

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 70 N. 1 December 2023



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2351-8014) is an open access, specialized, peer-reviewed, and interdisciplinary journal that focuses on research, development and application within the fields of innovation, engineering, science and technology. Published four times per year in English, French, Spanish and Arabic, it tries to give its contribution for enhancement of research studies.

All research articles, review articles, short communications and technical notes are sent for blind peer review, with a very fast and without delay review procedure (within approximately two weeks of submission) thanks to the joint efforts of Editorial Board and Advisory Board. The acceptance rate of the journal is 75%.

Contributions must be original, not previously or simultaneously published elsewhere. 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

K. Messaoudi, Hochschule für Bankwirtschaft, Germany
Sundar Balasubramanian, Medical University of South Carolina, USA
Ujwal Patil, University of New Orleans, USA
Avdhoot Walunj, National Institute of Technology Karnataka, India
Rehan Jamil, Yunnan Normal University, China
Sankaranarayanan Seetharaman, National University of Singapore, Singapore
Fairouz Benahmed, University of Connecticut Health Center, USA
Achmad Choerudin, ST.,SE.,MM., Academy Technology of Adhi Unggul Bhirawa, Indonesia
Mohammad Ali Shariati, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Iran
Md Ramim Tanver Rahman, Jiangnan University, China
Rasha Khalil Al-Saad, Veterinary Medicine College, Iraq
Neil L. Egloso, Palompon Institute of Technology, Philippines
Sanjay Sharma, Roorkee Engineering & Management Technology Institute, India
Ahmed Nabile Emam, National Research Center (NRC), Egypt
Md. Arif Hossain Jewel, Rural Development Academy, Bangladesh
N. Thangadurai, Jayalakshmi Institute of Technology, India
Urmila Shrawankar, G H Rasoni College of Engineering, India
Goutam Banerjee, Visva-Bharati University, India
Santosh Kumar Mishra, S. N. D. T. Women's University, India
Anupam Kumar, Ashoka Institute of Technology & Management, India

Table of Contents

Diversité et polymorphisme génétiques de <i>Coptodon zillii</i> du lac de Sélingué (Mali) par l'utilisation des marqueurs microsatellites	1-9
<i>Nanourou Dembélé, Youssouf Sanogo, Adama Konaté, Ramata Diop, Hama Cisse, Fassé Samaké, and Diakaridia Traoré</i>	
Les marqueurs de l'inflammation dans le COVID-19: C-Reactive Protein, ferritine et LDH, sont-ils des prédicteurs fiables de sévérité ?	10-20
<i>Leila El Akkari and Fatima El Boukhrissi</i>	
Dosage par Chromatographie en phase liquide à haute performance avec détecteur UV (HPLC/UV) de la microcystine-LA présente dans trois eaux surfaces en Côte d'Ivoire (Lagune Aghien, Retenue d'eau Adzopé et Seuil d'Agboville)	21-26
<i>Rosine Djeha Yao, Julien Kalpy Coulibaly, Martin Kouassi Konan, Éric Kouamé Yao, Mathias Ahoutou Koffi, and Mireille Dosso</i>	
Influence of agricultural waste additives on the mechanical performance and water sensitivity of cement-stabilized compressed earth blocks: Case of <i>Parkia biglobosa</i> pods	27-36
<i>Sokohou Josué Yokopi, Kinda Hannawi, Valery Doko, Aveline Darquennes, and Edmond Codjo Adjovi</i>	
Etude de l'activité antibactérienne des extraits aqueux de <i>Boerhavia diffusa</i> et de <i>Khaya senegalensis</i> sur <i>Escherichia coli</i> et <i>Staphylococcus aureus</i>	37-44
<i>Youan Gouanda Pascal and Kipré Gueyraud Rolland</i>	
Participation à la prise de décision et performance organisationnelle des Petites et Moyennes Entreprises au Bénin	45-56
<i>Darius A. Juste DJOHOSSOU</i>	
Dynamique de la structure paysagère du secteur sub-soudanais dans un contexte de croissance des pressions anthropiques: Cas du département de Dianra (nord-ouest de la Côte d'Ivoire)	57-71
<i>N'Guessan Olivier Yao, Akoua Tamia Madeleine KOUAKOU, Anny Estelle N'Guessan, Kouassi Kouman Noel NANAN, Mamadou SANGARE, and Kouakou Edouard N'GUESSAN</i>	

Diversité et polymorphisme génétiques de *Coptodon zillii* du lac de Sélingué (Mali) par l'utilisation des marqueurs microsatellites

[Genetic diversity and polymorphism of *Coptodon zillii* from lake Selingue (Mali) using microsatellite markers]

Nanourou Dembele¹, Youssouf Sanogo¹, Adama Konate¹, Ramata Diop¹, Hama Cisse², Fassé Samake³, and Diakaridia Traore¹

¹Laboratoire de Biologie Animale et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali

²Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la vie et de la Terre, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

³Institut des Sciences Appliquées, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Sélingué hydroelectric dam is built on the Sankarani River in Mali. It is a fishing production area teeming with many fish species including *Coptodon zillii*. The species was selected for the study of genetic diversity. The study involved 120 specimens from two landing stages, Carrière in the lake area and Faraba near the Sankarani River. Each sample was subjected to DNA extraction from a caudal fin portion. Ten microsatellite markers were used and the genetic diversity of each locus analyzed. The results showed a number of alleles varying from 2 to 5 per marker with an average of 2.9. The loci were 70% polymorphic at the 95% cutoff. In total, 29 alleles were observed for all the samples with 2 groups on the dendrogram. Group I consists of 5% of the Faraba samples and Group II of the Carrière and 95% Faraba samples. In group II, there is a separation according to landing stages with little differentiation between the samples from the two sites. The expected heterozygosity ($H_e=0.35$) is lower than that observed ($H_o=0.69$), reflecting an excess of heterozygosity, with an absence of consanguinity and less significant gene exchange between the specimens of the two zones. These results show high polymorphism and genetic diversity in the samples studied. They offer basic elements on the knowledge of the genetic diversity of the species. However, the study could be extended to *C. zillii* populations throughout the lake and rivers.

KEYWORDS: *Coptodon zillii*, microsatellite markers, diversity, heterozygote, polymorphism, Lake Sélingué, Mali.

RESUME: Le barrage hydroélectrique de Sélingué est construit sur la rivière Sankarani au Mali. C'est une zone de production halieutique regorgeant de nombreuses espèces ichthyennes parmi lesquelles *Coptodon zillii*. L'espèce a été retenue dans le cadre de l'étude de la diversité génétique. L'étude a touché 120 spécimens provenant de deux débarcadères, Carrière dans la zone du lac et Faraba près de la rivière Sankarani. Chaque échantillon a fait l'objet d'extraction d'ADN à partir d'une portion de nageoire caudale. Dix marqueurs microsatellites ont été utilisés et la diversité génétique de chaque locus, analysée. Les résultats ont montré un nombre d'allèles variant de 2 à 5 par marqueurs avec une moyenne de 2,9. Les loci étaient polymorphes à 70% au seuil de 95%. Au total, 29 allèles ont été observés pour l'ensemble des échantillons avec 2 groupes sur le dendrogramme. Le groupe I est constitué de 5% des échantillons de Faraba et le groupe II des échantillons de Carrière et de Faraba à 95%. Dans le groupe II, il existe une séparation en fonction des débarcadères avec une faible différenciation entre les échantillons des deux sites. L'hétérozygotie attendue ($H_e=0,35$) est inférieure à celle observée ($H_o=0,69$), traduisant un excès d'hétérozygotie, avec une absence de consanguinité et un échange de gènes moins important entre les spécimens des deux

zones. Ces résultats montrent un polymorphisme élevé et une diversité génétique chez les échantillons étudiés. Ils offrent des éléments de base sur la connaissance de la diversité génétique de l'espèce. Cependant, l'étude pourrait être étendue aux populations de *C. zillii* de l'ensemble du lac et cours d'eau.

MOTS-CLEFS: *Coptodon zillii*, marqueurs microsatellites, diversité, hétérozygote, polymorphisme, lac de Sélingué, Mali.

1 INTRODUCTION

Les poissons sont des ressources importantes exploités à des fins commerciales et de subsistance à partir de la mer, des cours d'eaux intérieurs, lacs, fleuves, rivières et réservoirs [1]. Au Mali, la production moyenne de poissons a été estimée à 110 366 tonnes [2] supérieures aux 100 000 tonnes signalées par [3]. La demande croissante en protéines d'origine halieutique est très importante poussant les politiques de développement du secteur à s'intéresser à l'aquaculture [4].

Plusieurs espèces de poissons sont utilisées en aquaculture conventionnelle au Mali, à savoir *Clarias anguillaris*, *Clarias gariepinus*, *Heterotis niloticus*, *Oreochromis niloticus* [5]. D'autres espèces dont *Sarotherodon gallilaeus*, *Coptodon zillii*, *Heterobranchus longifilis* sont souvent utilisées dans les empoissonnements communautaires. *Clarias anguillaris*, *Clarias gariepinus*, *Oreochromis niloticus*, *Sarotherodon gallilaeus* et *Coptodon zillii* sont abondantes dans les pêcheries maliennes [6], [7], [8]. Ces espèces constituent aussi les espèces prédominantes de la pisciculture commerciale africaine [9], [10]. Certaines de ces espèces ont fait l'objet d'amélioration génétique pour la performance zootechnique et ont été introduites dans les exploitations piscicoles de nombreux pays [11]. Cette introduction pose souvent un problème de biosécurité dans les pays d'accueil en cas de non contrôle des espèces génétiquement améliorées. La connaissance de la diversité génétique des souches autochtones permet de mieux les préserver contre l'érosion génétique pouvant se découler des contacts avec les souches allochtones. C'est dans cette optique que certaines espèces utilisées en pisciculture ont été retenues pour l'étude de leur diversité génétique au Mali. Certains auteurs ([5], [11], [12]) ont travaillé sur la diversité génétique de *Clarias anguillaris* des bassins fluviaux des fleuves Sénégal et Niger au Mali.

Coptodon zillii est aussi retenue pour l'étude de sa diversité génétique. La présente étude porte sur la diversité génétique de cette espèce de la pêche lacustre de Sélingué où elle occupe la 4^{ème} place parmi les poissons débarqués avec 219 tonnes [13]. Aussi, à notre connaissance, aucune étude génétique de l'espèce du lac de Sélingué n'a été réalisée. L'étude a porté sur les échantillons de *Coptodon zillii* des deux débarcadères (Carrière et Faraba) du lac et environs les plus importants, en utilisant des marqueurs microsatellites.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été effectué sur les captures de la pêche artisanale débarquées à Carrière et à Faraba au tour du lac de Sélingué (figure 1). Le lac de Sélingué est un lac de barrage hydroélectrique qui fait 409 km² de surface, 5 m de profondeur moyenne, avec un statut trophique oligo-mésotrophe, et totalisant 2,2 milliards de m³ d'eau [14]. Il se trouve dans la zone pré-guinéenne caractérisée par des précipitations annuelles moyennes variant entre 1200 et 1400 mm de pluies. La température moyenne annuelle y varie entre 23,7°C en janvier-février et 28,6°C en mars-avril [8].

Le débarcadère de Carrière est situé à 3 km du pied du barrage et construit sur la rivière Sankarani. Celui de Faraba est à 50 km sur le bras de la rivière Sankarani sous influence du barrage pendant la saison des pluies. Les deux débarcadères ont été choisis en raison de leur accessibilité et aussi du fait qu'ils concentrent toutes les captures de poissons avant leur acheminement dans les centres urbains.

Au total, 120 échantillons de poissons ont été prélevés dont 60 poissons dans chaque débarcadère. Ces poissons ont été acheminés au laboratoire pour subir l'extraction de l'ADN.

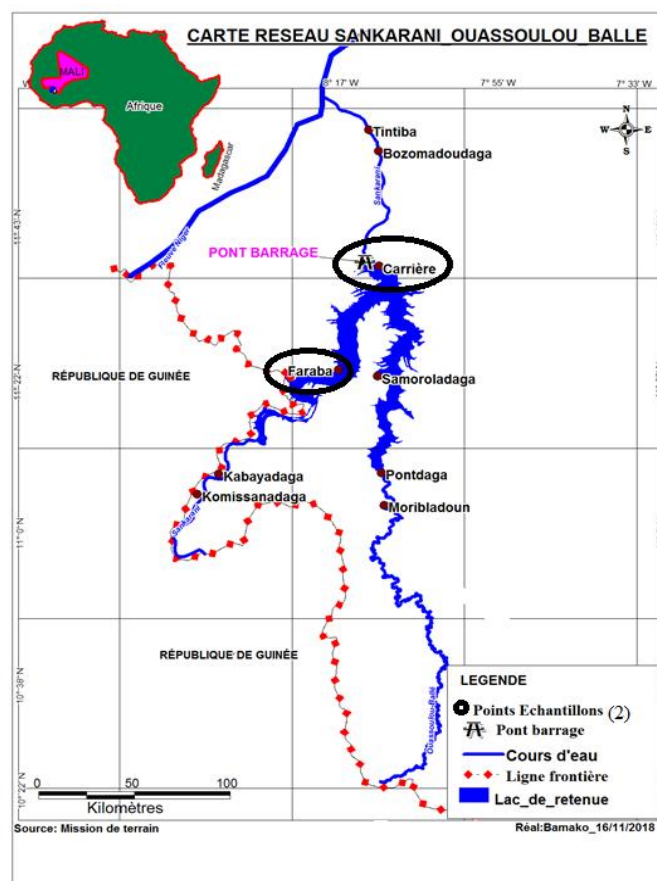


Fig. 1. Sites d'échantillonnage [14]

2.2 EXTRACTION D'ADN

A l'aide d'une paire de ciseaux, un prélèvement de 0,5 g au niveau de la nageoire caudale a été effectué sur chaque poisson. Chaque morceau de nageoire caudale est introduit dans un tube Eppendorf de 1,5 ml contenant 250 µl d'une solution tampon (CTAB) puis incubé pendant 2 heures dans le bain marie à une température de 56°C. Après incubation, le mélange a été ensuite broyé à l'aide des pillons stériles dans des tubes Eppendorf 1,5 ml. L'ADN génomique des poissons a été extrait en utilisant le kit d'extraction PromegaReliaPrep™ Blood gDNAMiniprep System selon les recommandations du fabricant. Les échantillons d'ADN ainsi extraits ont été conservés à 4°C.

2.3 AMPLIFICATION

Les extraits d'ADN ont été amplifiés en utilisant 10 paires de marqueurs microsatellites, à savoir: UNH-008, UNH-106, UNH-142, UNH-149, UNH-154, UNH162, UNH189, UNH-190, UNH216 et GM05. Un mélange réactionnel d'un volume total de 15 µl a été préparé à partir des ingrédients du kit promega (Relia Prep™ Blood g DNA Minipre System). Le mélange était composé de 4,2 µl d'eau, de 7,5 µl de master green, de 0,6 µl de l'amorce aller et retour et de 1,5 µl ou 2 µl de l'ADN. Ce mélange réactionnel a été réparti ensuite entre les micro-tubes PCR, puis homogénéisé par le vortex (vortex VWR INTERNATIONAL). Ensuite, les micro-tubes sont introduits dans le Thermocycleur (Alpha unit™ Block Assembly for PTC ADN Engine™Systems) pour l'amplification selon le programme de 30 cycles constitués des phases de dénaturation initiale à une température de 96°C pendant 5 minutes, de dénaturation à 95°C pendant 30 secondes, d'hybridation de 50°C à 60°C en fonction des amorces pendant 30 secondes, d'élongation initiale à 72°C pendant 30 secondes et suivies d'un cycle de 30 fois pour l'élongation finale à 72°C pendant 5 minutes. Les produits amplifiés ont été conservés à 4°C pour la conservation.

2.4 ELECTROPHORÈSE ET VISUALISATION DE BANDE

Huit (8) µl de chaque amplicon de PCR et 7 µl de marqueur ont été mis dans les puits d'un gel métaphore 3%, préparé avec 100 ml de TBE 0,5X (Tris, Borate Acide EDTA) et 30 µl de 10% du bromure d'éthidium (1mg/ml). Le gel a été migré pendant 2 heures 30 minutes à 80V et 100 mA et photographié avec l'appareil Gel Documentation System E-BOX VX2 version 15.06.

2.5 ANALYSE DES DONNÉES

La taille des allèles de chaque marqueur microsatellite a été déterminée en paire de base en utilisant le logiciel E-Capt version 15.06. La diversité génétique de chaque locus a été analysée avec le logiciel Power Marker version 3.25. L'arbre phylogénétique a été construit par la méthode UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) avec le logiciel Power Marker version 3.25 et édité avec le logiciel MEGA 7.0 [15].

L'ensemble des paramètres de la variabilité génétique intra-population (fréquence allélique, le taux de polymorphisme, nombre moyen d'allèles par locus et richesse allélique, taux d'hétérozygotie, taux d'hétérozygotie observé H_o dans la population, taux d'hétérozygotie attendue ou théorique (H_e) ont été déterminés grâce au logiciel GenAI. Ex version 6.5. Un locus est considéré polymorphe dans le cas où l'allèle le plus fréquent à une fréquence inférieure ou égale à 0,95 [16].

Les paramètres de la variabilité inter-population génétique (F_{is} , F_{it} , F_{st} et N_m) sont des paramètres de fixation calculés selon les formules ci-dessous.

L'indice de fixation F_{is} : il exprime l'écart entre le nombre d'individus trouvés à l'état hétérozygote observé (H_o) et celui à l'état hétérozygote attendu (H_e), sa formule est la suivante:

$$F_{is} = \frac{H_e - H_o}{H_e}$$

Le F_{is} estime l'écart à la panmixie (croisement au hasard) dans une sous-population. Il exprime la variabilité génétique au sein des individus par rapport à la sous-population et mesure l'excès ou le déficit d'hétérozygotie à l'intérieur de chaque population. Ses valeurs varient de -1 (excès en hétérozygotes) à +1 (déficit en hétérozygotes). Lorsque le F_{is} est égal à 0, la population étudiée est panmictique. Une population est panmictique lorsque chacun des individus qui la composent a des chances égales de se reproduire avec n'importe quel autre individu de sexe opposé.

L'indice de fixation F_{it} : il mesure l'écart à la panmixie à l'échelle globale de la population ou le déficit global en hétérozygotes pour l'ensemble de la population. Sa formule est la suivante:

$$F_{it} = \frac{H_t - H_o}{H_t}$$

Où H_t est les individus à l'état hétérozygote de la population et H_o les individus trouvés à l'état hétérozygote observé (H_o). Comme le F_{is} , les valeurs du F_{it} varient de -1 (excès en hétérozygotes) à +1 (déficit en hétérozygotes).

L'indice de fixation F_{st} : il mesure la différenciation génétique entre deux sous-populations. Il donne le déficit en hétérozygotes issu de la structuration en sous-populations. Sa formule est la suivante:

$$F_{st} = \frac{H_t - H_e}{H_t}$$

Où H est le nombre d'individus hétérozygotes de la population et H_e le nombre d'individus trouvés à l'état hétérozygote attendu.

Si la valeur du F_{st} est toujours positive, elle varie de 0 pas de structuration à 1 toutes les sous-populations sont fixées pour l'un ou l'autre des allèles.

L'indice de fixation N_m : il mesure la différenciation génétique favorisée par la dérive et limitée par les flux génétiques entre les populations. Sa formule est la suivante:

$$Nm = (\frac{1}{f_{st}} - 1) / 4$$

Où F_{st} est la différenciation génétique entre deux sous-populations.

Le nombre de migrants effectifs par génération est relié à la différenciation génétique F_{st} .

3 RÉSULTATS

3.1 DIVERSITÉ ALLÉLIQUE

Au total, 29 allèles ont été identifiés avec les 10 marqueurs microsatellites utilisés (figure 2). Les marqueurs ont été polymorphes, se caractérisant par un nombre total d'allèles variant de 2 pour les marqueurs UNH008, UNH142, UNH2016, UNH162, UNH154 et GM05 à 5 pour les marqueurs UNH189 et UNH149 (figures 2 et 3). La moyenne d'allèles observée par marqueur microsatellite était de 2,9 allèles pour l'ensemble des échantillons étudiés (tableau 1).

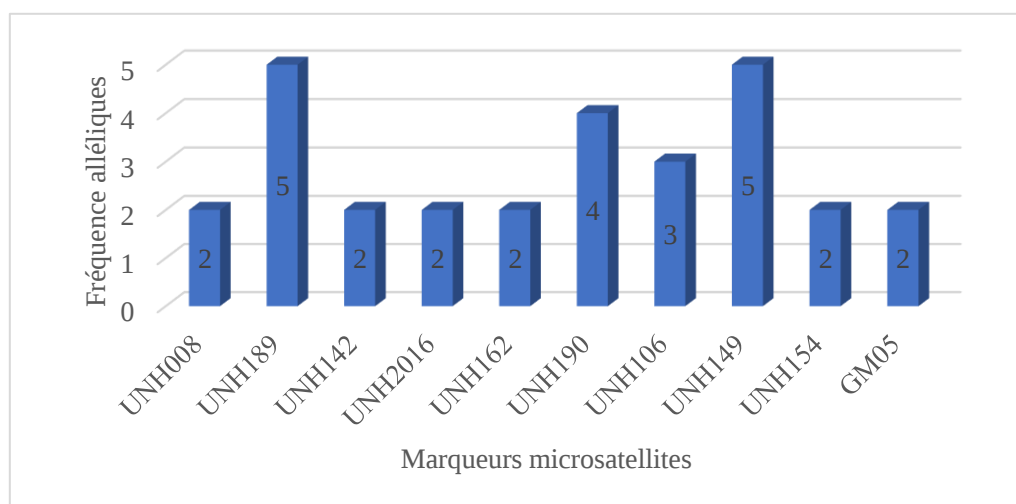


Fig. 2. Variation du nombre d'allèles par locus sur l'ensemble des échantillons de *Coptodon zillii* prélevés.

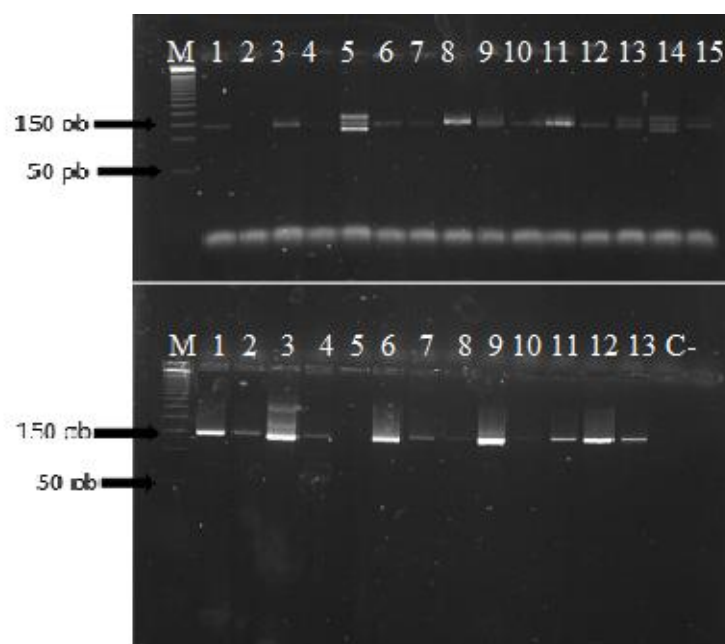


Fig. 3. Profils de migration sur gel métaphore 3%: en haut marqueur UNH 189 polymorphe et en bas marqueur UNH008 monomorphe
M: marqueur, 1-14: échantillons; C: contrôle négatif

3.2 TAUX DE POLYMORPHISME

Les loci ont été révélés polymorphes à 70% au seuil de 95% dans les deux zones. Le polymorphisme est élevé pour les marqueurs microsatellites utilisés. Les valeurs des hétérozygoties attendues (He) (sous l'équilibre de Hardy-Weinberg) et observées (Ho) sont représentées dans le (tableau 1). Les valeurs d'He ont varié de 0,00 à 0,50 avec une moyenne de 0,35 aussi bien chez les échantillons de Carrière que chez les échantillons de Faraba. Les valeurs de Ho ont oscillé entre 0,00 et 1,00 avec une moyenne de 0,69 aussi bien chez les échantillons de Carrière que chez les échantillons de Faraba (tableau 1).

Tableau 1. Nombre moyen d'allèles par locus et hétérozygotie dans la population totale

Locus	Zones													
	Carrière						Faraba						Deux zones	
	N	I	Ho	He	uHe	Fis	N	I	Ho	He	uHe	Fis	NA	% P
UNH-008	56	0,00	0,00	0,00	0,00	---	54	0,00	0,00	0,00	0,00	---	2	70%
UNH-189	60	0,69	0,88	0,49	0,50	-0,79	53	0,69	0,92	0,50	0,50	-0,86	5	
UNH-142	52	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	49	0,69	1,00	0,50	0,51	-1,00	2	
UNH2016	54	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	53	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	2	
UNH-162	54	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	52	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	2	
UNH-190	54	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	54	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	4	
UNH-106	47	0,69	1,00	0,50	0,51	-1,00	53	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	3	
UNH149	51	0,69	1,00	0,50	0,50	-1,00	46	0,69	1,00	0,50	0,51	-1,00	5	
UNH154	51	0,00	0,00	0,00	0,00	----	48	0,00	0,00	0,00	0,00	-----	2	
GM05	54	0,00	0,00	0,00	0,00	-----	50	0,00	0,00	0,00	0,00	-----	2	
Moyenne		0,48	0,69	0,35	0,35	-0,97		0,45	0,69	0,35	0,35	-0,98	2,9	

N= nombre d'individus analysés; I=Indices de diversité; Ho= hétérozygotie observée; He = hétérozygotie attendue, uHe= hétérozygotie calculée (non biaisée); F=indice de fixation; NA= nombres d'allèles et P=Polymorphisme.

Les valeurs de l'indice de fixation Fis ont varié de -0,79 à -1 avec une moyenne de -0,97 à Carrière et de -0,86 à -1 avec une moyenne de -0,98 à Faraba. La valeur de p.value est de 0,001 inférieure à 0,05 montrant que la valeur de l'indice de fixation Fis dans la population étudiée dévie significativement par rapport à l'équilibre de Hardy-Weinberg (tableau 2).

Tableau 2. Test de conformité de l'équilibre de Hardy-Weinberg

Locus	Carrière		Faraba	
	Prob	Signif	Pro	Signif
UNH-008	Monomorphe		Monomorphe	
UNH-189	0,00	***	0,00	***
UNH-142	0,00	***	0,00	***
UNH2016	0,00	***	0,00	***
UNH-162	0,00	***	0,00	***
UNH-190	0,00	***	0,00	***
UNH-106	0,00	***	0,00	***
UNH-149	0,00	***	0,00	***
UNH-154	Monomorphe		Monomorphe	
GM05	Monomorphe		Monomorphe	

Prob= probabilité; Signif=signification; *P< 0,05; **P< 0,01; ***P< 0,001.

Les valeurs des indices de fixation Fit et Fst, pour l'ensemble des échantillons collectés à Carrière et Faraba sont consignées dans le tableau 3. Les valeurs des indices de fixations Fit et Fst les plus élevées ont été observées au niveau du locus UNH189 soit -0,51 pour le Fit et 0,17 pour le Fst avec des moyennes respectives de -0,93 et 0,02. Les flux de gènes (Nm) ont présenté une valeur relativement faible (0,21).

Tableau 3. Valeurs des Fit, Fst et Nm entre l'espèce de *Coptodon zillii* Carrière et Faraba

	U008	U189	U142	U2016	U162	U190	U106	U149	U154	GM05	Moyenne
Fit	-----	-0,51	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-----	-----	-0,93
Fst	----	0,17	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	----	----	0,02
Nm	----	0,21	----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	0,21

3.3 LES GROUPES

Le logiciel Darwin version 6 selon la méthode UPGMA et au Nei 1983 (figure 4) a permis de distinguer de deux (2) groupes principaux GI et GII. Le groupe I est constitué de 5% des échantillons de Faraba et le groupe II de 95 % des échantillons de Carrière et Faraba avec un taux respectif de 52,63% et 47,37 %. Dans le groupe II, il existe une séparation en fonction de la localisation mais l'échelle (0,05) montre une faible différenciation entre les populations de *Coptodon zillii* des deux sites

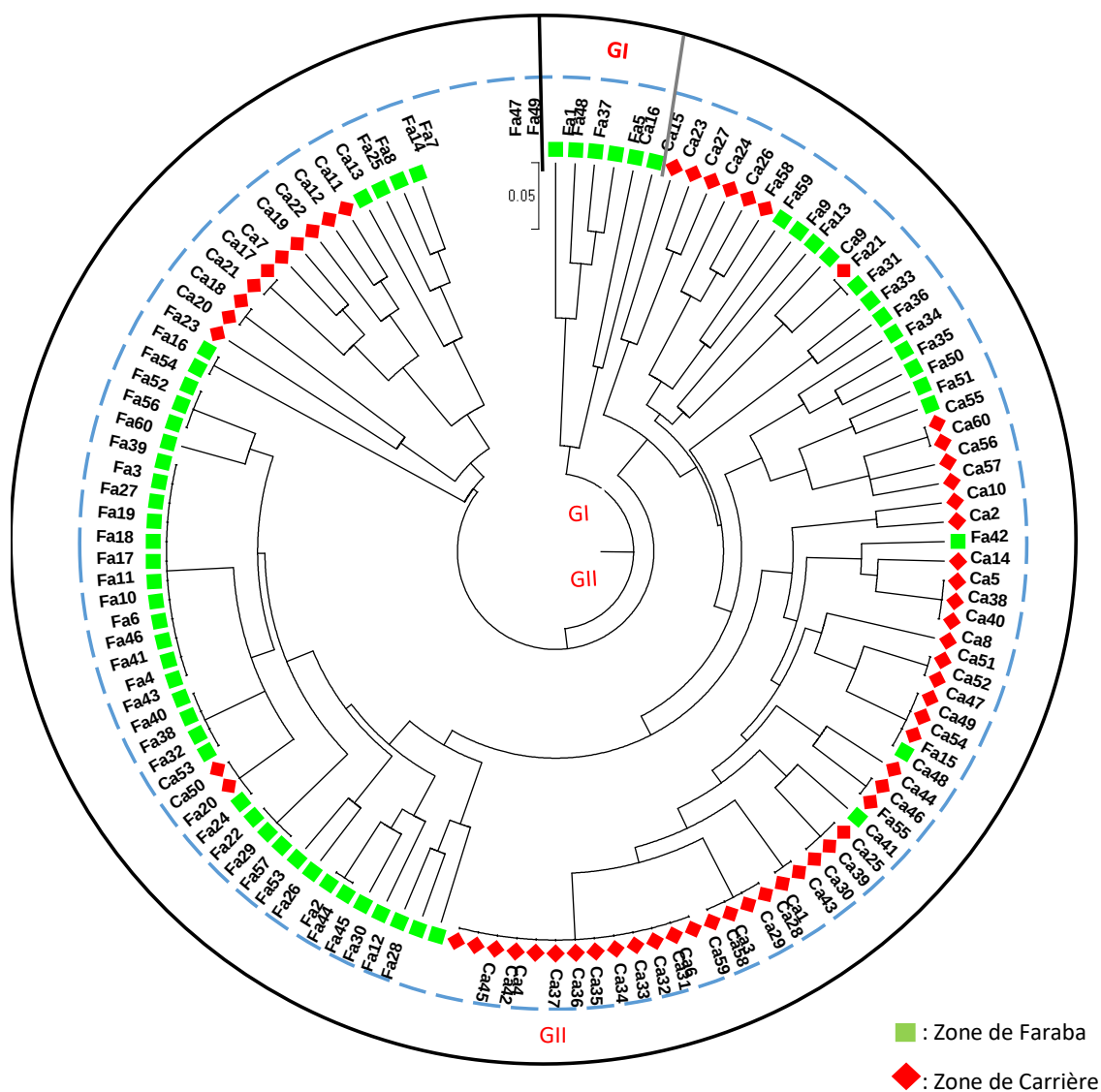


Fig. 4. Arbre phylogénétique entre les individus de la population totale

4 DISCUSSION

L'étude a permis d'identifier 29 allèles avec une moyenne de 2,9 traduisant une diversité allélique chez *Coptodon zillii*. Les loci ont été polymorphes pour les échantillons prélevés à 70% au seuil de 95% dans les sites avec les 10 marqueurs microsatellites. Le nombre moyen d'allèles de notre étude est inférieur à celui rencontré chez d'autres Cichlidae, soit 2,9 contre 5,89 chez *Oreochromis niloticus* des bassins hydrographiques de l'Ouémé, du Mono et du Couffo au Bénin (Amoussou, 2017) avec 15 marqueurs microsatellites. Par contre, le nombre moyen de 3,2 allèles signalé par [17] chez des espèces d'*Oreochromis*, de *Sarotherodon* et de *Coptodon*), se trouve dans la fourchette de 2 à 5 allèles de notre étude. De même que le nombre de 2 allèles par individus avec le locus UNH197 et UNH135 chez l'hybride d'*Oreochromis niloticus* x *Sarotherodon melanotheron* [18].

Le nombre moyen d'allèles est inférieur à celui trouvé chez *Clarias anguillaris* des hauts bassins des fleuves Sénégal et Niger au Mali soit 2,9 contre 6,75 [11]. La différence du nombre d'allèles entre les études pourrait s'expliquer par le nombre de microsatellites utilisés ou la spécificité de l'espèce.

Les valeurs de l'indice de fixation du Fis étaient inférieures à zéro sur l'ensemble des loci, démontrant un excès global en hétérozygotes au sein des populations étudiées. Le déséquilibre de liaison est fortement significatif, tous les loci étant statistiquement liés les uns aux autres.

Les valeurs de l'indice de fixation Fis ont varié de -0,79 à -1 avec une moyenne de -0,97 à Carrière et de -0,86 à -1 avec une moyenne de -0,98 à Faraba. Les deux valeurs moyennes du Fis entre les deux sites sont proches.

Les valeurs des indices de fixation du Fit, Fst et Nm indiquent aussi un excès d'hétérozygotie chez les échantillons étudiés, une faible structuration géographique et un échange de gènes moins important entre la population de *Coptodon zillii* de la zone du débarcadère de Carrière et la population de *Coptodon zillii* de la zone du débarcadère de Faraba.

La diversité génétique a été étudiée chez d'autres poissons, notamment chez différentes populations de *Heterobranchus longifilis* en Côte d'Ivoire [19]. Ces auteurs ont observé chez cette espèce 48 allèles, une hétérozygotie observée variant de 0,23 à 0,86, un indice de Fis de - 0,093 à 0,37 et un indice de Fst de 0,037 à 0,276 avec 6 marqueurs microsatellites isolés de *Clarias gariepinus* (Cga01, Cga03, Cga05, Cga06, Cga09 et Cga10). Au Mali, [20] ont obtenu 54 allèles, un indice de Fis compris entre 0,32 et 1, un indice de Fit variant de 0,1 à 0,65 avec 8 marqueurs microsatellites Cga02, Cga06, Cga10, Cba11, Cba19, Cba20, Cm12 et Cm17 chez *Clarias anguillaris* des hauts bassins du Sénégal et du Niger.

L'étude a permis de distinguer deux groupes principaux de *Coptodon zillii* dont l'un est constitué uniquement des échantillons du débarcadère de Faraba près de la rivière Sankarani et l'autre constitué des échantillons de Faraba et de Carrière du côté du lac de Sélingué. L'unique groupe de Faraba présente une séparation en fonction de la localisation mais à l'échelle de 0,05 il existe une faible différenciation entre ces sites. A l'instar de nombre étude d'autres auteurs ont trouvé chez des espèces deux groupes sur la base des allèles comme chez *Oreochromis niloticus* au Bénin [1], chez *Heterobranchus longifilis* en Côte d'Ivoire [19]. Dans les bassins fluviaux du Sénégal et du Niger au Mali, [11] a obtenu 3 groupes chez *Clarias anguillaris*. Les spécimens de poissons ayant la même provenance ont eu une forte similarité génétique et ont tendance à se trouver dans le même groupe. Le mélange de poissons de part et d'autre dans les groupes, comme dans la présente étude, montre que les échantillons présentent des allèles en commun. Ainsi, des échantillons de *Coptodon zillii* collectés à Carrière et à Faraba ont des allèles en commun. Cependant, certains spécimens de Faraba n'ont pas d'allèles en commun avec ceux de Carrière. Ces poissons du côté de la rivière Sankarani semblent ne pas avoir de contact avec les échantillons du lac. Cette situation pourrait s'expliquer par l'éthologie des Cichlidae qui sont reconnus comme des poissons qui se déplacent peu et par conséquent n'effectuent de migration sur une grande distance [3].

