

## 2.3 MATÉRIEL DE LABORATORIE

Les matériels que nous avons utilisés au laboratoire pour l'analyse des paramètres indicateurs de la fertilité des sols sont burette, auto analyseur, auto-analyseur colorimétrique, conductimètre, pH mètre.

## 3 METHODOLOGIE

### 3.1 MÉTHODOLOGIE DE COLLECTE DES DONNÉES

Les données ont été collectées à partir d'expérimentations sur le terrain, où les mesures des paramètres chimiques du sol ont été effectuées à différents intervalles de temps après l'application des traitements de glyphosate. Les données ont été enregistrées dans une base de données et nettoyées pour éliminer les valeurs aberrantes et les doublons. Une fois nettoyées, les données ont été regroupées par traitement pour faciliter l'analyse. Le dispositif expérimental est un BCR constitué de 3 blocs considérés comme les grandes parcelles et chaque bloc est composé de 12 pots plastiques considérés comme les parcelles élémentaires. Les blocs ont été installés sur une longueur de 19,25m pour une largeur de 5m. ils ont été consécutifs et distants de 1m l'un de l'autre. Les pots plastiques ou parcelles élémentaires de 25 cm de diamètre et de 35 cm de hauteur ont été remplis de 3 kg des échantillons composites de sols. Le dispositif ainsi monté a reçu les doses d'herbicides (Glyphosate) de concentration (50 ml/g) avec une dose normale (N), 2/3 de la dose normale (2/3N), 3/2 de la dose normale (3/2N) et le témoin (T) n'ayant reçu aucune dose du glyphosate. Deux semaines après ce traitement, nous avons fait des prélèvements des sols traités dans les sachets étiquetés conformément aux renseignements de de l'échantillon puis transportés au Laboratoire du Service National des Sols de République de Guinée (SENASOL, Guinée).

### 3.2 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES DONNÉES

Une analyse descriptive a été réalisée pour résumer les caractéristiques principales des données. Les statistiques descriptives, telles que les moyennes, les médianes, les écarts types et les plages de valeurs, ont été calculées pour chaque

groupe de traitement. Ces statistiques fournissent un aperçu général de la distribution des paramètres chimiques du sol au sein des différents traitements.

Pour évaluer les différences significatives entre les traitements, une analyse de variance (ANOVA) à un facteur a été effectuée. Cette méthode a été choisie en raison de sa capacité à comparer les moyennes de plusieurs groupes simultanément. L'hypothèse nulle stipule qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des différents traitements. Un seuil de signification de  $p < 0,05$  a été utilisé pour déterminer les différences significatives. En cas de résultat significatif dans l'ANOVA, des tests post-hoc ont été réalisés pour identifier les groupes spécifiques entre lesquels les différences étaient significatives. Les tests de Student-Newman-Keuls (SNK) ont été utilisés, car ils permettent de contrôler le taux d'erreur de type I tout en fournissant des comparaisons multiples entre les groupes.

## **4 RÉSULTATS**

### **• Potentiel hydrogène (pH) du Sol**

Le tableau ANOVA présente les résultats de l'analyse de la variance pour le pH en fonction de différentes variables: la dose de glyphosate, le type de sol et l'année. Le facteur \*Dose de Glyphosate\* a un effet significatif sur le pH, avec une valeur p de 0.0248, indiquant que les différentes doses de glyphosate influencent significativement le pH du sol. En revanche, les autres facteurs, à savoir le Type de sol\* ( $p = 0.8305$ ) et l'Année\* ( $p = 0.4307$ ), ne montrent pas d'effet significatif sur le pH, suggérant que les variations de pH ne sont pas liées au type de sol ou à l'année de mesure. De plus, l'interaction entre \*Dose\_Glyphosate\* et \*Type\_de\_sol\* n'est pas significative ( $p = 0.5910$ ), ce qui signifie que l'effet des doses de glyphosate sur le pH n'est pas influencé par le type de sol. (Tableau 2; Figure 2)

Le test de structuration de moyennes montre les différences de pH entre les différentes doses de glyphosate. Les comparaisons les plus significatives se trouvent entre la dose T (Taux total) et les doses 3/2N et N, où le pH est respectivement inférieur de 1,270 et 1,145, avec des valeurs p adj significatives de 0.02679 et 0.04298. Ces résultats suggèrent que l'application de glyphosate à pleine dose pourrait diminuer le pH par rapport aux doses 3/2N et N, indiquant une acidification potentielle du sol sous l'influence de doses plus élevées de glyphosate. En revanche, les autres comparaisons, telles que 3/2N vs 2/3N, N vs 2/3N, et T vs 2/3N, montrent des différences de pH qui ne sont pas significatives, ce qui indique que ces doses n'ont pas d'impact discernable sur le pH du sol.

Le test de SNK renforce ces conclusions en identifiant spécifiquement les différences significatives de pH entre les traitements, permettant de mieux comprendre l'impact de l'application de glyphosate. En conclusion, bien que la dose de glyphosate ait un effet significatif sur le pH, les autres facteurs étudiés n'ont pas montré de variations notables, soulignant l'importance de la gestion de la dose de glyphosate pour maintenir les caractéristiques chimiques du sol.

### **• Azote (N) assimilable**

L'analyse de variance (ANOVA) pour le Nass montre que le facteur \*Dose de Glyphosate\* a un effet hautement significatif sur le Nass, avec une valeur p de 0.000967, indiquant que les différentes doses influencent significativement cette variable. Le facteur \*Année\* a également un effet significatif ( $p = 0.029232$ ), suggérant que les mesures de Nass varient d'une année à l'autre. En revanche, le \*Type de Sol\* ( $p = 0.339608$ ) et l'interaction entre \*Dose de Glyphosate\* et \*Type de Sol\* ( $p = 0.164785$ ) ne sont pas significatifs, indiquant que ni le type de sol ni l'interaction entre les doses et le type de sol n'influencent significativement le Nass.

Le test de structuration SNK révèle des différences significatives de Nass entre certaines doses et années. En 2022, les doses \*2/3N\*, \*3/2N\*, \*N\*, et \*T\* ne montrent pas de différences significatives entre elles, mais en 2023, le Nass est plus élevé pour les doses \*2/3N\*, \*3/2N\*, et \*N\* par rapport à \*T\*. Le Nass pour la dose \*3/2N\* reste constant à 14 kg/ha sur les deux années, tandis que les autres doses montrent des variations entre les années, avec une augmentation de Nass en 2023 pour les doses \*2/3N\* et \*N\*. Cela suggère une interaction potentielle entre les doses de glyphosate et les conditions spécifiques à l'année, bien que cette interaction n'ait pas été significative dans l'ANOVA. (Tableau 1; Figure 1)

### **• Phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) assimilable**

L'analyse de la variance relative à l'effet des traitements de glyphosate, du type de sol, et de l'année sur la variable étudiée montre en premier lieu, le facteur \*Dose\_Glyphosate\* affiche une valeur p de 0.140, ce qui indique que les différentes doses de glyphosate n'ont pas un effet significatif sur la variable mesurée, suggérant qu'aucune dose particulière ne modifie de manière significative cette variable. Ensuite, le \*Type\_de\_sol\* présente également une valeur p élevée (0.385), ce qui signifie que le type de sol n'a pas d'impact significatif sur la variable étudiée. Cependant, le facteur \*Annee\* montre une valeur p de

0.027, ce qui est en dessous du seuil habituellement utilisé (0.05), indiquant que l'année a un effet significatif sur la variable mesurée. Cela suggère que des variations dans la variable peuvent être attribuées à des différences d'une année à l'autre. Enfin, l'interaction entre \*Dose\_Glyphosate\* et \*Type\_de\_sol\* ( $p = 0.503$ ) n'est pas significative, ce qui indique que l'effet des doses de glyphosate ne varie pas en fonction du type de sol. En somme, parmi les facteurs examinés, seule l'année semble avoir un impact significatif sur la variable mesurée, tandis que les doses de glyphosate et le type de sol n'ont pas d'effet notable. (Tableau 1; Figure 1)

#### • Potassum ( $K_2O$ ) assimilable

L'analyse de variance (ANOVA) pour le  $K_2O$  révèle que le facteur \*Dose de Glyphosate\* a un effet significatif sur les niveaux de  $K_2O$  dans le sol, avec une valeur  $p$  de 0.00847. Cela montre que les différentes doses de glyphosate influencent significativement les concentrations de  $K_2O$ . En revanche, ni le \*Type de Sol\* ( $p = 1.000$ ) ni l'\*Année\* ( $p = 0.64628$ ) n'ont un effet significatif sur le  $K_2O$ . De plus, l'interaction entre \*Dose de Glyphosate\* et \*Type de Sol\* ( $p = 1.000$ ) est également non significative, ce qui indique que l'effet des doses de glyphosate sur le  $K_2O$  est indépendant du type de sol. Le test de structuration des moyennes montre que la dose de \*3/2N\* a la concentration moyenne en  $K_2O$  la plus élevée (415,945 mg/kg), suivie de près par la dose \*N\* (370,125 mg/kg) et \*2/3N\* (303,150 mg/kg). Ces trois doses ne présentent pas de différences significatives entre elles. En revanche, la dose \*T\* (pleine dose) a une concentration significativement plus faible de  $K_2O$  (174,375 mg/kg), suggérant que des doses plus élevées de glyphosate peuvent réduire les niveaux de  $K_2O$  dans le sol. Ces résultats indiquent que les doses plus faibles à intermédiaires de glyphosate conservent mieux les niveaux de  $K_2O$  que la pleine dose. (Tableau 2; Figure 2)

#### • Capacité d'Échange Cationique (CEC)

L'analyse de variance (ANOVA) pour la Capacité d'Échange Cationique (CEC) montre que le facteur \*Dose de Glyphosate\* a un effet hautement significatif ( $p = 0.000423$ ), indiquant que les différentes doses de glyphosate influencent fortement la CEC du sol. En revanche, ni le \*Type de Sol\* ( $p = 1.000$ ) ni l'\*Année\* ( $p = 0.586758$ ) n'ont d'effet significatif sur la CEC, et l'interaction entre \*Dose de Glyphosate\* et \*Type de Sol\* ( $p = 1.000$ ) n'est pas non plus significative. Ces résultats suggèrent que les variations de la CEC sont exclusivement dues aux doses de glyphosate, sans interaction notable avec le type de sol ou l'année. (Tableau 2; Figure 2)

Le test de structuration SNK révèle des différences significatives de CEC entre les doses de glyphosate. La dose \*3/2N\* présente la CEC la plus élevée (7,91250 meq/100g), suivie de la dose \*N\* (6,73750 meq/100g) et de la dose \*2/3N\* (5,91875 meq/100g). La dose \*T\* (pleine dose) a la CEC la plus faible (5,02500 meq/100g), significativement inférieure aux autres. Ces résultats indiquent que l'application de doses plus élevées de glyphosate tend à réduire la capacité d'échange cationique, ce qui pourrait affecter la fertilité du sol.

#### • CaO

L'analyse de variance (ANOVA) pour le CaO montre que le facteur \*Dose de Glyphosate\* a un effet significatif sur les concentrations de CaO dans le sol, avec une valeur  $p$  de 0.009, indiquant que les différentes doses influencent de manière significative les niveaux de CaO. En revanche, ni le \*Type de Sol\* ( $p = 0.850$ ) ni l'\*Année\* ( $p = 0.585$ ) n'ont d'effet significatif sur le CaO, et l'interaction entre \*Dose de Glyphosate\* et \*Type de Sol\* ( $p = 1.000$ ) est également non significative. Cela suggère que l'effet des doses de glyphosate sur les niveaux de CaO est indépendant du type de sol et des années de mesure. (Tableau 1; Figure 1).

Le test de structuration SNK révèle que la dose \*3/2N\* a la plus forte concentration moyenne de CaO (734,40 mg/kg), suivie par les doses \*N\* (654,30 mg/kg) et \*2/3N\* (534,75 mg/kg), qui ne montrent pas de différences significatives entre elles. En revanche, la dose \*T\* (pleine dose) présente une concentration de CaO significativement plus faible (300,70 mg/kg). Ces résultats suggèrent que l'application de doses plus élevées de glyphosate réduit les concentrations de CaO dans le sol, ce qui pourrait avoir un impact sur la disponibilité du calcium, un élément essentiel pour la structure et la fertilité du sol. (Tableau 2; Figure 2)

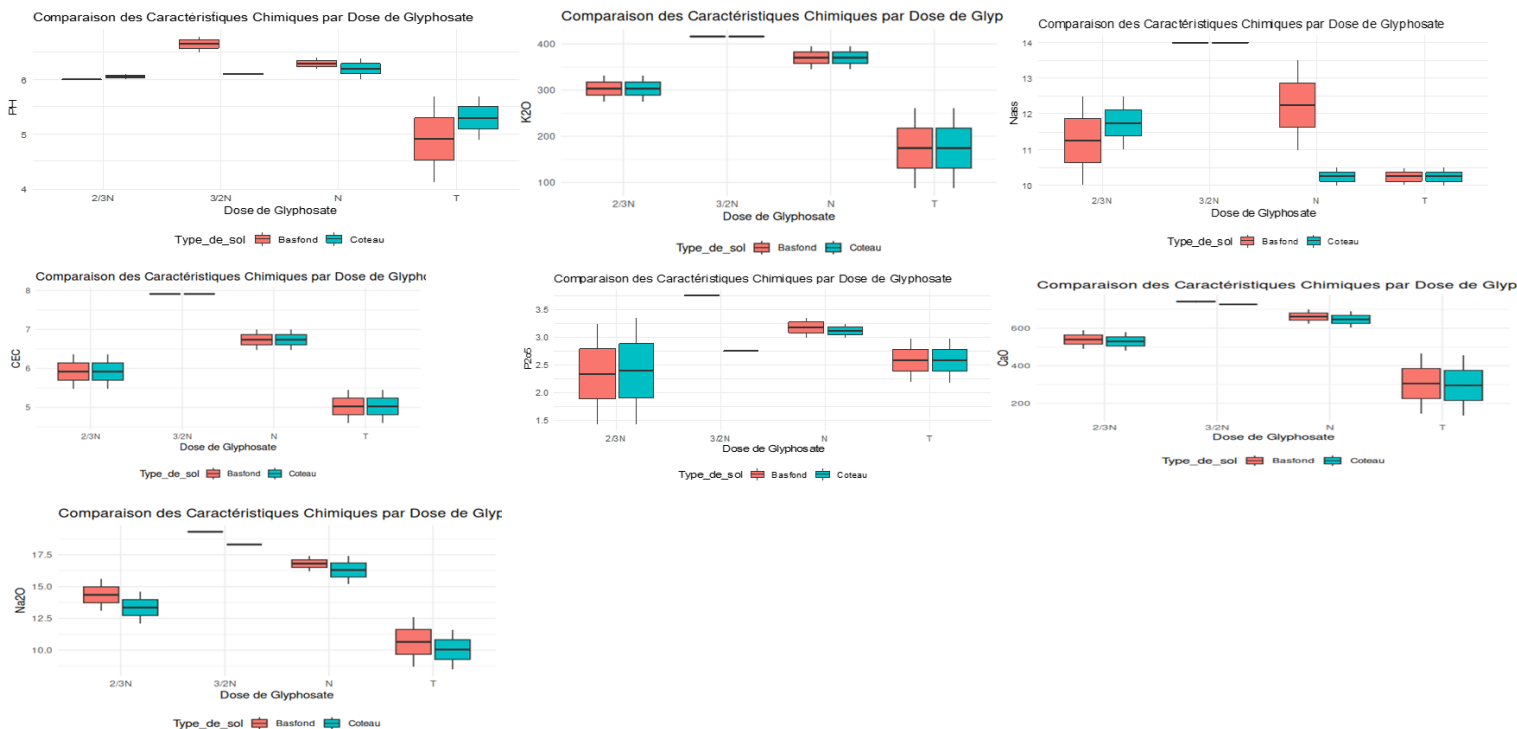
#### • $Na_2O$

L'analyse de variance (ANOVA) pour le  $Na_2O$  montre que le facteur \*Dose de Glyphosate\* a un effet significatif sur les concentrations de  $Na_2O$  dans le sol, avec une valeur  $p$  de 0.00133, indiquant que les différentes doses influencent de manière significative cette variable. En revanche, ni le \*Type de Sol\* ( $p = 0.40765$ ) ni l'\*Année\* ( $p = 0.84800$ ) n'ont d'effet significatif sur les niveaux de  $Na_2O$ , et l'interaction entre \*Dose de Glyphosate\* et \*Type de Sol\* ( $p = 0.99506$ ) est également non significative. Cela suggère que les variations observées dans les concentrations de  $Na_2O$  sont principalement dues aux doses de glyphosate appliquées, indépendamment du type de sol ou de l'année de mesure.

Le test de structuration SNK révèle que la dose \*3/2N\* entraîne la concentration de Na<sub>2</sub>O la plus élevée (18,80 mg/kg), suivie par la dose \*N\* (16,55 mg/kg), avec une différence non significative entre elles. En revanche, la dose \*2/3N\* (13,85 mg/kg) et la dose \*T\* (pleine dose) (10,35 mg/kg) montrent des concentrations significativement plus faibles, avec la dose \*T\* ayant la concentration la plus basse. Ces résultats suggèrent que l'augmentation des doses de glyphosate réduit les niveaux de Na<sub>2</sub>O, et que la pleine dose (T) a un impact plus prononcé sur la réduction de cette composante chimique du sol, ce qui pourrait affecter l'équilibre en sodium. (Tableau 2; Figure 2)

**Tableau 2. Synthèse des paramètres chimique en fonction de la glyphosate**

Année	Dose	pH (Moyenne ± Écart-type)	Nass (Moyenne ± Écart-type)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Moyenne ± Écart-type)	K <sub>2</sub> O (Moyenne ± Écart-type)	CEC (Moyenne ± Écart-type)	CaO (Moyenne ± Écart-type)	Na <sub>2</sub> O (Moyenne ± Écart-type)
2022	2/3N	6.025 ± 0.05a	10.5 ± 0.707a	2.457 ± 0.306b	303.150 ± 28.49a	5.91875 ± 0.10b	534.75 ± 0.12a	13.85 ± 0.12b
2022	3/2N	6.375 ± 0.34a	14 ± 0.1a	2.457 ± 0.306b	415.945 ± 32.56a	7.91250 ± 0.1a	734.40 ± 0.01a	18.80 ± 0.18a
2022	N	6.250 ± 0.19a	10.5 ± 0.707ab	2.457 ± 0.306b	370.125 ± 0.005a	6.73750 ± 1.2b	654.30 ± 0.02a	16.55 ± 0.28ab
2022	T	5.105 ± 0.76b	10 ± 0.01ab	2.457 ± 0.306b	174.375 ± 99.85b	5.02500 ± 13c	300.70 ± 1.2b	10.35 ± 0.82c
2023	2/3N	6.025 ± 0.05a	12.5 ± 0.01b	3.210 ± 0.81a	303.150 ± 28.49a	5.91875 ± 0.01b	534.75 ± 0.2a	13.85 ± 0.94b
2023	3/2N	6.375 ± 0.34a	14 ± 0.01b	3.210 ± 0.81a	415.945 ± 32.56a	7.91250 ± 0.1a	734.40 ± 2.3a	18.80 ± 1.28a
2023	N	6.250 ± 0.19a	12 ± 2.121b	3.210 ± 0.81a	370.125 ± 0.005a	6.73750 ± 0.12b	654.30 ± 0.9a	16.55 ± 0.15ab
2023	T	5.105 ± 0.76b	10.5 ± 0.01b	3.210 ± 0.81a	174.375 ± 99.85b	5.02500 ± 0.18c	300.70 ± 0.12b	10.35 ± 0.94c



**Fig. 2. Boxplot des paramètres chimiques en fonction des tarifications des doses de Glyphosate**

## 5 DISCUSSION

### • pH du sol

L'analyse de variance a révélé que le pH du sol est significativement influencé par la dose de glyphosate ( $p = 0.0248$ ), indiquant que des doses plus élevées peuvent acidifier le sol. Cette observation est cohérente avec les résultats de d'autres études qui ont montré que l'application de certains herbicides, y compris le glyphosate, peut affecter les propriétés acido-basiques du sol (Liu et al., 2019). Les études de Weaver, et al. (2007) soulignent également que l'acidification du sol peut nuire à la disponibilité des nutriments et à la santé globale des écosystèmes agricoles. En revanche, les facteurs Type de sol ( $p =$

0.8305) et Année ( $p = 0.4307$ ) n'ont pas montré d'effet significatif, suggérant que les variations de pH sont principalement attribuables à la gestion des doses de glyphosate.

- **Nass (Nutrient Availability)**

Les résultats ont montré que la dose de glyphosate a un effet hautement significatif sur le Nass ( $p = 0.000967$ ), indiquant que la disponibilité des nutriments est directement affectée par les traitements appliqués. De plus, le facteur Année ( $p = 0.029232$ ) a également un effet significatif, suggérant des variations interannuelles dans la disponibilité des nutriments, ce qui pourrait être attribué à des facteurs environnementaux tels que les conditions climatiques (Harrison et al., 2018). Les différences observées en 2023, où le Nass est plus élevé pour les doses de glyphosate 2/3N, 3/2N, et N par rapport à T, soulignent l'importance d'un dosage approprié pour maintenir la fertilité du sol.

- **P2O5 (Phosphate)**

L'analyse a montré que la Dose de glyphosate ( $p = 0.140$ ) et le Type de sol ( $p = 0.385$ ) n'ont pas d'effet significatif sur les niveaux de P2O5. Cependant, l'Année ( $p = 0.027$ ) a un impact notable, ce qui indique que la disponibilité du phosphore peut varier selon les années. Des études antérieures, comme celle de Barrios et al. (2021), indiquent que le phosphore est souvent sujet à des variations saisonnières et annuelles, influencées par des facteurs environnementaux et de gestion. Les résultats suggèrent que, bien que les doses de glyphosate n'affectent pas directement le P2O5, la gestion des nutriments doit tenir compte des variations annuelles.

- **K<sub>2</sub>O (Potassium)**

Le K<sub>2</sub>O a montré une réponse significative à la dose de glyphosate ( $p = 0.00847$ ), avec des niveaux plus élevés associés aux doses 3/2N et N. Cette observation est corroborée par les résultats de Zhang et al. (2019), qui indiquent que l'application d'herbicides à des concentrations spécifiques peut affecter la libération de potassium dans le sol. Les concentrations plus faibles observées dans le traitement T (pleine dose) pourraient être attribuées à une absorption plus rapide des nutriments par les plantes ou à une lixiviation accrue due à des applications excessives de glyphosate (Huang et al., 2020).

- **CEC (Capacité d'Échange Cationique)**

La capacité d'échange cationique (CEC) a également été significativement influencée par la dose de glyphosate ( $p = 0.000423$ ). Les résultats indiquent que des doses plus élevées de glyphosate tendent à réduire la CEC, ce qui peut nuire à la capacité du sol à retenir les nutriments. Des études de Mandi et al. (2017) ont montré que l'utilisation d'herbicides affecte non seulement la disponibilité des nutriments, mais aussi la structure du sol, ce qui peut avoir des conséquences à long terme sur la fertilité.

- **CaO (Calcium)**

Concernant le CaO, les résultats indiquent une influence significative de la dose de glyphosate ( $p = 0.009$ ) sur les niveaux de calcium. Les concentrations les plus faibles observées avec la dose T pourraient indiquer une réduction de la disponibilité du calcium, un nutriment essentiel pour la structure du sol et la croissance des plantes (Said et al., 2018). La disponibilité du calcium est cruciale pour la croissance des racines et la résistance des plantes aux stress environnementaux.

- **Na<sub>2</sub>O (Sodium)**

Enfin, pour le Na<sub>2</sub>O, les résultats ont montré un effet significatif de la dose de glyphosate ( $p = 0.00133$ ). Les doses plus faibles ont entraîné des concentrations plus élevées, tandis que la pleine dose a montré la concentration la plus basse. Cette tendance peut être interprétée à la lumière des travaux de Moyer et al. (2022), qui soulignent que l'utilisation excessive de glyphosate peut perturber l'équilibre ionique du sol, entraînant des concentrations de sodium diminuées. Ces résultats mettent en évidence l'importance de la gestion des doses de glyphosate pour maintenir les propriétés chimiques du sol. Les variations significatives observées dans les niveaux de pH, Nass, K<sub>2</sub>O, CEC, CaO et Na<sub>2</sub>O en réponse aux doses de glyphosate soulignent la nécessité d'une approche de gestion intégrée pour optimiser la fertilité du sol tout en minimisant les impacts négatifs potentiels des herbicides. Des études complémentaires seraient nécessaires pour explorer les mécanismes sous-jacents à ces interactions et évaluer les effets à long terme sur la santé des sols.

## 6 CONCLUSION

L'étude a mis en évidence l'impact significatif de l'application de doses élevées de glyphosate sur les caractéristiques chimiques des sols dans les communes rurales de la Préfecture de N'Zérékoré, en Guinée. Les résultats ont montré une

diminution du pH du sol et de la capacité d'échange cationique (CEC), ainsi qu'une réduction notable des niveaux de nutriments essentiels tels que le potassium ( $K_2O$ ), le calcium ( $CaO$ ) et le sodium ( $Na_2O$ ). Ces changements affectent la fertilité du sol et soulignent l'importance de gérer soigneusement les doses de glyphosate afin de minimiser les effets négatifs sur les propriétés chimiques du sol et d'assurer la durabilité des pratiques agricoles. Pour maintenir l'équilibre des nutriments et la santé des sols, des stratégies de gestion intégrée doivent être adoptées, incluant une utilisation raisonnée des herbicides et la mise en place de pratiques agricoles durables. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les effets à long terme de ces changements sur la productivité agricole et la biodiversité des sols.

## REFERENCES

- [1] Adjakpa, J. B., & Akpo, L. E. (2008). Woody flora of the lower delta of Ouémé in southern Benin. *J. Sci.*, 8 (4), 1–14.
- [2] Adjakpa, J. B., Yedomonhan, H., Ahoton, L. E., Weesie, P. D. M., & Akpo, L. E. (2013). Floristic structure and diversity of community riparian forest islands in the Lower So Valley in southeastern Benin. *J. Appl. Biosci.*, 65, 4902–4913.
- [3] Adla, K., Dejan, K., Neira, D., & Dragana, S. (2022). Degradation of ecosystems and loss of ecosystem services. In *One Health* (pp. 281–327).
- [4] Assogbadjo, A. E., Amadji, G., Glèlè Kakaï, R. L., Mama, A., Sinsin, B., & Van Damme, P. (2009). Ecological and ethnobotanical assessment of *Jatropha curcas* L. in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3 (5), 1065–1077. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v3i5.51085>.
- [5] Azonnakpo, O. V., Agbossou, E. K., & Aminou, T. (2020). Physico-chemical and bacteriological quality of water in the Ouémé delta. *Int. J. Progress. Sci. Technol.*, 20.
- [6] Barrios, E., et al. (2021). Temporal variability of phosphorus availability in agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*, 85 (4), 928-938.
- [7] Ernest, A. K., Paule, S. A. M., & Abou, T. R. A. O. R. E (2020). Caractérisation d'un environnement hydrologique influencé par l'usage des pesticides en agriculture en Côte d'Ivoire: cas du bassin versant de la rivière Mé. *Journal of Applied Biosciences*, 161, 16652-16662.
- [8] G. A. Omokhodion et al. (2021). *Impact of glyphosate on soil microbial diversity*. *Journal of Environmental Management*, 276, 111326.
- [9] Harrison, R., et al. (2018). Effects of environmental conditions on nutrient availability in soils. *Ecological Indicators*, 92, 324-332.
- [10] Huang, Y., et al. (2020). Glyphosate applications and their impacts on soil nutrients: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40 (1), 1-15.
- [11] K. A. P. Ataguba et al. (2020). *Influence of glyphosate on soil pH and nutrient availability*. *Soil Science Society of America Journal*, 84 (2), 334-342.
- [12] Kobta, w. r., Kissira, a., & Ibrahima, y. a. b. i (2020). Activites agricoles et utilisation des intrants chimiques dans la commune de kerou au nord-ouest du benin. «*kafoudal*» *la revue des sciences sociales de l'universite pelefogo gon coulibly conseil scientifique international*, 27.
- [13] Liu, Y., et al. (2019). Soil chemical properties and microbial communities under glyphosate application. *Journal of Environmental Quality*, 48 (4), 913-921.
- [14] M. S. Anum et al. (2021). *Effects of glyphosate on soil nutrient dynamics*. *Journal of Agriculture and Environmental Ethics*, 34 (1), 45-60.
- [15] Mandi, L., et al. (2017). Impact of herbicides on soil properties and crop production. *Crop Protection*, 99, 1-10.
- [16] Moyer, R. E., et al. (2022). Glyphosate and its effects on soil health: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 160, 108305.
- [17] Said, M., et al. (2018). The role of calcium in soil fertility and plant health. *Plant and Soil*, 426 (1-2), 1-10.
- [18] Weaver, M. A., Krutz, L. J., Zablutowicz, R. M., & Reddy, K. N. (2007). Effects of glyphosate on soil microbial communities and its mineralization in a Mississippi soil. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 63 (4), 388-393.
- [19] Zhang, X., et al. (2019). The effect of glyphosate on potassium levels in agricultural soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19 (4), 1001-1010.

## Dynamic of CEC and exchangeable bases influenced by a soudanian forest in hydromorphic soil of Western Burkina Faso

Moïse YONI<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Environmental Sciences and Rural Development, University of Dédougou (UDDG), 01 BP 176 Dédougou, Burkina Faso

<sup>2</sup>Laboratory of Natural Systems, Agro-systems and Environmental Engineering (Sy.N.A.I.E), Institute of Rural Development (IDR), NAZI Boni University, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Copyright © 2024 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 CEC (Cation Exchange Capacity) of a soil represents its capacity to retain and exchange nutrient cations with plant roots. In Sudanese modified natural forests, hydromorphic soils are characterised by a silty-clayey texture and a large specific surface area, which enables them to retain cations in a manner that is distinct from sandy soils. It was hypothesised that the CEC of the topsoil in modified natural forests in western Burkina Faso would demonstrate a significant increase as a consequence of the substantial environmental changes that occurred during the fallow period. To test this hypothesis, a comparison was made between the soil fertility of the forests and fallows and that of the cultivated plots, which were selected as witnesses to the increase. A total of 15 plots were selected, with five plots allocated to each situation. The vegetation and soil characteristics of each plot were documented. Soil samples were taken from the 0-20 cm horizon to create composite samples. The laboratory soil analyses included a number of parameters, including texture, pH in water and KCl solutions, carbon, nitrogen, CEC and exchangeable bases. The observations yielded a classification of the soils as tropical ferruginous hydromorphic soils with iron and manganese sesquioxide. The original materials indicate that the soil is predominantly silty-clayey in composition. The granulometric study demonstrated that the soils exhibited a predominantly silty-clayey texture in the surface horizon. This results in a high retention capacity for exchangeable bases. The woody vegetation of the forests is characterised by a greater diversity and richness of flora than that of fallow land. This has a significant impact on the enhancement of the CEC, due to the replenishment of the soil with plant debris of varying organic compositions. The overall pH is slightly acidic, with a value of 5.98 for pH in water (H<sub>2</sub>O) and 6.41 for pH in soil. Forest soils exhibit elevated concentrations of carbon (1.48% C) and nitrogen (0.1% N) in comparison to fallow soils (0.65% N, 0.05% N) and agricultural fields (0.34% C, 0.03% N). The observation of chemical balances has identified forests as suitable locations for optimal plant nutrition. In general, forests enhance the CEC and exchangeable bases, despite the values remaining below the recommended threshold for tropical ferruginous hydromorphic soils. It is thus imperative to implement strategies that will foster sustainable agricultural practices and enhance agricultural productivity in this region, where soil nutrients are naturally scarce.

**KEYWORDS:** Forest, fallow, CEC, exchangeable bases, hydromorphic soil.

### 1 INTRODUCTION

The physical and chemical properties of most soils are influenced by their ion exchange characteristics, including the quantity and equilibrium of individual ions present [1]. CEC serves as a principal indicator of soil fertility. Similarly, exchangeable bases are crucial for maintaining the nutritional balance required by plants [2]. Furthermore, CEC plays a role in maintaining the stability of terrestrial ecosystems by buffering changes in soil acidity [3]. A decrease in soil pH could alter biological activity and cation supply, which could have negative impacts on terrestrial ecosystems [4]. In the context of environmental change, a comprehensive understanding of the temporal dynamics of CEC is crucial for predicting the responses of ecosystem structure and function and for guiding policies for managing ecosystem stability. Given the substantial spatial and temporal variations in the determining factors (e.g., climatic and edaphic factors and human activity) of CEC dynamics, a comprehensive study of the temporal dynamics of CEC across multiple environmental situations is required. The Sudanese forest ecosystem, rich in biodiversity, contributes significantly to the improvement of soil physicochemical properties. Forest litter, plant matter, and decomposition processes under forest cover promote soil enrichment in organic matter [5]. In addition, tree roots and other forms of vegetation help stabilize soil structure, limiting erosion and improving nutrient retention [6-7]. Modified natural forests [8] in the Sudanian zone on hydromorphic soil represent plant formations endemic to tropical Africa. The climate is characterised by a dry season and a wet season [9]. Soil hydromorphism is defined by the presence of either temporary or permanent waterlogging [10]. In the absence of adequate management, these soils can result in low agricultural productivity, thereby exacerbating food insecurity in the region [11]. The existing literature on the role of

forests in improving CEC and exchangeable bases is extensive [12-15]. However, there is a paucity of data concerning the comparative dynamics of CEC and exchangeable bases in hydromorphic soils of modified natural forests, fallows and fields in the Sudanian zone. Therefore, in a context where anthropogenic pressures (such as deforestation and intensive agricultural practices) threaten these ecosystems, it is imperative to understand and promote practices that favour the increase of CEC and exchangeable bases. It was hypothesised that the cation exchange capacity (CEC) of the topsoil of the hydromorphic soil of modified natural forests in western Burkina Faso would demonstrate a significant increase as a consequence of the substantial environmental changes that occurred during the fallow period. To test this hypothesis, a comparison will be made between the soil fertility of forests and fallows, with the use of permanent crop plots as a control. This will facilitate an understanding of the processes by which the CEC and exchangeable bases are enhanced in hydromorphic soils within the Sudanian zone. The findings will inform the development of tailored agricultural techniques and strategies for enhancing land productivity while maintaining the ecological integrity of these vulnerable ecosystems. Furthermore, this entails the sustainable management of modified natural forests and the implementation of agroforestry practices tailored to local conditions, thereby enhancing the resilience of hydromorphic soils and ensuring food security in the region.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 STUDY SITE

The study was conducted in the Bondoukuy region, situated on the northern border of the South Sudanian climatic zone, known as the cotton farming zone (Figure 1). Bondoukuy lies between 11°51'N and 3°45'W with an elevation above sea level of 360 m. The average annual rainfall of the study area is 850 mm with the maximum rainfall occurring in August. The daily maximum temperature ranges between 31 and 39°C with an average annual potential evapotranspiration of about 1900 mm. The natural vegetation cover in the area is predominantly composed of open woody savannah, whereas the dominant grass biome is *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicellatum* and *Loudetia togoensis* [16].

For centuries, human presence in Bondoukuy has markedly affected the local ecosystem. Subsistence (cereals) and cash crop (cotton) farming are the main activities practiced in the area. Although the most fertile soils are regularly ploughed, less fertile ones are increasingly subjected to a short period of fallowing (~5 years). The annual ploughing, based on cotton–maize rotations, usually leads to the collapse of soil structure, erosion and reduction of soil organic matter content. The second most common activity in the study area is extensive animal husbandry. As a result, the area is overgrazed and exposed to high demands for aerial biomass (tree bark, firewood and perennials stems) by the local rural communities.

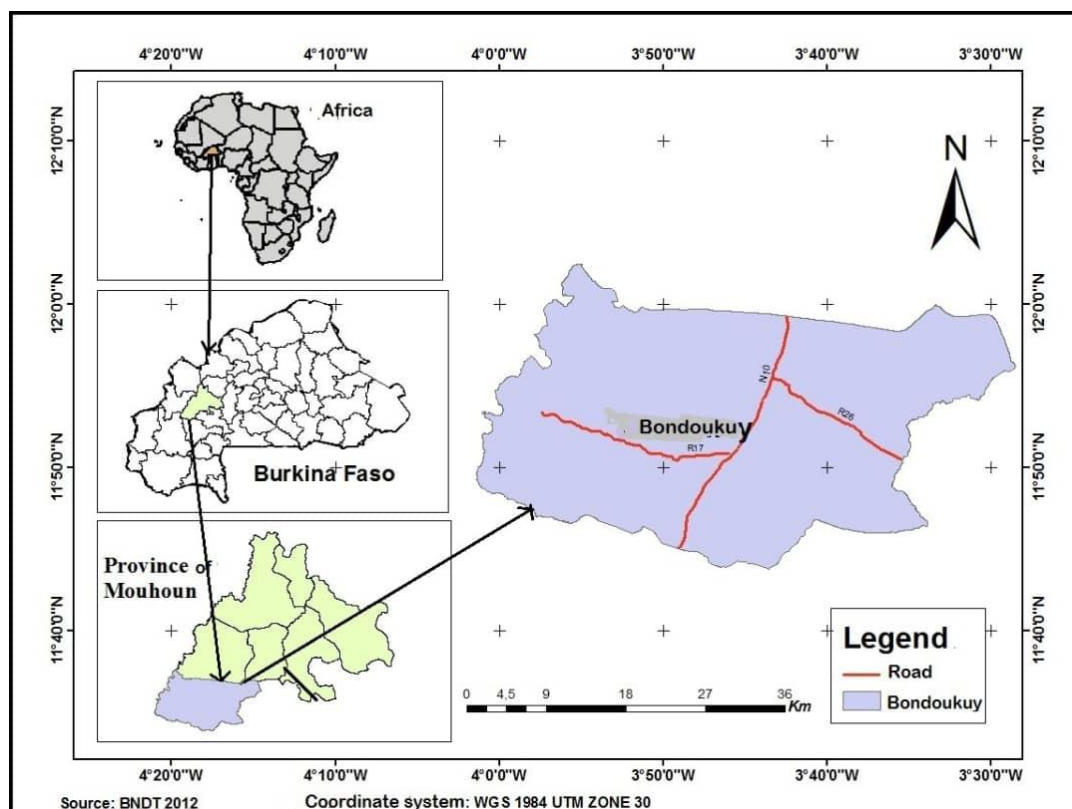


Fig. 1. Study map

## 2.2 SELECTION AND DESCRIPTION OF THE PLOTS STUDIED

Three scenarios were selected for investigation, namely forests, 20-year fallows and fields. Each scenario was represented by five plots. The control plots, represented here by the fields, have been in permanent cultivation for a period exceeding ten years. The old 20-year fallows represent the intermediate stage of fertility restoration, whereas the modified natural Sudanian forests represent the equilibrium or climax stage, where soil fertility is fully restored.

The diverse circumstances (in cultivation or vegetation) and associated activities are delineated based on comprehensive observations and assessments. The flora of forests and fallow lands was examined through floristic surveys. The soils were described based on pedological profiles and identified using the French classification system [17], which was then reinforced by the global reference base [18] and confirmed by the national Bunasol guidelines [19]. This is to facilitate a more nuanced comprehension of the utilisation of the environment and elucidate the disparate values of the physicochemical parameters obtained.

## 2.3 MEASUREMENT OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS

The physicochemical parameters of the soil were studied using composite soil samples obtained with an auger at a depth of 0-20 cm. This layer is of particular interest as it corresponds to the depth mainly explored by the roots. To account for intra-plot variability, five samples were collected from the plot (four from the four corners and one from the centre). These samples were then combined to form a single representative sample. The following physicochemical analyses were conducted.

-Particle size analysis by sedimentation, after destruction of organic matter, by the pipette method on an automatic granulometer with 5 fractions according to the Atterberg scale (Clays: 0-2 $\mu$ m, Fine silts: 2-20  $\mu$ m, Coarse silts: 20-50  $\mu$ m, Fine sands: 50-200  $\mu$ m and Coarse sands: 200  $\mu$ m-2 mm) [20]. Subsequently, the fine and coarse sands were added, reducing the number of fractions to 4.

-The C analysis was conducted in accordance with the modified Walkley-Black method [21], while the N determination was performed using the Kjeldahl method. The Ca, Mg, Na, K and Mn determinations were carried out by ICP spectrometry [20]. The CEC is obtained by determining the ammonium concentration through continuous flow colorimetry [20]. The exchangeable bases are quantified through percolation [20], while the pH of the water and KCl solutions are measured using an automated titration chain with a sampler [20]. All of the aforementioned analyses were conducted at the soil biogeochemistry laboratory of the École Normale Supérieure de Paris (ENS).

## 2.4 DATA ANALYSIS

The data collected were subjected to an analysis of variance (PROC ANOVA) and to a simultaneous test of comparison of means by Scheffé [22] considered to be the most reliable test sensitive to small differences between means [23]. All tests were performed with an alpha level of 5%. These analyses were performed using the Stat View software [24].

# 3 RESULTS

## 3.1 DESCRIPTION OF PLOTS' SOIL

In the Bondoukuy region, hydromorphic soils are observed in low-lying areas in proximity to watercourses and in depressions where water accumulates temporarily. The aforementioned lowlands are characterised by a silty clayey texture. In general, no correlation was observed between texture and depth of hydromorphy or induration. The following categories are distinguished.

- The soil is classified as hydromorphic (3%), exhibiting a paucity of humus and a shallow gley (<80 cm) and pseudogley at the surface, with a silty tendency. The primary limitations of these soils are the occurrence of flooding in specific years and the presence of grass cover.
- The soil is classified as hydromorphic leached tropical ferruginous (16%), with a silty tendency, and is present at shallow depths (>10% of red pseudogley spots between 20-40 cm). Such soils are present in lowland areas with lower slopes and in secondary thalweg channels. The surface of these soils may exhibit the presence of damp spots for an extended period following the cessation of precipitation, which may be indicative of capillary rise. This phenomenon is particularly prevalent in lower-sloped areas and basins, as well as along secondary drainage axes. The initial two categories of soil are characterised by a high moisture content, yet they are not susceptible to flooding. These soil types are conducive to the establishment of shrub and forest vegetation, but they impose significant limitations on the cultivation of grassland.
- The soil is classified as a leached tropical ferruginous soil, representing 18% of the total soil type. It exhibits moderately deep hydromorphism, with the presence of red pseudogley spots observed at depths between 40 and 60 centimetres. Additionally, the soil may contain concretions, representing 15 to 40% of the total soil volume, situated at the base of slopes and basins. These soils correspond to the limit of humid soils. In order to classify these soils according to their water reserve, it is necessary to take into account their texture, which is predominantly silty.

- The soil types include leached ferruginous soils with deep hydromorphism (5%) (>60 cm), modal ferruginous soils (reddened and without hydromorphism), hydromorphic ferruginous to ferrallitic transition soils, and transition from hardened to hydromorphic ferruginous soils. These are sandy-silty soils with a tendency to dry out easily, which makes them relatively straightforward to maintain.

The proportion of ferrallitic soils (23%) exhibiting weak desaturation in B is typical of the modal formation, comprising ridges and plateaus in the piedmont of armoured hillocks. Despite being classified as moderately dry soils, the enhanced structural integrity and elevated iron content, particularly in the piedmont position of armoured hillocks, impart a superior organic retention capacity to these soils compared to leached ferruginous soils with deep hydromorphy. Furthermore, farmers frequently regard these soils as superior.

### 3.2 FLORISTIC CHARACTERISTICS

In Bondoukuy, as is the case with Sudanese ecosystems in general, the vegetation is characterised by a relatively high proportion of woody and perennial herbaceous species (Table 1). As is the case in Sudanese forests and fallows, three taxonomic groups are predominant among woody species: The dominant taxonomic groups among woody species are leguminous, Combretaceae and Rubiaceae. The number of Combretaceae species increases and the number of leguminous decreases in response to a reduction in hydromorphy. A similar outcome is observed in the case of herbaceous plants. Conversely, wooded forests exhibit a paucity of leguminous herbaceous plants, which suggests a proclivity of leguminous for fallows. It can be seen that plant formations are organised according to a number of factors, including biotopes and hydromorphy. Indeed, fire, temporary cultivation, selective cutting and grazing are significant factors that are likely to exert a strong influence on the physiognomy and flora of plant formations at different stages of reconstitution after cultivation or certain developments.

Table 1. Floristic characteristics of the sites studied (most represented species)

Vegetation	Plots		
	Forests	Fallows	Fields
Woody species	<i>Albizzia chevalieri</i> , <i>Anogeissus leiocarpus</i> , <i>Grewia mollis</i> <i>G. bicolor</i> , <i>Boswellia dalzielli</i> <i>Combretum nigricans</i> <i>Isoblerlinia doka</i> <i>Lannea microcarpa</i> <i>Lannea velutina</i> <i>Grewia tenax</i> <i>Nauclea latifolia</i> <i>Pterocarpus erinaceus</i> <i>Ximenia americana</i> , <i>Tephrosia pedicellata</i> , <i>Terminalia avicennoides</i> <i>Combretum glutinosum</i> <i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Desmodium velutinum</i> <i>Piliostigma thonningii</i> <i>Piliostigma reticulatum</i> . <i>Bombax costatum</i> , <i>Mayntenus senegalensis</i> , <i>Feretia apodanthera</i> , <i>Parinari curatellifolia</i> , <i>Sterculia setigera</i> , <i>Pericopsis laxiflora</i> <i>Diospyros mespiliformis</i> , <i>Swartzia madagascariensis</i> <i>Capparis corymbosa</i> , <i>Ziziphus mauritiana</i> <i>Mitragyna inermis</i> , <i>Berlinia grandifolia</i> , <i>Raphia sudanica</i> , <i>Acacia polyacantha</i> , <i>Acacia sieberiana</i>	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Anogeissus leiocarpus</i> <i>Terminalia avicennoides</i> <i>T. laxiflora</i> <i>Piliostigma thonningii</i> <i>Piliostigma reticulatum</i> <i>Combretum micranthum</i> <i>C.glutinosum</i> <i>C. nigricans</i> <i>C. molle</i> <i>Guiera senegalensis</i> <i>Swartzia madagascariensis</i>	<i>Vitellaria paradoxa</i> <i>Lannea microcarpa</i> <i>Lannea velutina</i>
Perennials herbaceous	<i>Gladiolus klattianus</i> <i>Crinum humile</i> <i>Dioscorea dumetorum</i> <i>Lippia chevalieri</i> <i>Vernonia purpurea</i> <i>Cyanotis longifolia</i> , <i>Andropogon gayanus</i> , <i>Andropogon ascinodis</i> <i>Cymbopogon shoenantus</i> <i>Costus spectabilis</i> <i>Cochlospermum tinctorium</i>	<i>Tephrosia pedicellata</i> <i>Andropogon gayanus</i> <i>A. ascinodis</i> <i>Borreria stachydea</i> <i>Cochlospermum tinctorium</i> <i>C. planchoni</i> <i>Leptadenia hastata</i> <i>Lantana rhodesiensis</i> <i>L. camara</i> <i>Sporobolus festivus</i>	<i>Andropogon gayanus</i>

	<i>C. planchoni</i> <i>Leptadenia hastata</i> <i>Lantana rhodesiensis</i> <i>L. camara</i>		
Annuals herbaceous	<i>Aspilia helianthoides</i> <i>Commelina forskalei</i> <i>Cissus gracilis</i> <i>Ampelocissus pentaphylla</i> <i>Andropogon pseudapricus</i>	<i>Andropogon pseudapricus</i> <i>Rottboelia exaltata</i> <i>Loudetia togoensis</i>	<i>Sorghum bicolor</i> <i>Gossypium spp</i> <i>Zea mays</i>

In forest ecosystems, the woody vegetation is more prevalent, and the woody layer is often dominated by large-sized individuals, typically between 6 and 10 metres in height. In contrast, fallow lands exhibit a sparser vegetation cover, with a woody layer that is most often dominated by medium-sized woody plants (2 to 6 m). Similarly, the basal cover and the density of clumps of perennial grasses (*Andropogon gayanus* and *A. ascinodis*) are greater in forests than in fallow lands. The results of the surveys indicate that the forests in question are of a considerable age, having originated from very old fallow lands. As a result, their appearance corresponds to multiple developments at different stages of growth. Such forests are typically utilized by the indigenous population as a land reserve or, on occasion, as a venue for traditional rituals. It is within living memory that these forests have not been cultivated, with the last instance of such occurring in 1927. Additionally, the surveys indicate that the fallow lands observed are exclusively under the control of the local indigenous population, who practise a fallow cultivation system. The fields are primarily cultivated for cotton, corn, and sorghum. These are perennial crops cultivated in wooded parkland due to the soil's high fertility. Approximately twenty species of woody and herbaceous plants were preserved during the clearance process, with the most notable examples being *Vitellaria paradoxa* and *Andropogon gayanus*.

The vegetation observed in the forests and fallow lands is described in detail in the preceding section.

- The area is characterised by dense groves and forests, which lack a grassy layer and comprise woody vegetation exceeding 80% of the total cover. This physiognomy, which was more abundant in 1927, is now found only in small areas. These include gallery forests and cut-off riparian cords, spring forests (at the bottom of the cuesta front), sacred forests protected from fire, termite mound groves, and groves of collapsed cuirass. In these groves, the annual herbaceous plants burn before the rains stop, which protects the groves from fire later. These humid, fertile environments, protected from fire, represent the closest approximation to the "climax" of the "dense dry forest". The population of hemi-ombrophilous species and humid environments of these formations is characterised by a rich diversity of fire-sensitive legumes, including *Pterocarpus erinaceus*, lianas (*Saba senegalensis*) and shrubs (*Capparis corymbosa*, *Ziziphus mauritiana*, *Diospyros mespiliformis*), which flourish in the undergrowth.
- The open forests with a low grass layer (35-80% woody cover) are composed mainly of the following species: *Vitellaria paradoxa*, *Isobertinia doka*, *Daniella oliveri* and *Burkea africana*. These species are typically found in foothill and hillside habitats, with occasional occurrences in interfluves.
- Tree and shrub fallows encompasses a range of habitats with varying degrees of woody cover, representing distinct stages of reconstitution across diverse biotopes or pseudo-climaxes of xeric biotopes. In shrub fallows, species that exhibit a tendency to reject and sucker, such as *Terminalia avicennoides*, *Pteleopsis suberosa*, *Detarium microcarpum*, and seedlings of trees from the wooded parkland *Vitellaria paradoxa*, tend to become dominant. The herbaceous flora is dependent on the reconstitution stage, with ruderal species giving way to annuals, which in turn are succeeded by *Andropogon gayanus* and *Andropogon ascinodis*. The formation of shrub savannas, which exceed 50% woody cover at a low height, is observed in areas where grazing has been excessive.

### 3.3 SOIL PHYSICAL CHARACTERISTICS

The results of the analysis clearly demonstrate a situation effect with regard to the texture (Table 2). It is evident that the forests exhibit markedly disparate clay (24.72%), fine silt (17.44%) and coarse silt (19.12%) compositions when compared to the fallows (14.41% clay, 8.57% fine silt and 18.87% coarse silt) and fields (9.8% clay, 6.74% fine silt and 15.72% coarse silt). It can be concluded that the proportion of fine elements (less than 20 µm) is greater in the forest area than in the fallow land and agricultural fields. The sand content in the forests is relatively low, with a mean value of 38.72%. This is statistically different from the sand content in the fallows (mean value of 57.15%) and fields (mean value of 67.74%). The proportion of coarse elements (>50 µm) in the forest is less than that of fine elements (>20 µm), which corroborates the silty-clayey composition of the soil.

**Table 2.** Soil Physical Characteristics at 0-20 cm depth. Means displaying the same letter per row are not significantly different (n=12, P<0.005), standard error in parentheses

Parameters	Plots		
	Forests	Fallows	Fields
Clays (%)	24.72a (3.43)	14.41b (1.16)	9.8c (1.22)
Fine silts (%)	17.44a (7.05)	8.57b (0.74)	6.74c (1.48)
Coarse silts (%)	19.12a (0.83)	18.87a (2.1)	15.72b (3)
Coarse + Fine sands (%)	38.72a (10.49)	57.15b (2.25)	67.74b (5.18)

### 3.4 THE ORGANIC AND ACID-BASE STATUS OF SOILS

The analysis of variance demonstrates a highly statistically significant effect of the situation (P< 0.0001) on the distribution of chemical parameters in the 0-20 cm horizons of the soil in the studied situations (Table 3). The Scheffé test enables the differentiation of the situations in question at the level of organic matter contents (C, N), exchangeable bases and CEC. The results obtained permit an in-depth analysis of the dynamics of soil fertility reconstitution and the enhancement of CEC through the examination of the diverse chemical and organic elements.

**Table 3.** Results of analyses of variance (ANOVA/SAS) of the effect of situations (forests, fallow land and cultivated fields) on the chemical characteristics of the soil at depth 0-20 cm, n=195

Variables	F <sub>8,45</sub>	P	R <sup>2</sup>	CV
C (%)	60.23	<0.0001	0.90	35.2
N (%)	40.55	<0.0001	0.80	30.12
C/N	30.45	<0.0001	0.56	25.6
pH-H <sub>2</sub> O	15.43	0.122	0.27	12.5
pH-KCl	16.67	0.1300	0.19	9.6
Ca <sup>2+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	30.13	<0.0002	0.53	20.8
Mg <sup>2+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	22.42	<0.0001	0.73	20.67
Mn <sup>2+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	26.53	<0.0001	0.67	27.32
K <sup>+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	40.25	<0.0001	0.77	22.8
Na <sup>+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	19.80	<0.0001	0.60	26.7
CEC (meq.100g <sup>-1</sup> )	20.45	<0.0001	0.79	24.5
SEB (meq.100g <sup>-1</sup> )	15.53	<0.0003	0.55	24.2
SEB/CEC (%)	53.13	<0.0001	0.52	31.5

#### 3.4.1 PH-H<sub>2</sub>O AND PH-KCL

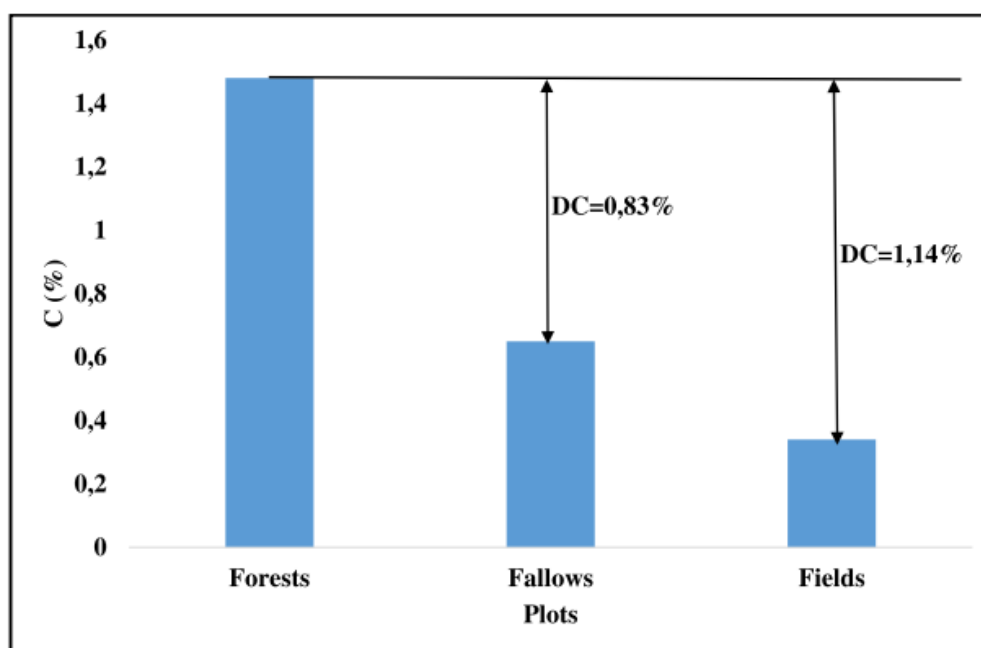
The results of the statistical analyses conducted on the pH values are not statistically significant. Conversely, the pH of the various scenarios under examination is characterised by a weakly acidic profile, with values ranging from 6.36 to 5.98 for pH in water and from 5.4 to 5.12 for pH in KCl (Table 4). The findings indicate that despite 20 years of fallow land, the forest has not significantly altered the pH of the soil.

**Table 4.** Soil chemical and acid-bases characteristics at 0-20 cm depth. Means displaying the same letter per line are not significantly different ( $n=15$ ,  $P<0.005$ ), standard error in parentheses

Parameters	Plots		
	Forests	Fallows	Fields
C (%)	1.48a (0.37)	0.65b (0.12)	0.34c (0.06)
N (%)	0.1a (0.02)	0.054b (0.01)	0.03b (0.01)
C/N	15a (2.07)	12b (0.78)	11b (3.9)
pH-H <sub>2</sub> O	6.36a (0.65)	5.98a (0.56)	6.41a (0.97)
pH-KCl	5.4a (0.69)	5.12a (0.7)	5.23a (1.06)

### 3.4.2 CARBON

The statistical analyses conducted on the mean carbon (C) contents of the various scenarios yielded significant results ( $P < 0.0001$ ) (Table 3), with a clear distinction between forest (1.48%), fallow (0.65%), and field (0.34%) scenarios (Table 4). The carbon content increased by 1.14% from fields to forests, while the transition from fallows to forests resulted in an increase of 0.83%. Conversely, a pronounced decline in carbon content is evident when moving from forests to fields (Figure 2). The fallow stage, therefore, represents the initial phase of carbon storage, which accumulates sustainably during the subsequent forest phase.



**Fig. 2.** Difference in carbon content (DC)

### 3.4.3 NITROGEN

The statistical analysis of nitrogen averages revealed a highly significant situation effect ( $P < 0.001$ ) (Table 3), with forests exhibiting notable differences from fallows and fields, which demonstrated statistical similarity (Table 4). The nitrogen levels observed vary considerably, with values ranging from 0.1% in forest areas to 0.054% in fallows and 0.03% in fields. A gain of 0.07% is observed when moving from forests to fields, while a gain of 0.046% is observed when moving from forests to fallows. Conversely, the transition from field to forest results in a loss of 0.07%. The losses and gains in nitrogen observed in fallows are twice those observed in fields (Figure 3). It can be concluded that nitrogen is reconstituted during the fallow period and appears to stabilise in the forest.

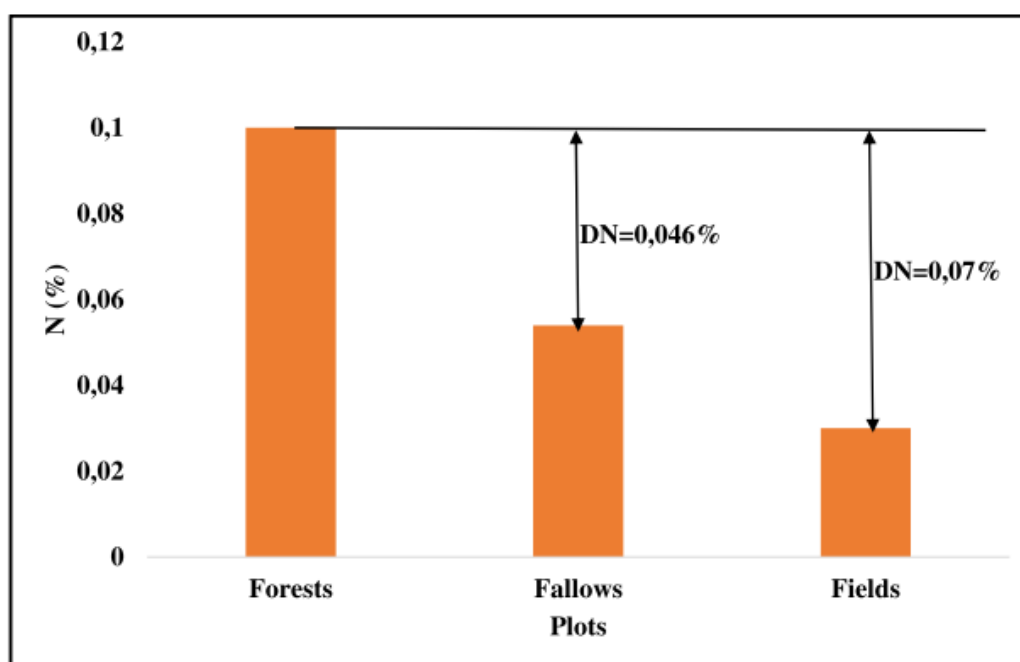


Fig. 3. Difference in nitrogen content

#### 3.4.4 C/N RATIO

The C/N ratio is an indicator of the degree of decomposition of organic matter. The ratio varies from 11 to 15 and is statistically significant depending on the circumstances under consideration. Forests (C/N=15) are distinguished from fallows (C/N=12) and fields (C/N=11) (Table 4). The low C/N ratio observed in fallows and fields suggests a rapid rate of mineralisation, whereas the high C/N ratio observed in forests indicates a slower rate of mineralisation, which is translated here by a lack of nitrogen.

#### 3.5 NUTRIENT STATUS ACCORDING TO EXCHANGEABLE BASES

Table 5 illustrates the soil fertility level based on the mean CEC values and exchangeable bases.

Table 5. Characteristics of nutrient status at 0-20 cm depth of soil in the studied situations. Means displaying the same letter per line are not significantly different ( $n=24$ ,  $P<0.005$ ), standard error in parentheses

Parameters	Plots		
	Forests	Fallows	Fields
Ca <sup>2+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	9.6a (0.41)	3.3b (0.35)	2.66b (0.9)
Mg <sup>2+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	4.7a (0.14)	2.1b (0.11)	1.1b (0.48)
K <sup>+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	2.7a (0.07)	1.6b (0.09)	0.184b (0.06)
Na <sup>+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	1.02a (0.01)	0.8a (0.01)	0.02b (0.02)
Mn <sup>2+</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )	1.01a (0.03)	0.5a (0.03)	0.02b (0.02)
Sum of exchangeable bases (SEB) (meq.100g <sup>-1</sup> )	19.03a (0.87)	8.3b (1.4)	4c (1.43)
CEC (meq.100g <sup>-1</sup> )	20a (0.89)	10b (1.45)	4.14c (1.46)
Bases saturation SEB/CEC (%)	95.15a (2.08)	83b (1.89)	95.12a (1.91)

### 3.5.1 EXCHANGEABLE BASES AND CATION EXCHANGE CAPACITY (CEC)

The mean calcium values obtained ranged from 9.6 meq.100g<sup>-1</sup> to 2.66 meq.100g<sup>-1</sup>. The statistical analyses revealed a highly significant effect of the situation on Ca<sup>2+</sup> levels. The forest samples exhibited higher values (9.6 meq.100g<sup>-1</sup>) compared to the fallow (3.3 meq.100g<sup>-1</sup>) and field (2.66 meq.100g<sup>-1</sup>) samples, which demonstrated statistically similar values.

The mean magnesium levels ranged from 4.7 to 1.1 meq.100g<sup>-1</sup>. A significant situation effect on magnesium levels was observed. It is evident that forest situations exhibit the highest contents (4.7 meq.100g<sup>-1</sup>) in comparison to fallows (2.1 meq.100g<sup>-1</sup>) and fields (1.1 meq.100g<sup>-1</sup>), which demonstrate statistically equivalent contents.

The mean potassium values observed ranged from 2.7 to 0.184 meq.100g<sup>-1</sup> (Table 5). A highly significant situation effect was observed ( $P < 0.0001$ ), with fallows (1.6 meq.100g<sup>-1</sup>) and fields (0.184 meq.100g<sup>-1</sup>) exhibiting deficiencies in K compared to forests (2.7 meq.100g<sup>-1</sup>).

The results of the analysis indicated a highly significant impact of the situation on the mean sodium values. The highest rates were observed in forests (1.02 meq.100g<sup>-1</sup>), followed by fallows (0.8 meq.100g<sup>-1</sup>) and fields (0.02 meq.100g<sup>-1</sup>).

The mean manganese values exhibited considerable variation, ranging from 1.01 to 0.024 meq.100g<sup>-1</sup> (Table 5). The results of the statistical tests indicated the presence of a highly significant situation effect. The data indicated that forests exhibited significantly higher manganese levels than fallows and fields, suggesting a deficiency in the latter two situations.

CEC represents the set of exchangeable cations present in the soil, including calcium, magnesium, potassium, sodium and manganese. The mean CEC values obtained in the different situations are between 20 and 4.14 meq.100g<sup>-1</sup> (Table 5). The statistical analyses revealed a highly significant situation effect ( $P < 0.00001$ ) on the observed differences in the values obtained. The mean CEC values for forests are higher (17 meq.100g<sup>-1</sup>) than those for fallow land (10 meq.100g<sup>-1</sup>) and fields (4.14 meq.100g<sup>-1</sup>).

### 3.5.2 BASES SATURATION RATE

The saturation rate is defined as the ratio of the sum of exchangeable bases to the cation exchange capacity. The figure ranges from 95.15% to 83% (Table 5). A highly significant situation effect was identified through the statistical analysis. The saturation rate serves as an indicator of the chemical richness of the soils and the cationic lining of the adsorbent complex. The saturation rate is notably elevated in forest and agricultural settings, reaching 95.15% and 95.12%, respectively.

### 3.5.3 NUTRIENT STATUS ACCORDING TO CHEMICAL BALANCES

In order to diagnose mineral balances and assess the relative deficiency of exchangeable bases in soils, specific values are calculated (Figure 4).

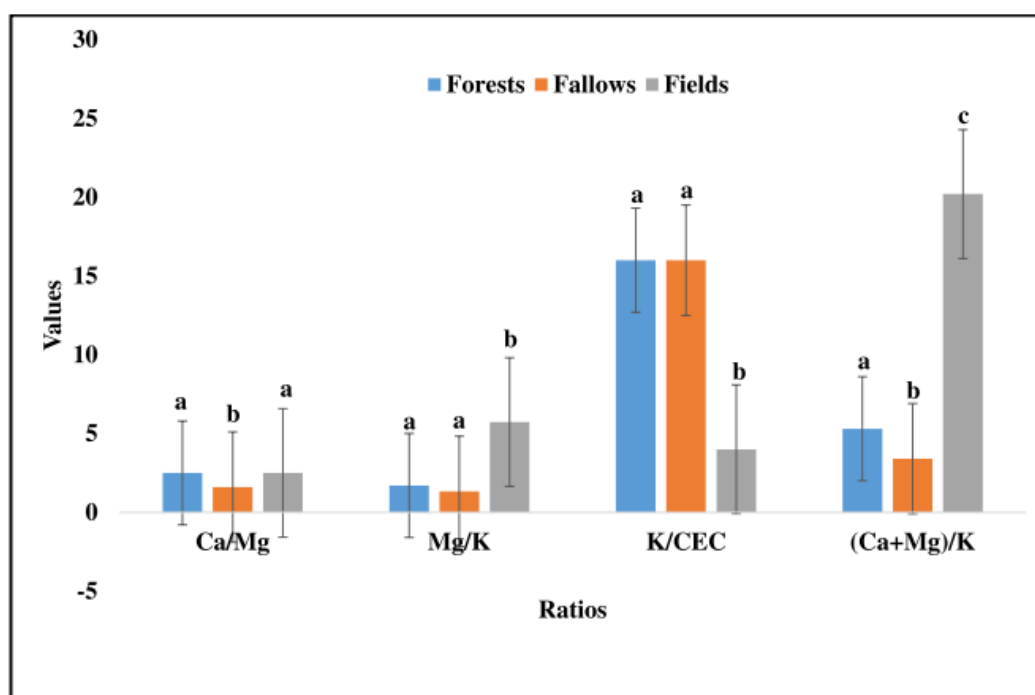


Fig. 4. Chemical balance of soil in different situations

### **3.5.3.1 Ca/Mg BALANCE**

The Ca/Mg ratio values obtained in the various experimental conditions ranged from 2.5 to 1.6 (Figure 4). The results of the statistical analysis indicated that there was no statistically significant difference between the values obtained in the forest and field settings. These two scenarios are in contrast to those observed in fallows.

### **3.5.3.2 Mg/K BALANCE**

The Mg/K ratios observed ranged from 5.73 to 1.32. The results of the statistical analyses indicated a statistically significant effect of the situations under consideration on the Mg/K ratio. The Mg/K ratios observed in forests (1.7) and fallows (1.3) are comparatively low, whereas those in fields are high (5.73) (Figure 4).

### **3.5.3.3 K/CECRATE (%)**

The proportion rate of potassium (K) in saturation varies considerably depending on the circumstances, with values ranging from 16% to 4%. The results of the statistical analyses indicated the presence of a significant difference and a situation effect. Forests and fallows, which exhibit statistically identical rates (16), are juxtaposed against fields (4) (Figure 4).

### **3.5.3.4 (Ca+Mg)/K BALANCE**

The mean values of the (Ca+Mg) /K ratio from the various experimental conditions exhibited a range of 5.3 to 20.2. The results of the statistical analyses clearly demonstrated a highly significant situation effect. The low ratios observed in fallow land (3.4) are in stark contrast to those seen in forests (5.3), which in turn are distinct from the high ratios observed in fields (20.2) (Figure 4).