Il semble que l'étude ait touché deux populations de *Coptodon zillii*, une population mixte présentant des échantillons du lac et des échantillons de la rivière Sankarani et une population isolée appartenant à la rivière Sankarani.

5 CONCLUSION

L'étude a permis de mettre en évidence une diversité allélique et un polymorphisme chez *Coptodon zillii* du lac de Sélingué et environs, avec un excès d'hétérozygotes. Les 10 marqueurs microsatellites utilisés ont révélé 29 allèles et une différenciation génétique modérée entre les échantillons du débarcadère de Carrière dans le plan d'eau du lac et les échantillons du débarcadère de Faraba jouxtant la rivière Sankarani.

L'étude mériterait d'être poursuivie en prenant en compte les autres parties du lac de Sélingué, à savoir l'extrême amont et l'aval du barrage pour mieux caractériser génétiquement les différentes populations de *Coptodon zillii* du lac de Sélingué. Cependant, les résultats obtenus offrent des éléments de base sur la connaissance de la diversité génétique de *C. zillii* au Mali.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Fonds Compétitif pour la Recherche et l'Innovation Technologique (FCRIT), le Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) pour le financement des travaux de terrain. Les remerciements vont aussi à l'endroit des populations locales, les autorités administratives, communales et les services techniques de la zone d'étude, pour leur collaboration.

REFERENCES

- [1] T. O. Amoussou, « Caractérisation morphologique, génétique et zootechnique des populations naturelles de tilapias *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 du Sud du Bénin en vue de leur valorisation dans les systèmes piscicoles Thèse de Doctorat Université d'Abomey-Calavi au Bénin et Université Nazi Boni au Burkina Faso. 239p, 2017.
- [2] MDR, « Plan de campagne agricole harmonisé et consolidé ». Rapport, Ministère du Développement Rural, Bamako, Mali, 2021.
- [3] J. Quensière, « La pêche dans le delta central du Niger. Approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique ». IER/ORSTOM/Karhala. (2): 495 p, 1994.
- [4] MA, « Plan de campagne agricole harmonisé et consolidé ». Rapport, Ministère de l'Agriculture et Ministère de l'Elevage et de la Pêche, Bamako, Mali, 2016.
- [5] R. Diop, A. Konaté, Y. Sanogo, D. Traoré, M. Camara, « Relation taille - poids et facteur de condition des espèces de silures (genre *Clarias*) utilisées en pisciculture dans la zone périurbaine de Bamako. Revue Malienne de Science et de Technologie, Série A, vol. 0 n° 22, 83-93, 2019.
- [6] Y. Sanogo, D. Traoré, F. Samaké, A. Koné, « Les communautés ichtyologiques de la rivière Baoulé dans le bassin du fleuve Niger au Mali ». TROPICULTURA, 30, 2, 65-71, 2012.
- [7] Y. Sanogo F. Samaké, A. Koné, D. Traoré, « Diversité du peuplement ichtyologique de la rivière Bagoé (Bassin du Niger, Mali) ». *Agronomie Africaine*; 27 (1): 47 – 56, 2015.
- [8] Y. Sanogo, A. Konaté, N. Dembélé, K. Traoré, R. Diop, F. Samaké. « Sexe ratio et relation taille poids chez le Cichlide *Coptodon zillii* (Gervais, 1853) pêché dans le lac de Sélingué au Mali ». *Afrique Science*; 20 (4) 56-66, 2022.
- [9] FAO, « The state of world fisheries and aquaculture ». Rome, Italy. p 3-99p, 2012.
- [10] FAO, « The state of world fisheries and aquaculture ». Rome, Italy. 3-92p, 2014.
- [11] R. Diop, A. Konaté, R. Fané, N. Dembélé, S. Dao, D. Konaté, O. Ouattara, Y. Sanogo F. Samaké, D. Traoré, « Genetic diversity of *Clarias anguillaris* from the Bakoye, River in Mali ». *International Journal of Biological and Pharmaceutical Sciences Archive*. 01 (02), pp: 145-152, 2021.
- [12] R. Diop, « Caractérisation morphométrique et diversité génétique de *Clarias anguillaris* (Linnaeus 1758) pêche dans les bassins des fleuves Niger et Sénégal au Mali ». Thèse de doctorat de l'Université des sciences, des Techniques et Technologies de Bamako; 50-60p, 2022.
- [13] J. Kantoussan, Impacts de la pression de pêche sur l'organisation des peuplements de poissons: Application aux retenues artificielles de Sélingué et de Manantali, Mali, Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat, *Agrocampus Rennes*; 195 p, 2007.
- [14] K. Traoré, « Reproduction et croissance pondérale de *Hemichromis fasciatus* Peters, 1852 dans le lac de barrage hydroélectrique de Sélingué au Mali ». Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences, des Techniques et des technologies de Bamako. 67 p, 2020.
- [15] S. Kumar, G. Stecher, K. Tamura, « Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets ». *Mol Biol*. 33 (7): 1870-4, 2016.
- [16] O. A. Mohamed, B. S. Farhat, B. Sonia, M. Djemali, «Analyse moléculaire de la diversité des dromadaires (*Camelus dromedarius*) en Tunisie». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*. 14 (3).399-408, 2010.
- [17] E. Bezault, « Etude de la conservation de locus microsatellites chez les Tilapias et application à l'analyse de la ségrégation méiotique chez des hybrides inter-génériques (*O. niloticus* x *S. melanotheron*) ». Diplôme d'Etudes Supérieures de Sciences Naturelles à Université Pierre et Marie Curie - Paris VI. 41 p, 1999.
- [18] E. Bezault, R. Xavier, G. Karim, B. Jean-Francois, and C. Bernard, «Microsatellites Cross-Species Amplification across Some African Cichlids». *International Journal of Evolutionary Biology*. 7 p, 2012.
- [19] T. W. Marie, P. S. Didier, N. K. Cyrill, K. D. Guiguigbaza, Y. Wongbé, C. V. Yapi-Gnaoré, « Diversité génétique de six populations de *Heterobranchus longifilis* de Côte d'Ivoire ». *Journal of Animal and Plant Sciences*. Vol. 44 (2): 7621-7633 <https://doi.org/10.35759/JAnmPLSci.v44-2.2>, 2020.
- [20] R. Diop, Y. Sanogo, A. Konaté, S. Dembélé, S. Da Costa Kouassi, S. Dao, R. Fané, K. Traoré, N. Dembélé, D. Konaté, O. Ouattara, D. Traoré, F. Samaké, « Diversité et structure génétiques de *Clarias anguillaris* des bassins des fleuves Niger et Sénégal au Mali. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 39. pp. 1617-1624, 2023.

Les marqueurs de l'inflammation dans le COVID-19: C-Reactive Protein, ferritine et LDH, sont-ils des prédicteurs fiables de sévérité ?

[Are markers of inflammation in COVID-19: C-Reactive Protein, ferritin and LDH reliable predictors of severity ?]

Leila El Akkari and Fatima El Boukhrissi

Service de Biochimie-Toxicologie, Hôpital Militaire Moulay Ismail, Meknès, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Introduction:* COVID-19 disease is an infectious disease characterized by a wide spectrum of clinical manifestations of varying severity. Biological markers play an important role in its management. The objective of this work is to study the association between the elevation of certain markers of inflammation: CRP, ferritin and LDH, and the severity of COVID-19.

Materials and methods: This is a retrospective study carried out at the biochemistry laboratory of HMMI in Meknes, covering a series of 324 patients, hospitalized and declared positive for COVID-19. Patients are divided into 2 groups according to the severity of the disease; severe or moderate form, and all received a complete biological assessment including: CRP, ferritin and LDH. The aim of this study is to determine the role of these inflammatory markers in predicting the severity of COVID-19.

Results: In a series of 324 cases, the average age is 33 years with a M/F sex ratio of 5. 40 patients developed the severe form of the disease, in whom the average age and the number of comorbidities, are both significantly higher than in the moderate forms group (age, $p = 0.000$; comorbidities, $p < 0.05$). Plasma concentrations of CRP, ferritin and LDH were respectively increased in 164 (25.3%), 128 (19.7%), and 136 (21%) patients, with a statistically significant difference between the 2 groups of patients. However, statistical analysis shows that only CRP and ferritin levels are significant predictors of severe forms of COVID-19. A CRP level ≥ 31.80 mg/L predicts disease severity with a sensitivity of 80% and a specificity of 96.5%. For ferritin, the predictive rate of severity is ≥ 295 ng/mL, with a sensitivity of 70% and a specificity of 88.7%.

Discussion: Despite the limited size of our sample, the results of our study are consistent with those of the literature. They indicate that serum levels of CRP and ferritin are reliable and early predictors of the severity of COVID-19. Some studies have examined the prognostic role of other inflammatory markers, such as interleukin-6 and procalcitonin. However, it is difficult to carry out a large panel of tests in our context, given that they are not widely available.

Conclusion: Our study showed that serum CRP and ferritin levels are better than LDH in predicting severe forms of COVID-19. They can be determined easily in almost all laboratories, which would help ensure adequate care and monitoring of patients upon admission.

KEYWORDS: COVID-19, C-Reactive Protein, ferritin, LDH, predictors, severity.

RESUME: *Introduction:* La maladie du COVID-19 est une maladie infectieuse qui se caractérise par un large spectre de manifestations cliniques de sévérité variable. Les marqueurs biologiques jouent un rôle important dans sa prise en charge. L'objectif de ce travail est d'étudier l'association entre l'élévation de certains marqueurs de l'inflammation: la CRP, la ferritine et la LDH, et la sévérité du COVID-19.

Matériels et méthodes: Il s'agit d'une étude rétrospective réalisée au laboratoire de biochimie de l'HMMI de Meknès, portant sur une série de 324 patients, hospitalisés et déclarés positifs au COVID-19. Les patients sont répartis en 2 groupes selon la gravité de la maladie; forme sévère ou modérée, et ont tous bénéficié d'un bilan biologique complet comportant: la CRP, la ferritine et la LDH. Le but de cette étude est de déterminer le rôle de ces marqueurs de l'inflammation dans la prédiction de la sévérité du COVID-19.

Résultats: Sur une série de 324 cas, l'âge moyen est de 33 ans avec un sexe ratio H/F de 5. 40 patients ont développé la forme sévère de la maladie, chez qui l'âge moyen et le nombre de comorbidités, sont tous les deux significativement plus élevés que dans le groupe des formes modérées (âge, $p = 0,000$; comorbidités, $p < 0,05$). Les concentrations plasmatiques de la CRP, ferritine et LDH sont respectivement augmentées chez 164 (25,3%), 128 (19,7%), et 136 (21%) des patients, avec une différence statistiquement significative entre les 2 groupes de malades. Cependant, L'analyse statistique montre que seuls les taux de la CRP et de la ferritine sont des prédicteurs significatifs des formes sévères du COVID-19. Un taux de CRP $\geq 31,80$ mg/L prédit la gravité de la maladie avec une sensibilité de 80% et une spécificité de 96,5%. Pour la ferritine, le taux prédictif de sévérité est ≥ 295 ng/mL, avec une sensibilité de 70% et une spécificité de 88,7%.

Discussion: Malgré la taille limitée de notre échantillon, les résultats de notre étude concordent avec ceux de la littérature. Ils indiquent que les taux sériques de CRP et de ferritine, sont des prédicteurs fiables et précoces, en ce qui concerne la sévérité du COVID-19. Certaines études ont examiné le rôle pronostique d'autres marqueurs inflammatoires, comme l'interleukine-6 et la procalcitonine. Cependant, il est difficile de réaliser dans notre contexte un grand panel de tests, vu qu'ils ne sont pas largement disponibles.

Conclusion: Notre étude a montré que les taux sériques de CRP et de ferritine sont meilleurs que ceux de la LDH dans la prédiction des formes sévères du COVID-19. Ils peuvent être déterminés facilement dans presque tous les laboratoires, ce qui aiderait à assurer une prise en charge et un suivi adéquat aux patients dès leur admission.

MOTS-CLEFS: COVID-19, C-Reactive Protein, ferritine, LDH, prédicteurs, sévérité.

1 INTRODUCTION

La maladie COVID-19 est une maladie infectieuse fortement contagieuse liée au virus SARS-COV2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2). Les premiers cas sont apparus fin 2019 à Wuhan, la 7^{ème} ville la plus peuplée de Chine. [1] Depuis, l'épidémie a connu une flambée dans le monde entier. Le 30 Janvier 2020, l'OMS a déclaré que la maladie constitue « une urgence de santé publique de portée internationale » puis comme « une pandémie » le 11 Mars 2020. Au Maroc, on compte jusqu'à ce jour plus de 470000 cas confirmés de la maladie avec un nombre de décès avoisinant les 8300. Le 1^{er} cas déclaré dans notre pays remonte au 02 Mars 2020. Il s'agissait d'un ressortissant marocain en provenance d'Italie [2].

Le virus du SARS-COV2 appartient à la famille des Coronavirus. Son réservoir naturel semble être la chauve-souris. [3] Plusieurs hypothèses ont été émises concernant l'hôte intermédiaire du virus, notamment celles du serpent et du pangolin, mais aucune n'a été validée avec certitude. [4] La transmission du virus est principalement inter-humaine, via les gouttelettes respiratoires générées lorsqu'une personne infectée parle, tousse ou éternue [5].

Le nouveau virus pénètre dans les cellules épithéliales grâce à des récepteurs spécifiques. Il a été démontré que la protéine S (Spike), se trouvant sur l'enveloppe du virus, avait une grande affinité avec le récepteur ACE2, ce qui permet son entrée dans la cellule. [6] Les récepteurs ACE2 se trouvent le plus souvent sur la paroi des voies respiratoires, mais également au niveau de l'épithélium intestinal, le foie, le cœur, les vaisseaux sanguins et les reins. [7,8] Après une durée d'incubation moyenne de 5 jours, [9] survient une infection du tractus respiratoire qui se caractérise par un large spectre de manifestations cliniques de sévérité variable.

Les marqueurs biologiques jouent un rôle important dans la prise en charge des patients atteints du COVID19, non seulement dans la démarche diagnostique, mais surtout dans l'évaluation du pronostic de la maladie [10].

L'objectif de notre travail est d'étudier le rôle que peuvent jouer certains marqueurs de l'inflammation dans la prédiction de la gravité du COVID-19, en comparant 3 paramètres biochimiques souvent augmentés: la CRP, la ferritine et la LDH.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 POPULATION D'ÉTUDE

Cette étude rétrospective concerne 324 patients d'âge ≥ 18 ans confirmés positifs au COVID-19 par RT-PCR et hospitalisés depuis le début de la pandémie à l'hôpital militaire Moulay Ismail de Meknès, entre le mois de Mars et le mois de Juillet 2020. Les patients sont classés en fonction du tableau clinique en 2 catégories: forme sévère ($n=284$), définie par une $SpO_2 < 94\%$ et/ou une étendue des lésions scanographiques $> 50\%$, et forme non sévère ($n=40$), incluant tous les patients hospitalisés mais ne répondant pas aux critères précédents. [11], [16]

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

La collecte des renseignements cliniques et paracliniques a été réalisée à partir des dossiers des patients et le recueil des données sur des fiches d'exploitation comprenant: les paramètres démographiques (âge, sexe), les comorbidités associées (diabète, HTA,...), le service d'hospitalisation (Réanimation/Covid), les paramètres cliniques et radiologiques (T°, SaO₂, TDM,...) et les paramètres biologiques (CRP, ferritine, LDH).

2.3 MÉTHODE D'ANALYSE BIOLOGIQUE

Le diagnostic de certitude s'est basé sur la méthode de référence de diagnostic moléculaire du SARS-CoV-2: la RT-PCR. L'identification du génome viral s'est faite sur des écouvillons naso-pharyngés. Tous les patients confirmés positifs au COVID-19 ont bénéficié d'un bilan biologique complet avec le dosage de la CRP, la ferritine et la LDH réalisés au service de biochimie-toxicologie de l'HMMI de Meknès. Les prélèvements sanguins sont réalisés à jeun dans les premières 24h de l'hospitalisation. Les seuils retenus pour définir une élévation des paramètres étudiés sont pour la CRP: 10mg/L, la LDH: 250U/L et la ferritine: 200mg/L chez la femme et 300mg/L chez l'homme.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

L'exploitation des données et l'analyse des résultats est effectuée sur le logiciel Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), en version 21.0 (IBM, Chicago, IL). Les données qualitatives ont été présentées sous forme de moyenne et d'écart type, les données quantitatives sous forme de valeurs médianes (intervalle interquartile (IQR) 25% - 75%), de chiffres et de pourcentages. L'analyse des caractéristiques démographiques, cliniques et biologiques, a été réalisée à l'aide du test chi carré, le test exact de Fisher et le test U de Mann-Whitney. Une analyse de régression logistique a été utilisée pour déterminer les facteurs prédicteurs affectant la gravité du COVID-19 et une courbe de fonctionnement du récepteur a été réalisée pour trouver la valeur seuil, la sensibilité et la spécificité de ces prédicteurs.

3 RÉSULTATS

3.1 TERRAIN: AGE, SEXE ET COMORBIDITÉS

Notre population d'étude est composée de 324 patients atteints de la COVID 19 avec un âge médian de 33 ans (18 – 76 ans) et un sexe ratio H/F de 5. 40 patients ont développé la forme sévère alors que 284 patients ont présenté la forme modérée. Le groupe de patients atteints de la forme modérée (G1) est constitué de 284 sujets (54 femmes, 270 hommes) d'âge médian de 58 ans, alors que le groupe de patients atteints de la forme sévère (G2) est composé de 40 patients (10 femmes, 30 hommes) avec un âge médian de 32 ans. On note une différence statistiquement significative entre les deux groupes ($p = 0,000$). Les comorbidités sont présentes chez 18 % des sujets, ainsi le diabète est rapporté chez 9,25%, l'HTA chez 3,7% et les cardiopathies chez 2,46%. Le nombre de comorbidités est significativement plus élevé dans le groupe des formes sévères par rapport au groupe des formes modérées ($p < 0,05$).

3.2 TABLEAU CLINIQUE

Les symptômes retrouvés chez les sujets sont dominés par la fièvre (21%), la toux (16,7%), l'anosmie (16%), les céphalées (16%), l'asthénie (14,2%) et les arthromyalgies (11,7%). Par ailleurs, d'autres signes sont rapportés comme la dyspnée (10%), la diarrhée (6,8%) et les nausées/vomissements (2,5%). Parmi les 162 malades, 20 (12,34%) ont présenté une forme grave de la maladie, dont 8 (4,93%) ont nécessité une admission en service de réanimation. A l'admission, ces patients ont une saturation en oxygène $< 95\%$ et/ou présentent au scanner des lésions pulmonaires typiques en verre dépoli, d'une étendue supérieure à 50%. Deux (1,23%) de ces malades âgés de 69 et de 75 ans sont décédés.

Tableau 1. Caractéristiques démographiques et cliniques des cas modérés et sévères de COVID 19

	Total n= 324	Modérés (n=284) n (%)	Sévères (n=40) n (%)	p-value
Age - Médiane (IQR)	33 (27 - 45)	32 (27 – 41)	58 (45 – 68)	0,000^a
Sexe				
Homme	270 (83,5%)	240 (84,5%)	30 (75%)	0,108 ^b
Femme	54 (16,5%)	44 (15,7%)	10 (25%)	
Comorbidités				
Diabète	30 (9,3%)	12 (4,2%)	18 (45%)	0,000^b
HTA	12 (3,7%)	4 (1,4%)	8 (20%)	0,002^c
Cardiovx	8 (2,5)	2 (0,6%)	6 (15%)	0,006^c
Maladie de système/Maladie auto immune	8 (2,5%)	4 (1,2%)	4 (10%)	<0,0001
Hémopathie	4 (1,2%)	4 (1,2%)	0	
Obésité (IMC>30)	2 (0, 6%)	2 (0,6%)	0	
Autre	6 (1,9%)	0	6 (15%)	
Signes cliniques				
Fièvre	68 (21%)	52 (18,3%)	16 (40%)	0,003^b
Toux	54 (16,6%)	32 (11,3%)	22 (55%)	0,000^b
Anosmie	52 (16%)	46 (16,4%)	6 (15%)	1,000 ^c
Céphalées	52 (16%)	44 (15,5%)	8 (20%)	0,533 ^c
Asthénie	46 (14,2%)	38 (13,4%)	8 (20%)	0,084 ^c
Arthromyalgies	38 (11,7%)	24 (8,5%)	14 (35%)	0,000^b
Dyspnée	32 (10%)	16 (5,6%)	16 (40%)	0,000^b
Mal de gorge	16 (8%)	18 (6,3%)	8 (20%)	0,060 ^c
Diarrhée	22 (6,8%)	20 (7%)	2 (5%)	1,000 ^c
Agueusie	20 (6,2%)	20 (7%)	0	0,614 ^c
Rhinorrhée	12 (3,7%)	12 (4,2%)	0	1,000 ^c
Nausée/Vomissement	8 (2,5%)	6 (2,1%)	2 (5%)	0,413 ^c
Anorexie	4 (1,2%)	0	4 (10%)	0,015^c
Evolution				
Réanimation	16 (4,9%)	0	16 (40%)	0,000^c
Décès	4 (1,2%)	0	4 (10%)	0,015^c

*p<0,05, a: Test U de Mann-Whitney, b: Test de chi carré, c: Test exact de Fisher, IQR intervalle interquartile.

3.3 MARQUEURS BIOCHIMIQUES (CRP, FERRITINE ET LDH)

Les concentrations plasmatiques de la CRP, ferritine et LDH étaient respectivement augmentées chez 82 (25,3%), 60 (19,7%), et 70 (21%) des patients. La comparaison des valeurs entre les deux groupes a montré une différence statistiquement significative pour la CRP (66,1mg/l vs 1,4mg/l, p=0,000), pour la ferritine (458,4µg/l vs 119,8µg/l, p=0,000), et la LDH (289U/l vs 202,5U/l, p=0,000).

Tableau 2. Taux de CRP, ferritine et LDH chez les patients atteints du COVID-19

Marqueurs inflammatoires	Total (n =324)	Modérés (n=284)	Sévères (n=40)	p-value
CRP> 10mg/L n (%) Médiane (IQR)	82 (25,9%)	48 (16,9%) 1,4 (0,50-4,22)	34 (85%) 66,1 (33,1– 96,6)	0,000^{a, b}
Ferritine F > 200µg/L H > 300 µg/L n (%) Médiane (IQR)	60 (19,1%)	34 (12%) 119,8 (71 –191,5)	26 (65%) 458,4 (158,2 -1131,4)	
LDH>250U/L n (%) Médiane (IQR)	70 (21,6%)	42 (14,8%) 202,5 (174,75–232,25)	28 (70%) 289 (235,75 - 335,25)	

* $p < 0,05$, a Test U de Mann-Whitney, b Test de chi carré, IQR intervalle interquartile.

L'analyse de régression logistique, incluant la CRP, la ferritine et la LDH, comme facteurs indépendants de gravité, montre que seuls les taux de la CRP (OR=1,036, 95% IC (1.016–1.056), $p=0,000$) et de la ferritine (OR=1,001, 95% IC (1.000–1.002), $p=0,082$) sont des prédicteurs significatifs des formes sévères du COVID-19.

Tableau 3. Résultats de l'analyse de régression logistique comparant la CRP, la ferritine et la LDH, comme facteurs indépendants de gravité

	p-value	OR	IC pour OR 95%	
			Inférieur	Supérieur
CRP	0,000*	1,036	1,016	1,056
Ferritine	0,082*	1,001	1,000	1,002
LDH	0,713	1,001	0,995	1,008

* $p < 0,5$, OR OddsRatio, IC intervalle de confiance

Une analyse de la courbe des caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC) a été réalisé, afin de déterminer la meilleure valeur seuil des taux de la CRP et de la ferritine pouvant prédire la sévérité de la maladie. On a constaté qu'un taux de CRP $\geq 31,80$ mg/L prédisait la gravité de la maladie avec une sensibilité de 80% et une spécificité de 96,5% (aire sous la courbe (ASC): 0,882, $p < 0,05$). [Figure 2] Pour la ferritine, le taux prédictif de sévérité est ≥ 295 ng/mL, avec une sensibilité de 70% et une spécificité de 88,7% (aire sous la courbe (ASC): 0,794, $p < 0,05$).

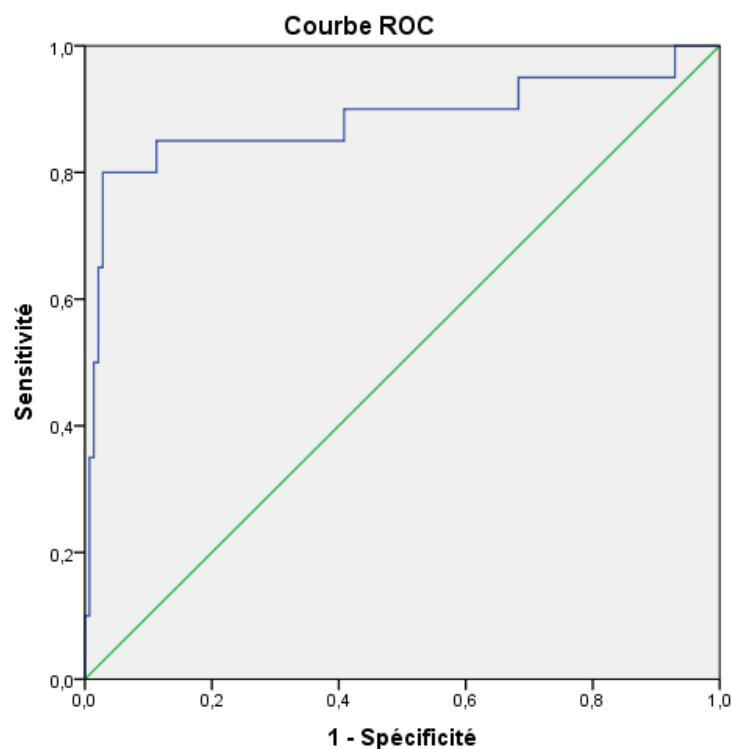


Fig. 1. Courbe des caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC) pour la CRP. Aire sous la courbe (AUC) = 0,882 ($p < 0,05$); IC à 95% = 0,772 – 0,993.

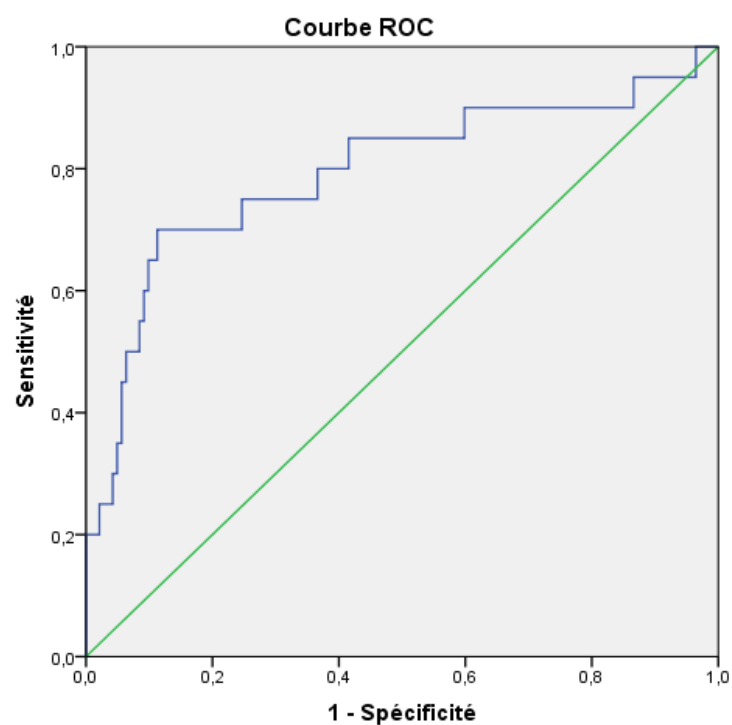


Fig. 2. Courbe des caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC) pour la ferritine. Aire sous la courbe (AUC) = 0,794 ($p < 0,05$); IC à 95% = 0,666 – 0,921.

4 DISCUSSION

Depuis le début de la pandémie, de nombreuses études menées ont révélé une augmentation de la gravité du COVID-19 avec l'âge. En effet, l'âge moyen des patients ayant une forme sévère de la maladie serait compris entre 50 et 60 ans [12]. Selon une méta-analyse regroupant plus de 200 études à travers le monde, l'âge moyen dans ce groupe de malades est estimé à 60 ans [13]. On retrouve presque le même résultat dans notre étude (58 ans). Aussi, on remarque un nombre de comorbidités significativement plus élevé dans le groupe des formes graves de la maladie que dans celui des formes modérées. Le diabète, l'HTA et les maladies cardiovasculaires sont les plus fréquents, avec des prévalences respectives de 45%, 20% et 15% ($p < 0,001$, $p = 0,002$, $p = 0,006$). Des études préalables ont également identifié l'âge et les maladies métaboliques associées, telles que le diabète et l'HTA, comme des facteurs de risque d'une évolution défavorable du COVID-19 [13], [14]. Ces comorbidités se voient plus fréquemment dans les groupes d'âge avancé. Ce qui laisse à suggérer que leur effet sur la sévérité du COVID-19 serait âge-dépendant [15].

Il existe au moins deux explications possibles à l'augmentation de la prévalence du diabète chez le groupe des formes sévères. Le dysfonctionnement immunitaire observé chez les sujets diabétiques pourrait être lié à l'expression exagérée des cytokines pro-inflammatoires [16]. Cette réaction inadaptée est marquée par l'aggravation du syndrome inflammatoire [10]. De plus, l'expression de l'enzyme de conversion de l'angiotensine II (ACE2), qui semble être la porte d'entrée du SRAS-COV-2 dans l'organisme, serait diminuée chez les sujets diabétiques. Bien que cela puisse sembler bénéfique, car il y'aurait moins de récepteurs disponibles pour que le virus puisse pénétrer dans les cellules, l'ACE2 s'est avérée être une protéine anti-inflammatoire, pouvant même avoir un pouvoir protecteur dans d'autres pneumopathies infectieuses [17]. Par conséquent, la faible expression de l'ACE2 chez les patients diabétiques atteints du COVID-19 pourrait contribuer à l'inflammation pulmonaire incontrôlée et aggraver le tableau clinique. Dans l'HTA, le système rénine-aldostérone-angiotensine (SRAA) est dérégulé. Les patients hypertendus sont souvent sous inhibiteurs de l'enzyme de conversion (IEC), qui sont censés faire augmenter l'expression de l'ACE2 [18]. Cependant, rien encore ne prouve que les IEC ou d'autres médicaments similaires entraînent une expression tissulaire accrue des ACE [19]. Néanmoins, un dysfonctionnement immunitaire a également été associé à l'HTA. Il s'agirait d'une altération des fonctions des lymphocytes T CD8+ qui pourrait entraîner une dérégulation des cytokines et par conséquent contribuer à la réaction inflammatoire systémique et au syndrome de détresse respiratoire aigüe, tous les deux observés dans les formes sévères du COVID-19 [20].

Lors d'une méta-Analyse incluant 43 études en Chine, on a constaté que la fièvre, la toux et l'asthénie, faisaient partie des symptômes les plus courants dans le COVID-19 [21]. Les résultats de notre étude sont comparables à ceux de la littérature. Les signes cliniques le plus souvent observés sont par ordre de fréquence: la fièvre, la toux, l'anosmie, les céphalées et l'asthénie. Par contre, on note une prédominance des signes respiratoires chez les patients atteints de la forme sévère de la maladie, à savoir la toux (55%) et la dyspnée (40%). Ceci s'explique par l'atteinte pulmonaire qui se complique souvent d'une insuffisance respiratoire dans les formes graves [22]. Comme on l'a déjà évoqué, la phase d'invasion virale est parfois suivie d'une réaction immunitaire inadaptée, marquée par l'aggravation de la symptomatologie respiratoire et du syndrome inflammatoire [10]. Les premières publications scientifiques ont soutenu le rôle de « l'orage cytokinique » dans l'aggravation de la maladie. Il serait responsable d'une atteinte multi-organique [23]. Cette hypothèse, proposée par le Professeur Li Lanjuan, est aujourd'hui remise en question [24]. Cependant, on a remarqué une élévation importante des cytokines inflammatoires, en particulier celle des IL6, chez les patients souffrant des formes graves voire létales de la maladie [25], [26]. D'autres marqueurs de l'inflammation sont impliqués dans la COVID-19. Les plus utilisés en pratique courante au laboratoire de biochimie sont la CRP, la ferritine et la LDH [27].

La CRP est un biomarqueur sensible de la phase aigüe de l'inflammation, de l'infection et des lésions tissulaires [28]. Son taux se trouve souvent élevé chez les patients atteints du COVID-19. Les cas les plus sévères ont montré une élévation significativement plus marquée par rapport aux cas modérés (81,5% vs 56,4%, respectivement) [21]. Dans notre étude, on retrouve également une corrélation positive entre l'élévation des taux de CRP et la sévérité de la maladie (85% vs 16,9%, $p < 0,001$). Ces taux élevés seraient liés non seulement à l'inflammation, mais également au développement du syndrome de détresse respiratoire aigüe et des lésions myocardiques, qui sont observés dans les formes sévères du COVID-19 [29], [30].

La ferritine est la protéine qui permet le stockage du fer dans l'organisme [31]. Son dosage sérique est la méthode de référence pour évaluer les réserves martiales [32]. Ces dernières décennies, la ferritine est devenue une molécule clé du système immunitaire, orchestrant la défense cellulaire contre l'inflammation [33], [34]. Les études récentes ont montré des taux élevés de la ferritine chez les patients atteints du COVID-19 [35]. Ces taux sont d'autant plus élevés dans les formes sévères que dans les formes modérées [36]. Ces données concordent avec les résultats de notre étude, qui montrent des taux de ferritine significativement plus élevés chez les malades sévères (65% vs 12%, $p < 0,001$). L'hyperferritinémie s'observe, non seulement en cas de surcharge en fer, mais également dans les états inflammatoires, les maladies auto-immunes, infectieuses

ou néoplasiques [37-38]. Dans des situations encore plus critiques, les taux de ferritine peuvent atteindre des niveaux extrêmement élevés. Par exemple, dans le syndrome d'activation macrophagique (MAS), déclenché par des infections virales, on observe une réaction anormale du système immunitaire, associant une surexpression des cytokines et une hyperferritinémie [39]. Un profil de cytokines ressemblant au MAS, caractérisé par des taux élevés d'IL1, IL2, IL6, IL7, IL8 et TNF α , a été rapporté chez les patients atteints de la forme sévère du COVID-19 [40]. On suppose qu'il existe une physiopathologie commune de l'hyperferritinémie, entre le MAS et le COVID-19 sévère [35].

En plus de l'augmentation la CRP et la ferritine, on constate également une élévation du taux de la LDH dans les infections virales sévères en général, mais aussi dans les formes sévères du COVID-19 [41], [42]. La LDH est une enzyme intracellulaire de la voie métabolique anaérobie. Elle catalyse la conversion réversible du lactate en pyruvate avec la réduction du NAD $^{+}$ en NADH [43]. Cette enzyme est présente, dans presque tous les tissus de l'organisme, sous forme de 5 isozymes distinctes: LDH-1 dans les cardiomyocytes, LDH-2 dans le système réticuloendothélial, LDH-3 dans les pneumocytes, LDH-4 dans les reins et le pancréas et la LDH-5 dans le foie et le muscle strié [45]. Les infections sévères peuvent entraîner des lésions tissulaires, médiées par les cytokines, avec une libération de la LDH [46]. Etant présente dans le tissu pulmonaire (isozyme 3), la libération de la LDH pourrait être accrue chez les patients atteints du COVID-19 sévère, ce qui entraînerait une pneumonie interstitielle, évoluant souvent vers un syndrome de détresse respiratoire aigu [45]. Une étude chinoise comparant les taux élevés de LDH chez les malades sévères et non sévères, sur une totalité de 675 patients, a montré une différence significative entre les 2 groupes (70,5% vs 39%) [47]. On retrouve également dans notre étude une corrélation significative entre l'élévation des taux de LDH et la sévérité du COVID-19 (70% vs 14, 8%, $p < 0,001$).

En appliquant une analyse statistique de régression logistique, la comparaison des 3 paramètres biologiques: CRP, ferritine et LDH, a montré que les deux premiers sont de meilleurs prédicteurs de sévérité du COVID-19 par rapport à la LDH. Lors d'une étude Pakistanaise évaluant les mêmes marqueurs inflammatoires, on a trouvé que la ferritine sérique était le prédicteur le plus faible parmi l'ensemble des paramètres biologiques étudiés [48]. Pourtant, la plupart des études préconisent l'utilisation du couple ferritine et CRP dans la prédiction de la sévérité du COVID-19 [35, 49-51]. L'interprétation des courbes ROC des taux sériques de la CRP et de la ferritine, a confirmé dans notre étude, que ces deux marqueurs sont des prédicteurs très fiables d'une évolution défavorable. Pour la CRP, une valeur $\geq 31,80$ mg/L prédit une forme sévère de la maladie avec une sensibilité de 80% et une spécificité de 96,5% (AUC = 0,882). Liu et coll. ont également montré qu'une CRP $> 41,8$ mg/L était associée à des complications graves du COVID-19, avec une sensibilité de 88,9% et une spécificité de 72,7% (AUC = 0,858) [52]. Quant à la ferritine, notre valeur seuil prédictive est ≥ 295 ng/ml, avec une sensibilité de 70% et une spécificité de 88,7% (AUC = 0,794). On retrouve un résultat semblable dans une étude de Cao et coll., qui a démontré qu'une valeur seuil $\geq 272,5$ ng/ml prédisait la gravité de la maladie avec une sensibilité de 96% et une spécificité de 70% (ASC = 0,873) [53].

Malgré la taille limitée de notre échantillon, les résultats de notre étude concordent avec ceux de la littérature. Ils indiquent que les taux sériques de CRP et de ferritine, sont des prédicteurs fiables et précoces, en ce qui concerne la sévérité du COVID-19. Certaines études ont examiné le rôle pronostique d'autres marqueurs inflammatoires, comme l'interleukine-6 et la procalcitonine [51,52]. Cependant, il est difficile de réaliser dans notre contexte un grand panel de tests, vu qu'ils ne sont pas largement disponibles.

5 CONCLUSION

Notre étude a montré que les taux sériques de CRP et de ferritine sont meilleurs que ceux de la LDH, dans la prédiction des formes sévères du COVID-19. Ils peuvent être déterminés facilement dans presque tous les laboratoires, ce qui aiderait à assurer une prise en charge et un suivi adéquat aux patients dès leur admission.

REFERENCES

- [1] D. Wang, B. Hu, C. Hu, F. Zhu, X. Liu, J. Zhang, B. Wang, H. Xiang, Z. Cheng, Y. Xiong, Y. Zhao, Y. Li, X. Wang, Z. Peng, Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China, JAMA 323 (2020); 1061–1069, <https://doi.org/10.1001/jama.2020.1585>.
- [2] <http://www.covidmaroc.ma/>
- [3] Zhou P, Yang XL, Wang XG, Hu B, Zhang L, Zhang W, Si HR, Zhu Y, Li B, Huang CL, Chen HD, Chen J, Luo Y, Guo H, Jiang RD, Liu MQ, Chen Y, Shen XR, Wang X, Zheng XS, Zhao K, Chen QJ, Deng F, Liu LL, Yan B, Zhan FX, Wang YY, Xiao GF, Shi ZL. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. Nature 2020; 579 (7798): 270–273, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2951-z>.
- [4] Ji W, Wang W, Zhao X, Zai J, Li X. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV. J Med Virol 2020; 92: 433–40. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11684-020-0767-8#citeas>.

- [5] Wiersinga, W.J., Rhodes, A., Cheng, A.C., Peacock, S.J., Prescott, H.C., 2020. Pathophysiology, Transmission, Diagnosis, and Treatment of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA* 324, 782. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12839>.
- [6] Tai W, He L, Zhang X, et al. Characterization of the receptor-binding domain (RBD) of 2019 novel coronavirus: implication for development of RBD protein as a viral attachment inhibitor and vaccine. *Cell Mo Immunol.* 2020. <https://doi.org/10.1038/s41423-020-0400-4>.
- [7] D'Amico F, Baumgart DC, Danese S, et al. Diarrhea during COVID-19 infection: pathogenesis, epidemiology prevention and management. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2020. <https://doi.org/10.1038/s41423-020-0400-4>.
- [8] Touyz RM, Li H, Delles C. ACE2 the Janus-faced protein – from cardiovascular protection to severe acute respiratory syndrome-coronavirus and COVID-19. *Clin Sci.* 2020; 134 (7): 747–750. <https://doi.org/10.1042/cs20200363>.
- [9] Guan W, Ni Z, Hu Y, Liang W, Ou C, He J, et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N Engl J Med* 2020; 382 (18): 1708–20.
- [10] Skevaki, C., Fragkou, P.C., Cheng, C., Xie, M., Renz, H., 2020. Laboratory characteristics of patients infected with the novel SARS-CoV-2 virus. *Journal of Infection* 81, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.06.039>
- [11] COVID-19 Treatment Guidelines Panel. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Treatment Guidelines. National Institutes of Health. <https://www.covid19treatmentguidelines.nih.gov/>.
- [12] Verity R, Okell LC, Dorigatti I, et al.: Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. *Lancet Infect Dis.* 2020, 20: 669-677. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30243-7](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30243-7).
- [13] Li J, Huang DQ, Zou B, Yang H, Hui WZ, Rui F, Yee NTS, Liu C, Nerurkar SN, Kai JCY, Teng MLP, Li X, Zeng H, Borghi JA, Henry L, Cheung R, Nguyen MH. Epidemiology of COVID-19: A systematic review and meta-analysis of clinical characteristics, risk factors, and outcomes. *J Med Virol.* 2021 Mar; 93 (3): 1449-1458. doi: 10.1002/jmv.26424. Epub 2020 Aug 25. PMID: 32790106; PMCID: PMC7436673.
- [14] Grasselli G, Zangrillo A, Zanella A, et al. Baseline Characteristics and Outcomes of 1591 Patients Infected With SARS-CoV-2 Admitted to ICUs of the Lombardy Region, Italy. *JAMA.* 2020; 323 (16): 15741581. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.5394>.
- [15] Katherine E Goodman, JD, PhD, Laurence S Magder, PhD, Jonathan D Baghdadi, MD, PhD, Lisa Pineles, MA, Andrea R Levine, MD, MS, Eli N Perencevich, MD, MS, Anthony D Harris, MD, MPH, Impact of Sex and Metabolic Comorbidities on COVID-19 Mortality Risk Across Age Groups: 66,646 Inpatients Across 613 U.S. Hospitals, *Clinical Infectious Diseases*, 2020;,, ciaa1787, <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1787>.
- [16] Morgan Spencer Gold, Daniel Sehayek, Sofianne Gabrielli, Xun Zhang, Christine McCusker & Moshe Ben-Shoshan (2020) COVID-19 and comorbidities: a systematic review and meta-analysis, *Postgraduate Medicine*, 132: 8, 749-755, DOI: 10.1080/00325481.2020.1786964.
- [17] Zou Z, Yan Y, Shu Y, et al. Angiotensin-converting enzyme 2 protects from lethal avian influenza A H5N1 infections. *Nat Commun.* 2014 May 6; 5 (1): 3594.
- [18] Ferrario CM, Jessup J, Chappell MC, et al. Effect of angiotensin-converting enzyme inhibition and angiotensin II receptor blockers on cardiac angiotensin-converting enzyme 2. *Circulation.* 2005 May 24; 111 (20): 2605–2610.
- [19] Danser AHJ, Epstein M, Batlle D. Renin-angiotensin system blockers and the COVID-19 pandemic: at present there is no evidence to abandon renin-angiotensin system blockers. *Hypertension.* 2020 Jun; 75 (6): 1382–1385.
- [20] Youn JC, Yu HT, Lim BJ, et al. Immunosenescent CD8+ T cells and C-X-C chemokine receptor type 3 chemokines are increased in human hypertension. *Hypertension.* 2013 Jul; 62 (1): 126–133.
- [21] FU, Leiwen, WANG, Bingyi, YUAN, Tanwei, et al. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Infection*, 2020, vol. 80, no 6, p. 656-665.
- [22] WJ Guan ZY Ni Y Hu Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med.* 2020.
- [23] Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet* 2020; 395: 497–506.
- [24] Furong Zeng, Yuzhao Huang, Ying Guo, Mingzhu Yin, Xiang Chen, Liang Xiao, Guangtong Deng, Association of inflammatory markers with the severity of COVID-19: A meta-analysis, *International Journal of Infectious Diseases*, Volume 96, 2020, 467-474, <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.055>.
- [25] Yang X, Yu Y, Xu J, Shu H, Xia J, Liu H, et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *Lancet Respir Med* 2020; 8: 475–81.
- [26] Qin C, Zhou L, Hu Z, Zhang S, Yang S, Tao Y, et al. Dysregulation of immune response in patients with coronavirus 2019 (COVID-19) in Wuhan, China. *Clin Infect Dis* 2020, <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa248>.
- [27] Henry BM, de Oliveira MH, Benoit S, Plebani M, Lippi G. Hematologic, biochemical and immune biomarker abnormalities associated with severe illness and mortality in coronavirus disease 2019 (COVID-19): a meta-analysis. *Clin Chem Lab Med* 2020; 58: 1021–8.

- [28] M.B. Pepys, G.M. Hirschfield, C-reactive protein: a critical update, *J. Clin. Invest.* 111 (2013) 1805–1812, <https://doi.org/10.1172/JCI18921>.
- [29] Wu C, Chen X, Cai Y, et al.: Risk factors associated with acute respiratory distress syndrome and death in patients with coronavirus disease 2019 pneumonia in Wuhan, China. *JAMA Intern Med.* 2020, 180: 1-11. [10.1001/jamainternmed.2020.0994](https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.0994).
- [30] Shi S, Qin M, Shen B, et al.: Association of cardiac injury with mortality in hospitalized patients with COVID-19 in Wuhan, China. *JAMA Cardiol.* 2020, 5: 802-10. [10.1001/jamacardio.2020.0950](https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.0950).
- [31] Laufberger MV: Sur la cristallisation de la ferritine. *Bull Soc Chim Biol* 1937; 19: 1575.
- [32] Jacobs A, Worwood M. Ferritin in serum. Clinical and biochemical implications. *N Engl J Med.* 1975 May 1; 292 (18): 951-6. doi: [10.1056/NEJM197505012921805](https://doi.org/10.1056/NEJM197505012921805). PMID: 1090831.
- [33] Sharif K, Vieira Borba V, Zandman-Goddard G, Shoenfeld Y. Eppur Si Muove: ferritin is essential in modulating inflammation. *Clin Exp Immunol.* 2018 Feb; 191 (2): 149-150. doi: [10.1111/cei.13069](https://doi.org/10.1111/cei.13069). Epub 2017 Nov 9. PMID: 29023673; PMCID: PMC5758369.
- [34] Wang W, Knovich MA, Coffman LG, Torti FM, Torti SV. Serum ferritin: Past, present and future. *BiochimBiophys Acta.* 2010 Aug; 1800 (8): 760-9. doi: [10.1016/j.bbagen.2010.03.011](https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2010.03.011). Epub 2010 Mar 19. PMID: 20304033; PMCID: PMC2893236.
- [35] Dahan S, Segal G, Katz I, Hellou T, Tietel M, Bryk G, Amital H, Shoenfeld Y, Dagan A. Ferritin as a Marker of Severity in COVID-19 Patients: A Fatal Correlation. *Isr Med Assoc J.* 2020 Aug; 22 (8): 494-500. PMID: 33236582.
- [36] Chen G, Wu D, Guo W, Cao Y, Huang D, Wang H, Wang T, Zhang X, Chen H, Yu H, Zhang X, Zhang M, Wu S, Song J, Chen T, Han M, Li S, Luo X, Zhao J, Ning Q. Clinical and immunological features of severe and moderate coronavirus disease 2019. *J Clin Invest.* 2020 May 1; 130 (5): 2620-2629. doi: [10.1172/JCI137244](https://doi.org/10.1172/JCI137244). PMID: 32217835; PMCID: PMC7190990.
- [37] Agmon-Levin N, Rosário C, Katz BS, Zandman-Goddard G, Meroni P, Cervera R, Stojanovich L, Blank M, Pierangeli S, Praprotnik S, Meis Ed, Seguro LP, Ruffatti A, Pengo V, Tincani A, Doria A, Shoenfeld Y. Ferritin in the antiphospholipid syndrome and its catastrophic variant (cAPS). *Lupus.* 2013 Nov; 22 (13): 1327-35. doi: [10.1177/0961203313504633](https://doi.org/10.1177/0961203313504633). Epub 2013 Sep 13. PMID: 24036580.
- [38] Zandman-Goddard G, Shoenfeld Y. Ferritin in autoimmune diseases. *Autoimmun Rev.* 2007 Aug; 6 (7): 457-63. doi: [10.1016/j.autrev.2007.01.016](https://doi.org/10.1016/j.autrev.2007.01.016). Epub 2007 Feb 16. PMID: 17643933.
- [39] Manuel Ramos-Casals, Pilar Brito-Zerón, Armando López-Guillermo, Munther A Khamashta, Xavier Bosch, Adult haemophagocytic syndrome, *The Lancet*, Volume 383, Issue 9927, 2014, Pages 1503-1516, ISSN 0140-6736, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61048-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61048-X).
- [40] Suxin Wan, Qingjie Yi, Shibing Fan, Jinglong Lv, Xianxiang Zhang, Lian Guo, Chunhui Lang, Qing Xiao, Kaihu Xiao, Zhengjun Yi, Mao Qiang, Jianglin Xiang, Bangshuo Zhang, Yongping Chen. Characteristics of lymphocyte subsets and cytokines in peripheral blood of 123 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus pneumonia (NCP).
- [41] Henry B, De Olivera MHS, S. B, M. P, G. L Hematologic, biochemical and immune marker abnormalities associated with severe illness and mortality in coronavirusdisease 2019 (COVID 19): a meta-analysis. *Clin Chem Lab Med.* 2020.
- [42] Tao RJ, Luo XL, Xu W, et al. Viral infection in community acquired pneumonia patientswith fever: a prospective observational study. *J Thorac Dis.* 2018; 10 (7): 4387–95.
- [43] Hsu PP, Sabatini DM. Cancer cell metabolism: Warburg and beyond. *Cell.* 2008; 134 (5): 703–7.
- [44] Farhana A, Lappin SL. Biochemistry, Lactate Dehydrogenase. [Updated 2020 May 17]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557536/>.
- [45] Martinez-Outschoorn UE, Prisco M, Ertel A, et al. Ketones and lactate increase cancercell «stemness» driving recurrence, metastasis and poor clinical outcome in breastcancer: achieving personalized medicine via metabolo-genomics. *Cell Cycle.* 2011; 10 (8): 1271–86.
- [46] Henry BM, Aggarwal G, Wong J, Benoit S, Vikse J, Plebani M, Lippi G. Lactate dehydrogenase levels predict coronavirus disease 2019 (COVID-19) severity and mortality: A pooled analysis. *Am J Emerg Med.* 2020 Sep; 38 (9): 1722-1726. doi: [10.1016/j.ajem.2020.05.073](https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.05.073). Epub 2020 May 27. PMID: 32738466; PMCID: PMC7251362.
- [47] Asghar M, Haider Kazmi S J, Khan N A, et al. (August 05, 2020) Poor Prognostic Biochemical Markers Predicting Fatalities Caused by COVID-19: A Retrospective Observational Study From a Developing Country. *Cureus* 12 (8): e9575. doi: [10.7759/cureus.9575](https://doi.org/10.7759/cureus.9575).
- [48] Ahnach M, Zbiri S, Nejari S, Ousti F, Elkettani C. C-reactive protein as an early predictor of COVID-19 severity. *J Med Biochem.* 2020 Oct 2; 39 (4): 500-507. doi: [10.5937/jomb0-27554](https://doi.org/10.5937/jomb0-27554). PMID: 33312067; PMCID: PMC7710381.
- [49] Thirumalaisamy P. Velavan, Christian G. Meyer, Mild versus severe COVID-19: Laboratory markers, *International Journal of Infectious Diseases*, Volume 95, 2020, Pages 304-307, ISSN 1201-9712, <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.061>.
- [50] Huang I, Pranata R, Lim MA, Oehadian A, Alisjahbana B. C-reactive protein, procalcitonin, D-dimer, and ferritin in severe coronavirus disease-2019: a meta-analysis. *Therapeutic Advances in Respiratory Disease.* January 2020. doi: [10.1177/1753466620937175](https://doi.org/10.1177/1753466620937175).

- [51] Liu F, Li L, Xu M, Wu J, Luo D, Zhu Y, Li B, Song X, Zhou X. Prognostic value of interleukin-6, C-reactive protein, and procalcitonin in patients with COVID-19. *J Clin Virol*. 2020 Jun; 127: 104370. doi: 10.1016/j.jcv.2020.104370. Epub 2020 Apr 14. PMID: 32344321; PMCID: PMC7194648.
- [52] Cao P, Wu Y, Wu S, Wu T, Zhang Q, Zhang R, Wang Z, Zhang Y. Elevated serum ferritin level effectively discriminates severity illness and liver injury of coronavirus disease 2019 pneumonia. *Biomarkers*. 2021 Feb 10: 1-6. doi: 10.1080/1354750X.2020.1861098. Epub ahead of print. PMID: 33284041; PMCID: PMC7885718.

Dosage par Chromatographie en phase liquide à haute performance avec détecteur UV (HPLC/UV) de la microcystine-LA présente dans trois eaux surfaces en Côte d'Ivoire (Lagune Aghien, Retenue d'eau Adzopé et Seuil d'Agboville)

[High-performance liquid chromatography with UV detector (HPLC/UV) of microcystin-LA present in three surface waters in Ivory Coast (Aghien Lagoon, Adzopé water Reservoir and Agboville Seuil)]

Rosine Djeha Yao¹, Julien Kalpy Coulibaly¹, Martin Kouassi Konan¹, Éric Kouamé Yao¹⁻², Mathias Ahoutou Koffi¹⁻³, and Mireille Dosso¹⁻²

¹Pasteur Institute of Ivory Coast, 01 BP 490 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

²University Félix Houphouët-Boigny, 01 BP V34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

³University Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Cyanobacteria blooms represent a major global concern due to certain toxin-producing species. These toxins are classified into 3 groups based on the mode of action: neurotoxins, dermatotoxins and hepatotoxins. Microcystins belonging to the group of hepatotoxins are the most studied, the most dangerous and the most encountered in waterways. It is in this context that we proposed to evaluate the microcystin content specifically LA which is as dangerous as the LR analogue. Monthly monitoring from June to September 2021 allowed us to collect water samples from three surface waters in Ivory Coast (Aghien Lagoon, Adzopé Water Reservoir and Agboville Seuil). Microscopic observations made it possible to identify different cyanobacteria, and the determination of microcystin LA (MC-LA) present in the water samples was carried out by HPLC/UV. The results revealed the presence of fifteen (15) genera of cyanobacteria in the three water bodies studied including four (4) potentially producing microcystin. *Oscillatoria* sp was the most represented with a frequency of 100% followed by genera *Aphanocapsa*, *Calothrix*, *Chroococcus*, *Cylindrospermopsis*, *Merismopedia*, *Microcystis*, and *Planktothrix* (66.66%). The genera *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Pseudanabaena*, *Snowella* and *Synechococcus* were the least represented (33.33%). The variant LA was identified on the Aghien lagoon and measured at different concentrations, the maximum and minimum values of which were respectively 3.5 µg/L at station 4 and 0.68 µg/L at station 1.

KEYWORDS: Cyanobacteria, Microcystin LA, HPLC/UV, Ivorian Waters.

RESUME: Les proliférations de cyanobactéries représentent une préoccupation mondiale majeure en raison de certaines espèces productrices de toxines. Ces toxines sont classées en 3 groupes en fonction du mode d'action: les neurotoxines, les dermatotoxines et les hépatotoxines. Les microcystines appartenant au groupe des hépatotoxines sont les plus étudiées, les plus dangereuses et les plus rencontrées dans les cours d'eau. C'est dans ce cadre que nous nous sommes proposés d'évaluer la teneur en microcystine spécifiquement LA qui est autant dangereuse que l'analogue LR.

Un suivi mensuel de juin à septembre 2021 nous a permis de collecter des échantillons d'eau sur trois cours d'eau en Côte d'Ivoire (Lagune Aghien, Retenue d'eau d'Adzopé et Seuil d'Agboville). Les observations microscopiques ont permis d'identifier différentes cyanobactéries, et le dosage de la microcystine LA (MC-LA) présente dans les échantillons d'eau a été réalisé par HPLC/UV. Les résultats ont révélé la présence de quinze (15) genres de cyanobactéries dans les trois plans d'eau étudiés dont quatre (4) potentiellement producteurs de microcystine. Le genre *Oscillatoria* a été le plus représenté avec une fréquence de 100%, suivi des genres *Aphanocapsa*,

Calothrix, *Chroococcus*, *Cylindrospermopsis Merismopedia*, *Microcystis*, et *Planktothrix* (66,66%). Les genres *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Pseudanabaena*, *Snowella* et *Synechococcus* ont été les moins mis en évidence (33,33%).

La variante LA a été identifiée sur la lagune Aghien et dosée à différentes concentrations dont les valeurs maximales et minimales ont été respectivement de 3,5 µg/L à la station 4. et de 0,68 µg/L à la station 1.

MOTS-CLEFS: Cyanobactéries, Microcystine LA, HPLC/UV, Eaux Ivoiriennes.

1 INTRODUCTION

Depuis une décennie, les changements climatiques, en association avec un apport de plus en plus grand de nutriments lié aux activités humaines, accélèrent l'apparition des proliférations de cyanobactéries dans les plans d'eau du monde entier ([1], [2], [3]). La prolifération de cyanobactéries devient une préoccupation internationale croissante au regard des conséquences écologiques, sanitaires et économiques associées. En effet, ces proliférations peuvent soit impacter la santé des écosystèmes, soit représenter un risque pour la santé humaine et animale à travers la production de toxines ou encore augmenter considérablement les coûts de traitement de l'eau potable pour en éliminer la couleur, les odeurs et les toxines ([4], [5]).

La plus grande inquiétude demeure dans le domaine de la santé publique puisque les toxines produites par certaines cyanobactéries peuvent avoir des effets nocifs sur la santé animale et humaine suite à l'ingestion de l'eau contaminée [6]. Trois principaux groupes de cyanotoxines sont définis selon leurs effets sur la santé humaine: les neurotoxines, les dermatotoxines et les hépatotoxines. Les microcystines sont les hépatotoxines les plus connues et les plus rencontrées dans les cours d'eau du monde entier et leurs toxicités sur divers organismes sont maintenant bien documentées [7]. Les microcystines sont une famille de plus de 250 variants [8] produits principalement par *Microcystis* mais aussi *Planktothrix*, *Dolichospermum* (anciennement *Anabaena*), *Oscillatoria* et *Nostoc* [9].

En Côte d'Ivoire, plusieurs cours d'eau sont utilisés pour la production d'eau potable, notamment la retenue d'eau située sur la rivière Lobo, un affluent de la Sassandra, la retenue d'eau d'Adzopé située dans le bassin versant du Fleuve la Mé et le seuil d'Agboville construit sur le fleuve Agnéby servent respectivement pour les villes de Daloa, d'Adzopé et d'Agboville. Des études réalisées par plusieurs équipes de recherche ont montré la présence des cyanobactéries dans ces cours d'eau ([10], [11], [12]). En outre, les travaux de [13] et de [14] ont montré leur capacité à produire des toxines. Des cas d'efflorescences ont été reportées en Côte d'Ivoire par [13].

L'analyse des cyanobactéries et des toxines constitue un aspect fondamental de tout programme de gestion des plans d'eau touchés par des efflorescences de cyanobactéries qu'il soit destiné aux activités récréatives ou soit à production d'eau pour la consommation. C'est dans ce cadre que cette étude a été initiée afin d'évaluer la teneur en microcystine-LA présente dans des échantillons d'eau prélevés dans trois plans d'eau de Côte d'Ivoire.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITES D'ÉTUDE

Cette étude a été réalisée sur trois cours d'eau.

La lagune Aghien située à environ 5 km au nord de Bingerville dans le bassin versant du fleuve Comoé entre 5°20 et 5°30 latitude Nord et 3°50 et 3°55 longitude couvre une superficie de 19,5 km² [15].

La retenue d'eau Adzopé, située dans le bassin versant du fleuve la Mé entre 6°10'52" et 6°12'15" de latitude nord et entre 3°85'65" et 3°86'73" de longitude ouest de superficie de 20,46 km² [16]. Elle sert à la production d'eau potable pour la ville d'Adzopé et des localités environnantes (Zodji et Miadzin).

Le seuil d'Agboville construit sur le fleuve Agnéby avec un bassin versant de 4600 Km² a pour coordonnées 365454X (4°12'54,39"N) et 656659Y (5°56'37,20"O). Il sert à la production d'eau potable pour les localités d'Agboville, Banguié 1, Ery Makouguié1, et 2, Grand Moutcho, Laoguié.

2.2 MODE DE PRÉLÈVEMENT

Des prélèvements mensuels ont été réalisés de juin à septembre 2021. Les échantillons d'eau ont ainsi été collectés à l'aide d'un préleveur intégré selon la technique employée [17] de la surface jusqu'à un mètre de profondeur. Ces échantillons ont été recueillis dans

des flacons en verre stériles de 1 L puis conservés dans une glacière contenant des accumulateurs de froid et acheminés au laboratoire pour analyse.

Un second échantillonnage a été réalisé à l'aide d'un filet à plancton de 20 µm de maille. L'échantillon obtenu a été transvasé dans un tube de collecte de type Falcon de 50 mL puis fixé au formol 5% (V/V) servira à l'identification.

2.3 ANALYSE DES ÉCHANTILLONS D'EAU

2.3.1 IDENTIFICATION MICROSCOPIQUE, FILTRATION DES ÉCHANTILLONS

Les cyanobactéries ont été prélevées à l'aide d'une pipette Pasteur après sédimentation. Elles ont été identifiées selon les clés morphologiques décrites par [18] et [19].

200 mL d'eau prélevées ont été filtrés à travers des membranes en microfibre de verre de type GF/C de 0,45 µm de porosité (Whatman) à l'aide d'un système de filtration sous vide. Les filtres ont été ensuite repliés en deux et placés dans des cryotubes de 2 mL et conservés au congélateur à -20°C jusqu'au dosage de la microcystine.

2.3.2 EXTRACTION ET DOSAGE DE LA MICROCYSTINE PAR HPLC

L'extraction des toxines a été réalisée à partir de la biomasse cyanobactérienne contenue sur les membranes filtrantes préalablement conservés à -20°C. Après décongélation, les filtres ont été mis dans un récipient en verre contenant 4 mL de méthanol (MeOH) 75%. L'échantillon ainsi obtenu a été placé dans un bain à ultrasons pendant 5X15 min avec agitation au vortex toutes les 15 min. Durant la sonication, l'échantillon a été conservé sur la glace afin d'éviter toute augmentation excessive de la température à l'intérieur de l'échantillon qui pourrait dénaturer les protéines dont la MC-LA. À l'issue de cette première extraction, le surnageant (S1) a été conservé à -20°C. Le culot contenant les débris cellulaires et les débris de filtres a été remis en suspension dans 2 mL de MeOH (75%) et soumis au même traitement que précédemment. Les différents surnageants (S1 et S2) ont été centrifugés pendant 15 min à 10000 g. Le surnageant obtenu a été filtré à l'aide d'un filtre seringue de 0,2 µm afin d'éliminer les grosses particules. Enfin, l'extrait ainsi obtenu a été conservé à -20°C jusqu'au à l'analyse.

L'identification et la quantification de la MC-LA ont été réalisées par chromatographie en phase liquide à haute performance (Waters, modèle 2695) avec détection dans l'ultraviolet (UV). Le dosage a été possible grâce à une colonne C18 en phase inverse (Xterra RP18, 30 x 150 nm; 3,5µm). La phase mobile constituée d'eau ultra pure et d'acétonitrile avec 0,05 % d'acide trifluoroacétique (TFA). Le débit d'injection a été de 0,3 mL/min, le temps de rétention de 15 minutes, le volume d'injection de 50 µL sur un mode isocratique et la longueur d'onde fixée 238 nm. Le standard de la MC-LA (n'tox) utilisé certifié 1 an, pureté > 99% (Novakit®). Les données ont été intégrées en utilisant le logiciel Breeze 2.

3 RESULTATS

3.1 COMPOSITION DE LA COMMUNAUTÉ CYANOBACTÉRIENNE PRÉSENTE SUR LES DIFFÉRENTS SITES

Sur un total de 63 échantillons d'eau prélevés et analysés, 15 genres de cyanobactéries ont été identifiés: *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanocapsa*, *Calothrix*, *Chroococcus*, *Cylindrospermopsis*, *Lyngbya*, *Merismopedia*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Planktothrix*, *Pseudanabaena*, *Snowella*, et *synchococcus* (Tableau 1).

Tableau 1. Genres de cyanobactéries observées au cours de cette étude

Cyanobactéries observées	Lagune Aghien	Retenue d'Agboville	Seuil d'Adzopé
<i>Anabaena sp</i>	Présence	Absence	Absence
<i>Anabaenopsis sp</i>	Présence	Absence	Absence
<i>Aphanocapsa sp</i>	Présence	Absence	Présence
<i>Calothrix sp</i>	Présence	Présence	Absence
<i>Chroococcus sp</i>	Présence	Présence	Absence
<i>Cylindrospermopsis sp</i>	Présence	Présence	Absence
<i>Lyngbya sp</i>	Présence	Absence	Absence
<i>Merismopedia sp</i>	Présence	Présence	Absence
<i>Microcystis sp</i>	Présence	Présence	Absence
<i>Oscillatoria sp</i>	Présence	Présence	Présence
<i>Phormidium sp</i>	Présence	Absence	Absence
<i>Planktothrix sp</i>	Présence	Présence	Absence
<i>Pseudoanabaena sp</i>	Présence	Absence	Absence
<i>Snowella sp</i>	Présence	Absence	Absence
<i>Synechococcus sp</i>	Présence	Absence	Absence

Le genre *Oscillatoria* a été le plus représenté avec une fréquence de 100%, suivi des genres *Aphanocapsa*, *Calothrix*, *Chroococcus*, *Cylindrospermopsis*, *Merismopedia*, *Microcystis*, et *Planktothrix* (66,66%). Les genres *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Pseudoanabaena*, *Snowella* et *Synechococcus* ont été les moins mis en évidence (33,33%).

Les genres potentiellement producteurs de toxines rencontrés sont essentiellement *Anabaenopsis*, *cylindrospermopsis*, *Oscillatoria*, *Planktotrix*, *Pseudoanabaena*, *Microcystis* sur le site d'Aghien. Sur le site d'Adzopé, les genres *cylindrospermopsis*, *Microcystis*, *oscillatoria* et *Planktotrix* ont identifié. Tandis que sur le site d'Agboville seul le genre *Oscillatoria* potentiellement toxique a été identifié au microscope.

Sur les genres rencontrés producteurs de toxines, 4 sont potentiellement productrices de microcystine à savoir *Anabaenopsis*, *Oscillatoria*, *Microcystis*, *planktothrix* ont été observés.

3.2 IDENTIFICATION ET DOSAGE DE LA MICROCYSTINE DANS LES ÉCHANTILLONS D'EAU

L'utilisation de l'HPLC avec détecteur UV a permis de détecter la microcystine LA, le dosage des 63 échantillons a été soumis aux mêmes conditions chromatographiques que le standard de la microcystine LA. En se basant sur le chromatogramme de microcystine LA obtenu dans les mêmes conditions, seuls les chromatogrammes des échantillons de la station 1 du mois de juin, le bloom de la station 1 du mois de juillet et le bloom de la station 4 de septembre correspondent à la microcystine LA. Cette identification est basée sur la longueur d'onde et le temps de rétention qui sont parfaitement identique à celui de la microcystine standard LA. Ce résultat nous confirme aussi dès lors la présence effective de microcystines.

La microcystine LA a été identifiée sur la lagune Aghien et dosée à différentes concentrations dont 0,68 µg/L à la station 1 (juin), 1,2 µg/L dans le bloom à la station 1 (juillet) et enfin 3,5 µg/L dans le bloom de la station 4 (septembre) par ailleurs située à proximité d'un village. Ce qui nous laisse penser d'une part que la microcystine LA est peu répandue (3 échantillons sur 63 soit 4,7% par rapport à d'autres types de microcystines mais d'autre part qu'elle apparait très concentrée notamment dans les blooms (efflorescences cyanobactériennes).

4 DISCUSSION

Cette étude réalisée sur les trois plans d'eau de juin à septembre 2021 a révélé la présence de 15 genres de cyanobactéries.

Des proportions similaires ont déjà été rapportées dans des travaux récents réalisés en Afrique notamment en Côte d'Ivoire ([20], [21], [22], [14]) et en Ouganda [23]. Toutefois, ces résultats diffèrent de ceux de [24] au Sénégal qui a mis en évidence 8 genres pendant la saison sèche lors de la déconnexion du lac Guiers avec ses affluents. Selon [25] cette différence pourrait être liée aux méthodes utilisées et aux caractéristiques propres à chaque milieu de récolte, mais surtout aux périodes de prélèvement

Parmi les genres de cyanobactéries identifiées, nous notons la présence de genres *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaenopsis*, *Planktothrix*, potentiellement producteurs de la microcystine. La présence de ces genres attire donc notre attention quant à une susceptible présence de microcystine dans les plans d'eau visités. Certes, différents genres de cyanobactéries producteurs de toxines ou non producteurs peuvent coexister mais il est impossible d'affirmer leur nature sur la base d'observations microscopiques [26]. L'utilisation de l'HPLC avec détecteur UV a permis de détecter la microcystine LA. Ce résultat nous confirme aussi dès lors la présence effective de microcystines. La variante LA a été identifiée sur la lagune Aghien et dosée à différentes concentrations. Ce variant était peu répandu car présent seulement dans 3 échantillons sur 63 soit 4,7 % mais apparaît très concentré notamment dans les blooms (efflorescences cyanobactériennes). En effet, la concentration la plus élevée soit 3,5 µg/L de microcystine- LA a été dosée dans le bloom du mois de septembre. Ces résultats corroborent ceux de ([27], [28]) qui ont trouvés des concentrations élevées de MC-LA dans des efflorescences dans des lacs d'Ontario et du Québec. Le variant MC-LA a été également détecté par [29] dans des coquillages causant la mort de loutres de mer. Ces coquillages provenaient d'une prolifération cyanobactérienne venant d'un lac en amont de la baie de Monterey en Californie. La forte concentration de la MC-LA observée dans le bloom pendant cette étude pourrait s'expliquer par les activités anthropiques effectuées autour de la lagune. En effet, les populations locales font directement la vaisselle, la lessive, et leurs bains dans ces eaux ce qui favoriseraient la prolifération des cyanobactéries par le rejet de nutriments ([30], [31]).

Des études ont montrées que La MC-LA présenterait une DL50 chez les mammifères similaires à celle du MC-LR et serait plus persistant que la MC-LR ([29], [32]).

Il a été constaté durant cette étude que dans les échantillons d'Adzopé, d'Agboville et certaines stations de la lagune Aghien, aucune microcystine- LA n'a été détectée. Cela ne signifie pas pour autant qu'elle y est absente, cette microcystine peut exister mais se trouve en quantité insuffisante par rapport au seuil de détection de l'HPLC.

5 CONCLUSION

Cette étude a été essentiellement portée sur les hépatotoxines de type microcystine car ce sont les plus courantes et les plus toxiques. Elle a révélé la présence de genre producteurs de microcystines dans la lagune Aghien. Il en ressort également la présence du variant LA dans les eaux ivoiriennes. Par conséquent, il faudrait qu'une ligne directrice soit élaborée pour ce variant car il semblerait qu'il puisse se déposer et persister dans les sédiments constituant ainsi un risque potentiel permanent pour les approvisionnements en eau potable.