## **4 DISCUSSION**

### **4.1 TEXTURE ROLE**

The upper layers (0-20 cm) of soil in the various situations under consideration are characterised by a silty-clayey texture. This texture confers structural stability upon the soil and provides a substantial specific surface area for the retention of nutrients. The clay content is notably elevated in these surface horizons, reaching levels between 9 and 24.72%. The elevated clay content of these soils renders them highly chemically reactive. It is notable that the clay content of forests (24.72%) is approximately twice that of fields (9.8%). This suggests that the clay fraction undergoes reconstitution during fallow periods (15.41%), which then stabilises in the forest. The significance of the clay fraction has been elucidated in the context of CEC dynamics in hydromorphic soil [25-29]. As stated by Baize [30], clay is the most active granulometric fraction due to its multifunctional nature, which includes associations with organic matter, the cohesion of aggregates, the fixation of cations and anions on exchange sites, and water retention. However, the capacity of clay minerals to retain cations and enhance the cation exchange capacity (CEC) is more dependent on their intrinsic properties than on their relative abundance in the soil. In hydromorphic soils, the specific type of clay present can have a significant impact on the soil's properties and functions. In particular, smectites, illites and montmorillonites, which possess a negative charge, thereby enabling them to attract and retain cations. This directly contributes to an increase in the CEC [25, 27, 31, 32]. The provenance of the low-humus substrate, characterised by a shallow gley (<80 cm) and pseudogley, is also a contributing factor in enhancing the CEC. Indeed, hydromorphic tropical ferruginous soils are often the site of certain processes, such as the reduction of metal oxides (Fe, Mn), which can influence the reactivity of clays and the availability of cations [26, 28, 29, 33].

Due to their coarseness relative to clays, fine silts also participate in water storage, thereby influencing the accessibility of nutrients during periods of excess water or drainage. This, in turn, has the effect of improving the CEC [26, 28, 33, 34]. Furthermore, coarse silts exert an influence on soil structure and water distribution, which can indirectly affect cation dynamics in hydromorphic soils by facilitating or limiting water and nutrient movements [26, 34, 35]. Our observations have been corroborated by several authors in similar studies [25, 36, 37, 38, 39]. The texture and cation exchange capacity (CEC) of a soil are sometimes influenced by the presence of vegetation and other factors.

### **4.2 VEGETATION ROLE**

The vegetation of western Burkina Faso is characterised by a high degree of diversity in terms of morpho-structural types, which are adapted to different environmental conditions. The physiognomy of Sudanese forests is therefore representative of a succession of intermediate states between young and old fallows. These fallows are the consequence of local agricultural practices that ensure their preservation throughout the crop cycle, as they serve the purpose of restoring soil fertility [11, 40]. The biodiversity of this region is considerable, though not particularly forest-specific. The dynamic equilibrium achieved in the soil of forests and fallows thus permits the restoration of soil fertility to a significant extent. This results in an improvement in the CEC and the exchangeable bases of hydromorphic soils. Boyer's [41] research demonstrated that the concentration of specific cations ( $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ ) in the surface layer of the soil is influenced by vegetation. In forests on hydromorphic

ferruginous soils, the woody layer exhibits greater coverage and larger individuals than in fallows. Furthermore, the perennial herbaceous layer is observed to occur in clumps of more uniform size, planted at a higher density in forests than in fallows. As a consequence, wet forests generate a considerable quantity of organic matter (such as fallen leaves and plant detritus) which decomposes at a relatively slow rate due to the high humidity. The organic matter improves the cation exchange capacity (CEC) of the soil, due to the presence of organic colloids (humus) with a high cation exchange capacity. The greater abundance of woody plants in forest vegetation, in comparison to that observed in fallows, provides the opportunity to restore soil fertility through the return of plant matter to the soil. Indeed, woody plants serve as reservoirs for mineral salts (particularly phosphorus) and provide soil with energy through litter and exudates [42]. The installation of these structures prioritises the survival function, with the constitution of a tuberous pivot (reserves of photosynthates and water) supplied by seasonal aerial parts [43]. In some cases, woody plants are eliminated by fires, which act as a selective force on species. Conversely, the vegetation of fallow land is dominated by perennial grasses (hemicryptophytes), which are well adapted to fires and grazing. As a result, the tillering plates, buds and young stems that are used for survival and regrowth following fires are located underground or protected at the base of the tuft by a dense mass of dead tissues [44]. The results demonstrate that the clearing of a forest would facilitate the injection of three times more calcium and twice as much magnesium and potassium into the soil in comparison to that of a fallow land. The diverse flora of the forests, in comparison to that of fallow land, would account for the relatively high contents of exchangeable bases obtained. It is therefore crucial to highlight the significance of forests in the restoration of soil fertility.

### 4.3 PH ROLE

The pH of the soil is a determining factor in the type of activity that exists or predominates, whether that be acid or basic. The pH values of forest soil (6.36) and fields (6.41) are generally slightly neutral, while that of fallow land (5.98) is slightly acidic. It has been demonstrated that the pH value increases gradually over time during the long-term storage of organic matter during plant succession, as evidenced by Falkengren-Grerup [45]. In the studies conducted by Bationo *et al.* [46] and Baize [30], the optimal pH range for optimal activity was found to be between 5.5 and 6.5. The pH values obtained in this study are higher than the aforementioned threshold, indicating that the chemical and microbiological reactions in the soil are occurring in a manner that is conducive to the proper availability of nutrients. In general, cultivated plants develop in a harmonious manner in soil with a pH of 5.5 to 7, which is considered neutral or slightly acidic [30, 47]. A reduction in soil pH has been demonstrated to impede plant growth by inhibiting nitrification. Nevertheless, pH levels alone are an inadequate explanation for the observed enhancement in CEC. The effect is indirectly related to the content and nature of the clays. Hydromorphic soils have a tendency to accumulate  $H^+$  ions (resulting in acidification), which can lead to a reduction in CEC over time by competing with other cations. A soil with a higher acidity level will exhibit a reduced CEC, due to the fact that soil colloids are less effective at retaining nutrients. In particular, acidic hydromorphic soils have been observed to exhibit a lower CEC [27]. This is not the case in the present study, in which the soils are weakly neutral. Furthermore, it is notable that the CEC (20 meq.100g<sup>-1</sup>) of the forests in question is twice that of the fallow land (10 meq.100g<sup>-1</sup>) and five times higher than that of the fields (4.14 meq.100g<sup>-1</sup>). The combination of a weakly neutral pH and a high clay content therefore renders the forest an ecosystem conducive to an increase in CEC. As with texture and vegetation, pH exerts an influence on CEC. Nevertheless, it remains unclear what role organic matter plays in enhancing CEC.

### 4.4 EFFECT OF SOIL ORGANIC MATTER (C, N)

The presence of organic matter (C, N) in tropical ecosystems has been demonstrated to enhance soil fertility. It is an effective indicator of plant health. In the context of our study, the C and N values are higher in forests (1.48% C, 0.1% N), representing a twofold increase in C and N compared to fallow land (0.65% C, 0.054% N) and a fourfold increase compared to fields (0.34% C, 0.03% N). The high organic matter content in forests serves to protect the soil from degradation by water erosion during periods of heavy rainfall [48]. The high organic matter content and silty-clayey texture of forests also contribute to the accumulation of soil nutrients and an increase in CEC. Conversely, a comparison of the contents of forests with those of fallow land and fields demonstrates a dynamic of organic matter that then increases during the fallow period. It is evident that a considerable increase of 1.14% in carbon is observed when comparing permanent crop situations to forests via fallow land. The transition from fallow land to forests allows for a gain of 0.83% in carbon. The transition at the nitrogen level provides a gain of 0.07% N, starting from fields to forests, while the transition from fallow land to forests gives a gain of 0.046% N. It can be demonstrated that fallow practices have the effect of enhancing the organic matter content of soil, which then becomes stabilised in forest ecosystems. This is attributable to the reintroduction of plant matter to the soil, which is of a considerably higher density in forests than in fallow land. In agricultural fields, the low organic matter content can be attributed to the continuous presence of crops, the inherent richness of the soil, and, in some cases, the lack of replenishment of crop residues. It should be noted, however, that in the context of hydromorphic soil in Bondoukuy, the improvement in CEC is strongly correlated with organic matter. Indeed, soil hydromorphism facilitates the accumulation of organic matter in the upper layer, as decomposition is slowed down in anaerobic conditions [49]. The negative charge of organic matter allows it to retain cations, thereby increasing the CEC [50, 51]. However, if soils are excessively saturated and oxygen-poor, incomplete decomposition can also result in the formation of recalcitrant organic compounds, which are less effective in retaining cations [27, 52, 53]. Our observations are corroborated by several studies [51, 54, 55, 56, 57, 58]. It can be concluded that organic matter plays an essential role in improving the cation exchange capacity (CEC) of hydromorphic soils. It permits the retention and release of cations that are essential for plant nutrition, enhances soil structure and water retention, and fosters superior long-term fertility.

#### 4.5 DYNAMICS OF THE CEC AND EXCHANGEABLE BASES

CEC is defined as the capacity of a soil to retain and exchange cations, which are positive ions such as  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , and  $Na^+$ . A soil with a CEC of 10 to 20  $meq.100g^{-1}$  is regarded as moderate and acceptable for crops, whereas a soil with a CEC exceeding 20  $meq.100g^{-1}$  is considered favourable for nutrient retention in fertile soil, such as hydromorphic soils. This is supported by the findings of several studies [25, 32, 59]. The CEC of forests was found to be 20  $meq.100g^{-1}$  which is double that of fallow land (10  $meq.100g^{-1}$ ) and five times higher than that of fields (4.14  $meq.100g^{-1}$ ). The CEC of the hydromorphic forest soil is indicative of stability and nutrient richness for plants. Furthermore, it is important to acknowledge the correlation between the CEC and the clay-humic complex, as well as the organic matter content. The elevated CEC observed in forest soils can be attributed to the combined influence of two key factors: a high silty-clayey texture and a high organic matter content. The CEC of fallow land, although lower than that of forests, remains within acceptable limits, thereby facilitating the establishment of crops. Conversely, the CECs for hydromorphic soils in the control fields are notably low, yet crop cultivation is feasible. The findings of Fang *et al.* [60] indicate that the CEC is significantly influenced by climatic conditions, precipitation levels, topographical features and human activities. This is exemplified by our hydromorphic soils. A comparison has been made between the CEC of forest and fallow land soil and that of fields under permanent cultivation. The functional particularity of CEC precludes its storage in cultivated soils. This is indicative of the low value obtained, despite the favourable nature of the soil in question with regard to the increase in CEC.

Exchangeable bases represent the essential cations ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) that are available to plants. An enhancement in these bases directly enhances soil fertility [61, 62]. The study revealed that forest soils exhibited a pH value of 19  $meq.100g^{-1}$ , which was approximately twice that of fallow soils (8  $meq.100g^{-1}$ ) and approximately five times that of field soils (3.94  $meq.100g^{-1}$ ). The forest values exceed the threshold ( $2 < SBE < 15 meq.100g^{-1}$ ) for hydromorphic tropical soils [41, 47, 63]. It should be noted that these values may fluctuate in response to temporary waterlogging associated with hydromorphism. It can be surmised that this results in some cations being favoured at the expense of others. The elevated levels of exchangeable bases in forest soils provide compelling evidence of enhanced CEC in these ecosystems. This increase has been observed to occur in a gradient from fields to forests, with intermediate fallow situations exhibiting intermediate values. Notwithstanding the fact that the land in question has been subjected to permanent cultivation, the soil in the fields in question displays values that fall within the threshold established for hydromorphic tropical soils. This therefore permits the continuation of permanent agricultural activity. Nevertheless, the removal of forest or fallow vegetation would result in the introduction of cations into the soil at a rate five times greater than that observed in the fields.

The saturation rate is an invaluable environmental indicator of the chemical richness of the soil, which determines the biological activity, quality and reserves of fertilising elements. The mean saturation rate values indicate that the three scenarios are situated on highly fertile soils, with forest areas exhibiting a saturation rate of 95%, fallow lands displaying a saturation rate of 83%, and agricultural fields exhibiting a saturation rate of 95%. Therefore, the transformation of fallow land into forest has not resulted in a significant alteration in the saturation rate of the bases. These soil fertility states under forests and fallow land may be attributed to the previous cultivation of the latter prior to its conversion to fallow land. The work of Serpantié [11] on hydromorphic soil has demonstrated that fallow soil from animal-drawn cultivation regenerates rapidly, in contrast to that from motorised cultivation. The soil states observed in the fields are identical to those observed in the forests and fallow land, and these observations can be readily explained by the fact that heavy tillage is preferentially carried out with a plough by the local population, who are keen to preserve soil fertility.

#### 4.6 INFLUENCE OF CHEMICAL BALANCES

The equilibrium of chemical balances between diverse cations ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ) and soil CEC is a crucial factor influencing soil fertility and plant nutrition in general. The Ca/Mg ratio is frequently regarded as a crucial factor in maintaining optimal soil structure and balanced nutrient availability [25]. However, the presence of excess calcium can reduce the availability of magnesium, while the accumulation of excess magnesium can compact the soil, thereby reducing aeration and water infiltration [25, 64, 65]. The optimal Ca/Mg ratio for tropical hydromorphic soils is between 2 and 4.5 [27, 47]. The values of the ratios obtained in the present study range from 1.6 to 2.5. This suggests the potential for inhibition of Mg and a deficiency of Ca in our soils. The occurrence of waterlogging for part of the year may or may not favour the presence of one of the two elements. Such consequences would be detrimental to plant nutrition, resulting in soil compaction or poor aeration. The soil ratios observed in forest and field ecosystems are higher (2.5) than those recorded in fallow land (1.6). This supposition is based on the assumption that plant nutrition is optimal in the first two situations, in contrast to the potential calcium deficiency observed in fallow land.

The Mg/K ratio plays a pivotal role in plant nutrition and cation balance within the soil. An excess of magnesium can compete with potassium for exchange sites in the soil matrix [25]. This may result in a limitation of potassium uptake by plants. In the case of these two cations, which are known to be antagonistic, the optimal ratio falls between 2 and 4 [41]. With the exception of fields exhibiting a Mg/K ratio of 5.73, forests and fallows display a Mg/K ratio of 1.7 and 1.32, respectively. This suggests that a magnesium deficiency may occur in forest ecosystems. The low ratio may indicate an excess of potassium, which could result in a magnesium deficiency for some plants, thereby disrupting the nutritional balance and reducing the CEC. As demonstrated by Dognin *et al.* [66], maintaining an optimal Mg/K ratio optimises the utilisation of cation exchange sites and facilitates balanced nutrient absorption by plants. Conversely, in hydromorphic soils, the conditions of water saturation and low oxygenation result in a greater alteration of primary minerals, which is likely to be the case for forest and fallow soils. Indeed, these two

scenarios exhibit the presence of persistent vegetative cover, in contrast to cultivated fields. It can be surmised that the excess potassium is linked to the constant return of slowly decomposing plant matter to the soil, a consequence of hydromorphy.

The K/CEC ratio represents the proportion of potassium relative to the total cation exchange capacity of the soil. In hydromorphic Sudanian soil (40% fine elements), a K/CEC ratio of 2 to 5% is deemed satisfactory for the majority of plants [25]. The ratio may be influenced by the retention of water and the potential leaching of potassium during periods of heavy rainfall. Values that are too high indicate potassium saturation, which can result in the blockage of the absorption of other cations. As stated by Fallavier and Olivin [67], potassium is preferentially exchanged in hydromorphic soils, with the consequence that other cations are displaced. However, this process is limited by the saturation of the CEC, which should not exceed 30%. Notwithstanding the elevated clay and organic matter concentrations, the effective availability of nutrients may be diminished by water saturation. In the present case, the forest and fallow areas exhibit a ratio of 16%, while the control fields display a ratio of 4%. The low ratio of potassium in the soil, as observed in the fields, indicates a potential limitation in the availability of this nutrient for plant nutrition. Conversely, the elevated levels of potassium observed in forest and fallow soils have the potential to disrupt the absorption of other cations. This excess in forest and fallow soils can be attributed to the constant renewal of the K-rich plant litter.

The (Ca+Mg)/K ratio represents the overall relationship between calcium, magnesium and potassium and is employed to assess the overall cation balance in the soil. It ensures an optimal balance between these major cations, thereby enhancing soil fertility. An optimal ratio of (Ca+Mg)/K of 10 to 20 is typically recommended for hydromorphic soil [25]. A ratio that is too low can result in soil structure issues and impede the absorption of calcium and magnesium. Conversely, a ratio that is too high can restrict the availability of potassium. The ratio of the soil constituents in our forests and fallow land is 5.3 and 3.4, respectively, while that of cultivated fields is 20. The availability of calcium and magnesium is therefore problematic in natural vegetation situations, despite the permanent renewal of the stock of plant matter. Conversely, in agricultural fields, the supply of potassium is constrained. This is justified at the field level, where organic amendments are limited to crop residues for certain crops [68] and potassium is preferentially taken up by crops. In fallow lands, which represent a transitional phase prior to forestation, this phenomenon can be attributed to the restitution of plant matter comprising species with low potassium content. The natural plant composition thus influences the renewal of cation stocks and the enhancement of the CEC in general.

## 5 CONCLUSIONS

This study demonstrated the significance of modified natural forest and fallow ecosystems in the restoration of soil fertility dynamics through a comparative analysis of CEC enhancement and exchangeable bases. In Sudanese hydromorphic soils, cation exchange capacity (CEC) dynamics are enhanced by the presence of clay minerals, which possess a large surface area and cation retention capacity. The contribution of fine silts is comparatively limited, whereas coarse silts play a more prominent structural role. Furthermore, hydromorphic conditions exert an influence on soil chemistry, modifying the reactivity of clays and the availability of essential cations. The high organic matter content associated with a weakly acidic pH creates a favourable environment for CEC enhancement in forest soils. The measurement of a range of soil chemical and physical parameters enabled a comparison of forest soils with those of fallows and fields. It is evident that the intermediate stage of fertility reconstitution, represented by fallow, does not significantly contribute to the enhancement of CEC and exchangeable bases. It is essential to allow for the establishment of the tertiary forest before expecting to observe significant increases in CEC and exchangeable bases. These increases are observed at the levels of all the physicochemical parameters measured, including texture, carbon (C), nitrogen (N), cation exchange capacity (CEC), calcium (Ca<sup>2+</sup>), magnesium (Mg<sup>2+</sup>), manganese (II) (Mn<sup>2+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>), and potassium (K<sup>+</sup>).

Increasing the CEC and exchangeable bases of a hydromorphic soil of the Sudanian forest of western Burkina Faso must therefore be based on integrated soil management with innovative approaches such as adapted cultural practices.

These approaches aim not only to increase the soil's capacity to retain nutrients, but also to improve the availability of exchangeable bases that are essential for plant growth. These approaches also help promote sustainable agriculture and improve agricultural productivity in this region where soils are naturally poor in nutrients.

However, our study did not take into account agronomic aspects in order to estimate losses due to the export of crops at the level of permanent fields.

## CONFLICTS OF INTEREST

All authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

## REFERENCES

- [1] G. Rayment and D. Lyons, *Soil Chemical Methods – Australasia*, Australian soil and land survey handbooks, CSIRO Publishing, 2011.
- [2] E. Hien, F. Ganry, V. Hien and R. Oliver, «Dynamique du carbone dans un sol de savane du sud-ouest Burkina sous l'effet de la mise en culture et des pratiques culturelles». *Colloque Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*, Garoua, Cameroun. hal-00135416, 11p, 2003.

- [3] W.D. Bowman, C.C. Cleveland, L. Halada, J. Hreško and J.S. Baron, «Negative impact of nitrogen deposition on soil buffering capacity», *Nature Geoscience*, vol. 1, no. 11, pp. 767-770, 2008. <https://doi.org/10.1038/ngeo339.x>.
- [4] G.J.D Kirk, P.H. Bellamy, and R.M. Lark, «Changes in soil pH across England and Wales in response to decreased acid deposition», *Global Change Biology*, vol. 16, no. 11, pp. 3111-3119, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02135.x>.
- [5] S. Biaou, F. Houeto, G. Gouwakinnou, S.S.H. Biaou, B. Awessou, S. Tovihessi and R. Tete, *Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord Bénin*. Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Cotonou, Bénin 2019. hal-02189367.
- [6] FAO, *La situation des forêts du monde*. Les forêts au service du développement durable, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2018.
- [7] FAO, *Forêts et agriculture: défis et possibilité concernant l'utilisation des terres*. Rome (Italie), ISBN: 978-92-5-209208-7, 2016.
- [8] A. Aubreville, «Accord à Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation», *Bois et Forêts Des Tropiques*, vol. 51, pp. 23-27, 1957.
- [9] F. White, «The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the UNESCO/ AETFAT/UNSO vegetation map of Africa», *Nat. Resour. Res*, vol. 20, pp. 1-356, 1983.
- [10] S.K Ciza, J. Mikwa, A.C. Malekezi, V. Gond and F.B. Bosela, «Identification des moteurs de déforestation dans la région d'Isangi, République démocratique du Congo», *Bois et Forêts Des Tropiques*, vol. 324, no. 2, pp. 29-38, 2015.
- [11] G. Serpantié, «Persistence de la culture temporaire dans les savanes cotonnières d'Afrique de l'Ouest. Etude de cas au Burkina Faso». *Thèse de Doctorat d'Agronomie*, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 342p., 2003.
- [12] A.C.S Costa, J.I.G Souza, L.C. Canton, L.G. Gil and R. Figueiredo, «Contribution of the chemical and mineralogical properties of sandy-loam tropical soils to the cation exchange capacity», *Rev Bras Cienc Solo*, vol. 44, 2020.
- [13] M. Mayer, C.E. Prescott, W.E.A Abaker, L. Augusto, L. Cecillon, G.W.D. Ferreira, J. James, R. Jandl, K. Katzensteiner, J.P. Laclau, J. Laganiere, Y. Nouvellon, D. Pare, J.A. Stanturf, E.I. Vanguelova and L. Vesterdal, «Tamm Review: Influence of Forest Management Activities On Soil Organic Carbon Stocks: A Knowledge Synthesis», *Forest Ecology and Management*, vol. 446 no. 1, pp. 1-25, 2020.
- [14] C. Wacal, N. Ogata, D. Basalirwa, D. Sasagawa, T. Masunaga, S. Yamamoto and E. Nishihara, «Growth and K nutrition of Sesame (*Sesamum Indicum* L.) seedlings as affected by balancing soil exchangeable cations Ca, Mg and K of continuously monocropped soil from Upland fields converted paddy», *Agronomy*, vol. 9 no. 819, pp. 1-14, 2019.
- [15] D.L Marcos, C.M. Ruiz, M.B Turrion, M. Jonard, H. Titeux, Q. Ponette and F. Bravo, «Soil Carbon Stocks and Exchangeable Cations in Monospecific and Mixed Pine Forests», *European Journal of Forest Research*, vol. 1 no. 1, pp. 1-17, 2018.
- [16] A. Fournier, C. Floret and G.-M. Gnahoua, *Végétation des jachères et succession post culturale en Afrique tropicale*, In Floret et Pontanier Ed. pp 123-168, 2001.
- [17] CPCS, *Classification des sols*. Travaux C.P.C.S. 1963-1967, INA/Grignon Ed., 1967.
- [18] FAO-WRB (2015) Base de référence mondiale pour les ressources en sols. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106, Rome.
- [19] Bunasol, Restauration et maintien de la fertilité des sols au Burkina Faso, document technique, no 10, 45 p, 2005.
- [20] Cirad, Catalogue des analyses courantes. Cirad Ed., 16 p, 2017.
- [21] C.E.A.E., Détermination de la matière organique par dosage du carbone organique dans les sols agricoles: méthode Walkley-Black modifiée, MA. 1010-WB 1.0. Ministère de l'Environnement du Québec, 10 p, 2003.
- [22] H. Scheffe, *The analysis of Variance*, Wiley, New York, 477p, 1959.
- [23] B. Scherrer, *Biostatistique*, Ed. Gaëtan Morin, 850 p, 1989.
- [24] SAS, *SAS/STAT User's Guide, Version 9.0*, Fourth Edition, Cary, NC, SAS Institute, 378p, 2020.
- [25] N.C. Brady and R.R. Weil, *The Nature and Properties of Soils*, 15th Edition, Pearson Education, New York, 912p, 2017.
- [26] S.R. Pezeshki, «Wetland plant responses to soil flooding», *Environmental and Experimental Botany*, vol. 46, no. 3, pp. 299-312, 2001.
- [27] P.M. Sedogo, Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité, *Université Nationale de Côte d'Ivoire*, Abidjan, 285p, 1993.
- [28] F.N. Ponnampereuma, «Effects of flooding on soils», *Flooding and plant growth*, vol. 10, no. 45, pp. 1454-1458, 1984.
- [29] G.W. Thomas, «Exchangeable cations», *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, vol. 9, pp. 159-165, 1982.
- [30] D. Baize, *Guide des analyses en pédologie*, 2nd Ed., France, INRA Editions, 257p, 2000.
- [31] R. Lal and M.K. Shukla, *Principles of Soil Physics*. Academic Press, New York. 736 p, 2004. <https://doi.org/10.4324/9780203021231>.
- [32] M.B. McBride, *Environmental Chemistry of Soils*, Oxford University Press, Oxford, 406p, 1994.
- [33] C.N. Reddy and W.H. Patrick Jr, «Effect of redox potential and pH on the uptake of cadmium and lead by rice plants», *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*, vol. 6, no. 3, pp. 259-262, 1977.
- [34] K. Kaiser, K. Eusterhues, C. Rumpel, G. Guggenberger and I. Kögel-Knabner, «Stabilization of organic matter by soil minerals investigations of density and particle-size fractions from two acid forest soils», *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 165, no. 4, pp. 451-459, 2002.
- [35] U.T.R.M Schwertmann and R.M Taylor, «Iron oxides», *Minerals in soil environments*, vol. 1, pp. 379-438, 1989.
- [36] P.A. Sanchez, *Properties and Management of Soils in the Tropics*, Cambridge University Press, Cambridge, 666 p, 2019.
- [37] R. Lal, «Enhancing Crop Yields in the Developing Countries through Restoration of the Soil Organic Carbon Pool in Agricultural Lands», *Land Degradation & Development*, vol. 17, pp. 197-209, 2006. <https://doi.org/10.1002/ldr.696>.

- [38] D. Dubroeuq and B. Volkoff, «Évolution des sols sous forêts denses et forêts claires en zone soudano-guinéenne», *Etudes et Gestion des Sols*, vol. 5, no. 4, pp. 283-295, 1998.
- [39] R. Niskanen and A. Jaakkola, «Estimation of cation exchange capacity in routine soil testing», *Journal of agricultural Science in Finland*, vol. 58, pp. 1-7, 1986.
- [40] M. Yoni, A. Sako, L. Abbadie and G. Serpantié, «Carbon and Nitrogen Dynamics of Soil Organic Matter Fractions in Thickets and Intergrowth Areas of Sudanian Savannah Grasslands, Bondoukuy, Western Burkina Faso». *Environment and Natural Resources Research*, vol.8 no. 4, pp. 16-31, 2018. <https://doi.org/10.5539/enrr.v8n4p16>.
- [41] J. Boyer, Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides, Initiations-documentations techniques N°35, Orstom édition Paris, 176p, 1978.
- [42] R. Manlay, «Dynamique de la matière organique dans un terroir agro-pastoral de savane Ouest-Africain (Sud-Sénégal)», *Thèse de Doctorat*, Engref, 192p, 2001.
- [43] F. Alexandre, «Géographie et écologie végétale. Pour une nouvelle convergence», *Thèse de doctorat*, Université Paris 7-Diderot, 2008.
- [44] A. Fournier, «Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'ouest. Variation selon un gradient climatique», *Thèse de doctorat d'état*, Université Pierre et Marie Curie Paris VI. Orstom Ed., 307 p, 1991.
- [45] U. Falkengren-Grerup, «Effects of Long-Term Storage on Some Chemical Properties of Forest Soil Samples», *Ecological Bulletins*, vol. 44, pp. 129-132, 1995.
- [46] A. Bationo, B. Waswa, J. Kihara and J. Kimetu, «Advances in Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities», *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 76, pp. 2-3, 2006. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5760-1>.
- [47] J.R. Landon, Booker Tropical Soil Manual, A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics, paperback, longman, Booker Tate limited, Oxon, Royaume Uni, 474 p, 1991.
- [48] C. Mulaji, P. Disa-Disa, I. Kibal and M. Culot, «Diagnostic de l'état agropédologique des sols acides de la province de Kinshasa en république démocratique du Congo (RDC)», *Comptes rendus Chimie*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cri.2015.08.010>.
- [49] L.J. Munkholm, E.M. Hansen and J.E. Olesen, «The effect of tillage intensity on soil structure and winter wheat root/shoot growth», *Soil Use and Management*, vol. 24 no. 4, pp. 392-400, 2008.
- [50] J. Lehmann and M. Kleber, «The contentious nature of soil organic matter», *Nature*, vol. 528, pp. 60-68, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature16069>.
- [51] J. Six, R.T. Conant, E.A. Paul and K. Paustian, «Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils», *Plant and Soil*, vol. 241, pp. 155-176, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>.
- [52] J.J.H Van den Akker, W. Cornelis and C.J. Ritsema, «Soil hydrology and vegetation cover: Improving land management for sustainable agriculture in sub-Saharan Africa», *Journal of Hydrology*, vol. 495, pp. 12-23, 2013.
- [53] R. Lal, «Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security», *Science*, vol. 304, no. 5677, pp. 1623-1627, 2004.
- [54] D.L. Sparks, *Environmental Soil Chemistry*, 2nd Edition, Academic Press, Oxford. 352p, 2003. <https://doi.org/10.1016/B978-012656446-4/50001-3>.
- [55] T. Kätterer and O. Andrén, «Long-term agricultural field experiments in Northern Europe: Analysis of the influence of management on soil carbon stocks using the ICBM model», *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 72, no. 2, pp. 165-179, 1999.
- [56] N.H. Batjes, «Total carbon and nitrogen in the soils of the world», *European Journal of Soil Science*, vol. 47 no. 2, pp. 151-163, 1996.
- [57] J. Ranger, L. Augusto, J. Berthelin, J. Berrier, P. Bonnaud, C. Calvaruso and G. Veneau, «Etude du fonctionnement actuel des sols forestiers par la méthode des minéraux-tests», *Etude et Gestion des Sols*, vol. 14, pp. 267-286, 2007.
- [58] D.L. Rowell, *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Group UK Limited London 350 p, 1994.
- [59] P. Duclaufour, «Hydromorphic soils», In *Pedology: Pedogenesis and classification* Dordrecht: Springer Netherlands, pp; 335-372, 1982.
- [60] K. Fang, D. Kou, G. Wang, L. Chen, J. Ding, F. Li, and Y. Zang, «Decreased soil cation exchange capacity across northern China's grasslands over the last three decades», *Journal of Geophysical Research, Biogeosciences*, vol. 122, pp. 3088-3097, 2017. <https://doi.org/10.1002/2017JG003968>.
- [61] P.M. Kopittke, P.J. Dart and N.W. Menzies, «Toxic Effects of Low Concentrations of Cu on Nodulation of Cowpea (*Vigna unguiculata*)», *Environmental Pollution*, vol. 145, pp. 309-315, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.007>.
- [62] R.L. Donahue, R.W. Miller and T.C. Shickluna, *An Introduction to Soils and Plant Growth*, Prentice-Hall of India, New Delhi, 1431 p, 1990.
- [63] W. Chesworth, *Encyclopedia of soil science*. Edited by Chesworth W. Springer Science & Business Media, The Netherlands 902 p, 2008.
- [64] S. Dorlodot, S. Lutts and P. Bertin, «Effects of Cation Exchange Capacity on Plant Nutrient Uptake», *Plant and Soil*, vol. 273, pp. 297-310, 2005.
- [65] F.R. Cox, «Calcium, Magnesium, and Potassium Ratios in Soil: Importance for Crop Production», *Soil Science Society of America Journal*, vol. 43, no. 4, pp. 539-543, 1979.
- [66] O. Dognin, C. Megie, L. Richard and G. Sement, «Dynamique du potassium échangeable dans les sols tropicaux cultivés», *Cot. Fib. Trop.* 1931, vol. 36, no. 2, pp. 191-204, 1981.
- [67] P. Fallavier and J. Olivin, «Etude expérimentale de la dynamique du potassium et du magnésium dans quelques sols tropicaux représentatifs des zones de culture du palmier à huile», *Oléagineux* vol. 43, no. 3, pp. 93-105, 1988.
- [68] D. Dakouo, «Effets des types de sol et de la topographie sur l'absorption des ions K<sup>+</sup> par le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) dans les agro-systèmes soudano-sahéliens de l'Ouest du Burkina Faso», *Thèse de Doctorat*, Université F. H.-B. de Cocody, 310 p. 2012.

## Influence de la Diversité Morphologique sur la Phénologie Florale de cultivars de *Phaseolus lunatus* L. en Côte d'Ivoire

### [ Influence of Morphological Diversity on the Floral Phenology of *Phaseolus lunatus* L. cultivars in Côte d'Ivoire ]

Yao Kouakou Abessika Georges<sup>1</sup>, Gbotto Ahou Anique<sup>1</sup>, Anzara Gnigouan Kadio Guy Roland<sup>1</sup>, Tiemoko Bagui Fabien<sup>1</sup>, Gore Bi Boh Nestor<sup>1</sup>, Akaffou Doffou Sélastique<sup>1</sup>, and Zoro Bi Irie Arsène<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departement of Agronomy and forestry, of Jean Lorougnon Guede University, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Laboratory of Biology and Improving Vegetable Productions, Natural Sciences Unit, University Nangui Abrogoua (UNA), BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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:** *Phaseolus lunatus* is a legume rich in protein and essential amino acids, with a notable morphological diversity that influences its floral phenology. The aim of this study was to evaluate the flowering period of four morphotypes and to determine the duration of flower opening. The experiments were carried out at the Université Jean Lorougnon Guédé in Daloa, Côte d'Ivoire. The experimental set-up used was a complete block with 10 plants per morphotype. The results revealed significant variability between morphotypes. Morphotype 3 showed early flowering (79 days), while morphotype 2 was the latest (137 days). Analysis of floral morphology using an optical microscope revealed significant differences between morphotypes in terms of the number of flowers opened and aborted. This study underlines the importance of understanding floral phenology for optimizing *P. lunatus* production and guiding varietal selection. The variability observed highlights the potential for genetic improvement, in order to develop better-performing varieties that are better adapted to changing climatic conditions.

**KEYWORDS:** *Phaseolus lunatus*, morphological diversity, flowering, significant variability, phenology, climatic conditions.

**RESUME:** *Phaseolus lunatus* est une légumineuse riche en protéines et en acides aminés essentiels, présentant une diversité morphologique notable qui influence sa phénologie florale. Cette étude a pour objectif d'évaluer la période de floraison de quatre morphotypes et de déterminer la durée d'ouverture des fleurs. Les expérimentations ont été menées à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, en Côte d'Ivoire. Le dispositif expérimental utilisé est un block complet avec 10 plants par morphotype. Les résultats ont révélé une variabilité significative entre les morphotypes. Le morphotype 3 a montré une floraison précoce (79 jours), tandis que le morphotype 2 a été le plus tardif (137 jours). L'analyse de la morphologie florale, réalisée à l'aide d'un microscope optique, a mis en évidence des différences significatives entre les morphotypes en ce qui concerne le nombre de fleurs épanouies et avortées. Cette étude souligne l'importance de la compréhension de la phénologie florale pour l'optimisation de la production de *P. lunatus* et pour orienter la sélection variétale. La variabilité observée met en lumière un potentiel d'amélioration génétique, afin de développer des variétés plus performantes et mieux adaptées aux conditions climatiques changeantes.

**MOTS-CLEFS:** *Phaseolus lunatus*, diversité morphologique, floraison, variabilité significative, phénologie, conditions climatiques.

## 1 INTRODUCTION

La biodiversité des espèces cultivées est un pilier fondamental pour assurer la sécurité alimentaire mondiale et la durabilité des systèmes agricoles [1,2]. Parmi les espèces les plus essentielles, les légumineuses occupent une place particulière en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique, leur richesse nutritionnelle et leur rôle dans l'amélioration de la fertilité des sols [3, 4]. Ces plantes sont d'autant plus importantes dans un contexte où la réduction de l'utilisation des engrais azotés est un enjeu global pour limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES) et promouvoir une agriculture plus durable [5]. En tant que deuxième source alimentaire mondiale après les céréales, les légumineuses jouent un rôle crucial dans la sécurité nutritionnelle des populations, notamment grâce à leur teneur élevée en protéines, fibres alimentaires, minéraux et vitamines [6]. Parmi ces légumineuses, *Phaseolus lunatus*, communément appelé haricot de Lima, constitue une source importante de protéines végétales indispensables à l'alimentation humaine et animale grâce à leur haute teneur en protéines (20-42%) et en acides aminés essentiels [7; 8]. En plus de leurs intérêts alimentaires et agronomiques, sont d'une grande importance en médecine traditionnelle [9]. En effet, les feuilles *Phaseolus lunatus* sont utilisées dans le traitement des maux d'oreilles et aussi comme analgésiques. Les graines de l'espèce sont utilisées dans la prise en charge de certaines affections chroniques comme le diabète et le cancer [10] puis d'autres maladies telles que l'hydropisie, les gonflements, l'œdème, la goutte et les tumeurs [11; 12]. Elle se distingue par sa grande diversité morphologique [13; 14]. Cette diversité, qui inclut différentes tailles, couleurs de graines et formes de croissance, peut avoir des répercussions importantes sur les caractéristiques agro-morphologiques et phénologiques [15; 16; 17] notamment sur la floraison. La floraison est une phase critique pour la reproduction des plantes, car elle détermine non seulement la formation des fruits, mais influence également la productivité globale d'une culture [18]. De plus, la variabilité de la floraison au sein des morphotypes peut être influencée par des facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité et la photopériode, rendant l'adaptation des plantes à leur environnement encore plus complexe [19]. Le changement climatique exacerbe ces défis, car les légumineuses, bien que résilientes, sont sensibles aux perturbations climatiques [20]. Les fluctuations de température, la modification des régimes de précipitation et les variations de la durée du jour affectent directement les cycles de floraison et la productivité [21]. Cela soulève la nécessité d'une meilleure compréhension des dynamiques de floraison de *Phaseolus lunatus*, en particulier dans les environnements tropicaux, où les impacts du changement climatique sont plus prononcés. Bien que des études aient été menées sur les traits morphologiques de *Phaseolus lunatus*, peu de recherches se sont concentrées sur la variabilité phénologique de la floraison entre les morphotypes dans un contexte tropical. Cette lacune documentaire limite la capacité des producteurs à choisir les morphotypes les plus adaptés à leurs environnements et à maximiser la productivité. Il est donc crucial d'approfondir la connaissance des facteurs qui influencent la floraison, afin de mieux guider la gestion des cultures et les programmes de sélection variétale. L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'optimisation de la reproduction de *Phaseolus lunatus* en évaluant les variations de floraison entre quatre morphotypes cultivés dans un environnement tropical. Plus spécifiquement, il s'agit d'évaluer la période de floraison pour chaque morphotype, de déterminer les moments précis d'ouverture des fleurs et de fournir des données qui permettront d'orienter les stratégies d'amélioration de cette espèce.

## 2 MATERIAL AND METHOD

### 2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée en Côte d'Ivoire, dans la région du Haut Sassandra, précisément à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa. Daloa, située à 6°54'28" N et 6°26'25" O, est une ville du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, caractérisée par un climat tropical avec quatre saisons distinctes: deux saisons de pluies (grande et petite) et deux saisons sèches (grande et petite). Les précipitations annuelles moyennes sont de 1 317 mm et les températures varient entre 24,65°C et 27,75°C. Cependant, ces dernières années, un changement climatique marqué par une augmentation des températures et une diminution de la pluviométrie a été observé. La végétation environnante est principalement composée de forêt dense mésophile, aujourd'hui remplacée par des cultures de rente telles que le café, le cacao et l'hévéa.

### 2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé dans cette étude comprend quatre morphotypes de *Phaseolus lunatus* collectés dans les localités d'Adzopé et de Bongouanou, deux zones importantes de production. Un total de 120 graines a été utilisé pour mesurer les paramètres de germination, et 40 plants, âgés d'au moins quatre mois, ont été observés pour la caractérisation des inflorescences et des fleurs.

### 2.3 PRÉPARATION DU TERRAIN

Le terrain a d'abord été nettoyé en éliminant les mauvaises herbes à l'aide d'une machette. Un labour de 20 cm de profondeur a ensuite été réalisé avec une daba pour ameublir et aérer le sol, et limiter les agents pathogènes et la concurrence des mauvaises herbes. Les graines ont ensuite été semées à des intervalles réguliers selon le dispositif expérimental.

### 2.4 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en block complet sur une parcelle de 20 m x 20 m à l'Université Jean Lorougnon Guédé. Chaque morphotype était représenté sur une ligne comportant 10 points de semis, soit un total de 40 points de semis répartis sur quatre lignes. La distance entre deux points de semis était de 2 m, et chaque point a reçu deux graines. Un sarclage régulier a été effectué chaque semaine pour réduire la concurrence des adventices et favoriser une bonne croissance des plants. Les plants, de nature grimpante, ont été tuteurés pour éviter que les tiges ne se cassent sous l'effet du vent ou du poids des plants.

### 2.5 PARAMÈTRES MESURÉS

Les observations ont été réalisées à partir du semis pour enregistrer les paramètres de germination et de floraison: qui sont les suivants: temps moyen et taux de germination. Le nombre d'inflorescences par plant, l'envergure de la plante, longueur des inflorescences, le nombre de boutons floraux par inflorescence, le nombre de fleurs épanouies, le nombre de fleurs avortées, ainsi que la longueur et le diamètre des boutons floraux et des pétales.

### 2.6 ANALYSES STATISTIQUES

Une analyse multivariée de la variance (MANOVA) et l'Analyse de la variance ont été utilisées pour comparer les morphotypes en fonction des différentes variables mesurées. Cette méthode a permis de déterminer les différences significatives entre les morphotypes pour l'ensemble des caractères étudiés. Lorsqu'une différence significative a été observée, le test de la plus petite différence significative (PPDS) a été appliqué à un seuil de 5 % pour identifier les morphotypes qui se distinguaient. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel Statistica, version 7.1 [22].

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 GERMINATION DES MORPHOTYPES

L'analyse des données de germination a montré que tous les morphotypes étudiés ont un taux de germination supérieur à 50 %. Le temps moyen de germination a été estimé entre 9 et 11 jours pour les quatre morphotypes. Bien que ces valeurs restent proches, aucune différence significative n'a été observée entre les morphotypes ( $P > 0,05$ ). Ces résultats indiquent que les conditions environnementales étaient uniformes et favorables pour tous les morphotypes, et que les variations morphologiques n'ont pas affecté de manière notable la phase de germination.

**Tableau 1. Temps moyen de germination par morphotype**

Morphotypes	Effectif	Germination (j)
M1 (Marron)	10	9,87 <sup>a</sup> ±1,36
M2 (Marron clair)	10	11,50 <sup>a</sup> ±2,74
M3 (Marron Blanc)	10	10,28 <sup>a</sup> ±2,75
M4 (Rose Noire)	10	9,33 <sup>a</sup> ±0,816
<i>F</i>		1,61
<i>P</i>		0,204

Les résultats montrent que tous les morphotypes présentent une émergence des plantules dans une fourchette relativement étroite. Ainsi, les différences dans les phases ultérieures de développement, notamment la floraison, pourraient offrir des indications plus pertinentes sur l'influence des morphotypes.

### 3.2 DYNAMIQUE DE LA FLORAISON

L'analyse de la dynamique de la floraison a révélé des différences significatives entre les morphotypes. Le morphotype 3 (Marron blanc) a été le plus rapide à produire des inflorescences, avec une floraison débutant 79 jours après le semis. En revanche, le morphotype 2 (Marron clair) a montré une floraison plus tardive, à 136,7 jours après le semis. Les analyses statistiques (ANOVA) ont révélé une différence significative ( $P < 0,001$ ) entre les morphotypes en termes de nombre de jours après semis (NoJAS), de nombre d'inflorescences (NoI), et de longueur de l'inflorescence (Lo). Ces variations démontrent que les traits phénologiques de la floraison sont directement influencés par les caractéristiques morphologiques de chaque groupe.

**Tableau 2.** Comparaison des caractères observés sur les inflorescences des morphotypes

Facteur	NoJAS (j)	NoI	Lo (cm)	En (cm)
<b>M1</b>	112,8 <sup>b</sup> ±2,35	6,05 ±0,83 <sup>b</sup>	1,39 ±0,22 <sup>a</sup>	2,9 <sup>a</sup> ±0,55
<b>M2</b>	136,7 <sup>c</sup> ±2,45	5,96 ±0,74 <sup>b</sup>	2,03 ±0,23 <sup>b</sup>	2,47 <sup>a</sup> ±0,29
<b>M3</b>	79 <sup>a</sup> ±1,56	2,81 ±0,27 <sup>a</sup>	1,93 ±0,27 <sup>b</sup>	2,5 <sup>a</sup> ±0,29
<b>M4</b>	125,1 <sup>bc</sup> ±2,35	2,38 ±0,31 <sup>a</sup>	1,27 ±0,23 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup> ±0,29
<b>F</b>	1590,5	7,06	2,87	0,31
<b>P</b>	<0,001	<0,001	0,003	0,82

**NoJAS:** Nombre de jours après semis; **NoI:** Nombre d'inflorescences; **En:** Envergure, **Lo:** Longueur de l'inflorescence

Le morphotype 2, malgré sa floraison tardive, a montré une longueur d'inflorescence plus élevée (2,03 cm), ce qui pourrait indiquer une plus grande capacité de production florale, une caractéristique favorable pour l'amélioration de la production de graines.

### 3.3 ÉVALUATION DES PARAMÈTRES FLORAUX

L'étude des boutons floraux et des fleurs épanouies a également mis en évidence des différences significatives entre les morphotypes. Le morphotype 1 (Marron) a produit le plus grand nombre de fleurs épanouies (51,33 ± 8,41), tandis que le morphotype 3 (Marron blanc) a montré le nombre de fleurs avortées le plus faible (20 ± 2,52). Ces résultats suggèrent que les variations phénologiques ne se limitent pas au moment de la floraison, mais influencent également la production et la viabilité des fleurs.

**Tableau 3.** Valeurs moyennes du nombre de boutons floraux, de fleurs épanouies et de fleurs avortées

Morphotype	NoBF	NoFE	NoFA
<b>M1</b>	58 <sup>a</sup> ±8,33	51,33 <sup>c</sup> ±8,41	47 <sup>c</sup> ±9,00
<b>M2</b>	50,67 <sup>a</sup> ±8,35	35,33 <sup>b</sup> ±2,40	30,67 <sup>ab</sup> ±3,18
<b>M3</b>	32,67 <sup>a</sup> ±3,71	23 <sup>a</sup> ±2,00	20 <sup>a</sup> ±2,52
<b>M4</b>	48 <sup>a</sup> ±2,00	36 <sup>b</sup> ±4,16	28,67 <sup>a</sup> b±4,67
<b>F</b>	2,89	5,50	4,26
<b>P</b>	0,10	0,02	0,04

**NoBF:** Nombre de Boutons Floraux, **NoFE:** Nombre de fleurs épanouies, **NoFA:** Nombre de Fleurs Avortées

Sur la colonne, pour le paramètre, les individus dont les valeurs moyennes portent des lettres différentes sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ). Les lettres correspondent aux rangs obtenus à l'issue du classement des morphotypes. Significative:  $P \leq 0,05$ ; hautement significative:  $P \leq 0,001$ ;  $P$ : % de probabilité;  $F$ : test de la Plus Petite Différence Significative

Les résultats obtenus montrent que le morphotype 1 a une meilleure capacité à produire des fleurs viables. Cela pourrait être avantageux pour les travaux d'hybridation, visant à améliorer le rendement en graines.

### 3.4 OUVERTURE DES FLEURS

La figure 1 nous montre le nombre de boutons floraux ouverts en une journée ainsi que l'évolution de l'ouverture d'une fleur sur trois inflorescences. L'ouverture de la fleur commence par une faille. De 8h à 13h, Le nombre de fleurs ouvertes à

tendance à augmenter et reste constant jusqu'à 17h30 au niveau des inflorescences 1 et 3. Tandis qu'il est resté constant toute la journée au niveau de l'inflorescence 2. Les fleurs de l'inflorescence 1 et 2 ont montré une ouverture progressive entre 8h et 13h puis stationnaire à partir de 13h. Tandis que celle de l'inflorescence 3 est continue

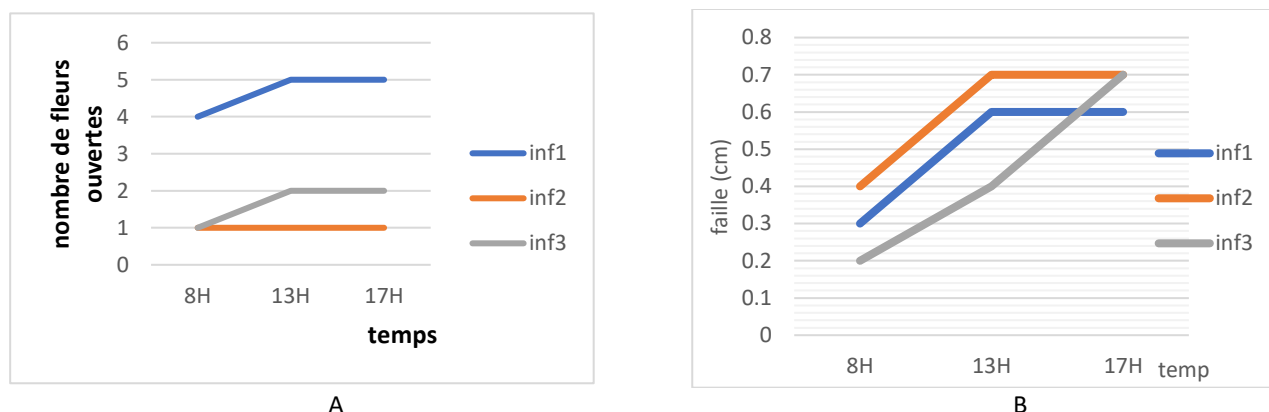


Fig. 1. Courbe d'évolution du nombre de fleurs ouvertes et du rythme de l'ouverture en une journée.  
A: Nombre de fleurs par inflorescence, B: Rythme de l'ouverture d'une fleur

#### 4 DISCUSSION

La connaissance de la biologie florale d'une espèce est une étape très importante dans la compréhension de tous les mécanismes nécessaires (hybridation, sélection variétale, système de reproduction, production de semences, conservation in situ et ex situ, etc.) à sa culture [23]. Cette compréhension est d'un intérêt particulier pour les espèces qui sont reconnues d'utilité publique et qui ont une grande importance socio-économique pour les populations locales. En effet, elle permet de connaître les contraintes dans la reproduction de ces espèces [24]. Les résultats obtenus montrent que bien que la germination des différents morphotypes de *Phaseolus lunatus* n'ait pas révélé de différences significatives, la floraison, quant à elle, a été marquée par des variations notables [25]. Le fait que tous les morphotypes aient présenté des taux de germination similaires indique que les conditions expérimentales étaient favorables et que les différences entre morphotypes se manifestent principalement au stade de la floraison. Ce résultat est en accord avec les travaux de [4], qui indiquent que l'adaptation morphologique des légumineuses devient plus visible à des stades plus avancés du développement. Les différences dans la dynamique de la floraison révèlent des réponses spécifiques des morphotypes aux conditions environnementales. Le morphotype 3, par exemple, qui a montré une floraison plus rapide (79 jours), pourrait s'avérer particulièrement adapté à des environnements où la saison de croissance est courte ou à des systèmes agricoles intensifs cherchant à maximiser les récoltes en un temps réduit. En revanche, le morphotype 2, bien que plus lent (136,7 jours), a développé des inflorescences plus longues, ce qui pourrait offrir des avantages en termes de production de fleurs et, potentiellement, de graines. Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par [26], qui ont souligné l'importance de la durée de la floraison pour les rendements des légumineuses dans des environnements variés. De plus, les observations relatives à la structure hémicyclique des fleurs, où les pièces florales externes sont en verticilles et les internes en spirale, corroborent les théories de [27]. Les résultats ont montré que le nombre d'inflorescence augmente au fil du temps chez tous les morphotypes. Cette augmentation du nombre d'inflorescence serait corrélée à l'émergence de nouvelles tiges, vu le caractère rampant de la plante. La longueur de l'inflorescence chez *P. lunatus* varie considérablement, ce résultat est statistiquement identique à celui de [11] qui a montré que la longueur de l'inflorescence de *P. lunatus* varie de 1,5 cm à 30 cm. L'augmentation du nombre d'ouvertures de fleurs ouvertes ainsi que le rythme d'ouverture de la fleur nous révèle deux temps ou commence l'ouverture de la fleur: dans la matinée (6h à 8h) et en mi-journée (11h30 à 13h). Notons que l'ouverture des fleurs est beaucoup plus considérable entre 6h et 8h. Les courbes d'évolution de l'inflorescence 3 montrent que dès les premiers instants d'ouverture, la fleur fait environ 4h 30 avant d'être totalement épanouie. Ces résultats sont similaires à d'autres résultats des travaux similaires réalisés sur d'autres légumineuses à cet effet. Tel est le cas de [28] et ses collaborateurs qui ont montré qu'entre 4h et 6h le nombre de fleurs ouvert chez *Ceratotheca sesamoides* est élevé par rapport aux autres heures, et jusqu'à 10h toutes les fleurs de ce légumineux sont ouvertes [28]. Cette morphologie florale particulière pourrait avoir des implications sur le mode de reproduction et la pollinisation, deux aspects essentiels pour les stratégies de sélection variétale. En termes de sélection, les morphotypes présentant une floraison précoce pourraient être favorisés dans les régions soumises à des variations climatiques plus extrêmes, tandis que ceux à floraison tardive pourraient offrir des solutions dans des zones à climat plus stable ou avec un accès plus régulier à l'eau d'irrigation.

## 5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de mettre en lumière des différences significatives dans la dynamique de floraison des quatre morphotypes de *P. lunatus* étudiés. Alors que la phase de germination n'a montré aucune distinction majeure, la floraison a révélé des variations importantes en termes de nombre d'inflorescences, de jours après semis, et de longueur des inflorescences. Ces résultats soulignent l'importance de la diversité morphologique de cette légumineuse, en particulier dans des environnements tropicaux où les conditions climatiques fluctuantes nécessitent des stratégies d'adaptation spécifiques. Ces informations offrent des pistes précieuses pour améliorer la gestion des cultures de *P. lunatus*, notamment en choisissant des morphotypes adaptés à des cycles de production courts ou longs en fonction des contraintes agroclimatiques. La connaissance de la phénologie de la floraison, notamment les périodes d'ouverture des fleurs et la durée de maturation, est essentielle pour guider les travaux d'hybridation et de sélection variétale. Les résultats obtenus ouvrent la voie à plusieurs perspectives intéressantes. Ainsi, une étude plus approfondie sur la pollinisation contrôlée pourrait permettre de mieux comprendre les mécanismes reproductifs spécifiques à chaque morphotype et d'optimiser les hybridations dans le cadre de programmes d'amélioration variétale. Les morphotypes présentant des cycles de floraison plus courts ou plus longs pourraient être utilisés dans des programmes de sélection visant à développer des variétés adaptées à des conditions climatiques spécifiques ou à des systèmes de culture variés. Il serait pertinent de mener des études complémentaires sur la résistance des différents morphotypes aux stress abiotiques (sécheresse, chaleur) et biotiques (maladies, ravageurs), afin de mieux évaluer leur potentiel en agriculture durable dans un contexte de changement climatique. Répéter cette étude dans différents contextes agroclimatiques permettrait de mieux comprendre la stabilité et la performance des morphotypes étudiés et d'identifier les conditions optimales pour leur développement. Cette étude constitue donc une première étape vers une meilleure compréhension de la diversité et des potentialités de *Phaseolus lunatus*, ouvrant des perspectives pour son amélioration génétique et son adaptation à divers systèmes agricoles.

## REFERENCES

- [1] FAO. (2013). *The youth guide to biodiversity*, 1st edition. Rome: FAO, pp. 119-160.
- [2] FAO. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome: FAO.
- [3] Foyer, C. H., Lam, H. M., Nguyen, H. T., Siddique, K. H. M., Varshney, R. K., Colmer, T. D., Cowling, W., Bramley, H., Mori, T. A., Hodgson, J. M., Cooper, J. W., Miller, A. J., Kunert, K., Vorster, J., Cullis, C., Ozga, J. A., Wahlqvist, M. L., Liang, Y., Shou, H., & Considine, M. J. (2016). Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nature Plants*, 2 (8), 1–10. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.112>
- [4] Rööös, E., Carlsson, G., Ferawati, F., Hefni, M., Stephan, A., Tidåker, P., & Witthöft, C. (2020). Less meat, more legumes: Prospects and challenges in the transition toward sustainable diets in Sweden. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35 (2), 192–205. <https://doi.org/10.1017/S1742170518000443>.
- [5] Costa, M. P., Reckling, M., Chadwick, D., Rees, R. M., Saget, S., Williams, M., & Styles, D. (2021). Legume-modified rotations deliver nutrition with lower environmental impact. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.656005>.
- [6] Kouris-Blazos, A., et Belski, R. (2016). Bienfaits des légumineuses et des légumes pour la santé, en particulier les lupins doux australiens. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 25 (1), 1–17. <https://doi.org/10.6133/apjcn.2016.25.1.23>. PMID: 26965756.
- [7] Wang, T. L., Domoney, C., Hedley, C. L., Casey, R., & Grusak, M. A. (2003). Can we improve the nutritional quality of legume seeds? *Plant Physiology*, 131 (3), 886-891. <https://doi.org/10.1104/pp.102.017665>.
- [8] Andriamamonjy, N. (2010). Valeur nutritionnelle des graines sèches de 7 variétés de haricot et de 2 variétés d'Ambérique. Mémoire de DEA, Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et à la nutrition. Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 53 p.
- [9] Fabledji, R. F., Djedatin, L. G., Nonvidé, C. G., Fandy, H., Houénon, G. H. A., & Yédomonhan, H. (2022). Parataxonomie des taxons considérés comme des variétés locales de *Phaseolus*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16 (6), 2621-2640.
- [10] Tchumou Messou, Y., Grégoire, Y., & Maniga, W. (2019). Dry seeds of (*Phaseolus lunatus*) consumed in the South-East of Côte d'Ivoire can thus contribute to the prevention of cardiovascular risks and obesity.
- [11] Gardner, C. D. I., Chatterjee, C., Rigby, A., Spiller, G., & Farquhar, J. W. (2005). Effects of a plant-based diet on plasma lipids in hypercholesterolemic adults. *Annals of Internal Medicine*, 142, 725-1155.

- [12] Baudoin, J. P. (2006). *Phaseolus lunatus* L. In Brink, M., & Belay, G. (Eds.), *Cereals and pulses*. Wageningen, Netherlands: PROTA.
- [13] Fagbédji, R. F. (2018). Diversité variétale et ethnobotanique de *Phaseolus lunatus* L. (Leguminosae) dans le département du Zou au Bénin. Mémoire de Master, Faculté des Sciences et Techniques, Université Nationale des Sciences, Technologie, Ingénierie et Mathématiques, 46 p.
- [14] Missihoun, A. A., Milognon, H. W., Montcho, D., Agbo, R. I., Sedah, P., & Agbangla, C. (2017). Diversité variétale et gestion paysanne des haricots cultivés du genre *Phaseolus* cultivés au Centre et Sud Bénin (Afrique de l'Ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 118, 11817-11828. <https://doi.org/10.4314/jab.v118i1.7>.
- [15] Sandrine, M. A. D., Kevin, K. K., & Clémence, K. L. (2020). Preliminary diversity assessment of Lima beans (*Phaseolus lunatus*) cultivated in Côte D'Ivoire. *American Journal of Plant Sciences*, 11, 2059-2065.
- [16] Kouonon, L. C., Koffi, K. A., Yao, E. P., Goba, K. A. E., Kouamé, G. K., Adjoumani, K., & Sie, R. S. (2020). Morphological and agronomical characterisation of variability among a collection of *Phaseolus lunatus* (L.) local morphotypes from Côte d'Ivoire.
- [17] Yao, K. A. G., Gbotto, A. A., Anzara, G. K. G. R., Gore, B. B. N., Dago, C. L., Akaffou, D. S., & Zoro, B. I. (2024). Evaluation of the agromorphological variability of *Phaseolus lunatus* L. morphotypes grown in Central-western Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 36 (1), 1-14.
- [18] Badou, R. B., Yedomonhan, H., Adomou, A. C., & Akoegninou, A. (2017). Phénologie florale et production fruitière de *Syzygium guineense* (Willd.) DC. subsp. macrocarpum (Myrtaceae) en zone soudano-guinéenne au Bénin.
- [19] Fisher, V. J., & Weaver, C. K. (1974). Flowering, pod set, and pod retention of Lima beans in response to night temperature, humidity, and soil moisture. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 99, 448-450.
- [20] FAO. (2016). Climate change and food security: risks and responses. Rome: FAO.
- [21] GIEC. (2023). Changements climatiques 2023: Rapport de synthèse. Sixième rapport d'évaluation. Propriété intellectuelle. <https://w.ipcc.ch/rapports>.
- [22] StatSoft, 2005. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 7.1, Available at <http://www.statsoft.com>.
- [23] Adoukonou-Sagbadja, H., Wagner, C., Ordon, F., & Friedt, W. (2010). Reproductive system and molecular phylogenetic relationships of fonio millets (*Digitaria* spp., Poaceae) with some polyploid wild relatives. *Tropical Plant Biology*, 3, 240-251. <https://doi.org/10.1007/s12042-010-9056-1>.
- [24] Singhal, V. K., Salwan, A., Kumar, P., & Kaur, J. (2011). Phenology, pollination and breeding system of *Aegle marmelos* (Rutaceae) from India. *New Forests*, 42 (1), 85–100. <https://doi.org/10.1007/s11056-010-9239-3>.
- [25] Semde, K., Ganaba, E., Dao, M.C.E. et Thiombiano, A. (2016). Caractérisation du morphol *Lannea microcarpa* dans la région du Plateau Central, Burkina Faso. *Afrique SCIENCE*, 12 (6), 168-177. <http://www.afriquescience.info>.
- [26] Maalouf, F., Khalil, S., Ahmed, S., Akintunde, A. N., Kharrat, M., Shama'a, K. E., Hajjar, S., & Malhotra, R. S. (2011). Yield stability of faba bean lines under diverse broomrape-prone production environments. *Field Crops Research*, 124 (2), 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.009>
- [27] El Alami A., 2018. Le règne végétal: caractères des principaux groupes de plantes et systématique des angiospermes Ed: ESPE. 2-8PP.
- [28] Sinébou, V., Ahoton, L. E., Ahohuendo, B. C., Etèka, C. A., Amadji, G., Dansi, A., Ahanchédé, A., Hounhouigan, D. J., Vodouhè, S. R., & Sanni, A. (2012). Biologie florale de *Ceratotherca sesamoides* Endl., un légume feuille traditionnel en voie de domestication au Bénin.

## Evaluation de variétés de niébé pour la tolérance à la sécheresse à la station expérimentale de Saria au Burkina Faso

### [ Evaluation of cowpea varieties for drought tolerance at the Saria experimental station in Burkina Faso ]

*Antoine BARRO<sup>1</sup>, Joseph NANAMA<sup>2</sup>, Teyioué Benoît Joseph Batiéno<sup>3</sup>, and Zinmanké COULIBALY<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Département de Biologie Générale, Université DANIEL OUEZZIN COULIBALY, BP 176 Dédougou, Burkina Faso

<sup>2</sup>Département de Biologie et de Physiologie Végétales, Université Joseph KI-ZERBO, BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso

<sup>3</sup>Institut National de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), BP 476, Ouagadougou, Burkina Faso

---

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Cowpea, grown for its seeds and haulms in the savannahs of West Africa, is affected by drought. Drought is one of the most damaging constraints to its production with high yield losses. The study conducted at Saria Research Station, in a Fisher block design with two replicates, aimed to identify drought tolerant cowpea varieties. Forty cowpea varieties were screened for drought tolerance in February, under irrigated and non-irrigated regimes. The varieties were evaluated through various variables. Plants grown under non-stressed conditions were watered regularly from sowing to maturity while those under stressed conditions were watered from sowing to flower bud initiation. The varieties showed considerable variability in drought tolerance for the parameters 50% flowering, 95% maturity, 100-seed weight, seed weight, haulm weight and wilting percentage. Water stress had a reducing effect on chlorophyll content, 100-seed weight and seed weight. Stress tolerance index was the best criterion for evaluating genotypes for drought tolerance variability. KVx 402-5-2, 219E and Sarc-1-91-1 showed the best characteristics under both conditions and could be potential parents in the selection of drought tolerant genotypes.

**KEYWORDS:** Cowpea, Wilting, Senescence, Quantitative indices, Burkina Faso.

**RESUME:** Le niébé, cultivé pour ses graines et fanes dans les savanes de l'Afrique de l'Ouest subit les effets de la sécheresse. La sécheresse est l'une des contraintes les plus dommageables à sa production avec des pertes élevées de rendement. L'étude conduite à la station de recherche de Saria, dans un dispositif expérimental en bloc de Fisher avec deux répétitions, a pour but d'identifier des variétés de niébé tolérantes à la sécheresse. Quarante variétés de niébé ont été criblées pour la tolérance à la sécheresse en février, suivant un régime irrigué et non irrigué. Les variétés ont été évaluées à travers diverses variables. Les plantes cultivées dans des conditions non stressées ont été arrosées régulièrement du semis à la maturité tandis que celles dans les conditions de stress ont été arrosées du semis jusqu'à l'initiation des boutons floraux. Les variétés ont montré une variabilité considérable de la tolérance à la sécheresse pour les paramètres 50% floraison, 95% maturité, le poids de 100-graines, le poids des graines, le poids des fanes et le pourcentage de flétrissement. Le stress hydrique a eu un effet réducteur sur la teneur en chlorophylle, le poids de 100 graines et le poids des graines. L'indice de tolérance au stress était le meilleur critère d'évaluation des génotypes pour la variabilité de la tolérance à la sécheresse. Les variétés KVx 402-5-2, 219E et Sarc-1-91-1 ont présenté les meilleures caractéristiques dans les deux conditions et pourraient être de potentiels parents dans la sélection de génotypes tolérants à la sécheresse.

**MOTS-CLEFS:** Niébé, Flétrissement, Senescence, Indices quantitatifs, Burkina Faso.

## **1 INTRODUCTION**

La sécheresse est l'un des facteurs abiotiques les plus préjudiciables à travers le monde. Elle peut gravement entraver la productivité des cultures agricoles. La sécheresse, un stress multilatéral affectant les plantes à divers stades de croissance [1] a toujours été une préoccupation majeure des sélectionneurs. Elle touche plusieurs traits quantitatifs chez les plantes [2] avec son effet plus dommageable quand elle coïncide avec la germination, la poussée des semis, la croissance, l'allongement des racines et la floraison [3]. Pour faire face à une telle contrainte environnementale, il est nécessaire d'avoir recours aux cultures qui s'y adaptent. Le niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] faisant partie des espèces les plus anciennement cultivées, pourrait répondre à cette préoccupation. Toutes les parties de cette culture sont utilisées soit pour la consommation humaine, soit comme fourrage pour les animaux, soit dans le domaine de la médecine. La culture du niébé fait face généralement au déficit hydrique en début et en fin de saison pluvieuse [4]. Lorsque la sécheresse intervient en fin de saison pluvieuse, elle est plus dommageable car elle affecte la floraison et le remplissage des gousses entraînant ainsi une baisse du rendement [5]. Dans les régions du sud du Sahara, la sécheresse est souvent la principale contrainte pour la production de niébé, entraînant une baisse de rendement et une mauvaise qualité des graines [6].

Différentes études ont été menées pour identifier des génotypes capables de produire même si la sécheresse intervient pendant la floraison [5]. Cependant, au Burkina Faso, peu de travaux ont été effectués sur la tolérance au stress hydrique de certaines nouvelles variétés de niébé créées.

Cette étude a pour objectif d'évaluer des variétés de niébé issues d'une sélection afin d'identifier celles qui tolèrent mieux le stress hydrique pour leur meilleure vulgarisation. De façon spécifique, il s'agit (i) d'analyser l'impact du stress hydrique sur le rendement et les composantes du rendement des variétés testées et (ii) d'identifier des variétés de niébé à haut rendement et tolérantes à la sécheresse.

## **2 MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL**

Le matériel végétal a été constitué de quarante (40) variétés de niébé issues du germoplasme du programme oléo-protéagineux de l'Institut National de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Saria à Koudougou.

L'expérimentation a été conduite dans le jardin expérimental du programme oléo-protéagineux de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Saria situé dans la région du centre-ouest, à 23 Km à l'Est de Koudougou et à 80 Km à l'Ouest de Ouagadougou. Dans ce jardin se trouve installé un dispositif d'irrigation. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux lessivés et peu profonds [7]. Le climat est de type nord soudanien et la végétation est marquée par la présence d'une savane à graminées annuelles, à arbres et à arbustes [8].

Les températures sont en général élevées au cours de l'année avec une modération en saison des pluies (25-35°C). La température moyenne annuelle est de 28°C avec des maxima mensuels de 40°C entre mars et avril, et des minima mensuels de 15°C en décembre.

### **2.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL**

L'expérimentation a été conduite dans un bloc de Fisher avec deux (02) répétitions. La distance entre les deux répétitions était de 3,2 mètres. Chaque répétition était constituée de deux blocs. Les blocs séparés l'un de l'autre de 2,4 mètres comportaient chacun quatre sous blocs et chaque sous bloc de cinq variétés.

Chaque variété a été semée sur deux (02) lignes de deux (02) mètres, avec un écartement de 0,8 mètre entre les variétés et de 0,4 mètre entre les poquets à raison de deux graines par poquet.

### **2.3 CONDUITE DE L'ESSAI**

Pour évaluer la tolérance des différentes variétés au stress, deux types d'essais ont été installés. Les opérations avant les semis ont consisté à confectionner des billons. Les variétés ont été semées manuellement sur un côté de chaque billon de deux mètres le 20 février 2015. Chaque variété a été étiquetée dans les différentes répétitions. L'entretien des parcelles consistait aux sarclages, à l'application d'engrais NPK (14-23-14) au premier sarclage à raison de 100 Kg par hectare, et aux traitements insecticides.

Deux traitements insecticides ont été exigés; l'un à la formation des boutons floraux et l'autre au moment de la formation des gousses. Les autres traitements ont été faits aux besoins. L'insecticide utilisé a été le titan à la dose de 2 ml par l d'eau. La récolte des fanes a immédiatement suivi celle des gousses à maturité.

Les deux essais ont été irrigués chaque deux jours jusqu'au stade boutons floraux. A ce stade, l'un des essais a toujours été irrigué (essai irrigué) jusqu'à la maturité des plantes. Par contre, l'irrigation du second essai a été arrêtée depuis le stade boutons floraux jusqu'à maturité des plantes (essai stressé). L'expérimentation s'est poursuivie jusqu'à la récolte séparée des deux types d'essai.

## 2.4 DONNEES COLLECTEES ET CALCULEES

Les données collectées et calculées concernaient des paramètres agronomiques et des indices quantitatifs de tolérance à la sécheresse. Ce sont:

- La date de 50% floraison: date à laquelle on observe qu'au moins la moitié du nombre de pieds par parcelle élémentaire a fleuri.
- La teneur en chlorophylle (SPAD) dans les feuilles prise à l'aide d'un SPAD meter aux stades floraison et formation des gousses.
- La date de 95% maturité: correspond au nombre de jours depuis les semis jusqu'au jour où 95% des plantes portent des gousses mures.
- Le poids de 100 graines: qui a été obtenu par pesée de 100 graines choisies de façon aléatoire et exprimé en gramme.
- Le poids total des graines récoltées par lignée mesuré à l'aide d'une balance électronique.
- Le rendement en graines: calculé à partir de la formule: Rendement = [(poids graines x 10000) / superficie élémentaire].
- La senescence et le pourcentage de senescence.
- Le flétrissement et son pourcentage.
- La productivité moyenne (PM) selon [9].
- L'indice de tolérance (IT) selon [9].
- L'indice de sensibilité au stress (ISS) selon [10].
- La moyenne géométrique de la productivité (MGP) et l'indice de tolérance au stress (ITS) selon [11].
- L'intensité du stress (IS) selon [10].

## 2.5 ANALYSE DES DONNEES

Le logiciel GenStat quinzisième édition (15.1) a servi pour l'analyse des données agronomiques et de tolérance à la sécheresse. L'analyse de variance a été réalisée dans le but de comparer les moyennes des variables au seuil de significativité de 5% ( $P < 0,05$ ). Après cette analyse, les données ont été utilisées pour calculer les indices quantitatifs de tolérance à la sécheresse.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 PARAMETRES AGRONOMIQUES DES LIGNEES EN CONDITION IRRIGUEE

Le tableau 1 présente les résultats de l'analyse de variance des paramètres agronomiques en condition irriguée.

**Tableau 1. Résultats de l'analyse de variance des paramètres agronomiques en condition irriguée**

Paramètres	50% Flo	SPAD1	SPAD 2	95% Mat	P-100gr	Pgr	Rdt	Pds F
MG	47	68,17	58,47	76,04	18,84	289,1	0,89	347,3
Mini.	40	28,9	29,9	67	3,2	30,6	0,09	63,4
Maxi.	59	85,2	89,9	84	27,7	838	2,61	1357
CV (%)	5,2	13,7	16	4,5	5,4	38,2	38,5	53,3
Probabilité	0,001**	0,063ns	0,001**	0,32ns	0,001**	0,075ns	0,083ns	0,002**
PPDS	4,95	18,92	18,94	6,98	2,05	223,2	0,69	374,1

Légende: MG: Moyenne générale; Mini: Minimum; Maxi: Maximum; CV: Coefficient de variation; PPDS: Plus petite différence significative; 50% Flo: 50% floraison; SPAD: Spad meter; 95% Mat: 95% maturité; P-100gr: Poids de 100 graines; Pgr: Poids graines; Rdt: Rendement; Pds F: Poids des fanes.

L'analyse de variance a été hautement significative  $p(5\%) = 0,0001 < 0,01$  pour les paramètres 50% floraison, SPAD2, le poids des cent graines, et le poids des fanes pour les différentes variétés. La date 50% floraison a varié de 40 (Gaoua local- 2, KVU 150) à 59 (Telma, Woango-1) jours après semis avec une moyenne générale de 47 jours et le SPAD 2 de 29.9 à 89.9 avec une moyenne de 58.47.

Quant au poids des cent graines, il a varié de 3.2 (NS-1) à 27.7 (Kvx 780-3) grammes avec une moyenne de 18.84 et le poids fane de 63.4 (NS-1) à 1351 (Kvx 295-2-124-121) grammes.

### 3.2 PARAMETRES AGRONOMIQUES DES LIGNEES EN CONDITION NON IRRIGUEE

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse de variance des paramètres agronomiques en condition non irriguée.

**Tableau 2. Résultats de l'analyse de variance des paramètres agronomiques en condition non irriguée**

Paramètres	50%Flo	SPAD1	SPAD2	95%Mat	P-100gr	P-gr	Rdt	P-fanes	Flét	%Flét	Sene	%Sene
<b>MG</b>	47	72,14	62,63	75	17,35	202,1	0,6	204,9	67,42	65,46	69,53	61,47
<b>Mini.</b>	42	52,3	36,5	67	3,1	27,8	0,07	27,2	63	7	65	7
<b>Maxi.</b>	57	87,7	87,7	84	27	417	1,18	540	78	100	80	100
<b>CV (%)</b>	4,5	9,5	15,7	3,6	10,6	32,9	35,7	28,6	3,5	37,4	3,5	42,9
<b>Probabilité</b>	0,001**	0,015*	0,017*	0,001**	0,001**	0,155ns	0,11ns	0,001**	0,07ns	0,005**	0,087ns	0,084ns
<b>PPDS</b>	4,27	13,904	19,84	5,43	3,711	134,42	0,43	118,73	4,837	49,49	4,96	53,36

Légende: MG: Moyenne générale; Mini: Minimum; Maxi: Maximum; CV: Coefficient de variation; PPDS: Plus petite différence significative; 50% Flo: 50% floraison; SPAD: Spad meter; 95% Mat: 95% maturité; P-100gr: Poids de 100 graines; Pgr: Poids graines; Rdt: Rendement; Pds F: Poids des fanes; Flét: Flétrissement; % Flét: Pourcentage de flétrissement; Sen: Senescence; % Sene: Pourcentage de senescence.

En condition où l'irrigation a été arrêtée au moment du stade début floraison, l'analyse de variance a été hautement significative pour les paramètres date 50% floraison, date 95% maturité, poids de cent graines, poids fanes, pourcentage de flétrissement et significative pour le SPAD 1 et le SAPAD 2.

Le SPAD1 et le SPAD2 ont varié respectivement de 52,3 (NS-1) à 87,7 (KVx 295-2-124-51) avec une moyenne de 72,14 et de 36,5 (Pobé local) à 87,7 (KVx 295-2-121-99) avec une moyenne de 62,63

La date 50%floraison a varié de 42 pour les variétés de niébé Donsin locale, Pa local-2 à 57 pour KVx 295-2-124-121 et celle de 95% maturité de 67 à 84 jours après semis. Avec une moyenne générale respectivement de 47 et 75.

Le pourcentage de flétrissement a obtenu une moyenne générale de 65,46. Il a varié de 7 à 100.

Le poids graines a varié de 27,8 à 417 et celui fane de 27,2 (NS-1) à 540 (KVx 295-2-121-99) grammes avec respectivement pour moyenne générale de 202,1 et de 204,9 grammes. Aucune différence significative n'a été observée chez les variétés concernant la chute de leurs feuilles.

### 3.3 INDICES QUANTITATIFS DE TOLERANCE A LA SECHERESSE

Le tableau 3 présente les résultats des calculs des indices quantitatifs de tolérance à la sécheresse.

Tableau 3. Résultats de l'analyse de variance des paramètres agronomiques en condition non irriguée

Variétés	PM (g)	IT	MGP	ISS	ITS	IS
219E	970	-90	1717,43	-0,299	1,185	0,326
Bagré-1	822,5	205	1446,48	0,680	0,841	0,326
Diébougou local	662,5	205	1160,11	0,822	0,541	0,326
Djouroum local	480	410	769,28	1,837	0,238	0,326
Donsin local	820	-160	1446,48	-0,664	0,841	0,326
Gaoua local- 2	945	90	1673,07	0,279	1,125	0,326
HTR	800	380	1377,39	1,178	0,762	0,326
IT83S-872	795	580	1312,01	1,641	0,692	0,326
IT86F-2089-5	637,5	495	1041,31	1,717	0,436	0,326
KN-1	1010	840	1628,05	1,803	1,065	0,326
Koakin local	812,5	435	1387,56	1,296	0,774	0,326
KVU 150	617,5	315	1058,29	1,247	0,450	0,326
KVx 164-41-64	625	200	1093,51	0,847	0,481	0,326
KVx 165-14-1	1105	720	1851,71	1,508	1,378	0,326
KVx 291-47-224	992,5	595	1678,27	1,416	1,132	0,326
KVx 295-2-121-99	462,5	-85	816,29	-0,621	0,268	0,326
KVx 295-2-124-121	570	340	964,32	1,410	0,374	0,326
KVx 295-2-124-51	922,5	315	1611,08	0,895	1,043	0,326
KVx 30G-467-5-K	577,5	5	1023,58	0,026	0,421	0,326
KVx 402-5-2	1087,5	495	1876,96	1,138	1,416	0,326
KVx 404-8-1	840	100	1486,22	0,345	0,888	0,326
KVx 65-114	752,5	-195	1322,53	-0,914	0,703	0,326
KVx 780-3	1127,5	1375	1583,94	2,325	1,008	0,326
KVx 780-4	662,5	165	1165,11	0,680	0,546	0,326
KVx 780-6	490	500	746,96	2,074	0,224	0,326
KVx 780-9	675	430	1134,09	1,483	0,517	0,326
Niébé aspersé	840	270	1469,51	0,850	0,868	0,326
NS-1	270	-270	414,45	-6,138	0,069	0,326
Pa local-2	905	550	1528,22	1,430	0,939	0,326
Pobé local	480	480	736,80	2,046	0,218	0,326
Poutenga-3	657,5	375	1117,00	1,362	0,501	0,326
Poutenga-9	767,5	285	1336,71	0,961	0,718	0,326
Sanematenga local	560	-30	992,22	-0,169	0,396	0,326
Sanga-2	635	640	972,15	2,057	0,380	0,326
Sankandaaga	792,5	225	1390,44	0,763	0,777	0,326
Sanzi	600	110	1058,99	0,515	0,451	0,326
Sarc-1-57-2	775	290	1349,40	0,967	0,732	0,326
Sarc-1-91-1	990	480	1702,39	1,198	1,165	0,326
Telma	595	-30	1054,27	-0,159	0,447	0,326
Woango-1	705	0	1249,58	0,000	0,627	0,326

Légende: PM: Productivité moyenne, IT: indices de tolérance, MGP: Moyenne Géométrique de Productivité, ISS: indice de sensibilité au stress, ITS: indice de tolérance au stress, IS: intensité de stress.

La productivité moyenne des différentes variétés a varié de 270 kg pour la variété SN-1 à 1127,3 kg pour la variété de niébé KVx780-3. Parmi les variétés testées, huit (8) ont une valeur de productivité moyenne comprise entre 0 et 600 kg, vingt-trois (23) entre 600 et 900 kg y compris et neuf (9) leur valeur supérieure à 900kg. Toutes les variétés ont été soumises à une intensité de stress de 32,6%. Les indices de tolérance et de sensibilité au stress ont varié respectivement de -270 kg (SN-1) à 1375 kg (KVx780-3) et -6.138 (SN-1) à 2,32 (KVx780-3). Par contre l'indice de tolérance au stress a varié de 0,04 (KVx295-2-124-

121) à 1,41 (KVx402-5-2). La plus petite valeur de la moyenne géométrique de productivité a été obtenue avec la variété de niébé SN-1 (414,45 kg) et la plus grande valeur avec la variété KVx165-14-1 (1851,71).

#### **4 DISCUSSION**

Les différences hautement significatives observées au niveau de 50% floraison dans les conditions d'irrigation et de non irrigation montreraient qu'il existe une grande variation au sein des variétés étudiées pour ce caractère. Cependant, pour ce qui est des plantes en conditions de stress, la différence pourrait s'expliquer par le fait que les plantes auraient réduit leur cycle pour l'accomplir avant que le déficit hydrique ne soit important. Ces résultats sont similaires à celui de [12]; qui ont rapporté que des plantes de niébé ont atteint plus vite la maturité sous les conditions de stress afin d'esquiver le niveau critique de manque d'eau. Cela est contraire à [13] qui trouve que les plantes fleurissent et atteignent la maturité plus vite dans les conditions de maximum d'humidité.

La sécheresse et la pénurie d'eau peuvent causer des dommages aux chloroplastes, comme une diminution teneur en chlorophylle, dommages ultra structuraux de chloroplaste [14]. Ainsi en condition de non irrigation les différences notées pour le SPAD1 et le SPAD2 indiquent une diminution de l'activité enzymatique et bloque le transport de produits photosynthétiques, qui peut s'accumuler dans les feuilles et ne peut pas être transporté. Suggérant que les génotypes qui ont maintenu une teneur en chlorophylle plus élevée tels que KVx 295-2-124-51 et KVx 295-2-121-99 avaient plus de chances de se remettre de la sécheresse. En tant que tel, la teneur en chlorophylle pourrait être utilisé comme indicateur de référence fiable et efficace dans la sélection génotypes tolérants à la sécheresse [15].

Le poids de 100 graines et le poids des graines ont baissé chez les variétés stressées. Cela peut s'expliquer par une réduction de la synthèse des photo assimilats nécessaires au remplissage des graines suite à une indisponibilité de l'eau pour les réactions photochimiques. Cette baisse pourrait avoir un coup sur le rendement, car ces deux paramètres constituent les composants du rendement. Selon [16], la variation du poids de 100 graines montre que l'accumulation des réserves dans les graines dépend du génotype mais également des facteurs climatiques. Ainsi les variétés qui avaient les poids de 100 graines élevés et la variété KVx 295-2-121-99 qui a eu le poids des graines le plus élevé, possédaient un facteur d'adaptation climatique qui pourrait jouer un rôle dans l'augmentation du poids des graines. De ce fait, ces variétés de niébé pourraient être utilisées comme des variétés qui s'adaptent pour une production de niébé.

En se basant sur la productivité moyenne, les meilleures variétés ont été 219 E, Gaoua local- 2, KN-1, KVx 165-14-1, KVx 291-47-224, KVx 295-2-124-51, KVx 402-5-2, KVx 780-3, Sarc-1-91-1. L'utilisation de l'indice de tolérance au stress dans l'identification du matériel tolérant à la sécheresse est efficace. Parmi les indices utilisés, l'indice de tolérance au stress est le meilleur, car il aide à regrouper la population. Par conséquent, l'indice de tolérance au stress montre que les individus les plus tolérants ont été KVx 402-5-2, 219E et Sarc-1-91-1. Selon [17], l'indice de sensibilité au stress est un indicateur utile lorsque le stress est sévère tandis que la Productivité Moyenne, la productivité géométrique moyenne, l'indice de tolérance et l'indice de tolérance au stress étaient des indicateurs utiles lorsque le stress est moins sévère. Au regard donc du niveau de l'intensité du stress (SI= 32,6 %) appliqué dans cette étude qui est modérée, les conclusions de [17] peuvent expliquer le fait que ces indices étaient des indicateurs utiles pour la sélection.

#### **5 CONCLUSION**

De cette étude, il ressort des baisses de poids des graines de 100 graines et une certaine différence au sein des variétés pour les dates de 50% floraison laissant percevoir l'existence d'une variabilité génotypique de la tolérance à la sécheresse au sein du matériel génétique étudié. Toutes les variétés dans les conditions irriguées et non irriguées ont eu à peu près le même rendement. Le stress hydrique a réduit la teneur en chlorophylle, le poids de 100 graines et le poids des graines. Parmi les variétés étudiées, KVx 295-2-121-99 et KVx 402-5-2, 219<sup>E</sup> ont présenté les meilleures composantes de rendement et aussi les indices de tolérance à la sécheresse. Ces variétés, non seulement peuvent être recommandées aux producteurs, mais aussi pourraient servir dans de futurs programmes de sélection.

## REFERENCES

- [1] S. A. I. Sabiel, A. A. Abdelmula, M. A. Bashir, S. U. Baloch, S. K. Baloch, and W. Bashir, «Genetic variation of flowering trait in maize (*Zea mays* L.) under drought stress at vegetative and reproductive stages», *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4 (20): pp. 108-113, 2014.
- [2] T. Hohls, «Conditions under which selection for mean productivity, tolerance to environmental stress, or stability should be used to improve yield across a range of contrasting environments». *Euphytica*, 120: pp. 235-245, 2001.
- [3] M. Khayatnezhad, R. Gholamin, S.H. Jamaatie-Somari, and Zabihi-R. Mahmoodabad, «Effects of PEG stress on corn cultivars (*Zea mays* L.) at germination stage», *World Appl. Sci. J.*, 11 (5): pp. 504-506, 2010.
- [4] B.B. Singh, and T. Matsui, «Breeding cowpea varieties for drought tolerance. In: challenges and opportunities for Enhancing sustainable cowpea production», IITA, Ibadan, pp 287-300, 2002.
- [5] R. Chuilele, «Breeding cowpea (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) for improved drought tolerance in Mozambique», *These de doct. University of kwazulu-Natal*, 2010.
- [6] M. Nkouannessi, «The genetic, morphological and physiological evaluation of african cowpea genotypes», *These de doct. University of the free state Bloemfontein* 119 pages, 2005.
- [7] R. Zougmore, A. Mando, et L. Stroosnijder, «Effect of soil and water conservation and nutrient management on the soil-plant water balance in semi-arid Burkina Faso», *Agricultural Water Management*, 65: pp. 103-12, 2004.
- [8] S. Guinko, «Végétation de Haute -Volta», *Thèse de doctorat ès sciences naturelles. Université de Bordeaux III*.T1, 318p, 1984.
- [9] A. A. Roselle, and J. Hamblin, «Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments» *Crop Science*, 21: pp. 943-946, 1981.
- [10] R.A. Fisher, and R. Maurer, «Drought resistance in spring wheat cultivars» I. Grain yield Responses», *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: pp. 897-912, 1978.
- [11] G.C.J. Fernandez, «Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance», *In Proceedings of Symposium*, Taiwan, 13-16 August, pp. 257-270, 1992.
- [12] W. J. A. Lalsaga, R. Nana, M. Sawadogo, N. Sawadogo, M. Kiebre, et I. Drabo, «Evaluation de dix (10) génotypes de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) walp.] par rapport à leur tolérance au stress hydrique». *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324 Vol. 14 No. 4, pp. 1005-1014, 2016.
- [13] N. Belko, «Phénotypage pour la tolérance a la sécheresse: variations génotypiques des caractères agromorphologiques et physiologiques et leurs contributions à la productivité en condition de sécheresse de fin-de-cycle chez le niébé (*vigna unguiculata* (L.) Walp.)», *Thèse de doct. univ de ouaga*, 100 pages, 2013.
- [14] A. Shi, R. E. Mason, L. Wood, L. A. Mozzoni, S. Imamura, J. Santamaria, W. Ravelombola, S. Eaton, Y. Yufeng, Q. Cui, and H. Xiong, «Evaluation of Drought Tolerance in Arkansas Cowpea Lines at Seedling Stage», *Hortscience*, 55 (7): pp. 1132–1143, 2020.
- [15] S. E. Mwale, M. Ochwo- Ssemakula, K. Sadik, E. Achola, V. Okul P. Gibson, R. Edema, W. Singini, and P. Rubaihayo, «Response of Cowpea Genotypes to Drought Stress in Uganda», *American Journal of Plant Sciences*, 8, pp. 720-733, 2017.
- [16] A. Khan, A. Bari, S. Khan, N.H. Shan, et I. Zada, «Performance of cowpea genotypes at higher altitude of NWFP», *Pak. J. Bot.*, 42 (4): pp. 2291-2296, 2010.
- [17] M. Akçura, et S. Çeri, «Evaluation of drxought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions». *Žemdirbystė=Agriculture*, 98 (2), pp.157–166, 2011.

## Effect of indoor residual spraying on the entomological parameters of malaria transmission in Nassian, North-East in Côte d'Ivoire

Roseline Josée Monsan Yapo<sup>1</sup>, Constant Edi<sup>2</sup>, Bernard Loukou Kouassi<sup>3</sup>, Constant Guy N'guessan Gbalegba<sup>3-4</sup>, Firmain N'dri Yokoly<sup>2</sup>, Armand Kouassi Ekra<sup>2</sup>, Nombour Gning Cissé<sup>3</sup>, Joseph Chabi<sup>4-5</sup>, Emmanuel Tia<sup>1</sup>, Benjamin Guibéhi Koudou<sup>2</sup>, and Grégoire Yapi Yapi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre d'Entomologie Médicale et Vétérinaire, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>PMI Vectorlink Project, Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>4</sup>Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>5</sup>PMI VectorLink Project, Washington, DC, USA

---

Copyright © 2024 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:** To reduce malaria-related morbidity and mortality in Côte d'Ivoire, the National Malaria Control Program selected Indoor Residual Spraying as a complementary strategy to long-lasting insecticide-treated nets widely distributed in the country. As such, the current study was conducted to collect baseline information before IRS from May 2019 to August 2020 and to evaluate its effect on entomological parameters of malaria transmission from September 2020 to August 2021 after the intervention in Nassian, a high malaria endemic district of Côte d'Ivoire. Vectors were identified both morphologically and molecularly. the parity rate and the presence of *Plasmodium falciparum* sporozoite was determined.

A total of 7,401 females of *Anopheles* were collected, of which 73.4 % before IRS and 26.6 % after IRS. *Anopheles gambiae* s.s. (85.2 %), *An. funestus* s.l. (14.2 %), *An. nili* (0.3%) and of *An. pharoensis* (0.3%) were collected. In baseline, the mean biting rate of *Anopheles gambiae* s.s was 17.5 bites/person/night. The mean parity rate was 81.5% with an average entomological inoculation rate of 1.2 infective bites/person/night. However, after IRS implementation, these parameters decreased respectively to 6.1 bites/person/night, the parity rate to 69.3 % and the EIR to 0.2 infective bites /person/night.

A significant decrease of all entomological parameters was observed after the implementation of the IRS showing the positive effect of IRS on the vectors. However, following monitoring should be required including an epidemiological assessment to support the impact that was observed. This will guide the National Malaria Control Programme for future decision making and advocacy.

**KEYWORDS:** Malaria, *Anopheles gambiae*, IRS, Nassian, Côte d'Ivoire.

### 1 INTRODUCTION

Malaria is a major global public health concern and a leading cause of morbidity and mortality in most tropical regions of the world [1]. Globally, the World Health Organization (WHO) estimated 249 million malaria cases which 94 % cases and 95 % of morbidity in the African region in 2022 [2].

Long-lasting insecticide treated-nets (LLINs) and indoor residual spraying (IRS) of insecticides ever since represent the two WHO recommended vector control strategies that have shown effective impact on the disease [3]. Many studies have shown

the efficacy of IRS and LLINs in reducing malaria transmission and prevalence [4], [5], [6]. However, these methods, especially LLINs, rely on the use of pyrethroid insecticides for which mosquitoes have developed resistance.

In Côte d'Ivoire, malaria remains the deadliest endemic disease despite the efforts of the government and its partners. The disease is still the first reason for consultation, counting for 33%, and the majority of the population (81%) living in areas with an incidence ranging from 300 to over 500 per thousand [7]. The incidence of malaria has increased from 154.6 to 229 ‰ in the general population and from 286.9 to 596.4 ‰ in children under 5 years of age from 2016 to 2019 [8], [9], [10], [11]. Malaria transmission is stable throughout the year with peaks during the rainy season [12]. To reduce malaria-related morbidity and mortality in Côte d'Ivoire, the NMCP adopted mass and routine distributions of LLINs every three years while IRS was advocated as a complementary strategy during the national strategic plan (2016-2020). To this end, the health districts of Nassian and Sakassou were selected to receive the first IRS campaign using clothianidin-based insecticides.

Although IRS has proven to be a key strategy for malaria elimination in many countries in the world (Asia, Russia, Europe, Latin America) and used in some African countries (Rwanda, Sénégal, Madagascar, Mali, Burkina Faso) for vector control [13], [14], IRS in Côte d'Ivoire was just localized and had never been implemented widely. Conducting a community IRS using new insecticide requires impact monitoring and evaluation to guide the NMCP in the perspective of extending to other districts. This study was therefore conducted to assess entomological parameters of malaria vectors before and after IRS implementation in Nassian health district.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 STUDY SITES

The study was conducted in the Nassian health district (8° 27' N; 3° 28' W) in the Bounkani region at the North-Eastern of Cote d'Ivoire (Fig. 1). The climate is of Sudanian type, with four seasons, a dry season which lasts from 4 to 5 months and it extends from November to March in recent years and a rainy season lasts 7 à 8 months, from April to October with a short dry season (July - August) [15]. The annual average rainfall varies between 900 and 1200 mm. The monthly average temperature varies between 24,3 °C and 28°C [16], this district covers an area of over 164 km<sup>2</sup> with a population estimated to 48,170 inhabitants in 2018 in [15], [16], [17]. Two types of houses were found in Nassian: traditional (mud walls) and modern (cement walls).

Two sites, one in urban and one in rural setting, were selected for mosquito collections. Nassian, an urban area (8° 27' 11" N latitude and 3° 32' 4.22" W longitude with 4,785 peoples in 2014), and Parhadi, a village (8° 27' 18" N latitude; 3° 28' 3" W longitude with 2,823 peoples in 2014). In the health district of Nassian, malaria transmission is permanent with an upsurge during the rainy season. Mosquito breeding sites are created particularly during the rainy seasons. The choice of this district for the implementation of the first phase of IRS in Côte d'Ivoire lied on its high malaria endemicity [18]. In 2016 and 2017, the Nassian health district recorded the highest incidence of malaria cases (377.4 ‰ and 369.7‰ respectively) in the general population of Côte d'Ivoire [10,11]. Nassian recorded the highest infection rate and reported the second highest malaria incidence of the country in 2018–2019 [18].

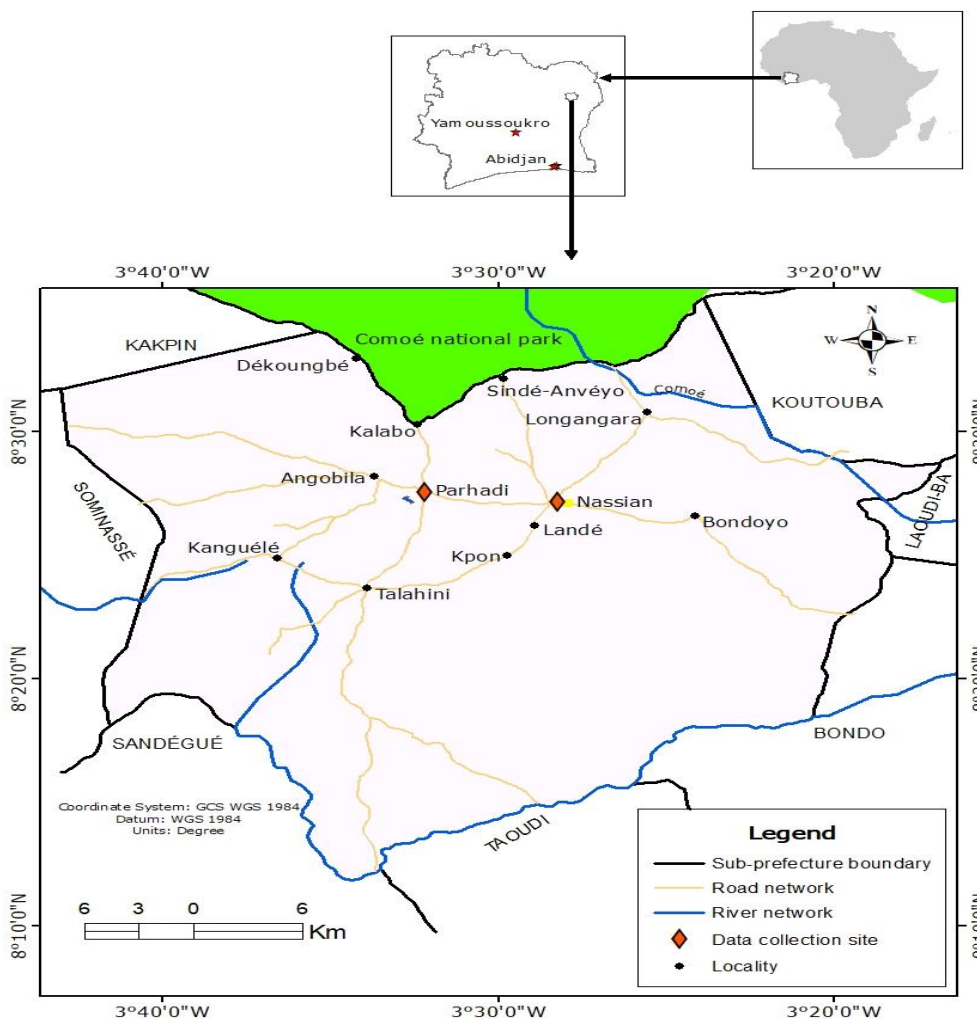


Fig. 1. Maps showing the study sites

## 2.2 ADULT MOSQUITO COLLECTION

Adult mosquitoes were collected using human landing catch (HLC), pyrethrum spray catch (PSC), and Centers for Disease Control and Prevention (CDC) light trap methods [19], [20]. The HLCs were conducted during two consecutive nights in four houses (two urban and two rural) from about 6: 00 p.m to 6: 00 a.m per month. The PSCs were conducted in 30 houses (15 in each setting) per month. They were carried out between 6: 00 a.m. and 8: 00 a.m. during two consecutive days per month. The CDC light trap collections were performed in four houses (two per setting) during two consecutive nights per month. CDC light traps were installed inside the bedrooms. The trap was suspended in a room at 1.5 meters from the floor and collection started from about 6: 00 p.m. to 6: 00 a.m. The same houses were maintained for HLC and CDC light trap collections, while randomly selected houses were used each month for PSC collections depending on the availability of households (Fig. 2). The entomological parameters assessed were vector composition, seasonality, biting behavior, sporozoite rate, parity rate, and entomological inoculation rate (EIR). To measure the impact of the intervention on these entomological parameters, we compared the values indicated from baseline and after the first IRS.

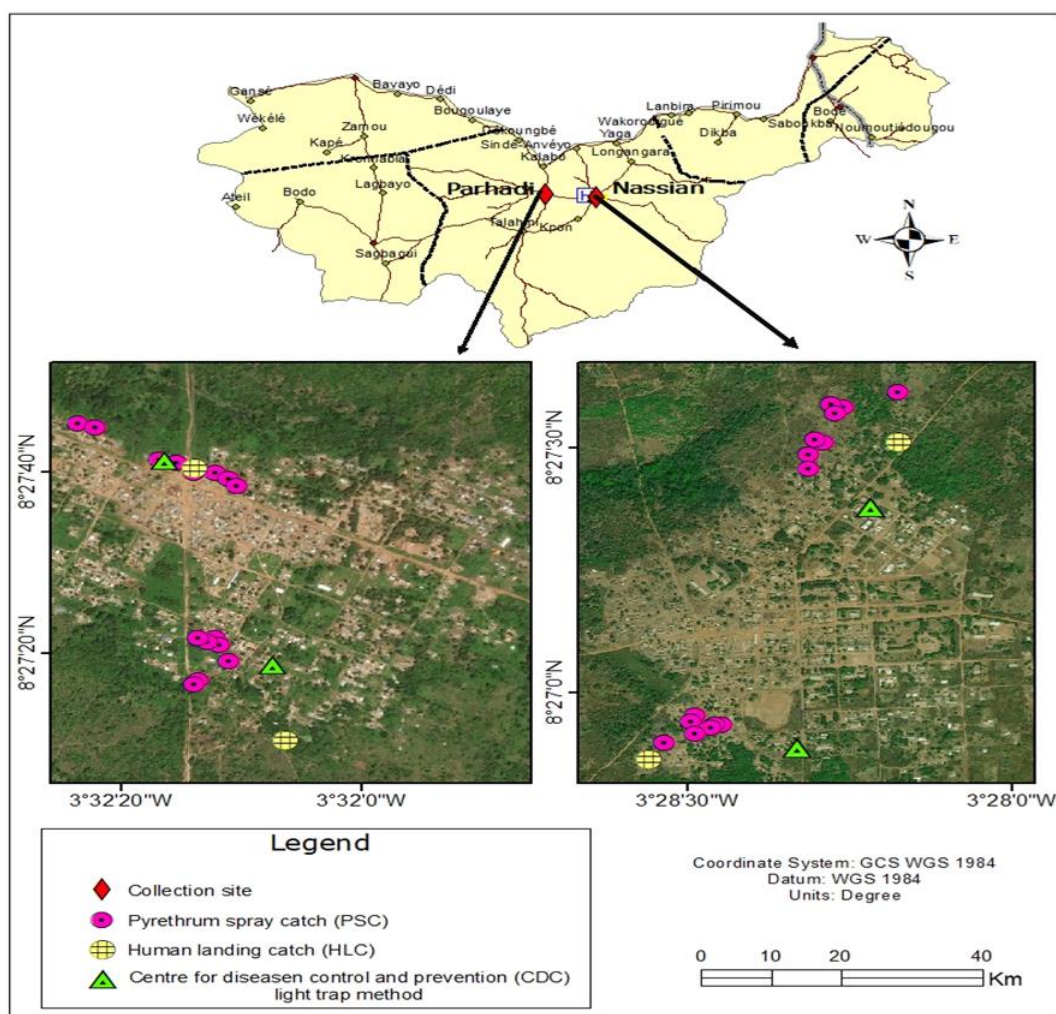


Fig. 2. Map of department of Nassian showing study area and mosquitoes collections sites in Nassian and Parhadi

### 2.3 FIELD MOSQUITO PROCESSING

All mosquitoes collected, were identified and recorded. *Anopheles* mosquitoes were identified using identification keys to species level [21], [22]. Female of a subsample of *An. gambiae* s.l. from HLC were dissected to estimate parity rate, by observing the coiling degree of ovarian tracheoles [23]. All mosquitoes were stored individually in Eppendorf tubes contained silica gel, labelled according to the study site point and date of collection. These sample were subjected to subsequent molecular analysis in the laboratory at the Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire to identify the species of the *Anopheles complex*, infection status, using polymerase chain reaction (PCR) and enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), [24].

### 2.4 LABORATORY PROCESSING OF MOSQUITOES

A subsample of *An. gambiae* s.l was preserved from the HLC, PSC, and CDC-light trap collections, respectively, to determine subspecies of *An. gambiae* s.l. Those subjects were used for molecular identification using SINE200 PCR according to the protocol of Santolamazza *et al* [24]. The procedure begins with mosquito DNA extraction, followed by amplification and electrophoretic migration, and ends with visualization. The DNA of each individual mosquito was extracted using the protocol designed by Collins *et al* [25]. *An. gambiae* complex species were identified as *An. gambiae* s.s, *An. Coluzzii*, or hybrids of the two species, following the SINE PCR protocol described by Santolamazza *et al* [24].

The sporozoite infection status was determined from head and thorax of a subsample of parous mosquitoes collected by HLC. The ELISA technique for the detection of *Plasmodium falciparum* circumsporozoite infection is the commonly used

method for determining the infection rate of mosquitoes according to the WHO [26]. Only *Plasmodium falciparum* was detected, since it is the predominant causal agent of malaria in Côte d'Ivoire [13, 27].

## 2.5 STATISTICAL ANALYSIS

Data were entered using Epi info 7.0 software and transferred to Excel 2016. STATA version 19.10.1.559 (IBM, New York, USA) software used for statistical analysis. Pearson's Chi-square test was used to compare the proportion of parameters (density, human biting rate, parity rate, infection of antigen sporozoite rate and entomological inoculation rate) between the entomological data before and after intervention. A difference is considered as significant when the p-value is less than 0.05.

## 2.6 ETHICAL CONSIDERATIONS

The surveys were conducted in accordance with the study protocol approved by the National Ethics Committee for Life Sciences and Health (CNESVS) of the Ministry of Health and Public Hygiene. The consent of all volunteers was obtained before their participation in the study. No houses were selected for capture without the advice of the head the family or his representative.

## 3 RESULTS

### 3.1 MOSQUITOS' SPECIES COMPOSITION

From May 2019 to August 2021, A total of 8, 993 mosquitoes were collected in the two studies sites regardless the three capture method, 69.8 % (6, 277) in baseline and 30.2 % (2 716) after IRS ( $\chi^2 = 956.711, p = 0.001$ ). *Anopheles* was predominant (82.3 %), while *Culicines* accounted for 17.7 % of the mosquitoes collected. *Anopheles gambiae s.l.* (85.2 %) was the most common mosquito followed by *Anopheles funestus s.l.* (14.3 %) (Table 1). Other species of *Anopheles* were also collected but in very small proportions. Only 0.3 % (20) of *An. nili* and 0.2 % (18) of *An. pharoensis* were collected. We analyzed 608 samples of *An. gambiae s.l.* for their species and all were determined to be *An. gambiae sensu stricto* (s.s.), there were no *An. coluzzii* in baseline.

Table 1. Abundance of *Anopheles* mosquitoes collected between May 2019 and August 2021 in Nassian and Parhadi using three collection methods

Species	Density for May 2019 - August 2020			Total Baseline	Density for septembre 2020 - August 2021			Total after IRS	TOTAL
	HLC	PSC	CDC-LT		HLC	PSC	CDC-LT		
<i>An. gambiae s.s</i>	3 917	736	67	4 720 (86.9 %)	1 179	386	21	1 586 (80.5 %)	6 306 (85.2 %)
<i>An. funestus s.l</i>	470	207	24	701 (12.9 %)	262	83	9	354 (18 %)	1 055 (14.3 %)
<i>An. nili</i>	1	0	0	1 (0 %)	20	1	0	21 (1 %)	22 (0.3 %)
<i>An. pharoensis</i>	10	0	0	10 (0.2 %)	8	00	0	8 (0.4 %)	18 (0.2 %)
<b>TOTAL</b>	4 398 (84.8%)	943 (13.8%)	91 (1.4%)	5 432 (100 %)	1 469 (71.3 %)	470 (26.3 %)	30 (2.4%)	1 969 (100%)	7 401 (100%)

HLC: Human land catch; PSC : Pyrethrum spray catch ; CDC-LT : Center disease control - Light trap

### 3.2 DYNAMIC OF ANOPHELES GAMBIAE S.S AND ANOPHELES FUNESTUS COLLECTED BY HUMAN LAND CATCH METHOD IN BASELINE

*Anopheles* populations in urban (54 %) and rural (46 %) zones presented the same dynamics in baseline although it had a statistically significant difference in density between the two zones ( $\chi^2 = 18.52, p = 0.001$ ). May to August was a period of low density with 3.9 % (n = 170) of *Anopheles*, and low transmission (0.09 infective bites/ person/night). However, from September to December, 79.8 % (n = 3508) of *Anopheles* mosquitoes were collected representing the period of high density and high

transmission (1.95 ib/p/n). Finally, from January to August 2020, 16.3% (n= 709) Anopheles were collected (Fig. 3), with an entomological inoculation rate at 0.45 ib/p/n. Anopheles vectors had an endophagy rate in both the two studies zones. Anopheles gambiae s.s. biting activities were higher between 00: 00 and 05: 00 hours during the study period, both indoors and outdoors (Fig. 4). The lowest biting rates of An. gambiae s.s. were observed from May to August 2019 (2,6 b/p/n). However, from September onwards, there was an increase of biting rates until December (50,6 b/p/n) with a peak in October (100,8 b/p/n) after the rainfall peak in September (Fig. 5). As soon as An. Gambiae populations decreased, An. Funestus populations increased from November (12.6 b/p/n).

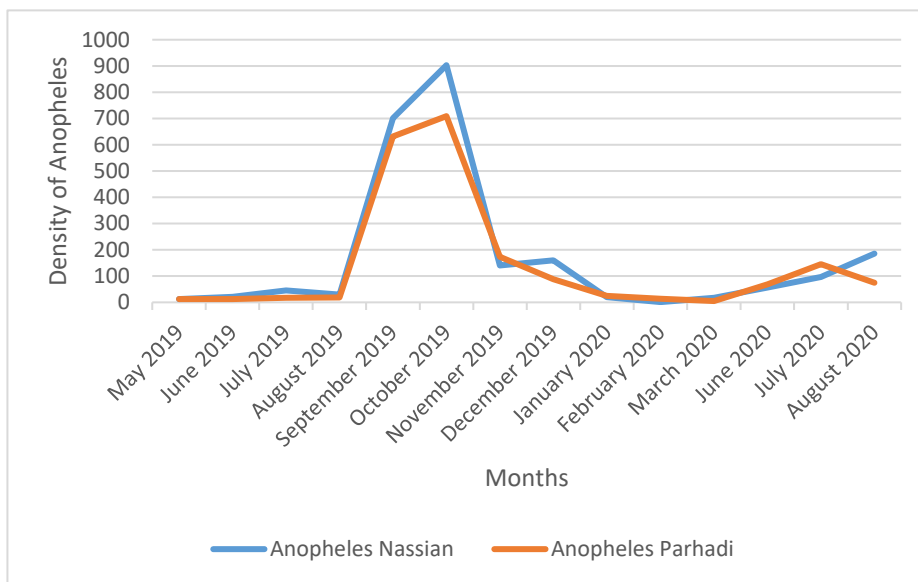


Fig. 3. Density of Anopheles vectors in Nassian and Parhadi

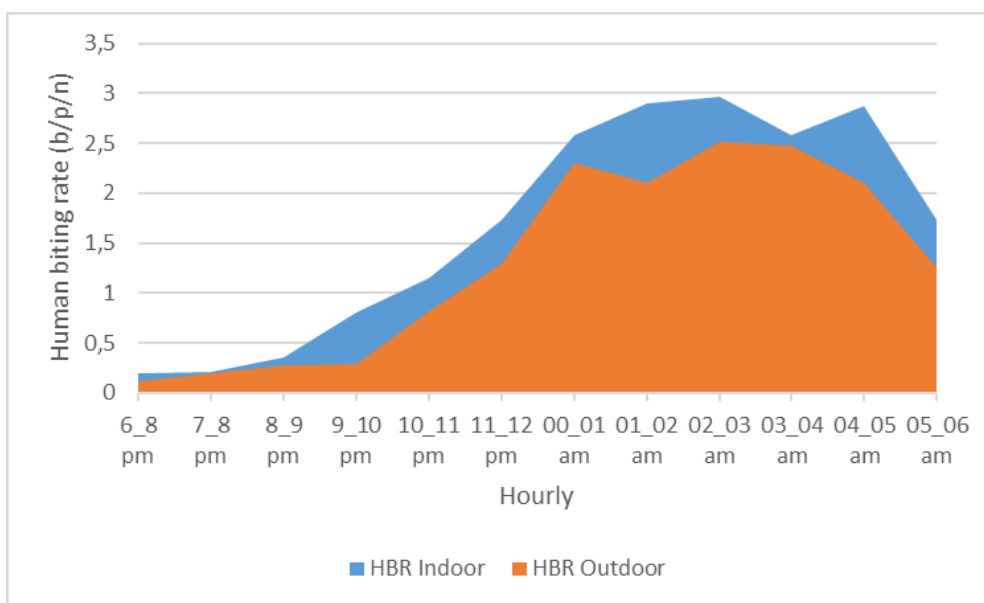


Fig. 4. Biting cycle of Anopheles vectors using HLC in baseline

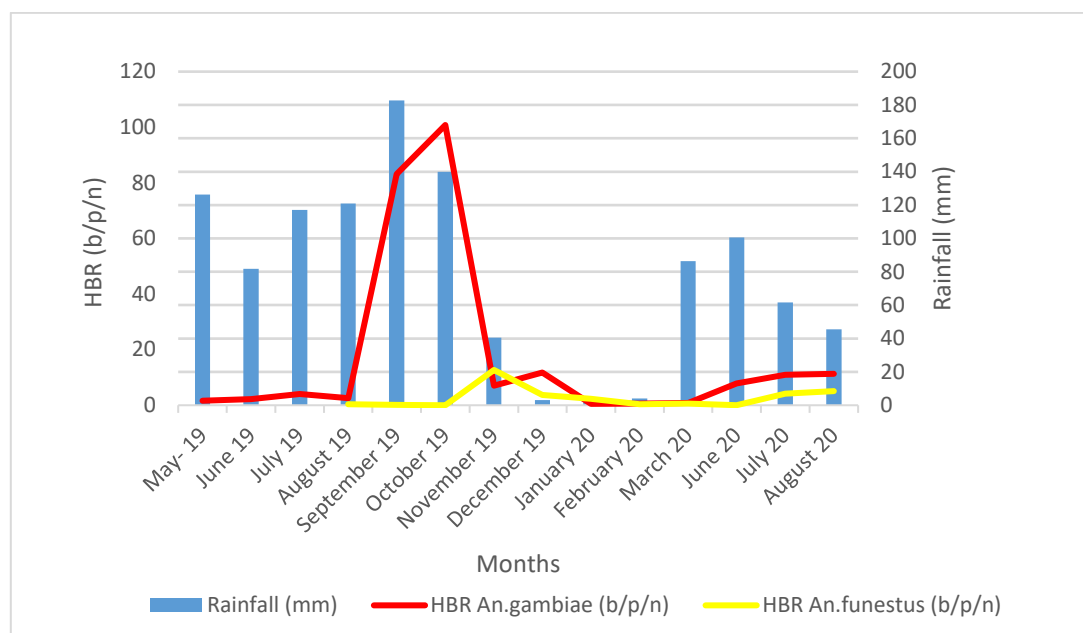


Fig. 5. Seasonal variation of human biting rate of *An. gambiae* s.s. and *An. funestus* s.l in relation to rainfall

### 3.3 PARITY RATE

Out of 1,608 dissected mosquitoes (*An. gambiae* s.s and *An. funestus* s.l), 1,311 were found parous before IRS. The average parity rate was as very high from May 2019 to August 2020 (81.5%). There is no significant difference of parity between periods of low and high biting rate.

### 3.4 DECISION MAKING FOR THE APPROPRIATE PERIOD TO ACHIEVE THE INDOOR RESIDUAL SPRAYING.

As a baseline to indoor spraying in Nassian, entomological monitoring of malaria vectors showed two malaria transmission periods: May to August which was a period of low density and low transmission with an average entomological inoculation rate EIR of 0.09 infective p/h/n. The second period, from September to August with an EIR increased to 0.2 infective b/p/n. Thus, IRS was conducted in August 2020 just prior to the peak of the transmission.

### 3.5 EFFECT OF IRS ON ENTOMOLOGICAL PARAMETERS ON MALARIA TRANSMISSION HUMAN BITING RATE AND PEAK BITING OF ANOPHELES SPECIES

#### 3.5.1 VARIATION OF ENTOMOLOGICAL PARAMETERS OF ANOPHELES GAMBIAE S.S

After IRS, the dynamics of vector species abundance showed two periods as before IRS: from September to December after the IRS us high density period and January to August, a low density period. There is a change in biting behavior and abundance of anopheles after IRS; *An. gambiae* s.s. tended to bite both outsides (Fig. 6). The low abundance observed during the dry season from January to March 2020 increased from June onwards. However, after IRS, the lowest densities were observed with only n= 1441 *Anopheles* vectors were collected from September 2020 to August 2021 compare to September 2019 to August 2020, before IRS (n = 4216) ( $\chi^2 = 940.63, p = 0.001$ ). The peak of *An. gambiae* s.s caught by HLC in October decreased to 58.7 % after IRS, The average human biting rate for *An. gambiae* s.s. decreased from 17.5 to 6.1 p/h/n after IRS with 65 % of reduction, (Fig. 7).

Overall, out of a total of 1 078 head-thoraxes of *An. gambiae* s.s was assessed by ELISA, 72 were positive for the circumsporozoite antigen of *Plasmodium falciparum* before IRS, [Fig. 8]. The average proportion of *An. gambiae* s.s. mosquitoes infected by *P. falciparum* was 6.6 %. Two peaks were observed in the variation of the sporozoite index for *An. gambiae* s.s. A peak of 6.8% was recorded in July during low biting rate period and another for the high biting rate period with a maximum of 11.2% in November.

The entomological inoculation rate of *An. gambiae* s.s. decreased from 1.2 infective bites/p/n in baseline to 0.2 infective bites/p/n after IRS with a maximum of 3.2 infective b/p/n in October 2019, [Fig. 9].

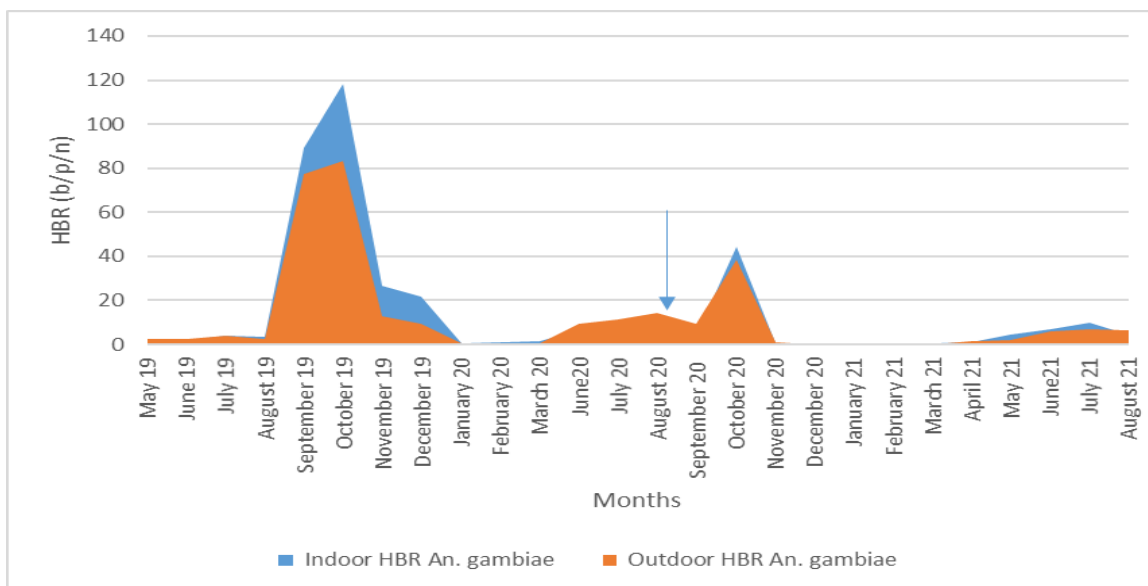


Fig. 6. Variation of Monthly human biting rate (b/p/n) of *An. gambiae* s.s

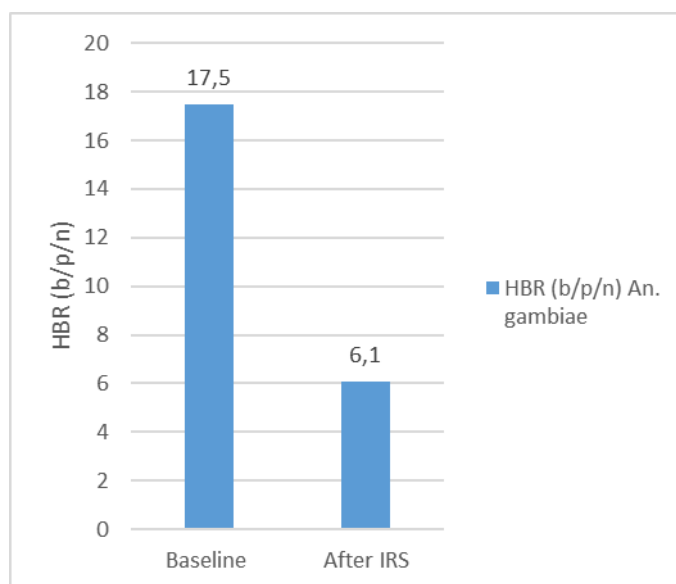


Fig. 7. Variation of Monthly human biting rate (b/p/n) of *An. gambiae* s.s

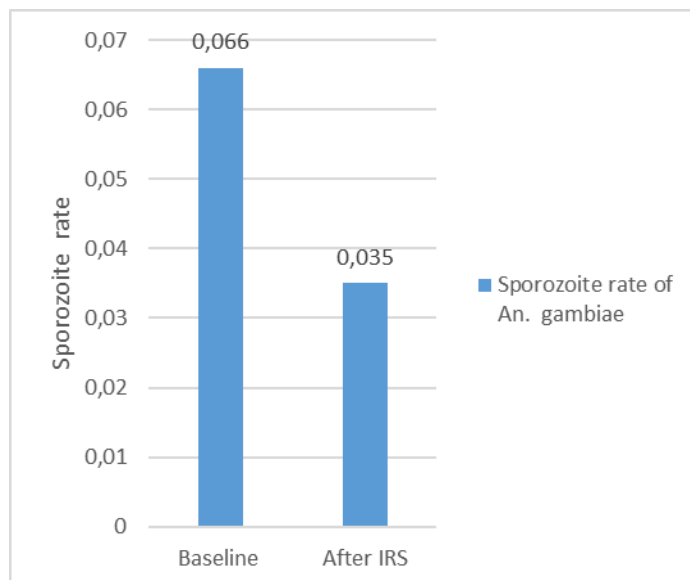


Fig. 8. Variation of sporozoite rate of *Anopheles gambiae s.s* before and after IRS in Nassian

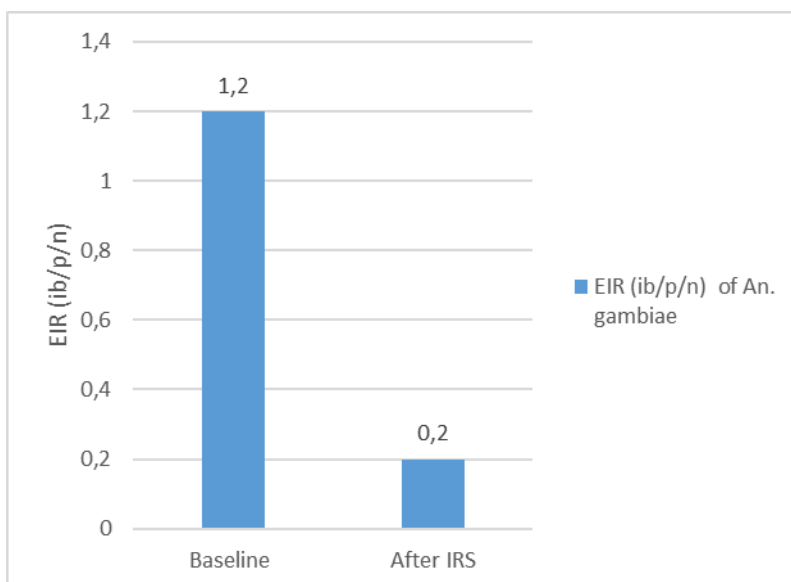
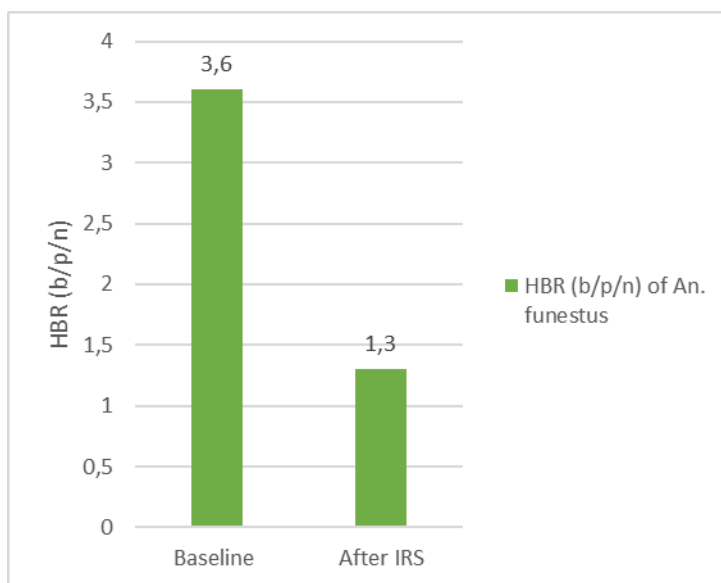


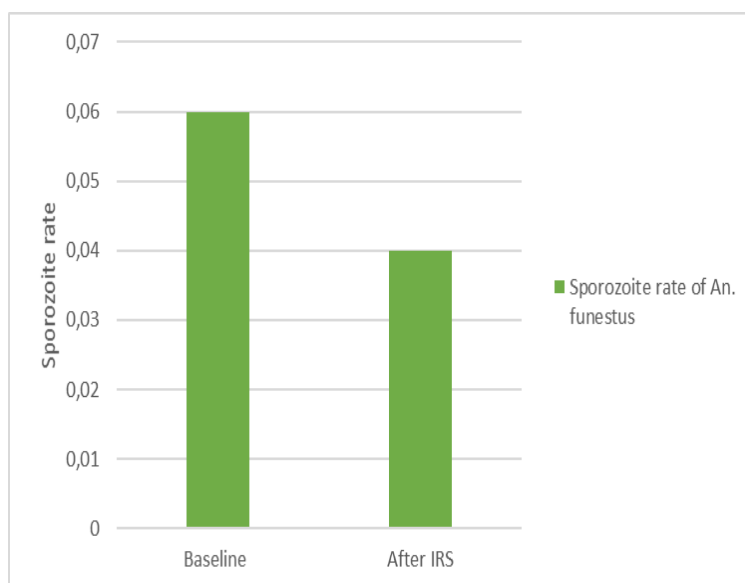
Fig. 9. Variation of entomological inoculation rate of *Anopheles gambiae s.s* before and after IRS in Nassian

### 3.6 VARIATION OF ENTOMOLOGICAL PARAMETERS OF ANOPHELES FUNESTUS S.L

After IRS, a reduction of *An. funestus s.l* entomological parameters was observed. The human biting rate decreased of 64 % despite being present every months of 2020 (Fig.10). The peak of *An. Funestus s.l* caught by HLC in November 2019 at the start of the dry season decreased after intervention. *Anopheles funestus* represented 22.5% of the infected mosquitoes before IRS. The *An. funestus s.l* average entomological inoculation rate, which was to 0.23 ib/p/n for baseline decreased to 0.06 ib/p/n after IRS in 2020.



**Fig. 10.** Variation of Human biting rate of *An. funestus* before and after IRS in Nassian



**Fig. 11.** Variation of sporozoite index of *An. funestus* before and after IRS in Nassian

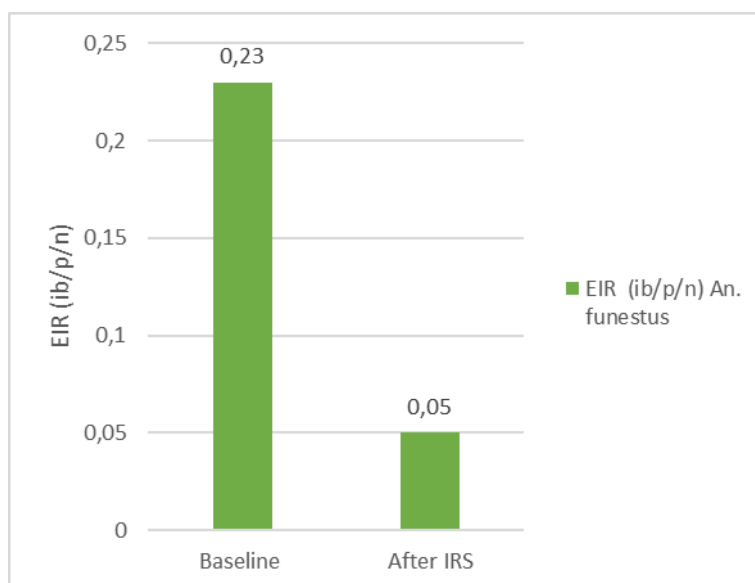


Fig. 12. Variation of entomological inoculation rate of *An. funestus* before and after IRS in Nassian

### 3.6.1 VARIATION OF PARITY RATE

Out of 989 dissected mosquitoes (*An. gambiae s.s* and *An. funestus s.l*), 686 were found parous after IRS. The average parity rate decreased from September 2020 to August 2021 (69.3 %). There is a significant difference of parity between before and after IRS ( $\chi^2= 6.782, p = 0.009$ ).

## 4 DISCUSSION

*Anopheles gambiae s.s* was the main vector of malaria in Nassian, it was followed by *An. funestus* in baseline and after IRS. Malaria transmission in Nassian was caused by two vectors: *An. gambiae s.s* and *An. funestus s.l*, the two main malaria vectors in West Africa [28], [29]. High *An. gambiae s.l* densities in both urban and rural area would be due to the lower level of urbanization of Nassian [30]. The main malaria vector species identified by PCR was *An. gambiae s.s* recognized as the major vector of malaria present in humid savannah zone in Côte d'Ivoire [29]. The density peak was observed during the rainy season for *An. gambiae s.s*. It started in September and reached its maximum in October. This peak was consecutive to the rainfall peak. Indeed, in the absence of lowland rice fields and market gardening in the study area, *Anopheles gambiae s.l* breeding sites were temporary and sunny water collections related to rainfall. Those were natural puddles, small collection of water that no longer flow when the rains decreased in October. The results obtained in the present study were consistent with those generally obtained in the savannah region of west Africa where malaria transmission is related with fluviometric rhythm and the density of vector populations [31].

In baseline period, the study showed that the period of high density and high transmission was from September to December. Thus, indicating the appropriate period for carrying out IRS which would be August to cover the period of high transmission. This is because the required coverage must be achieved prior to the period of high transmission and must be maintained for the duration of the period [3].

As with the human landing catch, the densities of *An. gambiae* and *An. funestus*, were relatively high from January to August 2020 compared to 2019. However, after IRS the peak of human biting rate in September-October of *An. gambiae* was reduced by 73.7% from 2019 to 2020. For *An. Funestus*, it decreased of 8.18% in 2019 to 3.5 % in 2020, although it was present all year with a pic in July before IRS. This significant difference could be due to the IRS conducted in August 2020. These results were consistent with those obtained in Mali which a significantly lower density was observed between the test and control village up to 6 months after IRS [33]. Indeed, a spray is effective for 3 to 6 months, sometimes up to a year depending on the formulation of the insecticide used and the type of surface sprayed [1,38]. After IRS, *An. gambiae s.s* and *An. funestus s.l* tended to bite both outside. This change in behavior could be due to IRS as observed in Benin [34]. Hourly activity was always intense in the second half of the night between 00: 00 et 05: 00 am.

The parity rate and the EIR before and after were good indicators to assess the impact of an indoor residual spraying [14]. The parity rate is very high in baseline period. There was no significant difference between periods of low and high biting rate ( $p=0.944$ ). The probability of mosquitoes becoming infected and transmitting malaria remained high throughout the year. This justified the high infection rates that were observed for *An. gambiae* s.s and *An. funestus* s.l, as well as the EIR that reached its peak in October. These results validated the choice of Nassian for the pilot phase for IRS in Côte d'Ivoire and consistent with those obtained in urban areas of permanent and high malaria transmission with very high parity rate [35]. This study showed that *An. funestus* s.l. maintained malaria transmission at the end of the rainy season and during the dry season when those of *An. gambiae* s.s. were very low. However, in 2020, from January to March, during the dry season, the parity rate decreased as well as the abundance of malaria mosquito vectors as authors have found in a study in Burkina Faso [36]. From the first rains, in June the parity rate increased with the densities of *An. gambiae* s.s but with a decrease compared to 2009. This behavior of *Anopheles* may be due to the availability of larval sites linked to rainfall. The average parity rate for *An. gambiae* s.s and *An. funestus* s.l decreased after IRS compared to baseline (92.6%) from September to December. The particularly high infection rates for *An. gambiae* s.s in baseline were confirmed by the results of the study conducted by Ndiath *et al* in which the S form (*An. gambiae* s.s) was more susceptible to *Plasmodium falciparum* infection than the M form (*Anopheles coluzzi*) [37]. The infection rate was significantly decreased after IRS for *An. gambiae* s.s and *An. funestus* s.l. The reduction in entomological inoculation rate compared to baseline periods reaffirmed the impact of IRS on entomological parameters of malaria transmission in the study area.

## 5 CONCLUSION

This study showed that the highest abundance of local populations of *Anopheles* vectors and highest malaria transmission occurred from September to December in Nassian, Côte d'Ivoire. Therefore, the most appropriate time for IRS implementation for an effective control of local malaria vectors in the Nassian health district should be before September to December. IRS reduced the occurrence of high densities for the *An. gambiae* peak in October and the *An. funestus* peak in November and the longevity of species vectors. A reduction in the entomological inoculation rate after IRS was also observed. A significant decrease of all entomological parameters was observed after the implementation of the IRS showing the positive effect of IRS on the vectors. However, following monitoring should be required including an epidemiological assessment to support the impact that was observed. This will guide the National Malaria Control Programme for future decision making and advocacy.

## ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank U.S. President's Malaria Initiative (PMI) / Vectorlink, NMCP Côte d'Ivoire, CSRS, CEMV, the people of Nassian district, all the entomological technicians who contributed to the achievement of the results presented in this study.

## REFERENCES

- [1] WHO. World Malaria Report 2016. Geneva: World Health Organization; 2016.
- [2] WHO. World Malaria Report 2023. Geneva: World Health Organization; 2023.
- [3] Guidelines for malaria vector control. Geneva: World Health Organization, 2019.
- [4] PNLP. Bulletin épidémiologique du paludisme, 2017–2018.
- [5] E. Tia, L. Kouadio, S. B. Assi, A-M. Boby-Ouassa, B. T. NCHO, V. Koffi, and al, M. Koné, B. K. Koffi, N. B. Kesse, and A. K. Kouamé, «Impact study of an active distribution of Long-Lasting Insecticidal nets (LLINs) on the use rate and the transmission of malaria in rural environment in the south of the Côte d'Ivoire,» *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 17, no. 4, pp. 1251-1262, 2016.
- [6] M. Barutwanayo, M. Coosemans, C. Delacollette, S. Bisore, P. Mpitabakan, and D. Seruzingo, «La lutte contre les vecteurs du paludisme dans le cadre d'un projet de développement rural au Burundi,» *Ann Soc Belg Med Trop*, 71 pp.113–125, 1991.
- [7] Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique. Plan National de lutte contre le paludisme 2021-2025. Abidjan, Côte d'Ivoire. 2020.
- [8] Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique. Rapport Annuel sur la Situation Sanitaire (RASS) 2016, Abidjan, Côte d'Ivoire; 2016.
- [9] Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique. Rapport Annuel sur la Situation Sanitaire (RASS) 2017, Abidjan, Côte d'Ivoire; 2017.