REMERCIEMENTS

Nous voudrions remercier le Ministère des Eaux et Forêts, la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI), les Universités Félix Houphouët Boigny d'Abidjan et Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

REFERENCES

- [1] Bartosiewicz M, Przytulska A, Lapierre J-F, Laurion I, Lehmann M F et Maranger R, « Hot tops, cold bottoms: Synergistic climate warming and shielding effects increase carbon burial in lakes ». *Limnology and Oceanography Letters*, vol 4, p. 132–144, 2019.
- [2] Sivarajah B, Simmatis B, Favot E J, Palmer M J et Smol J P, « Eutrophication and climatic changes lead to unprecedented cyanobacterial blooms in a Canadian sub-Arctic landscape ». *Harmful Algae*, vol 106, 2021.
- [3] Bonilla S, Aguilera A, Aubriot L, Huszar V, Almanza V, Haakonsson S, Izaguirre I., O'Farrell I, Salazar A, Becker V, Cremella B et Antoniadis D, « Nutrients and not temperature are the key drivers for cyanobacterial biomass in the Americas ». *Harmful Algae*, vol 121, 2023.
- [4] Dodds W. K, Bouska W.W, Eitzmann J L, Pilger T.L, Kristen L, Pitts A J, Joshua T. S et Thornbrugh D.J, « Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of Potential Economic Damages ». *Environmental Sciences. Technology*, vol 43 (1), p. 12-19, 2009.
- [5] Coudert L, Rolland D, Blais J-F, Laurion I et Mercie G, État de l'art en matière d'analyse des cyanobactéries et des cyanotoxines. Programme de recherche en partenariat sur les cyanobactéries Revues de littérature sur des sujets spécifiques, Canada, 2014.
- [6] Bownik A, « Harmful algae: effects of alkaloid cyanotoxins on animal and human health ». *Toxin Revue*, vol 29 p. 99–114, 2010.
- [7] Wilson A E, Sarnelle O et Tillmanns A R, « Effects of cyanobacterial toxicity and morphology on the population growth of freshwater zooplankton: Meta-analyses of laboratory experiments ». *Limnology and Oceanography*, vol 51, p.1915-1924, 2006.
- [8] Bouaïcha N, Miles CO, Beach DG, Labidi Z, Djabri A, Benayache NY et Nguyen Quang T, « Structural diversity, characterization and toxicology of microcystins ». *Toxins*, vol 11 (12), p. 714- 754, 2019.
- [9] Chorus I et Welker M, Toxic cyanobacteria in water. Second edition. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, 859 p, 2021.
- [10] Adon M P, Ouattara A et Gourène G, Seasonal « Variation in the diversity and abundance of phytoplankton in a small African tropical reservoir ». *African Journal of Microbiology Research*, vol 5, p.2616 – 2626, 2011.

- [11] Adon M P, Ouattara A. et Gourène G, « Phytoplankton composition of a shallow African tropical reservoir (Adzopé, Côte d'Ivoire) ». *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, vol 1, p.1189 – 1204, 2012.
- [12] Coulibaly KJ, Grog N., Soumahoro MK, Koudougou M, Ebrottié-Brou JE, Kouassi-Haoulley MT, Ouattara A, Faye-Ketté H et Dosso M, « Essai préliminaire de mise en œuvre de culture de cyanobactérie en Côte d'Ivoire ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 8, p. 551 – 565, 2014.
- [13] Coulibaly KJ, Coulibaly ND, Grog N, Niamien- Ebrottié JE, Koffi KS, Koudougou M, Amon L, Ouattara A, Ehuié P, Sylla A, Cissé B et Dosso M, « Detection of potentially toxic Microcystis and cyanobacteria by molecular method in Côte d'Ivoire ». *The Experiment*, vol 26, p. 1775 – 1787, 2014.
- [14] Yao EK., Mathias KA, Mark O, Sahima H, Emile L, Benjamin M, Cécile B, Rosine YD, Catherine Q, Jean François H et JK Coulibaly, « Assessment of cyanotoxins in water and fsh in an African freshwater lagoon (Lagoon Aghien, Ivory Coast) and the application of WHO guidelines ». *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29025-3>, 2023.
- [15] Koffi KJP, N'go YA, Yeo KM, Koné D et Savané I, « Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune ». *Larhyss Journal*, vol 19, p. 19 – 23, 2014.
- [16] Adon MP, Ouattara A et Gourene G, « Variability of phytoplankton community in a shallow tropical reservoir (Adzopé, Côte d'Ivoire) ». *Asian academic research journal of multidisciplinary*, vol 1 (20), p. 2319 – 2801, 2014.
- [17] Laplace-Treyture C et Feret T, « Performance of the Phytoplankton Index for Lakes (IPLAC): A multimetric phytoplankton index to assess the ecological status of water bodies in France ». *Ecological Indicators*, vol 69, p.686–698, 2016.
- [18] John DM, Whitton BA et Brook AJ, The Freshwater algal flora of the British Isles, an identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge University Press, Cambridge, USA, p.702, 2003.
- [19] Komárek J et Anagnostidis K, Cyanoprokaryota 2, Oscillatoriales (2nd Part) Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M (Eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2. Elsevier/Spektrum, Heidelberg, p.759, 2005.
- [20] Coulibaly KJ, Soumahoro MK, Niamien-Ebrottié JE, Yéo K, Amon L, Djaman AJ et Dosso M, « Déterminisme de la prolifération des cyanobactéries toxiques en Côte d'Ivoire ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 11, p. 266 – 279, 2017.
- [21] Niamien-Ebrottié JE, Mouso HG, Coulibaly KJ, Ouattara A, Gourène G et Dosso M, « Spatial and seasonal dynamic of phytoplankton abundance in Aghien lagoon, Côte d'Ivoire ». *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol 20, p. 1198-1209, 2017.
- [22] Yao DAR, Etude des cyanobactéries de la lagune Aghien et de leur potentialité à produire des métabolites secondaires. Thèse de l'Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, p, 192, 2020.
- [23] Olokotum M, Humbert JF, Quiblier C, Okello W, Semyalo R et Troussellier M, « Toxins in Lake Victoria embayments and during water treatment ». *Toxins*, vol 14, p. 664- 697, 2022.
- [24] Berger C, Cyanobactéries du bas Delta du fleuve Sénégal: Diversité, toxicité, toxines et risques associés. Thèse du Muséum National d'Histoire Naturelle. Ecole Doctorale des Sciences de la Nature et de l'Homme, Paris, p.204, 2005.
- [25] Ouattara A, Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Catholique de Leuven, Belgique, p. 200, 2000.
- [26] Rouhiainen L, Vakkilainen T, Siemer BL, Buikema W, Haselkorn R et Sivonen K, « Genes coding for hepatotoxic heptapeptides (microcystins) in the cyanobacterium Anabaena strain 90 ». *Applied Environmental Microbiology*, vol 70, p. 686-692, 2004.
- [27] Fortin N, Aranda-Rodriguez R, Jing H, Pick F, Bird D et Greer CW, « Detection of microcystin-producing cyanobacteria in Missisquoi Bay, Quebec, Canada, using quantitative PCR ». *Applied Environmental Microbiology*, vol 76 (15), p. 5105-5112, 2010.
- [28] Monchamp ME, Pick FR, Beisner BE et Maranger R, « Nitrogen forms influence microcystin concentration and composition via changes in cyanobacterial community structure ». *PLoS One*, vol 9 (1): e85573, 2014.
- [29] Miller MA, Kudela RM, Mekebri A, Crane D, Oates SC, Tinker MT, Staedler M, Miller WA, Toy-Choutka S, Dominik C, Hardin D, Langlois G, Murray M, Ward K, Jessup DA, « Evidence for a Novel Marine Harmful Algal Bloom: Cyanotoxin (Microcystin) 691 Transfer from Land to Sea Otters ». *PLoS One*, vol 5 (9): e12576, 2010.
- [30] Atanle K, Moctar L, Bawa MK., Kokou K et Gbandi DB, « La caractérisation physicochimique et diversité phytoplanctonique des eaux du lac de Zowla (Lac Boko), au Togo ». *Journal of Applied Biosciences*, vol 64, p. 4847- 4857, 2012.
- [31] Konan SK, Kouakou BK, Ohou MJ, Konan FK et Dongui KB, « Variation saisonnière des paramètres abiotiques de la lagune Aghien (Côte d'Ivoire) ». *Journal Applied Biosciences*, vol 120, p.: 12042 – 12052, 2017.
- [32] Zastepa A, Pick FR, Blais JM, « Fate and persistence of particulate and dissolved microcystin-LA from Microcystis blooms ». *International Journal Human. Ecological Risk Assessment* vol 20 p. 1670–1686, 2014.

Influence of agricultural waste additives on the mechanical performance and water sensitivity of cement-stabilized compressed earth blocks: Case of *Parkia biglobosa* pods

Sokohou Josué Yokopi^{1,2}, Kinda Hannawi², Valery Doko¹, Aveline Darquennes², and Edmond Codjo Adjovi³

¹Department of Civil Engineering, Université d'Abomey-Calavi, Benin

²Department of Civil Engineering Université Nationale de Rennes, INSA Rennes, EA 3913, F-35000 Rennes, France

³Department of Civil Engineering, Université Nationale des Sciences Technologies Ingénieries et Mathématiques (UNSTIM), Benin

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Cement-stabilized natural clay soils can be combined with agricultural waste decoction to improve the mechanical performance and water resistance of compressed earth bricks. The aim of this study is to investigate the mechanical performance and durability of cement-stabilized compressed earth bricks with the addition of agricultural waste in the form of decoction in order to promote an environmentally-friendly material in the building sector. Based on an experimental campaign, mechanical properties such as modulus of elasticity, flexural strength and compressive strength, as well as durability (open porosity and capillary water absorption), were studied for these bricks. The results show that these properties are influenced by the nature of the soils used, as well as by other parameters studied in this work, such as the percentage of cement and the percentage of *Parkia biglobosa* pod decoction. Indeed, the addition of 8% cement with at least 10% *Parkia biglobosa* pod decoction proved beneficial for optimum performance. Moreover, according to criteria such as total open porosity and capillary water absorption, the durability of this material improves with an increase in cement percentage and the addition of at least 10% tannin-rich *Parkia biglobosa* pod decoction. The use of these waste products (*Parkia biglobosa* pods) in compressed bricks therefore seems beneficial in terms of improving their mechanical performance, reducing their sensitivity to water and helping to preserve the environment.

KEYWORDS: Clay soil, CEB, pod decoction, sustainability, environment.

1 INTRODUCTION

Raw earth construction is currently enjoying renewed interest as an environmentally-friendly option in civil engineering and the building sector in particular. This readily available, low-cost material is of great interest in today's environmental context, and boasts a wide range of characteristics, including good hygrometric regulation of the rooms it envelops, as well as inertia that ensures thermal comfort. Despite the many known advantages of this material in its compressed form, it still has weaknesses in its current state, such as low mechanical strength and high sensitivity to water. On the other hand, the material's high sensitivity to water can alter its resistance in the presence of excessive capillary rise, or regular weathering, for example. One technique for using earthen materials is in the form of stabilized compressed bricks (CEB) with a regular structure in raw earth masonry. These blocks are increasingly used in modern building construction [1], [2] They are a means of socio-economic and energy adaptation in sub-Saharan African countries, to ensure a satisfactory standard of living and housing for all. The challenge is to find out whether it is possible to improve the mechanical properties of compressed earth bricks by modifying their formulation with agricultural waste additives, a local product collected in Benin. The product in question is *Parkia biglobosa* pods, known under the scientific name "*Parkia biglobosa*" [3]. It is the addition of the decoction of *Parkia biglobosa* pods that is being studied, and containing tannin in particular, they are traditionally used as a natural binder in West Africa to reinforce rammed earth renderings against rainwater infiltration.

Numerous efforts have been made in the literature to improve the physical-mechanical performance and thermal comfort of this material in CEB by adding chemical binders, either cement (5%-12%) or lime (6%-12%). [4] the incorporation of plant fibers [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] in buildings. However, it is important to further explore the question of the durability of CEB and to incorporate natural elements to adopt a more ecological material. We need to characterize the mechanical properties, total open porosity and water absorption by capillary rise of CEB by incorporating the decoction of cowpea pods as mixing water. This work contributes to the valorization of local products such as clay in the construction sector, while preserving the environment through the use of agricultural waste.

2 MATERIALS AND METHODS

The equipment, raw materials used and approach adopted are presented in this section.

2.1 RAW MATERIAL

The clay soils and agricultural wastes (cowpea pods) used in this study are shown in Figure 1. These soils differ in texture, physical and geotechnical characteristics (Table 1). Grain sizes of less than 5 mm [12], [13] and the plastic range [14] of the two clay soils designated Gu and Ma, meet the recommendations of standard XP P13-901 [15] relating to the processing of CEB. Table 1 shows an active clay fraction for the Gu natural earth, while the Ma earth has a very active clay. This difference is due to the nature of the clays present and their affinity with water. The soils are stabilized with CEMI 52.5 N PM-CP2 cement (8%), referred to as **C1** in the presentation of results. In the formulation, the decoction of *Parkia biglobosa* pods is used as the mixing water, except in the reference specimens (without decoction).

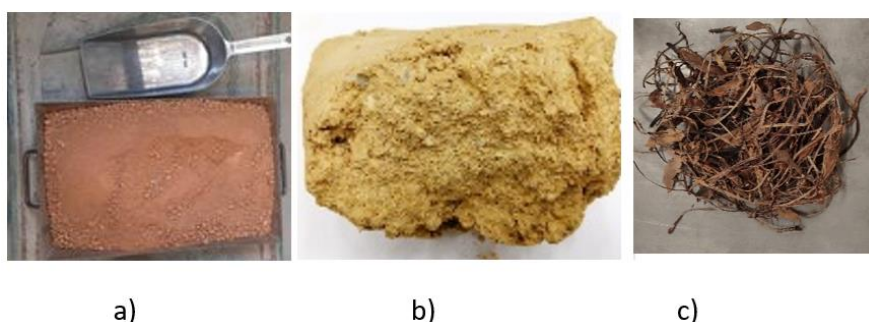


Fig. 1. clay soil Gu (a), clay soil Ma (b) and cowpea pods (c)

Table 1. Physical characteristics of the soils studied

Land characteristics		Gu	Ma
Granular distribution of soils studied (%)	Clay ($d < 2\mu\text{m}$)	8,3	5,1
	Silt ($2\mu\text{m} < d < 2\text{mm}$)	44,3	16,5
	Sand ($2\text{mm} < d < 4\text{mm}$)	47,4	78,4
Density (Kg/m^3)		2450	2480
Plasticity index I_p		11	17
Clay fraction activity		Active	Very active

2.2 FORMULATION AND STORAGE

To make CEB, clay soils with a particle size of less than 5mm were oven-dried at $60^\circ\text{C} \pm 5$ to constant mass in accordance with NF EN ISO 17892-12014-12. All the constituents (soil, cement and mixing water) were mixed in well-defined proportions using a mixer. The optimum mixing water contents of the mixture are 17.8% and 16.7% for the Gu and Ma compositions respectively. The water added to the mixture of certain compositions is substituted by the decoction of *Parkia biglobosa* pods. This decoction is obtained by maceration of the pods in water for 72 hours at ratios of 10% and 20% of the mass of the pods to the total amount of water in the mixture. The wet mixture is molded in a $40 \times 40 \times 160$ mm mold³ and compacted at a loading speed of 2min/mm under a compaction pressure of 5 MPa using a 200 KN capacity Zwick-Roell® press. After compaction, the

blocks are immediately removed from the moulds and stored in plastic film (at a relative humidity of 95%±5 and a temperature of T=20°C±1) for the first 7 days. The plastic film is then removed from day 8^{ième} and the blocks are stored at 50% ±5 relative humidity for up to 28 days at the same temperature.

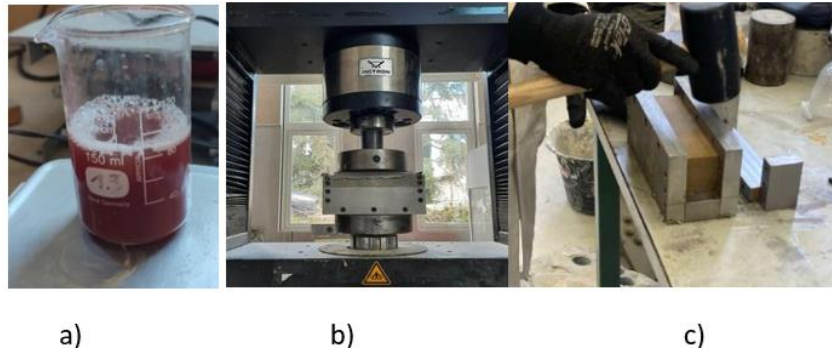


Fig. 2. Decoction of *Parkia biglobosa* pods (a), compaction (b) and demolding (c) of CEB.

Table 2. Composition codes and designations

Code	Designation
Nom (terre) -x % C1, y%G	Compressed earth block stabilized with x% (5% or 10%) of cement C1 mixed with mixing water for ratios of y% (0%; 10% or 20%) of <i>Parkia biglobosa</i> G pod decoction. For example Gu-5% C1, 20%G

2.3 EXPERIMENTAL METHOD

To gain a better understanding of the mechanisms involved in the addition of cowpea decoction to CEB, the macro-mechanical behavior of CEB is studied through parameters such as dynamic modulus of elasticity, flexural strength and compressive strength. On the other hand, the durability of these blocks in the face of water infiltration by capillary rise and the study of porosity accessible to water.

2.3.1 CHARACTERIZATION OF MECHANICAL PROPERTIES

Experimental methods for determining dynamic modulus of elasticity, flexural strength and compressive strength are presented in this section.

DYNAMIC MODULUS OF ELASTICITY TEST

Dynamic modulus of elasticity E_{dyn} is measured using a non-destructive method based on compression wave propagation. The PUNDIT (Portable Ultrasonic Digital Indicating Tester) device (Figure 4), which measures the longitudinal velocity V_L (m/s) and the time (μs) of wave propagation between two transducers, is used at different times, i.e. at 28 days for both curing modes. Three specimens/composition/hardness are tested at each time point. The dynamic elastic modulus E_{dyn} is calculated using equation 1, assuming that the material is isotropic...

$$E_{dyn} = V_L^2 \times \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{(1-\nu)} \times \rho \quad (\text{Equation 1})$$



Fig. 3. *Non-destructive dynamic modulus of elasticity method*

FLEXURAL AND COMPRESSIVE STRENGTH TEST

The 40x40x160 mm³ specimens are first tested in 3-point bending (three specimens per formulation) at 28 days. The half-blocks resulting from the bending are then each crushed in uniaxial compression (six specimens per formulation) at the same age and on the same press in accordance with standard NF EN 196-1 [16].

2.3.2 DURABILITY INDICATORS

The durability indicators measured are water-accessible porosity, water absorption coefficient and sorptivity coefficient. Durability tests are carried out at 28 days.

WATER-ACCESSIBLE POROSITY

The test is performed on 40x40x160 mm³ samples, referring to the NF P18-459 standard. It consists in totally immersing the CSB in water for (44 ±1) hours (vacuum sealing with water), preceded by a pre-conditioning under vacuum for 4 hours (vacuum sealing without water), which is considered sufficient for a complete saturation of water in their pores at the pressure below 25mbar in vacuum sealing. The mass of the saturated sample was weighed in water $m_{satwater}$ (g) (hydrostatically weighed), and in air, $m_{sat,air}$ (g) and then dried in an oven set at 60°C to the constant mass, this dry mass is noted m_s . The total porosity to water (P_0) is calculated by the Equation 2.

$$P_0 = 100 \times \frac{m_{sat,air} - m_s}{m_{sat,air} - m_{satwater}} \quad (\text{Equation 2})$$

CAPILLARY WATER ABSORPTION

Capillary absorption is measured in accordance with experimental standards XP P13-901 [15] on 40x40x160 mm³ samples 28 years old. The principle is to partially immerse one face (surface: 40x40 mm², Figure 5) of the brick to a depth of 5 mm and determine the absorption coefficient (C_b in g/cm².m^{0.5}). This coefficient makes it possible to evaluate the absorption rate corresponding to a time equal to 10 minutes (0.17h), as recommended in standard XP P13-901. Like sorptivity S , which shows a material's capacity to absorb and retain water in its pores, it is interesting to exploit this coefficient to characterize pore filling according to their size [17]. The C_b coefficient is expressed by the formula in equation 3:

$$C_b = \frac{100 \times (m_h - m_s)}{S \times \sqrt{t}} \quad (\text{Equation 3})$$

$m_h - m_s$: mass of water absorbed by the block during the test, in g;

S : Cross-section of immersed face, in cm²;

t : is the immersion time of the test piece corresponding to 10 min.



Fig. 4. Capillary water absorption of CEB

3 RESULTS AND DISCUSSION

This section looks at the mechanical performance and durability (water sensitivity) of mud bricks with the addition of *Parkia biglobosa* pod decoction.

3.1 EFFECT OF DECOCTION OF COWPEA PODS ON MECHANICAL PROPERTIES

The results obtained on mechanical properties such as dynamic modulus of elasticity, flexural strength and compressive strength at 28 days are presented in this section.

DYNAMIC MODULUS OF ELASTICITY

Figure 6 shows the dynamic modulus of elasticity (E_{dyn}) of CEB at 28 days. The parameters examining this mechanical property of CEB are soil type, cement percentage and decoction percentage. For stabilized natural clay soils, increasing the cement percentage from 5% to 8% leads to an increase of 4 GPa and 2 GPa respectively in the dynamic modulus of elasticity of the Gu and Ma compositions at 28 days. However, the presence of decoction led to a slight decrease in E_{dyn} for Gu compositions and a slight increase for Ma compositions at this age. This difference in results can be attributed to the cohesive behavior between soil and cement particles, as well as to the granular structure. The Ma composition, being denser with highly active clays, exhibits better cohesion between particles than the Gu soil. The increase in modulus with the addition of the decoction shows a good interaction between the clays and the tannins in the *Parkia biglobosa* pods.

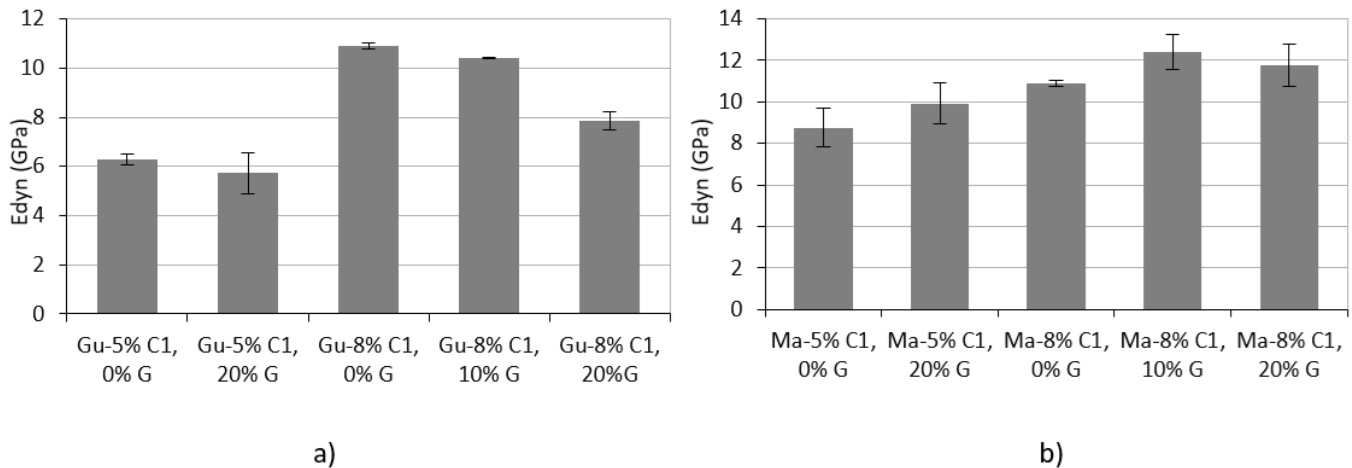


Fig. 5. Effect of decoction and cement content on the dynamic modulus of elasticity of CEB: Gu (a) and Ma (b) compositions.

FLEXURAL STRENGTH

Flexural strength is determined at 28 days and shown in Figure 7 with Gu and Ma earths.

The average flexural strength of CEB improved 1.8 times with increasing cement percentage: 2.2 MPa and 2.6 MPa with Gu-5% C1, 0% G and Ma-5% C1, 0% G; and 4.16 MPa and 4.21 MPa with 8% C1 at 28 days (Figure 7). This is due to the formation

of C-S-H/C-A-S-H and CaCO₃ cement gels around the particles, which increase the contact points and thus improve the microstructure of the CEB.

For 5% C1, the addition of 20% of the decoction led to a decrease in flexural strength for all compositions. Like the dynamic modulus of elasticity, flexural strength with 8% decreased for Gu compositions while it increased slightly for Ma ones. This result suggests a difference in interaction between the clays in the natural soils and the tannins contained in the decoction of Parkia biglobosa pods. So, the nature of the soil, the percentage of cement and the decoction of Parkia biglobosa pods influence the material's flexural strength.

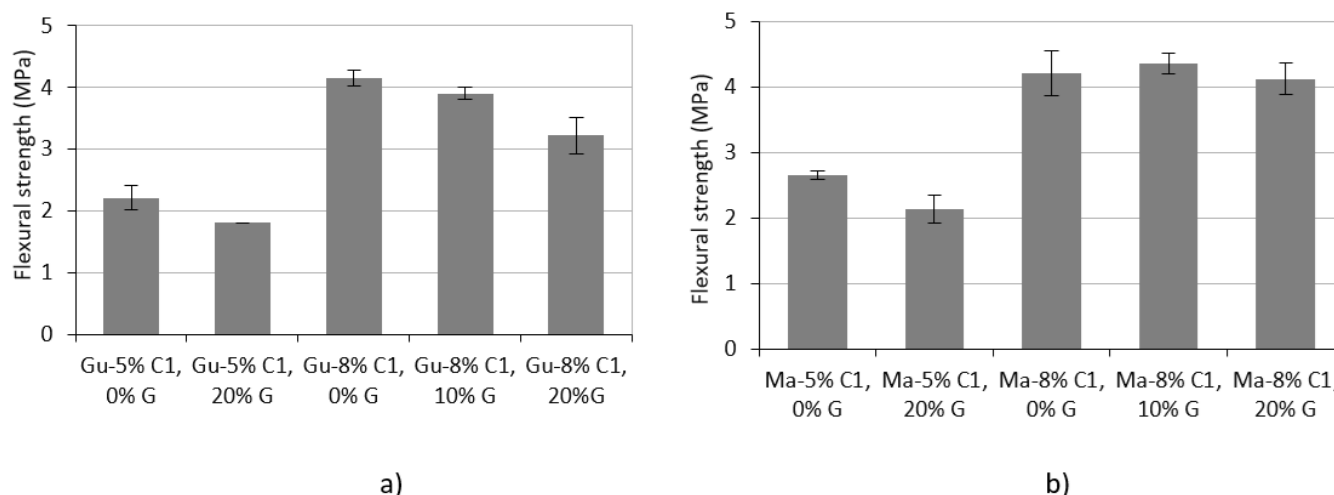


Fig. 6. Effect of decoction and cement content on the flexural strength of CEB: Gu (a) and Ma (b) compositions.

COMPRESSIVE STRENGTH

Figure 8 shows the results for compressive strength at 28 days. We analyze the effect of the percentage of cement, the nature of the soil and the percentage of Parkia biglobosa pod decoction.

The average compressive strength of 3 specimens improved for CEB as the cement percentage increased. Compressive strength was better at 28 days with Ma soil (approx. 17 MPa) than with Gu (13.58 MPa), which had the same compressive strength regardless of the percentage of cement incorporated. Soil stabilization with cement is particularly effective on clay soils with relatively coarse particles, enabling cement grains to be incorporated homogeneously. This process ensures uniform hydration of the particles, promoting their bonding and the multiplication of their contact points. This is in line with the results obtained by Walker [18] which indicate that the compressive strength of C1-stabilized compressed earth block decreases with increasing clay mineral content. The increase in mechanical strength depends on the number of contact points between particles, which is influenced by particle size.

Nevertheless, the addition of pod decoction caused a slight decrease in compressive strength, with a difference ranging from 0.4 MPa to 2 MPa between reference specimens (Gu-8% C1, 0%G and Ma-8% C1, 0%G) and specimens with decoction (Gu-8% C1, 10%G, Gu-8% C1, 20%G, Ma-8% C1, 10%G and Ma-8% C1, 20%G). For all compositions, the addition of 5% C1 and 20% G reduced the compressive strength of CEB. This result could be explained by the fact that the presence of the decoction would have disrupted the hydration of the incorporated cement due to the organic matter in the cowpea pods (plant matter).

We can deduce that decoction of the pods was beneficial in improving the tensile strength of Ma-based bricks, but had the opposite effect on Gu clay soil.

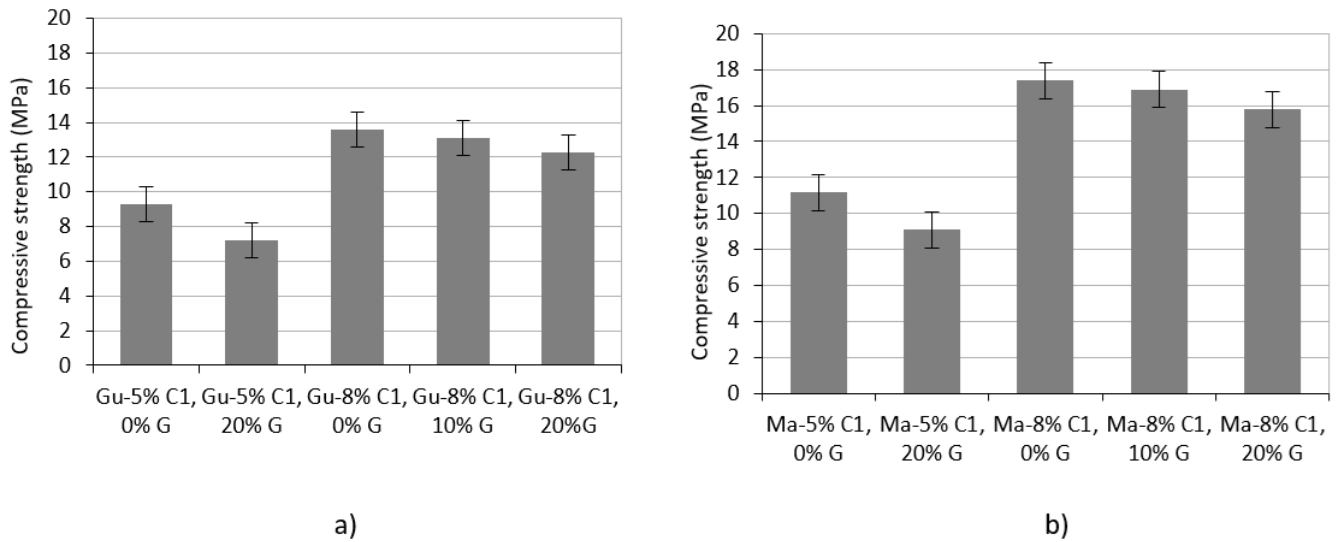


Fig. 7. Effect of decoction and cement percentage on the compressive strength of CEB: compositions of Gu (a) and Ma (b).

3.2 EFFECT OF DECOCTION OF COWPEA PODS ON CEB DURABILITY

The parameters for assessing the water-sensitivity of CEB in terms of its durability against weathering are water-accessible porosity and water absorption by capillary action. The effect of cement percentage and pod decoction will be analyzed, as will the effect of soil type.

WATER-ACCESSIBLE POROSITY

Bricks formulated with natural clay soils did not resist contact with water, so it was necessary to incorporate cement as a stabilizer to improve their durability. Figure 9 shows that the porosity of CEB is respectively 34% and 29% with 5% C1, and 33% and 27% with 8% C1 for Gu and Ma stabilized earth at 28 days. This result shows that the porosity of CEB decreases with increasing cement percentage and also depends on the type of soil used. This result can be explained by the slight improvement in CEB microstructure due to the cement hydrates formed. When water is substituted in the formulation with 10%G and 20%G of *Parkia biglobosa* pod decoction, the total open porosity determined shows values of the same magnitude for all compositions. This means that the decoction of the pods does not influence the total porosity of the CEB. In any case, the lowest total porosity values are obtained with Ma soil compositions. This result on porosity with Ma soil is mainly linked to its intrinsic properties (granulometry, fraction activity and clay nature). We can deduce that the nature of the soil influences the porosity of CEB.

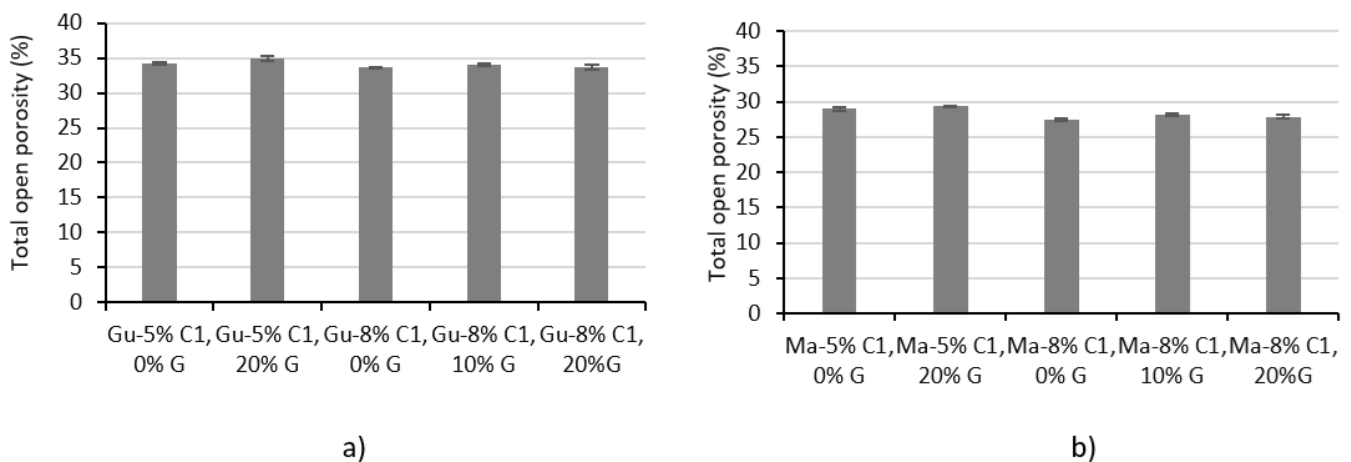


Fig. 8. Effect of decoction on the total open porosity of Gu-based (a) and Ma-based (b) CEB.

CAPILLARY WATER ABSORPTION

The results in Figures 10 and 11 show the coefficient of water absorption by capillarity of Gu- and Ma-based CEBs, as well as sorptivity at 28 days. These coefficients are determined by examining the effect of cement percentage (5% and 8% of C1), *Parkia biglobosa* pod decoction (10% G and 20% G) and soil type. The water absorption coefficients C_{b10min} of CEB without decoction are determined and are respectively for Gu and Ma with the addition of 5% C1: $5.28 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$ and $8.5 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$, and with 8% C1: $4.6 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$ and $7 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$ at 28 days are lower than $20 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$ (Table 3), so CEB are qualified as weakly capillary ($C_{b10min} < 20 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$, AFNor 2001) [15]. The presence of 10%G and 20%G of *Parkia biglobosa* pod decoction in CEB led to a decrease in C_{b10min} . This can be explained by the presence of tannins in the *Parkia biglobosa* pods, which establish bonds with clay constituents such as iron oxides and albumin to reinforce the cohesion of the material, making it watertight.

The linear correlation between capillary absorption (g/cm^2) and the square root of time ($\text{mn}^{0.5}$) of Gu- and Ma-based CEB with the addition of 5% and 8% C1 between 1 and 24 hours is shown in Fig. 10 and Fig. 11). The sorptivity coefficient S ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$) derived from this correlation provides a qualitative assessment of the absorption rate in the capillary pores: the lower the coefficient S , the smaller the pore radius. [7], [17]. The mean values of the capillary sorptivity of CEB range from 0.0379 - $0.0664 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mn}^{0.5}$ reaching its minimum value with Ma-8% C1, 10% G. The lower value of sorptivity accompanied by the reduction of the total absorption coefficient suggests that CEB with the composition Ma-8% C1, 10% G present the smallest average pore radius with the presence of the cement hydrates formed.

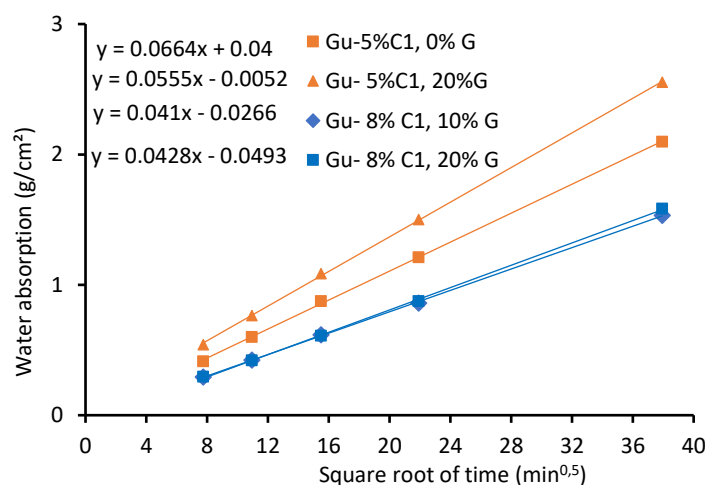


Fig. 9. Effect of decoction on the sorptivity of Gu-based CEB

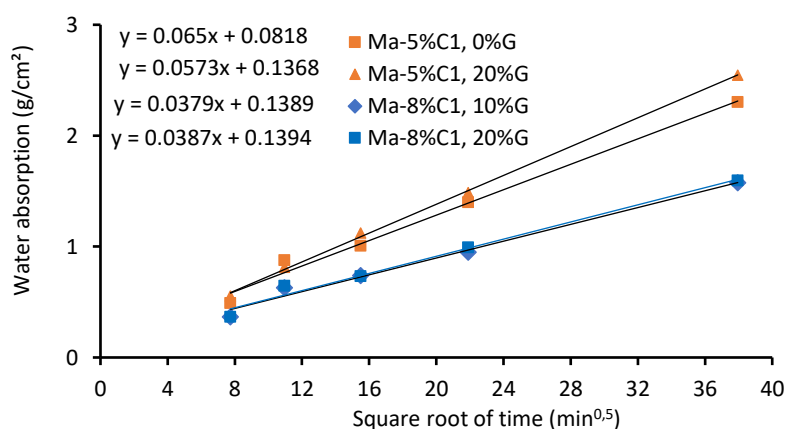


Fig. 10. Effect of decoction on the sorptivity of Ma-based CEB

An analysis of Table 3 also shows that the addition of pod decoction reduced the sorptivity of CEB, i.e. their capacity to absorb and retain water by capillary action, and the effect was more marked with Ma soil. The addition of *Parkia biglobosa* pods decoction appears beneficial for the durability of CEB in terms of their sensitivity to water.

Table 3. Capillary water absorption coefficients and sorptivity of CEBs

Compositions	S (g/cm ² .min ^{0,5})	C _{b10min} (g/cm ² .min ^{0,5})	Total porosity (%)	Qualifications [15]
Gu-5% C1, 0%G	0,0664	5,28±1,26	34,28±0,19	Weakly capillary
Gu-5% C1, 20%G	0,0555	7,29±1,08	34,94±0,34	
Gu-8% C1, 0%G	0,0487	4,61 ±0,01	33,60±0,16	
Gu-8% C1, 10% G	0,0410	3,39±0,07	34,07±0,20	
Gu-8% C1, 20% G	0,0428	3,76±0,96	33,64±0,35	
Ma-5% C1, 0%G	0,065	8,5±1,73	29,00±0,28	
Ma-5% C1, 20%G	0,0573	6,6±0,33	29,38±0,12	
Ma-8% C1, 0%G	0,0405	7,0±0,57	27,48±0,15	
Ma-8% C1, 10% G	0,0379	4,7±0,86	28,11±0,15	
Ma-8% C1, 20% G	0,0387	6,1±0,74	27,89±0,20	

4 CONCLUSION

This study highlights the importance of several parameters in understanding the performance of a cement-stabilized raw earth brick building material with the use of *Parkia biglobosa* pod decoction. The results of the mechanical properties analysis show that the dynamic modulus of elasticity and flexural strength are improved by the addition of the decoction for a soil with specific physical characteristics, including a less fine granulometry, a high proportion of active clay and a chemical composition favorable to the tannins contained in dene pods. However, no significant influence was observed on compressive strength. Optimum mechanical performance was achieved using 8% cement and 10% decoction.

In addition, it was found that stabilizing natural soils with 8% cement and at least 10% *Parkia biglobosa* pod decoction had a beneficial effect on water sensitivity, thanks to the tannins present in the pods. The use of this agricultural waste improves the durability of mud bricks against water infiltration.

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank the directors of the Palladio Foundation. I would also like to thank the technicians at the LGCGM laboratory at INSA Rennes and LEMA at UAC for helping me carry out the experimental tests.

REFERENCES

- [1] A. A. Shubbar, M. Sadique, P. Kot, and W. Atherton, «Future of clay-based construction materials-A review,» *Constr. Build. Mater.* vol. 210, p. 172-187, 2019.
- [2] J. Cid-Falceto, F. R. Mazarrón, and I. Cañas, «Assessment of compressed earth blocks made in Spain: International durability tests», *Constr. Build. Mater.* vol. 37, p. 738-745, 2012.
- [3] K. A. J. Ouedraogo, «Stabilization of sustainable and ecological raw earth building materials by organic and/or mineral binders with low environmental impacts», PhD Thesis, Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2019.
- [4] J. A. Bogas, M. Silva, and M. Glória Gomes, «Unstabilized and stabilized compressed earth blocks with partial incorporation of recycled aggregates», *Int. J. Archit. Herit.* vol. 13, n° 4, pp. 569-584, 2019.
- [5] P. Nshimiyimana, C. O. Sore, C. Hema, O. Zoungrana, A. Messan, and L. Courard, «A discussion of »optimisation of compressed earth blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review», *Constr. Build. Mater.* p. 126887, 2022.
- [6] A. Laborel-Préneron, C. Magniont, and J.-E. Aubert, «Hygrothermal properties of unfired earth bricks: Effect of barley straw, hemp shiv and corn cob addition», *Energy Build.* vol. 178, pp. 265-278, Nov. 2018.
doi: 10.1016/j.enbuild.2018.08.021.
- [7] P. NSHIMIYIMANA, C. HEMA, S. O. SORE, O. ZOUNGRANA, A. MESSAN, and L. COURARD, «Durability performances of compressed earth blocks exposed to wetting-drying cycles and high temperature», *Eco-Archit. IX Harmon. Archit. Nat.* vol. 210, p. 141, 2022.
- [8] N. Kouta, «Effect of flax fibers on early age shrinkage and cracking of earth concrete.» [Online]. Available from: DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119315.
- [9] G. Araya-Letelier *et al*, «Experimental evaluation of adobe mixtures reinforced with jute fibers», *Constr. Build. Mater.* vol. 276, p. 122127, March 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122127.
- [10] L. Courard, «Construction en terre, ressources secondaires et matériaux bio-sourcés: un avenir pour l'Afrique», *Bull. Séances Académie R. Sci. O.-m.*, 2021.
- [11] S. Liuzzi *et al*, «Hygrothermal properties of clayey plasters with olive fibers», *Constr. Build. Mater.* vol. 158, pp. 24-32, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.013.
- [12] NF EN ISO 17892-4, Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 4: Détermination de la distribution granulométrie des particules. AFNOR.
- [13] AF NF EN ISO 13320: 202, «Particle size analysis - Laser diffraction methods. AFNOR, 01-01-2020».
- [14] NF P 94-051, «Sols: reconnaissance et essais-Détermination des limites d'Atterberg-Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau». AFNOR, Saint-Denis La Plaine Cedex. 1993.
- [15] XP P13-901, «Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons, Définitions- Spécifications-Méthodes d'essais-Conditions de réception». AFNOR, Saint-Denis La Plaine Cedex, 2001.
- [16] NF EN 196-1, «Cement testing methods - Part 1: Determination of strength».
- [17] F. Cassagnabère, M. Lachemi, M. Mouret, and G. Escadeillas, «Caractérisation performantielle d'un liant ternaire à base de ciment, laitier et métakaolin», *Can. J. Civ. Eng.* 38, n° 8, pp. 837-848, August 2011, doi: 10.1139/I11-043.
- [18] P. Walker and T. Stace, «Properties of some cement stabilised compressed earth blocks and mortars», *Mater. Struct.* vol. 30, n° 9, pp. 545-551, 1997.

Etude de l'activité antibactérienne des extraits aqueux de *Boerhavia diffusa* et de *Khaya senegalensis* sur *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*

[Study of the antibacterial activity of aqueous extracts of *Boerhavia diffusa* and *Khaya senegalensis* on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*]

Youan Gouanda Pascal and Kipré Gueyraud Rolland

Laboratoire de Biologie et Santé, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: With a view to enhancing the many plant species that make up the Ivorian flora, a study on the medicinal properties of two plants, *Boerhavia diffusa* and *Kaya senegalensis*, was carried out with the main objective of evaluating their antibacterial activities. Sensitivity tests carried out (MIC and MBC) on two bacterial strains (*Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*) revealed that the aqueous extract of *Boerhavia diffusa* has bactericidal activity against *E. coli* and bacteriostatic activity against *S. aureus* that of *Khaya senegalensis* is bactericidal against *S. aureus* but without any activity against *E. coli* up to the limit of 800 mg/mL of concentration tested. The antibacterial activities of these plants would be due to the active ingredients it contains, in particular sterols and polyterpenes (polyphenols, tannins, saponosides) but the advantage observed in *Boerhavia diffusa* would be due to the flavonoids it contains.

KEYWORDS: Bacteriostic, Bactericidal, Ivorian flora, Active ingredients, Medicinal properties.

RESUME: Dans la perspective de valoriser les nombreuses espèces végétales qui composent la flore ivoirienne, une étude portant sur les vertus médicinales de deux plantes, *Boerhavia diffusa* et *Kaya senegalensis*, a été réalisée avec pour principal objectif l'évaluation des activités antibactériennes. Des tests de sensibilité réalisés (CMI et CMB) sur deux souches bactériennes (*E. coli* et *S. aureus*) ont permis de révéler que l'extrait aqueux de *Boerhavia diffusa* présente une activité bactéricide contre *E. coli* et bactériostatique contre *S. aureus* alors que celui de *Khaya senegalensis* est bactéricide contre *S. aureus* mais sans aucune activité contre *E. coli* jusqu'à la limite de 800 mg/mL de concentration expérimentée. Les activités antibactériennes de ces plantes seraient dues aux principes actifs qu'elle renferme notamment les stérols et polyterpènes (polyphénols, tanins, saponosides) mais l'avantage constaté chez *Boerhavia diffusa* serait dû aux flavonoïdes qu'elle renferme.

MOTS-CLEFS: Bactériostique, Bactéricide, Flore ivoirienne, Principes actifs, Vertus médicinales.

1 INTRODUCTION

Afrique le pouvoir thérapeutique des plantes était exploité par nos ancêtres de façon empirique tout en ignorant la composition chimique des plantes utilisées pour leurs soins de santé [1]. Avec le temps, des essais phytochimiques ont permis la découverte des principes actifs comme la mansonine extrait de *Mansonia altissima* par Guédé-Guina [2] tandis que de son côté Aké-Assi en procédant à l'identification et à la répartition de certaines plantes médicinales a abouti à la détermination de leurs compositions chimiques [3]. Pour parvenir à une amélioration de cette médecine dite traditionnelle, Neuwinger a pour sa part révélé les aspects chimiques et toxicologiques de 305 espèces de plantes originaires de nombreux pays d'Afrique [4].

Cependant, en tant que sources de médicaments, les plantes restent encore sous-exploitées surtout dans le domaine de la microbiologie médicale, ce malgré les résultats probants des études préliminaires. Or, d'après l'OMS, chaque molécule d'antibiotique a une durée de vie effective limitée au bout de laquelle elle devient inefficace du fait de la résistance acquise par les microorganismes [5]. De même, avec l'avènement du VIH/SIDA et son corollaire de pathologies opportunistes, la demande en médicaments notamment en antibiotiques s'est considérablement accrue obligeant décideurs et scientifiques à se tourner vers d'autres horizons. C'est ainsi que la chimie de synthèse mise sur les molécules de troisième voire quatrième génération qui présentent des avantages thérapeutiques certains. Malheureusement, ces inventions ne comblent pas les nombreux besoins exprimés puisque ces médicaments de synthèse du fait de leurs coûts élevés ne sont pas toujours accessibles. Les plantes médicinales semblent alors être une alternative crédible puisque l'on estime à environ 80% le taux de la population africaine faisant recours exclusivement aux plantes pour se soigner et que 25% des médicaments sont dérivés directement ou indirectement des plantes [6]. Devant une telle situation, la principale question est comment valoriser la phytothérapie dans la lutte contre les pathologies infectieuses émergentes et/ou re-émergentes qui constituent aujourd'hui un réel problème de santé publique.

Ainsi, cette étude vise-t-elle essentiellement à évaluer l'activité antibactérienne de deux substances naturelles couramment utilisées en phytothérapie.

De façon spécifique, il s'est agi de tester les extraits aqueux de *Boerhavia diffusa* et *Khaya senegalensis*, deux plantes fréquemment utilisées en Côte d'Ivoire dans le traitement de nombreuses pathologies infectieuses, contre *E. coli* et *S. aureus*, et de déterminer le type d'antibiotique auquel appartiendraient ces deux plantes.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

Le matériel végétal était constitué de feuilles de *Boerhavia diffusa* et d'écorces de *Khaya senegalensis* provenant de *Dimbokro (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)* qui ont été identifiées au Centre National Floristique de l'Université Félix Houphouët-Boigny. Quant au matériel biologique, deux souches bactériennes (*Escherichia coli* ATCC 25 922 et *Staphylococcus aureus* ATCC 25923) provenant de la sérothèque du Laboratoire National de Santé Publique ont servi de référence.

Un incubateur, une autoclave, une étuve, un agitateur chauffant (Marque IKAMAG), un densitomètre (Marque DENSIMAT) et une balance électronique (SARTORIUS) ont servi de matériel technique complété par du coton cardé hydrophile, du papier Whatman N°1, une anse de platine, la verrerie, des micropipettes (1 mL et 10 µL), du milieu de Muller Hinton et un bec Bunsen.

2.2 2.2 METHODES

2.2.1 PRÉPARATION DES EXTRAITS AQUEUX

L'extrait aqueux (E A) de chaque plante a été obtenu selon la méthode décrite par Guédé-Guina *et al* [7]. Cent (100 g) de chaque espèce de plante (feuille de *Boerhavia diffusa* et écorce de *Khaya senegalensis*) ont été séchés à l'air libre puis pulvérisée avant d'être dissous dans 1L d'eau distillée. Ce mélange a été macéré pendant 18 heures à la température du laboratoire. Après filtration, une fois sur tissu, trois fois sur coton hydrophile et une fois sur papier Wattman, nous avons obtenu le filtrat. La solution obtenue a été concentrée à l'évaporateur rotatif puis séchée à l'étuve à 45°C pendant 24 h.

2.2.2 RECHERCHE DES GROUPES DE COMPOSÉS CHIMIQUES

La recherche des groupes de composés chimiques chez les extraits bruts a été réalisée en tubes et sur Chromatographie sur Couche Mince

CARACTÉRISATION DES SAPONOSIDES

Dans un tube à essai, 10 mL de macéré ont été agités énergétiquement pendant 15 secondes puis laissés au repos pendant 15 min. Une hauteur de mousse persistante supérieure à 1 cm indique la présence de saponosides.

RÉVÉLATION DES PHÉNOLS TOTAUX

Le réactif de Folin-Ciocalteu a été pulvérisé sur le chromatogramme puis séché après chauffage pendant 10 min. L'observation des spots bleus dans le visible indique la présence des polyphénols.

RÉVÉLATION DES FLAVONOÏDES

Une solution éthanolique à 5% de chlorure d'aluminium (AlCl_3) a été pulvérisée sur le chromatogramme. Le spot jaune dans le visible ou jaune-vert sous UV à 366 nm indique la présence de flavonoïdes.

RÉVÉLATION DES TANINS

Une solution de chlorure de fer (FeCl_3) à 10% a été pulvérisée sur le chromatogramme. Le spot bleu-noir dans le visible indique la présence des tanins galliques et la coloration vert ou vert foncé montre des tanins condensés [8].

RÉVÉLATION DES ALCALOÏDES

Après pulvérisation sur le chromatogramme du réactif de Dragendorff, l'observation dans le visible de spots orangés indique des alcaloïdes.

ANALYSE QUALITATIVE SUR CHROMATOGRAPHIE SUR COUCHE MINCE (CCM)

Des chromatogrammes sur couche mince ont été réalisés sur des plaques de gel de silice (Silicagel 60 F254) pour la recherche des polyphénols, des flavonoïdes, des tanins galliques ou catéchiques et des alcaloïdes. Le système d'élution est composé de chloroforme/méthanol/eau dans les proportions 65: 35: 5.

2.2.3 EVALUATION DES ACTIVITÉS ANTIMICROBIENNES DES EXTRAITS AQUEUX

2.2.3.1 TESTS DE SENSIBILITÉ

Des tests de sensibilité de *E. coli* et *S. aureus* aux extraits aqueux des deux plantes ont été effectués par la détermination des CMI et des CMB à l'aide de la technique GRAM de diffusion en milieu gélosé sur plusieurs dilutions.

2.2.3.2 PRÉPARATION DE L'INOCULUM

De jeunes colonies isolées des souches de *E. coli* et de *S. aureus* ont été délicatement délayées dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée puis homogénéisées et passées au densitometer.

2.2.3.3 PRÉPARATION DE LA GAMME DES CONCENTRATIONS D'EXTRAITS

Pour chaque extrait de plante, une série de 10 tubes comportant 8 tubes expérimentaux et 2 tubes témoins (N° 9 et 10) ont reçu chacun 1 mL de diluant. Cent (100) mg de l'extrait végétal ont été dissous dans 6,25 mL d'eau distillée stérile ce qui correspond à une concentration initiale de 1600 mg/L. Un (1) mL de ce mélange est transféré successivement du tube N° 1 au tube N° 8 puis rejeté dans du Javel. Le tube 9 qui n'a pas reçu d'extrait végétal a servi de témoin de croissance tandis que le N° 10 qui n'a reçu ni extrait ni germe a servi de témoin de stérilité du milieu de culture. A ces diverses concentrations 1 mL de l'inoculum est ajouté.

2.2.3.4 DÉNOMBREMENT DES COLONIES

Après 24 H d'incubation, le dénombrement des colonies a été fait par comptage direct à l'aide d'un stylo compteur de colonies. La croissance des germes dans les tubes expérimentaux de chaque série a été évaluée en pourcentage de survivance, calculée par rapport à 100% de survivance dans le tube témoin de contrôle de croissance [9]. Le pourcentage de survivance dans les tubes expérimentaux est obtenu par le rapport du nombre de colonies dans le tube expérimental (n) sur le nombre de colonies dans le tube témoin (N) multiplié par cent.

Le report des diverses valeurs du pourcentage de survivance sur des graphiques a permis de déterminer les paramètres antibactériens tels que:

- **La concentration minimale inhibitrice (CMI)** ou concentration minimale pour laquelle il n'y a aucune croissance visible à l'œil nu correspond à la concentration du dernier tube sans croissance visible.
- **La concentration minimale bactéricide (CMB)** qui est la plus petite concentration qui donne 99,99% d'inhibition comparativement au contrôle de croissance.
- **La CI_{50}** qui représente la concentration qui donne 50% d'inhibition estimée par rapport aux nombres de colonies ayant poussé dans le tube témoin de contrôle croissance. Ce paramètre est déterminé graphiquement.
- **Le pouvoir antibactérien** de chaque type d'extrait (bactéricide ou bactériostatique) a été déterminé grâce au rapport CMB/CMI. Lorsque ce rapport est inférieur ou égal à 4, l'activité de l'extrait est dite bactéricide et s'il est supérieur à 4, l'activité de l'extrait est dite bactériostatique.

3 RÉSULTATS

3.1 TRI PHYTOCHIMIQUE

A l'issue du tri phytochimique des extraits aqueux les principaux groupes de composés chimiques sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1. Composés chimiques des extraits aqueux de *Boerhavia diffusa* et *Khaya senegalensis*

Groupes de composés chimiques	<i>Boerhavia diffusa</i>	<i>Khaya senegalensis</i>
Saponosides	+	+
Polyphénols totaux	+	+
Flavonoïdes	+	-
Tanins catéchiques	+	-
Alcaloïdes Composés	+	+

+: présence du composé -: absence du composé

Les deux extraits aqueux contiennent tous des saponosides, des polyphénols et des alcaloïdes. Quant aux flavonoïdes et tanins catéchiques, ils ont été retrouvés uniquement que chez *Boerhavia diffusa*.

3.2 TEST DE SENSIBILITE

Après 24 h d'incubation à 37°C, les effets des différentes concentrations des extraits des plantes exprimés en pourcentage de survivance sont représentés sur les figures 1, 2,3 et 4.

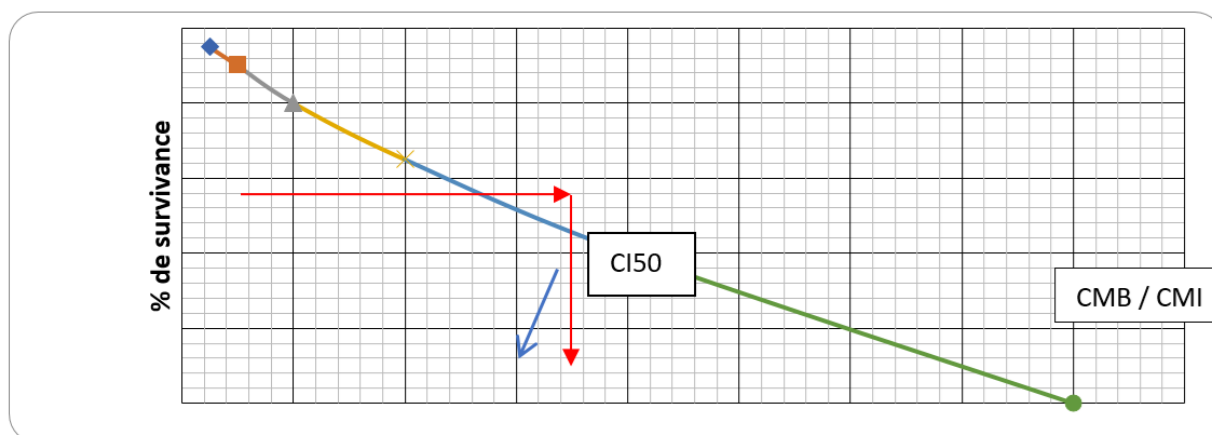


Fig. 1. Effet de l'extrait de *Boerhavia diffusa* sur la croissance in vitro de *E. coli*

L'extrait aqueux de *Boerhavia diffusa* présente une activité antibactérienne sur *E.coli* qui se manifeste par une diminution du pourcentage de survivance à mesure que sa concentration augmente. Cette diminution suit une courbe de réduction qui a l'allure d'une droite descendante. La CI_{50} est d'environ la moitié de la concentration minimale inhibitrice et le rapport CMB/CMI est de 1 ce qui fait classer l'extrait aqueux de *Boerhavia diffusa* dans le groupe des bactéricides en face de *E.coli*.

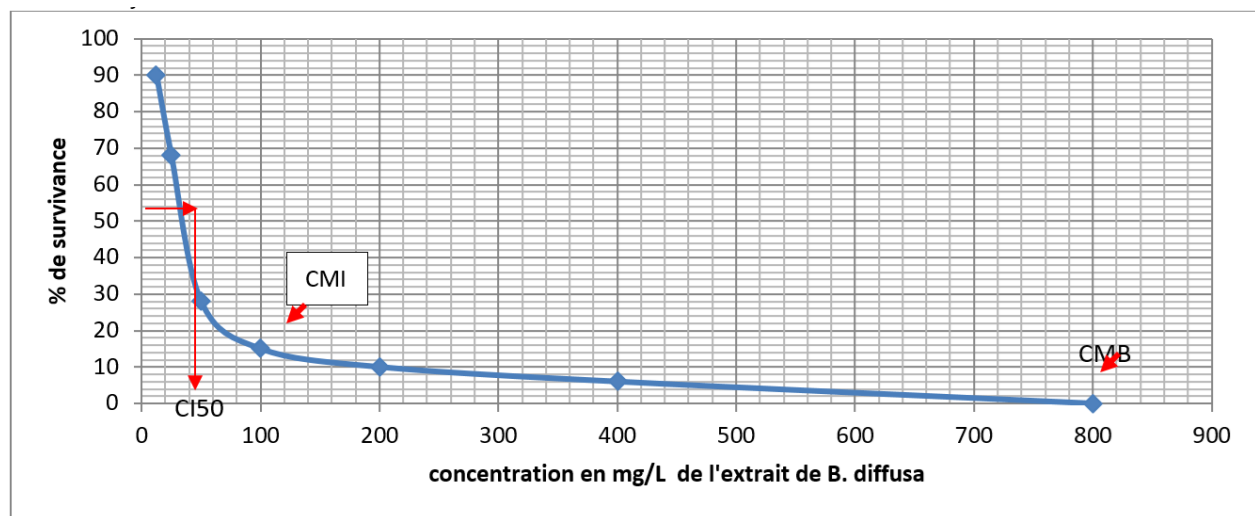


Fig. 2. Effet de l'extrait de *Boerhavia diffusa* sur la croissance in vitro de *S. aureus*

Ici l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de *Boerhavia diffusa* est brutale au début de l'expérimentation avec un CI_{50} de 30mg/L soit le 1/26 de la CMI. Il s'en suit une baisse lente et progressive du pourcentage de survivance qui devient nul à 800mg/L et le rapport CMB/CMI est de 8. L'extrait aqueux de *Boerhavia diffusa* en face de *S.aureus* présente un pouvoir bactériostatique.

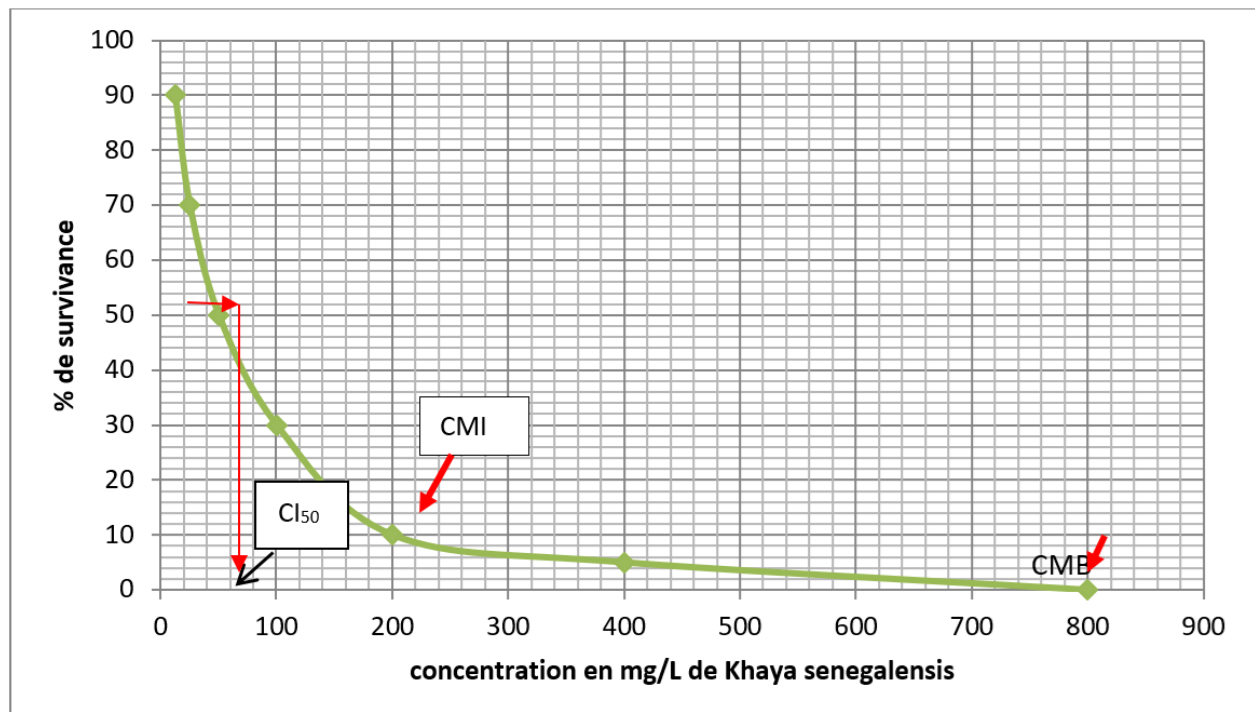


Fig. 3. Effet de l'extrait de *Khaya senegalensis* sur la croissance in vitro de *S. aureus*

L'activité de l'extrait de *Khaya senegalensis* sur *S. aureus* se caractérise par une chute rapide du pourcentage de survivance laissant penser à une action immédiate et ponctuelle. La CI_{50} représente environ 1/16 de la CMI. De même le rapport CMB/CMI est de 4 ce qui confère le caractère bactericide de l'extrait de *Khaya senegalensis* contre *S. aureus*.

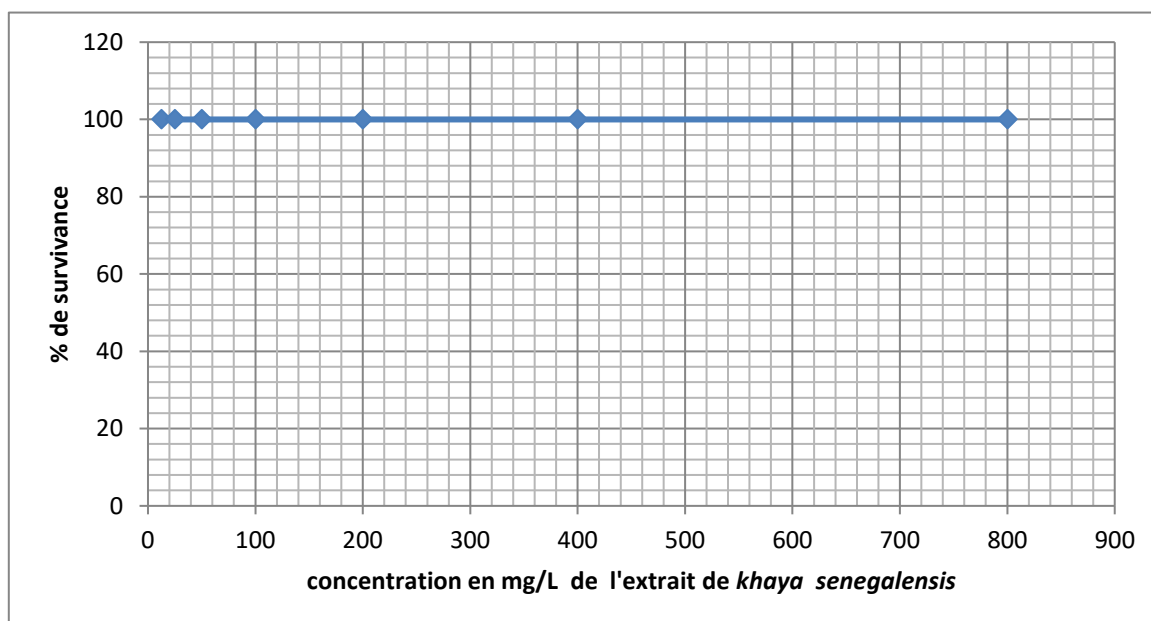


Fig. 4. Effet de l'extrait de *Khaya senegalensis* sur la croissance in vitro de *E. coli*

Ici aucune diminution du pourcentage de survivance n'a été observée. L'extrait de *Khaya senegalensis* n'a donc aucun effet sur *E. coli* dans la limite des concentrations de 800mg/L expérimentée.

4 DISCUSSION

Ces résultats mettent en évidence et confirment les nombreuses vertus médicinales notamment les activités antibactériennes tel que révélé par de nombreuses études. En effet dans diverses régions d'Afrique et de l'Inde, *Boerhavia diffusa* et *Khaya senegalensis* sont régulièrement citées dans le traitement de la jaunisse, la gonorrhée et autres inflammations [10] ainsi que les ulcères, les abcès, les gastroentérites et également pour réguler les menstruations. Les oreillons, la laryngite, les brûlures, sont aussi cités comme affections soignées traditionnellement par *Boerhavia diffusa*. tandis que des activités antibactériennes activités antivirales, anti-oxydantes et anti-paludéennes sont attribuées à *Khaya senegalensis* [11].

Les activités antibactériennes de ces deux plantes peuvent s'expliquer par la présence des principes actifs qu'elles renferment et qui ont été mis en évidence par le screening phytochimique à savoir les stérols et polyterpènes, composés phénoliques et polyphénols, acide caféique et catéchol, quinones et alcaloïdes présents en chacune d'elles ainsi que les flavonoïdes et des tanins catéchiques retrouvés uniquement chez *Boerhavia diffusa*. Ces composés auraient chacun à sa façon contribué à inhiber la croissance de ces germes de façon plus ou moins ciblée, synergique, additive, antagoniste ou indifférente [12]. Ainsi les stérols et polyterpènes qui ont des propriétés potentialisatrices ou réductrices auraient induit une destruction de la membrane des microorganismes par une action lipophile [13] tandis que l'acide caféique et le catéchol, par une inhibition enzymatique à travers une réaction avec les groupes sulfhydryques ou des interactions non spécifiques avec les protéines ont provoqué la mort des bactéries. L'action des quinones se fait en s'attaquant aux adhésines, aux polypeptides et aux enzymes membranaires de la bactérie [14]. Pour ce qui est des tanins, l'action bactéricide résulte de la propriété de complexation avec les protéines de transport alors que les alcaloïdes présents dans 20% de toutes les espèces de plantes tirent leurs activités antibactériennes de leur capacité à s'insérer avec l'ADN [15]. Nos résultats seraient ainsi en conformité avec ceux de Damintoti et al. [16] qui ont admis que l'activité antimicrobienne de l'extrait d'écorce de *Khaya senegalensis* est liée aux polyphénols contenus dans cette plante alors que cette activité serait nulle contre *E. coli*. D'après certaines autres études, une relation étroite existe entre composés flavoniques et activités antibactériennes [17]. Quant à l'absence d'effet de *Khaya senegalensis* contre *E. coli*, plusieurs pistes peuvent être explorées: d'abord il y aurait l'hypothèse d'un phénomène de résistance naturelle provenant soit d'un défaut ou une absence de cible empêchant la reconnaissance ou la fixation par la

molécule d'antibiotique, soit de la présence d'un gène codé empêchant la pénétration du métabolite de *Khaya senegalensis* dans la paroi membranaire [18]. De même, *E. coli* étant un bacille Gram négatif, c'est-à-dire pauvre en peptidoglycane dans sa membrane protectrice, l'on peut avancer que la cible du métabolite de *Khaya senegalensis* est soit le peptidoglycane lui-même ou bien que cette cible n'a la possibilité de se fixer que sur le peptidoglycane dont l'absence ici conduit à une résistance de *E. coli* face aux métabolites de *Khaya senegalensis*. A contrario, l'autre hypothèse serait celle de la production par *E. coli* d'une protéine neutralisant l'effet de *Khaya senegalensis*. Par ailleurs, les extraits aqueux ayant une efficacité moindre par rapport aux autres types d'extraits [19], l'on peut penser que les tanins, les alcaloïdes et les quinones n'ont pu être suffisamment extraits des écorces de *Khaya senegalensis* pour atteindre les concentrations bactéricides requises. L'extraction aqueuse de *Khaya senegalensis* dont l'activité antimicrobienne est due à des composés volatils pour la plupart ou d'extraction difficile tels que les tanins et les composés réducteurs, n'aurait donc pas permis de libérer ces métabolites en qualité et en quantité. Ainsi la de *E. coli* aux extraits aqueux de *Khaya senegalensis* pourrait être attribuée à un défaut de concentration de ces composés. En effet il a été signalé que les tanins exercent un effet inhibiteur et létal sur différentes souches et notamment sur *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* [20].