- [10] Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique. Rapport Annuel sur la Situation Sanitaire (RASS) 2018, Abidjan, Côte d'Ivoire; 2018.
- [11] Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique. Rapport Annuel sur la Situation Sanitaire (RASS) 2019, Abidjan, Côte d'Ivoire; 2019.
- [12] S. Silué, D. N. Dago, A. A. Kouassi, A. Dajuma, M. Doumbia, N. E. Touré et al, « Assessing Seasonal Climate Variability Impact on the Malaria Patient's Cases in the North of Côte d'Ivoire,». *European Journal of Applied Sciences*, vol.9, no (6), pp. 188-210, 2021.
- [13] CDBPS (Centre for the Development of Good Health Practices), EHCRC project. November 2012. Indoor residual spraying of insecticide for malaria prevention, 3p.
- [14] Zongo Mahugnon Barnabas, « Impact entomologique de stratégies complémentaires de lutte intégrée contre le paludisme dans un contexte de résistance des vecteurs aux insecticides au nord de la Côte d'Ivoire,» Médecine humaine et pathologie. Université de Montpellier; Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 2019. Français. NNT: 2019MONTT056.vol. 17, no. 4, pp. 1251-1262.
- [15] Institut National de la Statistique de Côte d'Ivoire., «Recensement Général de la population et de l'Habitat de Côte d'Ivoire,» (RGPH). Répertoire des localités: Région du Bounkani. 2014. 22p.
- [16] CI- ENERGIES, Plan cadre de gestion environnementale et sociale (PCGES) dans la region du Bounkani,« Rapport provisoire, 2019.
- [17] Ministère de l'Agriculture de BOUNA, 2018.
- [18] Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), Côte d'Ivoire. Le paludisme en Côte d'Ivoire. 2020.
- [19] BL Kouassi; C Edi; AF Ouattara A.K; Ekra; LG Bellai; J Gouaméné *et al.*, «Entomological monitoring data driving decision-making for appropriate and sustainable malaria vector control in Côte d'Ivoire,» *Malaria Journal*, vol. 22, no.14, 2023.
- [20] The PMI VectorLink Côte d'Ivoire., « Annual Entomological Report, April–December 2019. Rockville, MD. The PMI VectorLink Project, Abt Associates. 2019.
- [21] Gillies MT and Coetzee M. 1987., «A supplement to the Anophelinae of Africa, South of the Sahara (Afrotropical region),». Publication of the South African Institute for Medical Research 1987 n°53, Johannesburg, South Africa, 143p.
- [22] M. Coetzee, «Key to females of Afrotropical Anopheles mosquitoes (Diptera: Culicidae),» *Malaria Journal* vol.19, no 1, p.70, 2020.
- [23] Detinova TS and Gillies MT., « Observations on the determination of the age composition and epidemiological importance of populations of *Anopheles gambiae* Giles and *Anopheles funestus* Giles in Tanganyika,». *Bulletin of the World Health Organization*. 1964; 30 (1) , 23 - 28.
- [24] F. Santolamazza, E. Mancini, F. Simard, Y. Qi, T. Tu, A.Torre, «Insertion polymorphisms of SINE 200 retrotransposons within speciation islands of *Anopheles gambiae* forms,». *Malaria Journal*, vol.7, no 1, p 163, 2008.
- [25] FH Collins, MA Mendez, MO Rasmussen, PC Mehaffey NJ, Besansky, V Finnerty., « A Ribosomal RNA Gene Probe Differentiates Member Species of the *Anopheles gambiae* Complex,». *Am J Trop Med Hyg*, Vol.37 no.1, pp.37–41 1987.
- [26] OMS. Entomologie du paludisme et lutte antivectorielle, Guide du participant. Genève, Organisation Mondiale de la Santé; 2014.
- [27] CGN Gbalégba, H Ba, KD Silué, O Ba, E Tia *et al.*, «Distribution of *Plasmodium* spp. infection in asymptomatic carriers in perennial and low seasonal malaria transmission settings in West Africa,». 2018, *Infect Dis Poverty* 7, 39.
- [28] P Carnevale, V Robert, S Manguin, V Corbel, D Fontenille, C Garros *et al.*, «Les Anophèles: biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle,». Marseille: IRD Editions, 2009.391p.
- [29] E Tia, M Chouaibou, C Gbalégba, A Boby, M Koné, A Kadjo., « Distribution des espèces et de la fréquence du gène Kdr chez les populations d'*Anopheles gambiae* ss et d'*Anopheles coluzzii* dans cinq sites agricoles de la Côte d'Ivoire,» *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, vol.110, no. 2 pp. 130-134.
- [30] R Aïkpon, R Ossè, R Govoetchan, A Sovi1, F Oké-Agbo and MC Akogbéto., « Entomological baseline data on malaria transmission and susceptibility of *Anopheles gambiae* to insecticides in preparation for Indoor Residual Spraying (IRS) in Atacora, (Benin) J,». *Parasitol. Vector Biol.* Vol. 5, no.7, pp. 102-111, 2013.
- [31] J Dosso-Yovo, JM Doannio, F Rivière, G Chauvancy., «Malaria in Côte d'Ivoire wet savannah region the entomological input. *Trop Med Parasitol*,». 1995; 46 (4): 263-9.PMD: 8826108.
- [32] Adja AM, N'goran EK, Koudou GB, Dia I, Kengne P, Fontenille D et al, « Contribution of *Anopheles funestus*, *An. gambiae* and *An. nili* (Diptera: Culicidae) to the perennial malaria transmission in the southern and werstern forest areas of Côte d'Ivoire,». *Annals of Tropical Medecine et Parasitology*, vol. 105, no. 1, pp. 13-24, 2011.
- [33] A Keita,, B Cissé,, and S.F Traoré,, 2017, « Evaluation of the impact of an intra-domiciliary spray in dry season on malaria transmission along the Niger River, Mali,» *Antropo*, 38, 87-97.

- [34] A. S. Salako, F. Dagnon, F. Sovi, G. G. Padonou, R. Aïkpon, I. Ahogni, et al, « Efficacy of Actellic 300 CS-based indoor residual spraying on key entomological indicators of malaria transmission in Alibori and Donga, two regions of northern Benin,» *Parasites & Vectors*, vol. 12, no 1, pages 612. déc. 2019.
- [35] K. F. Assouho, A. M. Adja, N. Guindo-Coulibaly, E. Tia, A. M. N. Kouadio, D.D. Zoh, et al, « Vectorial Transmission of Malaria in Major Districts of Côte d'Ivoire,» *Journal of Medical Entomology*, vol. 57, no. 3, pp. 908–914, 2020.
- [36] V. Robert, V. Petrarca, M. Coluzzi, C. Boudin, P. Carnevale, « Etude des taux de parturité et d'infection du complexe *Anopheles gambiae* dans la rizière de la vallée du Kou, Burkina Faso,» ORSTOM, 1991 p. 17-35.
- [37] M. O. Ndiath, C. Mazonot, A. Gaye, L. Konate, C. Bouganali, O.Faye *et al*, « Methods to collect *Anopheles* mosquitoes and evaluate malaria transmission: A comparative study in two villages in Senegal,» *Malaria Journal*, vol.10, no 1, pp.270, 2011.
- [38] WHO. Indoor residual spraying: « An operational manual for PID for malaria transmission, control and elimination ». Geneva: World Health Organization; 2013.

## Réathlétisation d'un foot balleur après une ligamentoplastie du ligament croisé antérieur: Etude de cas

### [ Reathletization of a soccer player after ligamentoplasty of the anterior cruciate ligament: Case study ]

*Mame Ngoné Beye<sup>1</sup>, Mountaga Diop<sup>1</sup>, Papa Serigne Diene<sup>1</sup>, Ndiack Thiaw<sup>1</sup>, Daouda Diouf<sup>1</sup>, Mamouthiam Diop<sup>1</sup>, Ndarao Mbengue<sup>1</sup>, Amadou Diouf<sup>1</sup>, Thierno Diouf<sup>1</sup>, A. C. Thiam<sup>1</sup>, Abdoulaye Ba<sup>2</sup>, Djibril Seck<sup>1</sup>, and Abdoulaye Samb<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire des sciences et techniques des activités physiques et sportives-jeunesse et loisirs (STAPS-JL, INSEPS, UCAD), Dakar, Senegal

<sup>2</sup>Laboratoire de physiologie et d'exploration fonctionnelle (FMPO, UCAD), Senegal

---

Copyright © 2024 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:** Both recreational and competitive sports are experiencing growing developments. The traumas related to their practice remain unknown, thus causing a loss of abilities or a definitive stop. It is in this context that the objective of this work is to study the interest of a reathletization program following an anterior cruciate ligament reconstruction of the knee in a young footballer from Dakar Sacré Cœur.

We first measured the footballer's thigh circumference. Then we made him undergo Vameval, Crossover hop and Counter movement jump tests to determine respectively his aerobic endurance, the symmetry of the lower limb and his vertical relaxation. Finally, at the end of the seven (7) week reathletization program at the rate of five (5) sessions per week, we re-evaluated the same variables in the footballer.

Thus, the comparison of the values recorded before and after the reathletization program revealed an increase in the thigh perimeter of 3 centimeter, the Maximum Aerobic Speed of 1.18 kilometer per hour, oxygen consumption of 4.13 milliliter per kilogram per minute, the percentage of asymmetry of 3.3 percent in the crossover hop test and the vertical jump of 6.74 centimeter in the Counter movement jump test.

It emerges from our case study that an adequate reathletization program after anterior cruciate ligament reconstruction of the knee allowed our young footballer to recover his thigh perimeter, to rebalance the strength of both limbs, to improve his vertical jump and his maximum aerobic speed.

**KEYWORDS:** anterior cruciate ligament, injury, ligament reconstruction, retraining, athlete.

**RESUME:** Le sport de loisirs comme celui de compétition connaît une évolution grandissante. Les traumatismes liés à leur pratique restent inconnus occasionnant ainsi une perte de capacités ou un arrêt définitif. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif de ce travail qui est d'étudier l'intérêt d'un programme de réathlétisation suite à une ligamentoplastie du ligament croisé antérieur du genou chez un jeune footballeur de Dakar Sacré Cœur.

Nous avons d'abord mesuré le périmètre de la cuisse du footballeur. Ensuite lui avons fait subir des tests de Vameval, de Crossover hop et de Counter movement jump pour déterminer respectivement son endurance aérobie, la symétrie du membre inférieur et sa détente verticale. Enfin à la fin du programme de réathlétisation de sept (7) semaines en raison de cinq (5) séances par semaine, nous avons réévalué les mêmes variables chez le footballeur.

C'est ainsi que la comparaison des valeurs enregistrées avant et après le programme de réathlétisation a révélé une augmentation du périmètre de la cuisse de 3 centimètre, de la Vitesse Maximale Aérobie de 1,18km/h, de la consommation

d'oxygène de 4,13 millilitre par kilogramme par minute, du pourcentage d'asymétrie de 3,3 pour cent au crossover hop test et de la détente verticale de 6,74 centimètre au test de Counter movement jump.

Il ressort de notre étude de cas, qu'un programme de réathlétisation adéquat après ligamentoplastie du ligament croisé antérieur du genou a permis à notre jeune footballeur de recouvrer son périmètre de cuisse, de rééquilibrer la force des deux membres, d'améliorer sa détente verticale et sa vitesse maximale aérobie.

**MOTS-CLEFS:** ligament croisé antérieur, blessure, ligamentoplastie, réentraînement, athlète.

## 1 INTRODUCTION

Le football est le sport le plus populaire dans le monde. Il est pratiqué par environ 300 millions de personnes d'après [1]. C'est un sport collectif qui sollicite beaucoup l'articulation du genou et exige son intégrité. Le genou, articulation intermédiaire du membre inférieur, constitué de l'extrémité inférieure du fémur et de l'extrémité supérieure du tibia doit être stable pour assurer une bonne mobilité. La stabilité articulaire passive est assurée par les structures osseuses, cartilagineuses, capsulaires, méniscales et ligamentaires. Alors que la stabilité active est gérée par les muscles polyarticulaires via leur capacité de programmation et de réaction neuromusculaire [2]. La rupture du ligament croisé antérieur est le traumatisme le plus fréquent au football avec des conséquences délétères sur le plan sanitaire et socio-économique même dans les pays développés [3].

Au Sénégal, la rupture du ligament croisé antérieur du genou est fréquente chez les jeunes footballeurs. Elle est bien sûr causée par le jeu agressif mais surtout par l'état défectueux des terrains dans lesquels ils jouent. Au Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte (CHOM), les ruptures du Ligament Croisé Antérieur (LCA) représentent le premier motif de consultation pour traumatisme du genou et le premier motif d'intervention post traumatique du genou selon une étude faite dans cette structure [4].

Cependant, rares sont les jeunes joueurs sénégalais qui recouvrent après une blessure du genou. Ils sont le plus souvent sanctionnés par un arrêt définitif de la pratique sportive ou par un retour déséquilibré sur le terrain.

A notre connaissance, aucune étude allant dans le sens de proposer un programme de réathlétisation après un traumatisme du genou n'a été réalisée au Sénégal. Ce qui motive cette présente étude dont l'objectif est d'évaluer l'impact d'un programme de réathlétisation après une reconstruction du ligament croisé antérieur du genou sur le périmètre de la cuisse et les qualités physiques du footballeur.

## 2 MÉTHODOLOGIE

### 2.1 MATÉRIEL

#### 2.1.1 CADRE DE L'ÉTUDE

L'expérimentation s'est déroulée au centre sportif Dakar Sacré Cœur (DSC) sis au quartier Liberté 1 de Dakar. Cette école de formation privée sénégalaise qui accueille des stagiaires de l'INSEPS, propose un programme sport-études aux élèves, filles et garçons.

#### 2.1.2 ECHANTILLON D'ÉTUDE

C'est une étude de cas d'un footballeur âgé de vingt (20) ans, évoluant en ligue professionnelle de football sénégalais à Dakar Sacré-cœur, victime d'une rupture du ligament croisé antérieur du genou gauche. La blessure est survenue le 20 octobre 2020 lors d'une séance d'entraînement. Il a subi une opération de reconstruction par la méthode Droit Interne-Demi-Tendineux, le 29 décembre 2020 au Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte. La rééducation a débuté le 4 janvier 2021 et a duré cinq (5) mois. Son dernier rendez-vous de contrôle a permis une autorisation de reprise progressive des activités sportives pour le 19 juillet 2021.

### 2.2 MÉTHODES

#### 2.2.1 DESCRIPTION ET DEROULEMENT DE LA MESURE DU PERIMETRE DE LA CUISSE

La mesure du périmètre de la cuisse permet d'évaluer et de suivre le volume musculaire de la cuisse durant le réentraînement. Pour ce faire, nous avons utilisé un centimètre souple. La mesure a été prise à deux moments: début juin et fin juillet.

Le sujet est au repos, déshabillé et en position de debout les jambes un peu écartées. Le centimètre souple est enroulé autour de la cuisse à 15cm au-dessus de la base de la rotule de façon horizontale au plan du sol. Le périmètre de la cuisse est lu directement à l'endroit où les deux extrémités se rejoignent.

#### 2.2.2 DESCRIPTION ET DEROULEMENT DE LA MESURE DE L'ENDURANCE

L'endurance est la capacité à résister à la fatigue. Autrement dit, elle est l'aptitude à maintenir une charge, une cadence, une puissance ou une amplitude donnée sans baisse de performance. Elle demeure ainsi une qualité fondamentale de la performance au football, permettant le maintien de l'effort tout au long d'un match. Sans elle, il est impossible aux joueurs d'exprimer pleinement leurs qualités technico-tactiques.

Deux variables physiologiques, la Vitesse maximale aérobie (VMA) et la consommation maximale d'oxygène ( $VO_2\max$ ) sont évaluées sur le terrain par le test de Vameval. Ces variables permettent d'apprécier l'endurance. Le joueur suit la vitesse de course modulée au moyen d'une bande sonore. Cette dernière émet des signaux à des intervalles réguliers. A chaque signal, le joueur doit se trouver au niveau d'un des plots placés sur la piste d'athlétisme à des distances de 20 mètres. La vitesse s'accroît de 0,5km/h toutes les minutes ce qui correspond au franchissement d'un palier. Le premier palier débute à un rythme de 8,5km/h. Le joueur s'arrête dès qu'il accuse un retard de plus de 3 m sur 2 plots consécutifs.

Dans le cas de notre étude, nous avons mis le sujet avec le groupe de performance pro2 de Dakar Sacré Cœur ce qui le poussait à se surpasser lors du test de VAMEVAL.

#### 2.2.3 DESCRIPTION ET DEROULEMENT DE LA MESURE DE LA SYMETRIE DU MEMBRE INFERIEUR

La symétrie des forces musculaires entre les deux membres inférieurs (le membre lésé ou opéré et le membre sain) conditionne l'équilibre de l'athlète et améliore sa performance. Cependant tout déséquilibre engendre des risques élevés, de blessures, de rupture du ligament croisé antérieur.

Le crossover hop test a permis d'évaluer le pourcentage de l'asymétrie entre les deux membres inférieurs. Pour ce test, le joueur saute de part et d'autre d'une bande au sol de 15cm de large sur une distance de 6m. Il se place derrière la ligne, en unipodal avec les mains libres. Le départ se fait du côté controlatéral à la jambe testée. Il effectue trois sauts Le test n'est valide que lorsque le dernier saut est maintenu équilibré pendant au moins trois (3) secondes.

L'application My Jump2 donne la distance obtenue pour chaque membre inférieur et le pourcentage d'asymétrie entre les deux membres inférieurs. Elle est fiable et validée par des scientifiques [7] pour calculer certains paramètres comme le pourcentage d'asymétrie, la détente verticale, la force, la puissance et l'explosivité d'un athlète.

Si le pourcentage d'asymétrie obtenue avec My Jump2 est  $>$  à 10%, on considère qu'il y a un déficit de force musculaire entre les deux membres inférieurs;

Si le pourcentage d'asymétrie obtenue avec My Jump2 est  $<$  à 10%, on considère qu'il n'y a pas de déficit de force musculaire entre les deux membres inférieurs ([5], [6]).

#### 2.2.4 DESCRIPTION ET DEROULEMENT DE LA MESURE DE LA DETENTE VERTICALE

La détente verticale évalue la force explosive des membres inférieurs. Elle est importante en football durant les actions qui demandent de l'explosivité comme les changements de direction, les frappes ou encore les sauts aériens.

Le sujet est soumis au test de counter movement jump (CMJ). Le CMJ est un saut vertical, souvent utilisé comme test de terrain ou de laboratoire pour étudier le cycle étirement-détente des membres inférieurs chez les sportifs de tout niveau. En effet, le CMJ se compose d'une phase excentrique puis d'une phase concentrique des muscles extenseurs de la jambe. La composante élastique joue donc un rôle majeur dans la réalisation du saut vertical.

Le sujet se met en position debout. Les mains sont placées sur les hanches pour éviter tout mouvement de balancier avec les bras qui permettrait de sauter plus haut. Il effectue un contre-mouvement vers le bas (une flexion des membres inférieurs) immédiatement suivi d'une extension complète des membres inférieurs. Lors de ce saut, le sujet a pour consigne de sauter le plus haut possible. La hauteur de saut (la détente verticale) en centimètre est mesurée par l'application « My Jump 2 ».

### 2.2.5 PROGRAMME DE RÉATHLÉTISATION

Le programme de réathlétisation suivant de sept semaines (début juin- deuxième quinzaine juillet 2021) d'une durée d'une heure et demi (1H30mn) par séance, cinq fois dans la semaine comme l'ont réalisé [8] pour préparer le retour des footballeurs sur le terrain.

Tableau 1. *Planning du programme de réathlétisation*

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jedi	Vendredi
Première semaine	Renforcement des ischios jambiers et des quadriceps.	Renforcement des ischios jambiers et des moyens fessiers.	Renforcement des moyens fessiers et le cardio training.	Renforcement des quadriceps, des ischios jambiers et des mollets.	Travail des abducteurs.
Deuxième semaine	Repos	Renforcement du haut du corps, les biceps, les triceps et la proprioception.	Cross fit haut du corps/bas du corps.	Travail de la force.	Renforcement des fessiers, quadriceps et ischios jambiers.
Troisième semaine	Contrôle à l'hôpital.	Travail de la réactivité aux appuis.	Renforcement du haut du corps pectoraux et triceps.	Renforcement bas du corps/ haut du corps.	Renforcement du bas du corps quadriceps, ischios jambiers et mollets.
Quatrième semaine	Repos	Réactivité aux appuis et la motricité au ballon.	Renforcement des abducteurs et des adducteurs.	Travail des appuis avec plus de changements de directions.	La proprioception
Cinquième semaine	Travail sur l'explosivité et la vitesse.	Travail sur l'explosivité, l'accélération et gainage.	Contrôle à l'hôpital.	Réactivité d'appuis et changement de direction.	Renforcement des quadriceps et des ischios jambiers
Sixième semaine	Renforcement du bas du corps.	Renforcement du bas du corps.	Travail sur la force et renforcement des biceps et des deltoïdes.	Renforcement du bas du corps.	Travail de l'accélération, du freinage, de la motricité et de l'aérobie.
Septième semaine	Travail de la motricité au ballon et le renforcement du bas du corps.	Test de Vameval.	Musculation du haut du corps.	Repos	Musculation du bas du corps.

## 3 RÉSULTATS

Tableau 2. *Valeurs du périmètre des cuisses avant et après le programme de réathlétisation*

Membres	Juin	Juillet	Evolution
Cuisse Droite (cm)	52	54	2
Cuisse Gauche (cm)	50	53	3

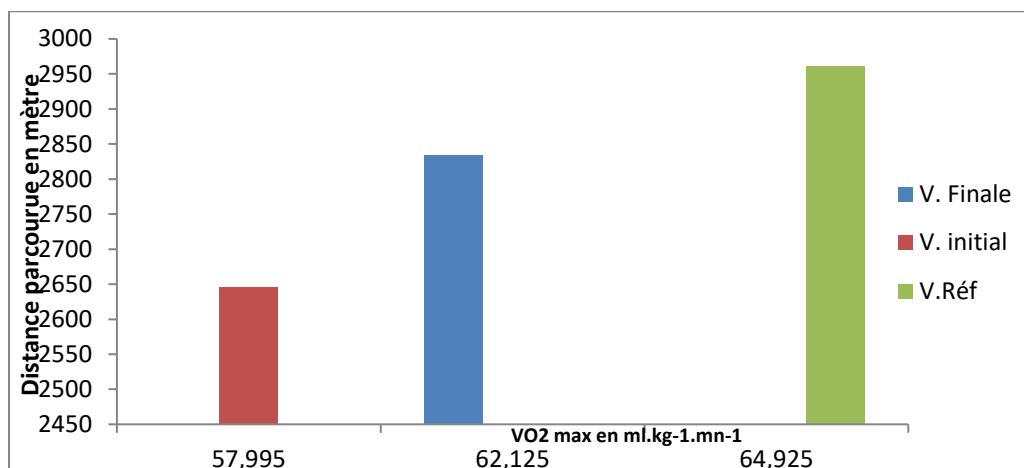


Fig. 1. Valeurs de la consommation d'oxygène par le test de Vameval

Tableau 3. Pourcentages d'asymétrie recueillis à l'issu des deux Crossover Hop test

Périodes	Distance (mètre) membre inférieur gauche	Distance (mètre) membre inférieur droit	Pourcentage d'asymétrie (%)
Juin	6,60	6,45	2,27
Juillet	6,95	6,72	3,31

Tableau 4. Détentes verticales du sujet enregistrées lors des deux Counter Movement Jump

	Juin	Juillet	Evolution
CMJ (cm)	47,76	54,50	6,74

cm (centimètre)

#### 4 DISCUSSION

A la fin de la réathlétisation, le périmètre de la cuisse a augmenté de 3 cm, la VMA de 1,18km/h. Le pourcentage d'asymétrie est de 3,31% au crossover hop test et la détente verticale a augmenté de 6,74 cm au Counter Movement Jump. Les résultats de cette étude sont en phase avec ceux de [9] qui ont trouvé une augmentation du périmètre de la cuisse de plus d'un (1) cm après trois semaines de réathlétisation de jeunes footballeurs alors que notre joueur était sous un programme de sept (7) semaines qui est nettement plus long. En outre le pourcentage d'asymétrie trouvé (3,31%), inférieur à 10% montre que notre athlète ne présente pas de déficit musculaire entre les deux membres inférieurs. En effet cela pourrait réduire le risque d'une récurrence de rupture du ligament croisé antérieur comme l'ont rapporté [10]. Toutefois nos résultats sont en discordances avec ceux de [6] qui avaient trouvé un déficit musculaire de plus de 10% chez des sportifs. Ils expliqueraient le niveau d'asymétrie par un manque de récupération avancée alors que notre athlète dont la récupération a été prise en compte dans le programme. Par ailleurs l'augmentation de la détente verticale (+6,74 cm) de notre footballeur de 20ans est en concordance avec les 6 cm trouvés par [11] après huit (8) semaines d'entraînement de jeunes footballeurs âgés de 18 ans ± 0,9 ans. L'efficacité du programme de réathlétisation de notre patient après ligamentoplastie se justifie par les résultats. La consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub>max) avant le réentraînement était égale à 57,99ml.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> elle est passée à 62,12 ml.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> une valeur qui est proche de celle de référence (64,92 ml.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>) en fin de programme attestant une bonne endurance. Ces données de VO<sub>2</sub>max vont dans le même sens que celles de [12] qui ont rapporté des valeurs de 56,5 à 59,4 ml.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> dans leur article de synthèse sur les caractéristiques physiques et physiologiques de joueurs de football. De plus ce type de programme associé à une quantification des charges d'entraînement, permet la prévention des blessures [13]. En somme un bon accompagnement permet une prévention des troubles musculaires et proprioceptifs du sportif lors de la reprise du sport, rapporté par [5], [14], [15] et [16].

## 5 CONCLUSION

Un programme de réentraînement de sept (7) semaines a été administré à un jeune footballeur après une ligamentoplastie du ligament croisé antérieur du genou gauche. Il ressort de cette étude que le programme de réathlétisation a permis de:

- Eviter une hypotrophie musculaire de la cuisse lésée et un déséquilibre de force des deux membres inférieurs;
- Retrouver son endurance et de sa détente verticale.

## REFERENCES

- [1] B. Tamalet et P. Maillé Program for preventing anterior cruciate ligament tears. Efficacy in football players: Large-scale FIFA experience. *Journal de Traumatologie du Sport* (2014) 31, 179–184.
- [2] Chanussot et Danowski, 2005 Rééducation en traumatologie du sport, Tome 2, membre inférieur et rachis, 4<sup>ème</sup> édition, Issy-les-Moulineaux, Paris Masson, 383 p.
- [3] Bertrand Tamalet et Pierre Rochcongar, Épidémiologie et prévention de la rupture du ligament croisé antérieur du genou. *Revue du rhumatisme monographies* 83 (2016) 103–107.
- [4] Sidibé S., Déme H., Akpo G., Niane M.M., Daffé M., Diop A. D., SokoT. O., Kinkpe C., Sané A. D., Ba S., Niang E. H. et Sidibé S. Performance de l'imagerie par résonance magnétique et de la laximétrie au genourob dans les ruptures du ligament croisé antérieur du genou à propos de 30cas. *Mali Med* 2020; 35 (2): 20-25.
- [5] Noyes F. R., Barber S.D., Mangine R.E. Abnormal lower limb symmetry determined by function hop tests after anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med.* 1991 Sep-Oct; 19 (5): 513-8. doi: 10.1177/036354659101900518. PMID: 1962720.
- [6] J. Condouret, J. Cohn, J.-M. Ferret, A. Lemonsu, W. Vasconcelos, D. Dejour, J.-F. Potel. Évaluation isocinétique à deux ans de ligamentoplasties du ligament croisé antérieur au tendon rotulien et aux ischiojambiers. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Réparatrice de l'Appareil Moteur* 2008, Vol: 94, Issue: 8, Pages: 375-382.
- [7] O. Abrahin, E.V. Souza do Nascimento, M.G. Nascimento, L.B. Pereira da Silva, R.P. Abrahin, The validity and reliability of the My Jump 2 application for trained junior and adult athletes, *Science & Sports, Volume 39, Issues 5–6, 2024, Pages 527-531, ISSN 0765-1597, <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.08.007>.*
- [8] P. L. Puig, P. Trouve E. Laboute De l'intérêt d'une réathlétisation des ligamentoplasties du sportif pour préparer le retour sur le terrain. *Lett. Méd. Phys. Réadapt.* (2010) 26: 38-41.
- [9] E. Laboute, J. France, P. Trouve, L. Puig, M. Boireau et A. Blanchard, 2012 Rehabilitation and leucine supplementation as possible contributors to an athlete's muscle strength in the reathletization phase following anterior cruciate ligament surgery. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 56 (2013) 102–112.
- [10] Dauty M., Potiron-Josse M., Rochcongar P., Conséquences et prédictions des lésions musculaires des ischios jambiers à partir des paramètres isocinétiques concentriques et excentriques du joueur de football professionnel. *Annales de réadaptation et de médecine physique* 2003, vol 46: 9, page: 601- 606.
- [11] M. A. Khanfir A. Kamouna, R. Heubert, L. Masmoudia (2014) L'entraînement combiné de la force et de l'endurance chez de jeunes footballeurs. *Science & Sports, 2014 Vol: 29, Issue: 2, Page: 71-77.*
- [12] H. Zouhal, S. Coppalle, G. Ravé, G. Dupont, J. Jan, C. Tourny, S. Ahmaidi. Football de haut-niveau: analyses physique et physiologique – blessures et prévention, *Science & Sports* 2021, Vol: 36, Issue: 4, Pages 332-357, ISSN 0765-1597.
- [13] Sedeaud A., Séne J. M., Krantz N., Saulière G., Moussa I et Toussain J. F., L'importance de la quantification de la charge d'entraînement: exemple d'un modèle. *Science & Sports* 2018, ISSN: 0765-1597, Vol: 33, Issue: 1, Page: 22-32.
- [14] Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2008 Aug; 36 (8): 1469-75. doi: 10.1177/0363546508316764. Epub 2008 Apr 30. PMID: 18448578.
- [15] Elia Coppens, Suzanne Gard, Jean-Luc Ziltener, Jacques Menetrey Et Philippe M. Tscholl Retour au sport et à la compétition après reconstruction du ligament croisé antérieur. *Rev Med Suisse* 2018 ; 14 : page 1340-1345.
- [16] M. Dargaud, A. Malgoyre, J. Facione, R. Michel, N. Koulmann, S. Coste Etat des lieux de l'accompagnement à la reprise du sport après arrêt de l'entraînement dans l'armée française. *Science & Sports* 2020, Vol: 35, Issue: 5, Page: 279- 288.

## L'analyse Cyclostratigraphie dans la mise en évidence des cortèges sédimentaires dans la marge d'Abidjan

### [ Cyclostratigraphy analysis in the identification of sedimentary processions in the Abidjan margin ]

*Blandine Akissi Egoran<sup>1</sup>, Bi Youzan Aimé Gbamble<sup>1</sup>, Fori Yao Paul Assalé<sup>2</sup>, and Sylvain Mondé<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Université de San Pedro, UFR Sciences de la Mer, BP V1800 San Pedro, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Laboratoire de Géosciences Marines et Ressources Énergétiques, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2024 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:** At present, little work has been done on the Cyclostratigraphy of the Abidjan margin, so the base level, which is a dynamic surface controlled by factors such as (tectonics, eustatism and climate), represents a very complex environment, which makes it difficult to characterize its rise or fall. This study aims to determine the major lithological ensembles with the evolutionary trends of the logs. The studies carried out concern the analysis of two boreholes located on the Abidjan margin, In this paper, the INPEFA technology of Gamma-Ray logs was used to study the cycle of deposition systems. The negative trend in the INPEFA curve indicates the half-cycle of sea-level decline, the positive trend suggests the rise in sea level of another half-cycle. This allowed us to determine respectively a negative trend, dominated by a positive trend and symmetric cycles (negative trend-positive trend).

**KEYWORDS:** negative trend, positive trend, INPEFA, Margin, Ivory Coast.

**RESUME:** A l'heure actuelle, peu de travaux concernant la Cyclostratigraphie de la marge d'Abidjan ont été abordé, ainsi le niveau de base qui est une surface dynamique contrôlé par les facteurs tels que (tectonique, eustatisme et climat), représente un milieu très complexe, ce qui rend difficile la caractérisation de sa montée ou de sa descente. Cette étude vise à déterminer les grands ensembles lithologiques avec les tendances évolutives des diagraphies. Les études réalisées portent sur l'analyse de deux forages implantés sur la marge d'Abidjan, dans cet article, la technologie INPEFA des diagraphies de Gamma-Ray ont été utilisé pour étudier le cycle des systèmes de dépôts. La tendance négative de la courbe INPEFA indique le demi-cycle de baisse du niveau marin, la tendance positive suggère la hausse du niveau marin d'un autre demi-cycle. Ceci, nous a permis de déterminer respectivement une tendance négative, dominée par une tendance positive et des cycles symétriques (tendance négative-tendance positive).

**MOTS-CLEFS:** tendance négative, tendance positive, INPEFA, Marge, Cote d'Ivoire.

## 1 INTRODUCTION

Le processus de sédimentation est pluriel, mais il présente des caractéristiques générales exploitées par les différentes approches de la stratigraphie. Quel que soit le mode de sédimentation (continentale, marine ou lacustre), l'énergie solaire et la gravité conditionnent la mise en place des sédiments qui subiront des actions diagénétiques variables et deviendront une

roche sédimentaire. Les altérations internes peuvent détruire ou au contraire souligner des particularités héritées dans la lithologie. Ces particularités reflètent entre autres les conditions externes de mise en place de la roche. La Cyclostratigraphie en tant que méthodologie et application est une branche récente de la stratigraphie, qui se propose d'étendre le champ de la lithostratigraphie, basée sur la vérification de l'existence et la nature des corrélations entre les cycles sédimentaires d'une part et les cycles climatiques d'autre part, ce qui constitue une double réponse, tributaire de la continuité et de l'homogénéité de la série sédimentaire). Elle constitue donc une bonne méthode pour comprendre le comportement dynamique de la mer en réponse au changement climatique, tectonique et eustatiques, afin de faire une bonne interprétation des alternances régressives et transgressives.

Plusieurs travaux [1], [2], [3].et [4] ont porté sur l'aspect sédimentologie, lithologique biostratigraphie et stratigraphie séquentielle du bassin sédimentaire ivoirien, sans toutefois mener une étude cyclostratigraphique minutieuse de la marge d'Abidjan, c'est en cela que cette méthodologie mérite d'être examinée en détail. Elle va nous permettre de déterminer les séquences de dépôt en haute mer et de corréler des domaines paléogéographiques inaccessibles. Ce qui suggère une rareté de document scientifiques existants à ce sujet.

L'objectif est d'établir un cadre stratigraphique de très haute résolution supérieure à la biostratigraphie et à la stratigraphie séquentielle pour permettre des corrélations fiables sur une longue distance. Cette approche s'appuie sur l'étude de deux forages implantés dans un même bloc situé dans la marge d'Abidjan (Fig 1).

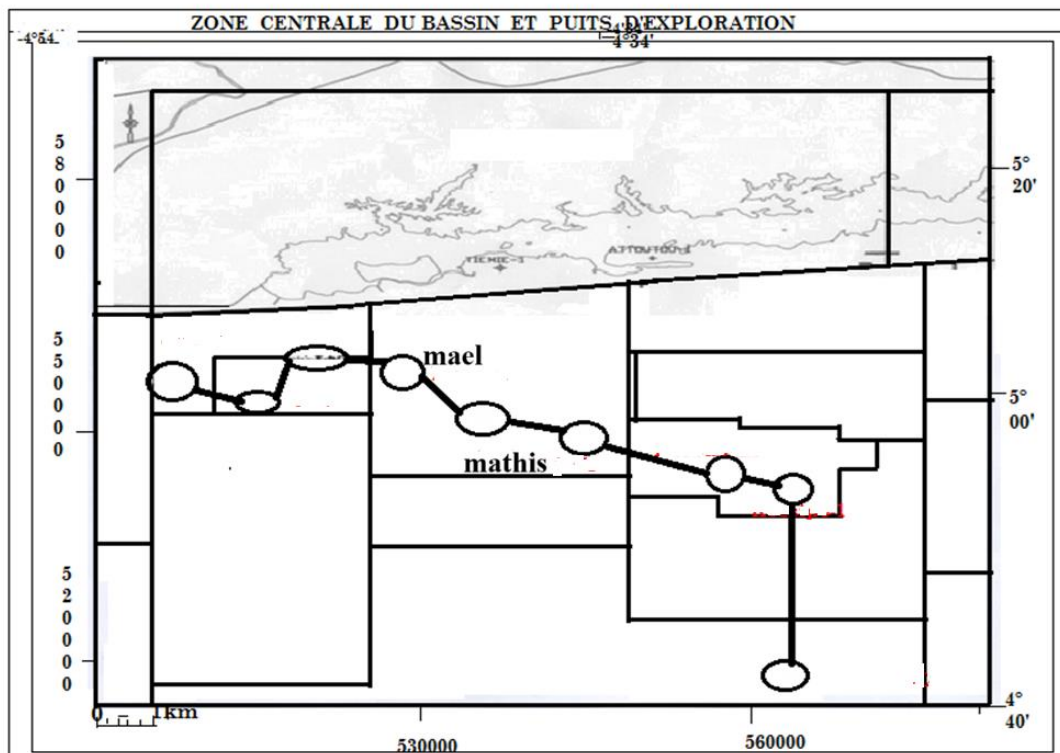


Fig. 1. Localisation géographique des forages étudiés

## 2 MÉTHODOLOGIE

La Cyclostratigraphie est l'étude des modèles rythmiques et cycliques dans les successions sédimentaires, plus précisément l'étude des modèles de dépôts sédimentaires produits par les processus climatiques et tectoniques. Pour reconnaître de telles modèles de cyclicité dans les puits d'études, le CycloLog a été utilisé. Le CycloLog est un instrument de détermination par modélisation des diagraphies, principalement le gamma ray, utilisant une analyse spectrale pour révéler la cyclicité à une gamme d'échelles. Le résultat de l'analyse du CycloLog est une série de courbes INPEFA (Integrated Predicted Error Filter Analysis Trad: Analyse par Filtre de Prévision d'Erreur Intégrée). Celles-ci sont particulièrement appropriées pour l'extraction de caractères à partir du rayon gamma relativement plat et sans relief ou un autre gamma ayant un signal clastique significatif qui tend à obscurcir la cyclicité présente. Les deux caractéristiques ont été présentées par les diagraphies gamma fournies pour cette étude. INPEFA est également utile dans les lithologies autres que les matériaux clastiques et les argiles et peuvent être

utilisés dans les sédiments volcano-clastiques et calcaires. Les interprétations de n'importe quel sédiment, doivent cependant être prudemment effectuées pour s'assurer que la courbe INPEFA est vraiment représentative. Elle peut, par exemple, être affectée par le contenu minéralogique des sédiments à interpréter.

Par ailleurs, les principales surfaces de limitation sont identifiées aux points d'inflexions entre les tendances diagraphiques positives et négatives. Les Surfaces de Limitations Négatives (NBS) marquent un changement en amont, vers les intervalles à grains plus grossiers, tandis que les Surfaces de Limitations Positives (PBS) marquent un changement en amont vers des sédiments à grains plus fins et potentiellement, le début d'une transgression. Les Surfaces de Limitation Négatives définissent les limites supérieures et Inférieures des Packages stratigraphiques-StratPac – identifiés et mis en corrélation dans cette étude. Ces surfaces de limitation négatives se rapprochent, sans nécessairement être d'âges identiques au maximum des surfaces d'inondation du model stratigraphique séquentiel traditionnel. En adoptant la méthodologie de ce stratpac, notre approche suit de près celui [5]. Il a préconisé l'utilisation de la séquence T-R où une séquence unique (que nous appelons communément stratpac) est composée d'un intervalle régressif Inférieur et un intervalle transgressif supérieur. Ceci rend moins nécessaire l'application de la terminologie complexe du modèle stratigraphique séquentiel standard.

### 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les données de Gamma Ray (GR, total Inpefa Gr, Short Inpefa Gr) acquises dans les forages renseignent sur la lithologie des couches traversées. D'une manière générale, elles se reflètent à la description lithologique. Sur les deux forages (Mael et Noah), On observe des valeurs de GR élevées dans les unités riches en argile et les valeurs basses dans les unités riches en sable, débris carbonés et de glauconite. Le gamma ray à une valeur comprise entre 10 et 90 API avec une valeur maximale atteignant le 140 API.

Les données des forages Mael et Noah sont décrites ci-dessous.

#### 3.1 LE FORAGE MAEL

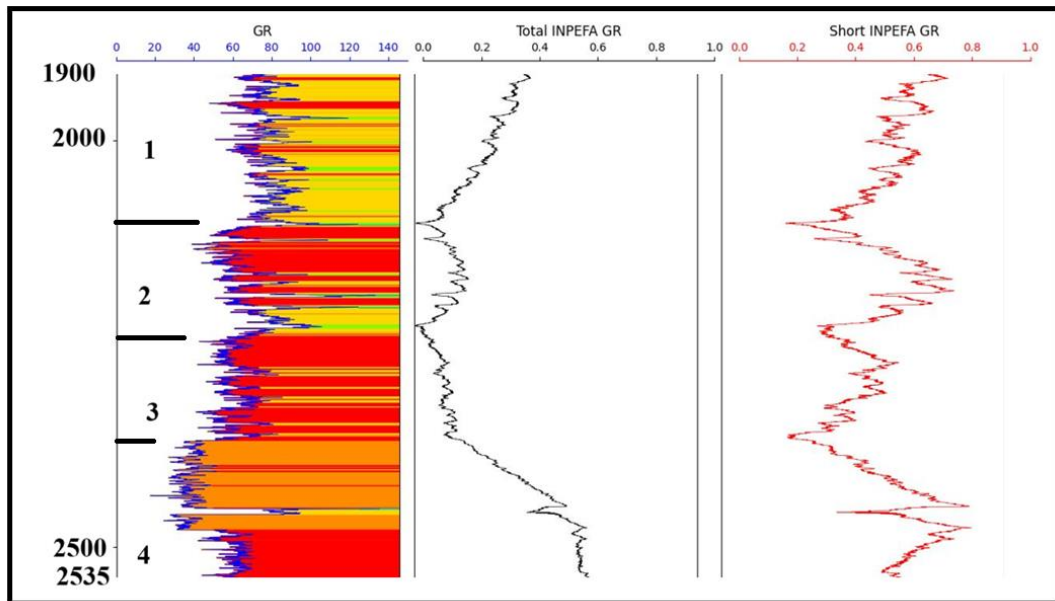
L'intervalle allant de 1900 – 2225 m correspond au cycle 1, avec des valeurs de signature Gamma-Ray élevées (60 à 140 API), le signal gamma-Ray montre des variations haute fréquences ce qui s'expliqueraient par le dépôt d'argilites sableuses et gréseuses. Des alternances régulières de grande amplitude sont clairement observées sur le gamma-ray, avec plusieurs ordre des cycles variant entre 1 et plusieurs mètre d'épaisseur. La nature apparemment cyclique de l'enregistrement sédimentaire à cet intervalle se corrèlent avec l'alternance de couche argileuse sableux, argileuse gréseuse et argileuse silteuse. (Figure 2)

Les intervalles des cycles 2 et 3 se distinguent par une oscillation de fréquence moins élevées sur le Gamma-Ray, cette tendance décroissante du gamma-Ray pourraient s'expliquer par un dépôt de matériels argilo-sableux et argilo-Silteuse. (Figure 2)

Le cycle 4, le Gamma-R ay présente des valeurs moyennes de 25-60API. Le signal montre une variabilité sur plusieurs mètres. On observe les valeurs élevées dans les unités riches en argiles et des valeurs basses dans les unités riches en sables/grés. (Figure 2)

**Tableau 1. x I: Cycle du forage Mael au Sénonien**

Cycle	Distance (m)	Lithologie	GR(API)	Total INPEFA GR	SHORT INPEFA GR
1	1900 -2225	Argilites	80- 140	00 -0,4	0,2 -0,7
		Argilites silteuse	45-60		
2	2225 -2300	Argilite silteuse	45-60	00 -0,2	0,2 -0,8
3	2300-2400	argilite silteuse	45-60	00 -0,18	0,1 -0,6
4	2400-2535	Argilite intercalé de Grés	25-60	01 -0,6	0,2 -0,8



LEGENDE :



Fig. 2. Résultat de données du forage Maël comprenant les données lithologiques, le Gamma-ray

### 3.2 FORAGE NOAH

-La partie supérieure de 2015 m- 2233 m, montre des valeurs de GR relativement moyenne par endroit à élever, avec des sinuosités très accentuées. Ce qui pourrait correspondre à une signature d’argile et de formation non argileuse ou carbonatées. Ces caractéristiques se confirment sur le log lithologique par une formation dominée par l’argile avec des passées de dolomies, de calcaires et de siltites. Cet intervalle correspond au cycle I et II. Aussi au niveau du cycle II, commence une augmentation sur le gamma-ray qui présente une variabilité cyclique, cette augmentation suggèrent une relative présence d’argilite. (Figure 3).

Cycle III- Dans cet intervalle, la courbe GR présente des valeurs relativement moyennes avec par endroit des valeurs élevées. Ces valeurs moyennes qui augmentent progressivement pour atteindre un pic aux cotes 2292 et 2310 avant de chuter à niveau vers des valeurs moyennes. Cette tendance évolutive de la courbe est en liaison avec une remonté de la tranche d’eau et l’important pic observé correspondrait à une surface d’inondation maximale. La rechute traduit la baisse du niveau marin. Toutes ces caractéristiques expliqueraient la coexistence de marnes et de calcaire. (Figure 1)

Tableau 2. Cycle du forage Noah au Sénonien

CYCLE	DISTANCE (m)	LITHOLOGY	GR (API)	INPEFA GR	SHORT INPEFA GR
I	2015-2123	Argilite intercalée de dolomite et de calcaire	60-140	0,1 - 0,6	00 – 0,7
II	2123 - 2233	Argilite intercalée de dolomite, de calcaire et de siltite	60-140 35 - 45 40 -60	0,1- 0,7	0,1 – 0,8
III	2233 -2335	Argillite Marne	60-140 40 -55	0,4- 0,7	0,1 -0,8

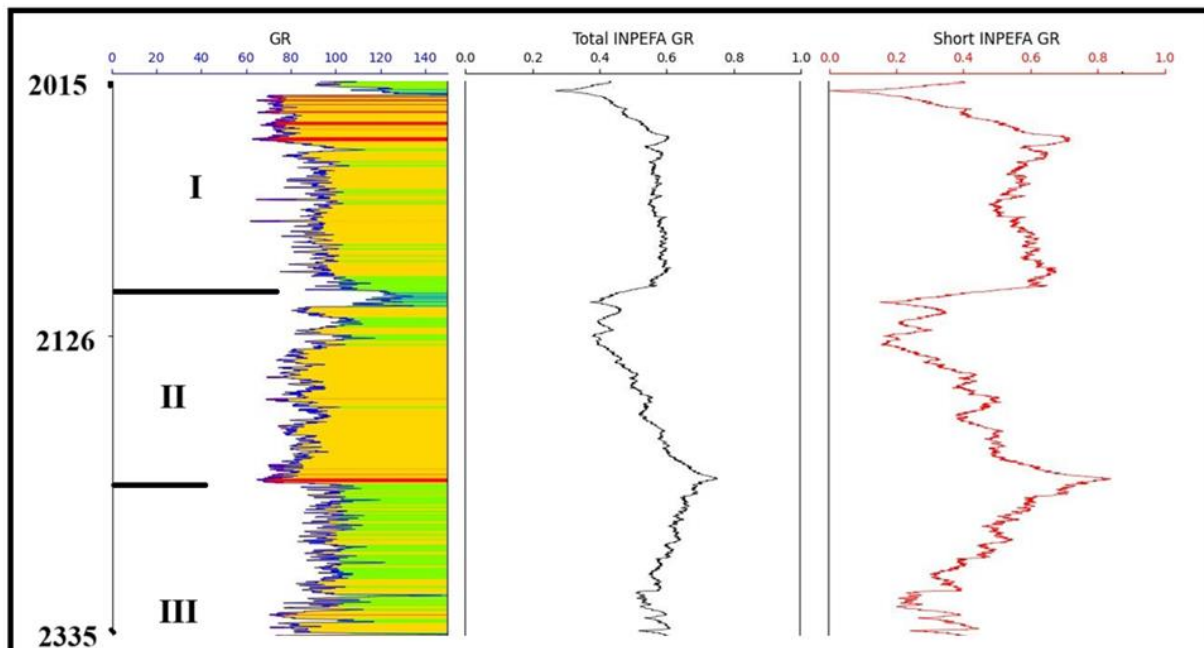


Fig. 3. Résultat de données du forage Noah comprenant les données lithologiques, le Gamma-ray

### 3.3 INTERPRETATION DE CYCLO LOG DU FORAGE MAEL (LOGS INPEFA)

L'INPEFA du StratPac Mael est marqué par une tendance régressive dans la partie Inférieure et une tendance à prédominance transgressive dans la partie supérieure, bien que l'une d'elles ait été interrompue par des impulsions significatives de sable. La section régressive inférieure est considérée comme représentative d'une période de dépôt de bas niveau marin ayant un apport clastique significatif puisque les zones sources de sédiment ont été rajeunies lors de l'évènement majeur de pression du Santonien. Au cours du Maastrichtien Supérieur, beaucoup plus d'argiles transgressives régionales se sont mises en place. Le forage Mael ayant sur la courbe INPEFA une tendance à la fois positive et négative, ce qui signifie que nous avons un cycle symétrique du niveau de base moyen-court (Fig 4).

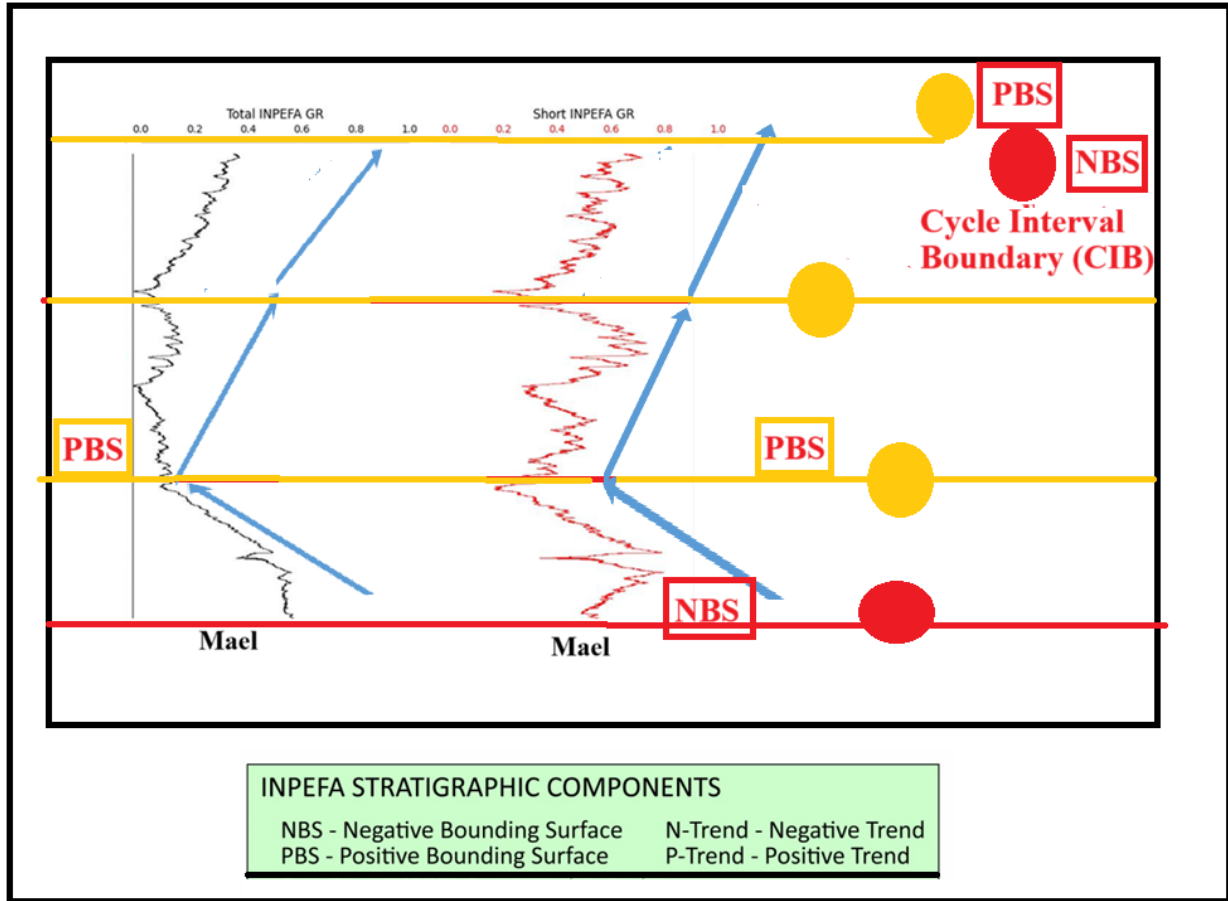


Fig. 4. Le modèle INPEFA en forme de C est basé sur les phases climatiques telles que définies par la Cyclostratigraphie

### 3.4 INTERPRETATION DE CYCLO LOG DU FORAGE NOAH (LOGS INPEFA)

Stratpac Noah est généralement représenté par une courbe INPEFA montrant deux Packages à deux cycles de base symétriques. Selon la tendance de La courbe INPEFA du forage noah deux ordres de tendance ont pu être identifiés. De bas en haut, nous avons une tendance positive, comme tendance de premier ordre, qui indique une transgression qui confirme la prédominance d'argilite. Il s'en suit une tendance négative (régressive) semble être représentée par un faciès argilo-sableux épais. C'est souvent une étendue sableuse dans cette partie Inférieure à Moyenne de l'intervalle. Dans les quatre membres de la formation, le INPEFA a une tendance de deuxième ordre, symétrie positive-négative, représentant le cycle symétrique du niveau de base à moyen terme (Fig. 5).

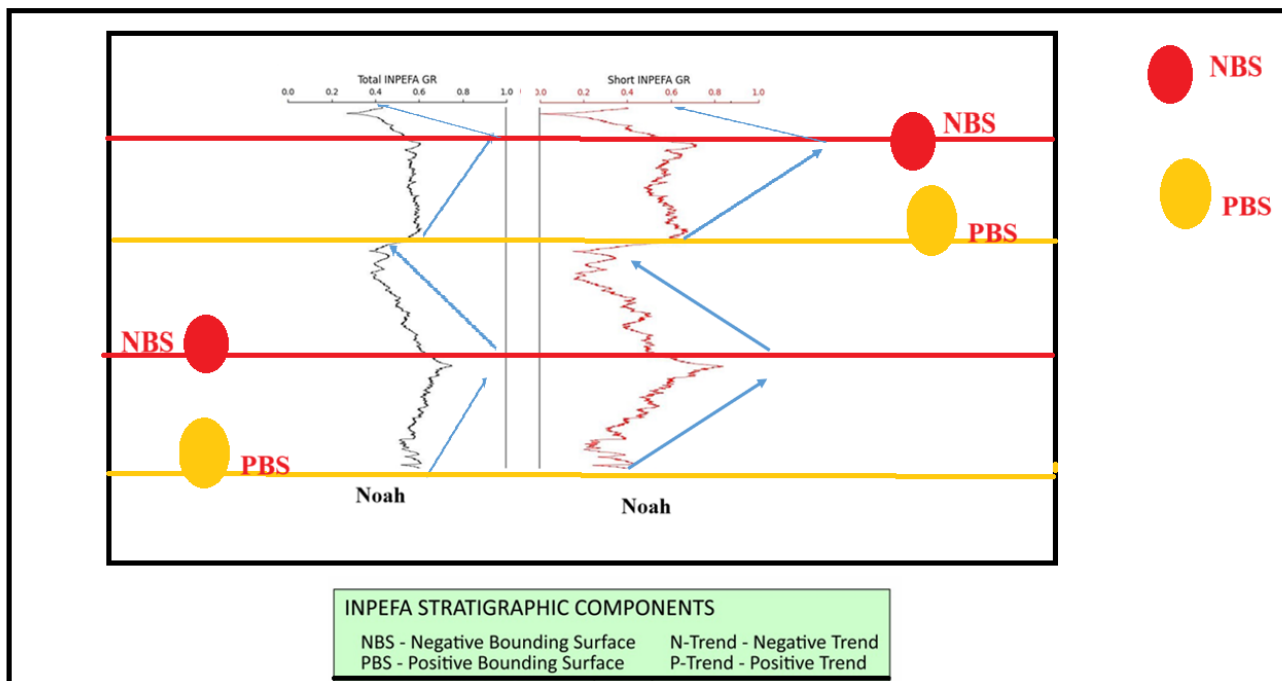


Fig. 5. Le modèle INPEFA en forme de C est basé sur les phases climatiques telles que définies par la Cyclostratigraphie

#### 4 CORRELATION

Les corrélations des coupes mael et noah révèlent deux parties distinctes. Le forage Mael est représenté par deux tendances: une tendance globale dans le package, représentant une tendance transgressive riche en argilite et une tendance régressive qui correspondrait au cortège de bas niveau marin, par ailleurs, nous avons une seule forme en C en ce qui concerne le forage Mael. Le forage NOAH, présente deux allures en forme de C, ce qui signifie que nous avons deux transgressions et deux régressions. Dans ce forage. Les corrélations entre les forages ne sont apriori pas évidente. (Fig. 6)

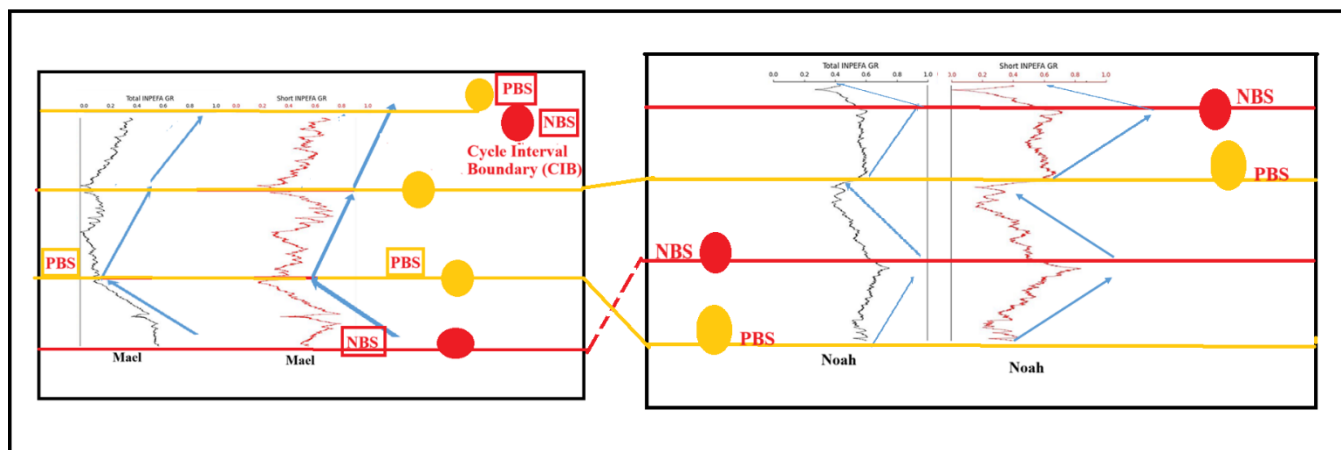


Fig. 6. Corrélation de forage cyclologique utilisation des transformations logarithmique INPEFA

#### 5 DISCUSSION

Le forage Mael a révélé à la fois une tendance négative et positive, ce qui signifie un cycle symétrique du niveau de base moyen-court. La courbe INPEFA de NOAH, présente deux tendances (négative-positive et une tendance négative-positive), géologiquement, une tendance positive représente un intervalle dans lequel les valeurs logarithmiques révèlent plus de composante argileuse, ce qui pourrait être interprété comme une transgression avec un semi cycle de montée du niveau de l'eau, une tendance négative qui représente des composantes sableuses, donc une régression avec un semi-cycle de descente

graduelle du niveau de mer [6] [7]. la présence au niveau de la courbe de INPEFA d'une tendance à la fois positive et négative, signifie qu'il existe une symétrie du niveau de base de moyenne à court durée [8]. La technologie INPEFA peut refléter plus clairement la tendance au changement du cycle sédimentaire dans la strate, réduisant l'interférence des facteurs humains [9].

Selon [10]., La courbe de diagraphie est superposée par de multiple cycles avec des cycles sédimentaires différents, en analysant la cyclicité des strates ou les cycles des strates.

Les résultats des travaux dans la plaine du fan –delta de [11] mettent l'accent sur la division du cycle de base de la formation de baikouquan dans la zone de Mabei. Basée sur la méthode de l'INPEFA. La tendance positive de la courbe INPEFA représente une hausse du niveau de base, tandis que la tendance négative représente une baisse du niveau de base. Aussi, la séquence sédimentaire des sables en nappe signifie que les semi-cycles d'élévation au niveau des bases tandis que les inter canaux, les baies interdistributaires et la boue du delta pro-éventail reflètent que les semi-cycles d'automne au niveau de base. Cette présente étude rejoint celle de ce travail et montre clairement que les tendances positives ou rétrograde marque la présence de matériau argileux, tandis la tendance négative en termes de géologie, présente une tendance à l'épaississement vers le haut ou à la progradation.

## 6 CONCLUSION

L'étude de gamma-ray a donné des informations sur la lithologie et nous a permis la mise en évidence de faciès sédimentaire et aussi des niveaux de réservoirs constitué par les formations sableuses et gréseuses parfois intercalées de niveau argileux dans les forages Mael et Noah. Quant à l'analyse du spectre de fréquence des forages Mael et Noah, il indique l'existence de cyclicité qui peut être appliquée à la division stratigraphique, afin d'identifier les tendances changeantes et surface abrupte. Les séquences de dépôt dans le courbe d'enregistrement court, de moyen et de long terme témoignent de la bonne préservation de l'enregistrement de la marge d'Abidjan.

## REFERENCES

- [1] EGORAN B, A (2017) Apport de la stratigraphie séquentielle dans la caractérisation des cortèges de dépôts (Coniacien-Maastrichtien) dans un système pétrolier (roche réservoir et couverture) de la marge d'Abidjan. Thèse de doctorat, Univ F.H.B Cocody 150p.
- [2] ASSALE F.Y. P (2013) Caractérisation sédimentologiques, palynologique, géochimique et paléo environnementale des formations sédimentaires connexes à la faille des lagunes (Est du bassin onshore de Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Univ F.H.B Cocody 361p.
- [3] BIE et al (2012) Stratigraphie Palynologique du Maastrichtien Supérieur-Eocène Supérieur du Bassin Sédimentaire Offshore de Cote d'Ivoire, Afrique de l'Ouest. International Journal of African Studies, Issue 6: 40-47.
- [4] AHOURE N.D (2021) Contribution des analyses micro-faunistiques et géochimiques à la stratigraphie séquentielle des dépôts d'âge Albien –Maastrichtien du bassin Sédimentaire de la Cote d'Ivoire. Thèse de doctorat, Univ F.H.B Cocody 361p.
- [5] EMBRY A.Y (1995). Sequence boundaries and sequence hierarchies: problems and proposals. IN: Steel R.J.; Felt V.L.; Johannessen E.P.; Mathieu C.; 5 (Special Publication). Norwegian Petroleum Society (NPF): 1-11.
- [6] Lu S.X., Zhang H., Meng E., Sun X.G., Application of INPEFA technique to carry out sequence stratigraphic study, Oil Geophysical Prospecting, 2007,42 (6), 703-708 (in Chinese with English abstract).
- [7] Liu. F., Xu J.L., Gao P., Zou C.C., Wang Y.Z., Xu X.Y., Application of comprehensive prediction error filter analysis to stratigraphic division and isochronous correlation, oil & Gas Geology, 2013, 34 (4), 564-572.
- [8] Rui Yuan, Rui Zhu, Jianhua Qu, Jun Wu, Xincai You, Yuqiu Sun, and Yuanquan (Nancy) Zhou (2018) Utilizing Integrated Prediction Error Filter Analysis (INPEFA) to divide base –level of fan-deltas: A case study of the Triassic Baikouquan Formation in Mabei Slope Area, Mahu Depression, Junggar Basin, China, Publication.
- [9] Rui Wang & al (2022) Comparison of INPEFA technology and wavelet transform in sequence stratigraphic division of mixed reservoir: a case study of lower Es3 of KL oilfield in Laizhouwan Sag., Publication.
- [10] Yan J.P., Cai J.G., Zhao M.H., Zheng D.S., Advances in the study of sequence stratigraphic division and correlation using well log information, journal of stratigraphy, 2009, 33 (4), 441-450 (in Chinese with English abstract).

## Levels of Bank Borrowing Preferences as a Source of Working Capital Finance Needs and the Financial Performance of SMEs in Cameroon

*Vivian Tueam Bongfomo, Emmanuel Beyina, and Etienne Francois Eloundou*

Laboratory of Economics and Applied Management, Department of Accountancy and Finance, Faculty of Economics and Applied Management, University of Douala, Cameroon

Copyright © 2024 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:** Smes are expected to significantly play a substantial role in stimulating economic development for both developed and developing nations. While their access to bank financing has been widely studied in the empirical literature, the relationship between the levels of bank borrowing and financial performance has received negligible empirical attention. To address this gap, this article examines the relationship between bank borrowing levels as a source of working capital finance needs and the financial performance of SMEs in Cameroon. Specifically, (1) the effect of levels of bank borrowing on the profitability (GPM & ROE) of SMEs, and (2) the effect of levels of bank borrowing on the financial efficiency (OER & ATR) of SMEs in Cameroon. The study made use of the Cameroon World Bank Enterprise survey of 2016. The study's findings indicate that while increased bank borrowing positively impacts profitability, this effect intensifies from level 1 to level 2, then diminishes from level 3 to level 4. Regarding financial efficiency, SMEs bank borrowing exhibits both positive and negative effects. Specifically, borrowing at levels 1 and 2 enhances financial efficiency, whereas levels 3 and 4 diminish it. These results suggest that SMEs should restrict their bank borrowing to level 2 of their working capital finance needs for optimal financial performance.

**KEYWORDS:** Levels of bank borrowing, Financial Performance, SMEs, Cameroon.

### 1 INTRODUCTION

The importance of enhancing access to bank financing for small and medium size enterprises (SMEs) is well-documented, as it can significantly impact their working capital needs and financial performance (Abor & Biekpe, 2007; Adomako et al., 2016; Njeru et al., 2016). A good number of studies have highlighted the crucial role of bank financing in supporting the growth and development of SMEs. SMEs with a higher preference for bank borrowing tend to have greater access to external financing, which can enable them to invest in growth opportunities and expand their operations (Cheng & Cheng, 2020). This, in turn, can lead to improved financial performance as measured by indicators such as profitability, financial efficiency, growth, and liquidity. However, the main issue is what level of working capital finance needs is necessary for a suitable financial performance of SMEs in Cameroon. According to a 2020 study conducted by Cameroon's Ministry of SMEs, SMEs with access to bank exhibited on average, 25% higher sales and 30% greater profitability compared to those without bank financing (Ministry of SMEs, 2020). However, Cameroonian SMEs continue to face significant challenges in obtaining bank financing. A 2021 survey by the National Institute of Statistics found that only 20% of SMEs in Cameroon had access to bank loans (National Institute of Statistics, 2021).

The Cameroonian government has implemented measures to improve SMEs' access to bank financing. These efforts include the launch of a credit guarantee scheme and the establishment of a dedicated SME development bank. However, despite these initiatives, access to bank credit remains limited, with only around 10% of SMEs in the formal sector having successfully obtained bank loans (Ministry of Small and Medium-Sized Enterprises, 2020). While moderate levels of bank borrowing can benefit SMEs, excessive reliance on bank debt may have detrimental effects on their financial health and growth (Kamdem et al., 2019; Njeru et al., 2016). Existing research has primarily focused on the availability of financing options and general financial performance metrics (Beck & Demirguc-Kunt, 2006; Cosh et al., 2009). However, limited studies specifically address how the levels of bank borrowing influence the financial outcomes of SMEs. Research by Hossain (2020) suggests that understanding borrowing preferences can illuminate the ways in which SMEs manage their working capital needs. However, empirical evidence linking these preferences directly to financial performance remains scant. This

gap is particularly pertinent in developing economies, where SMEs constitute a significant portion of the business landscape yet frequently encounter unique financial constraints (Ayyagari et al., 2011).

From the theoretical viewpoint that underpins the understanding of the intricate relationships between working capital financing sources and the financial performance of SMEs, the pecking order theory proposes that firms follow a preferred hierarchy of financing options. This hierarchy prioritizes internal financing, such as retained earnings, as the top choice, followed by debt and then equity (Myers and Majluf, 1984). Additionally, the trade-off theory suggests that firms evaluate the benefits and costs associated with various financing sources to optimise their capital structure (Kraus and Litzenberger, 1973). From the Resource-Based View (RBV) perspective, SMEs that can effectively manage and combine their working capital finance sources, such as negotiating favourable terms with suppliers or securing preferential bank loan rates, may enhance their financial performance (Barney, 1991). This implies that SMEs that utilize an optimal mix of working capital finance sources, may achieve higher financial performance by balancing the pros and cons of each source.

Given the important role of SMEs for economic development in Cameroon and the potential risks associated with excessive bank borrowing, it is crucial to understand the optimal level of bank debt that can support the financial performance and growth of these enterprises. While research acknowledges the importance of working capital management (WCM) for the financial performance of SMEs, there is lack of consensus on the optimal level of working capital financing borrowed from banks to achieve strong financial performance. This ambiguity can lead to a suboptimal financial decision impacting both profitability and growth potential. As a result of this void, this study aims at answering the following question: what level of bank borrowing as a source of working capital finance needs is most conducive to maximizing financial performance for SMEs in Cameroon?

The rest of this article is organised as follows: section two presents a literature review, section three presents the methodology and data description, section four focuses on the presentation of empirical results, while section five concludes the study.

## 2 LITERATURE REVIEW

The relationship between the levels of borrowing from banks for working capital needs and the financial performance of SMEs has been extensively studied in the academic literature. Researchers have sought to understand the nuances of this relationship and how it may vary depending on the specific levels of bank borrowing. One of the key studies in this area is by Kira and He (2012), who investigated the optimal level of debt for SMEs Tanzania. They discovered an inverted U-shaped relationship between debt levels and firm performance, indicating that moderate bank borrowing can positively impact the financial performance of SMEs, found that there is an inverted U-shaped relationship between debt levels and firm performance, suggesting that moderate levels of bank borrowing can have a positive effect on SME financial performance, while excessive debt may have negative consequences.

Similarly, Serrasqueiro and Caetano (2015) examined the impact of debt levels on the profitability of SMEs in developed and developing countries. Their findings indicate that high levels of debt (over 76-100% PWCF) negatively impact the profitability of SMEs due to increased interest payment. Abdulsaleh and Worthington (2013) argue that high levels of debt can reduce the strategic and operational flexibility of SMEs, which can lead to a decline in their financial performance. They suggest that SMEs with high levels of bank borrowing may be less able to adapt to changing market conditions and take advantage of new opportunities.

Abor and Biekpe (2009) found an inverted U-shaped relationship debt levels and firm profitability among SMEs in sub-Saharan Africa. They discovered that moderate levels of bank borrowing (up to 50% of permanent working capital funding) can have a positive effect on the return on assets (ROA), but excessive debt levels (over 76-100% of PWCF) are detrimental to their financial performance. Agyei-Mensah (2011) investigated the working capital practices of SMEs in Ghana and found that firms with higher levels of bank borrowing for working capital needs tend to have lower liquidity and profitability ratios. This suggests that over-reliance on bank debt for working capital can negatively impact the short-term financial health and operational efficiency of Ghana SMEs.