Une autre piste à explorer consisterait à lier les activités biologiques de ces extraits aux conditions de transport, de traitement et de stockage du matériel végétal. Cette idée a fait déclarer à Zang et Hamauru que les composés phytochimiques peuvent varier et que leurs effets seraient liés au génotype, aux conditions du développement et de croissance, de maturité, et de stockage ainsi qu'aux méthodes d'extraction [21]. En effet, les polyphénols ont la propriété de s'oxyder facilement en présence de l'oxygène de l'air par polymérisation des monomères des flavonoïdes conduisant ainsi à des polymères de poids moléculaires élevés incapables de traverser la paroi membranaire. La résistance de *E. coli* aux extraits aqueux de *Khaya senegalensis* peut ainsi découler de la formation de ces macromolécules par exposition à l'air.

5 CONCLUSION

L'action des extraits aqueux de *Khaya senegalensis* et *Boerhavia diffusa* démontre et confirme bien l'usage de ces deux plantes en médecine traditionnelle. Les activités antibactériennes constatées de ces deux plantes seraient liées aux composés tels que les stérols et composés phénoliques, les alcaloïdes, les quinones et les flavonoïdes. Cependant ces deux plantes présentent des pouvoirs antibactériens différents et cette différence d'activité qui est à l'avantage de *Boerhavia diffusa* serait due soit à la présence des tanins et flavonoïdes qu'elle renferme, soit aux méthodes de conservation et/ou d'extraction qui n'ont pas permis une concentration inhibitrice suffisante des composés chimiques contenus dans *Khaya senegalensis*. *Boerhavia diffusa* présente alors une activité antibactérienne plus importante que *Khaya senegalensis* et pourrait ainsi constituer une bonne source de médicament traditionnel à visée anti-infectieuse. Cependant pour y arriver, une étude sur un plus grand nombre de souches bactériennes (de culture ou provenant de malades) serait idéale également avec plusieurs types d'extraits.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient sincèrement le Chef du Service de Microbiologie du Laboratoire National de Santé Publique de Côte d'Ivoire ainsi que le personnel pour l'accueil et le soutien technique et logistique sans lesquels ce travail n'aurait pu aboutir.

REFERENCES

- [1] Z.P. Nacoulma-Ouedraogo, J.O.G. Millogo-Rasolodimey, P. Van-Damme. «Contribution à la connaissance des plantes médicinales utilisées dans les soins infantiles en pays San, au Burkina Faso», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 1, no.3, pp: 262-274, 2007.
- [2] F. Guédé-Guina, 1990. Extraction of mansonin from *Mansonia altissima* as cardiovascular agent (patent application). Ministère de la Recherche Scientifique, Côte d'Ivoire, 35p.
- [3] L. Aké-Assi, 2011. Abrégé de médecine et pharmacopée africaines: Quelques plantes employées traditionnellement dans la couverture des soins de santé primaire. *Nei-Ceda*, Abidjan, 157p.
- [4] H.D. Neuwinger. 1996. African ethnobotany: poisons and drugs: chemistry, pharmacology, toxicology. *African Ethnobotany*, Chapman & Hall, Medpharm; 1st edition, 941p.
- [5] OMS, 2002. Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005 *World Health Organization - 2002 - apps.who.int*
- [6] D.G. Fowler. «Traditional fever remedies: a list of Zambian plants», *Kirkia*, Vol. 18 no. 19, pp: 35-48, 2006.
- [7] F. Guédé-Guina, J.D. N'guessan, M. Dinzedi, N. Guessend, A. Coulibaly, M. Dosso, A.J. Djaman. «Activité antibactérienne de l'extrait aqueux de *Thonningia sanguinea* contre les b-lactamases à spectre étendu (BLSE) productrices de souches d'*Escherichia coli* et de *Klebsiella pneumonia*», *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, Vol. 6 no.3, pp: 779-783, 2007.
- [8] J.D. N'Guessan, A.P. Bidié, B.N. Lenta, B. Weniger, P. Andre, F. Guédé-Guina. «In vitro assays for bioactivity-guided isolation of anti-salmonella and antioxidant compounds in *Thonningia sanguinea* flowers», *African Journal of Biotechnology*, Vol. 6 no. 14, pp: 1685-1689, 2007.
- [9] F. Guédé-Guina, O.C. Okou, A.K.M. Kra, G.N. Zirihi, M. Dosso. «Activité antibactérienne des extraits de *mitracarpus scaber* sur la croissance in vitro des streptocoques», *8 hemolytiques Journal of ethnopharmacol*, Vol. 14, no. 2, pp: 45- 53, 1997.
- [10] M. Muzila, 2006. *Boerhavia diffusa* L. [Internet] Record from PROTA4U. PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), [ed. by Schmelzer, G. H. \Gurib-Fakim, A.]. Wageningen, Netherlands: PROTA. <http://www.prota4u.org/search.asp>
- [11] K. Konaté, M. Kiendrébéogo, M.B. Ouattara, A. Souza, A. Lamien-Meda, Y. Nongasida, N. Barro, J. Millogo-Rasolodimby, O.G.Nacoulma. «Antibacterial potential of aqueous acetone extracts from five medicinal plants used traditionally to treat Infectious Diseases in Burkina Faso», *Curr. Res. J. Biol. Sci.*, Vol. 3, no. 5, pp: 435 – 442, 2011.
- [12] C. De Souza, K. Koumagalo, M. Gbeassor. «Etude de l'activité antimicrobienne des extraits aqueux totaux de dix plantes médicinales», *Revue de Médecine et pharmacologie africaine*, Vol. 7, pp: 109 -115, 1995.
- [13] M.M. Cowan. «Plants products as antimicrobial agents», *Clinical Microbiology Reviews*, Vol. 12, pp: 564-582, 1999.
- [14] S.J.A. Kazmi, A.G. Mitchell. «Preservation of solubilised emulsion system. II. Theoretical development of capacity and its role in antimicrobial activity of chlorocresol in cetamacrogol-stabilised systems», *Journal of Pharmaceutical Sciences*, Vol. 6, pp: 1266-1271, 1978.
- [15] S. Faizi, N.R. Mughal, R.A. Khan, S.A. Khan, A. Ahmad, N. Bibi, S.A. Ahmad. «L'évaluation des propriétés antimicrobiennes de *Polyalthia longifolia* var *Pendula*: Isolement d'une lactone comme agent antimicrobien actif à partir de l'extrait éthanolique de la tige», *Recherche Phytothérapie*, Vol. 17, no. 1, pp: 1177-1181, 2003.
- [16] K. Damintoti, H.D. Mamoudou, J. Simporé, S. Yameogo, S. Sanon, S.A. Traoré. «Activités antioxydantes et antibactériennes des polyphénols extraits des plantes médicinales», *African Journal of Biotechnology*, Vol. 4, no. 8, pp: 823-828, 2003.
- [17] A.B. Djahra, O. Bordjiba & S. Benkherara. «Activité antibactérienne des flavonoides d'une plante médicinale spontanée *Marrubium vulgare* L. de la région d'El Tarf (Nord-Est Algérien)», *Rev. Sci. Technol.*, Vol. 24, pp: 29-37, (2012).
- [18] M. Archambaud. «Méthodes d'évaluation de l'activité des antibiotiques in vitro», *Laboratoire Bactériologie-Hygiène CHU Rangueil Toulouse*, Vol. 5, pp: 25-26, 2009.
- [19] M.P. Germano- R. De Pasquale, L. Lauk, E.M. Galati, A. Keita, R. Sanogo. «Antiulcer activity of *Veronica kotschyana* Sch Bip», *Phytomedicine*, Vol. 2, no. 3, pp: 229- 233, 1996.
- [20] A. Loss, M.H. Mohammed, R. Dhanabalan. «Antibacterial activity of tannins from the leaves of *Solanum trilobatum* L», *indian journal of science and technology*, Vol. 2, pp: 41-43, 2009.
- [21] D. Zang, Y. Hamauru. «Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of grebe. Red and yellow bell pepper», *Journal of Food, Agriculture and Environment*, Vol. 2, pp: 22-27, 2003.

Participation à la prise de décision et performance organisationnelle des Petites et Moyennes Entreprises au Bénin

[Participation in decision-making and organizational performance of Small and Medium Enterprises in Benin]

Darius A. Juste DJOHOSSOU

Docteur en Sciences de Gestion, Enseignant-Chercheur, Laboratoire de Recherche en Analyse Stratégique des Organisations (LARSO), Université d'Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This research seeks to analyse the influence of employee participation in decision-making on the organisational performance of small and medium-sized enterprises (SMEs) in Benin. Using a quantitative methodological approach, we targeted our sample of 150 employees and managers who answered the questions. A correlation matrix was used to assess not only the dependence but also the direction of change between several variables at the same time. The linear correlation coefficient and clinical significance allowed us to analyse the data collected. Our results show that the correlation coefficient between the variables «high employee involvement» and «organisational performance» is positive. The higher the level of employee satisfaction, the closer SMEs are to achieving their social and organisational objectives. Finally, the greater the sharing of information between employees, the closer SMEs are to achieving their social and organisational objectives.

KEYWORDS: Involvement, decision-making, organisational performance, SME.

RESUME: Cette recherche tente d'analyser l'influence de la participation des employés à la prise de décision sur la performance organisationnelle des Petites et Moyennes Entreprises (PME) au Bénin. A travers une démarche méthodologique quantitative, nous avons ciblé notre échantillon composé de 150 employés et dirigeants qui ont répondu aux questions. L'utilisation d'une matrice de corrélation est utilisée pour évaluer non seulement la dépendance mais aussi le sens de l'évolution entre plusieurs variables en même temps. A l'issue de nos résultats, le coefficient de corrélation entre les variables « forte implication des employés » et « la performance organisationnelle » est positive. Plus l'implication des employés devient importante, plus les PME se rapprochent de leurs objectifs sociaux et organisationnels; en ce qui concerne la « forte satisfaction des employés », plus la satisfaction des employés devient importante, plus les PME se rapprochent de leurs objectifs sociaux et organisationnels. Enfin, plus le partage d'informations entre les employés devient important, plus les PME se rapprochent de leurs objectifs sociaux et organisationnels.

MOTS-CLEFS: Participation, prise de décision, performance organisationnelle, PME.

1 INTRODUCTION

Dans le monde des affaires, les entreprises quelque soient leur secteur d'activités ou taille, manifestent un besoin en ressource humaine. Ainsi, vu les défis économiques, sociaux et technologiques de ces dernières décennies, la qualité du management des ressources humaines est un vecteur important de succès [1]. Les responsables d'entreprises savent que l'implication optimale des employés donne à l'entreprise un avantage compétitif déterminant. La référence [2] clarifie que

l'implication de quelqu'un dans son travail se remarque généralement à certains signes extérieurs qui caractérisent son comportement. Pour illustrer, c'est un individu qui fait invariablement beaucoup plus que ce qui est attendu de lui, que ce soit en termes d'horaires ou de quantité de travail. Il accorde au travail une place prépondérante dans sa vie. Il y est tellement investi il peut aussi chercher à le faire autrement ou au-delà de ce qui est requis par la définition de sa fonction. Pour [3], trois facteurs caractérisent l'implication organisationnelle: une forte croyance et acceptation des buts et valeurs de l'organisation, la volonté de réaliser des efforts considérables en faveur de l'organisation et un fort désir d'en rester membre.

Le degré d'implication des salariés varie d'un individu à un autre et d'une entreprise à une autre. Les délocalisations, fermetures d'entreprises, restructurations et mutations profondes, qui peuvent rythmer la vie de certaines entreprises, doivent mettre les DRH en situation de proposer d'autres déclinaisons de la loyauté, car sous la pression de la compétitivité, les entreprises réajustent leurs effectifs et se séparent souvent des salariés les moins performants ou n'ayant pas les compétences recherchées pour répondre aux nouvelles exigences. Ainsi, les employés changent de comportement. L'implication peut être négative ou positive, soit faible ou forte chez les employés. Ce qui affecte évidemment la performance de l'entité. La performance est complexe et regroupe plusieurs dimensions (Rationnelle, humaine, financière, stratégique, apprentissage, innovation, processus interne, etc.) [4]. Certains dirigeants signent un CDD à des employés, mais d'autres engagent des employés avec un CDI. Même avec un contrat à durée indéterminée (CDI), l'employé n'est plus assuré de la pérennité de son emploi. Le « contrat psychologique » ([5]; [6]) qui engendre des attentes mutuelles implicites entre employeur et employé et des échanges équilibrés, est dans ce cas rompu ([7]; [8]) car la flexibilité entre en contradiction avec la sécurité. L'influence de la ressource humaine capitale sur la performance de l'entreprise par sa participation à la prise de décision est méprisée. L'attention spéciale accordée à la petite et moyenne entreprise se justifie par le fait qu'elle forme l'armature de toutes les économies et est une source essentielle de croissance économique, de dynamisme et de flexibilité aussi bien dans les pays industrialisés avancés que dans les économies émergentes et en développement. Les PME constituent la forme dominante d'organisation de l'entreprise, et représentent entre 95% et 99%, de la population des entreprises selon le pays. Elles assurent entre 60% et 70% de la création nette d'emploi dans les pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique [9].

Dans notre contexte africain, les petites entreprises jouent un rôle particulièrement important dans la mise sur le marché de techniques ou de produits innovants. Elles ont des avantages et des inconvénients qui leur sont propres et qui peuvent appeler des mesures particulières. Du fait des nouvelles technologies et de la mondialisation, les économies d'échelle perdent de leur importance dans de nombreuses activités, de sorte que la contribution potentielle des petites et moyennes entreprises s'en trouve renforcée. Dans le même temps, beaucoup de problèmes auxquels elles sont traditionnellement confrontées: insuffisance de financement, difficultés d'exploitation des technologies, capacités managériales limitées et faible productivité s'accroissent dans un contexte mondialisé où la technologie devient prépondérante.

Dans le contexte béninois, sur les quatre mille trois cent trente-deux entreprises créées et mises à jour en 2019, plus de deux mille cinq cents ont de résultats peu reluisants voire médiocres. Le management du dirigeant, la politique de distribution de dividende ou le mode de rémunération et des pratiques de gestion participative sont à la base des résultats négatifs des entreprises. Comme le précise [10], le dirigeant met en œuvre des stratégies propres à lui afin de mieux conforter sa place à la tête de l'organisation, de telle sorte qu'il devient indispensable à la bonne marche de l'entreprise. Mais les ressources humaines ne sont plus impliquées.

Dans les entreprises au Bénin, les travailleurs estiment qu'ils sont marginalisés dans des prises de décisions et qu'on ne saurait leur demander mieux en ce qui concerne leur rendement au travail. C'est en cela que nous considérons la gestion de l'homme comme une clé d'entrée pour appréhender, d'un point de vue plus général, les antécédents du niveau d'implication par les dirigeants des PME de leurs collaborateurs à la prise de décision. Les employés et les dirigeants sont dans des relations directes dues à l'omniprésence et à l'omnipotence du dirigeant [11]. La relation entre performance (organisationnelle et sociale) et l'implication des employés à la prise de décision n'est pas une relation récente mais suscite des débats pertinents notamment en parlant des PME et ceci dans le contexte particulier comme le Bénin. C'est pourquoi, ce travail a pour objectif d'analyser l'influence de la participation des employés à la prise de décision sur la performance organisationnelle des PME au Bénin. Cet objectif de recherche répond à la question suivante: Quelle est l'influence de la participation des employés à la prise de décision sur la performance organisationnelle des PME au Bénin ?

Le présent travail s'est articulé autour de trois parties. La première partie pose les bases de la recherche en établissant un corpus théorique présentant la synthèse des travaux relatifs à l'implication des employés et la performance des PME. La deuxième partie présente le cadrage méthodologique de la recherche. Enfin, la troisième partie vient exposer des résultats et discussions de la recherche.

2 REVUE LITTÉRAIRE

2.1 PERFORMANCE ORGANISATIONNELLE

Le concept de la performance a fait l'objet de nombreuses études, recherches et ouvrages sans cependant aboutir à une définition universelle [12]. Le terme performance est largement utilisé sans que sa définition fasse à l'unanimité ([13]; [14]). Depuis sa première apparition jusqu'à nos jours, il n'a pas subi des modifications sémantiques. La performance organisationnelle est relative à l'efficacité de la structure organisationnelle [15] et constitue la manière dont l'entreprise est organisée pour atteindre ses objectifs et la façon dont elle parvient à les atteindre. Elle intègre des indicateurs variés tels que la qualité du produit et du service, la mobilisation des employés, le climat de travail, la productivité, la satisfaction de la clientèle, etc. Autrement dit, cette performance porte directement sur l'efficacité de la structure organisationnelle et non pas sur ses éventuelles conséquences de nature sociale ou économique. [16], y ajoutent l'influence du pouvoir du dirigeant. Ces indicateurs sont intéressants dans la mesure où ils permettent de discerner les difficultés organisationnelles au travers de leurs premières manifestations, avant que les effets induits par celles-ci ne soient ressentis d'un point de vue économique. Dans leur étude, ils avancent quatre facteurs de l'efficacité organisationnelle: Le respect de la structure formelle (le non-respect de la structure annoncée par la direction, peut traduire un dysfonctionnement au sein de l'organisation); les relations entre les services (la recherche de la minimisation des conflits reflète un besoin de coordination nécessaire à l'efficacité); la qualité de la circulation de l'information (l'organisation doit développer des systèmes d'information permettant l'obtention des informations fiables et exhaustives indispensables au bon fonctionnement de l'organisation) et la flexibilité de la structure (l'aptitude de celle-ci à changer est un facteur déterminant d'adaptation aux contraintes de l'environnement).

La performance organisationnelle est probablement la variable dépendante la plus largement utilisée en recherche organisationnelle; elle demeure malgré tout un concept vague et mal défini. Certains chercheurs ont dénoncé tôt ce manque de clarté ([17]; [18]; [19]; [20]), d'autres ont insisté sur le fait que les travaux théoriques dans le domaine de la gestion des ressources humaines exigent plus de précision concernant la définition et l'évaluation de la performance organisationnelle ([21]; [22]).

Les chercheurs admettent que la clarification de la définition du concept de performance organisationnelle et sa validation sont d'une importance cruciale pour l'évolution de la recherche en gestion des ressources humaines ([23]; [24]). De plus, il faut veiller à ce que la construction conceptuelle et la mise en œuvre des instruments de connaissance de la performance de l'entreprise répondent à un besoin de représentation du réel. Pour ce qui est de la validité du construit, (25) la définit comme étant: « la correspondance entre un construit et la procédure opérationnelle de mesure ou de manipulation de ce construit ». La performance organisationnelle repose sur la capacité à gérer efficacement ses ressources (humaines, financières, matérielles) pour produire des résultats optimaux. Cela implique d'optimiser les processus internes pour minimiser les gaspillages de temps, d'argent et de ressources.

2.2 THÉORIE DE LA COMPÉTENCE COLLECTIVE

Développée par plusieurs auteurs ([26]; [27], [28]; [29]), la théorie de la compétence collective est un cadre conceptuel qui met en lumière l'importance de la contribution active des employés à la prise de décision dans une organisation. Cette théorie repose sur l'idée que l'implication des employés dans les processus décisionnels peut avoir un impact significatif sur la compétence collective de l'organisation et, par conséquent, sur sa performance globale. L'implication des employés va au-delà de leur simple présence dans l'entreprise. Elle signifie qu'ils sont activement engagés dans les processus décisionnels et qu'ils ont une voix dans la manière dont l'organisation fonctionne. Cela peut se traduire par leur participation à des réunions de prise de décision, à des groupes de travail ou à des comités, où leurs opinions et leurs idées sont sollicitées et prises en compte. La théorie de la compétence collective stipule que l'implication active des employés dans la prise de décision et dans les activités de l'organisation peut renforcer la compétence collective de cette organisation. Cette compétence collective se réfère à la somme des compétences, des connaissances, des expériences et des capacités de tous les membres de l'organisation, en particulier lorsqu'ils travaillent ensemble de manière collaborative. Lorsque les employés contribuent activement à la prise de décision, ils partagent leurs compétences, leurs connaissances et leurs perspectives, ce qui peut favoriser l'innovation, l'apprentissage organisationnel et une meilleure performance globale. [30] examinent comment l'engagement des employés peut renforcer la compétence collective en créant un environnement où les employés sont actifs et engagés dans la prise de décision. [31]: Cette étude explore la relation entre la gestion des connaissances, l'implication des employés et la compétence collective dans le contexte des entreprises de haute technologie. Les résultats indiquent comment la collaboration et le partage de connaissances sont essentiels pour développer la compétence collective. [32] ont examiné comment la confiance organisationnelle et l'implication des employés sont liées à la compétence collective. Leur étude met en évidence que les

employés qui se sentent plus impliqués ont tendance à avoir plus confiance en l'organisation, ce qui peut favoriser la compétence collective.

2.3 IMPLICATION DES EMPLOYÉS ET PERFORMANCE ORGANISATIONNELLE

De nombreuses recherches ont tenté de démontrer la relation entre les pratiques RH et la performance [33]. Progressivement, les chercheurs reconnaissent que les pratiques RH améliorent la performance organisationnelle. Par contre, ils ne s'entendent pas nécessairement sur les façons d'y arriver. L'étude de [34] a examiné l'effet des pratiques de GRH, notamment celles favorisant la participation, sur le roulement volontaire du personnel (indicateur de la performance sociale). Les pratiques de participation à la prise de décision (PPD) concernent la présence de syndicat (forme de participation indirecte), ainsi que les groupes de résolution des problèmes et les équipes autogérées (2 formes de participation directe). Notons que le taux de roulement volontaire est une mesure de la performance sociale de l'organisation. L'analyse de corrélation montre que toutes les variables de PPD présentent chacune une corrélation négative et significative avec le taux de roulement volontaire. Les analyses de régression Tobit révèlent: un lien négatif et significatif fort entre la présence syndicale et le taux de roulement volontaire, un lien négatif et significatif entre les groupes de résolution des problèmes et le taux de roulement volontaire, et enfin un lien négatif significatif mais faible entre les équipes autogérées et le taux de roulement volontaire.

Dans leur étude sur l'autonomisation d'équipe de travail, [35] ont examiné l'effet de cette pratique de participation à la prise de décision sur la performance du groupe. Il est à noter que les auteurs définissent l'autonomisation d'équipe de travail comme étant plus large que le concept de groupe autonome dans le sens où elle présente quatre dimensions à savoir l'efficacité collective, la valorisation, l'autonomie et l'impact collectif, alors que la notion de groupe autonome se réduit à la dimension autonomie. L'étude porte sur trois équipes de travail dans quatre entreprises américaines dont deux de grande taille. Les résultats obtenus révèlent une relation positive et significative entre d'une part, l'autonomisation d'équipe de travail et d'autre part, la productivité du groupe, la proactivité de l'équipe, l'amélioration du service à la clientèle, la satisfaction au travail dans le cadre de l'équipe, l'engagement au niveau du groupe et l'engagement organisationnel de l'équipe de 126 travailleurs. Les auteurs en déduisent que les équipes de travail fortement autonomisées sont plus efficaces que celles qui le sont à un degré moindre.

A travers la littérature, nous pouvons retenir que les recherches ont tenté d'expliquer l'effet de certaines pratiques de GRH sur la performance perçue: performance organisationnelle (performance opérationnelle) et performance économique des entreprises dans des contextes différents. Les auteurs ont majoritairement trouvé une relation positive et significative entre la participation à la prise de décision (PPD) et la performance organisationnelle et sociale. Les résultats révèlent que les programmes de participation des employés présentent un lien positif et significatif avec la valeur ajoutée par employé dans les entreprises surtout les entreprises syndicalisées. Par contre, la relation qui a été trouvée entre la PPD et la performance financière perçue est souvent faible.

Les auteurs de [36] ont étudié l'effet de 7 pratiques de GRH sur la performance de 46 coopératives financières canadiennes. Parmi les pratiques étudiées, il y a l'organisation de travail. La dimension organisation de travail regroupe l'implication dans des équipes de travail, la consultation par le biais de comités, la résolution de problèmes par des équipes de projet, le travail sur des postes de niveaux similaires et le travail sur des postes de niveaux supérieurs. La dimension organisation de travail peut donc être assimilée à la PPD. Quatre indicateurs de performance de l'organisation ont été examinés: la satisfaction au travail des employés, mesurée par l'inventaire de satisfaction au travail, l'efficacité des ressources humaines (productivité au travail) mesurée par le ratio de l'écart des effectifs, le retour sur l'investissement mesuré par le rendement de l'avoir ordinaire et les trop-perçus (profits) mesurés par la contribution des opérations à la rentabilité. Ces indicateurs peuvent être classés selon les différents niveaux de performance retenus dans l'étude.

Ainsi, le premier indicateur est la satisfaction au travail qui reflète la performance sociale. Le second représente l'efficacité des ressources humaines (productivité) qui reflète la performance opérationnelle et les deux autres: le retour sur investissement et les profits reflètent la performance financière. L'étude a permis de faire ressortir une relation positive et significative entre d'une part, l'indice d'organisation de travail et le niveau de satisfaction (performance sociale) ainsi que l'efficacité des ressources humaines (performance opérationnelle), et d'autre part entre le partage d'information et la satisfaction (performance sociale), l'efficacité des ressources humaines (performance opérationnelle).

Enfin, les résultats de l'étude révèlent un lien négatif fort significatif entre la participation à la résolution des problèmes et la performance financière perçue des PME. Toutefois, il n'existe aucun lien significatif entre la présence des comités consultatifs conjoints et la performance financière perçue des PME. Concernant les pratiques de communication, la communication directe (réunions entre les cadres et les employés, lettres d'information) et la présence de chaîne de communication avec les employés (communication hiérarchique) sont positivement et significativement liées avec la performance financière perçue des PME.

Notons que la diffusion d'informations (portant sur la productivité, les salaires et les états financiers) est considérée dans cette étude comme variable de contrôle parmi d'autres. La dimension diffusion d'information couvre le partage des informations stratégiques, le partage des informations financières et le partage des informations sur les nouveaux produits et services [36]. Ces arguments nous permettent d'énoncer les trois hypothèses suivantes:

H1: le niveau d'implication des employés dans la prise de décision influence positivement la performance des PME du Bénin;

H2: le niveau de satisfaction des employés influence positivement la performance des PME béninoises.

H3: La diffusion d'informations influence positivement la performance des PME béninoises.

3 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

3.1 OPÉRATIONNALISATION DES VARIABLES

Le modèle de [37] présente divers arrangements possibles entre le dirigeant et les employés pour la prise de décision. Ainsi, [37] suggèrent l'idée d'un continuum pour la prise de décision. Nous avons adopté l'échelle de mesure de [37] pour mesurer la variable « participation des employés à la prise de décision ». La réalisation de cette recherche repose sur l'articulation des variables de la participation de l'employé à la prise de décision et celle de la performance organisationnelle des PME au Bénin.

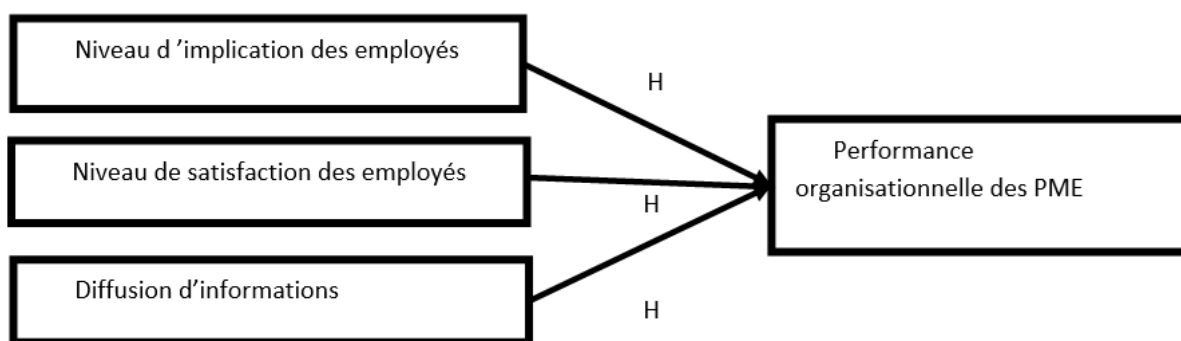


Fig. 1. Modèle théorique de recherche

Source: Modèle conceptuel, Août, 2023

C'est au regard de la littérature que nous avons élaboré ce modèle qui explique l'influence de la participation à la prise de décision sur la performance des PME au Bénin. Il s'agit de remarquer fondamentalement trois sous-variables explicatives de la participation à la prise de décision. Le niveau d'implication des employés, le niveau de satisfaction des employés et la diffusion des informations constituent le premier bloc de sous-variables qui a un effet escompté sur la performance des PME dans le contexte béninois. C'est la pratique du dirigeant de la firme. La manière de diriger des entreprises affecte indubitablement la création de valeur de la société.

3.2 CARACTÉRISTIQUE DE L'ÉCHANTILLONS ET COLLECTE DES DONNÉES

Nous avons sélectionné toutes les entreprises ayant fait l'objet d'enregistrement et mises à jour régulièrement jusqu'à 2021 à la CCIB. Au total, le nombre d'entreprises est de 4332. Nous ne pouvons pas investiguer toutes ces entreprises, nous avons utilisé des critères pour définir la taille de l'échantillon. D'abord, nous avons constaté que certaines d'entre elles sont des établissements (entreprises individuelles au statut de microentreprises selon la Charte des MPME au Bénin (2021) et sont au nombre de deux mille deux cent cinq (2205). Celles-ci ne font pas partie des PME donc elles sont exclues. Alors il reste deux mille cent vingt-sept (2127) Sarl et SA considérées comme l'effectif total des PME enregistrées au Bénin. Sur cette base, nous avons procédé à l'élimination des entreprises multinationales, les sociétés d'assurance, les sociétés bancaires et financières et celles qui ne tiennent pas une comptabilité formelle selon les réglementations comptables de l'Organisation pour l'Harmonisation du Droit des Affaires révisées et en vigueur dans notre espace UEMOA.

Après l'application des différents critères d'élimination nous avons eu au total mille quatre cent vingt-neuf (1429) PME y compris les entreprises choisies dans le cadre de l'application du logiciel DGID ou MECeF. Nous avons considéré les PME qui

ont leur siège dans les départements du Littoral et d'Atlantique comme échantillon de notre recherche, soit un taux de 2% de l'ensemble des 30 PME composé de 150 agents enquêtés. Il s'agit d'un échantillon de jugement, c'est-à-dire des individus capables de répondre à nos préoccupations de recherche.

Au sein de chaque entreprise nous avons adressé le questionnaire à cinq (05) personnes soit: un des actionnaires ou Directeur Général; un des dirigeants ou Directeur des Affaires Financières ou Directeur des ressources humaines et trois représentants des employés de l'entreprise. Les informations relatives aux entreprises telles que leur année de création, leur secteur d'activité, l'atteinte des objectifs... ont été étudiées.

Tableau 1. Description de l'échantillon

Libellé	Population cible	Effectif des répondants
Conseil d'administration ou DG	1x30	30
Directeur (DAF ou DRH)	1x30	30
Employés ou salariés	3x30	90
Total	-	150

Source: Réalisé par l'auteur, 2023

3.3 MÉTHODE DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE DE DONNÉES

L'élaboration des questionnaires sur le logiciel Cspiro version 6.1 a été effectuée. Une analyse préliminaire univariée ou descriptive et bivariée sur les logiciels Excel et SPSS est faite pour s'assurer de la pertinence des variables et enfin une analyse descriptive sur le logiciel Stata afin de ressortir l'impact des variables explicatives sur la variable dépendante et l'élaboration d'une matrice de corrélation afin de ressortir la liaison existante entre les variables d'études.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATIONS DES RÉSULTATS D'ENQUÊTES

Il regroupe la performance organisationnelle, le niveau d'implication des employés, le niveau de satisfaction des employés, le degré de diffusion des informations. La figure ci-dessous fait le récapitulatif sur le niveau d'implications des employés dans les entreprises au Bénin.

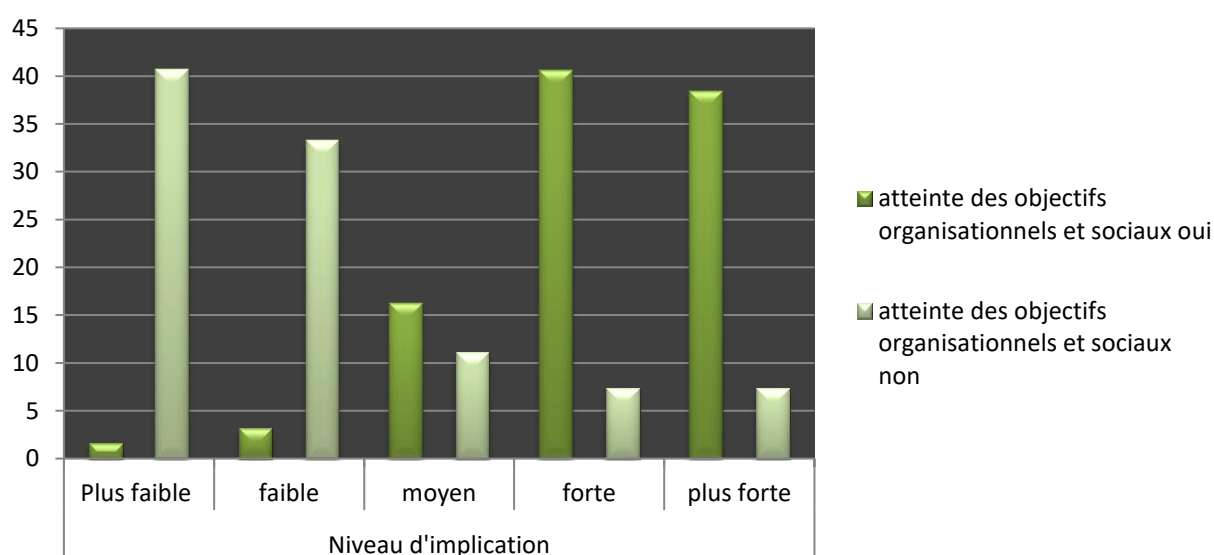


Fig. 2. Performance et niveau d'implication des employés

Source: Résultats de nos enquêtes, Août 2023

De ce graphisme, il ressort que parmi les enquêtés ayant répondu oui à l'atteinte des objectifs organisationnels et sociaux définis par leur structure (PME), 95,2% affirment que la performance organisationnelle et sociale s'explique par un niveau d'implication moyen voire plus élevé des employés contre 4,8 % qui estiment que cette performance n'est pas corrélée avec le niveau d'implication des employés. Par ailleurs, parmi les personnes enquêtées 74 % affirment que le niveau d'implication faible voire plus faible des employés dans le cadre de la prise de décision affecte négativement la performance des entreprises contre 26% des personnes enquêtées qui estiment que les échecs ou inefficacité des entreprises ne sont pas liés à un niveau d'implication des employés. De cette analyse faite, il ressort donc que le niveau d'implication des employés influe significativement et détermine la performance organisationnelle et sociale des PME présentes au Bénin.

La figure suivante nous fait le résumé sur niveau de satisfaction des employés dans les entreprises

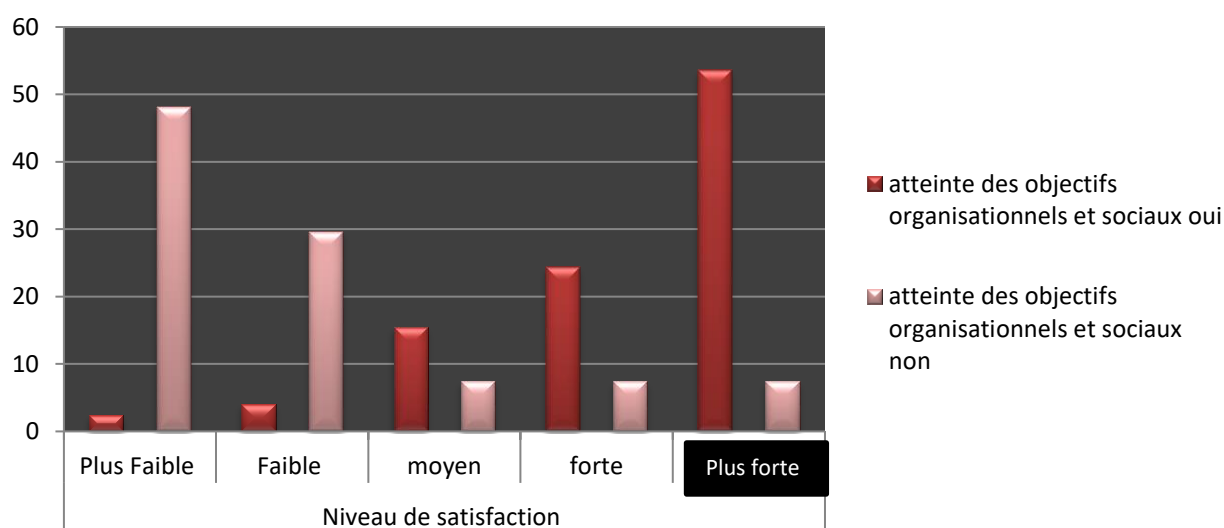


Fig. 3. Performance et niveau de satisfaction des employés

Source: Résultats de nos enquêtes, Mars 2020

De ce graphisme il ressort que parmi les enquêtés ayant répondu oui à l'atteinte des objectifs organisationnels et sociaux définis par leur entreprise (PME), 93,3% affirment que la performance organisationnelle et sociale s'explique par un niveau de satisfaction moyen voire plus élevé des employés contre 6,7 % qui estiment que cette performance n'est pas corrélée avec le niveau de satisfaction des employés. Par ailleurs, parmi les enquêtés, 77,7 % de ceux-ci affirment qu'un niveau de satisfaction faible voire plus faible des employés justifie la faible performance contre 22,3 % qui pensent que l'inefficacité organisationnelle et sociale n'est pas liée à un niveau de satisfaction des employés. De cette analyse faite, il ressort donc que le niveau de satisfaction des employés est un facteur déterminant de la performance organisationnelle et sociale des PME présentes au Bénin.

La figure ci-dessous fait le récapitulatif sur la diffusion des informations dans les entreprises.

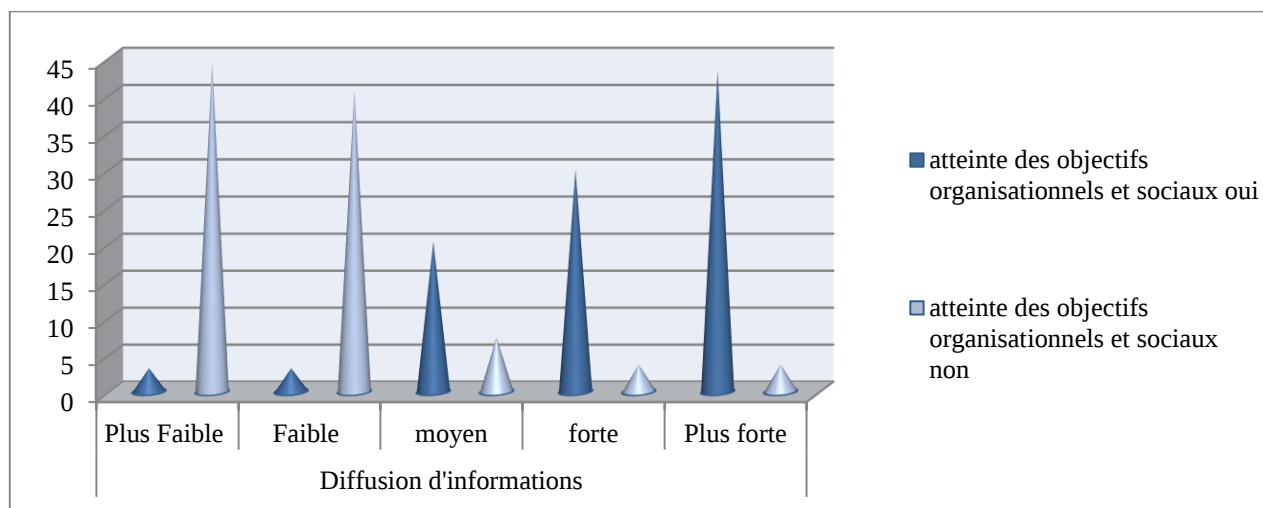


Fig. 4. Performance et diffusion des informations

Source: Résultats de nos enquêtes, Août 2023

De ce graphisme, il ressort que parmi les enquêtés ayant répondu oui à l'atteinte des objectifs organisationnels et sociaux définis par leur entreprise, 93,6% affirment que la performance organisationnelle et sociale s'explique par un niveau moyen voire plus élevé de diffusion d'informations des employés y compris les dirigeants, contre 6,4 % qui estiment que cette performance ne dépend pas du partage d'information entre employés. Par ailleurs, parmi les enquêtés sur la performance des entreprises, 85,1 % affirment que ceci s'explique par une insuffisance de diffusion d'informations, contre 14,9 % qui estiment que leurs performances ne sont pas liées à la diffusion d'informations. De cette analyse faite, il ressort donc que la diffusion d'informations influe significativement et détermine la performance organisationnelle et sociale des PME présentes au Bénin.

4.2 ANALYSE DE LA CORRÉLATION ENTRE LES VARIABLES D'ÉTUDES

C'est l'analyse de la corrélation entre les variables étudiées.

Tableau 2. Corrélation des variables indépendantes

Variables explicatives	Modalités	Coefficient de corrélation	Résultats
Niveau d'implication des employés	Plus faible	-0,05557	Indépendance linéaire statistique
	Faible	-0,067	
	Moyen	0,71	Dépendance linéaire statistique
	Forte	0,8256	
	Plus forte	0,9664	
Niveau de satisfaction des employés	Plus faible	-0,023	Indépendance linéaire statistique
	Faible	-0,049	
	Moyen	0,7489	Dépendance linéaire statistique
	Forte	0,8755	
	Plus forte	0,9877	
Niveau de diffusion d'informations	Plus faible	-0,077	Indépendance linéaire statistique
	Faible	-0,065	
	Moyen	0,7544	Dépendance linéaire statistique
	Forte	0,8432	
	Plus forte	0,9135	

Source: Résultats de nos enquêtes, Mars 2023

Au regard de ces résultats, il ressort donc qu'une forte implication des employés dans la prise de décision a une influence positive sur la performance des PME du Bénin de même que le niveau de diffusion d'informations et celui de la satisfaction des employés. Donc les hypothèses H1, H2 et H3 sont confirmées.

4.3 DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

Les résultats de ce travail montrent que la performance organisationnelle s'explique par un niveau d'implication moyen voire plus élevé des employés c'est-à-dire que 95% des enquêtés contre 4,8 % affirment que cette performance est corrélée positivement avec le niveau d'implication des employés. Les résultats de l'étude montrent que la pratique de participation à la prise de décision des salariés affecte positivement l'implication des employés et la satisfaction au travail. Ces mêmes conclusions ont été trouvées par d'autres auteurs ([34]; [38]). Pour [39], la présence des employés dans les instances de décision permet une amélioration de la productivité et une réduction des coûts d'inventaires. Ceci corrobore les résultats obtenus par [40] dans une étude longitudinale d'une durée de 4 ans touchant 44 entreprises manufacturières avec un effectif total de 150 employés et cadres dirigeants questionnés.

Dans ce cas, le coefficient de corrélation entre les variables " forte implication des employés" et " la performance organisationnelle " est positive soit $c = 0,826$. Il existe donc une forte corrélation entre les deux variables. En outre, plus l'implication des employés devient importante, plus les PME se rapprochent de leurs objectifs sociaux et organisationnels. En ce moment, l'entreprise trouve les ressources en interne ou dans son environnement, soit elle se met en dépendance vis-à-vis de ressources externes. La dépendance des PME vis-à-vis de l'environnement, principe clé de la théorie de dépendance des ressources, crée de l'incertitude néfaste pour elles. Ainsi, pour qu'une entreprise soit performante, la participation des employés aux décisions est aussi importante. En renforçant la compétence collective de l'organisation grâce à l'implication des employés, celle-ci est mieux préparée pour relever les défis, s'adapter aux changements et saisir les opportunités. Les décisions prises sont plus susceptibles d'être bien informées, ce qui peut améliorer la qualité des produits ou services, l'efficacité opérationnelle et la satisfaction des clients, contribuant ainsi à une meilleure performance globale.

Les employés sont encouragés à rechercher des opportunités d'amélioration, à expérimenter de nouvelles approches et à s'engager dans un processus d'apprentissage constant. Les résultats de cette recherche soutiennent les résultats de (41) qui ont mis en évidence l'importance de la compétence collective des équipes de travail et comment celle-ci peut être influencée par la participation des employés aux décisions et aux activités de l'équipe.

Nos résultats de recherche confirment les travaux de (42) qui ont cherché à mettre en évidence l'existence d'une relation entre la présence et l'étendu de différentes pratiques de GRH et la performance « organisationnelle » et financière de 182 PME manufacturières québécoises. Par ailleurs, les résultats sont relativisés à l'instar des travaux de (26) qui a travaillé sur la notion de « *psychological safety* » dans les équipes. Elle a montré comment un environnement où les employés se sentent en sécurité pour exprimer leurs idées et opinions favorise la compétence collective, encourageant ainsi l'apprentissage organisationnel et l'innovation

Les résultats de cette étude expliquent aussi le lien entre la satisfaction des employés et la performance des entreprises au Bénin. De là, les enquêtés ayant confirmé en répondant oui à l'atteinte des objectifs organisationnels et sociaux définis par leur entreprise (PME) sont de 93,3% qui affirment que la performance organisationnelle s'explique par un niveau de satisfaction moyen voire plus élevé des employés contre 6,7 % qui estiment que cette performance n'est pas corrélée avec le niveau de satisfaction des employés. Parmi les enquêtés, 77,7 % affirment que la performance des PME est liée à la forte satisfaction des employés contre 22,3 % qui estiment que leurs performances ne sont pas liées au niveau de satisfaction des employés. Dans cette recherche, le coefficient de corrélation entre les variables " forte satisfaction des employés" et "la performance organisationnelle" est positive, soit $c = 0,87546$. Il existe donc une forte corrélation entre les deux variables. De même, plus la satisfaction des employés devient importante, plus les PME sont performantes. Il ressort donc qu'une forte satisfaction des employés dans la prise de décision a une influence positive sur la performance des PME du Bénin. Ces résultats confirment ceux de la littérature comme (43) qui s'est proposé d'examiner l'effet de systèmes de pratiques de GRH dits à haut rendement sur les indicateurs intermédiaires de la performance de l'entreprise. Concernant l'effet de la satisfaction des employés sur la performance des PME au Bénin, les résultats sont pertinents en ce sens où ils corroborent ceux obtenus par (44). Dans leurs travaux, ils ont révélé que la prise de décision est positivement corrélée avec la satisfaction et la performance et en général, la corrélation est plus forte avec la satisfaction qu'avec la performance. Dans leur analyse de régression, ils ont identifié plusieurs processus qui sont significativement liés à la satisfaction ainsi qu'à la performance avec un degré moindre: le processus de résolution des problèmes au sein des entreprises (qu'elle soit grande ou moyenne), la planification, la mise en œuvre et l'évaluation des objectifs sont significativement liés à la satisfaction et à la performance.

Enfin, nos résultats obtenus ont révélé que le coefficient de corrélation entre les variables élévation de diffusion d'informations et la performance organisationnelle est positive à un coefficient de 0,84321. Il existe donc une forte corrélation entre les deux variables. Plus le partage d'informations entre les employés devient important, plus les PME se rapprochent de leurs objectifs sociaux et organisationnels. Ceci a été confirmé par (45) puisque selon eux, la mise en place de pratiques telles que la communication et le partage des informations contribuent à l'établissement d'un climat de confiance et facilitent le changement dans l'entreprise. Il ressort donc qu'une élévation de diffusion d'informations a une influence positive sur la performance des PME du Bénin. Les résultats de ce travail sont similaires aux études de (46) portées sur les institutions financières américaines. Les auteurs ont étudié l'effet de sept pratiques de GRH, dont la PPD sur la performance. Les enquêtés ayant établi un lien entre l'atteinte des objectifs organisationnels et sociaux définis par la PME et la diffusion d'information sont de 93,6% qui affirment que la performance organisationnelle s'explique par un niveau moyen voire plus élevé de diffusion d'informations des employés y compris les dirigeants, contre 6,4 % qui estiment que cette performance ne dépend pas du partage d'information entre employés. En outre, 85,1 % des enquêtés sur l'atteinte des objectifs organisationnels et sociaux, affirment que cette performance s'explique par une insuffisance de diffusion d'informations, contre 14,9 % qui estiment que l'inefficacité organisationnelle n'est pas liée à un niveau de diffusion d'informations.

5 CONCLUSION ET APPORTS DE L'ÉTUDE

L'objectif de la présente recherche est d'analyser l'influence de la participation à la prise de décision des employés sur la performance organisationnelle des Petites et Moyennes Entreprises au Bénin. La démarche méthodologique adoptée tourne autour de la collecte des données, le traitement des données et l'analyse des résultats. Dans ces PME ciblées, 150 personnes ont été enquêtées. La matrice de corrélation est utilisée pour évaluer non seulement la dépendance mais aussi le sens de l'évolution entre plusieurs variables, le coefficient de corrélation linéaire et la signification nous ont permis d'obtenir des résultats probants.

Les résultats ont montré corrélation positive entre les variables implication des employés et la performance organisationnelle. De même, nos résultats ont révélé une influence positive entre la diffusion d'informations et la performance organisationnelle. Enfin, les résultats montrent que la satisfaction des employés a un effet positif sur la performance organisationnelle des PME au Bénin. Dans une vision psychosociologique, les entreprises doivent de plus en plus considérer les ressources humaines comme des partenaires et chercher à obtenir leur coopération dans la mise en œuvre des stratégies poursuivies. L'implication des employés à la prise de décision justifie l'acquisition par une politique de gestion des ressources humaines appropriées aux objectifs de l'entreprise.

Comme tout travail de recherche, celui-ci dispose bien des limites en raison non seulement de sa cible qu'est les petites et moyennes entreprises. Si l'une des limites de cette recherche est son caractère d'étude exploratoire et descriptive; l'autre limite est l'étendue de l'échantillon qui peut sembler peu représentatif et la zone de réalisation de l'enquête (les départements du Littoral et de l'Atlantique) qui quant à elle pourrait comporter d'autres contingences environnementales. La difficulté majeure rencontrée se limite à l'indisponibilité du personnel et au manque de temps suffisants à nous consacrer par ces derniers. En plus, certains documents confidentiels de l'entreprise sont inaccessibles. Néanmoins, nous avons pu accéder aux rapports sociaux et aux données relatives à la gestion des ressources humaines de ces entreprises. Toutefois, ces limites de recherche constituent des pistes de recherche que les chercheurs pourraient explorer.

REFERENCES

- [1] Peretti, J., *Chapitre 1. Le développement de la gestion des ressources humaines*. Dans: J. Peretti, Ressources humaines: Le manuel de référence - Label Fnege 2018 (pp. 5-32). Paris: Vuibert, 2019.
- [2] Thévenet M., *La culture d'entreprise*, Presses Universitaires de France, Paris, 2003.
- [3] Mowday, R., Porter, L. and Steers, R., *Employee—Organization Linkages: The Psychology of Commitment, Absenteeism, and Turnover*. Academic Press, New York, 1982.
- [4] Mathe C.J., et Chague V., «L'intention stratégique et les divers types de performance de l'entreprise», *Revue Française de Gestion*, n°122, Jan-Fév. pp. 39-49, (1999).
- [5] Cavanaugh, M. A., et Noe, R. A., « Antecedents and consequences of relational components of the new psychological contract », *Journal of Organizational Behavior*, Vol.20, N°3, pp. 323–340, 1999.
- [6] Lemire L., Saba T., « Le contrat psychologique et l'engagement organisationnel: exploration empirique dans une organisation publique et une firme privée », 2005, Congrès AIMS <http://www.strategieaims.com/angers05/com/75-918comd.pdf>.

- [7] Saint-Germes, E., « L'employabilité, une nouvelle dimension pour la GRH ? », *Actes du XVe Congrès de l'AGRH*, Montréal, septembre 2004.
- [8] Robinson, S. L., et Rousseau, D. M., « Violating the psychological contract: Not the exception but the norm », *Journal of Organizational Behavior*, Vol.15, N°3, pp. 245–259. <https://doi.org/10.1002/job.4030150306>.
- [9] OCDE, Regards sur l'éducation 2015: Les indicateurs de l'OCDE, 2015.
- [10] Alexandre H., Paquerot M., « Efficacité des structures de contrôle et enracinement des dirigeants », *Revue Finance Contrôle Stratégie*, Vol. 3, N°2, juin 2000, pp. 5-29.
- [11] Nkakleu, R., « Les pratiques de GRH des PME africaines sont-elles toujours informelles ? Une analyse contextualiste », *Question (s) de management* 2016/1 (n°12), p. 83-104.
- [12] Dhiab M. M., « Proposition d'un modèle de mesure de l'impact du Total quality management sur la performance globale: Cas des entreprises Tunisiennes de Textile-Habillement », Thèse de Doctorat, soutenue le 10 juillet à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, (2007).
- [13] Montes F. J. L. N., Jover A. V., and Fernandez, L. M. M., « Factors Affecting the Relationship between Total Quality Management and Organizational Performance », *International of quality and reliability management*, vol. 20, n° 2, pp.189-209, (2003).
- [14] Gauzente C., « Mesurer la Performance des Entreprises en l'Absence d'Indicateurs Objectifs: Quelle Validité ? Analyse de la Pertinence de Certains Indicateurs ». *Finance contrôle stratégie*. vol.3, n°2, pp.145-165, (2000).
- [15] Kaplan, R. S., Norton D. P., « The Balanced Score Card- Measures that Drive Performance », *Harvard Business Review*, vol.70, n°1, 1992, pp. 71-79.
- [16] Kombou L., Ngokevina J-F., « L'influence du pouvoir du dirigeant sur la structure de l'entreprise: une étude à partir des entreprises camerounaises. » *La Revue des Sciences de Gestion, Direction et Gestion*, n° 219, pp. 89-98, 2006.
- [17] Katz D., Kahn R. L., *The social psychology of organizations*, New York: John Wiley & Sons, 1978.
- [18] Murphy G. B., Trailer J. W., Hill R. C., « Measuring performance in entrepreneurship research: an empirical review of the literature ». *Journal of Business Research*, vol.36, n°1, 1996, pp.15-23.
- [19] Scott, E. O. G. « Observations on some Tasmanian fishes: part XXIII ». *Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania*, n°111, pp. 111-180, 1977.
- [20] Stannack P., « Perspectives sur la performance des employés », *Actualité de la recherche en gestion*, 1996, ISSN: 0140-9174.
- [21] Dess G.G., Robinson R.B., « Mesurer la performance organisationnelle en l'absence de mesures objectives: le cas de l'entreprise privée et du business unit conglomerat », *Strategic Management Journal*, vol. 5, numéro 3, 1984, pp.265-273.
- [22] Rogers W., Wright M., « Mesure de la performance organisationnelle dans la gestion stratégique des ressources humaines: problèmes, perspectives et marchés de l'information sur la performance. » *Revue de la gestion des ressources humaines*, n°8, pp.311-331, 1998.
- [23] Bacharach, S. B., « Organizational theories: Some criteria for evaluation », *The Academy of Management Review*, vol.14, n°4, 1989, pp. 496–515. <https://doi.org/10.2307/258555>.
- [24] Becker B. E., Gerhart B., « L'impact de la gestion des ressources humaines sur la performance organisationnelle », *The Academy of Management Journal*, vol. 39, n°4, 1996, pp.779-801.
- [25] Schwab, D. P., « Construct validity in organizational behavior », *Research in Organizational Behavior*, n°2, pp. 3–43, 1980.
- [26] Edmondson, A., « Psychological Safety and Learning Behavior in Work Teams », *Administrative Science Quarterly*, vol.44, n°2, 1999, pp. 350-383. <https://doi.org/10.2307/2666999>.
- [27] March, *The Public Health Journal*. Published by: Springer, Vol. 19, No. 3, MARCH 1928. <https://www.jstor.org/stable/i40092475>.
- [28] Weick, Karl E, *The Social Psychology of Organizing*, McGraw Hill, 1969.
- [29] Nonaka, I., « A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation », *Organization Science*, n°5, 1994, pp. 14-37.
- [30] Wegge, J. et al., « Promoting work motivation in organizations: Should employee involvement in organizational leadership become a new tool in the organizational psychologist's kit »? *Journal of Personnel Psychology*, vol.9, n°4, pp. 154–171, 2010.
- [31] McGuire JW. Basic health care provision and under-5 mortality: a cross-national study of developing countries. *World Dev.* 2006, n°34, pp. 405–425.
- [32] Spreitzer, G. M., Kizilos, M. A., & Nason, S. W., « A dimensional analysis of the relationship between psychological empowerment and effectiveness, satisfaction, and strain », *Journal of Management*, vol. 23, n°5, 1997, pp. 679–704. [https://doi.org/10.1016/S0149-2063\(97\)90021-0](https://doi.org/10.1016/S0149-2063(97)90021-0).
- [33] Arcand G., « Étude du rôle de la culture nationale dans la relation entre les pratiques de GRH et implication des employés », 2006.
- [34] Batt, R., Colvin, A. J. S., & Keefe, J., « Employee voice, human resource practices, and quit rates: Evidence from the telecommunications industry », *Industrial and Labor Relations Review*, vol.55, 2002, pp. 573-594.

- [35] Kirkman B. L., Rosen B., « Au-delà de l'autogestion: antécédents et conséquences de l'autonomisation de l'équipe. » *Academy of Management Journal*, vol.42, pp.58-74.
- [36] Arcand, M., M. Bayad ET B. Fabi, « Der Einfluss des Personalmanagements auf die unternehmerische Leistung von KMU im kanadischen Finanzsektor », *IGA Zeitschrift für Klein und Mittelunternehmen*, 2002, p.105-120, Duncker & Humblot, Berlin/St.Gallen, Allemagne/Suisse.
- [37] Georgopoulos B. S., Tannenbaum A., « Une étude de l'efficacité organisationnelle », *American Sociological Review*, vol.22 n°5, 1957, pp.534-540.
- [38] Chang, P. L. and Chen, W. L., « The Effect of Human Resource Practice on Firm Performance: Empirical from High Tech Firms in Taiwan », *International Journal of Management*, n°19, 2002, pp. 622-631. <https://doi.org/10.2307/256741>.
- [39] Ghoshal, S., Bartlett, C.A., Moran, P., « A new manifesto for management. » *Sloan Management Review*, Spring, 1999, pp. 9-20.
- [40] Appelbaum, S. H., Gandell, J., Yortis, H., Proper, S., Jobin, F., « Anatomy of a merger: behavior of organizational factors and processes throughout the pre-during post-stages (part 1) », *Management Décision*, vol.38, n°9, pp.649-662, 2000.
- [41] Cohen, S. G., & Bailey, D. E. « What makes teams work: Group effectiveness research from the shop floor to the executive suite », *Journal of Management*, vol.23, n°3, 1997, 239–290. <https://doi.org/10.1177/014920639702300303>.
- [42] Lacoursière R., Fabi B., St-Pierre J., « L'impact de certaines pratiques de GRH sur la performance organisationnelle et financière des PME, » *Communication présentée au Congrès International Francophone à Lille*, Association Internationale de Recherche en PME, 2000.
- [43] Way, S. A., High Performance Work Systems and Intermediate Indicators of Firm Performance Within the US Small Business Sector, *Journal of Management*, December 2002, vol. 28, n°6, pp.765-785.
- [44] Black, J. S., Gregersen, H. B., « Participative decision-making: An integration of multiple dimensions », *Human Relations*, vol.50, n°7, 1997, pp.859–878.
- [45] Fabi B., Martin Y. et Valois P., « Favoriser l'engagement organisationnel des personnes œuvrant dans des organisations en transformation. », *Gestion*, vol 24 n°3, pp 103 – 113, 1999.
- [46] Delery, J.E., Doty, D.H., « Modes of theorizing in strategic human resource management: Tests of universalistic, contingency and configurational performance predictions », *Academy of Management Journal*, vol. 39, n°4, 1996, pp. 802-835.

Dynamique de la structure paysagère du secteur sub-soudanais dans un contexte de croissance des pressions anthropiques: Cas du département de Dianra (nord-ouest de la Côte d'Ivoire)

[Dynamics of the landscape structure of the sub-sudanese sector in a context of increasing anthropic pressures: The case of the Dianra department (northwest Côte d'Ivoire)]

N'Guessan Olivier YAO¹, Akoua Tamia Madeleine KOUAKOU², Anny Estelle N'GUESSAN³, Kouassi Kouman Noel NANAN³, Mamadou SANGARE⁴, and Kouakou Edouard N'GUESSAN³

¹Laboratoire des Systématiques Herbiers et Musée botanique, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Unité de Formation et de Recherche en Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

³Laboratoire des Milieux naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

⁴Société de Développement des FORêts 01 BP 3770 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study is to map land use and analyse the dynamics of landscape structure through the spatial transformation processes that took place between 1987 and 2017. The analysis, using remote sensing, spatial indices and spatial transformation processes, showed a heterogeneous landscape associated with an increase in the extent of human activity over the period studied. The classes have undergone a number of spatial transformations, the most striking of which are dissection and fragmentation for natural formations and creation for artificial formations. These processes are linked to the combined effect of human activities and the natural dynamics of the region's plant formations.

KEYWORDS: Dynamics, Vegetation cover, Landscape structure, Anthropogenic activities, Sub-Sudanese, Dianra, Ivory Coast.

RESUME: La présente étude se propose de cartographier les occupations du sol et d'analyser la dynamique de la structure paysagère à travers les processus de transformation spatiale qui se sont opérés de 1987 à 2017. L'analyse, par télédétection, à travers les indices spatiaux et les processus de transformations spatiales ont montré une hétérogénéisation du paysage couplé à une croissance de l'emprise des activités anthropiques durant la période d'étude. Les classes ont été l'objet de plusieurs transformations spatiales dont les plus marquants sont la dissection et la fragmentation pour les formations naturelles et la création pour les formations d'origine anthropique. Ces processus sont liés à l'effet conjugué des activités anthropiques et de la dynamique naturelle des formations végétales de la zone.

MOTS-CLEFS: Dynamique, couvert végétal, Structure du paysage, Activités anthropiques, Sub-soudanais, Dianra, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, à l'instar du sud forestier, la partie septentrionale a connu ces dernières décennies, une dynamique paysagère marquée par une régression de la couverture végétale naturelle ([1], [2]). Diverses études ont démontré que la régression de la couverture forestière ivoirienne est liée aux activités anthropiques en général et à l'agriculture en particulier ([3], [4], [5]). En effet, l'accroissement démographique et l'intégration croissante des exploitations agricoles au marché ont fortement modifié les systèmes agraires et les systèmes de production ces vingt dernières années. Par ailleurs, le développement des cultures de rente, à l'origine focalisé dans les zones forestières de la Côte d'Ivoire, s'est ensuite étendue aux zones de transition forêt-savane et au domaine soudanais du Nord avec l'avènement et le développement de la culture de l'anacardier comme spéculation d'exportation ([6], [7]). Dans cette zone, le développement économique et les moyens de subsistance locaux reposent essentiellement sur les cultures de coton et de l'anacardier. Ces principales cultures,; surtout l'anacardier, apparaissent donc comme une menace pour l'environnement naturel en raison de l'expansion des terres cultivées [8]. Face à ce phénomène, la compréhension de l'évolution du couvert végétal devient une préoccupation majeure pour nos régions administratives dont les milieux subissent des dégradations majeures. Ainsi, l'Etat a élaboré une nouvelle stratégie de préservation, de réhabilitation et d'extension de ses forêts dont la mise en œuvre nécessite entre autres le suivi régulier de la dynamique d'occupation et d'usage des terres par télédétection [9]. En effet, la détection du changement de l'occupation et l'utilisation du sol basée sur les images de télédétection est une source importante d'informations pour divers systèmes d'aide à la décision [10]. De ce fait, l'écologie du paysage apparaît également comme un atout, un outil efficace car elle a l'avantage de prendre en compte des caractères spatiaux, paysagers et sociaux susceptibles d'influencer l'utilisation durable des ressources naturelles [11]. En effet, Chaque système écologique est caractérisé par une interdépendance de trois éléments clés: sa configuration, sa composition et son fonctionnement ([12]). Un changement d'un des éléments aura des répercussions sur les deux autres [13]. L'écologie du paysage permet donc de mettre en exergue l'impact humain sur la physionomie du paysage ([14], [15]). Les avantages de cette science ont amené plusieurs auteurs à l'utiliser pour l'analyse de la dynamique paysagère en Côte d'Ivoire ([16], [7], [17], [18]). Cependant, des études utilisant l'écologie du paysage comme outil, dans le Nord de la Côte d'Ivoire en général et dans le Département de Dianra en particulier, sont quasiment inexistantes. Pourtant, une meilleure compréhension de la dynamique du couvert végétal passe nécessairement par une analyse du système écologique. Ainsi, la présente étude a été initiée afin de décrire la dynamique de la structure paysagère du Département de Dianra ainsi que les facteurs exogènes ayant contribué à cette dynamique; un préalable à une gestion rationnelle de ses ressources naturelles.

Il s'est agi de façon spécifique de: (1) cartographier l'occupation du sol de la zone d'étude pour les années 1987, 2002 et 2017 et (2) analyser la structure paysagère et les processus de transformation spatiale en lien avec les activités anthropiques.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

Le département de Dianra, auquel appartient notre zone d'étude, est situé au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire, dans la région du Béré (District du Woroba) entre 6°46' et 5°58' de longitude Ouest et 8°23' et 9°19' de latitude Nord (Figure 1). Ce Département appartient au secteur Sub-Soudanais du domaine Soudanais de la Côte d'Ivoire [19]. Ce secteur est soumis au climat tropical subhumide (sub-soudanien de transition).

Les sols de la zone sont de types ferrallitiques faiblement désaturés ([20]; [21]). On y rencontre également les sols hydromorphes sur les alluvions des terrasses des fleuves et des bas-fonds. Le déficit hydrique annuel cumulé varie entre 700 et 800 mm [22]. La zone d'étude est le domaine des forêts claires et des savanes qui en dérivent. On y rencontre également des forêts galeries et des îlots forestiers denses d'un type plus sec [23].

Le site ayant fait l'objet de nos investigations est composé des espaces ruraux et du domaine privé Mamadou SANGARÉ qui non seulement renferme l'ensemble des formations naturelles de la zone mais bénéficie également d'une protection favorable à une dynamique spatiale naturelle des formations végétales (Figure 1).

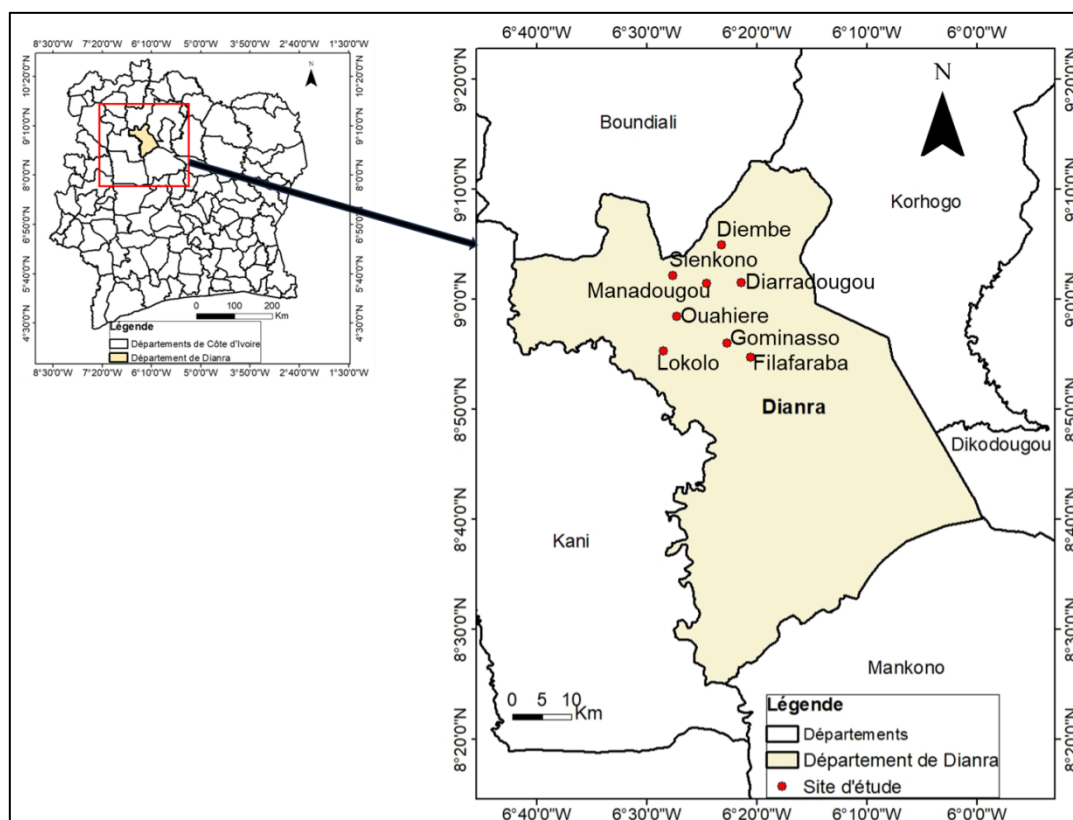


Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude dans le département de Dianra au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire

2.2 CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL

2.2.1 COLLECTE DES DONNÉES

Les images satellitaires, utilisées dans le cadre de cette étude, acquises à travers le portail Earth explorer sont issues des capteurs Landsat (Thematic Mapper: TM du 20/12/1987, Enhanced Thematic Mapper Plus: ETM+ du 01/02/2002 et Landsat 8: OLI-TIRS du 28/01/2017). Le choix du satellite Landsat s'explique par sa grande variabilité spectrale, sa bonne résolution spectrale (30 m), son adaptation à l'étude de la végétation et des occupations du sol, la gratuité de ses images et la disponibilité d'images sur une longue période (depuis 1972). Quant à la période d'étude, l'année 1987 marque les premières années d'introduction de la culture d'anacardiens qui est la principale culture pérenne de la zone d'étude. Les années 2002 et 2017 ont été choisies en tenant compte du pas de temps nécessaire pour une bonne perception de la dynamique d'un milieu qui est de 10 ans

2.2.2 PRÉTRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES

Les prétraitements effectués ont porté, d'une part, sur les corrections atmosphérique et radiométrique qui ont respectivement pour objectif d'extraire du signal une information indépendante des effets de l'atmosphère et convertir les luminances en réflectances [24]. Le package Semi-automatic Classification Plugin (SCP) du logiciel QGIS 2.18.10 a été utilisé à cet effet.

Une fenêtre de travail de 797 pixels × 732 pixels a été isolée sur la scène suivie de la construction d'une image multibande.

2.2.3 TRAITEMENT DES IMAGES

Le prétraitement a été suivi du calcul des indices biophysiques issus de la transformation Tasseled cap du logiciel ENVI 4.7, à partir des bandes brutes. Ils ont pour objectif de discriminer les différents types de végétation par rapport à leur recouvrement au sol, l'intensité de leur activité photosynthétique, et leur humidité ou niveau de stress hydrique pendant la

saison sèche. Il s'agit respectivement de: l'indice de brillance des sols ou Brightness Index (BI), l'indice de luxuriance ou Greenness Index (GI), et l'indice d'humidité ou Wetness Index (WI) permet de mettre en évidence les surfaces humides. Parallèlement aux indices biophysiques, des compositions colorées ont été réalisées à partir des bandes brutes (visible, proche infrarouge et moyen infrarouge).