Njeru et al. (2016) explored the determinants of capital structure among SMEs in Kenya. Their findings indicate that SMEs with high levels of bank borrowing (above 50% of PWCF) tend to have lower asset turnover ratios, which can be attributed to the increased interest expenses and reduced operational flexibility associated with excessive debt. In contrast, Kira and He (2012) suggest that at moderate levels of bank borrowing (1-50% of PWCF), increased access to capital can enable SMEs to invest in growth opportunities and more efficient operations, potentially leading to improved financial performance.

The empirical literature on SMEs suggests that there is an optimal level of bank borrowing for working capital needs, where the benefits of additional capital outweigh the costs. Moderate levels of bank debt (up to 50% of permanent working capital funding) can have a positive impact on financial performance. However, excessive reliance on bank borrowing (over 50% of PWCF) can be detrimental to the financial health and growth of SMEs.

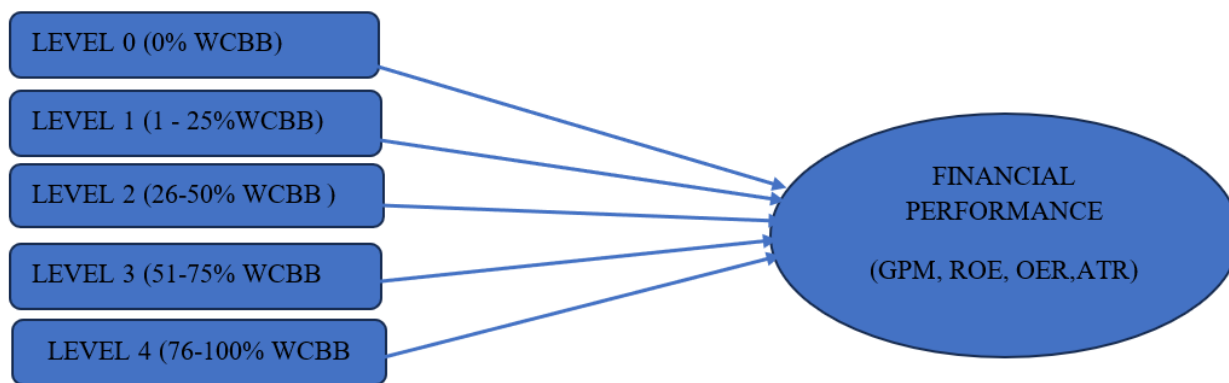
### CONCEPTUAL FRAMEWORK

As illustrated in Figure 1, the level of borrowing from banks by SMEs directly impacts their financial performance. Several studies have found that even SME owner-managers who are least averse to losing control tend to prefer debt over equity as a source of external

financing for expansion (Hamza & Abubakar, 2022). This suggests that increased access to bank financing can be a critical driver of improved financial outcomes for SMEs. This is primarily because debt financing is perceived to cause less disruption and lowers the risk of the owner-manager losing control of the organization, compared to equity financing (Jude & Adamou, 2018; Daskalakis et al., 2013; Luukkonen et al., 2013). It is therefore critical to develop a framework that can guide the identification and analysis of SMEs' levels of bank borrowing financing preferences to enhance financial performance and save them from crumbling. In this wise, the following hypothesis is formulated.

H1: there is an inverted U-shaped relationship between debt levels preferences and SMEs financial performance (Profitability).

H2: Levels 1 & 2 debt level preferences are more suitable for financial performance (financial Efficiency) of SMEs.



*Fig. 1. Conceptual framework. Constructed by authors*

### 3 EMPIRICAL ANALYSIS

#### 3.1 DATA AND STATISTICS

The research design employed in this study was cross-sectional, quantitative, and descriptive. This approach aligns with the positivist epistemology and adopts a causal research design within the realm of quantitative analysis. This preference for debt over equity financing is motivated by the fact that quantitative research is often used to investigate the relationships between variables, generating outcomes that are predictive, explanatory, or confirmatory (Williams, 2011).

The data utilized for analysis was obtained from WBES conducted in Cameroon in 2016. This survey represents the most recent for small and medium size enterprises carried out by the World Bank in Cameroon. The dataset comprises 275 SMEs that were surveyed in the Centre, Littoral, and West regions of Cameroon. These enterprises are classified into three categories: very small enterprises with fewer than five employees, small enterprises with five or more employees but fewer than 20, and medium-sized enterprises with employee numbers ranging from 20 to 100.

The 2016 WBES survey gathers data on various aspects of businesses, including their characteristics and the financial sources they utilize. These financial sources encompass both internal sources, such as equity, and external, such as banks, other financial institutions, supplier credits, and even sources like friends and relatives. However, it is important to note that this particular research focuses solely on formal debt financial sources obtained from banks.

#### OPERATIONALIZATION AND MEASUREMENT OF VARIABLES

According to Sekaran (2006), operationalization involves categorically defining a variable to make it measurable. In this study, the constructs under investigation were operationalized as outlined below, allowing the researcher to quantitatively measure their relationships. The various variables were conceptualized and operationalized as both dependent and independent variables.

#### OPERATIONALIZATION OF THE DEPENDENT VARIABLE (FINANCIAL PERFORMANCE)

The dependent variable in this study financial performance, is assessed by considering both profitability and financial efficiency. Profitability, which evaluates the ability of a business to generate income from its assets and assesses investment decisions based on its

capacity to generate net income (Brigham and Houston, 2019) is represented by two proxies: Gross Profit Margin (GPM) and Return on Equity (ROE).

Financial efficiency which refers to the degree to which a business effectively utilizes its resources or inputs, evaluates the ability of the company’s annual operating cost decisions to generate gross revenue. The assessment of a firm’s efficiency often involves utilizing specific ratios, such as the Asset Turnover Ratio (ATR), and Operating Expenses Ratio (OER) (Hasan Z., 2000).

**Table 1. Operationalization of the dependent Variable (Financial Performance)**

Variable	Dimension	Measures	Author
Financial Performance (FP)	Profitability	Gross Profit Margin (GPM) = $\frac{\text{Net Profit after tax}}{\text{shareholders Equity}}$	Dogan, M. (2013)
		Return on Equity (ROE) = $\frac{\text{Net Profit after tax}}{\text{shareholders Equity}}$	Dogan, M. (2013)
	Financial Efficiency	Asset Turnover Ratio (ATR) = $\frac{\text{Total Revenue}}{\text{Total Assets}}$	Deloof, M. (2003)
		Operating Expense Ratio (OER) = $\frac{\text{Total Operating Expenses}}{\text{Total operating revenue}}$	Capon, N., Farley, J. U., & Hoenig, S. (1990)

Source: Author, 2024

**OPERATIONALIZATION OF THE INDEPENDENT VARIABLES**

In this article, the levels of bank borrowing preferences for SMEs were categorized into the following ranges:

0% Bank Borrowing Preference: some SMEs may have a zero borrowing preference, relying entirely on internal sources of funding, such as retained earnings or owner’s equity, to finance their operations and investments (Berger & Udell, 2006). These SMEs may be highly risk-averse or have a strong preference for maintaining full control and independence over their businesses (Cassar, 2004).

0% Bank Borrowing Preference: some SMEs may have a zero borrowing preference, relying entirely on internal sources of funding, such as retained earnings or owner’s equity, to finance their operations and investments (Berger & Udell, 2006). These SMEs may be highly risk-averse or have a strong preference for maintaining full control and independence over their businesses (Cassar, 2004).

1-25% Borrowing Preference: SMEs with a low borrowing preference are typically those that are well capitalized, have a strong cash flow, and are less reliant on external financing. These SMEs may prefer to use internal sources of funding to finance their operations and investments, borrowing only for specific purposes, such as short-term working capital needs or to take advantage of investment opportunities with high expected returns (Carbo-Valverde et al., 2016).

26-50% Borrowing Preference: These are SMEs with moderate borrowing preferences using a more balanced combination of internal and external funding sources to support their financial performance. They may borrow to supplement their internal resources, fund new projects, or maintain a healthy capital structure (Ryan et al., 2014).

51-75% Borrowing Preference: these are SMEs with a high borrowing preference, relying more on external funding sources such as bank loans, trade credit, or alternative financing options to finance their operations and investments. These SMEs may have a higher risk appetite to pursue growth opportunities (Cowling et al., 2012).

76-100% Borrowing Preference: These are SMEs with a very high borrowing preference, depending hugely on external funding sources, such as bank borrowing. These SMEs may have a high-risk profile, as their reliance on borrowed funds can make them more susceptible to changes in market conditions, interest rates, and credit availability (Cowling et al., 2012).

From the above categorisation, the different borrowing levels were transformed into a dummy or binary variable. Such as 0% of working capital borrowed from bank (PWCB0 = 1; 0 = otherwise); 1 - 25% of working capital borrowed from bank (PWCB1 = 1; 0 = otherwise); 26 - 50% of working capital borrowed from bank (PWCB2 = 1; 0 = otherwise); 51 - 75% of working capital borrowed from bank (PWCB3 = 1; 0 = otherwise); 76 - 100% of working capital borrowed from bank (PWCB4 = 1; 0 = otherwise). Other included variables are Age of the SMEs captured in years and the gender (G) of the head of the SME captured as; (Female = 1; 0 = otherwise).

**ESTIMATION METHOD**

The different multi-regression models are used to establish the form of the relationship between the dependent and the independent variable. That is the effects of the different levels of borrowing from banks as a source of WCF needs on the financial performance of SMEs, are stated as follows:

$$\text{Model-1: } \text{GPM} = \beta_0 + \beta_1 \text{PWCB1} + \beta_2 \text{PWCB2} + \beta_3 \text{PWCB3} + \beta_4 \text{PWCB4} + \beta_5 \text{Age} + \beta_6 \text{G} + \epsilon_1$$

$$\text{Model-2: } \text{ROE} = \beta_0 + \beta_1 \text{PWCB1} + \beta_2 \text{PWCB2} + \beta_3 \text{PWCB3} + \beta_4 \text{PWCB4} + \beta_5 \text{Age} + \beta_6 \text{G} + \epsilon_2$$

$$\text{Model-3: } \text{OER} = \beta_0 + \beta_1 \text{PWCB1} + \beta_2 \text{PWCB2} + \beta_3 \text{PWCB3} + \beta_4 \text{PWCB4} + \beta_5 \text{Age} + \beta_6 \text{G} + \epsilon_3$$

$$\text{Model-4: } \text{ATR} = \beta_0 + \beta_1 \text{PWCB1} + \beta_2 \text{PWCB2} + \beta_3 \text{PWCB3} + \beta_4 \text{PWCB4} + \beta_5 \text{Age} + \beta_6 \text{G} + \epsilon_4$$

From the above multiple regression equations,  $\beta_0$  is the constant term while  $\beta_k$  represents the parameters of the different independent variables and  $\epsilon$  represents the error term.

**4 ANALYSIS OF RESULTS AND DISCUSSION**

**4.1 DESCRIPTIVE STATISTICS**

This section presents the descriptive statistics of SMEs. To be more precise, the subsections present the descriptive statistics of both the dependent and independent variables used in the study.

**DESCRIPTIVE STATISTICS OF THE DEPENDENT VARIABLES**

*Table 2. Descriptive statistics of the dependent variables*

Variable	Obs	Mean	Std	Min	Max
Gross Profit Margin (GPM)	275	0.548	0.269	-0.248	0.835
Return on Equity (ROE)	275	0.180	0.163	-0.430	1.047
Operating Expense Ratio (OER)	275	0.832	0.064	0.344	1.256
Asset Turnover Ratio (ATR)	275	1.57	0.381	1.000	2.334

Source: Authors

The descriptive statistics in table 2 reveals that on average SMEs have a GPM of 0.5485, with a minimum value of -0.2486 and a maximum value of 0.835. This is an indication that on average, SMEs retain approximately 54.85% of their revenue as gross profit after deducting the direct cost associated with producing goods or delivering services. The standard deviation of 0.269 measures the variability or dispersion of the gross profit margins within the dataset. It suggests that the gross profit margins of the SMEs exhibit a moderate degree of variability around the mean. Some SMEs may have gross profit margins above the mean, while others may have margins below the mean. The minimum value of -0.248 indicates the lowest gross profit margin observed in the dataset. A negative value for the gross profit margin implies that some SMEs are incurring losses rather than generating profits. This could be due to various factors such as high production costs, pricing issues, or inefficient operations. The maximum value of 0.835 represents the highest gross profit margin observed in the dataset. It indicates that at least one SME in the dataset achieved a gross profit margin close to 100%. This suggests that some SMEs are highly efficient in controlling their production costs or have effective pricing strategies that result in a significant portion of their revenue being retained as gross profit.

The ROE statistics suggest a mix of high-performing and struggling SMEs, with an average value of 0.1809. The minimum ROE of -0.4307, suggest that some SMEs are experiencing negative returns on equity and the maximum ROE of 1.0471, suggests a very high return on equity. The wide range from highly negative to extremely positive ROE points to significant heterogeneity in financial performance across the sample of SMEs.

The mean OER of 0.8320 indicates that on average, SMEs in the sample have operating expenses that are 83.20% of their total revenue. This suggests that SMEs are spending a significant portion of their revenue on operating expenses, leaving a relatively small portion as net income. The minimum OER of 0.3441 indicates that some SMEs in the sample have operating expenses that are only 34.41% of their total revenue. This is a very low OER, suggesting these SMEs are highly efficient and can keep their operating expenses well below their revenue. The maximum OER of 1.256 suggests that a few SMEs in the sample have operating expenses that exceed their total revenue. This implies that these SMEs are operating at a loss, with their operating expenses being 25.6% more than their revenue. However, the low variability shows most SMEs have similar cost structures. The presence of both very low and extremely high OER values suggests a mix of highly efficient and poorly performing SMEs in terms of managing operating expenses.

The descriptive statistics reveal a mean ATR of 1.57 which is a reasonably good ratio, showing that SMEs are effectively converting their assets into revenue. The presence of a 1.000 minimum ATR and a high 2.334 maximum ATR suggests a range of asset utilization performance across the sample. Conclusively on the descriptive statistics of the dependent variables, the data suggests a diverse sample of SMEs with varying levels of profitability and financial efficiency. The presence of negative values for GPM and ROE indicates that some SMEs are struggling, while the high maximum values for ROE and ATR suggest that some SMEs are highly successful. The relatively low variability in OER suggests that the SMEs have a similar approach to managing their operating expenses. Figure 2 gives a quick view of the different measures across the average, minimum and maximum values.

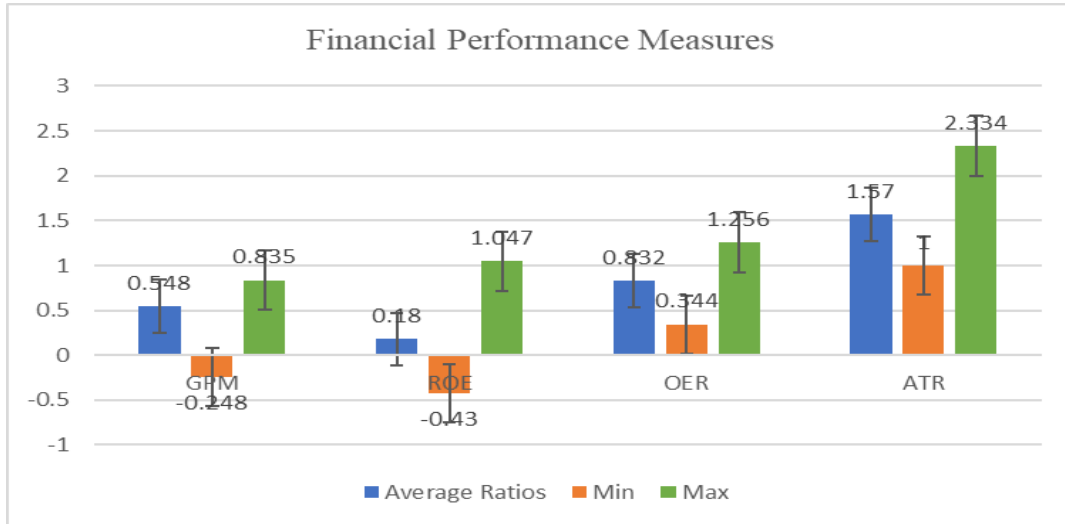


Fig. 2. Financial Performance Measures. Source by authors

DESCRIPTIVE STATISTICS OF THE INDEPENDENT VARIABLES

Table 3. Descriptive statistics of the different independent variables

Variable	Obs	Mean	Std. Dev	Min	Max
PWCB0 (0%)	275	0.771	0.4210	0	1
PWCB1 (1-25%)	275	0.011	0.1041	0	1
PWCB2 (26 – 50%)	275	0.098	0.2981	0	1
PWCB3(51 – 75%)	275	0.040	0.1963	0	1
PWCB4 (76 – 100%)	275	0.018	0.1339	0	1

Source: Authors

The descriptive statistics from Table 3 above reveal that out of the total sample observed, about 77% of the SMEs had no borrowings from banks, only about 1% of the SMEs had a level of borrowing from banks between (1 – 25%), about 10% of them had a borrowing level between (26 -50%), about 4% had a level of (51 – 75%) and finally about 2% had a borrowing level between (76 -100%) constituting part of their WCFN. Looking at the SMEs that did have access to bank borrowing, the statistics show that most of them (the majority around 10%) had a borrowing level between 26-50% of their working capital funding. Figure 3 below gives a quick view of the different levels of borrowing from banks by SMEs.

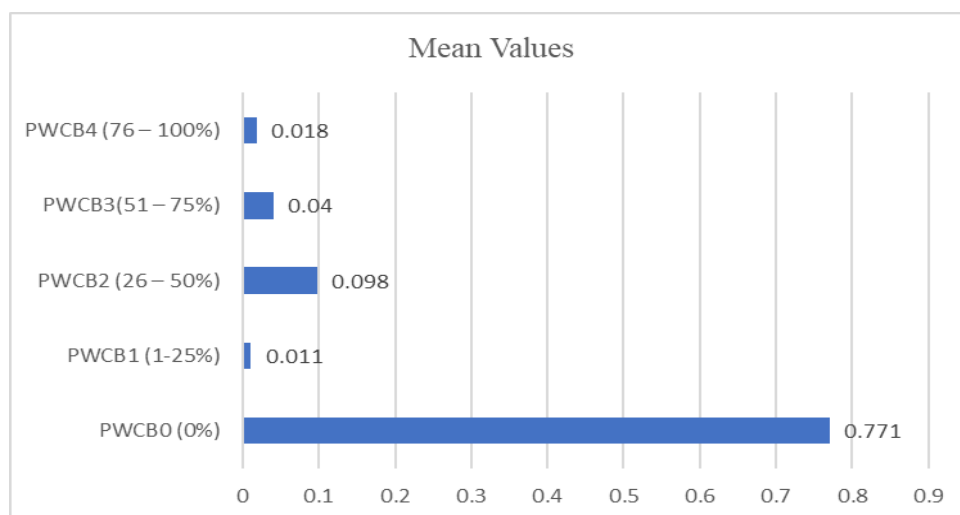


Fig. 3. Levels of Borrowing from Banks by SMEs. Source by authors

#### 4.2 PRETEST OF THE VARIABLES UNDER STUDY

The presence and extent of multicollinearity in this study were assessed through pairwise correlation analysis. Multicollinearity is the occurrence of high intercorrelations among two or more independent variables in a multiple regression model. This phenomenon can distort or mislead predictions and interpretations of the dependent variable within a statistical framework. This test will be used to assess the association between the different levels of PWCB table 4.

Table 4. Pairwise Correlation matrix

	PWCB1	PWCB2	PWCB3	PWCB4	Age	Gender
PWCB1	1.0000					
PWCB2	-0.0347	1.0000				
PWCB3	-0.0214	-0.0674	1.0000			
PWCB4	-0.0143	-0.0449	-0.0278	1.0000		
Age	0.0152	0.0502	0.0150	0.0462	1.0000	
Gender	0.0313	0.0480	0.0231	-0.0203	-0.0540	1.0000

Source: Authors

Generally, from Table 4 above, there is no high correlation among the variables given that the highest relationship of -0.0674 that exists between level 2 and level 3 is lower than the threshold of 0.8 suggested by Gujarati (2004). This therefore indicates the high predictive power of each independent variable on the dependent variable.

#### 4.3 PRESENTATION OF RESULTS AND DISCUSSION

Table 5 presents the effects of the different levels of percentage working capital borrowed from banks (PWCB) on the financial performance of SMEs. The results of the F- statistics indicate that the model is globally significant.

Table 5. Estimates of the effects of PWCB levels on financial performance of SMEs

Variables	Method of Estimation (OLS)			
	Profitability Measures		Financial Efficiency Measures	
	GPM (1)	ROE (2)	OER (3)	ATR (4)
PWCB borrowed from banks: 1 – 25% (yes=1 and 0 = otherwise)	0.1185*** (0.046)	0.1662*** (0.1817)	0.0661*** (0.009)	0.0861** (0.037)
PWCB borrowed from banks: 26 – 50% (yes=1 and 0 = otherwise)	0.1521*** (0.0238)	0.2589*** (0.0636)	0.092*** (0.003)	0.109*** (0.0112)
PWCB borrowed from banks: 51 – 75% (yes=1 and 0 = otherwise)	0.0421** (0.0024)	0.0587** (0.0065)	-0.138*** (0.005)	-0.249*** (0.0247)
PWCB borrowed from banks: 76 – 100% (yes=1 and 0 = otherwise)	0.0129** (0.0017)	0.0296** (0.0013)	-0.224*** (0.073)	-0.356*** (0.0367)
Age (Continuous)	0.1323*** (0.0017)	0.2421*** (0.0013)	0.2164 (0.375)	0.1170*** (0.0367)
Gender (female = 1; 0 = otherwise)	0.1038*** (0.0017)	0.1916** (0.0013)	0.1424 (0.473)	0.2056 (0.2367)
Constant	0.592*** (0.019)	0.7496*** (0.0207)	0.481*** (0.011)	0.397*** (0.0192)
R <sup>2</sup>	0.154	0.252	0.125	0.181
F – Stat [df; p-val]	4.32 [4; 000]	22.76 [4; 000]	3.41 [4; 000]	3.66 [4; 000]
Number of Observations	275	275	275	275

Source: By the authors with STATA 15.1. Notes: \*\*\*, \*\*, and \* are 1, 5, 10 percent significance levels. The values in parentheses are the standard errors.

Table 5 displays the results for the effects of levels of borrowing from banks on the different measures of financial performance of SMEs. Columns 1, 2, 3, & 4 host estimates of the effects of levels of borrowing from banks on the GPM, ROE, OER and ATR respectively. A glimpse in column 1 reveals that all levels of borrowing from banks have a positive and statistically significant effect on GPM. This effect increases as we move from level 1 to level 2 and decreases as we move from level 3 to level 4. In particular, SME's engagement in borrowing from banks between (1 - 25%), (26 - 50%), (51 - 75%) and (76 - 100%) are 11.85, 15.16, 4.2 and -1.3 percentage points more likely to increase GPM respectively, compared to their non-engagement in borrowing from banks.

The results in column (2) show the effects of the different levels of working capital borrowed from banks on the ROE of SMEs. The results reveal that all the levels correlate positively and statistically significant with ROE. This effect increases as we move from level 1 to level 2 and decreases from level 3 to level 4. In particular, SMEs' engagement in borrowing from banks at levels 1, 2, 3 and 4 led to an increase in ROE in the orders of 16.6%, 25.9%, 5.9%, and 2.9% respectively compared to those that do not engage in borrowing from banks.

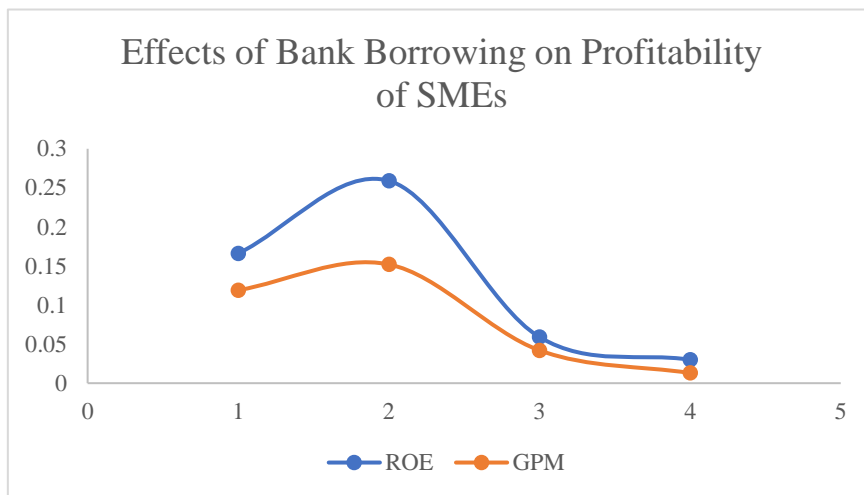
Columns (3), host the results of the effects of different levels of bank borrowing on OER. Level 1 & 2 has a positive and significant effect on OER while levels 3 & 4 have significant and positive effects on OER. All the different levels of PWCFB are significant and negatively affect OER. The effects are decreasing as we move from levels 1 to level 4. In particular, SME's engagement in borrowing from banks at (1 -25%), and (26 -50%), are 6.1, and 9.2 percentage points more likely to increase OER while borrowing at (51 -75%) and (76 - 100%) are 13.8 and 22.4 percentage points more likely to reduce OER respectively, compared to their non-engagement in borrowing from banks.

The research findings in column 4 suggest that the level of working capital borrowing (WCB) from banks has a mixed effect on the asset turnover ratio (ATR) SMEs: SMEs that engage in borrowing from banks at the 1-25% and 26-50% levels of their permanent working capital funding (PWCF) experience an increase in their ATR by 8.6 and 10.9 percentage points, respectively, compared to SMEs that do not engage in any bank borrowing. This indicates that moderate levels of bank borrowing can influence positively asset utilization efficiency of SMEs, as the additional capital can be used to finance more productive assets. SMEs that engage in borrowing from banks at the 51-75% and 76-100% levels of their PWCF experience a reduction in their ATR by 24.9 and 35.6 percentage points, respectively, compared to SMEs that do not engage in any bank borrowing. This suggests that as the level of bank borrowing increases beyond a certain threshold, the negative effects, such as higher interest expenses, reduced operational flexibility, and increased financial distress risk, can lead to a decline in the asset utilization efficiency of SMEs.

Other included variables such as age and gender of the head of the enterprise reveals a positive and significant relationship with GPM and ROE. In particular, increasing age by a year of the SME leads to an increase of 13.23 and about 24 percentage points in GPM and ROE

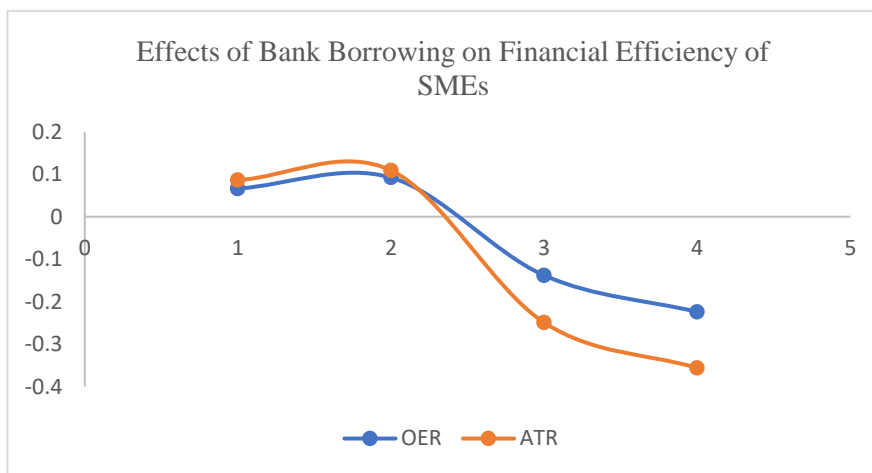
respectively, while SMEs with a female head is associated with an increase in GPM and ROE compared to SMEs headed by their male counterpart.

Figure 4 below reveals that the higher impact of borrowing levels on ROE compared to GPM may suggest that SMEs with a higher reliance on bank financing have a stronger focus on managing their financial structure and capital allocation rather than solely optimizing their operational efficiency and profitability (Cassar & Holmes, 2003). While their growth-oriented strategies may not immediately impact the firm’s GPM, they can have a more significant effect on the overall ROE, as the borrowed funds are leveraged to generate higher returns on the equity Capital (Cassar & Holmes, 2003).



**Fig. 4. Effects of Bank Borrowing on Profitability of SMEs. Source by authors**

A glance on figure 5 comparing the effects of the different levels of bank borrowing on OER and ATR, suggest that at levels 1 & 2 levels of bank borrowing, SMEs focused more on efficiently utilizing their assets to generate sales revenue, as reflected by the higher effect on the ATR (Nunes et al., 2013). While at higher levels of bank borrowing SMEs may be allocating a significant portion of their resources to servicing their debt obligations, such as interest payments, and loan repayments which can contribute to a higher OER (Serrasqueiro & Caetano, 2016).



**Fig. 5. Effects of Bank Borrowing on Financial Efficiency of SMEs. Source by authors**

**DISCUSSION**

The article examines the effects of the levels of PWCB on the financial performance of SMEs. The findings align with Abdulsaleh and Worthington (2013), and Abor and Biekpe (2009), who suggested that when SMEs rely heavily on bank borrowing, comprising 76-100% of PWCF, they may face higher interest expenses. These increased interest payments can eat into their gross profits. Our findings also corroborate those of Serrasqueiro and Caetano (2015) and Kira and He (2012) who suggest that there is an optimal level of debt for SMEs, beyond which the marginal benefits of additional borrowing decrease. SMEs with very high levels of bank borrowing (76-100% of

PWCF) may be at a higher risk of financial distress which can lead increased costs, operational disruptions, and a decline in gross profit margins. The results further corroborate those of Njeru et al. (2016) who suggest that SMEs with high levels of bank borrowing (above 50% of PWCF) tend to have lower asset turnover ratios, which can be attributed to the increased interest expenses and reduced operational flexibility associated with excessive debt.

## 5 CONCLUSION

This article empirically examined the effects of levels of bank borrowing as a percentage of working capital finance on the financial performance of SMEs. Specifically, (1) the effects of different levels of borrowing from banks on the profitability of SMEs, (2) the effects of different levels of borrowing from banks on the financial efficiency of SMEs in Cameroon. The findings reveal that levels of borrowing from banks as a percentage of working capital finance have a positive and significant effect on the financial performance of SMEs. However, this effect diminishes with an increase in PWCB above 50%. In this regard, public and private policies should encourage SMEs access to bank borrowing up to 50% of their working capital needs for optimal financial performance.

## REFERENCES

- [1] Abor, J., & Biekpe, N. (2009). How do we explain the capital structure of SMEs in sub-Saharan Africa? Evidence from Ghana. *Journal of Economic Studies*, 36 (1), 83-97.
- [2] Abdulsaleh, A. M., & Worthington, A. C. (2013). Small and medium-sized enterprises financing: A review of the literature. *International Journal of Business and Management*, 8 (14), 36.
- [3] Adomako, S., Danso, A., & Ofori Damoah, J. (2016). The moderating influence of financial literacy on the relationship between access to finance and firm growth in Ghana. *Venture Capital*, 18 (1), 43-61.
- [4] Agyei-Mensah, B. K. (2011). Working capital management practices of small firms in the Ashanti region of Ghana. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 1 (3), 289-310.
- [5] Ayyagari, M., Beck, T., & Demirguc-Kunt, A. (2011). Small and medium enterprises across the globe. *Small Business Economics*, 37 (4), 415-434.
- [6] Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17 (1), 99-120.
- [7] Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2019). *Fundamentals of Financial Management* (15th ed.). Cengage Learning.
- [8] Capon, N., Farley, J. U., & Hoenig, S. (1990). Determinants of financial performance: a meta-analysis. *Management Science*, 36 (10), 1143-1159.
- [9] Cassar, G., & Holmes, S. (2003). Capital structure and financing of SMEs: Australian evidence. *Accounting & Finance*, 43 (2), 123 - 147.
- [10] Cheng, T. Y., & Cheng, C. H. (2020). The impact of bank financing on the financial performance of small and medium-sized enterprises. *International Journal of Innovation, Management, and Technology*, 11 (1), 10-15.
- [11] Cosh, A., Cumming, D. J., & Hughes, A. (2009). Outside entrepreneurial capital and the financing of the small firm. *The Journal of Business Venturing*, 24 (2), 176-193.
- [12] Cowling, M., Liu, W., & Ledger, A. (2012). Small businesses financing in UK before and during the current financial crisis. *International Small Business Journal*, 30 (7), 778 – 800.
- [13] Daskalakis, N., Jarvis, R., & Schizas, E. (2013). Financing practices and preferences for micro and small firms. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 20 (1), 80-101.
- [14] Deloof, M. (2003). Does working capital management affect profitability of Belgian firms? *Journal of Business Finance & Accounting*, 30 (3-4), 573-588.
- [15] Dogan, M. (2013). Does firm size affect the firm profitability? Evidence from Turkey. *Research Journal of Finance and Accounting*, 4 (4), 53-59.
- [16] Gujarati, D. N. (2004). *Basic econometrics* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [17] Hamza, S. M., & Abubakar, A. (2022). The impact of capital structure on the financial performance of SMEs in Ghana. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 29 (1), 18-35.
- [18] Hasan, Z. (2000). Determinants of Islamic bank profitability. The Islamic Research and Training Institute, 1-25.
- [19] Hossain, M. (2020). Factors influencing bank borrowing preferences of SMEs: Evidence from Bangladesh. *Journal of Small Business Management*, 58 (1), 29-45.
- [20] Jude, C., & Adamou, A. (2018). Capital structure and firm performance in developing countries: Evidence from Benin. *African Development Review*, 30 (4), 418-432.
- [21] Kira, A. R., & He, Z. (2012). The impact of firm characteristics in access to financing by small and medium-sized enterprises in Tanzania. *International journal of business and management*, 7 (24), 108.
- [22] Kraus, A., & Litzenberger, R. H. (1973). A state-preference model of optimal financial leverage. *The Journal of Finance*, 28 (4), 911-922.
- [23] Luukkonen, T., Deschryvere, M., & Bertoni, F. (2013). The value-added contribution of venture capital: An analysis of the European evidence. *Journal of Banking & Finance*, 37 (3), 773-783.

- [24] Ministry of Small and Medium-Sized Enterprises. (2020). Report on SME Access to Financing in Cameroon.
- [25] Myers, S. C., & Majluf, N. S. (1984). Corporate financing and investment decisions when firms have information that investors do not have. *Journal of Financial Economics*, 13 (2), 187-221.
- [26] National Institute of Statistics. (2021). Survey on SME Financing in Cameroon.
- [27] Njeru, A. W., Nyanumba, L., & Ondabu, I. T. (2016). Determinants of capital structure among small and medium enterprises in Thika, Kenya. *International Journal of Humanities and Social Science*, 6 (4), 45-57.
- [28] Nunes, P.M., Serrasqueiro, Z., & Leitao, J. (2013). Assessing the nonlinear nature of the relationship between capital structure and firms' profitability: Evidence from SMEs. *The Journal of Applied Business Research*, 29 (3), 765-778.
- [29] Sekaran, U. (2006). *Research methods for business: A skill building approach* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [30] Serrasqueiro, Z., & Caetano, A. (2015). Trade-Off Theory versus Pecking Order Theory: capital structure decisions in a peripheral region of Portugal. *Journal of Business Economics and Management*, 16 (2), 445-466.
- [31] Williams, C. (2011). Research methods. *Journal of Business & Economics Research*, 5 (3), 65-72.

## Composition, diversité et structure de la végétation ligneuse du Sud-Ouest Nigérien

### [ Composition, diversity and structure of woody vegetation in SouthWestern Niger ]

*Mourtala YOUNFA ABDOU<sup>1</sup>, Maman Maarouhi INOUSSA<sup>1</sup>, Maman Laouali ADAMOU IBRAHIM<sup>1</sup>, Idrissa SOUMANA<sup>2</sup>, and Abdoul Latif HAMANI NOMA<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire de Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni, BP 10662 Niamey, Niger

<sup>2</sup>Institut National de la Recherche Agronomique, Département de Productions Animales, BP 429 Niamey, Niger

<sup>3</sup>Laboratoire de Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni, BP 10662 Niamey, Niger

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In Niger, the cumulative effects of successive years of drought and anthropic pressures have resulted in significant declines in the quality and quantity of natural resources. The present study aims to characterize the woody vegetation of the 527261.75ha Dosso Partial Wildlife Reserve. To this end, the analysis highlighted a characterization along the rainfall gradient. Data were collected by radial transect sampling, using floristic surveys and diameter measurements at 1.30 m for trees in 200 plots measuring 50 x 50 m in agrosystems and 50 x 30 m in contracted formations. Diversity indices were calculated on the basis of specific frequencies. The results revealed a woody stand characterized by a floristic richness ranging from 42 to 73 species, with an index varying from 3.86 to 4.74bits. The most dominant families in the sectors are fabaceae (32.87±35.71%) and combretaceae (10.95±19.04%). Microphanerophytes are more abundant (50.7±52.4%), reflecting the shrubby character of this stand. Dendrometric parameters indicate a low stand density (135.8±25.3ft/ha), but with a mean diameter (36.7±9.4cm) and a dominant mean height (11.67m). In the Sudanian and Sahelian domain, the dominant species in terms of importance value index are established. The diametric structure of the individuals fits the Weibull distribution and shows a predominance of young individuals. However, the low proportion of mature individuals suggests, among other things, the existence of anthropic pressures and difficult soil and climatic conditions that prevent individuals from reaching large dimensions. These results provide additional information on the state of the population in the study area, and can be used as a basis for management.

**KEYWORDS:** characteristics, structure, woody stand, Southwest, Niger.

**RESUME:** Au Niger, les effets cumulatifs des années successives de sécheresse et de pressions anthropiques se sont traduits par des baisses importantes en qualité et en quantité des ressources naturelles. La présente étude vise à caractériser la végétation ligneuse de la Réserve Partielle de Faune de Dosso d'une superficie de 527261,75ha. A cet effet, l'analyse a mis en évidence une caractérisation suivant le gradient pluviométrique. Les données ont été collectées avec un échantillonnage par transects radiaux au moyen des relevés floristiques, de mesure du diamètre à 1,30 m pour les arbres dans 200 placettes de 50 x 50 m dans les agrosystèmes et 50 x 30 m dans les formations contractées. Les indices de diversité ont été calculés sur la base des fréquences spécifiques. Les résultats ont révélé un peuplement ligneux caractérisé d'une richesse floristique qui varie de 42 à 73 espèces avec un indice variant de 3,86 à 4,74bits. Les familles les plus dominantes dans les secteurs sont les fabaceae (32,87±35,71%) et les combretaceae (10,95±19,04%). Les microphanérophytes sont plus abondants (50,7±52,4%), marquant le caractère arbustif de ce peuplement. Les paramètres dendrométriques indiquent une faible densité du peuplement (135,8±25,3pieds/ha) mais, avec un diamètre moyen (36,7±9,4cm) et une hauteur moyenne dominante (11,67m). Dans le domaine soudanien et sahélien les espèces dominantes en termes d'indice de valeur d'importance sont établies. La structure diamétrique des individus s'ajuste à la distribution de Weibull et montre une prédominance des individus jeunes. Cependant, la faible proportion de population adulte révélerait, entre autres, l'existence de pressions anthropiques et

de conditions pédoclimatiques difficiles qui ne permettent pas aux individus d'atteindre de grandes dimensions. Ces résultats constituent un apport de connaissance sur l'état de peuplement dans la zone d'étude et peuvent servir de base d'information à sa gestion.

**MOTS-CLEFS:** caractéristiques, structure, peuplement ligneux, Sud-ouest, Niger.

### 1 INTRODUCTION

La biodiversité constitue depuis quelques décennies un sujet crucial autour duquel plusieurs acteurs conjuguent leurs efforts non seulement pour la conservation, mais aussi pour son utilisation durable [1], [2]. Plusieurs études au Sahel ont révélé la richesse numérique des espèces composant les formations forestières et les parcs agroforestiers et la diversité des utilisations qui sont faites d'elles [3]. La conservation de la diversité biologique des divers écosystèmes reste une préoccupation majeure de la communauté scientifique dans son ensemble, mais aussi de plus en plus des décideurs politiques et institutionnels [1]. Pour faire face à l'érosion de la biodiversité et, permettre une utilisation durable de ses éléments, cette conservation reste plus urgente dans la zone sahélienne où les espèces végétales se raréfient rapidement [4]. Cependant cette dégradation des ressources forestières est devenue un fléau très alarmant, ce qui pose avec acuité le problème de la gestion et conservation compte tenu de l'appartenance du pays à la bande saharo-sahélienne où la menace de la désertification est très inquiétante [5]. Durant ces dernières décennies, les écosystèmes sahéliens sont confrontés à de nombreuses sécheresses périodiques, à l'accroissement démographique et à l'avancée des terres de cultures [6]. Aussi l'importance de la diversité biologique pour le bien-être humain et le développement socioéconomique réside dans sa contribution à la fourniture des biens et services écosystémiques, au renforcement de la sécurité alimentaire, à la santé, aux relations sociales, à l'augmentation de revenus, à la gestion durable des terres et à la réduction des effets des changements climatiques [7], [8].

Au-delà des autres pays sahéliens, au Niger aussi les enjeux écologiques et socioéconomiques sont la gestion durable des ressources naturelles déjà limitées. En plus des enjeux socio-économiques que revêtent les réserves pour les populations rurales posent la problématique de la conciliation conservation-développement car la paupérisation croissante des populations rurales fragilise les actions de sensibilisation pour la conservation de la biodiversité (Ouédraogo, 2009). La transformation des écosystèmes naturels en champs, l'exploitation du bois, l'impact des feux de brousse, le pâturage constituent les majeurs facteurs de dégradation des formations végétales, la fragmentation de l'habitat et la perte de la biodiversité [9], [10]. Malgré que ces écosystèmes constituent l'essentiel des formations végétales et d'habitats naturels que regorgent les aires protégées au Niger, dont fait partie la Réserve Partielle de Faune de Dosso (RPF), objet de la présente étude. La strate arborée est défrichée et coupée au détriment des champs agricoles mais aussi pour le besoin quotidien du bois d'énergie, du bois de service et du bois d'oeuvre ainsi que les produits forestiers non ligneux tels que les feuilles, les écorces, les racines, les fruits modifiant ainsi la structure et la composition floristique des peuplements [6], [11]. En effet, en plus des actions anthropiques, le Sahel subit également les effets des variabilités climatiques avec pour conséquences une détérioration des ressources naturelles et une augmentation de la demande en produits végétaux [12], [13].

La connaissance des caractéristiques du peuplement végétal permet de mieux appréhender les écosystèmes de les décrire dans leurs aspects les plus divers afin de proposer des stratégies de gestion durable. La présente étude se propose d'analyser la variabilité structurale du peuplement ligneux et de caractériser la végétation ligneuse en évaluant la densité, le couvert ligneux et l'importance écologique des espèces dans les différentes zones de la réserve partielle de faune de Dosso.

### 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

#### 2.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La Réserve partielle de faune de Dosso (RPF) est située dans le sud-ouest du Niger. Elle est à cheval entre deux régions, principalement la région de Dosso à 93% et celle de Tillabéry (sud du département de Kollo) sur 7%. Elle est limitée à l'ouest et au sud-ouest par le Parc National du W et la République du Bénin; au Nord par les départements de Kollo (Région de Tillabéry) et de Boboye et Falmey (Région de Dosso) et à l'est, les départements de Dosso et de Gaya (AWF, 2021) et se localise entre 13°14'23" et 13°27'8" de Latitude Nord et entre 2°30'40" et 2°52'48" de Longitude Est [14]. Elle couvre une superficie de 527 261,75ha et appartient à la catégorie VI de l'IUCN, classer site RAMSAR à cause de la disponibilité de l'eau de surface (Zone Humide). Elle fut créée par Décret n° 62189/MER/ du 8 août 1962, portant création de la réserve partielle adjacente dite de Dosso.

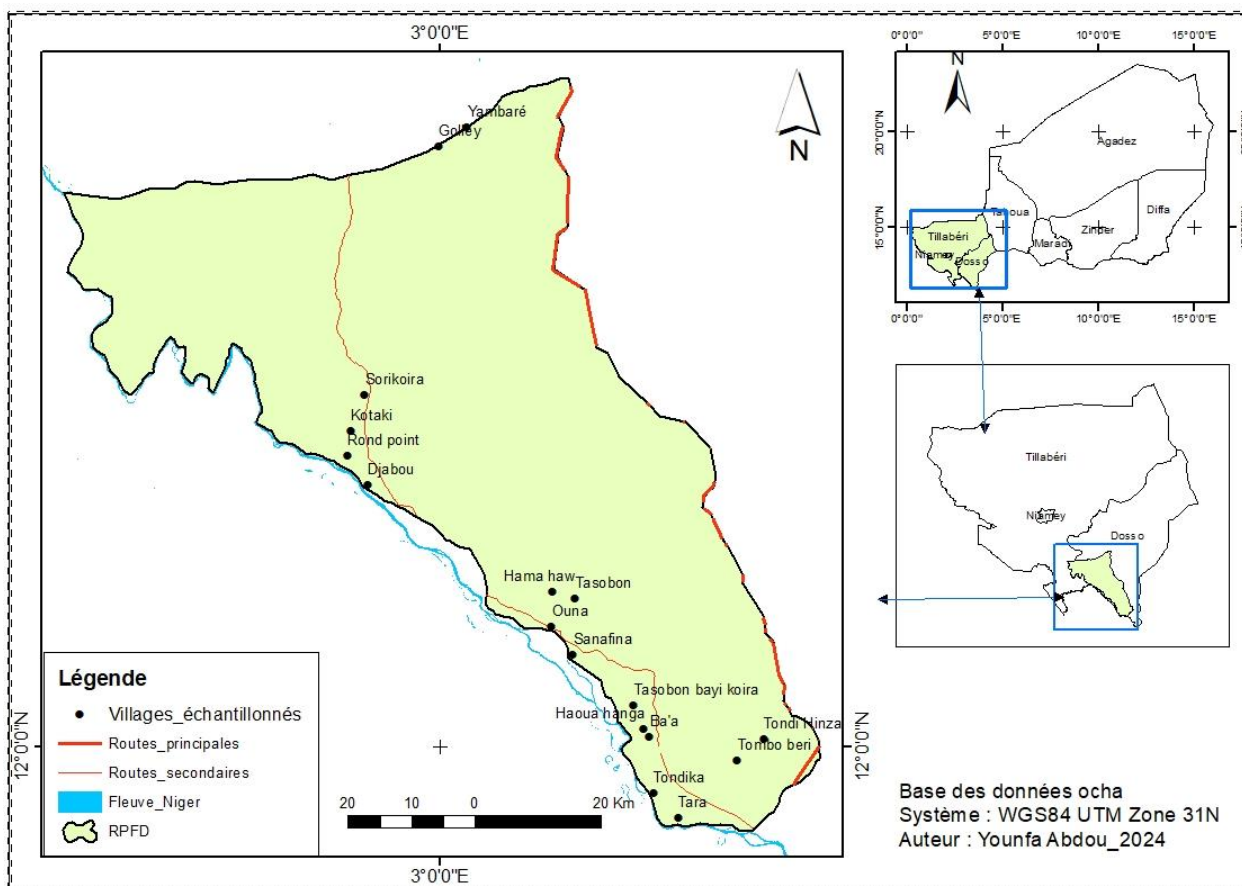


Fig. 1. Carte de localisation des zones

## 2.2 SITES D'ÉTUDE ET ÉCHANTILLONNAGE

L'étude est conduite dans cinq communes se trouvant principalement dans la réserve partielle de faune de Dosso pour évaluer la diversité floristique actuelle. Administrativement, il s'agit respectivement de la commune de Falmey, de Sambera, de Tanda, de Gaya, et de Gollé. Le choix est guidé par la présence de *V. doniana* et *V. paradoxa* dans la zone, est stratifié au niveau des départements et des communes mais il a été effectué de façon systématique à travers des transects radiaire au niveau des villages. Dans la commune de Falmey, quatre terroirs villageois ont fait l'objet d'investigation, il s'agit de Kotaki, Sorikoira, Djabou, et Rond-point. Dans la commune de Gaya les relevés ont été effectués dans quatre (4) terroirs villageois notamment à Tombobery, Tara, Tondihinza et Tondika. Dans les communes de Tanda, Sambera et Gollé les relevés ont été répartis dans dix (10) terroirs. Le choix de ces communes s'est basé sur non seulement la présence de *V. doniana* et *V. paradoxa* grâce à une connaissance antérieure de la zone mais aussi d'une part l'existence du gradient pluviométrique Nord -Sud (Gollé à Gaya). Des prospections basées sur les renseignements obtenus auprès des services départementaux de l'Environnement, des mairies, et à la consultation de personnes ressources sur la distribution de *V. doniana* et *V. paradoxa* ont ensuite permis de choisir les communes, puis les terroirs.

## 2.3 COLLECTE DES DONNÉES

L'inventaire forestier a permis de recueillir pour mieux apprécier la diversité des espèces ligneuses. L'échantillonnage a été axé sur quatre (4) transects radiaires au niveau de chaque site choisi en fonction de la présence des deux espèces. Des transects suivant les quatre directions du village ont été placés. L'échantillonnage a consisté à tracer des transects radiaires à partir de la sortie du village suivant les quatre directions (Est, Ouest, Nord, Sud). Le long de chaque transect 4 placettes en fonction de type d'occupation de sol, de 2500 m<sup>2</sup> dans les agrosystèmes et (30\*50 m soit une superficie de 1500 m<sup>2</sup>) dans les formations contractées (Mahamane & Saâdou, 2008) équidistantes de 500 m ont été placées suivant l'accessibilité des sites, soit un total de 16 placettes par village à l'exception des villages ayant des contraintes naturelles ou limite foncière. L'inventaire de la végétation ligneuse est constitué de 200 placettes. Dans chaque placette, un comptage exhaustif des individus ligneux a été réalisé. Pour chaque individu, ont été mesurés: Le diamètre à hauteur poitrine (1,30 m) pour les arbres avec un mètre ruban; les deux diamètres du houppier sur 2 axes perpendiculaires, la hauteur totale de chaque individu. La mesure de la hauteur et du diamètre n'a porté que sur les tiges/troncs ayant au moins 2 cm de diamètre.

## 2.4 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données dendrométriques de toutes les espèces ligneuses ont été collectées et saisies dans un tableur Excel puis analysées dans le tableur Excel, le logiciel Minitab 14 dans le but de déterminer:

La richesse et la diversité de la flore d'un territoire sont des critères très utiles notamment du point de vue de la phytogéographie historique [15]. Les indices de diversité et de régularité sont évalués sur des relevés dans le but d'apprécier le niveau d'organisation du peuplement. La diversité spécifique est calculée à l'aide des indices de diversité de Shannon-Weaver et l'indice d'équitabilité de Piérou et la richesse spécifique (nombre d'espèces). Ces indices s'expriment par:  $H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$

Avec  $n_i$  = nombre d'individus de l'espèce  $i$  et  $N$  = nombre total d'arbres de la placette. Avec:  $p_i = n_i/N$ , abondance relative de l'espèce  $i$  dans l'échantillon total auquel appartient l'espèce,  $N$  = effectif total des individus,  $n_i$  = effectif des individus de l'espèce  $i$  [16]. L'indice  $H'$  est exprimé en bit et est utilisé pour apprécier l'hétérogénéité et la diversité. Son échelle est le suivant  $H' < 2,5$  = faible;  $2,5 \leq H' < 4$  = moyen;  $H' \geq 4$  = élevé [17].

- Indice d'équitabilité de Piérou

Correspond au rapport entre la diversité observée de Shannon ( $H'$ ) et la diversité maximale ( $H_{max}$ ) possible étant donné le nombre d'espèces  $S$ . Elle est très utile pour comparer les dominances potentielles entre stations. Cet indice ( $E$ ) traduit le degré de diversité atteint par rapport au maximum possible [18]. L'indice d'équitabilité de Piérou ( $E$ ) varie entre 0 et 1. Il tend vers 0 lorsqu'il y a un phénomène de dominance et tend vers 1 lorsque la répartition des individus entre les espèces est régulière [19]. Sa formule est:

$$E = \frac{H'}{H_{max}} \text{ avec } H_{max} = \log_2 S.$$

- Paramètres dendrométriques

Dans l'établissement de la structure de la strate ligneuse, les paramètres dendrométriques suivants ont été calculés:

- Densité des arbres ( $N$ )

La densité ( $N$ , en nombre d'arbres/ha) des peuplements en individus adultes a été calculée par le rapport entre le nombre total d'individus mesurés sur la surface totale (en ha) de la zone considérée. La fréquence des plantules considérées comme régénération (diamètre inférieur à 2 cm).

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

$N$  est le nombre de pieds répertoriés et  $S$  la superficie en hectare (ha).

- Surface terrière

La surface terrière est la somme des surfaces des sections transversales de toutes les tiges mesurées au niveau de la placette, ramenée à l'hectare:

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

- Diamètre moyen

Diamètre moyen ( $D$ , en cm): c'est le diamètre des arbres avec une surface terrière moyenne:

$$D_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2} \text{ [16]}$$

Où  $n$  est le nombre des arbres se trouvant dans la placette et  $d$ , le diamètre de  $i$  ème arbre en cm.

- Contribution en surface terrière:

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

$G_p$ : surface terrière des arbres d'une essence donnée;  $G$ : surface terrière de l'ensemble des arbres.

- Recouvrement de peuplements

Le recouvrement du peuplement est obtenu par la relation ci-dessous et est exprimé en  $m^2 / ha$  [13]. Avec  $Sc = \Sigma \pi X D^2 / 4$

$Sc$  = surface de la couronne en ( $m^2/ha$ );  $D$  = moyenne des diamètres du houppier (Est/Ouest et Nord/Sud);

$\Sigma$  = Somme;  $\pi = 3,14$ .

- Hauteur moyenne Lorey:

La hauteur moyenne de Lorey (HL) exprimée en mètre (m) est la moyenne des hauteurs des individus pondérées par leur surface terrière [20].

$$HL = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \text{ Avec } g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2$$

Avec  $g_i$  la surface terrière de l'individu  $i$ ,  $h_i$  la hauteur de l'individu  $i$  (exprimée en mètres) et  $d_i$  le diamètre de l'individu  $i$  (en cm).

- Indice des valeurs d'importance

L'importance relative de chaque espèce est déterminée par le calcul d'un indice de valeur d'importance ou Importance Value Index (IVI). Cet indice correspond à la somme de la fréquence relative, de la dominance relative ou surface terrière relative et de la fréquence relative de l'espèce:

$$IVI = Fr \text{ relative } (\%) + Fr \text{ dominance basale } (\%) + Fr \text{ dominance relative } (\%)$$

Où  $Fr$  relative est la fréquence relative de l'espèce,  $Fr$  dominance basale est la fréquence de surface terrière de l'espèce et  $Fr$  dominance relative est la fréquence de recouvrement formé par espèce. IVI est un indice quantitatif permettant d'identifier les espèces écologiquement importantes dans une communauté végétale [1]. Il varie de 0 (absence de dominance) à 300 (mono-dominance).

- Analyse de la structure démographique

La structure démographique des peuplements ligneux en classes de diamètre a été établies avec surimposition de la distribution théorique de Weibull. Les structures en classe de diamètre ont été constituées avec 4 cm comme amplitude et 2 cm comme seuil pour le diamètre. Le logiciel Minitab 14 a été utilisé pour l'estimation des paramètres de la distribution théorique de Weibull à partir des valeurs de diamètre observées.

La distribution de Weibull à 3 paramètres ( $a$ ,  $b$  et  $c$ ) se caractérise par une grande souplesse d'emploi et une grande variabilité de forme. Sa fonction de densité de probabilité,  $f(x)$  se présente sous la forme ci-dessous [16].

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

Où  $x$  est le diamètre, la circonférence ou la hauteur des arbres et  $f(x)$  sa valeur de densité de probabilité  $a$  = est le paramètre de position, il correspond à la valeur seuil  $c$  est-à-dire la plus petite valeur de diamètre ou de hauteur.  $b$  = est le paramètre d'échelle ou de taille, il est lié à la valeur centrale des diamètres ou hauteurs des arbres du peuplement considéré.  $c$  = est le paramètre de forme lié à la structure observée. La distribution de Weibull peut prendre plusieurs formes selon la valeur du paramètre de forme, comme le montre le tableau 1.

**Tableau 1. Forme de la distribution de Weibull selon les valeurs du paramètre  $c$**

$C < 1$	Distribution en « J renversé », caractéristique des peuplements multi spécifiques ou inéquiennes.
$C = 1$	Distribution exponentiellement décroissante, caractéristique des populations en extinction.
$1 < C < 3,6$	Distribution asymétrique positive ou asymétrique droite, caractéristique des peuplements monospécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre.
$C = 3,6$	Distribution symétrique ; structure normale, caractéristique des peuplements équiennes ou monospécifiques de même cohorte.
$C > 3,6$	Distribution asymétrique négative ou asymétrique gauche, caractéristique des peuplements monospécifiques à prédominance d'individus âgés.

### 3 RÉSULTATS

#### 3.1 COMPOSITION TAXONOMIQUE

L'analyse floristique a permis de recenser 73 espèces ligneuses dans le domaine soudanien appartenant à 53 genres et 22 familles. Les familles les plus importantes numériquement sont les Fabaceae 32,87% (24 espèces), les Combretaceae 10,95 % (8 espèces), les Rubiaceae 8,21% (6 espèces) et les Moraceae 6,84% (5 espèces), (Figure 2) présente le pourcentage de chaque famille tandis que dans le domaine sahélien 42 espèces ont été recensées réparties en 17 familles et 32 genres. La famille des Fabaceae (35,71%) est la plus représentée suivie par la famille des Combretaceae (19,04%). Les familles des Lamiaceae, Malvaceae, Meliaceae, et Moraceae sont représentées chacune par deux espèces (Figure 3).

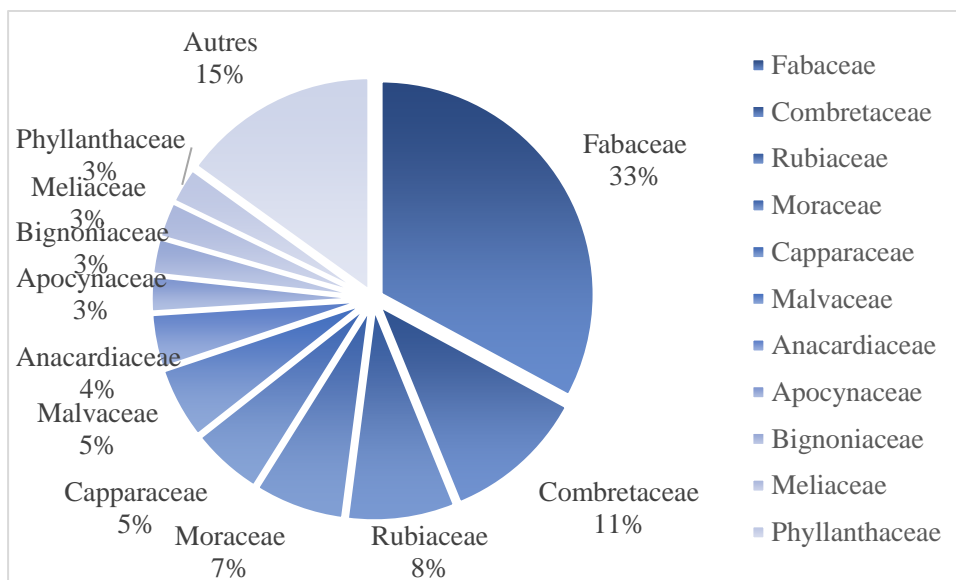


Fig. 2. Pourcentage de chaque famille du domaine soudanien

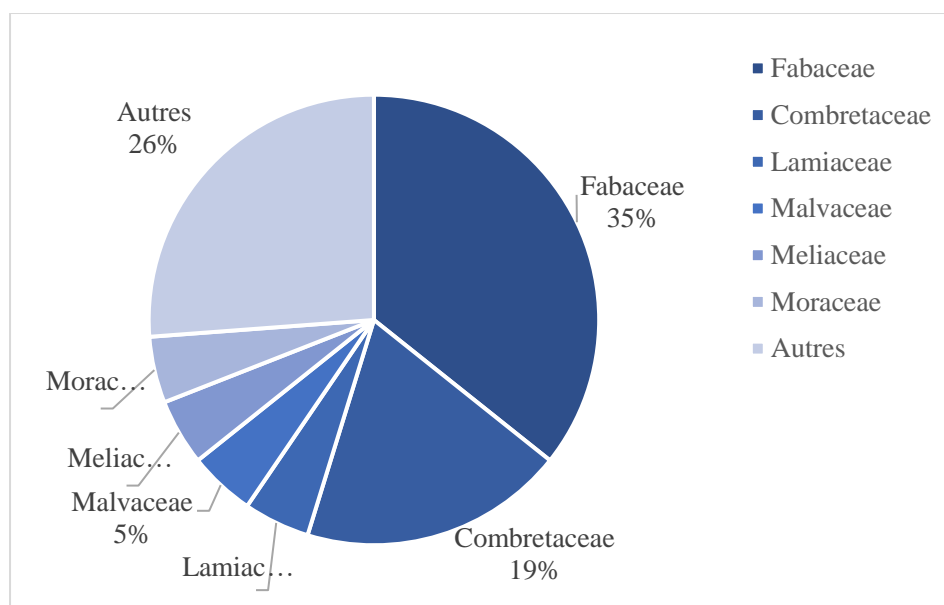


Fig. 3. Spectre des familles du domaine sahélien

### 3.2 ANALYSE DE LA DIVERSITÉ

L'analyse de la diversité alpha révèle que la zone soudanienne est le plus diversifié avec 73 espèces, un indice de Shannon-Weaver de 4,74 bits et une équitabilité de Piélou de 0,76 et la zone sahélienne est moyennement diversifié avec 42 espèces, un indice de Shannon-Weaver de 3,86 et une équitabilité de Piélou de 0,71 (Tableau 2).

Tableau 2. Valeurs des indices de diversité dans les deux formations

Zones	S	H'	Hmax	E
Zone soudanien	73	4,74	6,18	0,76
Zone sahélienne	42	3,86	5,39	0,71

Note: S: Richesse spécifique; H': Indice Shannon-Weaver; Hmax: Diversité théorique maximale, E: Indice d'équitabilité de Piélou

### 3.3 TYPES BIOLOGIQUES

#### 3.3.1 TYPE BIOLOGIQUE DU DOMAIN SOUDANIE

Le type biologique de l'ensemble du domaine soudanien investigué est dominé par les microphanérophytes (50,7%) suivies des mésophanérophytes et nanophanérophytes avec des proportions respectivement de (27,4% et 12,3%) aussi bien en termes de spectre brut mais en spectre pondéré les mésophanérophytes sont mieux représentés comme indiqué la figure 4. Les lianes microphanérophytes sont faiblement représentées en zone soudanien.

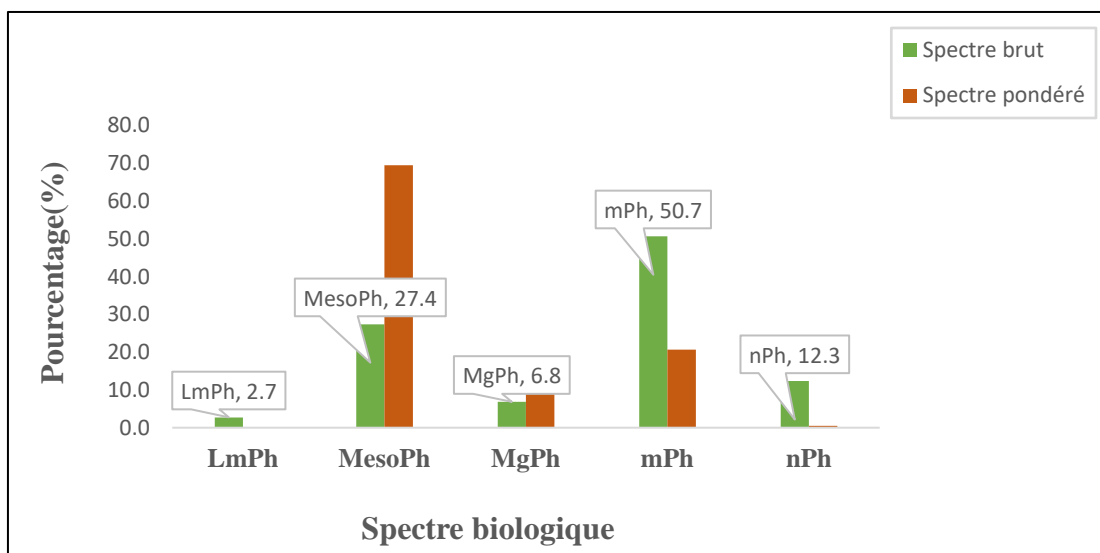


Fig. 4. Spectres biologiques du domaine soudanien

Légendes: mPh: Microphanérophytes; MesoPh: Mésophanérophytes; nPh: Nanophanérophytes; LmPh: Liane-Microphanérophytes et MgPh: Mégaphanérophytes

#### 3.3.2 TYPES BIOLOGIQUES DU DOMAIN SAHÉLIE

Le type biologique l'ensemble de zone sahélienne investiguée est dominée par les microphanérophytes (52,4%) suivies des mésophanérophytes et mégaphanérophytes aussi bien en termes de spectre brut que pondéré. Les nanophanérophytes et sont faiblement représentées en zone Sahélienne (7,1%) (Figure 5).

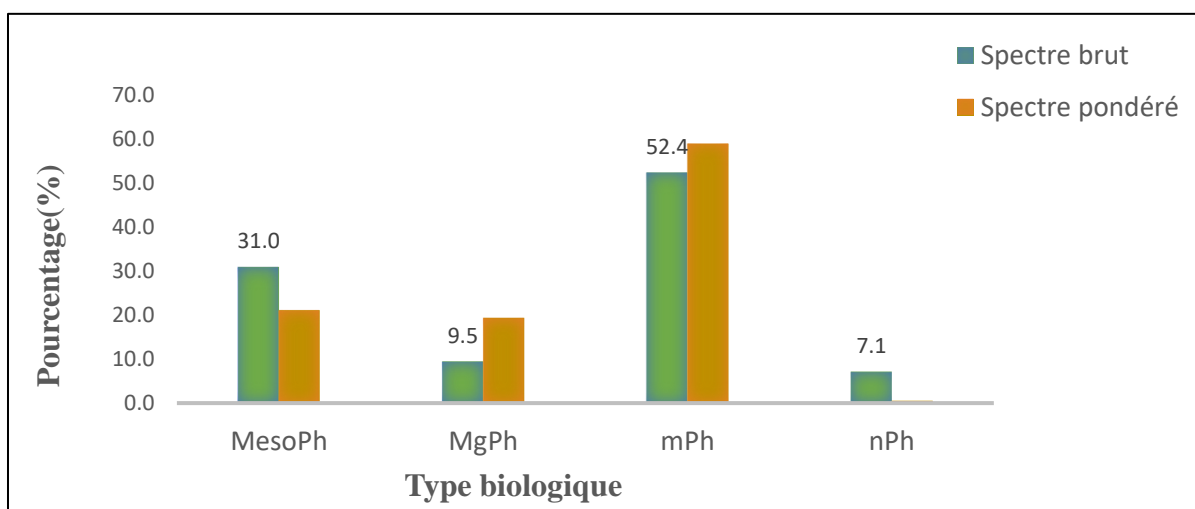


Fig. 5. Spectres des types biologiques dans la zone sahélienne

Légende: mPh: Microphanérophytes; nPh: Nanophanérophytes; MesoPh: Mésophanérophytes; MgPh: Mégaphanérophytes

### 3.4 PARAMÈTRES DENDROMÉTRIQUES DES UNITÉS D'OCCUPATION

L'examen du tableau 3 révèle une variation très significative entre la densité moyenne des différentes formations. Ainsi, la savane a enregistré une densité la plus élevée de (135,8±6,3 cm), dans la zone soudanienne tandis la faible densité est observée dans le champ (25,3±9,13). Ainsi s'agissant du diamètre moyen, la valeur la plus élevée est observée au niveau des champs jachères soit 36,6±26,7cm (tableau 13). Pour la petite valeur de diamètre moyen, elle est recueillie au niveau de la savane (9,4±12,9). Pour la hauteur moyenne de Lorey varie entre les zones agroécologiques pour l'ensemble des unités d'occupation des sols de la zone. La plus grande est observé dans le champ avec (11,67m) alors que la plus faible est enregistré au niveau de jachère sahélienne (7,67m). La surface de terrière varie également suivant les unités d'occupation des sols, la plus forte est enregistrée au niveau des champs du secteur soudanienne soit 36,25m<sup>2</sup>/ha contre 0,49m<sup>2</sup>/ha représentant la plus faible de surface terrière recueillie au niveau du steppe (tableau 3).

Tableau 3. Comparaison des paramètres dendrométriques en fonction des zones

	Zone sahélienne			Zone soudanienne		
	Champs	Jachère	Steppe	Champs	Jachère	Savane
Densité(pieds/ha)	25,3±9,13	35,4±8,81	73,3±4,81	38,2±13,84	56±3,18	135,8±6,3
Diamètre moyen(cm)	16,4±16,3	10,6±11,5	10,6±13,9	36,6±26,7	13,2±11,3	9,4±12,9
Hauteur de Lorey (m)	9,3	7,67	8,99	11,67	8,26	8,36
Surfaceterrière(m2/ha)	1,76	0,81	0,49	36,25	0,53	2,53

#### 3.4.1 IMPORTANCE ÉCOLOGIQUE DES ESPÈCES

L'importance écologique des espèces a été évaluée à partir du calcul de l'Indice de Valeur d'Importance (IVI). Les indices des valeurs d'importance écologique des espèces dans les zones soudanienne et les zones sahéliennes sont représentés respectivement dans le tableau 4 et le tableau 5. Dans les deux formations, *V. paradoxa* est l'espèce qui a la plus grande importance écologique avec des indices de valeur d'importance (IVI) de 106,16 dans les zones soudanienne et *G. senegalensis* de 38,67 dans les zones sahéliennes. Dans les zones soudanienne les 10 espèces écologiquement importantes sont, *V. paradoxa* suivie de *Vitex doniana*, *Bombax costatum*, *Sclerocarya birrea*, *Adansonia digitata*, *Combretum nigricans*, *Ficus platyphylla*, *Neocarya macrophylla*, *Daniellia oliveri* et *Piliostigma reticulatum*. Les autres espèces ont une importance écologique faible avec des indices de valeur d'importance (IVI) inférieurs à 6. L'importance écologique de *Vitellaria paradoxa*, résulte de leurs fortes fréquences de dominances relatives et celles de *Vitex doniana*, *Bombax costatum* de la, fréquence dominance basale et fréquences de dominance relatives dans les zones soudanienne. Dans les zones sahéliennes, les 10 espèces écologiquement importantes sont à IVI inférieures à 12 après *Guiera senegalensis* sont *Piliostigma reticulatum*, *Vitellaria paradoxa*, *Balanites aegyptiaca*, *Sclerocarya birrea*, *Combretum glutinosum*, *Vitex doniana*, *Combretum nigricans*, *Prosopis africana* et *Faidherbia albida*. L'importance écologique de *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*, *Combretum nigricans*, *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* résulte de leurs fortes fréquences relatives. Pour *Vitellaria paradoxa* et *Vitex doniana*, leur importance écologique est due à leurs fortes fréquences de dominances basales. Quant à *Sclerocarya birrea* et *Faidherbia albida*, leur importance écologique est liée à la fréquence de dominance relative.

Tableau 4. Indice de valeur d'importance du domaine soudanien

Espèces	Fr-Dob	Fr-R	Fr-DoR	IVI
<i>Vitellaria paradoxa</i>	45,71	38,68	21,78	106,17
<i>Vitex doniana</i>	6,07	11,21	4,70	21,97
<i>Bombax costatum</i>	6,50	9,53	4,13	20,15
<i>Sclerocarya birrea</i>	4,44	2,73	4,86	12,03
<i>Adansonia digitata</i>	1,34	9,17	1,38	11,89
<i>Combretum nigricans</i>	1,27	0,61	8,42	10,29
<i>Ficus platyphylla</i>	2,78	5,40	1,30	9,48
<i>Neocarya macrophylla</i>	4,14	0,75	3,16	8,06
<i>Daniellia oliveri</i>	2,17	3,76	0,65	6,57
<i>Piliostigma reticulatum</i>	1,63	0,84	4,05	6,52
<i>Prosopis africana</i>	2,09	1,98	1,78	5,85
<i>Tamarindus indica</i>	2,13	2,19	1,54	5,85
<i>Lannea macrocarpa</i>	1,92	1,03	2,83	5,79
<i>Balanites aegyptiaca</i>	1,22	0,71	3,72	5,66

<i>Combretum micrantum</i>	0,59	0,31	4,21	5,11
<i>Diospyros mespiliformis</i>	1,78	1,02	2,19	4,99
<i>Parkia biglobosa</i>	1,77	2,14	0,73	4,63
<i>Cassia sieberiana</i>	0,64	0,38	3,16	4,17
<i>Guiera senegalensis</i>	0,24	0,08	3,24	3,56
<i>Faidherbia albida</i>	1,33	0,54	1,62	3,49
<i>Sterculia setigera</i>	1,23	0,58	1,38	3,19
<i>Combretum glutinosum</i>	0,74	0,28	2,11	3,13
<i>Acacia macrostachya</i>	0,37	0,27	1,94	2,59
<i>Lannea acida</i>	0,76	0,58	0,97	2,31
<i>Terminalia avicennioides</i>	0,83	0,39	0,89	2,11
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	0,51	0,64	0,57	1,71
<i>Combretum collinum</i>	0,22	0,15	1,21	1,59
<i>Acacia sieberiana</i>	0,76	0,09	0,57	1,41
<i>Gardenia sokotensis</i>	0,12	0,02	1,21	1,36
<i>Azadirachta indica</i>	0,53	0,24	0,57	1,33
<i>Albizia chevalieri</i>	0,24	0,46	0,49	1,19
<i>Ficus sycomorus</i>	0,42	0,51	0,24	1,17
<i>Detarium microcarpum</i>	0,45	0,08	0,40	0,94
<i>Terminalia macroptera</i>	0,12	0,71	0,08	0,91
<i>Ziziphus mauritiana</i>	0,24	0,24	0,40	0,89
<i>Acacia senegal</i>	0,21	0,10	0,57	0,87
<i>Kigelia africana</i>	0,48	0,22	0,16	0,85
<i>Boscia angustifolia</i>	0,09	0,18	0,49	0,75
<i>Gardenia ternifolia</i>	0,12	0,06	0,49	0,67
<i>Ficus thonningii</i>	0,15	0,35	0,08	0,58
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	0,24	0,09	0,24	0,58
<i>Holarrhena floribunda</i>	0,11	0,02	0,40	0,54
<i>Acacia erythrocalyx</i>	0,03	0,02	0,40	0,46
<i>Acacia nilotica</i>	0,09	0,03	0,32	0,44
<i>Bauhinia rufescens</i>	0,16	0,09	0,16	0,42
<i>Cadaba farinosa</i>	0,21	0,03	0,16	0,40
<i>Feretia apodanthera</i>	0,05	0,02	0,32	0,39
<i>Crossopteryx febrifuga</i>	0,02	0,04	0,32	0,38
<i>Acacia seyal</i>	0,03	0,02	0,32	0,37
<i>Stercospermum kunthianum</i>	0,02	0,01	0,24	0,28
<i>Grewia bicolor</i>	0,02	0,01	0,24	0,27
<i>Erythrina senegalensis</i>	0,00	0,00	0,24	0,25
<i>Dichrostachys cinerea</i>	0,08	0,00	0,16	0,24
<i>Entada africana</i>	0,11	0,03	0,08	0,23
<i>Strophanthus sarmentosus</i>	0,05	0,01	0,16	0,23
<i>Sarcocephalus latifolius</i>	0,07	0,07	0,08	0,22
<i>Uapaca togoensis</i>	0,06	0,07	0,08	0,22
<i>Celtis integrifolia</i>	0,05	0,07	0,08	0,21
<i>Berlinia grandiflora</i>	0,03	0,00	0,16	0,19
<i>Ficus exasperata</i>	0,02	0,01	0,16	0,18
<i>Maerua angustifolia</i>	0,01	0,01	0,16	0,18
<i>Strychnos spinosa</i>	0,00	0,01	0,16	0,17
<i>Grewia flavescens</i>	0,00	0,00	0,16	0,17
<i>Annona senegalensis</i>	0,01	0,00	0,16	0,17

<i>Burkea africana</i>	0,04	0,04	0,08	0,16
<i>Ficus dekdekena</i>	0,03	0,03	0,08	0,15
<i>Lonctocarpus sericeus</i>	0,06	0,00	0,08	0,14
<i>Prosopis juliflora</i>	0,04	0,01	0,08	0,13
<i>Khaya senegalensis</i>	0,01	0,04	0,08	0,13
<i>Flueggea virosa</i>	0,00	0,00	0,08	0,08
<i>Boscia senegalensis</i>	0,00	0,00	0,08	0,08
<i>Ximenia americana</i>	0,00	0,00	0,08	0,08
<i>Gardenia erubescens</i>	0,00	0,00	0,08	0,08
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>300,00</b>

Note: Fr-Dob = fréquence de dominance basale; Fr-R= Fréquence relative; Fr-DoR= Fréquence de dominance relative; IVI = Indice de valeur d'importance

Tableau 5. Indice de valeur d'importance du domaine sahélien

Espèces	Fr-Dob	Fr-R	Fr-DoR	IVI
<i>Guiera senegalensis</i>	4,25	26,55	7,88	38,68
<i>Piliostigma reticulatum</i>	5,68	14,78	13,23	33,69
<i>Vitellaria paradoxa</i>	16,31	2,41	6,49	25,22
<i>Balanites aegyptiaca</i>	7,30	9,95	6,59	23,84
<i>Sclerocarya birrea</i>	3,77	3,32	16,11	23,19
<i>Combretum glutinosum</i>	2,21	9,80	8,17	20,18
<i>Vitex doniana</i>	10,93	1,96	4,71	17,61
<i>Combretum nigricans</i>	4,65	5,73	2,93	13,31
<i>Prosopis africana</i>	5,90	1,96	5,11	12,97
<i>Faidherbia albida</i>	3,60	2,87	6,31	12,78
<i>Ficus platyphylla</i>	6,92	0,60	2,35	9,87
<i>Adansonia digitata</i>	7,16	0,45	1,77	9,39
<i>Cassia sieberiana</i>	1,38	3,32	3,26	7,96
<i>Azadirachta indica</i>	2,57	1,21	1,35	5,12
<i>Tamarindus indica</i>	3,12	0,75	0,98	4,85
<i>Sterculia setigera</i>	1,31	1,36	1,45	4,11
<i>Combretum micranthum</i>	0,43	1,81	1,58	3,82
<i>Neocarya macrophylla</i>	0,63	1,21	1,71	3,55
<i>Bombax costatum</i>	3,05	0,30	0,10	3,45
<i>Detarium microcarpum</i>	0,81	1,06	1,43	3,29
<i>Khaya senegalensis</i>	0,81	0,45	1,82	3,08
<i>Ficus sycomorus</i>	2,32	0,30	0,31	2,94
<i>Acacia nilotica</i>	0,55	1,06	0,98	2,59
<i>Terminalia avicennioides</i>	0,66	1,06	0,51	2,23
<i>Vitex simplicifolia</i>	1,31	0,30	0,48	2,09
<i>Acacia macrostachya</i>	0,46	0,75	0,47	1,68
<i>Combretum fragans</i>	0,52	0,45	0,38	1,36
<i>Ziziphus mauritiana</i>	0,17	0,90	0,22	1,30
<i>Gardenia ternifolia</i>	0,23	0,45	0,09	0,78
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	0,27	0,15	0,30	0,72
<i>Entada africana</i>	0,25	0,15	0,30	0,70
<i>Acacia seyal</i>	0,04	0,30	0,17	0,51
<i>Annona senegalensis</i>	0,03	0,45	0,01	0,49
<i>Maerua crassifolia</i>	0,11	0,30	0,06	0,47
<i>Acacia longifolia</i>	0,02	0,30	0,11	0,43
<i>Bauhinia rufescens</i>	0,07	0,30	0,05	0,42
<i>Strychnos innocua</i>	0,03	0,15	0,10	0,29

<i>Acacia senegal</i>	0,06	0,15	0,07	0,28
<i>Combretum collinum</i>	0,05	0,15	0,06	0,26
<i>Maytenus senegalensis</i>	0,01	0,15	0,02	0,19
<i>Lonctocarpus sericeus</i>	0,01	0,15	0,00	0,17
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	0,01	0,15	0,00	0,17
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>300,00</b>

### 3.5 STRUCTURE DEMOGRAPHIQUE DES PEUPEMENTS LIGNEUX

#### 3.5.1 STRUCTURE EN DIAMETRES DU DOMAINE SOUDANIEN

La distribution de l'ensemble des ligneux par classes de diamètre dans le domaine soudanien est illustrée par la Figure 6, suivant les différentes unités d'occupation, présente une allure en « J renversé » et s'ajuste à la distribution théorique de Weibull avec le paramètre de forme inférieur à 1. Cette distribution est caractéristique des peuplements multi spécifiques avec prédominances des individus jeunes. A l'exception du champ dont sa valeur  $c = 1,88$ , ce qui est caractéristique des peuplements monospécifiques avec une prédominance des individus jeunes ou de petits diamètres.

#### 3.5.2 STRUCTURE EN DIAMETRES DU DOMAINE SAHELIEEN

L'analyse des structures en diamètre de l'ensemble des peuplements du domain sahélien a été décrite à travers l'établissement des structures (Figures 7) pour chaque unité d'occupation des terres. Ainsi, la distribution par classes de diamètres observée dans toutes les unités d'occupation des terres, notamment constituées par les champs, la steppe et les jachères s'ajustent avec une distribution théorique de Weibull avec un paramètre de forme  $c$ , ( $C < 1$ ). Cette distribution en « J renversé » est caractéristique des peuplements multispécifiques ou inéquiennes.

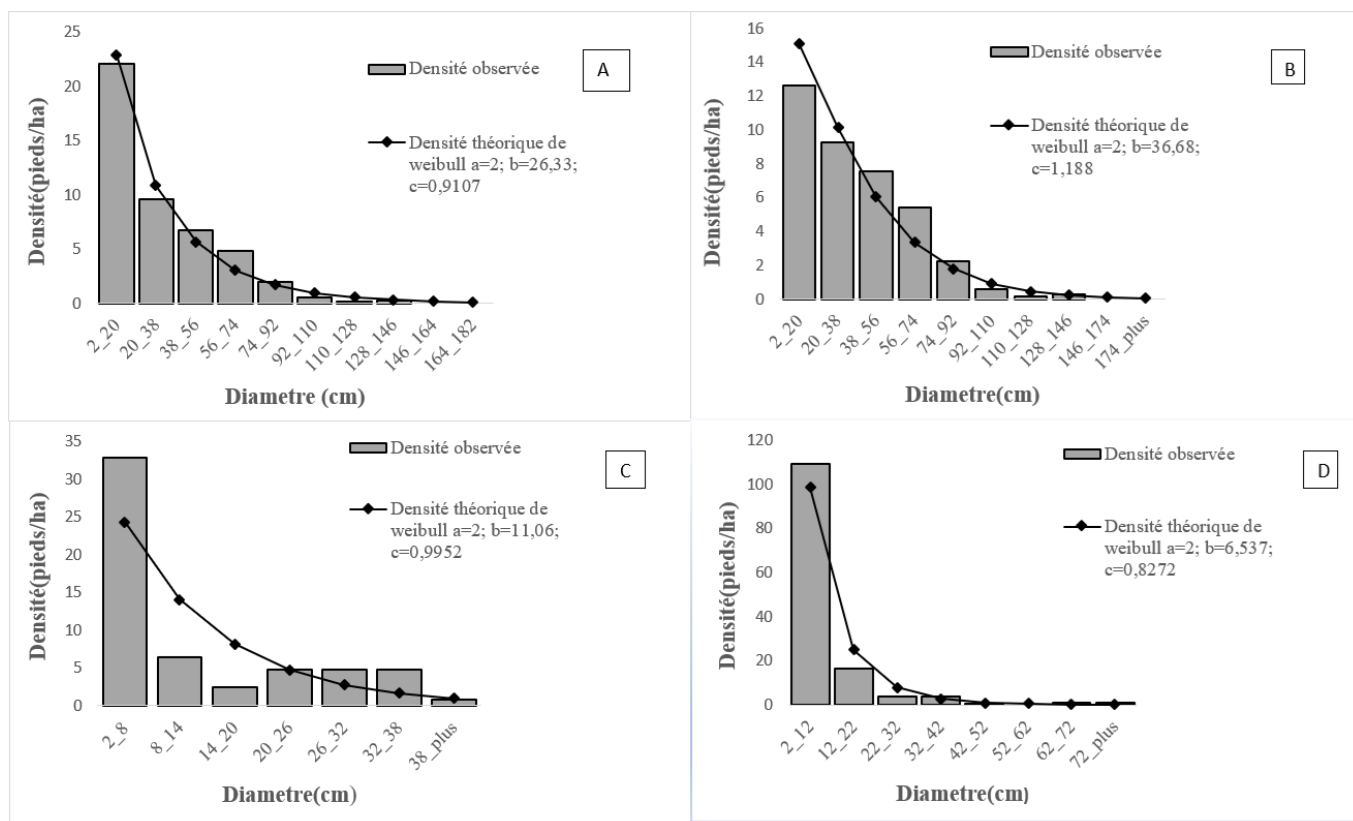


Fig. 6. Structures en diamètres selon les unités d'occupation du domain soudanien (A); champs (B); jachère (C); savane (D)

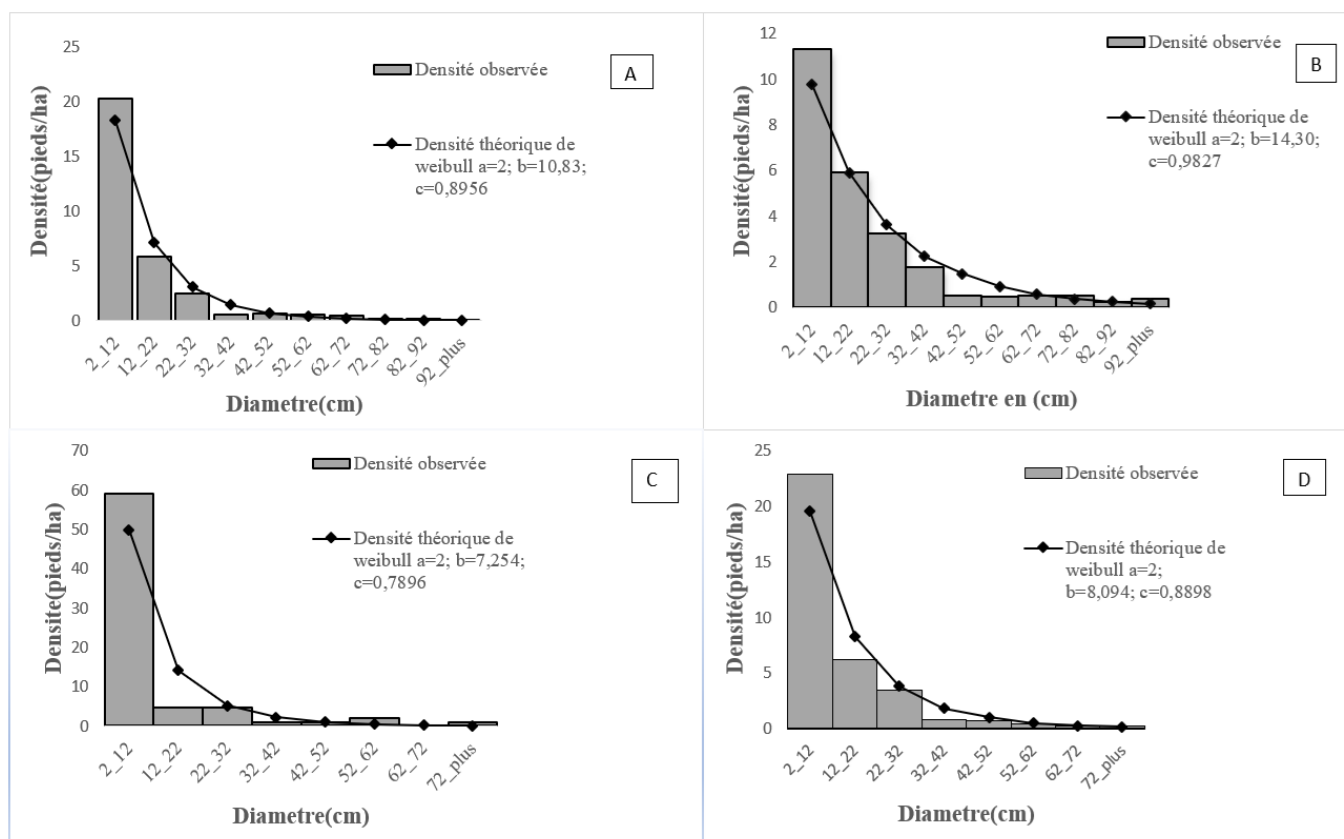


Fig. 7. Structures en diamètres selon les unités d'occupation du domaine sahélien (A); champs (B); jachère (C); steppe (D)

## 4 DISCUSSION

### 4.1 DIVERSITÉS FLORISTIQUES

La présente étude a permis de décrire les caractéristiques écologiques et dendrométriques en fonction de gradient agroécologique des ligneux de la zone d'étude. Cette étude a montré également que la flore ligneuse inventoriée est riche de 73 espèces appartenant à 53 genres et 22 familles dans la zone soudanienne et zone sahélienne avec 42 espèces appartenant à 32 genres et 17 familles. Avec une dominance des familles de Fabaceae suivies de Combretaceae sur l'ensemble des sites. La dominance de ses familles des fabaceae et combretaceae s'explique par les faibles précipitations et les températures très élevées reflétant l'aridité des climats soudanien et soudano-sahélien [21]. Plusieurs auteurs ont confirmé la prédominance de ces familles par leur importance numériques sur la diversité des ligneux au Niger [1], [9]. Cette importance numérique pourrait en partie s'expliquer par le mode de dissémination des espèces appartenant à ces familles. [19] ont signalé que l'importance de ces familles réside par le fait qu'elles renferment des espèces qui résistent notamment au manque et à l'insuffisance des pluies, mais aussi aux fortes températures.

Les proportions des types biologiques montrent une prédominance des phanérophyles en général et particulièrement des microphanérophytes. Ce constat est le même dans plusieurs formations végétales du sud-ouest [22]. Cette situation pourrait s'expliquer par l'effet sélectif des activités anthropiques (pratiques agricoles et coupes de bois) favorisant certaines espèces.

### 4.2 ANALYSE DE DIVERSITÉ

L'analyse de la diversité a montré que les indices de diversité de Shannon, d'équitabilité de Piélou et la richesse spécifique augmentent avec le gradient de l'humidité croissant. Ces valeurs sont élevées dans le domain soudanien comparativement à celles du domain sahélien. Ceci est probablement dû au grand nombre d'espèces inventoriées dans le domain soudanien qui bénéficie des conditions climatiques plus favorables du fait de sa situation géographique. Cela traduit la présence d'une grande diversité et hétérogénéité dans la zone soudanienne que dans celle de la zone sahélienne. Pour l'indice d'équitabilité de Piélou, les valeurs obtenues sont assez proches de 1 traduisant ainsi une répartition relativement équitable de toutes les espèces sur les différents sites.

#### 4.3 ATTRIBUTS STRUCTURAUX

La densité, le diamètre moyen, la hauteur moyenne de Lorey et la surface terrière varient significativement entre les différents sites suivant le gradient climatique. Ces paramètres augmentent lorsqu'on passe du domaine sahélien au domaine soudanien. Ce résultat est en accord avec les travaux de [15], [6], qui ont montré que les formations végétales présentaient de meilleurs paramètres structuraux lorsqu'on passe de la zone soudano-sahélienne à la zone soudanienne. Cette situation pourrait résulter des conditions climatiques et pédologiques qui ne sont pas toujours appropriées pour une meilleure distribution des espèces.

L'analyse des indices des valeurs d'importances montre que *Guiera senegalensis Piliostigma reticulatum* dominant suivant l'ordre de citation dans la zone sahélienne. Certains auteurs soulignent que ces espèces ont la faculté de pousser et de croître en saison sèche dans les champs après les récoltes et moins sensibles à la sécheresse [23], tandis que dans la zone soudanienne, ce sont les espèces *Vitellaria paradoxa* qui domine suivies de *Vitex doniana*. Les rangs qu'occupent ces espèces témoignent des conditions pédoclimatiques qui sont favorables d'une part et d'autre part à la protection dont elles jouissent car ce sont des espèces rencontrées dans les champs et qui jouent un rôle socio-économique important [24]. Ce même constat a été fait dans la zone de savane soudanienne de la Côte d'Ivoire par [25]. [26] affirment qu'en zones sahélienne et sahélo-soudanienne, chaque espèce végétale est distribuée et se propage en fonction de sa propre tolérance à la multitude de facteurs de son environnement, parmi lesquels le climat reste le principal facteur limitant.

#### 4.4 STRUCTURES DÉMOGRAPHIQUES DU PEUPEMENT LIGNEUX

La structure démographique est établie suivant une distribution par classe de diamètre pour comprendre la dynamique de peuplement ligneux et elle permet également d'avoir une idée sur dynamique structurale du peuplement pour évaluer l'impact de la pression anthropique sur la population des arbres selon [18], [27]. Quant à [22] pour la recherche forestière, seule l'étude de la structure démographique du peuplement ligneux permet de tirer une conclusion sur la pérennité des espèces ligneuses qui composent l'habitat forestier donné. Ainsi, la répartition des ligneux par classe de diamètres à travers les unités d'occupation des sols a révélé dans l'ensemble une structure démographique en "J" renversée ajustée à la distribution théorique de Weibull de paramètre de forme,  $c < 1$ , excepté le champ du domaine soudanien. Cette structure est caractéristique d'une distribution asymétrique positive, caractéristique des peuplements multispécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre [16]. Ce qui témoigne le caractère arbustif des sites étudiés. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par de nombreux auteurs dans l'étude de la végétation au Niger [28], [29], [30]. Certains auteurs comme [31], [6] soulignent que la prépondérance des individus de petits diamètres avec une telle structure est caractéristique d'un peuplement à fort potentiel de régénération, dominé par des espèces arbustives sahéliennes et multicaules et est considérée comme un indice de dégradation. L'abondance des individus de petites tailles serait due à la surexploitation qui entraîne des stress et des traumatismes chez les individus [32].

### 5 CONCLUSION

Au terme de ce travail, les inventaires floristiques effectués ont révélé l'existence d'une flore qui varie d'une zone à une autre, caractérisée par une forte diversité spécifique à dominante arbustive. Cependant, les fabaceae et les combretaceae sont les plus dominantes dans tous les bioclimats. Ce résultat a montré que la diversité alpha et la diversité spécifique augmentent avec le gradient croissant de pluviométrie. La structure en diamètre et en hauteur des individus, indiquent un peuplement globalement jeune dans toutes les unités d'occupation des sols, excepté le champ. Il serait nécessaire de poursuivre les investigations en étudiant les populations des espèces ligneuses afin d'avoir une connaissance globale sur la flore de la zone d'étude mais également de concevoir une application pour suivre l'évolution du milieu.

#### REFERENCES

- [1] H. Rabiou, «Caractérisation des peuplements naturels de *Pterocarpus erinaceus* Poir. et élaboration de normes de gestion durable au Niger et au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest),» [Thèse Dr. en Biol. Appliquée], no. Université Dan Dicko Danoukolodo de Maradi, p. 182pages, 2016.
- [2] A. Thiombiano, M. Schmidt, H. Kreft, and S. Guinko, «Influence du gradient climatique sur la distribution des espèces de Combretaceae au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest),» *Conserv. Jard. Bot. Genève* 2006, vol. 61, no. 1, pp. 189–213, 2006.
- [3] A. Habou *et al.*, «Impacts d'occupation des terres sur la structure démographique des peuplements à *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. au Centre-Est du Niger,» *J. Anim. Plant Sci.*, vol. 54, no. 2, pp. 2–3, 2022.
- [4] A. K. Kaou, O. L. Manzo, D. Guimbo, S. Karim, R. Habou, and R. Paul, «Diversité floristique et structure de la végétation dans la zone dunaire du sud-est du Niger : Cas de Mainé soroa,» *J. Appl. Biosci.*, vol. 120, no. December, pp. 12053–12066, 2017, doi: 10.4314/jab.v120i1.8.
- [5] M. M. Inoussa, «Dynamique des forêts claires dans le Parc National du W du Niger,» 2011.

- [6] C. Z. Félix, Serge, A. Tougiani, M. Moussa, and H. Rabiou, «Diversité Et Structure Des Peuplements Ligneux Issus De La Régénération Naturelle Assistée (RNA) Suivant Un Gradient Agro-Ecologique Au Centre Sud Du Niger.», *J. Agric. Vet. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 52–62, 2019, doi: 10.9790/2380-1201035262.
- [7] A. Garba, A. Amani, S. Douma, A. K. Soumaila, and A. Mahamane, «Structure des populations de *Tamarindus indica* L. dans la zone Sud-Ouest du Niger Demographical structure of the *Tamarindus indica* L. in southwest of Niger (north Soudan),» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 14, no. January, pp. 126–142, 2020, doi: 10.4314/ijbcs.v14i1.11.
- [8] A. Ali, «Dynamique et rôles socioéconomiques des populations de *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. Rich au Niger.», [Thèse Dr. en Biol. Ecol. végétales], no. Université Abdou Moumouni de Niamey Option, p. 163pages, 2018.
- [9] B. Morou, «Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest,» [Thèse Dr. en Biol. Appliquée], no. Université Abdou Moumouni, p. 198pages, 2010.
- [10] A. Alhassane, S. Idrissa, K. Saley, C. Issa, and M. Ali, «Flore et végétation des parcs naturels de la région de Maradi, Niger,» vol. 34, no. 1, pp. 5354–5375, 2017.
- [11] H. Rabiou *et al.*, «Structure démographique de peuplement naturel et répartition spatiale des plantules de *Pterocarpus erinaceus* Poir. dans la forêt de Tiogo en zone soudanienne du Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9, no. March, pp. 69–81, 2015, doi: 10.4314/ijbcs.v9i1.7.
- [12] D. Ngom, C. Boubacar, S. Boubacar, and G. Zoe Daba, «Cortège floristique, paramètres structuraux et agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. en Basse indicateurs d'anthropisation des parcs Casamance, Sénégal,» *J. Anim. Plant Sci.*, vol. 36, no. 3, pp. 5919–5932, 2018.
- [13] A. M. Guihini, M. Mahamat, and A. Diallo, «Composition floristique et structure des peuplements ligneux de deux sites du tracé de la grande muraille verte du Tchad,» *J. Anim. Plant Sci.*, vol. 49, no. 1, pp. 8774–8784, 2021, doi: 10.35759/JAnmPLSci.v49-1.2.
- [14] PAG, «Rapport final du Plan d'Aménagement et de Gestion,» 2021.
- [15] K. Ouédraogo, «Ecologie et services écosystémiques de *Diospyros mespiliformis* HOCHST. EX A. RICH et de *Gardenia erubescens* SRAPF & HUTCH. Suivant un gradient climatique au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest),» 2021.
- [16] A. Thiombiano and P. Bayen, «Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'ouest : Etat des lieux et propositions pour une Harmonisation,» no. April, 2016.
- [17] I. Soumana, «Groupements végétaux pâturés des parcours de la région de Zinder et stratégies d'exploitation développées par les éleveurs Uda'en,» [Thèse Dr. en Ecol. végétale Pastor.], no. Université de Niamey, p. 222pages, 2011.
- [18] H. Abdourhamane, «Etude floristique, écologique, phytosociologique et ethnobotanique des forêts classées de Dan Kada Dodo et de Dan Gado au Niger,» 2016.
- [19] S. Barmo, A. Amani, I. Soumana, and A. Ichaou, «Structure et diversité des parcs agroforestiers adjacents à la forêt protégée de Baban Rafi, Niger - Afrique de l'Ouest,» *Afrique Sci.*, vol. 15, no. 2, pp. 166–185, 2019.
- [20] J. Rondeux, «La mesure des arbres et des peuplements forestiers,» p. 726pages, 2021.
- [21] D. Kangbéni, W. Kpérkouma, K. Batawila, M. Dourma, Y. W. A, and A. Koffi, «Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo),» *Vertigo - la Rev. électronique en Sci. l'environnement*, no. Hors-série 14, 2012, doi: <https://doi.org/10.4000/vertigo.12423>.
- [22] I. Abdou, «Evaluation de la biodiversité et caractérisation de la végétation de la Réserve Partielle de Faune de Dosso,» 2021.
- [23] B. Babou André, A. Kalinganire, and B. Jule, «Potentialités des ligneux dans la pratique de l'agriculture de conservation dans les zones arides et semi-arides de l'Afrique de l'Ouest : Aperçu de quelques systèmes candidats, no. 17. 2012. [Online]. Available: [www.worldagroforestry.org](http://www.worldagroforestry.org)
- [24] I. Dan Guimbo, «Fonction, dynamique et productivité des parcs à *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. et à *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance dans le sud-ouest du Niger,» [Thèse Dr. en Sci. Agron.], no. Université Abdou Moumouni, p. 156pages, 2011.
- [25] K. Missa, D. Soro, and B. Dro, «Composition floristique et diversité du peuplement ligneux en zone de savane soudanienne de la Côte d'Ivoire,» *Vertigo - la Rev. électronique en Sci. l'environnement*, vol. 1492–8442, no. August, pp. 0–11, 2023, doi: 10.4000/vertigo.34794.
- [26] I. D. Guimbo, R. Habou, and M. Massaoudou, «Potentiel de régénération naturelle de *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance et de *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn dans le sud-ouest du Niger, Afrique de l'Ouest,» *Afrique Sci.*, no. May, 2017.
- [27] A. T. Ndong, O. Ndiaye, M. B. Sagna, A. Diallo, D. Galop, and A. Guisse, «Caractérisation de la végétation ligneuse sahélienne du Sénégal: cas du Ferlo,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9, no. 6, p. 2582, 2015, doi: 10.4314/ijbcs.v9i6.6.
- [28] I. Dan Guimbo, A. Mahamane, and J. Marie, «Peuplement des parcs à *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance et à *Vitellaria paradoxa* (Gaertn. C. F.) dans le sud-ouest nigérien : diversité, structure et régénération,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 4, no. October, pp. 1706–1720, 2010.
- [29] H. Abdourhamane, B. Morou, H. Rabiou, A. Mahamane, U. De Maradi, and B. P. Maradi, «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.*, vol. 7, no. 3, pp. 1048–1068, 2013, doi: /10.4314/ijbcs.v7i3.13.
- [30] A. Laouali, «Importance ethnobotanique, dynamique des peuplements et écologie de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub. au Niger,» [Thèse Dr. en Biol. Ecol. végétale], no. Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, p. 110pages, 2016.
- [31] B. Katkoré *et al.*, «végétation ligneuse des trois parcours naturels du Centre Sud du Niger suivant un gradient climatique,» *J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol.*, vol. 15, no. 7, pp. 64–79, 2021, doi: 10.9790/2402-1507026479.
- [32] K. Adjéya Banilé et al., «Distribution et structure des parcs à *Adansonia digitata* L. (baobab) au Togo (Afrique de l'Ouest),» *Afrique Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 434–449, 2014.

## De l'imaginaire au réel du développement durable: Comment mesurer les progrès accomplis vers l'idéal d'une agriculture familiale africaine durable ?

### [ From the imaginary to the real of sustainable development: How to measure progress towards the ideal of sustainable family farming in Africa? ]

*Kouamé Kouadio Fernand<sup>1</sup> and Ballo Zié<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>UFR Sciences des Economiques et de Gestion (UFR-SEG), Université Félix Houphouët Boigny, World Agroforestry (ICRAF), Abidjan, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>UFR Sciences des Economiques et de Gestion (UFR-SEG), Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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:** Political-media discourse in favor of sustainable development reflects a widespread awareness of the detrimental effects of human activities on the environment. In capitalist economies, the imaginary of sustainable agriculture is embodied through indicators that measure progress towards sustainability goals. However, the systematic application of these indicators to family farming in Africa poses challenges. This study assesses the sustainability of family farms, using indicators that consider the specificities of family farming. The study adapts the 'Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles' method and the 'Charte de l'Agriculture Paysanne' to family farming in Côte d'Ivoire. It borrows from the first method its integrated structure, and from the latter its principles, close to those of family farming. The study uses Household Living Standards Survey data from 2015. Results show differentiated agricultural sustainability in the agro-ecological zones: in the Sudanian and Sudano-Guinean zones, it is determined by the agro-ecological pillar, with average scores of 23.07 out of 50 (46.14%) and 17.6 out of 50 (35.20%), respectively; in the Guinean zone, it is determined by the socio-territorial pillar, with an average score of 17.9 out of 50 (35.80%). The economic scores - 58%, 62.18% and 56.42% respectively - confirm the major role of family farming in wealth creation. The study recommends agricultural policies that favor the environment and the involvement of farmers in local community life. On theoretical side, it highlights the need for each society to build its own development trajectories.

**KEYWORDS:** development; family farming; sustainability; assessment; indicators.

**RESUME:** Les discours politico-médiatiques en faveur de développement durable témoignent d'une prise de conscience généralisée des inconvénients des activités humaines sur l'environnement. Dans les économies capitalistes, l'imaginaire de l'agriculture durable est opérationnalisé au travers d'indicateurs qui mesurent les progrès vers les objectifs de durabilité. Mais, l'application systématique desdits indicateurs à l'agriculture familiale en Afrique reste problématique. Cette étude évalue la durabilité des exploitations agricoles familiales, à partir d'indicateurs relevant les particularités de l'agriculture familiale. L'étude adapte à l'agriculture familiale en Côte d'Ivoire la méthode Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles et la Charte de l'Agriculture Paysanne. Elle emprunte à la première méthode sa structure intégrée et à la seconde ses principes proches de ceux de l'agriculture familiale. L'étude utilise les données d'enquêtes sur le niveau de vie des ménages de 2015. Les résultats montrent une durabilité agricole différenciée dans les zones agroécologiques: dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne, elle est déterminée par le pilier agroécologique, avec des scores moyens de 23,07/50 (46,14%) et 17,6/50 (35,20%), respectivement; dans la zone guinéenne, elle est déterminée par le pilier socioterritoriale, avec un score moyen de 17,9/50 (35,80%). Les scores économiques – respectivement 58%, 62,18% et 56,42% – confirment le rôle majeur de l'agriculture familiale dans la création de richesse. L'étude recommande des politiques agricoles en faveur de l'environnement

et de l'implication du paysan dans la vie citoyenne locale. Sur le plan théorique, elle souligne la nécessité, pour chaque société, de construire ses propres trajectoires de développement.

**MOTS-CLEFS:** développement; agriculture familiale; durabilité; evaluation; indicateurs.

## **1 INTRODUCTION**

Depuis la Conférence de Stockholm (1972), on observe une prise de conscience mondiale des effets néfastes des activités humaines sur la biosphère. En Côte d'Ivoire, en l'espace d'un demi-siècle et du fait principalement d'une agriculture extensive, plus de 80% du couvert forestier ont été détruit [1], [2]. Ainsi, il faut adopter de modes d'utilisation des ressources qui satisfont les besoins humains et préservent la nature [3]. L'écho mondial de cette problématique est, donc, relativement récent. Cependant, il s'inscrit dans un processus historique d'évolution des rapports entre l'homme et la nature [4].

Aux antipodes d'un continuum de théories sur le sujet, on retrouve l'Écologie Profonde qui prône de préserver la biosphère, indépendamment de son utilité pour l'homme [5] et l'Économie de l'environnement qui privilégie les besoins du présent, sous l'hypothèse utilitariste que les mécanismes de marché garantiront l'utilisation optimale des ressources [6]. Entre ces extrêmes, le Conservationnisme défend la thèse d'un retour inévitable à un état stationnaire dû à des contraintes écologiques absolues [7]. L'approche de développement durable, elle, soutient l'idée que le système économique peut s'adapter aux contraintes écologiques grâce à l'innovation et à la recherche de synergies entre environnement, économie et société [3]. Quoiqu'il n'y ait pas de consensus autour du développement durable, il est une alternative pour la sauvegarde de la nature et l'équité sociale.

L'Économie aborde le sujet sous l'angle du débat théorique, mais aussi pour en opérationnaliser les principes. D'après la référence [8], décliner le développement durable au niveau d'un secteur d'activité revient à réaliser un diagnostic participatif au regard des enjeux d'équité sociale, d'efficacité économique et de gestion responsable de l'environnement, et définir des axes de progrès. Appliqué à l'agriculture, divers champs d'application des principes du développement durable sont développés: agriculture biologique, agroforesterie, agroécologie, etc. Mais, quel que soit le champ, le concept d'agriculture durable traduit un imaginaire construit, jamais sans un contexte. Ainsi, la référence [9] montre que « derrière le discours sur le développement durable, c'est en réalité un nouveau contrat social qui est proposé aux agriculteurs ».

Selon la référence [10], le contrat social est une association entre les hommes afin de se donner des lois et créer la société. L'état social est, donc, le résultat d'un accord entre les volontés convergentes des hommes pour la création de la société civile. A l'instar des lois qui consolident le contrat social dans le sens de la philosophie politique, les indicateurs de durabilité agricole sont aussi des normes qui établissent un accord entre les agriculteurs et la société. Ainsi, au-delà de sa fonction économique de production de biens, l'agriculteur s'engage, désormais, à contribuer à préserver l'environnement, l'équité et la justice sociale.

Le thème de l'Année Internationale de l'Agriculture Familiale (2014) – Nourrir le monde, soigner la planète – traduit cette perspective qui promeut l'agriculture familiale comme instrument pour le développement durable. Désormais, la durabilité représente, pour l'agriculture des prochaines décennies, un moteur» aussi efficace que l'a été la productivité au cours de la période précédente. » [9]. Ceci signifie que la performance agricole s'évaluera désormais, non plus seulement par des critères technicoéconomiques (productivité, rendement, profitabilité, etc.), mais selon des critères qui intègrent aux objectifs économiques les dimensions environnementale, sociale et humaine du développement.

Des critiques des modèles économiques productivistes et utilitaristes – dont les maître-mots sont productivité, rentabilité, croissance, etc. – suggèrent de construire une société alternative [11], [12]. D'après la référence [13], même avec le développement durable, la logique économique est restée conforme à l'orthodoxie néolibérale. Or, le développement durable repose sur des croyances eschatologiques en une prospérité matérielle possible pour tous – que l'on sait dommageable pour la planète. Il faut, donc, déconstruire notre imaginaire économique à travers une remise en cause de la notion de croissance, en faveur d'alternatives au développement comme la décroissance conviviale et le localisme.

Dans les économies capitalistes, l'imaginaire d'une agriculture durable est traduit au moyen de méthodes de diagnostic de la durabilité. [14] identifient six groupes d'approches: approches à base d'indicateurs, outils d'évaluation environnementale, mesure d'une frontière d'efficacité intégrant des critères environnementaux et économiques, modèles de programmation linéaire, modèles d'arbitrage (trade-off) pour le choix de productions alternatives et approches énergétiques. Parmi les approches à base d'indicateurs, la référence [15] répertorient huit qui analysent la durabilité dans ses trois dimensions.

Mais, concernant les économies agricoles africaines, l'opérationnalisation des principes de l'agriculture durable reste une gageure scientifique majeure. En effet, ces économies sont structurellement dominées par l'agriculture familiale qui a des spécificités [16]. D'après sa représentation dominante actuelle, c'est la famille qui est « l'entrepreneur » et non l'individu. En outre, l'exploitation agricole produit pour garantir la sécurité alimentaire, maintenir le tissu social familial et sauvegarder les terres et les valeurs qui y sont attachées. L'agriculture familiale africaine est, à la fois, une philosophie de vie avant d'être une activité économique [17], [18], [19].

Ainsi, au-delà des concepts et discours, comment traduire dans le vécu des petits exploitants familiaux d'Afrique les principes de l'agriculture durable ? Et par quel (s) outil (s) mesurer les progrès accomplis vers les objectifs d'une agriculture familiale durable ?

L'étude aborde cette problématique, avec le cas spécifique des exploitations familiales en Côte d'Ivoire. Son objectif est de construire une grille d'indicateurs de durabilité agricole qui tienne compte des spécificités de l'agriculture familiale. La section 2 expose la méthodologie adoptée. A partir des principaux résultats présentés et discutés (Sections 3 et 4) une conclusion et des recommandations sont formulées.

## 2 MATERIEL ET METHODES

L'étude adapte à l'agriculture familiale deux méthodes éprouvées d'évaluation de la durabilité agricole: la méthode Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles (IDEA) et la Charte de l'agriculture paysanne. Elles ont le triple avantage d'intégrer les trois piliers de l'agriculture durable, de répondre aux principes de la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) et d'être applicables à l'échelle de l'exploitation [20].

### 2.1 METHODE INDICATEURS DE DURABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES (IDEA)

La méthode IDEA est un outil de diagnostic de tous types d'exploitation agricoles en France métropolitaine et en Europe. Elle permet d'identifier des voies de progrès vers plus de durabilité dans les démarches de transition agroécologique (<https://methode-idea.org/>). Dans la pratique, elle quantifie la durabilité d'un système de production agricole à partir de données brutes converties en indicateurs auxquels sont attribués des scores [21]. Pour une exploitation donnée, le score à chaque échelle de durabilité est le cumul de points des indicateurs simples. Dans sa version 4, la grille IDEA comprend 53 indicateurs simples et 13 composantes intégrés sous les trois échelles de durabilité [22]. Sur le plan épistémologique, l'IDEA procède du paradigme de la durabilité forte du développement durable porté par l'économie écologique [23]. Ainsi, elle repose sur le principe de la non-substituabilité entre facteurs. Le niveau de durabilité final d'une exploitation agricole est, donc, le plus faible des scores des trois échelles.

### 2.2 CHARTE DE L'AGRICULTURE PAYSANNE

La Charte de l'agriculture paysanne sert à la réflexion aux voies individuelles et collectives pour une agriculture paysanne durable, dans l'intérêt commun du paysan et de la société [24]. Elle repose sur 10 principes qui constituent le cadre du projet politique d'agriculture paysanne. Elle analyse le fonctionnement global de l'exploitation avec un lien étroit au territoire, à partir d'une grille de 84 indicateurs (39 à l'axe environnemental, 16 à l'axe social et 29 à l'axe économique) qui synthétisent les critères de l'agriculture paysanne en 6 thèmes interdépendants: l'autonomie, la répartition, le travail avec la nature, la transmissibilité, la qualité des produits et le développement local et la dynamique territoriale.

### 2.3 ADAPTATION DES DEUX METHODES À L'AGRICULTURE FAMILIALE

La nouvelle grille emprunte aux deux méthodes la structure intégrée à 3 niveaux d'indicateurs et à la Charte de l'agriculture paysanne ses principes proches de ceux de l'agriculture familiale. Trois principales étapes marquent l'adaptation [25]. D'abord, un diagnostic des systèmes agricoles permet d'identifier les similitudes et dissemblances entre les systèmes agricoles en Côte d'Ivoire et ceux ayant servi à la construction de ces méthodes. Ensuite, plusieurs indicateurs simples de ces méthodes sont adaptés à l'agriculture familiale, avec de modifications différenciées selon les données disponibles. D'autres indicateurs sont empruntés à la littérature sur la durabilité agricole. Enfin, la nouvelle grille d'indicateurs est testée.

La grille est composée des trois types d'indicateurs: les indicateurs simples caractérisent les pratiques agricoles, et résultent de l'agrégation de données brutes entre elles; les indicateurs-composantes évaluent l'impact des activités sur une thématique donnée et résultent de l'agrégation des indicateurs simples; les indicateurs-système (échelles) évaluent l'impact global de l'exploitation, en agrégeant les composantes. La fonctionnalité et la pertinence de la grille sont testées sur 3218 exploitations

associées à des ménages ruraux. Les données proviennent des enquêtes sur le niveau de vie des ménages (ENV) de 2015 réalisées par l'Institut National de la Statistique (INS) [26].

La Figure 1 illustre, en 4 étapes, la démarche de diagnostic de la durabilité d'une exploitation agricole donnée. La chaîne centrale indique que les indicateurs simples (B) sont construits à partir des données brutes du ménage (A), pour répondre aux objectifs de durabilité fixés. Ces indicateurs simples sont intégrés selon leur contribution aux principales thématiques de la durabilité agricole. Leurs scores sommés donnent les indicateurs-composantes – Figure en radar (C) – qui illustrent le niveau de durabilité de l'exploitation agricole soumise au diagnostic. Le centre du radar indique la plus faible note (zéro) et l'anneau extérieur la note la plus élevée. Le profil de l'exploitation et les « marges de progrès » sont donnés par les écarts entre les valeurs-plafonds ou scores de références théoriques (ennéagone rouge) et ceux de l'exploitation évaluée (ennéagone bleu). Plus grand est l'écart, moins durable est l'exploitation à la composante, et vice-versa. Les indicateurs composés sont, à leur tour, intégrés par sommation pour donner les scores aux trois piliers de la durabilité agricole. Selon le principe de la non-substituabilité entre formes de capital, le niveau final de durabilité est donné par le score le plus faible aux trois échelles de durabilité (D).

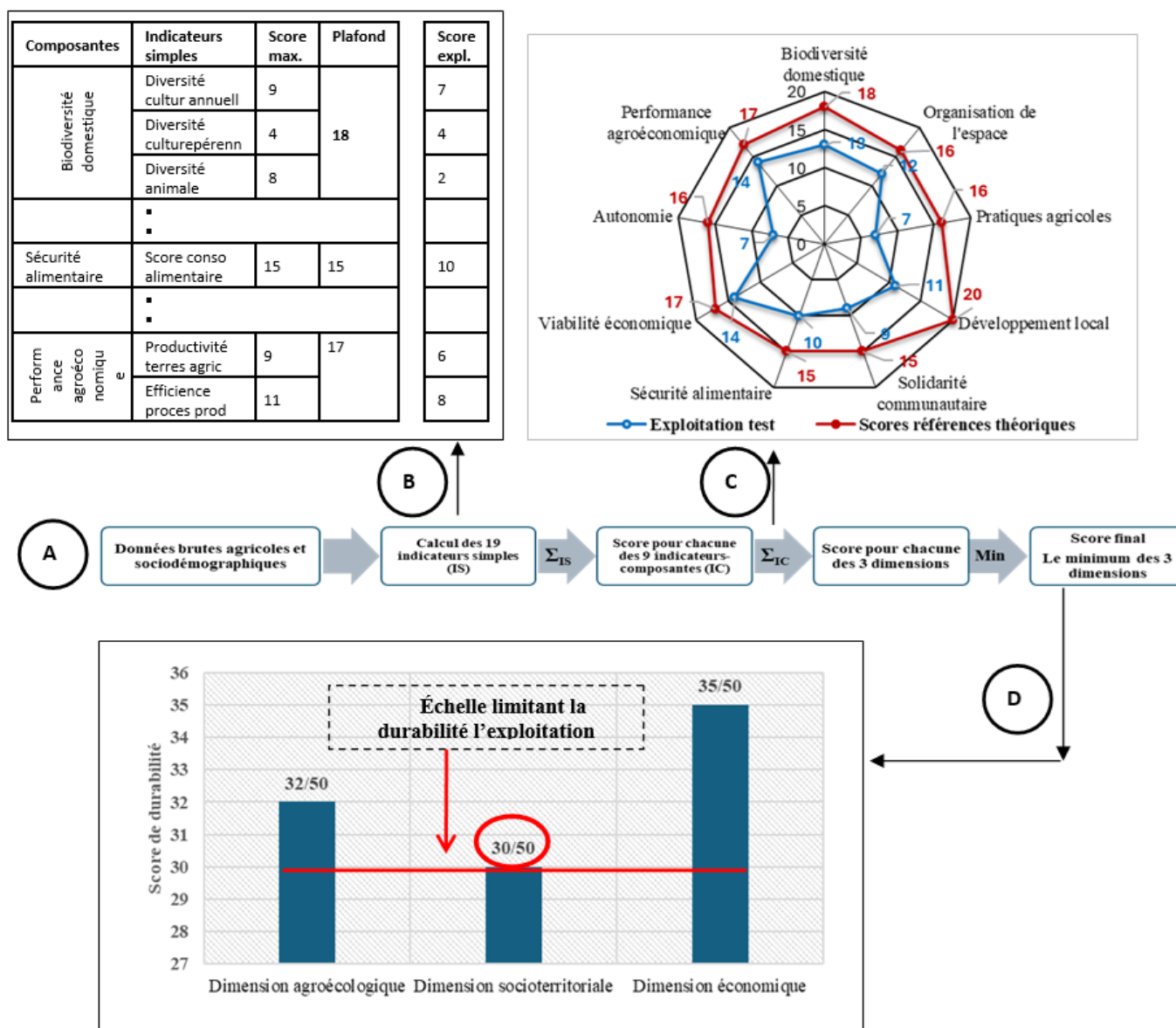


Fig. 1. Lecture évaluative du niveau final de durabilité d'une exploitation [22]

### 3 RESULTATS

Cette section présente la nouvelle grille d'indicateurs de durabilité (3.1) et les résultats du diagnostic (3.2).

#### 3.1 VUE D'ENSEMBLE DE LA NOUVELLE GRILLE D'INDICATEURS DE DURABILITE AGRICOLE

La nouvelle grille comporte 19 indicateurs simples et 9 indicateurs-composantes, 3 à chacun des trois axes de la durabilité. Elle emprunte la plupart des indicateurs aux deux méthodes de base.

##### 3.1.1 ÉCHELLE AGROÉCOLOGIQUE

Les thématiques 'Biodiversité domestique', 'Organisation de l'espace' et 'Pratiques agricoles' de l'IDEA sont conservées, mais avec seulement 7 des 19 indicateurs simples qui n'ont subi que des modifications minimales. Pour la composante 'Biodiversité domestique' par exemple, la pondération des indicateurs simples promeut la diversité des cultures vivrières et la diversité animale, au détriment des cultures de rente qui sont orientées vers le marché extérieur. En outre, alors que l'IDEA évalue la durabilité des grandes exploitations, la nouvelle grille valorise les exploitations de petite taille, ce qui caractérise l'agriculture familiale [27].

Le tableau 1 présente l'indicateur simple 'Pesticides' de la composante 'Pratiques agricoles'. Cet indicateur évalue le degré de pollution induit par l'utilisation de produits phytosanitaires, à partir de l'indice de fréquence de traitement (IFT). L'IFT est le rapport entre la dose appliquée et la dose homologuée en considérant la surface traitée de la parcelle. Mais, faute de données sur le nombre de traitements phytosanitaires, l'IFT est, ici, évalué par le coût total de traitements à l'hectare comme variable proxy, les valeurs des charges correspondantes constituant une bonne approximation des quantités utilisées [28].

Tableau 1. Exemple de calcul d'un indicateur simple

Mode de calcul	Modalités et seuils/scores	Explications
$IFT = [CPP \text{ (en F CFA)}] / [SAU \text{ (en ha)}]$ CPP=Charges produits phytosanitaires SAU=surface agricole utilisée	< 15	15
	15 ; 30[	12
	30 ; 40[	10
	40 ; 60[	8
	60 ; 80[	6
	80 ; 100[	5
	100 ; 140[	4
	140 ; 180[	3
	180 ; 220[	2
	≥ 220	1

##### 3.1.2 ÉCHELLE SOCIOTERRITORIALE

Les indicateurs à l'axe socioterritoriale évaluent la qualité de vie de l'agriculteur au sein de sa communauté. En effet, outre le statut matériel apparent d'une économie, c'est aussi le mode d'organisation social qu'il faut considérer pour en évaluer les performances [4]. C'est le paradoxe des économies primitives où l'abondance règne malgré un dénuement quasi absolu, où l'économique est subordonnée aux activités sociales, religieuses, rituelles et politiques [29]. C'est le critère de vivabilité sociale.

La composante 'Développement local' est empruntée à la Charte de l'agriculture paysanne. Selon ce principe, le paysan doit participer à la vie citoyenne locale, produire et commercialiser avec des partenaires locaux, valoriser le territoire, etc. L'implication du paysan dans des associations ou instances politiques locales est une source de motivation, de non-isolement, etc. [30], et prouve la capacité du paysan à créer du réseau et mobiliser un collectif de travail et d'informations nécessaires. Par le lien qu'il crée avec son territoire, il participe à la revitalisation de celui-ci et est donc durable au sens de cet enjeu.

Les composantes 'Solidarité communautaire' et 'Sécurité alimentaire' ont été intégrées à l'axe socioterritoriale. La première évalue comment l'exploitant participe à l'entraide et la solidarité chères aux sociétés africaines; plus que les mécanismes de sécurité sociale de l'État, ces institutions traditionnelles sont un véritable cadre de sécurité sociale au sein des sociétés rurales [31]. Elles se déploient à travers le travail collectif et les aides accordées aux ménages vulnérables. La 'Sécurité alimentaire' s'évalue par un indicateur proxy – le score de consommation alimentaire (SCA) – que l'INS [26] utilise pour évaluer le niveau

de pauvreté des ménages. Une pauvre consommation alimentaire s'exprime en termes de fréquence et de diversité à l'insécurité alimentaire courante. Le SCA est calculé en utilisant la formule suivante:

$$SCA = \alpha_{céréale}x_{céréale} + \alpha_{légumineuse}x_{légumineuse} + \alpha_{légume}x_{légume} + \alpha_{fruit}x_{fruit} + \alpha_{protéine}x_{protéine} + \alpha_{sucre}x_{sucre} + \alpha_{lait}x_{lait} + \alpha_{huile}x_{huile}$$

Avec :  $\alpha_i$  = Poids attribué au groupe d'aliments (Tableau 2);  $x_i$  = Nombre de jours de consommation relatif à chaque groupe d'aliments ( $\leq 7$  jours).

**Tableau 2. Classification des aliments**

Types d'aliments	Groupes d'aliments	Poids
Maïs, mil, sorgho, riz, pain/beignets, pâtes alimentaires	Céréales /tubercules	2
Manioc, ignames, banane plantain, autres tubercules		
Arachides/Légumineuses (haricot, niébé, pois, lentilles, etc.)	Légumineuses	3
Légumes et feuilles	Légumes/feuilles	1
Fruits (mangues, oranges, bananes, etc.)	Fruits	1
Viandes, poissons, fruits de mers, escargot, œufs, champignon	Protéines	4
Laits/Produits laitiers	Produits laitiers	4
Sucre, miel, autres sucreries	Sucre	0,5
Huiles et graisses (huile de palme, beurre de karité, etc.)	Huile	0,5
Condiments, épices	Condiments	0

Les seuils de la classification pour la Côte d'Ivoire sont les suivants:

- Si SCA  $\leq 21$ : la consommation alimentaire est pauvre;
- Si SCA  $\in ] 21,5; 35 [$ : la consommation alimentaire est limitée;
- Si SCA  $\geq 35,5$ : la consommation alimentaire est acceptable.

D'après la référence [26], l'agriculture est le secteur d'activités où les ménages sont plus vulnérables à l'insécurité alimentaire, avec une prévalence de 14,3%, supérieure à la moyenne nationale.

### 3.1.3 ÉCHELLE ÉCONOMIQUE

Le pilier économique comporte 3 composantes: 'Viabilité socioéconomique', 'Autonomie' et 'Performance agroéconomique'. L'autonomie renvoie à la composante 'Efficience' de l'IDEA. D'après la Charte, une paysannerie autonome doit être capable d'être maître de ses choix. Ici, l'autonomie évalue la capacité de l'exploitant à satisfaire ses besoins en matériel végétal, disposer de terres agricoles et financer ses activités agricoles à partir de sa propre épargne. Quant à la composante 'Viabilité économique', elle intègre deux indicateurs simples:

- La 'Viabilité socioéconomique': C'est un résultat économique moyen par actif comparé à une norme sociale, le SMIC pour l'IDEA et un « revenu d'objectif » égal à 2 fois le SMIC pour la Charte. Dans cette étude, la norme est le salaire minimum agricole garanti (SMAG) égal 36 000 F CFA. L'indicateur évalue la capacité de l'exploitation à générer un revenu global rémunérateur du travail familial au moins au SMAG;
- Le 'Degré de spécialisation économique': Il repose sur l'idée qu'une exploitation agricole diversifiée est moins vulnérable aux aléas économiques, climatiques, etc [32]. L'indicateur mesure la part de la principale production dans le produit total.

En fin, la composante 'Performance agroéconomique' intègre deux indicateurs simples: 'Productivité de la terre' et 'Efficience du processus productif'. Le premier rapporte la production agricole (exprimée en valeur monétaire) à la superficie de terre exploitée, tandis que le second évalue la capacité des systèmes de production à valoriser leurs propres ressources. Selon la grille, un niveau de productivité élevé est le signe d'une certaine maîtrise par l'exploitant de techniques agricoles permettant d'éviter une agriculture extensive, sous l'hypothèse que les contraintes agricoles sont quasi identiques au sein d'une même zone agroécologique.

Les échelles de l'IDEA ont des poids égaux à valeurs entre 0 et 100 points. Mais, la nouvelle grille fixe à 50 points le plafond par échelle, à cause du nombre limité d'indicateurs simples. En outre, autant que la Charte et la version 4 de l'IDEA, les valeurs plafonds aux échelles de la grille varient selon le poids des composantes aux objectifs de durabilité (Tableau III).

**Tableau 3. Grille des indicateurs de durabilité des exploitations agricoles familiales**

Échelle	Composante	Indicateurs simples	Scores de durabilité	
			Indicateurs simples	Composante (score plafond)
Durabilité agroécologique	Biodiversité domestique	A1-Diversité cultures annuelles	9	18
		A2-Diversité cultures pérennes	4	
		A3-Diversité animale	8	
	Organisation de l'espace	A4-Assolement	10	16
		A5-Dimension des parcelles	9	
	Pratiques agricoles	A6-Pesticides (Pression polluante)	11	16
		A7-Jachère	8	
Durabilité socioterritoriale	Développement local	B1-Participation à la vie citoyenne locale	10	20
		B2-Participation à la vie économique locale	13	
	Solidarité communautaire	B3-Travail collectif	9	15
		B4-Soutien monétaire, alimentaire accordé	10	
	Sécurité alimentaire	B5-Score de consommation alimentaire	15	15
Durabilité économique	Viabilité économique	C1-Viabilité socioéconomique	11	17
		C2-Spécialisation économique	9	
	Autonomie	C3-Autonomie semencière	7	16
		C4-Autonomie en terres agricoles	9	
		C5-Epargne agricole	5	
	Performance agroéconomique	C6-Productivité des terres agricoles	9	17
		C7-Efficience du processus productif	11	

La grille admet la possibilité de compensation seulement entre indicateurs simples d'une composante ou entre composantes d'une même échelle. En revanche, chaque axe de durabilité est indépendant et non-cumulatif avec les autres. C'est le principe de non-substituabilité entre les formes de capital qui fonde l'approche de la durabilité forte sur laquelle l'IDEA est construit. La nouvelle grille a été testée à partir d'un échantillon de 3218 exploitations agricoles familiales (ENV 2015). Les résultats sont présentés dans la section suivante.

### 3.2 ANALYSE DE LA DURABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES FAMILIALES

La section présente comment lire les résultats de diagnostic d'une exploitation donnée et les performances globales des exploitations agricoles familiales en Côte d'Ivoire.

#### 3.2.1 EXEMPLE DE DIAGNOSTIC D'UNE EXPLOITATION AGRICOLE

Les Figures 2 et 3 présentent les résultats des performances d'une exploitation agricole donnée. L'analyse à partir des indicateurs-composantes (Figure 1) révèle que, globalement, il y a de plus grandes marges de progrès vers la durabilité à l'axe socioterritoriale, comparativement aux échelles agroécologique et économique. Ainsi, l'analyse des performances des exploitations agricoles consiste à identifier, prioritairement, les indicateurs-composantes de pilier socioterritoriale, puis les indicateurs simples qui y ont les plus faibles scores. Ce sont ces derniers qui dictent les actions correctrices en termes de bonnes pratiques à adopter par le paysan.

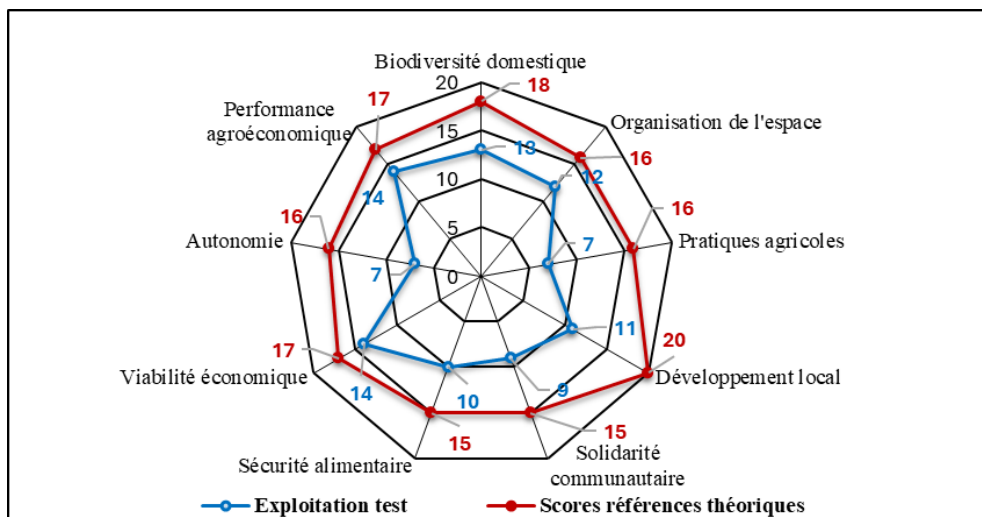


Fig. 2. Résultats de diagnostic de la durabilité agricole par composante

En définitive, par la Figure 3, le diagnostic indique 32 points à l'axe agroécologique, 30 à l'axe socioterritoriale et 35 à l'axe économique. Le score final est 30 points sur 50, le minimum des trois échelles. La durabilité de l'exploitation est, donc, limitée par l'échelle socioterritoriale.

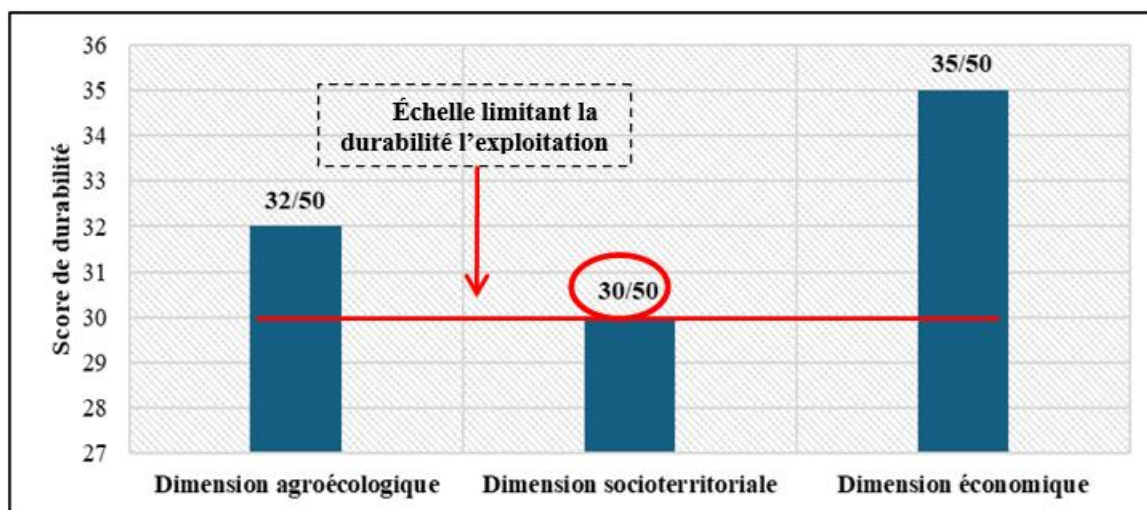


Fig. 3. Résultats de diagnostic de la durabilité agricole par échelle

Pour cette exploitation agricole, le résultat du diagnostic signifie que le paysan est, marginalement, impliqué dans la vie citoyenne locale. Pour améliorer la durabilité de son exploitation, il doit, avant tout, participer davantage à la vie associative, politique et économique locale. En effet, par le lien qu'il crée avec son territoire et au-delà de sa fonction économique de production de biens et services agricoles, le paysan participe à la revitalisation de la vie sociale, culturelle et politique locale [30], [24]. C'est une garantie pour la transmissibilité, car la représentation des métiers de la terre et du mode de vie du paysan sont des déterminants de la motivation des jeunes à reprendre les exploitations [9].

Toutefois, les autres échelles doivent aussi être analysées. En effet, la possibilité de compensation entre indicateurs simples d'un même indicateur-composante et entre les composantes d'un même axe de durabilité peut couvrir de grandes insuffisances. C'est le cas de l'échelle économique qui a le plus grand score aux termes du diagnostic (35/50), mais dont les indicateurs simples 'Autonomie semencière' et 'Épargne agricole' ont des scores très faibles (Tableau 3).

### 3.2.2 ANALYSE COMPAREE DE LA DURABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

La démarche du diagnostic indiquée dans la méthodologie permet d'avoir le profil (forces et faiblesses) d'une exploitation agricole donnée. Il faut, dès lors, piloter cette performance révélée. Cela nécessite une référence empirique à laquelle il est commode de comparer les scores de durabilité. Le pilotage de la durabilité consiste à conduire l'exploitation pour, au moins, atteindre la référence. Puisque les modes de calcul et les unités de mesure diffèrent d'un indicateur à un autre, la comparaison entre exploitations agricoles n'est possible qu'entre indicateurs identiques.

La comparaison peut être temporelle. C'est le cas quand la référence est la performance d'une même exploitation sur plusieurs années [21]. Elle peut, aussi, être spatiale (ou même spatio-temporelle) avec les résultats des pairs, d'autres exploitations du même territoire [33]. Pour ce cas, la référence [34] utilise la moyenne des fermes de la région comme valeur de référence. Selon la référence [35] emploie un groupe de tête constitué du quart des exploitations ayant eu le meilleur résultat total. La présente étude (Figure 3) compare les performances de chaque exploitation (ligne d'étiquettes en bleu) à celles d'un groupe de tête constitué des exploitations dont toutes les composantes atteignent au moins 70% du score plafond (référence théorique en vert). Les scores de référence empirique (nanogone en rouge) sont les résultats moyens des exploitations qui composent ce groupe de tête.

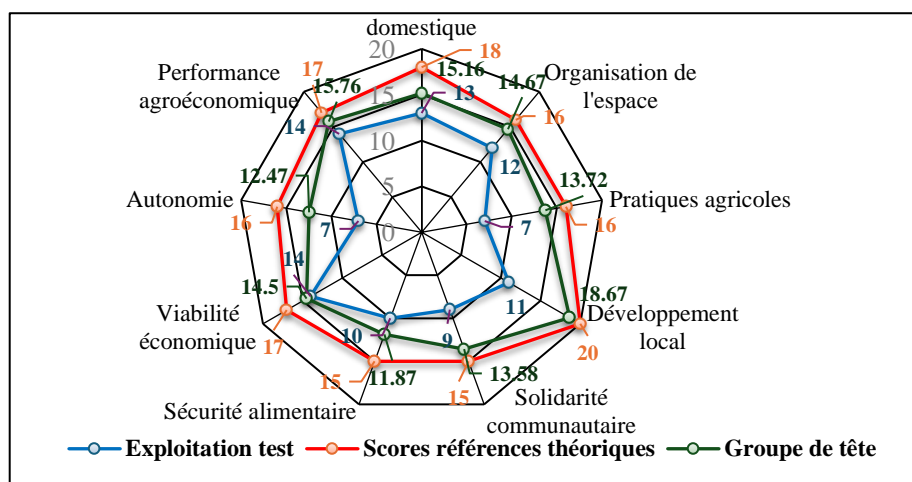


Fig. 4. Durabilité comparée d'une exploitation à un groupe de tête

Les résultats montrent que les composantes de durabilité de l'exploitation ont des scores largement inférieurs à ceux du groupe de tête, excepté l'indicateur *Viabilité économique* qui marque, néanmoins, un écart de 2,94% (0,5/17). Par conséquent, le repère de cet exploitant doit être le groupe de tête, sous l'hypothèse que, dans des conditions sociales, agroécologiques et économiques quasi similaires, il est possible de tendre au moins vers ce standard.

Vu l'écart au niveau de l'indicateur *Développement local*, on peut conclure à la nécessité du travail collectif qui est un cadre idéal du co-apprentissage en réseau, au-delà du cadre familial restreint. En outre, ce travail collectif favorise la solidarité, génère l'efficacité, renforce le pouvoir de négociation dans la commercialisation des produits et développe des économies d'échelle et des synergies et constitue ainsi un puissant levier de développement local.

L'analyse spatiale compare la durabilité agricole entre les grandes zones agroécologiques (ZAE) du pays (Figure 4). Ce sont des espaces géographiques supposés homogènes en potentiel et contraintes quant aux activités agricoles [36]: zone soudanienne, zone guinéenne et zone soudano-guinéenne [37]. Elles résultent de la superposition des deux grandes régions climatiques aux deux grands types de paysages.

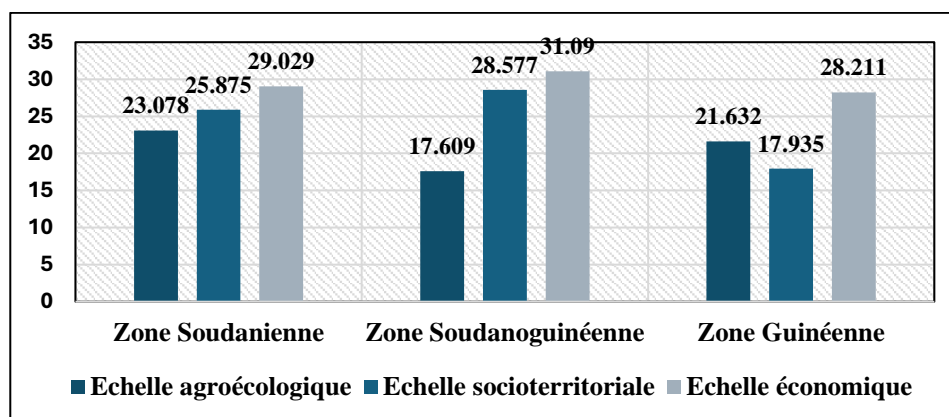


Fig. 5. Durabilité comparée entre les ZAE aux trois piliers de la durabilité

Suivant le principe de la non-substituabilité entre formes de capital qui fonde l'IDEA, le niveau final de durabilité agricole est déterminé par le score le plus faible aux trois échelles de la durabilité. Ainsi, les exploitations agricoles présentent un profil de durabilité assez faible. Dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne, la durabilité est déterminée, globalement, par le pilier agroécologique, avec des scores moyens de 23,07/50 (46,14%) et 17,6/50 (35,20%), respectivement. Dans la zone guinéenne, elle est déterminée par le pilier socioterritoriale, avec un score moyen de 17,9/50 (35,80%). Les scores économiques assez bon – respectivement 58%, 62,18% et 56,42% – confirment le rôle majeur de l'agriculture familiale dans la création de richesse. Dans l'ensemble, les résultats économiques apparaissent prioritaires devant les impératifs environnementaux et le bien-être social des paysans.

#### 4 DISCUSSION

L'adaptation de l'IDEA et la Charte de l'agriculture paysanne à l'agriculture familiale présuppose des différences entre cette dernière et les modèles agricoles ayant servi à construire ces méthodes. Cela soulève une double problématique qui préexiste à l'exercice de construction d'indicateurs de durabilité et qui est brièvement discutée maintenant.

La première pose l'opportunité de promouvoir encore une stratégie de développement basée sur l'agriculture, ce que soutient la construction d'une grille d'indicateurs de durabilité agricole. En effet, pendant longtemps, a prospéré la théorie de la transformation structurelle selon laquelle les économies, d'abord centrées sur l'agriculture, passent à des configurations plus diversifiées basées sur l'industrie, puis les services et les télécommunications [38], [39]. La transformation structurelle consisterait en une sorte de force qui propulserait l'économie globale vers « *un monde sans agriculture* », les parts de l'emploi agricole dans l'emploi global et du PIB agricole dans la richesse globale convergeant vers zéro [40].

Cette théorie a influencé les programmes de développement et a conduit à reléguer l'agriculture en arrière-plan des priorités de développement à travers le monde [41], [42], [27]. En Afrique, en dépit des engagements politiques (Déclaration de Maputo de 2003), cette influence perdure avec des programmes comme *Rural Futures* du Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique (NEPAD) qui vise, entre autres, à réduire la dépendance des économies africaines vis-à-vis de l'agriculture [43].

Cependant, des études empiriques récentes revisitent la théorie et réhabilitent l'agriculture [44], [40]: l'expérience moderne du développement révèle plusieurs chemins de croissance possibles dont le « *chemin de Lewis* » qui, en réalité, n'a jamais été suivi par aucun pays au monde. La simple juxtaposition de l'importance historique de l'agriculture avec la thèse dominante de son « inadéquation » avec une économie moderne relève d'une extrapolation grossière et erronée: la baisse structurelle annoncée du poids relatif de l'agriculture n'a pas encore été observée dans les économies d'Afrique subsaharienne [45]. Celles-ci sont toujours tributaires de l'agriculture, la population y reste majoritairement rurale, et si l'urbanisation s'y est développée à un rythme soutenu, elle ne s'est pas accompagnée de l'industrialisation constatée ailleurs [46].

Quoique réalisés à partir d'approches méthodologiques différentes, ces travaux soutiennent, tous, la thèse d'une diversité d'itinéraires du développement dont certains ont l'agriculture comme secteur pilier. Ainsi, autant que les autres secteurs, l'agriculture peut être en première ligne d'une stratégie de développement d'une nation, et contribuer durablement à créer de la richesse et satisfaire le bien-être social des populations.

À partir de cette thèse, la deuxième problématique se pose en termes de modèle agricole à promouvoir. Y aurait-il un modèle agricole universel qui soit la référence et vers laquelle doivent converger les autres ? Ou, au contraire, chaque société peut développer et promouvoir son propre modèle agricole, sur la base de ses paradigmes ?

Certes à des degrés divers, mais l'IDEA et la Charte de l'agriculture paysanne ont été élaborées à partir de systèmes de production agricole mécanisés, intensifs en intrants agricoles, employant la main-d'œuvre salariée et orientés vers le marché et le profit [21], [24]. Dans ces systèmes, les exploitations sont des entreprises au sens néoclassique du terme. En revanche, les économies rurales en Afrique sont structurellement dominées par l'agriculture familiale [16]. Et d'après la représentation dominante actuelle de cette agriculture, c'est la famille qui est « l'entrepreneur » et non l'individu. En outre, l'exploitation agricole produit pour garantir la sécurité alimentaire, maintenir le tissu social familial et sauvegarder les terres et les valeurs qui y sont attachées. Aussi, l'agriculture familiale africaine ne produit-elle pas pour vendre, mais pour vivre. Elle est, à la fois, une philosophie de vie avant d'être une activité économique [17], [18], [19].

Certains travaux distinguent l'économie paysanne de l'économie capitaliste, et l'agriculture paysanne de celle qualifiée de productiviste [47], [48], [49], [20]. Et l'exploitation agricole familiale n'est pas qu'une entreprise, au sens de la théorie néoclassique [50], [51]. Elle est une institution qui, loin des logiques marchandes, porte des valeurs par lesquelles la famille fournit des aliments, valorise le travail familial, constitue et transmet un patrimoine [52].

Toutefois, cette image de l'agriculture familiale est à nuancer: la forte connectivité de la société moderne actuelle amène l'agriculture familiale à de nouvelles recompositions dans ses fondements. Ainsi, selon la référence [53], les agriculteurs des pays industrialisés décident en fonction de deux institutions: l'une marchande et l'autre patrimoniale. La famille est l'archétype de cette dernière institution dont tout groupe social organisé selon des règles de solidarité et de continuité est l'expression. Mais, les décisions économiques de l'exploitant agricole vont, désormais, au-delà du cadre de la famille, et prennent en compte les besoins du marché et les opportunités qu'il offre. Pour [54], les exploitations agricoles sont des unités hybrides, au sens qu'elles appartiendraient à deux champs: certaines actions sont décidées en fonction du marché, et d'autres en fonction des règles et principes familiaux.

Quoiqu'il en soit, l'adaptation des deux méthodes à l'agriculture familiale en Afrique ne vise pas à faire tendre cette dernière vers les standards des entreprises agricoles modernes productivistes, orientées vers le marché mondial, supposées performantes et compétitives, professionnalisées et « filiarisées ». En effet, pour beaucoup d'analystes, les exploitations familiales actuelles sont considérées comme archaïques et sclérosées, et l'exploitant comme un péquenaud. Au contraire, il s'agit de promouvoir cette agriculture des petits exploitants familiaux en tant que modèle économique approprié pour le développement durable

Dans le contexte mondial actuel d'une prise de conscience générale des effets négatifs des activités humaines sur l'environnement, la performance de cette agriculture doit s'évaluer au-delà des critères technicoéconomiques et financiers: PIB agricole, productivité totale des facteurs, indice de productivité de Malmquist, [55]... Car ces derniers ne prennent en compte ni les impacts environnementaux, ni les enjeux des sociétés comme les inégalités, le progrès social, l'espérance de vie, la qualité des services publics, etc. [56], [11]. C'est ce gap que la présente étude contribue à combler dans le sens d'indicateurs alternatifs, ce qui suppose, selon la référence [12], une modification « culturelle », la valeur d'un service ou d'un bien étant fonction des valeurs, de la culture dominante de la société donnée.

D'un point de vue paradigmatique, l'étude tente d'affirmer l'exploitation agricole familiale comme un des principaux piliers d'une économie communautariste. Ainsi, promouvoir l'agriculture familiale, c'est mettre en lumière cette dialectique et relever deux défis scientifiques majeurs qui en découlent. Premièrement, il faut théoriser ce modèle économique communautariste qui a traversé le temps, et qui est, malheureusement, resté dans l'ombre des modèles et théories économiques capitalistes. Deuxièmement, il faut susciter la construction (réhabilitation) de l'imaginaire du progrès propres à ces sociétés rurales et élaborer des normes adaptées pour mesurer les progrès accomplis vers cet idéal, hypothèse faite qu'il n'y a pas de méthodes génériques pour l'évaluation de la durabilité [57].

## 5 CONCLUSIONS

L'étude évalue la performance des exploitations agricoles familiales, avec pour critère la durabilité. En l'absence d'outil de diagnostic approprié au contexte local, la méthode IDEA et la Charte de l'agriculture paysanne sont adaptées à l'agriculture familiale. La grille obtenue est composée de 19 indicateurs simples qui caractérisent 9 thématiques de l'agriculture durable à l'échelle de l'exploitation. La nouvelle grille de durabilité agricole a été testée à partir des données de l'ENV 2015. Le profil général des exploitations indique que les exploitations agricoles familiales ont un niveau de durabilité assez faible. Cette performance est limitée par les échelles agroécologique et socioterritoriale. Cela signifie que l'agriculteur a une participation marginale dans la vie citoyenne locale et que ses pratiques agricoles affectent négativement l'environnement. L'étude

recommande de privilégier des politiques agricoles qui créent des synergies entre les bonnes performances économiques avec les impératifs environnementaux et le bien-être social du paysan. Sur le plan opérationnel, la grille d'indicateurs proposée peut servir comme outil de pilotage de la durabilité agricole auprès des opérateurs de terrain et des acteurs publics, et pour la formation dans l'enseignement agricole et la recherche-développement.

## REFERENCES

- [1] M. Kone, Y. L. Kouadio, D. F. R. Neuba, D. F. Malan, and L. Coulibaly, «Evolution of the forest cover in Cote d'Ivoire since 1960 to the beginning of the 21st century',», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 7, no. 2, pp. 782–794, August 2014.
- [2] Food and agriculture organization (FAO), «Situation des forêts du monde 2016. Forêts et agriculture: défis et possibilités concernant l'utilisation des terres,», Rome. 2016.<http://www.fao.org/3/a-i5588f.pdf>
- [3] Meadows Donella H., Meadows Dennis L., Randers Jørgen et Behrens III William W. (eds), *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books, New York, 205 p, 1972.
- [4] Vallée Annie, *Economie de l'environnement*. Edition du Seuil, 334 p, 2002.
- [5] Rolston Holmes, *Conserving Natural Value*. New York: Columbia University Press; First Edition (April 15, 1994), 259 p, 1994.
- [6] R. M. Solow, «On the Intergenerational Allocation of Natural Resources,», *Scandinavian Journal of Economics* 88, pp.141-149, 1986.
- [7] Georgescu-Roegen Nicholas, *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press, 472 p, 1971.
- [8] Lebatteux N., *Penser global et agir local: Des obstacles à la mise en œuvre d'un Agenda 21 scolaire*. Dans: Alain Legardez éd., Développement durable et autres questions d'actualité: Questions socialement vives dans l'enseignement et la formation (pp. 181-194), Dijon cedex: Educagri éditions, 2011.
- [9] E. Landais, «Agriculture durable: Les fondements d'un nouveau contrat social ?, » *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, avril 1998, n°33, 1998.
- [10] Rousseau Jean-Jacques, *Du contrat social ou Principes du droit politique*. Marc-Michel Rey. Première édition, Amsterdam, 319 p, 1762.
- [11] I. Cassiers et C. Delain, «La croissance ne fait pas le bonheur. Les économistes le savent-ils ?, » *Regards Economiques (UCL)*, Mars 2006, N°38, 2006.
- [12] L. Ciccia, «Indicateurs alternatifs au P.I.B.: La voie de l'alternance à la croissance ?, » SAW-B, 2011.
- [13] Latouche Serge, *Survivre au développement: De la décolonisation de l'imaginaire économique à la construction d'une société alternative*, Editions Mille et Une Nuits, Les Petits Livres n° 55. 128 p, 2007.
- [14] C. R. Binder, G. Feola and J. Steinberger, «Considering the normative, systemic, and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture, » *Environmental Impact Assessment Review* 30, pp.71-81, 2010.
- [15] F. Zahm et C. Mouchet, «De la Responsabilité Sociétale d'une exploitation agricole à la mesure de sa Performance Globale: revue de la littérature et application avec la méthode IDEA, » *Économie et institutions, Amiens: Économie et institutions CRIISEA*, p.85-119, 2012.
- [16] Sall Moussa, *Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques: stratégies développées et assurances agricoles*, [Thèse de doctorat en Economies et finances, Université Toulouse le Mirail–Toulouse II], 2015.
- [17] L. Barbedette, «Mieux connaître la réalité de l'exploitation familiale ouest-africaine. Dossier autour de l'atelier de Mbour sur la création d'un observatoire des exploitations familiales en Afrique de l'Ouest, » *ROPPA/CIRAD-TERRA*, 26-29 octobre 2004.
- [18] P. Bertheliet et A. Lipchitz, «Quel rôle joue l'agriculture dans la croissance et le développement ?, » *Tiers-Monde* 46 (83), pp.603-624, 2005.
- [19] ROPPA, «Dix ans après la Déclaration de Maputo sur l'agriculture et la Sécurité alimentaire: Une évaluation des progrès de la Côte d'Ivoire, » *Étude de la Côte d'Ivoire*, 2013.
- [20] F. Zahm, A. Alonso-Ugaglia, H. Boureau, B. Del'homme, J.-M. Barbier, P. Gasselin, M. Gafsi, L. Guichard, C. Loyce, V. Manneville, A. Menet et B. Redlingshöfer, «Agriculture et exploitation agricole durables: état de l'art et proposition de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture, » *Innovations Agronomiques* 46 (2015), pp.105-125, 2015.
- [21] Vilain Lionel (dir), Boisset Kevin, Girardin Philippe, Guillaumin André, Mouchet Christian, Viaux, Philippe et Zahm Frédéric, *La méthode IDEA – Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles – Guide d'utilisation*, 3<sup>ème</sup> édition, Ed. Educagri, Dijon. 184 p, 2008.

- [22] F. Zahm, A. Alonso-Ugaglia, J.-M. Barbier, H. Boureau, B. Del'homme, M. Gafsi, P. Gasselin, S. Girard, L. Guichard, C. Loyce, V. Manneville, A. Menet et B. Redlingshöfer, «Évaluer la durabilité des exploitations agricoles. La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité, » *Cah. Agric.*, 28 (2019) 5, 2019.
- [23] Zahm Frédéric, De l'évaluation de la performance globale d'une exploitation agricole à l'évaluation de la politique publique agro-environnementale de la Politique Agricole Commune. Une approche par les indicateurs agro-environnementaux, [Thèse de doctorat en économie de l'agriculture et des ressources, Université Européenne de Bretagne, Agrocampus, école doctorale SHOS], 2011.
- [24] Fédération associative pour le développement de l'emploi agricole et rural (FADEAR), *Agriculture paysanne, le manuel*. Ouvrage, 2015.
- [25] J. de Castro, D. P. Sachez, P. Moruzzi, A. de Lucas et T. Bonaudo, «Adaptation de la méthode française IDEA pour l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles de la commune de São Pedro (État de São Paulo, Brésil), » Communication présentée aux 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris, 2-3 décembre 2009.
- [26] INS, «Enquête sur le niveau de vie des ménages. Profil de pauvreté, » Juillet 2015.
- [27] Food and Agriculture Organization (FAO), La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2014. Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation. Rapport annuel 2015, Rome, 2014.
- [28] Guyomard Hervé (dir.), *Vers des agricultures à hautes performances*. Volume 1. Analyse des performances de l'agriculture biologique, Inra. 368 p., 2013.
- [29] Sahlins Marshall, Âge de pierre, âge d'abondance. L'économie des sociétés primitives, Gallimard, Paris, 420 p., 1976.
- [30] Terrier Médulline, Manuel de présentation de l'outil d'évaluation ex ante de la durabilité des systèmes d'activité des ménages agricoles pluriactifs dans l'Aude, Montpellier Supagro, 2009.
- [31] A. Marie, «Une anthropo-logique communautaire à l'épreuve de la mondialisation. De la relation de la dette à la lutte sociale (l'exemple ivoirien), » *Cahier d'Études Africaines*, 2002/2 (n° 166), pp.207-256, 2002.
- [32] P. Girardin, C. Bockstaller and H. M. G. Van Der Werf, «Indicators: Tools to Evaluate the Environmental Impacts of Farming systems, » *Journal of Sustainable Agriculture* 13: 5-21, 1999.
- [33] N. Halberg, «Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers, » *Agriculture, Ecosystems and Environment* 76, pp.17-30, 1999.
- [34] Gomez, A. A., Swete Kelly, D. E., Syers, J. K. and Coughlan, K. J., *Measuring Sustainability of Agricultural Systems at the Farm Level*, In: Doran, W. et J. Jones (éd.), *Methods for Assessing Soil Quality*, Madison, WI. *Soil Science Society of America* 49, pp.401-410, 1996.
- [35] Thivierge Marie-Noëlle, Développement d'un ensemble d'indicateurs pour l'évaluation de la durabilité environnementale des fermes québécoises en grandes cultures. [Mémoire de Maîtrise, Université Laval Québec. Département de phytologie faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation.], 2011.
- [36] K. Kouassi, «Zonage agroécologique de la Côte d'Ivoire. Approche méthodologique, » Training Workshop on remote sensing data application in agricultural methodology (WMO/FAO). Gaborone, 14-18 November 2005.
- [37] MINAGRA, «L'agriculture ivoirienne a l'aube du XXIe siècle, » Une publication du Salon de l'Agriculture et des Ressources Animales d'Abidjan (SARA), 1999.
- [38] A. Lewis, «Economic development with un-limited supplies of labour, » *The Manchester School* 22: pp.139–191, 1954.
- [39] Hirschman A. O., *Grandeur et décadence de l'économie du développement*, In: Hirschman A. O., *L'économie comme science morale et politique*, Gallimard, Paris – Le Seuil, *Collection Hautes Etudes*, 1 (1984), pp.43-68, 1981.
- [40] B. Dorin, J.-C. Hourcade, B.-C. Michel, «A World without Farmers? The Lewis Path Revisited, » *CIRED Working Paper Series 47-2013*, 2013.
- [41] World Bank, *World Development Report 2008: Agriculture for Development*. Washington DC: World Bank, 2007.
- [42] M. Mazoyer, L. Roudart, et I. A. Mayaki, «Rapport sur le développement dans le monde, Banque mondiale: Résumé et commentaires, » *Mondes en Développement, De Boeck*, 2008, 36 (143), pp.117-136, 2008.
- [43] NEPAD planning and coordinating Agency (NPCA), *Transformation Rurale en Afrique. Un cadre pour orienter le Programme Rural Futures (Futurs Ruraux) du NEPAD*, Palais des Congrès, Cotonou, République du Bénin 02-04 mai 2013.
- [44] Timmer Charles Peter, *A World without agriculture: The Structural Transformation in Historical Perspective*. American Enterprise Institute Press, Washington DC. 96 p, 2007.
- [45] H. P. Binswanger-Mkhize, A. McCalla and P. Patel, «Structural Transformation and African Agriculture, » *Global Journal of Emerging Market Economies* 2, pp.113-152, 2010.
- [46] Losch Bruno, Magrin Gérard et Imbernon Jacques, (dir.), Une nouvelle ruralité émergente. Regards croisés sur les transformations rurales africaines. Atlas pour le Programme Rural Futures du NEPAD, Montpellier: Cirad, 46 p., 2013.
- [47] Chayanov Alexander Vassilievitch, *L'organisation de l'économie paysanne*, Paris, Librairie du Regard, édition de 1990, 344 p., 1924.
- [48] Georgecu-Roegen Nicolas, *The Institutional Aspects of Peasant Economics: A Historical and Analytical Review*, Proceedings of the Agricultural Development Council Seminar on Subsistence and Peasant Economies. C.R Wharton, Honolulu, 1965.

- [49] D. Thorner, «Une théorie néo-populiste de l'économie paysanne: L'École de A. V. Čajanov.» *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 21 (6), pp.1232-1244, 1966.
- [50] B. Allain, «Qu'est-ce que l'agriculture familiale ?, » *Pour*, 222, pp.79-86, 2014.
- [51] P. Lacombe, «L'agriculture familiale: rengaine ou nouveauté ?, » *Natures Sciences Sociétés*, vol. 24 (2), pp.123-135, 2016.
- [52] Williamson Oliver Eaton, *Les institutions de l'économie*, Paris, InterEditions (*Édition française*), 1994.
- [53] D. Barthelemy, J.-P. Boinon et M. Nieddu, «Le dualisme comportemental des agriculteurs: normativité de l'action ou jeu d'institutions ?, » *Colloque: Institutionnalismes et évolutionnismes. Confrontations autour de perspectives empiriques*, Dec. 2002, Lyon, France, 2002.
- [54] E. Chia, P. Dugue et S. Sakho-Jimbira, «Les exploitations agricoles familiales sont-elles des institutions ?, » *Cah. Agri.*, 15, 6, pp.498-505, 2006.
- [55] R. Färe, S. Grosskopf, M. Norris and Z. Zhang, «Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries, » *American Economic Review*, 84 (1), pp.66–83, 1994.
- [56] E. Jadoul, «Les indicateurs complémentaires /alternatifs au PIB, » Centre d'Éducation Populaire André Genot (CEPAG), 2015.
- [57] Boutaud Aurélien, *Le développement durable: penser le changement ou changer le pansement ? Bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France: de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser*, [Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet - Saint-Etienne], 2005.

## **Analyse des variations des conditions météorologiques favorisant la durée d'humectation des feuilles d'anacardier dans les zones nord et centre-ouest de la Côte d'Ivoire**

### **[ Analysis of the variations in meteorological conditions favoring the leaf wetness duration of cashew trees in the northern and central-western zones of Côte d'Ivoire ]**

*Kignielman Riflard Luc Coulibaly<sup>1-2</sup>, Alex Zilé Kouadio<sup>1</sup>, Kouassi Amani<sup>2</sup>, Nicaise Kassi Ette<sup>3</sup>, Guillaume Koffi Kouassi<sup>2</sup>, Wawogninlin Brice Coulibaly<sup>1</sup>, and Christophe Kouamé<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Water Sciences and Technologies, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa BP 150, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Center for International Forestry Research and World Agroforestry (CIFOR-ICRAF), Côte d'Ivoire Country Programme, Cocody, Avenue Mermoz, Abidjan 08 BP 2823, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SOXEAM), Département Agrométéorologie, 15 BP 990 ABIDJAN 15, Abidjan, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2024 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:** Leaf wetness duration is a key parameter in agricultural meteorology as it is linked to the epidemiology of many important crops, and to the control of infection rates and pathogen development. This study analyzed the variations in meteorological conditions favoring the leaf wetness duration of cashew trees in two zones of Côte d'Ivoire: Lataha (north) and Vavoua (central-west). Climatic variables such as temperature, relative humidity, solar radiation, wind speed, and precipitation were measured over a three-year period. The study reveals that in the northern zone, prolonged leaf wetness periods coincide with high relative humidity, low temperatures, and moderate solar radiation. In Vavoua, relative humidity remains high throughout the year, leading to a longer leaf wetness duration. An inverse correlation between relative humidity and variables such as temperature and solar radiation was observed in both zones, indicating that lower temperatures extend leaf wetness. The results highlight the importance of monitoring meteorological variables to anticipate the risks of foliar diseases and recommend an integrated crop management approach based on rigorous meteorological monitoring to mitigate the climatic impacts on leaf wetness duration.

**KEYWORDS:** leaf wetness duration, weather conditions, cashew, relative humidity, leaf diseases.

**RESUME:** La durée d'humidité des feuilles est un paramètre clé en météorologie agricole car elle est liée à l'épidémiologie de nombreuses cultures importantes, au contrôle des taux d'infection et de développement des agents pathogènes. Cette étude a analysé les variations des conditions météorologiques favorisant la durée d'humectation des feuilles de l'anacardier dans deux zones de la Côte d'Ivoire: Lataha (nord) et Vavoua (centre-ouest). Les variables climatiques telles que la température, l'humidité relative, la radiation solaire, la vitesse du vent et les précipitations ont été mesurées sur une période de trois ans. L'étude révèle que dans la zone nord, les périodes d'humectation prolongée des feuilles coïncident avec une humidité relative élevée, de faibles températures et une radiation solaire modérée. À Vavoua, l'humidité relative reste élevée tout au long de l'année, favorisant une durée d'humectation plus longue. Une corrélation inverse entre l'humidité relative et des variables telles que la température et la radiation solaire a été observée dans les deux zones, indiquant que des températures plus basses prolongent l'humidité des feuilles. Les résultats mettent en lumière l'importance de surveiller les variables météorologiques

pour anticiper les risques de maladies foliaires et recommande une gestion intégrée des cultures basée sur une surveillance météorologique rigoureuse, afin de limiter les impacts des conditions climatiques sur la durée d'humectation des feuilles.

**MOTS-CLEFS:** durée d'humectation des feuilles, conditions météorologiques, anacardier, humidité relative, maladies foliaires.

## 1 INTRODUCTION

La durée d'humectation des feuilles (DHF) est un paramètre crucial dans divers processus biophysiques, notamment la propagation des maladies fongiques et bactériennes, le dépôt de polluants atmosphériques, les échanges gazeux foliaires et la survie de certains insectes [1], [2], [3], [4]. Elle revêt une importance particulière pour les cultures, notamment pour l'anacardier. En Côte d'Ivoire, cette culture est devenue le deuxième produit agricole d'exportation, après le cacao, et le pays est le premier producteur mondial de noix brutes depuis 2021 [5]. La noix de cajou joue un rôle économique essentiel tant pour le pays que pour les consommateurs internationaux. Cependant, malgré cet engouement, l'anacardier fait face à des épidémies sévères, principalement causées par des agents pathogènes fongiques et bactériens [6], [7], [8], ce qui entraîne des pertes considérables en termes de rendement et de qualité.

L'humectation des feuilles est fortement influencée par des paramètres météorologiques tels que l'humidité relative, la température et les précipitations, qui créent un microclimat favorable à la prolifération des champignons [9], [10]. Des études ont montré que la durée d'humectation des feuilles est directement corrélée à ces facteurs environnementaux [11], [12]. Dans les systèmes agroécologiques, ces variables climatiques varient à la fois dans l'espace et dans le temps, ce qui affecte la dynamique de l'humectation et, par conséquent, la propagation des maladies [13], [14]. Comprendre les conditions météorologiques favorables à l'humectation est essentiel pour développer des stratégies de gestion des maladies intégrée [10], [15].

Des modèles prédictifs basés sur les données météorologiques peuvent également être utilisés pour anticiper les périodes de risque élevé pour les cultures d'anacardiers et recommander des interventions agronomiques adaptées afin de limiter les pertes dues aux maladies foliaires [16], [17]. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'analyser les variations des conditions météorologiques favorisant l'humectation des feuilles d'anacardier en Côte d'Ivoire, dans le but de mieux comprendre les facteurs climatiques influençant ce phénomène.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDE

Dans le cadre de notre étude sur la relation entre les paramètres météorologiques et l'humectation des feuilles, des collectes de données ont été réalisées dans deux zones: Lataha (nord) et Vavoua (centre-ouest) (Figure 1). À Lataha, les données ont été recueillies à la station de recherche fruitière du Centre National de Recherche en Agronomie (CNRA), située à 22 km au nord de la Côte d'Ivoire. Cette station couvre une superficie de 40 hectares et se situe aux coordonnées 9°34' de latitude Nord et 5°34' de longitude Ouest, à une altitude de 350 mètres. Le climat y est de type tropical de transition, avec une saison sèche de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre [18].

À Vavoua, les observations ont été effectuées sur une parcelle de 8 hectares exploitée par un paysan. Cette zone est située aux coordonnées 7°23' de latitude Nord et 6°29' de longitude Ouest. Le climat de Vavoua est de type équatorial, avec deux saisons humides, d'avril à juin et d'août à octobre, ainsi que deux saisons sèches de novembre à mars, la petite saison sèche se situant au mois de juillet [19].

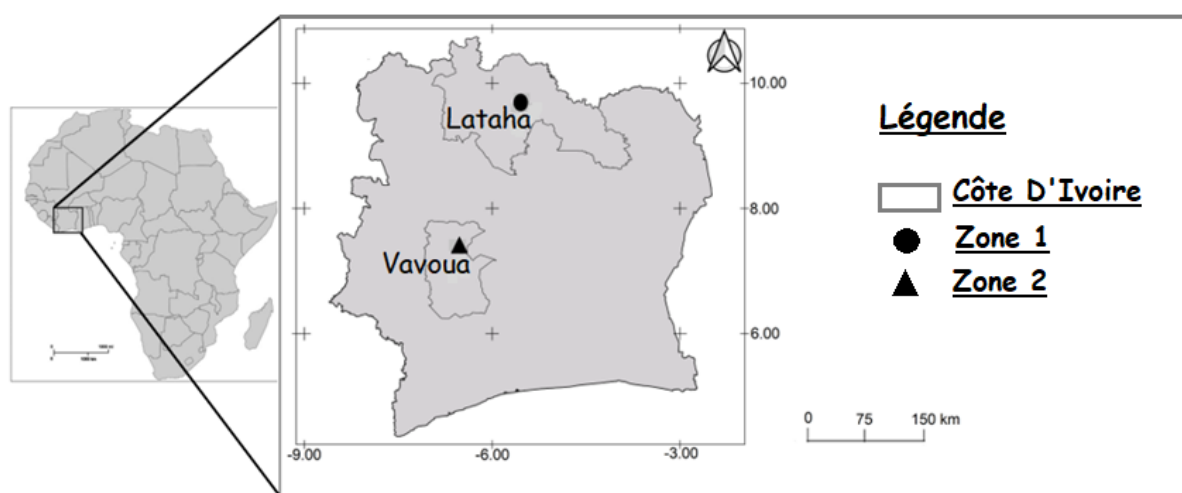


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

## 2.2 COLLECTE DE DONNÉES

### 2.2.1 DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Les variables météorologiques, notamment la température de l'air (TAir), l'humidité relative (RH), la radiation solaire (SRad), la vitesse du vent (WS) et les précipitations (P), ont été mesurées à un pas de temps horaire dans les deux zones étudiées au cours des années 2020, 2021 et 2022. Dans la première zone, les données ont été collectées à l'aide d'une station agrométéorologique de type HOBO, située aux coordonnées 9,34° de latitude Nord et 5,34° de longitude Ouest. Les capteurs de température, d'humidité relative et de pluviométrie étaient installés à une hauteur de 1,5 mètre au-dessus du sol, tandis que ceux mesurant la radiation solaire et la vitesse du vent étaient positionnés à 2,0 mètres au-dessus du sol.

Dans la deuxième zone, les observations ont été réalisées à l'aide d'une station agrométéorologique de type Campbell, située aux coordonnées 7,366° de latitude Nord et 6,466° de longitude Ouest. Les capteurs étaient installés à la même hauteur que ceux utilisés dans la première zone.

### 2.2.2 DONNÉES D'HUMECTATION FOLIAIRE

La collecte des données d'humectation foliaire a débuté sur le premier site, dans un parc à bois situé à 100 mètres de la station agrométéorologique. Ce parc, d'une superficie de 0,80 hectare, abrite 63 plants d'anacardiers. Les données ont été collectées du 13 au 22 août 2022, sur une période de 10 jours. La notation des heures d'humectation foliaire a été effectuée selon la diagonale du parc, couvrant ainsi 8 plants d'anacardiers [20].

Sur le deuxième site, les relevés ont été effectués sur une parcelle paysanne située à 1,98 kilomètre de la station agrométéorologique. Cette parcelle de 8 hectares a été délimitée pour la collecte des données sur une superficie d'un hectare, comprenant 100 pieds d'anacardiers, espacés de 10 mètres. Les mesures ont été réalisées du 30 mai au 8 juin 2023, également sur une période de 10 jours. La méthode de collecte suivait la diagonale de l'espace, couvrant 8 plants [20]. Les périodes de collecte pour les deux sites correspondent à la saison pluvieuse, propice au développement des agents pathogènes.

Sur les deux sites, des rubans ont été utilisés pour identifier les côtés nord, sud, est et ouest des arbres, ainsi que les bourgeons en surface et à l'intérieur de chaque côté. Chaque bourgeon a été examiné pour déterminer la présence d'eau sur les feuilles. Si une goutte d'eau, même infime, était observée sur au moins une feuille, une valeur de 1 était attribuée, sinon la valeur était 0. L'observation globale pour chaque arbre était notée 1 si au moins un côté montrait la présence d'eau, et 0 si tous les côtés étaient secs. Si au moins un arbre affichait la valeur 1 durant une heure d'observation, alors l'état d'humectation des feuilles de la parcelle entière recevait la valeur 1, sinon 0.

En parallèle des observations des feuilles, des notations ont été réalisées concernant les conditions météorologiques, telles que l'aspect du ciel, la présence de vents violents, les pluies soudaines et l'intensité des radiations solaires, aussi bien de jour que de nuit.

## **2.3 ANALYSE DES TENDANCES TEMPORELLES**

### **2.3.1 VARIATION HORAIRE JOURNALIÈRE**

L'analyse des variations horaires journalières des variables a été réalisée en traçant graphiquement l'évolution des valeurs minimales, moyennes et maximales pour chaque journée. Les périodes de pics et de creux, ainsi que les variations significatives, ont été identifiées afin de dégager les tendances générales.

### **2.3.2 ANALYSE DES RELATIONS ENTRE LES VARIABLES**

Pour mieux comprendre les tendances temporelles entre les variables, des schémas de corrélation ou d'inversion entre différentes heures ont été recherchés au fil des années. Une corrélation proche de 1 indique une forte corrélation positive, tandis qu'une valeur proche de -1 suggère une forte corrélation négative [21].

## **2.4 ANALYSES DESCRIPTIVES DES DONNÉES COLLECTÉES**

### **2.4.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES**

#### **2.4.1.1 DISTRIBUTION DES VARIABLES MÉTÉOROLOGIQUES**

Les observations correspondant aux moments où il y avait de l'eau sur les feuilles ont été extraites pour examiner la tendance des variables. Ainsi les tendances ont été déterminées pour évaluer l'évolution des valeurs autour desquelles les différentes variables s'articulent lorsque de l'eau est présente.

#### **2.4.1.2 MESURES DE TENDANCE CENTRALE ET DE DISPERSION**

L'étude a été faite pour examiner les variables météorologiques afin d'obtenir des mesures de tendance centrale et de dispersion pour chaque variable. Les moyennes ont été calculées pour évaluer la valeur centrale de chaque variable, tandis que les écart-types ont été utilisés pour quantifier la dispersion ou la variabilité des données par rapport à la moyenne.

#### **2.4.2 DYNAMIQUE DE L'HUMECTATION DES FEUILLES**

L'analyse de l'évolution de l'humectation des feuilles a été effectuée en examinant sa variation au fil du temps en relation avec les variables météorologiques impliquées. Des marqueurs ont été positionnés lors des périodes humides afin de les superposer aux variations des variables météorologiques. Cette méthode permet de détecter les différentes séquences de durée pendant lesquelles les feuilles restent humides, ainsi que les valeurs des variables qui favorisent l'apparition et la dissipation de l'eau sur le feuillage.

## **3 RÉSULTATS**

### **3.1 VARIATION DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES HORAIRES DANS LES ZONES D'ÉTUDE**

Dans la première zone, l'évolution des variables météorologiques observées au cours des années 2020 à 2022, met en évidence différentes tendances générales pour chaque variable (Figure 2). Pour la variable vitesse du vent, les périodes de pics sont concentrées au cours des mois de janvier, février et mars. Les périodes creuses sont très souvent marquées entre les mois d'août et septembre. Concernant la température, des variations très marquées atteignant souvent un maximum horaire journalier de 40°C ont été observées dans les mois de février, mars, avril et mai. Les températures horaires sont décroissantes dans les mois de juillet, août, septembre, octobre et novembre. Contrairement à la température, l'humidité relative horaire journalière est croissante sur la période mai, juin, juillet et se stabilise ensuite sur la période d'août, septembre et octobre. Également, les précipitations sont beaucoup marquées sur la période couvrant les mois d'avril à novembre avec des périodes creuses observées à certains moments de l'année. Pour la radiation solaire, la variation horaire journalière, laisse voir une variation stable au cours de l'année avec une réduction d'amplitude dans les mois de juillet et août.

Dans la seconde zone, les vents sont marqués tout le long de l'année avec des pics horaires significatives dans les périodes des mois d'avril, mai, juin, juillet (Figure 3). Concernant les températures, elles sont moyennement élevées comparativement

à la première zone avec une tendance à rester stable tout le long de l'année. L'humidité relative, quant à elle, reste au-dessus de la moyenne pratiquement toute l'année avec des décroissances au cours des mois de décembre, janvier et février. Les précipitations sont présentes sur toute l'année également avec des pauses pluviométriques dans les mois de décembre, janvier et février. Quant à la radiation solaire, elle reste pratiquement stable sur toute l'année avec des pics horaires journaliers allant au-dessus de 500 W/m<sup>2</sup>.

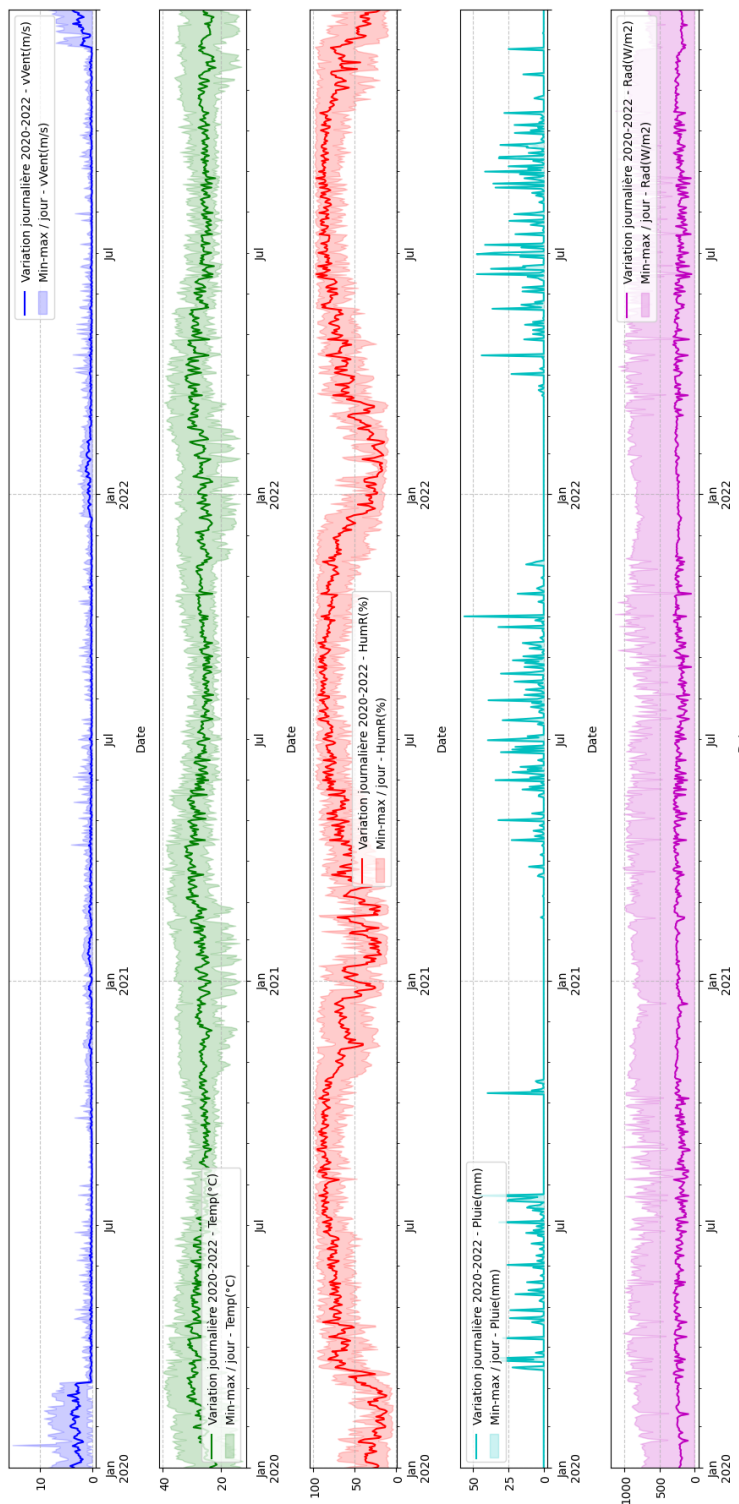


Fig. 2. Evolution horaire journalière des paramètres météorologiques sur la période (2020-2022) en zone 1

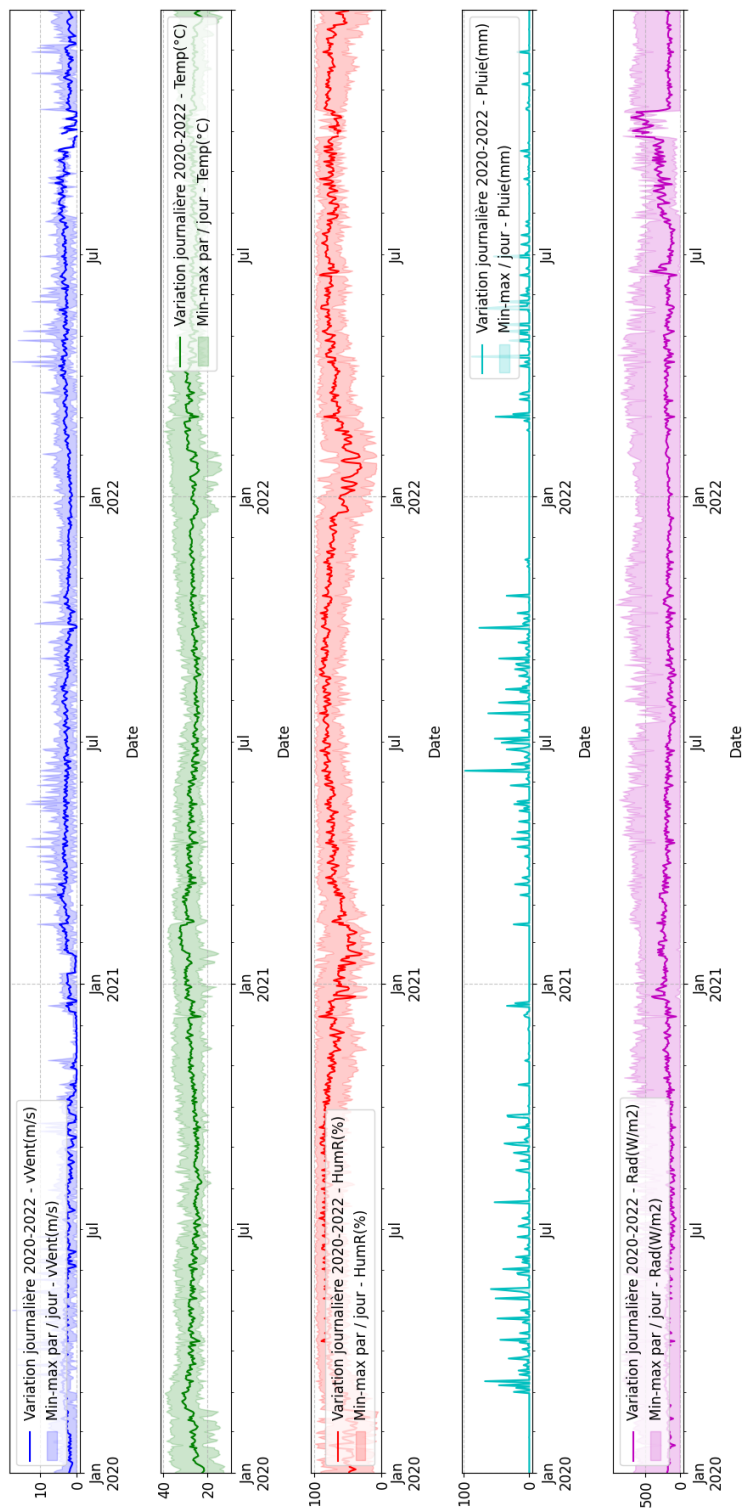


Fig. 3. Evolution horaire journalière des paramètres météorologiques sur la période (2020-2022) en zone 2

### 3.2 SCHEMA DE CORRELATION OU D'INVERSION ENTRE LES VARIABLES

L'examen des relations entre toutes les paires de variables a permis de montrer les liens statistiques qui existent entre les différentes variables. Ainsi pour la zone 1 (Figure 4), la variable humidité relative présente une corrélation inverse allant de -

0.68 à -0.44 avec la vitesse du vent, de -0.60 à -0.52 avec la température et de -0.44 à -0.39 avec la radiation solaire. La variable température quant à elle, à une corrélation élevée allant 0.71 à 0.72 avec la radiation solaire.

Dans la deuxième zone (Figure 5), il ressort une corrélation inverse assez marquée entre l'humidité relative et la température allant de -0.90 à -0.73. Également une corrélation élevée allant de 0.64 à 0.70 entre la température et la radiation solaire.

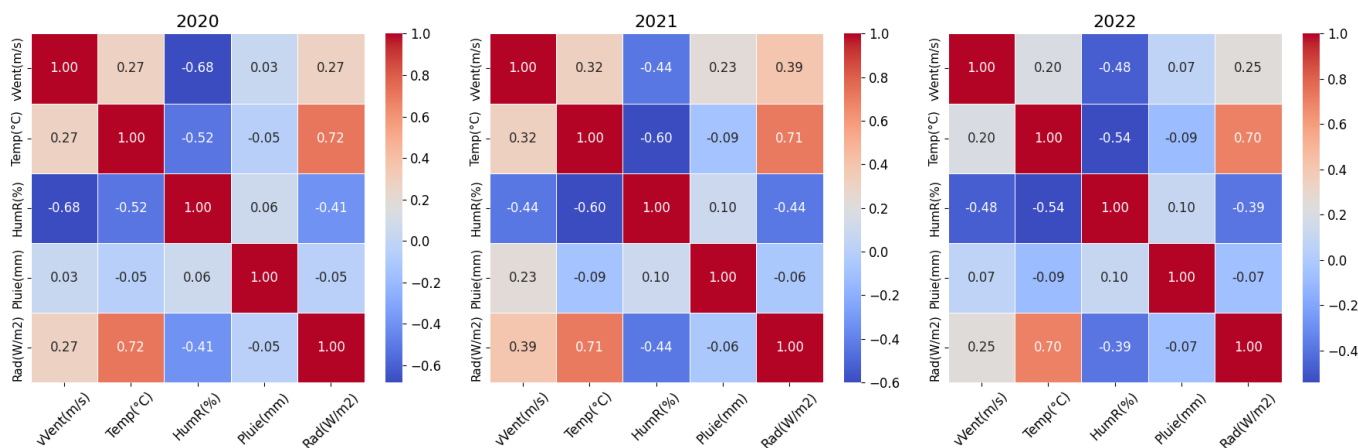


Fig. 4. Relation entre les variables dans la zone 1

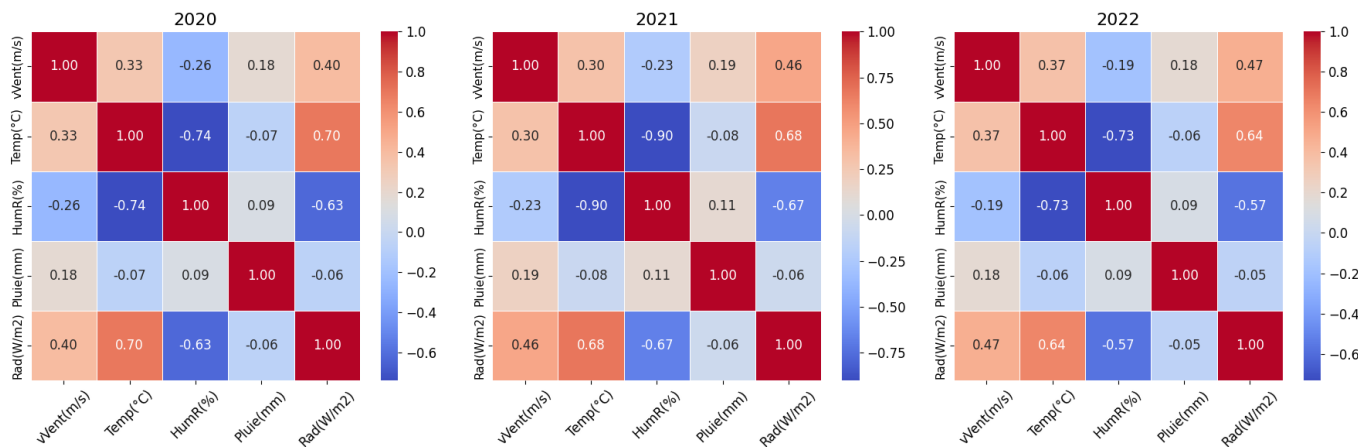


Fig. 5. Relation entre les variables dans la zone 2

### 3.3 EVOLUTION DE L'HUMECTATION DES FEUILLES

L'évolution de l'humectation des feuilles sur les sites 1 et 2, dévoile des tendances intéressantes concernant la durée pendant laquelle les feuilles restent humides. Dans la première zone, la présence d'eau sur les feuilles est constatée en périodes d'humidité relative élevée, accompagnée de conditions météorologiques favorables marquées par de faibles niveaux de température, de rayonnement solaire et de vent (Figure 6). Ces mêmes observations sont faites dans la seconde zone (Figure 7), où il a été observé beaucoup plus de périodes de durée d'humectation foliaire (DHF). De plus, dans ces deux zones, lorsque des événements pluvieux coïncident avec les conditions météorologiques propices aux autres variables, cela engendre une persistance accrue de la présence d'eau à la surface des feuilles (début: 82 – fin: 106; Figure 6) et (début: 59 – fin: 77; Figure 7).

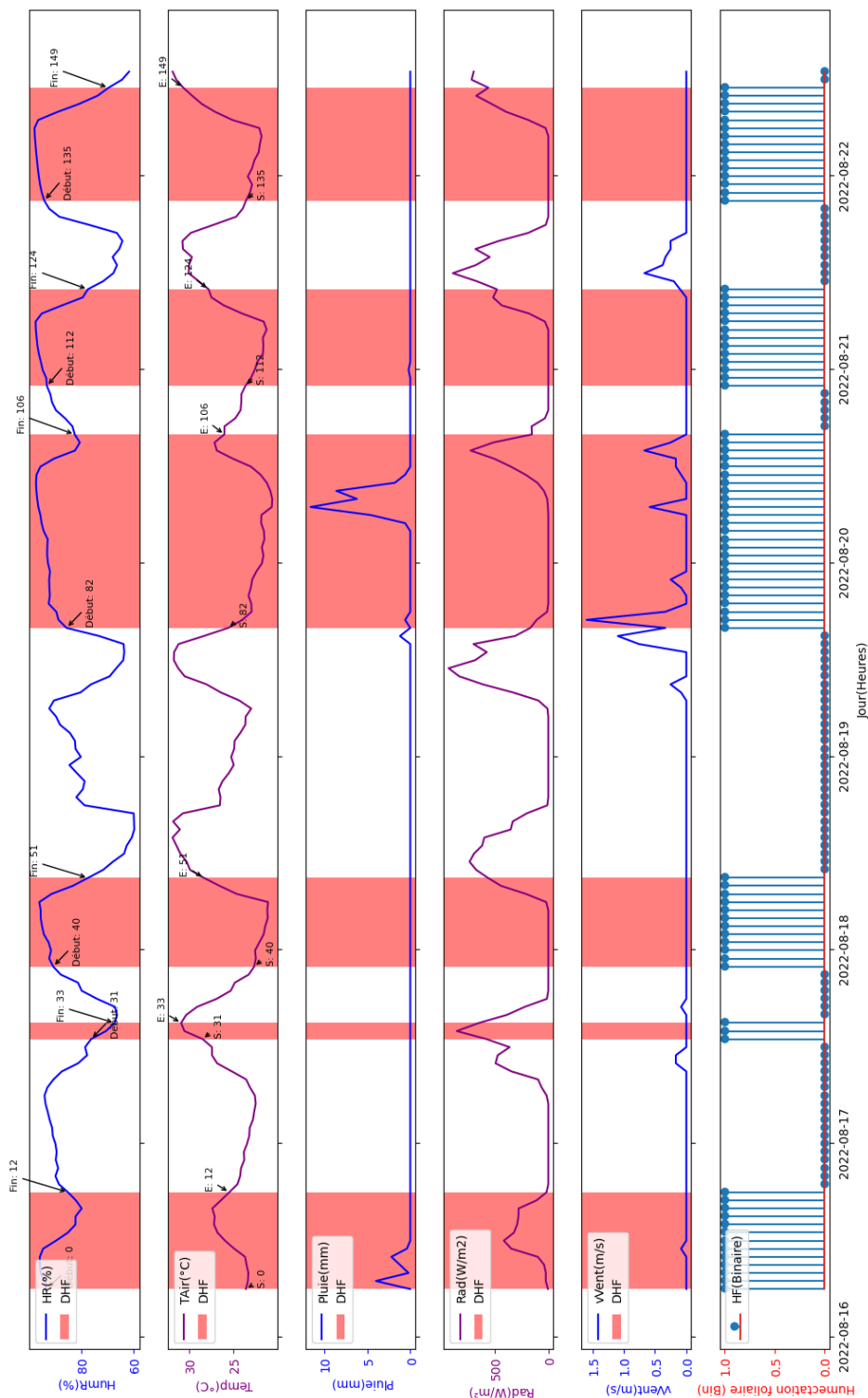


Fig. 6. Evolution des variables météorologiques en relation avec l'humidité des feuilles dans la zone 1

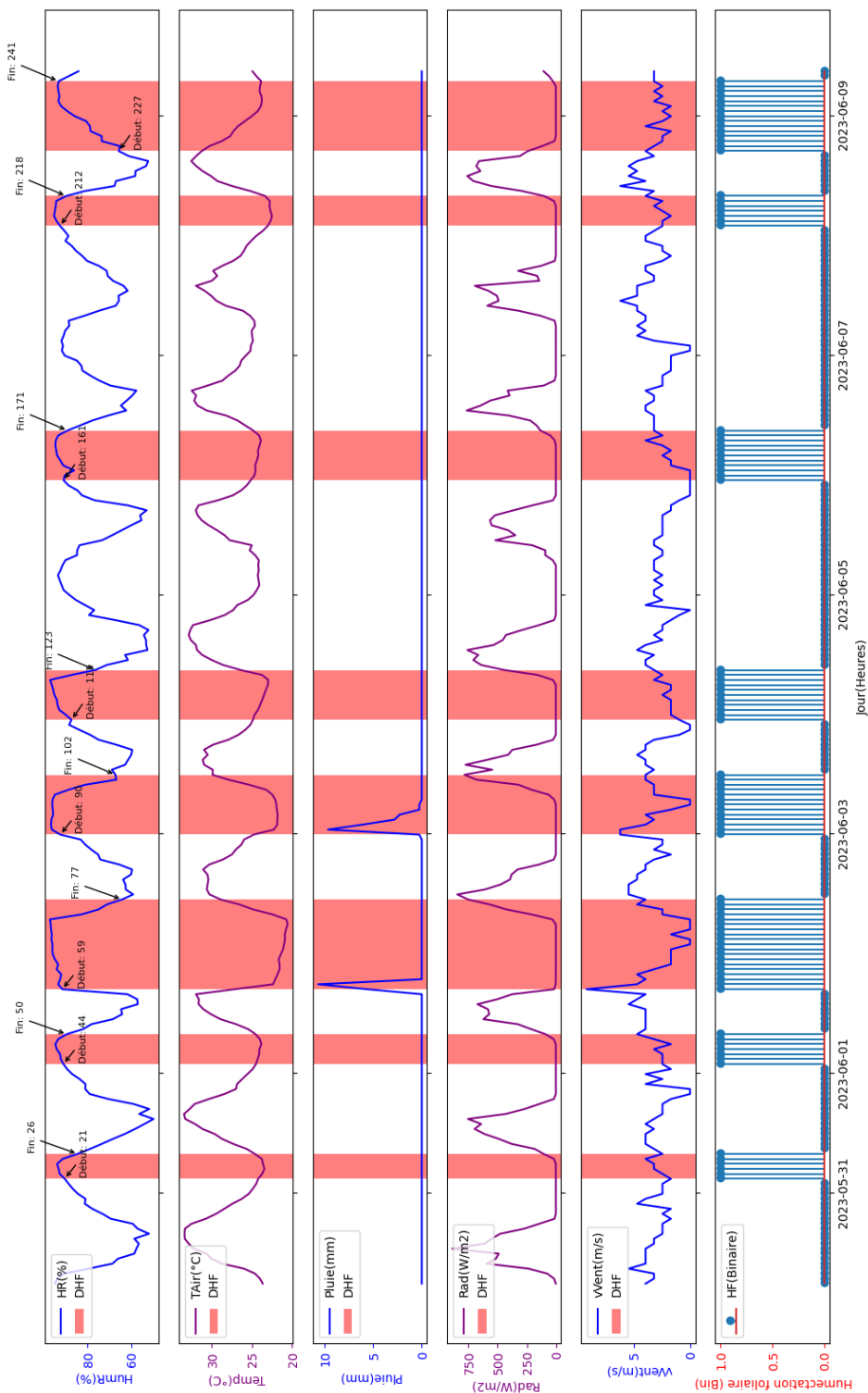


Fig. 7. Evolution des variables météorologiques en relation avec l'humidité des feuilles dans la zone 2

### 3.4 TENDANCE DES VARIABLES MÉTÉOROLOGIQUES

La distribution des variables météorologiques en présence d'eau met en exergue les différentes fréquences des valeurs présent par les variables météorologiques en présence d'eau sur le feuillage. Ainsi dans la première zone, la courbe décroissante de l'humectation pour la variable température, montre une baisse des fréquences d'apparition d'eau sur le feuillage lorsque

les valeurs de température sont croissantes (Figure 8-a). De même que pour la radiation solaire et la vitesse du vent (Figure 8-b et Figure 8-c). Contrairement à ces variables, l'humidité relative enregistre des fréquences d'apparition d'eau élevée sur le feuillage, lorsque ces valeurs sont également élevées (Figure 8-d). En ce qui concerne les précipitations, il a été observé une concentration des fréquences autour de la valeur zéro (Figure 8-e).

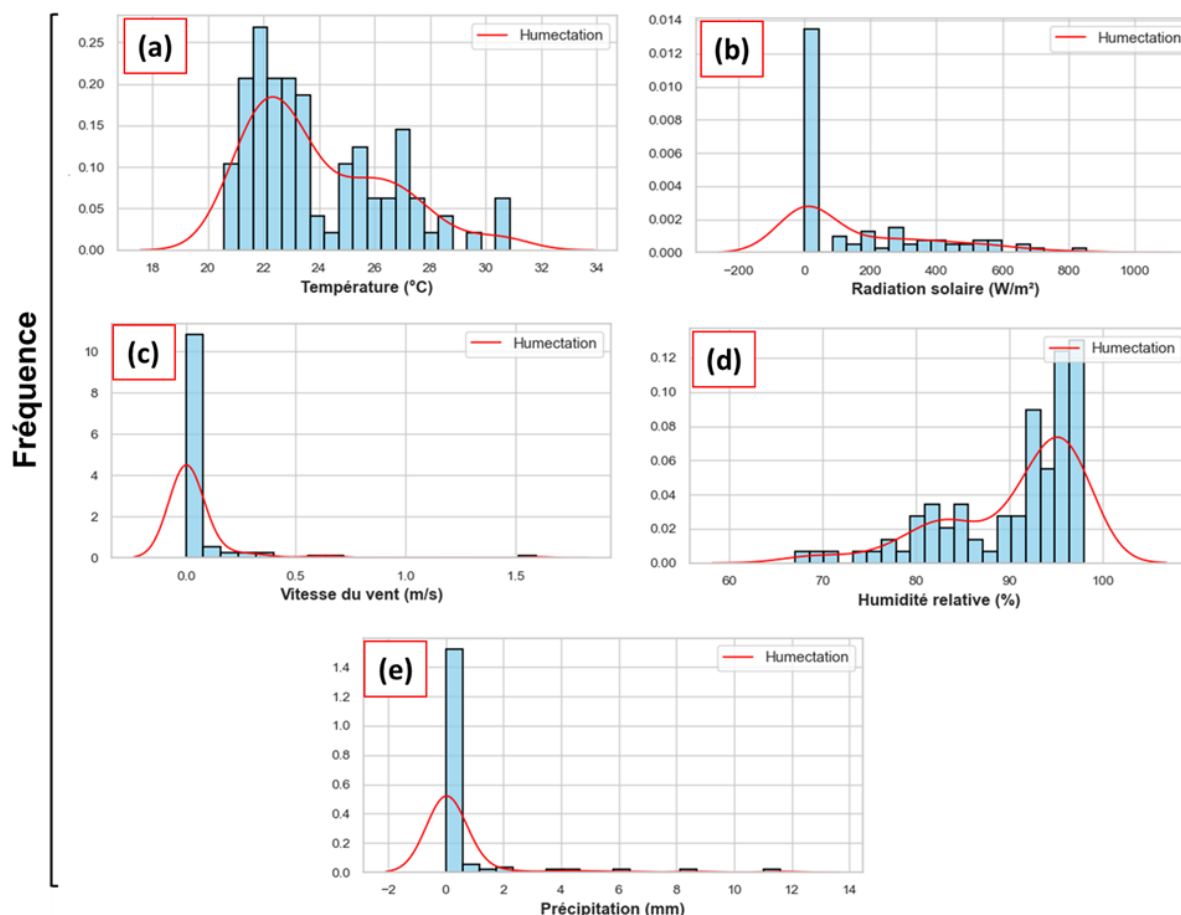


Fig. 8. Distribution des variables météorologiques en présence d'eau dans la zone 1

Au niveau de la seconde zone, il a été également observé des fréquences élevées d'humectation des feuilles pour les variables températures, radiation solaire et vitesse du vent lorsque les valeurs sont baissantes (Figure 9-a, 9-b et 9-c). Contrairement à l'humidité relative qui enregistre des fréquences élevées d'humectation foliaire lorsque les valeurs sont croissantes (Figure 9-d). Les précipitations se concentrent majoritairement autour de la valeur zéro lorsque nous sommes en présence d'eau sur les feuilles (Figure 9-e).

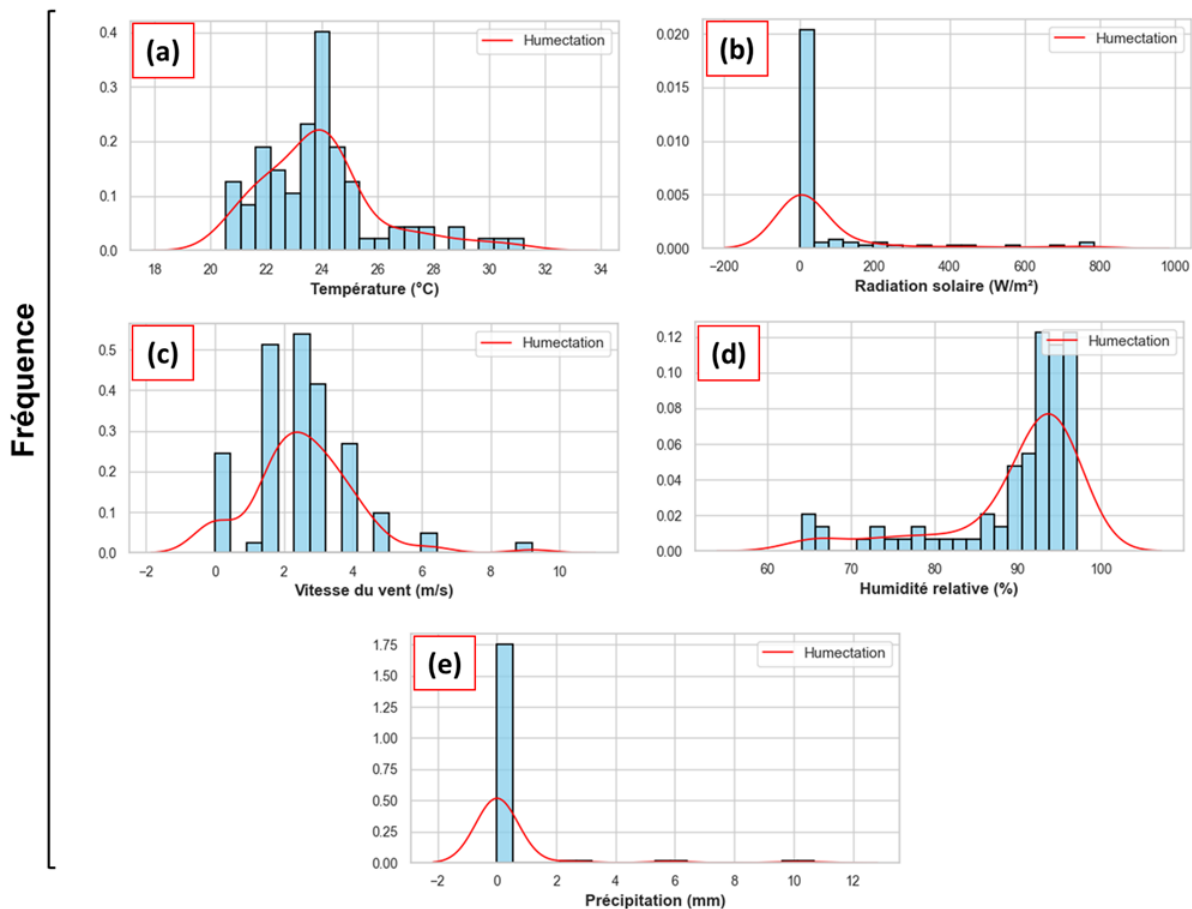


Fig. 9. Distribution des variables météorologiques en présence d'eau dans la zone 2

Les mesures de tendance centrale enregistrées sur la période de collecte des données ne varient pas grandement à quelques exceptions près. Les tendances observées au niveau des variables température, humidité relative et précipitation présentent des moyennes et écarts-types relativement stables entre les deux zones (Tableau I). Par ailleurs, la radiation solaire et la vitesse du vent montrent des variations significatives entre les deux zones.

Tableau 1. Différences significatives des variables météorologiques pendant l'humectation des feuilles dans les deux zones

Variables	Moyenne		Ecart-type		Niveau de significativité (p-value)
	Zone 1	Zone 2	Zone 1	Zone 2	
Température (°C)	23,99	23,95	2,51	2,15	
Humidité relative (%)	90,49	89,72	7,32	8,30	
Radiation solaire (W/m <sup>2</sup> )	158,02	63,47	215,39	168,89	**
Vitesse du vent (m/s)	0,05	2,57	0,19	1,51	***
Précipitations (mm)	0,46	0,43	1,72	1,76	

## 4 DISCUSSION

### 4.1 VARIATION DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES HORAIRES DANS LES ZONES D'ETUDES

L'étude a révélé des différences significatives dans les conditions météorologiques entre les deux zones étudiées, impactant directement l'humectation des feuilles d'anacardier et la gestion des cultures. Dans la première zone, les données de 2020 à 2022 montrent des variations saisonnières marquées. La vitesse du vent est élevée de janvier à mars, avant de diminuer entre

août et septembre. Ces fluctuations peuvent favoriser la propagation des spores fongiques et augmenter le risque de maladies foliaires, notamment durant les périodes de vents forts et d'humidité élevée [22]. De plus, les températures atteignent fréquemment 40°C de février à mai, provoquant un stress hydrique chez les plantes, ce qui les rend plus vulnérables aux infections fongiques [23]. L'humidité relative augmente de mai à juillet, coïncidant avec la saison des pluies, ce qui favorise l'humectation des feuilles et justifie un ajustement des traitements fongicides [24].

En revanche, dans la seconde zone, les vents sont réguliers tout au long de l'année, avec des pics entre avril et juillet. Ce microclimat favorise l'évaporation et réduit l'humectation prolongée des feuilles [25]. Les températures y sont plus stables, limitant ainsi le stress thermique et facilitant une meilleure gestion de l'eau pour les cultures d'anacardiers [26]. Bien que l'humidité relative soit généralement élevée, elle diminue en décembre, janvier et février, périodes cruciales pour la gestion des maladies. Ces variations soulignent l'importance d'une surveillance météorologique continue pour une gestion optimale des cultures.

#### **4.2 SCHEMA DE CORRELATION OU D'INVERSION ENTRE LES VARIABLES METEOROLOGIQUES**

Dans la première zone, une corrélation inverse a été observée entre l'humidité relative et des facteurs tels que la température, la vitesse du vent et la radiation solaire. Lorsque la température et la vitesse du vent augmentent, l'humidité relative diminue, ce qui entraîne un séchage plus rapide des feuilles et réduit la durée d'humectation. Cependant, entre mai et octobre, l'augmentation de l'humidité relative, couplée à des précipitations fréquentes, favorise la persistance de l'humidité sur les feuilles [27].

Dans la seconde zone, la relation inverse entre l'humidité relative et la température est encore plus marquée, avec des corrélations allant de -0,90 à -0,73. Cela signifie que les feuilles restent humides plus longtemps lorsque la température est plus basse. Une humidité élevée associée à des températures plus fraîches favorise la condensation de l'eau sur les feuilles, prolongeant ainsi leur humidification. Cette situation, courante en période de fortes précipitations, augmente le risque de maladies foliaires [28].

Dans les deux zones, une corrélation positive entre la température et la radiation solaire a été observée, montrant que des niveaux élevés de radiation entraînent une évaporation plus rapide de l'eau sur les feuilles, réduisant ainsi l'humectation durant les périodes ensoleillées. Cependant, en juillet et août, une légère baisse de la radiation solaire, combinée à une humidité élevée, prolonge la présence d'eau sur les feuilles, créant des conditions propices au développement des maladies fongiques [29].

#### **4.3 DYNAMIQUE DE LA DUREE D'HUMECTATION DES FEUILLES**

L'évolution de la durée d'humectation des feuilles (DHF) dans les deux zones étudiées met en évidence des dynamiques spécifiques liées aux conditions météorologiques. L'humectation des feuilles, un facteur clé dans le développement des maladies foliaires, dépend de plusieurs paramètres tels que l'humidité relative, la température, le rayonnement solaire et la vitesse du vent.

Dans la première zone, les feuilles restent humides principalement pendant les périodes d'humidité relative élevée. Ces périodes coïncident avec des températures plus basses, une faible intensité solaire et des vents légers, ce qui limite l'évaporation et prolonge l'humidité sur les feuilles [10]. Un environnement frais et humide accroît ainsi le risque d'infections fongiques [16].

Dans la seconde zone, la durée d'humectation est plus longue en raison d'une humidité relative plus élevée et de températures modérées. Ces conditions favorisent la formation de rosée et la persistance de l'eau après les précipitations. Lorsque les précipitations coïncident avec des températures basses, un faible rayonnement solaire et des vents calmes, la DHF augmente de manière significative [14].

Ces observations sont cruciales pour la gestion des cultures d'anacardiers. Dans la seconde zone, où l'humidité persiste plus longtemps, des mesures préventives, telles que l'application de fongicides et l'ajustement des pratiques culturales, sont nécessaires pour limiter les risques de maladies [28]. Une gestion intégrée basée sur une surveillance météorologique rigoureuse est essentielle pour minimiser ces risques.

#### 4.4 IMPACT DES VARIABLES METEOROLOGIQUES SUR L'HUMECTATION DES FEUILLES

Les tendances des variables météorologiques, telles que la température, l'humidité relative, la radiation solaire et la vitesse du vent, ont démontré leur influence sur l'humectation des feuilles dans les deux zones étudiées. Dans la première zone, la fréquence d'humectation diminue à mesure que la température augmente, ce qui s'explique par une évaporation plus rapide de l'eau sur les feuilles en période de chaleur. De plus, une radiation solaire intense et des vents plus forts accélèrent ce processus en augmentant la température des feuilles et le flux d'air [30]. À l'inverse, une humidité relative élevée favorise la persistance de l'eau, car elle réduit la pression de vapeur et ralentit l'évaporation.

Dans la seconde zone, des tendances similaires sont observées. Des températures plus basses, une faible radiation solaire et des vents calmes prolongent l'humectation, créant des conditions favorables au développement des maladies [31]. Malgré les variations climatiques régionales, les mêmes processus influencent l'humectation des feuilles dans les deux zones.

Les données soulignent l'importance de surveiller l'humidité relative et la température pour anticiper les périodes critiques de risque fongique, même en l'absence de précipitations directes. Cela montre qu'une gestion efficace des maladies foliaires doit s'adapter aux conditions climatiques locales et aux variables influençant la persistance de l'humidité [11].

Les valeurs moyennes des variables météorologiques dans les deux zones révèlent des différences significatives qui affectent l'humectation des feuilles d'anacardier. Les températures, l'humidité relative et les précipitations montrent des moyennes et des écarts-types relativement stables entre les zones, indiquant des conditions climatiques globalement similaires sur une base horaire. Cette stabilité permet de prévoir avec fiabilité les périodes de risque d'humectation prolongée et, par conséquent, de maladies fongiques.

Cependant, des variations significatives ont été observées pour la radiation solaire et la vitesse du vent. Une radiation solaire plus intense dans l'une des zones favorise une évaporation plus rapide de l'eau sur les feuilles, réduisant ainsi la durée d'humectation. De même, une vitesse de vent plus élevée accentue le séchage des feuilles. Ces deux facteurs sont essentiels à prendre en compte dans la gestion de l'humectation foliaire et doivent être surveillés dans les stratégies phytosanitaires.

Ces variations climatiques régionales mettent en évidence l'importance d'adapter les pratiques agricoles en fonction des conditions locales afin de minimiser les risques de maladies.

## 5 CONCLUSION

L'étude met en évidence le rôle déterminant des conditions météorologiques sur la durée d'humectation des feuilles (DHF) d'anacardier, influençant ainsi la propagation des maladies foliaires. Les résultats montrent que des périodes prolongées d'humidité relative élevée et de faibles températures prolongent l'humectation des feuilles, augmentant le risque de maladies. Les différences entre les deux zones étudiées soulignent l'importance d'une approche régionale dans la gestion des cultures. À Lataha, les températures élevées et les vents forts réduisent l'humidité des feuilles, tandis qu'à Vavoua, des conditions plus stables et une humidité relative persistante favorisent une DHF plus longue. Ces variations montrent que la gestion des maladies doit être adaptée aux particularités climatiques locales. Les corrélations observées entre les variables météorologiques et la DHF justifient la nécessité de stratégies de gestion intégrée, incluant une surveillance régulière des conditions météorologiques. En conséquence, l'étude souligne que l'anticipation des périodes critiques pour les cultures d'anacardier est essentielle pour prévenir les maladies, ce qui permettrait d'améliorer les rendements et de réduire les pertes liées aux conditions climatiques adverses.

## REFERENCES

- [1] A. Weiss, «Leaf wetness: measurements and models,» *Remote Sensing Reviews*, vol. 5, pp. 215–224, 1990.
- [2] L. Huber and T. J. Gillespie, «Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology,» *Annual Review of Phytopathology*, vol. 30, pp. 553–577, 1992.
- [3] C. A. Brewer and W. K. Smith, «Patterns of leaf surface wetness for montane and subalpine plants,» *Plant, Cell and Environment*, vol. 20, pp. 1–11, 1997.
- [4] O. Klemm, C. Milford, M. A. Sutton, G. Spindler, and E. van Putten, «A climatology of leaf surface wetness,» *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 71, pp. 107–117, 2002.
- [5] E. Maussion, «La Côte d'Ivoire double l'Inde sur la cajou, mais peine à plus transformer,» *Jeune Afrique*, 2024. [Online]. Available: <https://www.jeuneafrique.com/1539281/economie-entreprises/la-cote-divoire-double-linde-sur-la-cajou/#:~:text=Devenu>.

- [6] S. Nakpalo, S. Sibirina, K. Tchoa, A. Kouabenan, K. Mongomake, and K. Daouda, «Parasitical Fungi in Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Orchard of Côte d'Ivoire,» *Plant Pathology Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 82–88, 2017.
- [7] S. Soro, S. Sanogo, G. M. Ouattara, N. Silue, D. Kone, and Y. J. Kouadi, «Analyse descriptive et facteurs agronomiques d'avant-garde de l'état sanitaire des vergers anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) en Côte d'Ivoire,» *European Scientific Journal (ESJ)*, vol. 16, no. 30, 2020.
- [8] A. N. Soro, S. Soro, G. Yeo, A. M. N. Kouman, A. A. Tehua, N. Silue, K. Abo, and E. D. Kone, «Severity and distribution updated of anthracnose on cashew trees (*Anacardium occidentale* L.) in Côte d'Ivoire,» *Agronomie Africaine Sp*, vol. 34, no. 1, 2022.
- [9] S. Zito, T. Castel, Y. Richard, M. Rega, and B. Bois, «Optimization of a leaf wetness duration model,» *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 291, 2020.
- [10] K. Amani, K. R. L. Coulibaly, E. J. Tondoh, Z. A. Ouattara, S. Soro, Y. M. Minhibo, C. K. Kouakou, E. Aynekulu, and C. Kouamé, «Weather-informed recommendations for pest and disease management in the cashew production zone of Côte d'Ivoire,» *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 15, 2023.
- [11] P. C. Sentelhas, A. Dalla Marta, S. Orlandini, E. A. Santos, T. J. Gillespie, and M. L. Gleason, «Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration,» *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 148, no. 3, pp. 392–400, 2008.
- [12] O. Carisse, A. Lévassieur, and C. Provost, «Influence of leaf wetness duration and temperature on infection of grape leaves by *Elsinoe ampelina* under controlled and vineyard conditions,» *Plant Disease*, vol. 104, no. 11, pp. 2817–2822, 2020.
- [13] Z. Gao and X. Wang, «Spatial variability of leaf wetness under different soil water conditions in rainfed jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) in the loess hilly region, China,» *Journal of Arid Land*, vol. 14, pp. 70–81, 2022.
- [14] R. A. Makale, S. K. Mourice, and F. A. Kapinga, «Spatial-temporal variability in under-canopy soil fertility and nutritional contents of cashew trees in Makonde Plateau of southeastern Tanzania,» *Heliyon*, vol. 9, no. 11, e22321, 2023.
- [15] T. Rowlandson, M. Gleason, P. Sentelhas, T. Gillespie, C. Thomas, and B. Hornbuckle, «Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management,» *Plant Disease*, vol. 99, no. 3, pp. 310–319, 2015.
- [16] M. Solís and V. Rojas-Herrera, «Approaches for the prediction of leaf wetness duration with machine learning,» *Biomimetics*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [17] A. Makale, S. Mourice, and F. Kapinga, «Assessment of farmers' knowledge on the foliar fertilizer use for improved cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in south-eastern Tanzania,» *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 101092, 2024.
- [18] A. J. B. Djaha, H. A. N'da, K. E. Koffi, N. A. Adopo, and S. Ake, «Diversité morphologique des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) introduits en Côte d'Ivoire,» *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, vol. 23, pp. 244–258, 2014.
- [19] A. A. Giscard, N. K. Christophe, and A. A. Romaric Rodolphe, «Impact de la variabilité climatique sur les calendriers agricoles dans la sous-préfecture de Vavoua (Centre-Ouest Ivoirien),» *European Scientific Journal (ESJ)*, vol. 18, no. 27, p. 255, 2022.
- [20] A. Banito, E. K. Kpemoua, R. K. Dayiwo, E. Tedihou, and R. Sikirou, «Inventaire des maladies de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans la préfecture de Tchamba au Togo,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 15, no. 6, pp. 2514–2525, 2022.
- [21] J. Huang and Q. Li, *Statistical Methods for Meteorological Data Analysis*, 2015.
- [22] R. Lahlali, M. Taoussi, S.-E. Laasli, G. Gachara, R. Ezzougari, Z. Belabess, K. Aberkani, A. Assouguem, A. Meddich, M. El Jarroudi, and E. Ait Barka, «Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions,» *Crop and Environment*, vol. 3, no. 3, pp. 159–170, 2024.
- [23] I. Balogoun, L. Ahoton, A. Saidou, B. Daouda, V. Ezin, G. Amadji, B. Ahojuendo, S. Babatounde, D. Chougourou, and A. Ahanchede, «Effect of climatic factors on cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in Benin (West Africa),» *Journal of Earth Science & Climatic Change*, vol. 7, 2015.
- [24] M. Abdulai, K. Santo, P. Norshie, S. Larbi-Koranteng, F. Ackah, D. Afreh, and A. Mohamed, «Diseases and insect pests associated with cashew (*Anacardium occidentale* L.) orchards in Ghana,» *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, vol. 3, pp. 23–32, 2021.
- [25] M. Carr, «The water relations and irrigation requirements of cashew (*Anacardium occidentale* L.): A review,» *Experimental Agriculture*, vol. 50, 2014.
- [26] D. O. Bello, L. E. Ahoton, A. Saidou, I. P. B. Akponikpe, V. A. Ezin, I. Balogoun, and N. Aho, «Climate change and cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in Benin (West Africa): perceptions and endogenous measures of adaptation,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 11, no. 3, p. 924, 2017.
- [27] P. Asadi and D. Tian, «Estimating leaf wetness duration with machine learning and climate reanalysis data,» *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 307, 2021.

- [28] C. Alcarde Alvares, I. Cegatta, E. Zauza, E. Soliman, A. Garcia, M. Zonete, and J. Stape, «Modeling the leaf wetness duration measured in tropical and subtropical environments,» 2024.
- [29] A. Dalla Marta, R. Magarey, and S. Orlandini, «Modelling leaf wetness duration and downy mildew simulation on grapevine in Italy,» *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 132, pp. 84–95, 2005.
- [30] K. S. Kim, S. E. Taylor, and M. L. Gleason, «Development of a leaf wetness model using a fuzzy logic system,» *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 127, pp. 53–64, 2004.

## Effets de l'aménagement d'une cuvette oasienne pour une gestion durable des ressources naturelles dans le sud-est du Niger

### [ The effects of developing an oasis basin for sustainable natural resource management in south-eastern Niger ]

Maigari MALAM ASSANE<sup>1</sup>, Lawandi KANEMBOU<sup>1</sup>, Moctar ALI SALEY<sup>1</sup>, and Ali MAHAMANE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département sol et Environnement, Université de Diffa, BP 78, Diffa, Niger

<sup>2</sup>Department des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni, BP 10896, Niamey, Niger

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The development of an oasis basin is an important component for its sustainable management. The aim of this study is to understand the contribution of oasis basin management to improving the resilience of farmers while guaranteeing sustainable exploitation of the managed basin. The methodology used consisted of comparing a developed site with an undeveloped site by means of an assessment of the herbaceous vegetation, an inventory of achievements and socio-economic surveys. The results show that the developed site has 2.5 times richer in flora than the undeveloped site. This flora is dominated by Poaceae with 58.33% of the 12 families and 42.86% of the 5 families encountered on the developed and undeveloped sites respectively. The herbaceous cover was 87.75% and 16.56%, on the developed site and the control site respectively. On average, a farmer cultivates 0.37 ha in the developed basin, where the agro-biodiversity is made up of 21 species, compared with 0.6 ha in the undeveloped basin with an agro-biodiversity of 9 species. This type of farming generates a positive profit margin of around €1,145.59 and €501.99, on average per farmer, in the developed and undeveloped basins respectively. 100% of the farmers thought that the main effect of the development outside the basin was to reduce erosion, while over 98% thought that it improved farm income inside the basin. The development of a basin is a guarantee of its sustainable exploitation.

**KEYWORDS:** oasis basin, sustainable management, herbaceous vegetation, agro-biodiversity, Niger.

**RESUME:** L'aménagement d'une cuvette oasienne constitue une composante importante pour sa gestion durable. L'objectif de cette étude est de comprendre l'apport de l'aménagement d'une cuvette oasienne dans l'amélioration de la résilience des exploitants tout en garantissant une exploitation durable de la cuvette aménagée. La méthodologie utilisée a consisté à comparer un site aménagé à un site non aménagé à travers une évaluation de la végétation herbacée, un inventaire des réalisations et des enquêtes socio-économiques. Les résultats montrent que le site aménagé présente 2,5 fois de flore plus riche que le site non aménagé. Cette flore est dominée par les poacées avec 58,33% des 12 familles et 42,86% des 5 familles rencontrées respectivement sur les sites aménagé et non aménagé. Le recouvrement herbacé est de 87,75% et 16,56%, respectivement sur le site aménagé et le site témoin. En moyenne, un exploitant cultive 0,37 ha dans la cuvette aménagée, où l'agro-biodiversité est constituée de 21 spéculations contre 0,6 ha dans la cuvette non aménagée avec une agro-biodiversité de 9 spéculations. Cette exploitation procure une marge bénéficiaire positive de l'ordre de 1145,59 euros et 501,99 euros, en moyenne par exploitant, respectivement dans les cuvettes aménagée et non aménagée. Les exploitants estiment à 100% que le principal effet de l'aménagement à l'extérieur de la cuvette est la diminution de l'érosion alors qu'ils pensent à plus de 98% à l'amélioration du revenu agricole à l'intérieur de la cuvette. L'aménagement d'une cuvette est un gage pour son exploitation durable.

**MOTS-CLEFS:** cuvette oasienne, gestion durable, végétation herbacée, agro-biodiversité, Niger.

## 1 INTRODUCTION

La dégradation des sols est l'une des principales causes qui menacent l'utilisation durable des ressources naturelles dans le monde [1], [2], [3]. Elle est à la base de perte des services fournis par les écosystèmes terrestres, ce qui accentue la vulnérabilité des populations et entrave le développement économique [4], [5].

La dégradation des ressources naturelles demeure de nos jours un problème majeur pour le développement agro-sylvo-pastoral des zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest [6], [7]. En effet, dans ces zones, l'explosion démographique, l'insécurité et l'état de la pauvreté des sols ne permettent plus un maintien de l'équilibre entre l'exploitation des ressources naturelles et leur régénération du fait de la précarité des conditions climatiques [8], [9]. Ces facteurs ont entraîné une disparition progressive de la végétation et une importante dégradation des terres cultivées [10].

Au Niger, le phénomène de la dégradation de terres est plus accentué dans la partie sud-est du pays caractérisée par la présence des anciennes dunes remobilisées, qui étaient, il y a peu, fixées par la végétation naturelle [11]. Cette réactivation de dunes est provoquée par la raréfaction de la couverture végétale des sols à la suite des effets conjugués des sécheresses et des actions anthropiques [12]. Pour les populations rurales de cette zone, ce phénomène de dégradation des terres se traduit par un risque d'ensablement de l'habitat, des infrastructures (écoles et routes), des champs de cultures, des pâturages, des points d'eau et surtout des cuvettes-oasiennes [13]. En effet, les cuvettes oasiennes sont des entités disposant des terres relativement fertiles et se présentent comme des zones de productions agro-sylvo-pastorale par excellence [13], [14], [15]. L'optimisation de la production dans les cuvettes, constitue alors une opportunité pour la réduction de la pauvreté et la lutte contre l'insécurité alimentaire dans la zone en particulier et dans le pays en général. Dans ce contexte, la protection et l'aménagement de ces cuvettes sont devenus une des priorités de l'Etat et ses partenaires qui conjuguent une grande partie de leurs efforts dans cette partie du pays [13], car la protection des cuvettes est un gage pour l'amélioration et l'aménagement de la production agricole [16]. Cette protection est généralement assurée par la fixation des dunes vives qui ceinturent ces cuvettes et l'aménagement concerne souvent l'aménagement en petite irrigation. Ainsi pour contribuer à assurer durablement la sécurité alimentaire et nutritionnelle et les capacités de résilience aux crises des ménages ruraux dans la région de Diffa, des cuvettes sont aménagées afin de promouvoir la résilience des petits producteurs. La présente étude cherche à comprendre si ces travaux d'aménagement ont amélioré les conditions socio-économiques des exploitants et ont permis une exploitation durable d'une cuvette aménagée.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 MATÉRIEL

Le site d'étude est la cuvette de Karamba située à 11°54'26" Est et 13°42'24" Nord dans la région de Diffa au Niger. Elle est située à environ 30 km au nord de la route Nationale N°1 reliant la région au reste du pays et à 226 m à l'Est du village de même nom (Karamba). Ladite cuvette est à vocation agro-pastorale, elle est exploitée à la fois pour l'agriculture et l'élevage. On y pratique les cultures irriguées et une partie de la cuvette sert d'aire de pâturage surtout en période sèche où le fourrage se fait rare. Les auréoles de sols et de végétation sont agencées en deux couronnes autour d'une plage centrale dans la cuvette. De l'extérieur vers l'intérieur, on rencontre la couronne arborée dominée par un peuplement d'*Hyphaenes thebaica*, puis celle où est pratiquée la polyculture et enfin la plage centrale natronnée et nue. En plus de cette cuvette, la cuvette de Mamalan présentant les mêmes caractéristiques que la cuvette de Karamba mais n'ayant pas bénéficié d'aménagement a été retenue comme témoin. La figure 1 présente la carte de localisation du site d'étude.

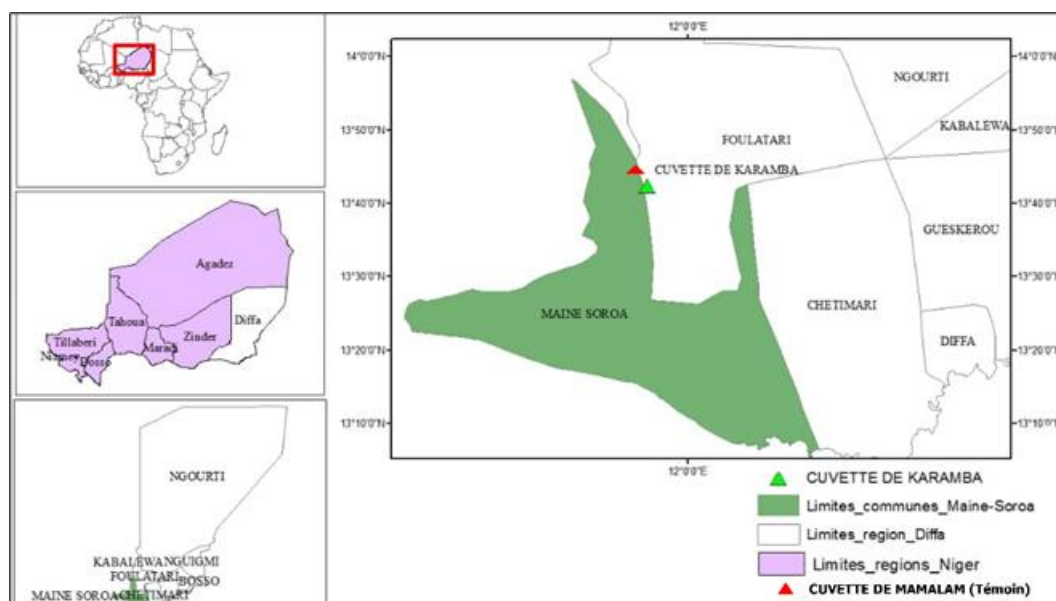


Fig. 1. Carte de localisation du site d'étude

## 2.2 MÉTHODES

La méthodologie utilisée consistait à comparer un site aménagé à un site témoin non aménagé afin de ressortir les effets de l'aménagement. Pour cela, l'aménagement de la cuvette a été étudié sous deux angles: 1) l'aménagement au tour de la cuvette qui a consisté à fixer la dune qui ceinture la cuvette et 2) l'aménagement à l'intérieur de la cuvette qui a concerné l'aménagement en petite irrigation et divers appuis qui l'accompagne.

Pour le premier point, l'étude a permis d'évaluer la végétation herbacée sur les dunes jouxtant les cuvettes (dune fixée pour le site d'étude et dune non fixée pour le témoin). En effet, l'évaluation de cette végétation herbacée, renseigne sur la reconstitution de la couverture végétale qui est l'un des principaux facteurs de la récupération des écosystèmes dégradés [17], [18], [19].

L'étude de la végétation herbacée a consisté à faire des relevés phytosociologiques par la méthode des points quadrats alignés de [20], utilisées largement dans des études récentes [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28].

Pour cela des parcelles de 2 500 m<sup>2</sup> (50 m x 50 m) correspondant à l'aire recommandée par les méthodes d'étude et d'analyse de la flore et de la végétation des zones tropicales [29] ont été matérialisées comme unités d'échantillonnage. Sur le site de fixation, autour de la cuvette de Karamba (site d'étude) et sur le site témoin, au tour de la cuvette de Mamalam. Trois zones (la *zone externe*; en contact avec les alentours de la cuvette, la *zone intermédiaire*; le sommet des dunes et la *zone interne*; en contact de la cuvette) ont été définies de l'extérieur vers les cuvettes. En fonction de ces trois zones, trois parcelles de 2500 m<sup>2</sup> ont été échantillonnées sur chacune d'elles pour un total de 9 parcelles échantillonnées par site. Les relevés ont été effectués sur quatre lignes dans les placettes en raison de 100 points de lecture par ligne pour 400 points de lecture par parcelle. Les lignes sont disposées par intervalle de 10 m, perpendiculairement à la direction des vents dominants. Au total, les relevés ont été effectués sur 3 600 points de lecture (9 parcelles de 400 points) pour chacun de deux sites (site fixé et site témoin). Les espèces végétales sont nommées en référence au lexique des plantes du Niger [30]. Ces relevés phytosociologiques ont permis de déterminer, les paramètres de diversités suivants: la fréquence spécifique (Fsi), la contribution spécifique de chaque espèce rencontrée (Csi (%)), le recouvrement herbacé (r (%)) avec le taux de sol nu (T°sol nu (%)), la diversité alpha (H') et l'indice d'équitabilité de Shannon-Weaver (E) (tableau 1).

**Tableau 1. Paramètres de diversité de la végétation herbacée**

Paramètres	Formules	Signification
La fréquence spécifique (Fsi)	$Fsi = \sum(\text{Points de contacts de } i) \text{ (1)}$	Fsi représente la somme cumulée des contacts d'une i sur la ligne de lecture
La contribution spécifique (Csi(%))	$Csi(\%) = \left(\frac{Fsi}{\sum(Fsi)}\right) \times 100 \text{ (2)}$	Csi (%) représente le poids d'une espèce i par rapport à toutes les espèces recensées
Le recouvrement herbacé : (r (%))	$rsi = \frac{Fsi}{\text{Nb points de lecture}} \text{ (3)}$ $rG(\%) = 100 - T^{\circ}\text{Sol nu}(\%) \text{ (4)}$	rsi représente le recouvrement spécifique de l'espèce i et rG, le recouvrement global T°Sol nu (%), est noté Sol nu, tout contact direct avec le sol sans contact aucun avec de la végétation herbacée sur la ligne de points quadrats
La diversité alpha	$H' = - \sum_{i=1}^s Pi \log_2 Pi \text{ (5)}$	H' étant la diversité alpha, S le nombre total d'espèces, Pi la fréquence relative des espèces ( $Pi = (ni/N), \sum Pi = 1$ ); ni la fréquence de l'espèce i dans l'unité d'échantillonnage, N la somme des fréquences relatives spécifiques.
L'indice d'équitabilité de Shannon-Weaver	$E = \frac{H'}{\log_2 S} \text{ (6)}$	E étant l'indice d'équitabilité, H' l'indice de Shannon-Weaver, S la richesse spécifique.

Pour le second point, un inventaire des réalisations dans les deux cuvettes a été réalisé. L'inventaire consistait à suivre et observer les activités entrant dans le cadre de la production, pendant deux saisons de campagne de l'année 2022 à intervalle régulier d'une semaine. Pendant cette période, toutes les activités (différentes infrastructures, gestion des réalisations, type d'exploitation, nombre et organisation des exploitants) réalisées dans ces deux cuvettes ont été enregistrées et comparées. Des comptes d'exploitation ont été établis et comparés.

Pour appréhender la Perception des effets de l'aménagement par la population, des enquêtes ont été conduites. Les échantillons des enquêtés ont été déterminés proportionnellement au nombre des exploitants rencontrés dans les deux cuvettes (24 ménages à Karamba et 5 ménages à Mamalam) par la méthode d'échantillonnage exhaustif [31] donnée par la formule suivante:

$$n = \frac{t^2 N}{t^2 + I^2(N-1)} \text{ (7)}$$

Avec n: la taille de l'échantillon, N l'effectif des ménages exploitants (N=24 pour Karamba et N=5 pour Mamalam); I la fourchette d'incertitude (I=2e); e: la marge d'erreur (e=5%); t: le coefficient de marge déduit du degré de confiance (1-α) que l'on souhaite (α le niveau de signification statistique = 5%, soit un degré de confiance de 95% et t associé = 1,96).

Le calcul des échantillons des menages exploitants rencontrés dans les cuvettes par l'équation 7 a montré que ces échantillons sont assimilés aux effectifs de ces menages exploitants ces cuvettes (n = 24 à Karamba et n = 5 à Mamalam). Ainsi pour obtenir un échantillon représentatif, un échantillon possédant les mêmes caractéristiques que la population de deux sites, un nombre de ménages identique aux échantillons calculés a été choisi de façon aléatoire parmi les autres ménages de deux communautés. Ces ménages choisis ont été rajoutés aux échantillons calculés pour constituer les échantillons finaux enquêtés. Le tableau 2 renseigne sur les caractéristiques des échantillons enquêtés par sites. Les enquêtes se sont focalisées sur les bénéfiques tirés de l'aménagement.

**Tableau 2. Caractéristiques des échantillons (nombre de ménages) enquêtés**

Communauté	n calculé	Nombre des ménages choisis	Echantillon final
Site aménagé (Karamba)	24	24	48
Site témoin (Mamalam)	5	5	10

Au total 58 ménages ont été enquêtés dont 48 à (site d'étude) et 10 à Mamalam (site témoin).

### 3 RÉSULTATS

#### 3.1 EFFETS DE L'AMENAGEMENT AUTOUR DE LA CUVETTE

Le tableau 3 présente les Familles, les Fréquences, la Contribution et le Recouvrement spécifiques des espèces herbacées rencontrées sur le site d'étude et le site témoin. L'analyse du tableau 3 montre qu'au total, 20 et 8 espèces herbacées ont été recensées, respectivement sur le site fixé et sur le site témoin. Ces espèces sont réparties dans 12 familles botaniques. Le site fixé présente 2,5 fois de flore plus riche que le site témoin. Au niveau du site fixé, la famille la mieux représentée est de loin celle des Poacées avec 7 espèces soit 58,33%. Elle est suivie par les Fabacées et les Cypéracées représentées chacune par 2 espèces soit 16,66%. Les 9 autres familles (Apocynacée, Caesalpinacée, Commelinacée, Cucurbitacée, Euphorbiacée, Orobanchacée, Pedaliacée, Rubiacée et Zygophyllacée) sont moins représentées avec une (1) espèce soit 8,33% chacune. Les 8 espèces du site témoin sont réparties en 5 familles dont la dominante est aussi celles des Poacées avec 3 espèces soit 42,86%. Les 4 familles restantes (Apocynacées, Commelinacées, Cypéracées et Fabacées) sont chacune représentée par une seule espèce soit 14,29%. Le recouvrement total est de 87,75% sur le site fixé contre 16,56% pour le site témoin.

**Tableau 3. Fréquence spécifique, Contribution spécifique et Recouvrement spécifique des espèces herbacées rencontrées sur le site d'étude et le site témoin**

Familles	Espèces	Site fixé (Karamba)			Site témoin (Mamalam)		
		Fsi	Csi (%)	R (%)	Fsi	Csi (%)	R (%)
Apocynaceae	<i>Pergularia tomentosa</i>	54	1,71	1,50	259	43,46	7,19
Caesalpiniaceae	<i>Cassia italica</i>	9	0,28	0,25	0	0,00	0
Commelinaceae	<i>Commelina forskalaei</i>	360	11,40	10,00	77	12,92	2,14
Cucurbitaceae	<i>Cucumis prophetarum</i>	27	0,85	0,75	0	0,00	0
Cyperaceae	<i>Bulbostylis barbata</i>	45	1,42	1,25	0	0,00	0
	<i>Cyperus amabilis</i>	126	3,99	3,50	25	4,19	0,69
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia aegyptiaca</i>	18	0,57	0,50	0	0,00	0
Fabaceae	<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	180	5,70	5,00	36	6,04	1
	<i>Tephrosia linaris</i>	45	1,42	1,25	0	0,00	0
Orobanchaceae	<i>Striga hermonthica</i>	9	0,28	0,25	0	0,00	0
Pedaliaceae	<i>Sesamun alatum</i>	27	0,85	0,75	0	0,00	0
Poaceae	<i>Aristida funiculata</i>	108	3,42	3,00	54	9,06	1,5
	<i>Aristida stipoides</i>	18	0,57	0,50	0	0,00	0
	<i>Brachiaria xantholeuca</i>	72	2,28	2,00	0	0,00	0
	<i>Cenchrus biflorus</i>	1773	56,13	49,25	118	19,80	3,28
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	18	0,57	0,50	9	1,51	0,25
	<i>Eragrotis tremula</i>	63	1,99	1,75	18	3,02	0,5
	<i>Tragus racemosus</i>	81	2,56	2,25	0	0,00	0
Rubiaceae	<i>Mitracarpus villosus</i>	90	2,85	2,50	0	0,00	0
Zygophyllaceae	<i>Tribulus terrestris</i>	36	1,14	1,00	0	0,00	0
<b>Total</b>		<b>3159</b>	<b>100</b>	<b>87,75</b>	<b>596</b>	<b>100</b>	<b>16,56</b>

Le tableau 4 présente les paramètres de diversité de la végétation herbacée sur le site fixé et le site témoin. L'analyse du tableau 4 montre que le taux de sol nu est plus de 6 fois plus important sur le site témoin que sur le site fixé. Le recouvrement global est contrairement plus important sur le site fixé que sur le site témoin. Le site fixé présente une diversité alpha (indice de Shannon-Wiener; H') de 2,57 et un indice d'équitabilité (équitabilité de Piéluou; E) de 0,6. Le témoin affiche une valeur plus faible de l'indice de Shannon-Wiener de 2,36 pour une équitabilité de Piéluou de l'ordre de 0,79.

**Tableau 4. Paramètres de diversité de la végétation herbacée sur le site fixé et le site témoin**

Paramètres	Site fixé (Karamba)	Site témoin (Mamalam)
T* sol nu (%)	12,25	83,44
RG (%)	87,75	16,56
S	20	8
H'	2,57	2,36
E	0,6	0,79

T\*sol nu = Taux de sol nu; RG (%) = Recouvrement Global; S = Nombre total d'espèces; H' = Diversité alpha; E = Indice d'équitabilité

### 3.2 EFFETS DE L'AMENAGEMENT À L'INTERIEUR DE LA CUVETTE

L'aménagement à l'intérieur de la cuvette a concerné la réalisation de plusieurs infrastructures et le bénéfice d'autres avantages enregistrés dans la cuvette aménagée (tableau 5). L'analyse du tableau 5 montre que l'aménagement a permis d'augmenter considérablement la superficie exploitée. Celle-ci est de 8,85 ha dont 5,42 ha aménagées dans la cuvette aménagée contre seulement 3 ha dont 0 aménagée dans la cuvette non aménagée. Le nombre d'exploitants (24) dans la cuvette aménagée est environ 5 fois plus important que celui de la cuvette non aménagée qui est de 5 exploitants. En moyenne, un exploitant cultive 0,37 ha dans la cuvette aménagée contre 0,6 ha dans la cuvette non aménagée. En plus des ouvrages réalisés, les exploitants de la cuvette aménagée ont reçu 190 pieds d'arbres fruitiers composés de cinq espèces (*Mangifera indica*, *Psidium guajava*, *Carica papaya*, *Citrus reticulata*, *Phoenix dactylifera*) et 5 mesures de semences de *Moringa oleifera* améliorant l'agro biodiversité de ladite cuvette. Les producteurs de la cuvette aménagée ont reçu également un paquet d'appui techniques qui est à la base de l'abandon des mauvaises pratiques agricoles au profit des bonnes et d'adoption des techniques innovantes de production. Cela a impacté durablement l'exploitation de cette cuvette.

**Tableau 5. Comparaison des réalisations dans la cuvette aménagée et la cuvette non aménagée**

Paramètres impactés par l'aménagement	Site aménagée	Site non aménagée
Statut	Terres héritées en majorité	Terres héritées en majorité
Superficie totale	17 ha	18 ha
Superficie exploitable	10 ha	11,45 ha
Superficie mis en valeur/exploitée	8,85 ha	3 ha
Superficie aménagée	5,42 ha	0 ha
Nombre d'exploitation	24	5
Ouvrages réalisés	12 Forages maraichers	0
Moyen d'exhaure	12 Motopompe directement relié au réseau Californien	Système traditionnel (puisettes en calebasse)
Réseau d'irrigation	Réseau Californien en tuyau PVC de 63	Simple canalisation
Système d'irrigation	Irrigation par pression	Irrigation par gravité
Protection périmétrale	Haies vives	Haies mortes
Préparation des planches	Les contours des planches sont bien délimités ; les adventices sont désherbés ; Aérer le sol est aéré et bien nourri ; les planches sont bien nivelées.	Les planches sont confectionnées sans art
Appui technique	Paquet d'appui techniques reçu	Aucun appui technique
Appui en espèces fruitières	<i>Mangifera indica</i> : Manguier (40), <i>Psidium guajava</i> : Goyavier (50), <i>Carica papaya</i> : Papayer (50), <i>Citrus reticulata</i> : Mandarinier (45), <i>Phoenix dactylifera</i> (5), Semences <i>Moringa oleifera</i> (5 mesures)	Aucun appui en espèces fruitières
Systèmes de distribution	Système à canaux en terre	Système de poquet par poquet

### 3.3 EFFETS DE L'AMENAGEMENT SUR LES SPECULATIONS CULTIVEES DANS LES CUVETTES

Le tableau 6 présente les résultats d'inventaire des spéculations rencontrées dans les deux cuvettes exceptés les arbres fruitiers. Au total Vingt-une (21) spéculations ont été inventoriées dans la cuvette aménagée contre neuf (9) spéculations recensées au niveau de la cuvette non aménagée. Ces spéculations sont pour la plupart cultivées en cultures maraichères et sont une combinaison d'espèces locales et exotiques. Pour la cuvette aménagée, les espèces recensées se répartissent dans 12 familles. La famille la mieux représentée est celle des Solanacées avec 5 espèces soit 23,81%. Elle est suivie par les familles des Cucurbitacées et des Poacées représentées chacune par 3 espèces soit 14,29%. La famille des Apiacées est représentée par 2 espèces soit 9,52% et les 8 autres familles (Astéracées, Brassicacées, Convolvulacées, Euphorbiacées, Liliacées, Malvacées, Pedaliacées et Polygonacées) sont moins représentées avec une (1) espèce soit 4,76% chacune. En ce qui concerne la cuvette non aménagée (témoin), les 9 espèces recensées se répartissent en 9 familles, avec chacune une espèce soit 11,11%.

Tableau 6. Résultats d'inventaire des spéculations rencontrées dans les deux cuvettes exceptés les arbres fruitiers

Famille	Espèces	Nom vernaculaires	Poids de l'espèce (%)	
			Site aménagée	Site non aménagée
Apiaceae	<i>Daucus carota</i>	Carotte	0,40	0
	<i>Petroselinum crispum</i>	Persil	0,16	0
Asteraceae	<i>Lactuca sativa</i>	Laitue	3,28	0
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i>	Chou	1,20	7,43
Convolvulaceae	<i>Ipomoea batatas</i>	Patate douce	2,96	3,38
Cucurbitaceae	<i>Cucumis sativus</i>	Concombre	0,16	0
	<i>Citrullus lanatus</i>	Pastèque	3,52	0
	<i>Cucurbita pepo</i>	Courge	1,60	0,23
Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i>	Manioc	14,39	23,20
Liliaceae	<i>Allium cepa</i>	Oignon	4,32	11,94
Malvaceae	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Gombo	0,96	0
Pedaliaceae	<i>Sesamum indicum</i>	Sésame	18,39	29,95
Poaceae	<i>Triticum turgidum</i>	Blé	11,59	0
	<i>Zea mays</i>	Maïs	11,51	18,69
	<i>Saccharum officinarum</i>	Canne à sucre	10,55	0
Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i>	Oseille	2,40	0,68
Solanaceae	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate	1,92	4,50
	<i>Solanum melongena</i>	Aubergine	0,40	0
	<i>Solanum tuberosum</i>	Pomme de terre	5,60	0
	<i>Capsicum annum</i>	Poivron	3,52	0
	<i>Capsicum annum</i>	Piment rouge	1,20	0
<b>Total</b>			<b>100</b>	<b>100</b>

### 3.4 EFFETS DE L'AMENAGEMENT SUR LE REVENU AGRICOLE MOYEN PAR EXPLOITANT DANS LES CUVETTES

Le tableau 7 présente le revenu agricole moyen par exploitant dans les deux cuvettes. L'analyse du tableau 7 montre que les charges constituées de l'achat de semences, l'achat d'intrants d'irrigation et autres intrants (engrais et pesticides) sont pratiquement les mêmes en moyen pour les exploitants de deux cuvettes. Elles s'élèvent à 43 181 FCFA (65,86 €) en moyenne pour un exploitant de la cuvette aménagée et à 43 362 FCFA (66,13 €) en moyenne pour un exploitant de la cuvette non aménagée. La différence intervient dans l'investissement qui a coûté en moyen 71 150 FCFA (108,52 €) seulement pour un exploitant de la cuvette aménagée et environ le double (124 250 FCFA soit 189,50 €) pour un exploitant de la cuvette non aménagée. Contrairement, le montant de la vente de produits engrangé en moyen par un exploitant de la cuvette aménagée (865 450 FCFA soit 1319,96 €) a presque doublé celui engrangé en moyen par un exploitant de la cuvette non aménagée (496 750 FCFA soit 757,63 €). La marge bénéficiaire est positive dans les deux cuvettes mais plus de deux fois plus importante dans la cuvette aménagée que dans celle non aménagée. Elle est de l'ordre de 751 119 FCFA (1145,59 €) en moyenne pour un exploitant de la cuvette aménagée et est de 329 138 FCFA (501,99 €) en moyenne pour un exploitant de la cuvette non

aménagée. En rapportant au nombre total d'exploitants rencontrés dans les cuvettes, la cuvette aménagée fait ressortir une marge bénéficiaire globale de l'ordre de 18 026 856 FCFA (27 494,06 €) contre une marge bénéficiaire globale de l'ordre de 1 645 690 FCFA (2 509,96 €) pour la cuvette non aménagée.

**Tableau 7. Revenu moyen par exploitant dans la cuvette aménagée et la cuvette non aménagée**

Cuvette aménagée (Karamba)					
Charge		Produit			
Désignation		Quantité	Montant	Vente produit	
Charge	Semences	FF	10000 F	865 450 F	
	Irrigation	FF	20 000 F		
	Engrais	1/3 sac	5 681 F		
	Pesticides	3 litres	7 500 F		
<b>Sous total charges</b>			<b>43181 F</b>		
Investissement	Matériels	FF	27900 F		
	Main d'œuvre	FF	43 250 F		
<b>Sous total investissement</b>			<b>71 150 F</b>		
<b>Total dépenses (A)</b>			<b>114 331 F</b>		<b>Total produit (B)</b>
<b>Marge bénéficiaire (B-A)</b>			<b>751 119 F</b>		<b>865 450 F</b>
Cuvette non aménagée (Mamalam)					
Charge		Produit			
Désignation		Quantité	Montant	Vente produit	
Charge	Semences	FF	14000 F	496 750 F	
	Irrigation	FF	5500 F		
	Engrais	½ sac	11362 F		
	Pesticides	5 litres	12 500 F		
<b>Sous total charges</b>			<b>43 362 F</b>		
Investissement	Matériels	FF	47 500 F		
	Main d'œuvre	FF	76 750 F		
<b>Sous total investissement</b>			<b>124 250 F</b>		
<b>Total dépenses (A)</b>			<b>167 612 F</b>		<b>Total produit (B)</b>
<b>Marge bénéficiaire (B-A)</b>			<b>329 138 F</b>		<b>496 750 F</b>

FF: forfait; F: franc CFA; A: total dépenses; B: total produit; B-A: marge bénéficiaire

### 3.5 PERCEPTION DES EFFETS DE L'AMENAGEMENT PAR LA POPULATION

Les figures 2 et 3 montrent respectivement les proportions de la perception des effets de l'aménagement à l'extérieur de la cuvette et à l'intérieur de la cuvette. Pour l'aménagement à l'extérieur de la cuvette, les enquêtés ont cité sept (7) effets (figure 2) liés à la fixation des dunes dont le principal est la diminution de l'érosion cités par 100% des enquêtés y compris tous les enquêtés du site témoin. Le moins cité est l'amélioration de la biodiversité citée par un peu plus de 25% des enquêtés dont tous sont ceux du site aménagé.

En ce qui concerne l'aménagement à l'intérieur de la cuvette, six (6) effets (figure 3) ont été cités dont le plus important est l'amélioration du revenu agricole des exploitants reconnue par plus de 98% des enquêtés incluant la majorité des répondants du site non aménagé. L'effet de moindre importance est l'amélioration du microclimat cité par un peu plus de 15% des enquêtés, exclusivement du site aménagé.

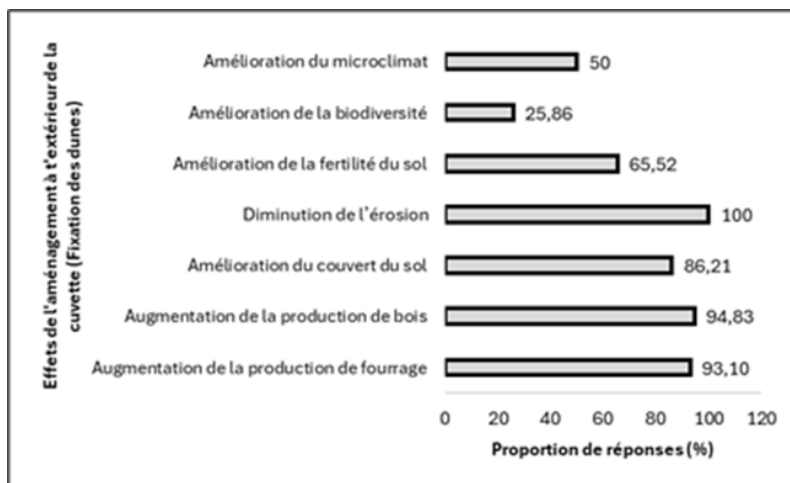


Fig. 2. Perception des effets de l'aménagement à l'extérieur de la cuvette par la population

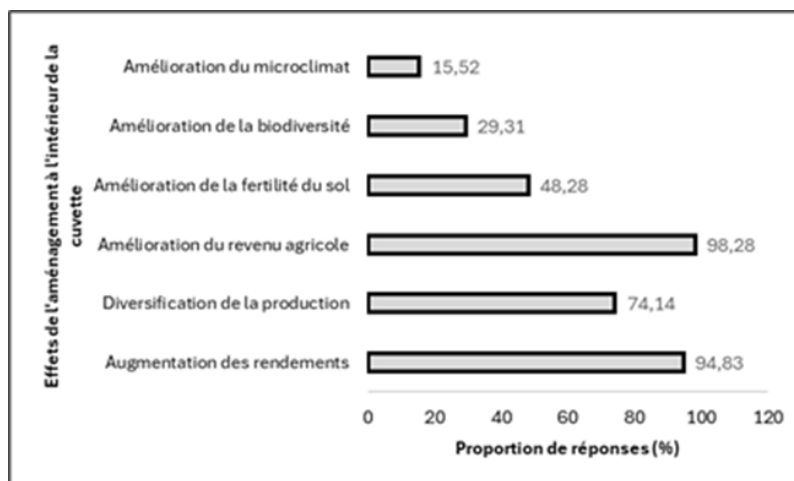


Fig. 3. Perception des effets de l'aménagement à l'intérieur de la cuvette par la population

#### 4 DISCUSSION

La fixation des dunes autour de la cuvette aménagée a permis d'améliorer significativement la diversité, la productivité et le recouvrement herbacé. En effet, le site fixé présente 2,5 fois de flore plus riche que le site témoin. La famille la mieux représentée est celle des poacées au niveau des 2 sites (site fixé et témoin), avec respectivement 58,33% des 12 familles rencontrées sur le site fixé et 42,86% des 5 familles rencontrées sur le site témoin. Ces résultats corroborent ceux de [32] qui ont rapporté que la strate herbacée de la zone sahélienne est dominée par des plantes annuelles qui sont principalement des poacées. Cette dominance des poacées a été également mise en évidence dans la zone d'étude par [24].

En termes de contribution spécifique, l'espèce *Cenchrus biflorus* est la meilleure avec une contribution spécifique de 49,25% au niveau du site fixé. Des résultats semblables ont été annoncés par plusieurs auteurs [13], [25], [28], [33], [34], [35], [36]. Cette dominance de l'espèce *Cenchrus biflorus* peut s'expliquer par le fait que celle-ci est reconnue pour sa rusticité à se développer dans les zones arides et son adaptation aux zones perturbées [34], [37], [38]. Au niveau du site témoin, c'est l'espèce *Pergularia tomentosa* qui domine avec une contribution spécifique de 43,46%. Ces résultats peuvent se justifier du fait que ladite espèce est un bon indicateur de sol épuisé [39] comme celui du témoin (site non fixé).

Le taux de sol nu est 6 fois plus important sur le site témoin que sur le site fixé. Ces résultats corroborent ceux de [25] qui ont observé un taux de sol nu moyen de 99,83% sur les dunes dégradées de la même zone. Contrairement, le recouvrement global est plus important sur le site fixé (87,75%) que sur le site témoin (16,56%). Le site fixé présente une diversité alpha (indice de Shannon-Wiener; H') de 2,57 et un indice d'équitabilité (équitabilité de Pielou; E) de 0,6. Le témoin affiche une valeur

plus faible de l'indice de Shannon-Wiener de 2,36 pour une équitabilité de Piélou de l'ordre de 0,79. La valeur la plus élevée de l'indice de diversité enregistrée sur le site fixé et accompagnée d'une richesse spécifique de 20 espèces. Cela s'explique par le fait que le site fixé présente les meilleures conditions d'un retour de la végétation que le site témoin. En effet, Selon [34] les activités de la fixation des dunes multiplient les écotones qui déterminent la diversité des microclimats à la base de la richesse floristique. Pour [25], la fixation des dunes favorise un microclimat dans lequel le retour de la végétation est facilité par le piégeage des semences transportées par le vent d'une part et d'autre part par l'expression des semences contenues dans le sable stabilisé. En outre, plusieurs auteurs [40], [41], [42], [43] soutiennent que la fixation des dunes est l'une des méthodes efficaces pour restaurer la végétation sur les surfaces nues et mobiles. Cependant, cette reconstitution n'est possible que si les grains de sables mouvants sont, au préalable, stabilisés [44] ce qui fut fait avec l'intervention autour de la cuvette en dressant des palissades sur la dune mobile. Sur le site non fixé, toutes ces conditions ne sont pas réunies d'où une faible diversité avec seulement une richesse spécifique de 8 espèces. Des résultats semblables ont été trouvés par [24] qui ont signalé des individus épars dans la zone non aménagée et que les conditions d'aridité ne sont pas favorables pour qu'il est un nombre important d'espèces.

L'aménagement à l'intérieur de la cuvette a permis de bénéficier de plusieurs infrastructures et beaucoup d'autres avantages qui ont augmenté l'attrait de la cuvette aménagée. En effet, dans la cuvette aménagée, le nombre d'exploitants a considérablement augmenté et la superficie exploitée avec. Par conséquent, l'on assiste à la diversification des cultures, au moindre coût de production avec une importante production de qualité sur une superficie très réduite. Ceci a permis, d'une part, aux exploitants de subvenir à leurs besoins alimentaires et nutritionnels et d'autre part, d'améliorer nettement leurs revenus. En effet, un exploitant de la cuvette aménagée engrange plus que le double de la marge bénéficiaire qu'un exploitant de la cuvette non aménagée en exploitant une superficie environ 2 fois inférieure que celui-ci. Ce qui a toujours permis aux exploitants d'honorer à leurs obligations sociales (mariage, baptême, santé, éducation des enfants, etc.). Grâce à l'aménagement, la résilience des exploitants est donc hautement relevée. Ces résultats corroborent ceux de [45] qui ont montré que les interventions en milieu rural induisent des effets positifs conduisant à l'accroissement de la productivité et des revenus et que cela garantit la disponibilité alimentaire. Toutes fois, même sans aménagement, les cuvettes bien exploitées, procurent des avantages liés à l'exploitation agricole et pastorale et jouent d'autres rôles non moins importants [13]. Mais il faut noter que ces avantages ne peuvent perdurer que si ces cuvettes sont protégées contre l'ensablement. Dans la cuvette non aménagée (témoin), les matériels utilisés par les exploitants sont essentiellement artisanaux, précaires et le travail est en grande partie manuel et leur fait perdre beaucoup de temps. A ceci s'ajoute la non-qualification et surtout le manque d'encadrement d'où, les techniques optimales et les méthodes de traitement phytosanitaires ne sont pas bien connues. Contrairement au niveau de la cuvette aménagée les exploitants ont non seulement bénéficié des investissements mais aussi des encadrements qui leur ont permis de récupérer des terres abandonnées à cause de la salinité. Ils arrivent également à bien gérer les essences forestières de la cuvette. Toutes ces actions concourent à la gestion durable de ladite cuvette.

## 5 CONCLUSION

Au terme de cette étude on retient que l'aménagement a contribué d'augmenter la capacité de résilience de la population et à gérer durablement les cuvettes oasiennes. En effet, dans la cuvette aménagée, les exploitants investissent peu de moyens pour produire une importante quantité de produits dont la vente leur procure un revenu suffisant pour satisfaire leur besoins vitaux et sociaux sans risque. L'intervention (fixation des dunes) au tour de la cuvette a permis un retour d'une flore herbacée de 20 espèces représentant 2,5 fois plus importante que la flore du site témoin. Cette flore dominée par les poacées avec un recouvrement général de 87,75% a favorisé la stabilisation des dunes. Les investissements réalisés dans la cuvette ont augmenté l'attrait de ladite cuvette et la diversification des cultures maraichères est également améliorée dans la cuvette aménagée où vingt-une (21) spéculations ont été inventoriées contre seulement neuf (9) dans la cuvette non aménagée. Un exploitant de la cuvette aménagée gagne en moyen le double de revenu d'un exploitant de la cuvette non aménagée en exploitant environ la moitié de superficie que celui-ci. Toutefois, en élargissant l'étude à la comparaison du cout des investissement aux bénéfices tirés, cette recherche aurait beaucoup plus de portée.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Programme de Développement de l'Agriculture Familiale (ProDAF) dans la région de Diffa pour le financement de cette étude.

## REFERENCES

- [1] P. S. Bindraban, M. v. d. Velde, L. Ye, M. v. d. Berg, S. Materechera, D. I. Kiba, L. Tamene, K. V. Ragnarsdottir, R. Jongschaap, M. Hoogmoed, W. Hoogmoed, C. v. Beek and G. v. Lynden, «Assessing the impact of soil degradation on food production,» *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 4, no. 5, pp. 478–488, 2012.
- [2] C. DeLong, R. Cruse and J. Wiener, «The Soil Degradation Paradox: Compromising Our Resources When We Need Them the Most,» *Sustainability*, vol. 7, pp. 866-879, 2015.
- [3] R. Fernández, V. Belmonte, A. Quiroga, C. Lobartini and E. Noellemeyer, «Land-use change affects soil hydro-physical properties in Mollisols of semiarid Central Argentina,» *Geoderma Regional*, vol. 25, pp. e00394, 2021.
- [4] L. R. Oldeman, *Global Extent of Soil Degradation*, ISRIC Bi-Annual Report, pp. 19-36, 1992.
- [5] J. Chen, J-z. Chen, M-z. Tan and Z-t. Gong, «Soil degradation: a global problem endangering sustainable development,» *Journal of Geographical Sciences*, vol. 12, no. 2, pp. 243–252, 2002.
- [6] Kundaeli, J. N., and Wangari, E. O., *Situation des ressources naturelles dans l'écosystème des terres arides et semi-arides de l'Afrique, au Sud du Sahara*, In: E. Wangari (Eds.), *Rôle de la femme dans les sociétés pastorales et agro-pastorales dans le domaine de l'amélioration de la gestion des terres arides et semi-arides d'Afrique sub-saharienne*, Dakar: UNESCO, pp. 19-32, 1994.
- [7] F. Anthelme, M. W. Mato, D. de Boissieu and F. Giazzi, «Dégradation des ressources végétales au contact des activités humaines et perspectives de conservation dans le massif de l'Air (Sahara, Niger),» *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, vol. 7, no. 2, 2006.
- [8] C. L. Bielders, S. Alvey, and N. Cronyn, «Wind erosion: the perspective of grass-roots communities in the Sahel,» *Land Degradation Development*, vol. 12, no. 1, pp. 57-70, 2001.
- [9] F. Gemenne, J. Blocher, F. de Longueville, S. Vigil Diaz Telenti, C. Zickgraf, D. Gharbaoui and P. Ozer, «Climate change, natural disasters and population displacements in West Africa,» *Geo-Eco-Trop*, vol. 41, no. 3, pp. 1-22, 2017.
- [10] Guibert, H., *Fertilité des terres de savanes: 25 ans après*, In: T. Chevallier, T. M. Razafimbelo, L. Chapuis-Lardy and M. Brossard (Eds.), *Carbone des sols en Afrique: Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles*, OpenEdition Books, pp. 213-224, 2020.
- [11] K. J.-M. Ambouta, M. Karimou Barke, A. D. Tidjani and B. Tychon, «Les cuvettes du Manga, un écosystème unique en milieu semi-aride objet d'une recherche interdisciplinaire et pluri-institutionnelle,» *Geo-Eco-Trop.*, vol. 42, no. 2, 245 – 257, 2018.
- [12] C. Bodart, A. Ozer, and D. Derauw, «Suivi de l'activité des dunes au Niger au moyen de la cohérence interférométrique ERS ½,» *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, vol. 54, no. 1, pp. 123-136, 2010.
- [13] M. Malam Assane, A. D. Tidjani, O. L. Manzo, K. J.-M. Ambouta, et C. Bielders, «Les cuvettes oasiennes du Manga, Sud-Est Niger: un patrimoine à forte productivité agricole menacé d'ensablement, protégé par la fixation des dunes,» *Afrique SCIENCE*, vol. 18, no. 2, pp. 102-107, 2021.
- [14] K. Malam Boukar, A. D. Tidjani, and B. Yamba, «Performance et circuit de commercialisation des principaux produits agricoles des cuvettes oasiennes de Gouré (Niger),» *International Journal Chemistry and Science*, vol. 10, no. 5, pp. 2202 – 2214, 2016.
- [15] M. K. Barke, B. Tychon, I. Ousseini, A. Ozer and C. Bielders, «Détection des cuvettes oasiennes du centre est du Niger par classifications d'images satellite spot5-THX,» *Photo-interpretation European journal of applied remote sensing*, vol. 53, pp. 32-46, 2018.
- [16] M. Jahiel, «Rôle du palmier dattier dans la sécurisation foncière et alimentaire au sud-est du Niger,» *Sécheresse*, vol. 2, no. 9, pp. 167-174, 1998.
- [17] P. Ozer, «Bois de feu et déboisement au Sahel: mise au point,» *Sécheresse*, vol. 15, no. 3, pp. 243-251, 2004.
- [18] O. Ribolzi, M. Hermida, H. Karambiri, J. P. Delhoume, and L. Thiombiano, «Effects of aeolian processes on water infiltration in sandy Sahelian rangeland in Burkina Faso,» *Catena*, vol. 67, no. 3, pp. 145-154, 2006.
- [19] M. Conedera, N. Bomio-Pacciorini, P. Bomio-Pacciorini, S. Sciacal, L. Grandi, A. Boureima, and A. M. Vettriano, «Reconstitution des écosystèmes dégradés sahéliens,» *Bois et forêts des tropiques*, vol. 304, no. 2, pp. 61-71, 2010.
- [20] P. Daget, and J. Poissonet, «Une méthode d'analyse phytosociologique des prairies,» *Ann. Agron.*, vol. 22, no. 1, pp. 5-41, 1971.
- [21] J. Onana, J. P. Mvondo Awono, D. Abba, and J. F. B. Ottou, «Application de la méthode des points quadrats au suivi de la dynamique des pâturages soudano-sahéliens du Cameroun, » *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 224-229, 2008.
- [22] Djibo, M. Mamman, C. Issa, O. Sarr, A. Bakhoum, H. Marichatou, E. L. Akpo, and M. Assane, « Caractéristiques de la végétation du parcours Gadoudhé, dans la commune rurale de Fabidji (Niger), » *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 12, no. 3, pp. 1151-1163, 2018.

- [23] M. H. Illo Souley, I. Chaibou, I. Soumana, A. Laouali, et A. Mahamane, «Valeurs pastorales et productivités inter-décennale des parcours de la vallée de Goulbi N’kaba au Niger, » *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 24, no.1, pp. 220-239, 2018.
- [24] Mahamane, K. Saley, B. Morou, H. Rabiou, A. Amadou Oumani, A. Diouf, Y. Bakasso, I. S. Wata, A. Tanimoune, and M. Saadou, «Importance des indicateurs écologiques dans la surveillance de la phytodiversité et des changements environnementaux en bioclimat sahélien», *Geo-Eco-Trop.*, vol. 42, no. 2, pp. 297-306, 2018.
- [25] M. Malam Assane, K. J.-M., Ambouta, C. L. Biolders, and D. A., Tidjani, «Caractérisation de la végétation des dunes dégradées du sud-est du Niger, » *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell.*, vol. 2, no. 4, pp. 83-94, 2018.
- [26] N. Faye, A. Diallo, M. B. Sagna, O. Sarr, R. Talla, E. S. Badji, J. L. Peiry, and A. Guisse, « Répartition spatiale de la végétation herbacée autour des mares temporaires: influence des facteurs anthropiques et topographiques à WIDOU THIENGOLY (Ferlo, Nord-Sénégal), » *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 14, no. 6, pp. 2077-2093, 2020.
- [27] Katkoré, A. Mahamane, K. Saley, B. Morou, S. Idrissa, O. Lamine Manzo, A. R. Dodo, M. Moussa, I. Chaibou, I. Aboubacar, H. Rabiou, H. Hambali and M. Saadou, « Caractérisation de la végétation de trois parcours naturels du Centre Sud nigérien, » *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, vol. 15, no. 7, pp. 23-29, 2021.
- [28] M. Aboubacar Moustapha, A. D. Tidjani, I. Dan Guimbo, and A. A. Abdoul-Salem, «Comparaison de la végétation herbacée de trois occupations du sol des milieux dunaires du Sud-est Niger: Cas du terroir villageois Guidan Kadji (Maïné-Soroa), » *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 39, no. 1, pp. 109-120, 2023.
- [29] Mahamane, M. Saadou, B. D. Mohamed, K. Saley, Y. Bakasso, A. Diouf, B. Morou, M. M. Inoussa, S. Idrissa, T. Arzika, «Biodiversité végétale au Niger: État des connaissances actuelles, » *Annale de l’Université de Lomé, Séries Sciences*, Tome XVIII, pp. 81-93, 2009.
- [30] De Fabregues, *Lexique des plantes du Niger. Noms scientifiques. Noms vernaculaires*, Maisons-Alfort. GERDAT-IEMVT, 1979.
- [31] Giezendanner, *Taille d’un échantillon aléatoire et Marge d’erreur*, 2012. [Online] Available: <http://icp.ge.ch/sem/cms-spip/spip.php?article1641> (April 20, 2012).
- [32] P. Hiernaux, and H. N. Le Houérou, «Les parcours du Sahel, » *Sécheresse*, vol. 17, no. 1-2, pp. 51-71, 2006.
- [33] D. Tidjani, K. J.-M. Ambouta and C.-L. Bileders, «Réhabilitation d’une dune vive par fixation mécanique: flux éoliens, fertilité du sol et biodiversité des herbacées», *Géo-Eco-Trop.*, vol. 33, n.s., pp. 81-98, 2009.
- [34] M. O. Laminou, M. Zaman Allah, P. Ozer, R. Paul, and A. Mahamane, «La barrière mécanique anti-érosive influence la colonisation des dunes par les espèces végétales», *Tropicultura*, vol. 31, no. 4, pp. 260-271, 2013.
- [35] Abdoulaye, A. D. Tidjani et E. K. Agbossou, «Analyse de l’exploitation de *Leptadenia pyrotechnica* dans le cadre de la fixation des dunes à Gouré (sud-est du Niger) » *Geo-Eco-Trop.*, vol. 42, no. 2, pp. 321-335, 2018.
- [36] S. I. Abdoul Magid, A. M. Moustapaha, and A. D. Tidjani, «Dune fixation by Mulching and palisade improved the ecological restoration of Ambouram Ali dunes (Maine Soroa / Niger), » *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell.*, vol. 4, no. 4, pp. 471-483, 2020.
- [37] Brink and Belay, *Ressources végétales de l’Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs*. Foundation PROTA/Backhuys Publishers/CTA, Pays-Bas, Wageningen, 2006.
- [38] P. Hiernaux, E. Mougou, L. Diarra, N. Soumaguel, F. Lavenu, Y. Tracol and M. Diawara, «Sahelian rangeland response to changes in rainfall over two decades in the Gourma region, Mali, » *Journal of Hydrology*, vol. 375, pp. 114-127, 2009.
- [39] Orwa, Mutua, Kindt, Jamnadass, and Anthony, *Agroforestry Database: A Tree Reference and Selection Guide Version 4.0*. World Agroforestry Centre, Kenya, 2009.
- [40] Y. Gao, X. Li, L. L. Rongliang Jia, H. Yanga, G. Li, and Y. Weib, «Seasonal variation of carbon exchange from a revegetation area in a Chinese desert, » *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 156, pp. 134-142, 2012.
- [41] J. G. S. Keijsers, A. V. De Groot, and M. J. P. M. Riksen, «Vegetation and sedimentation on coastal fore dunes, » *Geomorphology*, vol. 228, no. 1, pp. 723-734, 2014.
- [42] X. R. Li, Z. S. Zhang, H. J. Tan, Y. H. Gao, L. C. Liu and X. P. Wang, «Ecological restoration and recovery in the wind-blown sand hazard areas of northern China: relationship between soil water and carrying capacity for vegetation in the Tengger Desert, » *Sci China Life Sci*, vol. 57, pp. 539-548, 2014.
- [43] N. Yan and A. C. W. Baas, «Parabolic dunes and their transformations under environmental and climatic changes: Towards a conceptual framework for understanding and prediction, » *Global and Planetary Change*, vol. 124, pp. 123-148, 2014.
- [44] Malagnoux M., *Gestion des plantations sur dunes*, In: *Document de Travail sur les Forêts et la Foresteries en Zones Arides* (FAO) fre no. 3, Rome (Italy). Div. de l’Evaluation, de la Gestion et de la Conservation des Forêts, pp. 1-43, 2011.
- [45] M. Garba Boulamine, and B. Soumana, «Analyse socio-économique des effets des interventions de la FAO sur le renforcement de la résilience des ménages vulnérables dans la commune de Kalfou, région de Tahoua au Niger, » *Journal of UNiversities and international development COoperation*, no. 1, pp. 255-261, 2017.