Les bandes utilisées, à cet effet, sont celles du rouge (du visible), du proche infrarouge (PIR) et du moyen infrarouge (MIR). La bande du rouge (R) se caractérise par une forte absorption de la lumière par la chlorophylle [25], celle du proche infrarouge (PIR) est sensible à la quantité de biomasse contenue dans la végétation et donc utile pour identifier les différents types de végétation et pour souligner les différences radiométriques entre les sols nus et les espaces agricoles [26]. La bande du moyen infrarouge (MIR) par contre est sensible à la quantité d'eau contenue dans les plantes [26]. Les bandes associées aux canaux, rouge, vert et bleu sont respectivement: 5-7-4 (MIR-PIR-R) pour 2017, 4-7-3 (MIR-PIR-R) pour 2002 et 5-4-3 (PIR-MIR-R) pour 1987.

La composition colorée de l'année 2017 a été importée dans le logiciel QGIS. Cette opération a été suivie du choix de points de visite en fonction des différentes couleurs correspondant aux classes. Leurs coordonnées ont été enregistrées dans un GPS. Ces points ont été visités et les occupations du sol correspondantes ont été identifiées, décrites et caractérisées lors des différentes phases de collecte de données sur le terrain. Ces points ont servi à la classification et à sa validation.

2.2.4 CLASSIFICATION DES IMAGES ET PRODUCTION DES CARTES

La classification s'est déroulée en deux étapes: la sélection des parcelles d'entraînement et l'application de l'algorithme de classification. Sur la base des connaissances avérées du terrain, la classification supervisée avec l'algorithme du maximum de vraisemblance a été utilisée pour la production d'images classifiées. Selon la référence [27], elle est la plus adaptée à l'étude thématique de la cartographie de la végétation. Un avantage considérable de cette méthode est qu'elle fournit pour chaque pixel, en plus de la classe à laquelle il a été affecté, un indice de certitude lié à ce choix [28].

Pour le traitement des images de 2002 et de 1987, la classification supervisée a été adoptée à travers l'algorithme du maximum de vraisemblance.

2.2.5 VALIDATION DES CLASSIFICATIONS

La validation a pour but d'évaluer le niveau de performance de la classification. Elle comporte deux étapes: le choix des parcelles de contrôle (points choisis, visités, décrits mais pas utilisés pour l'entraînement) et le calcul de la précision cartographique à travers la matrice de confusion. Divers indices ont été calculés pour l'évaluation de la précision globale.

Il s'agit de:

- La précision globale de la classification qui correspond à la moyenne des pourcentages des pixels correctement classés (MPCC):

$$MPCC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_u$$

n est le nombre total des pixels incluses dans la matrice.

- Le coefficient Kappa qui donne une estimation plus précise (tient compte des pixels bien classés) de la qualité de la classification [29]:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^r M_c(i) - \sum_{i=1}^r m_1 m_2}{n^2 - \sum_{i=1}^r m_1 m_2}$$

Où r est le nombre de rangée de la matrice.

Une fois la validation effectuée, un filtre médian de 3x3 a été appliqué afin de réduire l'hétérogénéité intra classe par élimination des pixels isolés.

2.3 ANALYSE DE LA STRUCTURE DU PAYSAGE ET DES PROCESSUS DE TRANSFORMATION SPATIALE

2.3.1 ANALYSE QUANTITATIVE DE LA STRUCTURE DU PAYSAGE

L'analyse quantitative de la structure du paysage a été évaluée pour chaque date à travers les mesures ou indices de l'écologie du paysage. Cette analyse a porté sur la composition (présence et abondance de taches ou de types de taches) et la configuration (distribution et arrangement spatial des taches) du paysage. La principale finalité de ces indices consiste à décrire des structures paysagères et leur évolution dans le temps ainsi qu'à évaluer les fonctions et les processus écologiques qui s'y déroulent [30]. Ils sont souvent un indicateur de l'impact humain sur la physionomie du paysage ([15], [31]). Parmi ces indices, la densité, l'aire et le périmètre des taches sont souvent considérés comme les éléments essentiels de la configuration du paysage ([32], [33]).

Pour la présente étude, cette analyse a été effectuée à l'échelle du paysage et de la classe. A l'échelle du paysage les indices calculés sont: l'indice de perturbation (U), l'indice de Contagion (CONTAG).

L'indice de Contagion (CONTAG), compris entre 0 et 100, mesure l'agrégation spatiale des taches au niveau du paysage. Il évalue à la fois l'Interspersion de type tache (le mélange d'unités de différents types de tache) ainsi que la dispersion de tache (la distribution spatiale d'un type de tache) au niveau du paysage. Une valeur élevée de CONTAG traduit une faible Interspersion et une grande Dispersion; conduisant à la colonisation et à la diffusion potentielle des perturbations tandis qu'une valeur faible traduit une grande Interspersion et une faible Dispersion [34]

Sa formule est la suivante:

$$\text{CONTAG} = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] \left[\ln \left(P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] \quad (100)$$

P_i = proportion du paysage occupée par type de tache (classe) i , g_{ik} = nombre de adjacences (jointures) entre les pixels des types de tache (classes) i et k basés sur la méthode du double compte, m = nombre de types de tache (classes) présents dans le paysage, y compris la bordure du paysage, le cas échéant.

L'indice de perturbation (U) correspond au rapport entre l'aire cumulative des classes anthropiques et l'aire cumulative des classes naturelles. Il indique une dominance des classes anthropiques quand il est supérieur à 1 et une dominance des classes naturelles s'il est inférieur à 1 selon la référence [35]. Il a été utilisé pour évaluer le degré d'anthropisation du paysage pour les différentes dates. Son expression est la suivante:

$$U = \frac{\sum_{i=0}^n a_a}{\sum_{n=0}^n a_n}$$

a_a : aire de classe d'origine anthropique et a_n : aire de classe naturelle.

2.3.2 ANALYSE DES PROCESSUS DE TRANSFORMATION SPATIALE

A l'échelle des classes, la structure spatiale a été analysée à travers les mesures de transformation spatiale qui décrivent les changements qui s'opèrent au sein d'une mosaïque paysagère, d'un temps T_0 à T_1 . Ils ont été mis en évidence à travers l'arbre de Décision proposé par [36] qui utilise comme paramètres, le nombre (n), l'aire (a) et le périmètre cumulé des taches (p) pour chaque classe; aux temps T_0 et T_1 . Selon ces auteurs, il existe dix processus de transformations du paysage que sont: l'agrégation (fusion de taches), la suppression (disparition de taches), la création (formation de nouvelles taches), la déformation (changement de forme des taches), l'agrandissement (expansion de taille des taches), la perforation (formation de trous dans les taches), le déplacement (translocation des taches) le rétrécissement (réduction de taille des taches), la fragmentation (rupture de la continuité en plusieurs taches disjointes) et la dissection (subdivision des taches par des lignes de petite dimension) (**Figure 2**).

Pour faire une différence entre les processus de fragmentation et de dissection, une valeur seuil ($t = 0,5$) est utilisée. Cette valeur (t) est comparée à une valeur t observé ($t_{obs} = a_{t1}/a_{t0}$). Si $t_{obs} < t$ le processus dominant la classe est la fragmentation et dans le cas contraire, il s'agira de la dissection [36].

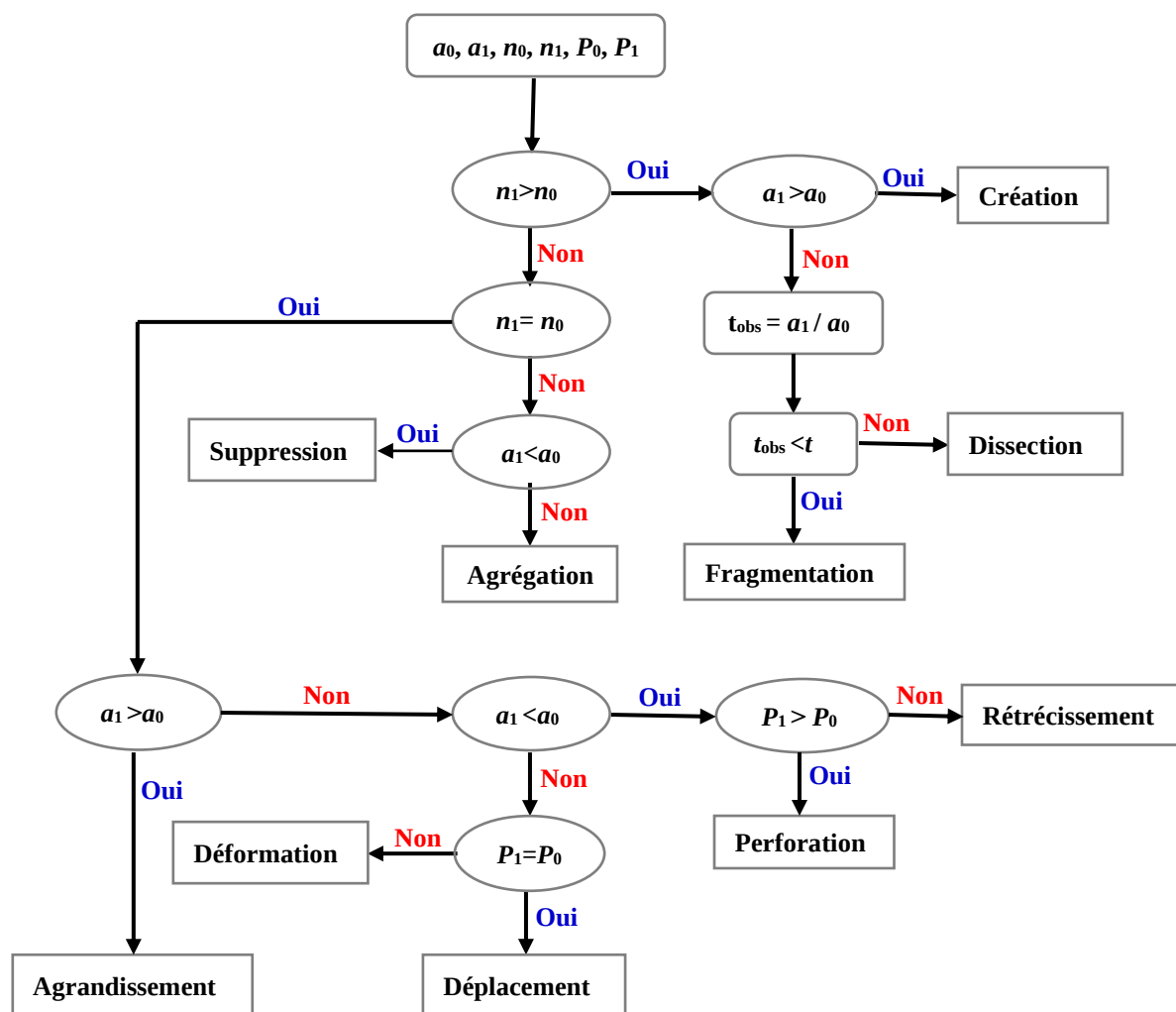


Fig. 2. Identification du processus de transformation spatiale selon l'arbre de décision de [36].

n_0, a_0, p_0 et n_1, a_1, p_1 sont respectivement le nombre, l'aire et le périmètre des taches de la date initiale et de la date finale d'une période

Par ailleurs, dans le but d'avoir plus de précision sur la nature des transformations spatiales et d'en déduire leur origine, nous avons adjoint à celles-ci, le calcul d'indices tels que: la dominance D, l'indice d'agrégation AI (%) et l'indice de juxtaposition et d'interspersation (JI). La dominance D (%) évalue la proportion d'aire occupée par la tache dominante de la classe. Plus la valeur de la dominance est grande, moins la classe est fragmentée [31]. Elle s'exprime selon la formule suivante:

$$D_j(a) = \frac{a_{\max ij}}{a_{ij}} \times 100$$

$a_{\max, j}$: plus grande tache de la classe j et a_{ij} : l'aire totale de la classe j

Avec a_{ij} = aire (m^2) de la tache ij

L'indice d'agrégation AI (%) est compris entre 0 et 100. Il mesure la fréquence avec laquelle des paires des pixels d'une même classe sont adjacentes. Une valeur de AI élevée stipule des unités adjacentes et donc des taches agrégées. Son expression est la suivante:

$$AI = \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right) P_i \right]$$

g_{ii} = nombre d'adjacences similaires (jointures) entre les pixels du type de tache (classe) i basé sur la méthode du compte unique et $\max-g_{ii}$ =nombre maximal d'adjacences similaires (jointures) entre les pixels du type de tache (classe) basé sur la méthode du compte unique.

L'indice de juxtaposition et d'interspersation (IJI) compris entre $0 < IJI \leq 100$, mesure l'adjacence entre types d'occupation de sol différents ou le pourcentage d'adjacences d'une classe et le reste des classes. Une valeur de IJI égale à 100 indique une classe adjacente avec toutes les autres classes et une interspersation maximale et juxtaposition. Ainsi, un paysage agrégé tend à présenter une dispersion et une interspersation faibles, alors qu'un paysage désagrégé tend à présenter une dispersion et une interspersation élevées. Sa formule mathématique est:

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(0.5[m(m-1)])} \quad (100)$$

e_{ik} = longueur totale (m) de l'arête dans le paysage entre les types de classes i et k .

E = longueur totale (m) de l'arête dans le paysage, à l'exclusion de l'arrière-plan.

m = nombre de types de taches (classes) présents dans le paysage, y compris la bordure du paysage, le cas échéant.

3 RESULTATS

3.1 CARTOGRAPHIE DES OCCUPATIONS DU SOL

La classification supervisée adoptée a révélé l'existence de 7 occupations du sol pour les années 2017 et 2002 et 6 pour l'année 1987 (Figure 3, 4 et 5). Il s'agit des classes, Forêts sèches/Forêts galeries (FS_FG), Forêts claires/Savanes boisées/Jachères âgées (FC_SB_JA), Savanes arborées/Jachères âgées (Sarbo_JA), Savanes arbustives/Jachères âgées (Sarbu_JA), Jachères jeunes (Ja_Jeune), Plantations d'anacardiers (Anac), Sols nus-localités-Cultures annuelles (SN_Cul An_Local).

Les précisions globales de la cartographie sont de 94,53 %, 92,44 % et 94,75 % respectivement pour 2017, 2002 et 1987 (Tableau I). Ces valeurs montrent qu'au moins 90 % des pixels ont été correctement classés, pour les différentes dates. Les valeurs de coefficient Kappa sont de 0,93, 0,91 et 0,93 respectivement pour les années 2017, 2002 et 1987 et montrent que les classifications sont excellentes. Malgré la qualité des classifications, de légères confusions ont été observées entre certaines classes. Les confusions les plus élevées ont été observées entre les classes Forêts sèches/Forêts galeries (FS_FG) et Forêts claires/Savanes boisées (FC_SB) pour 2017 et 1987 avec des valeurs de 7,59 % et de 7,94 %. En 2002, elle a été observée entre les classes Savane arborée et Savane arbustive avec une valeur de 8,54 %.

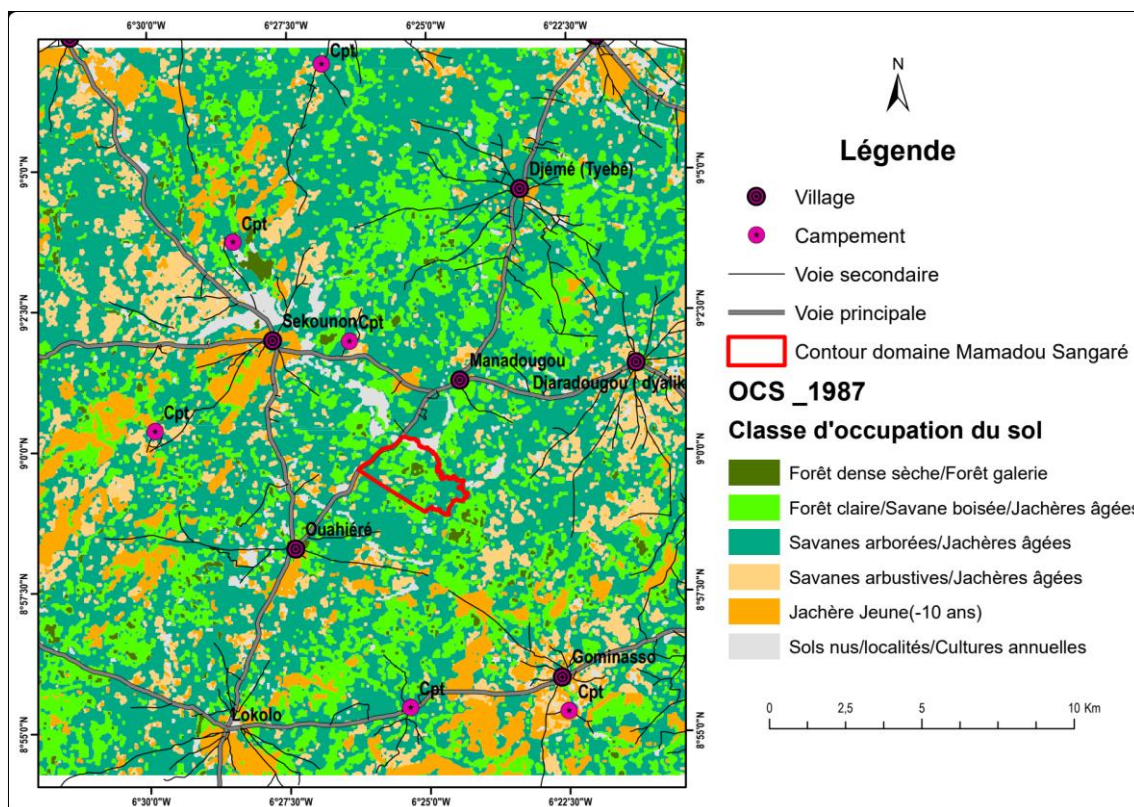


Fig. 3. Carte d'occupations du sol de la zone d'étude de l'année 1987

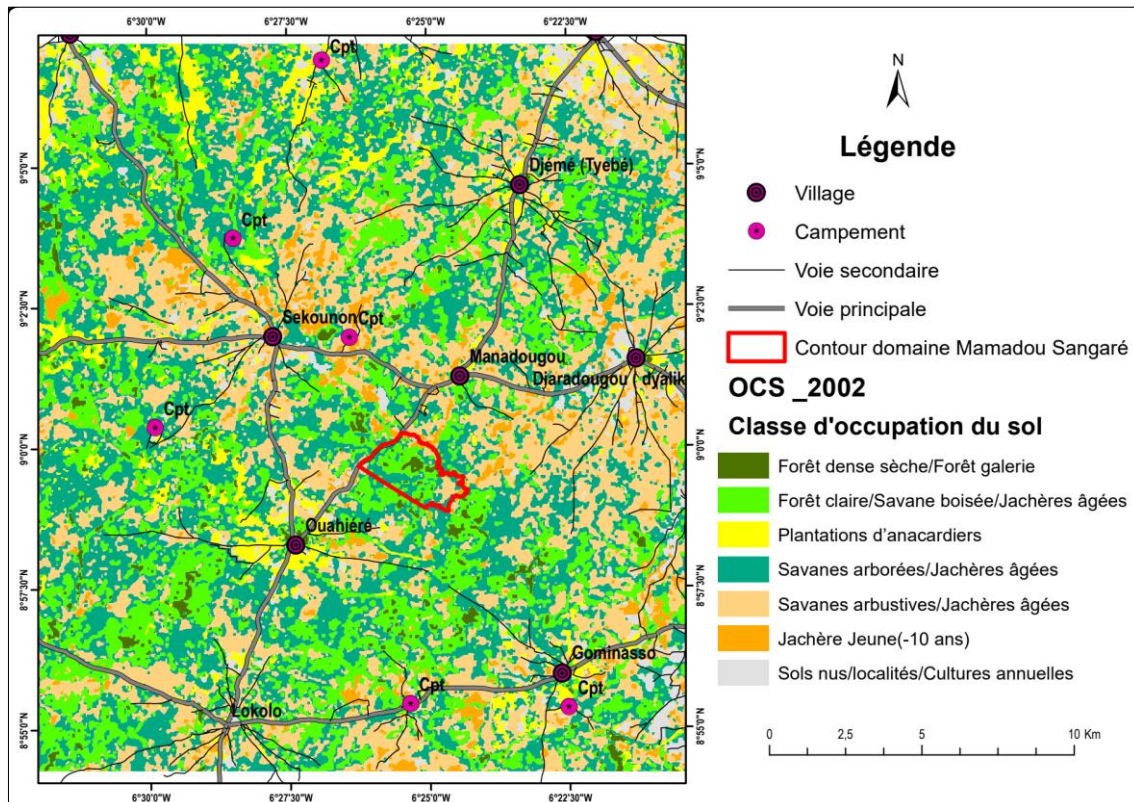


Fig. 4. Carte d'occupations du sol de la zone d'étude de l'année 2002

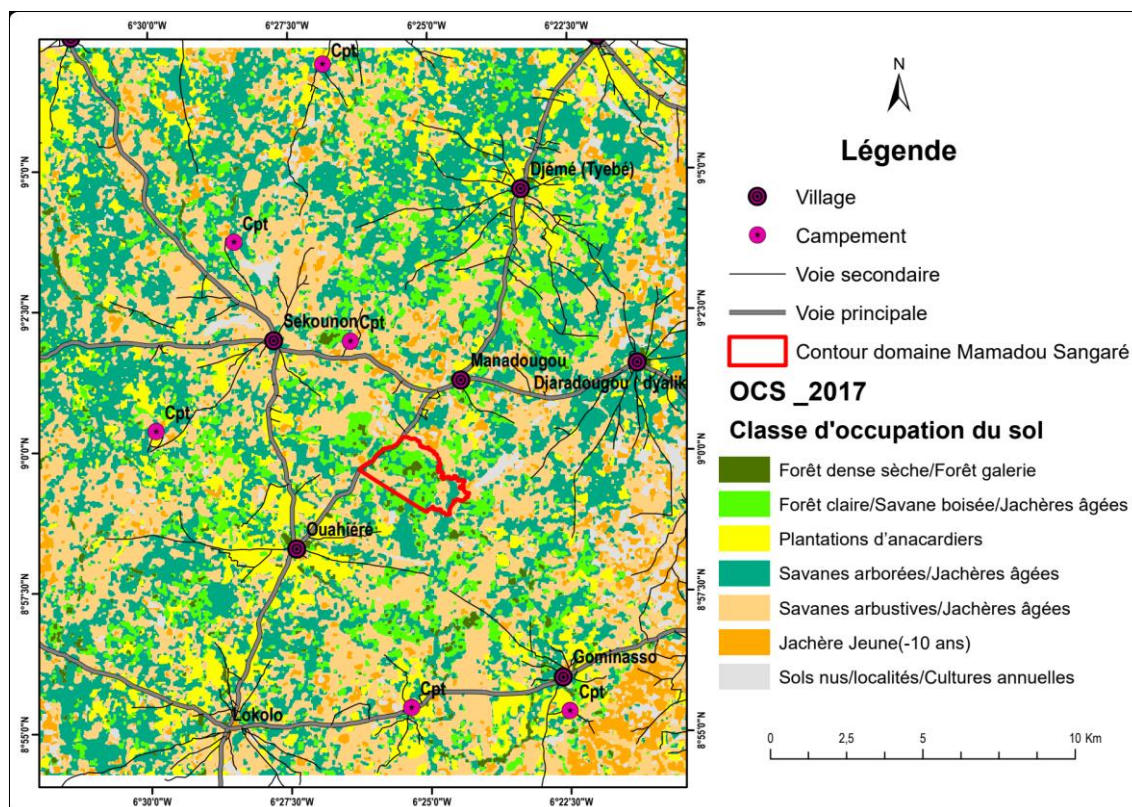


Fig. 5. Carte d'occupations du sol de la zone d'étude de l'année 2017

Tableau 1. Récapitulatif des valeurs de précisions globales et de coefficient Kappa de la cartographie de la zone d'étude en 1987, 2002 et 2017

Années	Précision globale (MPCC) (%)	Coefficient Kappa (%)
2017	94,53	0,93
2002	92,44	0,91
1987	94,75	0,93

3.2 STRUCTURE SPATIALE ET PROCESSUS DE TRANSFORMATION SPATIALE

L'indice de Contagion a permis d'analyser la distribution et l'arrangement spatial des taches à l'échelle du paysage (Figure 4). En 1987, le paysage dispose d'une valeur moyenne de contagion (52,5 %). Cette valeur traduit une agrégation moyenne des taches des différentes classes de même qu'une dispersion (taux de contacts similaires) et une interspersation (taux de contacts entre classe) moyenne.

En 2002, la contagion connaît une baisse de 6 %. Cette valeur montre que le taux de contacts entre les taches de différentes classes a augmenté. Elle traduit également une baisse du taux de contacts similaires au sein du paysage. En 2017, la contagion enregistre la même valeur qu'en 2002 et indique que le paysage enregistre le même niveau d'interspersation de taches des différentes classes. En somme, le paysage a connu une hétérogénéisation durant la période d'étude.

La valeur de l'indice de perturbation (U) croît de 0,16, à 0,19 pour la période 1987-2002 et de 0,19 à 0,27, pour la période, 2002-2017 (Figure 4). Ces valeurs proches de 0 indiquent une dominance des formations naturelles pour les différentes périodes. Cependant, l'augmentation de la valeur de U au fil du temps indique une progression de la superficie des formations anthropiques au détriment des formations naturelles. Ce résultat traduit une augmentation de l'anthropisation au fil des années.

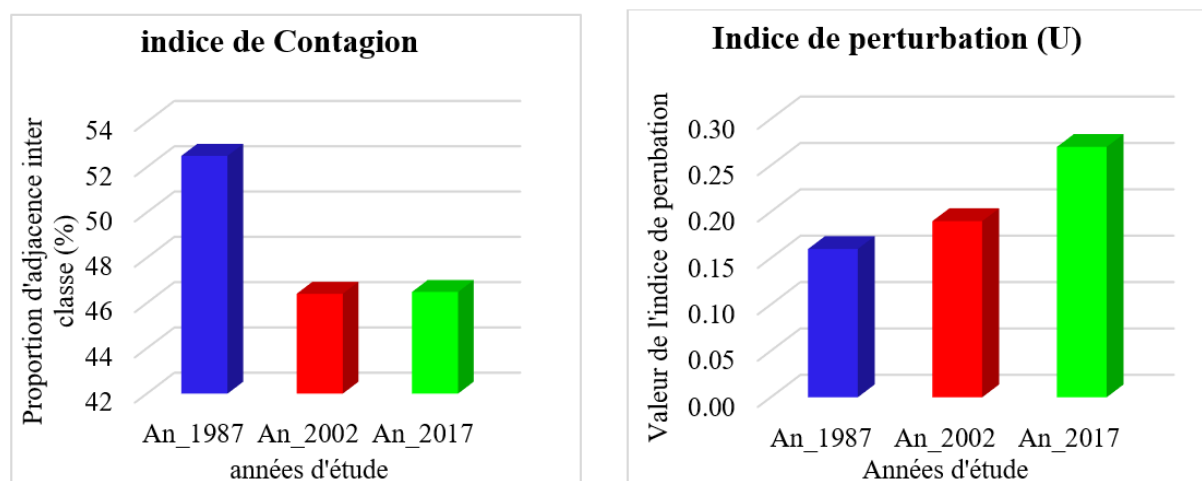


Fig. 6. Histogrammes des indices de structure spatiale du paysage

L'analyse des indices des différentes classes montrent que celles-ci ont été soumises à différents processus écologiques durant la période de l'étude (Tableaux II et III).

Durant la période de 1987 à 2002, la classe Forêt Sèche_Forest Galerie connaît une réduction du nombre de taches et une augmentation de l'aire de la classe (Tableaux II). Cette période est également marquée par une augmentation de la taille de la tache dominante (Dj), synonyme de la fusion de plusieurs taches. Cette agrégation est confirmée par l'augmentation du taux d'adjacences similaires (augmentation de AI et baisse de IJI) (Tableaux III).

Au cours de la période de 2002 à 2017, on assiste à une augmentation du nombre de taches couplée à une réduction de l'aire. Ces résultats traduisent une dissection de la classe FS_FG ($t_{obs} = 0,99$). Par ailleurs, on assiste à une réduction de l'aire de la tache dominante (Dj). L'analyse des valeurs de AI et de IJI montre une augmentation du taux de contacts entre la classe FS_FG et les autres classes et confirme cette dissection. En conclusion, cette classe a subi durant cette période une dissection mais l'agriculture ne constitue pas la principale cause.

La classe Forêt Claire_Savane Boisée_Jachère âgée a connu, durant la période 1987 à 2002, une croissance du nombre de taches et une baisse de l'aire moyenne de taches traduisant une dissection ($t_{obs} = 0,96$). La réduction du taux d'adjacences similaires de cette classe (croissance de AI) et l'augmentation du taux de contacts avec les autres classes confirment cette dissection (Tableau III).

La seconde période (2002-2017) est marquée par une augmentation du nombre de taches, une réduction de l'aire (Tableaux II et III) et de la proportion de la tache dominante (Tableau III). La classe FC_SB_ja âgée a donc subi une fragmentation durant cette période ($t_{obs} = 0,16$). L'augmentation du taux de contacts avec d'autres classes démontre cette fragmentation (Tableau III).

La classe Savane arborée_jachère âgée a connu, durant la période 1987 à 2002, une augmentation du nombre de taches, une réduction de l'aire et de la tache dominante. Elle a subi une dissection ($t_{obs} = 0,66$). De même, la baisse de la valeur de AI traduit une décroissance du taux d'adjacences similaires et confirme la dissection de la classe. Cependant, la baisse de la valeur de IJI traduit aussi, une augmentation du taux d'adjacences similaires. Cette augmentation s'explique par le fait que cette classe constitue la matrice du paysage.

De 2002-2017, elle a connu une création de taches qui se traduit par la croissance du nombre de taches et de l'aire. Cette création serait issue de la conversion de taches isolées d'autres classes en savane arborée ce qui induit à la fois une augmentation du taux de contacts similaires et du taux de contacts avec d'autres classes.

Au titre de la classe Savane arbustive_jachère âgée, de 1987 à 2002, cette classe a connu une croissance du nombre de taches et de l'aire moyenne de tache. Il y a eu donc création de nouvelles taches. L'aire de la tache dominante a connu également une croissance, ce qui montre qu'il y a également eu une fusion de certaines taches. L'augmentation de la valeur de AI montre que le nombre d'adjacences similaires de cette classe a augmenté, ce qui confirme la fusion de certaines taches entraînant la croissance de la tache dominante (Tableau III). De même, l'augmentation de la valeur de IJI montre que la création de nouvelles taches a favorisé la croissance du taux de contacts avec d'autres classes (Tableau III).

De 2002-2017, on assiste à une augmentation du nombre de taches et de l'aire de la classe. La classe savane arbustive_jachère âgée a connu un processus de création de taches durant cette période. L'augmentation de la valeur de IJI montre que le taux de contacts avec d'autres classes a augmenté (Tableau III), certainement dû aux nouvelles taches créées.

De 2002 à 2017, le nombre de taches, l'aire moyenne et la taille de la tache dominante de la classe anacardiens ont augmenté. Cette classe a connu la création de nouvelles taches. Le taux d'adjacences similaires (AI) déjà très élevé augmente davantage, tandis que le taux de contacts avec les autres classes (IJI) diminue. Ce qui montre que les taches créées sont de grande taille et ce fait est confirmé par l'augmentation de la taille de la tache dominante.

Au cours de la période de 1987 à 2002, le nombre de taches de la classe Jachère jeune a augmenté tandis que l'aire de la classe et la taille de la tache dominante ont baissé. Ces résultats traduisent une fragmentation de cette classe durant cette période ($t_{obs} = 0,45$). L'analyse de l'indice d'agrégation (AI) montre que le nombre d'adjacence similaire a baissé. Par contre, l'indice d'interspersation et de juxtaposition (IJI) montre une baisse du taux de contacts de cette classe avec les autres (Tableau III). Ces résultats qui semblent contradictoires se justifient d'une part par la suppression de taches ce qui va favoriser la réduction de contacts avec les autres classes et entraîner la baisse de IJI et d'autre part par la fragmentation des taches restantes, ce qui est à la base de la réduction du taux d'adjacences similaires, de l'aire de la classe et de la taille dominante. En effet, le caractère transitoire de cette classe pourrait expliquer cette dynamique spatiale.

La seconde période (2002-2017), est marquée par une augmentation du nombre de taches, de l'aire et de la taille de la tache dominante. Il y a eu durant cette période, une création de nouvelles taches de jachère jeune. Par ailleurs, la croissance de la taille de la tache dominante montre que ces nouvelles taches ont de grandes superficies. La baisse de la valeur de IJI (contacts avec les autres classes) confirme non seulement la grande taille de ces nouvelles taches mais montre également que ces taches partagent moins de contacts avec les autres (Tableau III).

De 1987 à 2002, la classe Sols nus_cultures annuelles_localité a connu une baisse du nombre de taches, une augmentation de l'aire et une baisse de la taille de la tache dominante. Cette classe a enregistré comme processus écologique une agrégation de petites taches. Cependant, la baisse de l'aire de la tache dominante montre qu'en plus de la fusion, il y a eu une suppression de taches de grande superficie. AI connaît une légère hausse tandis que IJI décroît. Ces résultats sont synonymes de l'augmentation du taux d'adjacences similaires et d'une agrégation de la classe.

De 2002-2017, on assiste à une baisse du nombre de taches, de l'aire et de la taille de la tache dominante. Il y a eu suppression de taches durant cette période. La baisse du taux d'adjacences avec les autres classes confirme la disparition de tache de cette classe. En effet, en dehors des sols nus et des localités qui varient très peu, les cultures annuelles sont converties en cultures pérennes ou en jachère. La suppression des taches de cette classe est essentiellement liée à la conversion des cultures annuelles en d'autres types d'occupations du sol.

Tableau 2. Processus de transformation spatiale des classes d'occupation du sol

Classes	Périodes	Evolution des valeurs des paramètres des occupations du sol par période						Processus de transformation Spatiale
		Nombre de taches (np)		Aire de la classe (a)		Périmètre de la classe		
Forêt Sèche_Forêt Galerie	1987-2002	-88	np1<np0	146,04	a1>a0	-13,14	P1>P0	Agrégation
	2002-2017	324	np1>np0	-68,1	a1<a0	85,46	P1>P0	Dissection (tobs =0,99)
Forêt Claire_Savane Boisée_Jachère âgée	1987-2002	235	np1>np0	-472,95	a1<na0	1134,28	P1>P0	Dissection (tobs =0,96)
	2002-2017	570	np1>np0	-9262,89	a1<a0	-729,42	P1<P0	Fragmentation (tobs =0,16)
Savane arborée_Jachère âgée	1987-2002	1078	np1>np0	-9185,94	a1<a0	410,34	P1>P0	Dissection (tobs =0,66)
	2002-2017	242	np1>np0	70,38	a1>a0	-178,08	P1<P0	Création
Savane arbustive_Jachère âgée	1987-2002	134	np1>np0	8650,26	a1>a0	1287,48	P1>P0	Création
	2002-2017	45	np1>np0	2821,32	a1>a0	460,02	P1>P0	Création
Anacardiens	1987-2002	959	np1>np0	3607,2	a1>a0	849,18	P1>P0	Création
	2002-2017	157	np1>np0	2765,43	a1>a0	334,8	P1>P0	Création
Jachère jeune	1987-2002	259	np1>np0	-3089,7	a1<a0	-198,36	P1<P0	Fragmentation (tobs =0,45)
	2002-2017	84	np1>np0	861,03	a1>a0	150,84	P1>P0	Création
Sols nus_Culture annuelle_Localité	1987-2002	-38	np1<np0	342,27	a1>a0	72,12	P1>P0	Agrégation
	2002-2017	-27	np1<np0	-387,54	a1<a0	-77,34	P1<P0	suppression

Tableau 3. Récapitulatif des valeurs des Indices de la structure spatiale des différentes occupations du sol en 1987, 2002 et 2017

Forêt Sèche_Forêt Galerie			
Périodes	Dj	AI	IJI
An_1987	1,29	76,37	52,64
An_2002	4,18	78,82	44,6
An_2017	1,76	72,51	68,98
Forêt Claire_Savane Boisée_jachère âgée			
Périodes	Dj	AI	IJI
An_1987	8,87	86,77	47,84
An_2002	10,8	85,42	62,8
An_2017	2,12	78,11	65,12
Savane Arborée_jachère âgée			
Périodes	Dj	AI	IJI
An_1987	94,18	91,54	70,8
An_2002	14,34	85,44	65,08
An_2017	14,33	86,24	69,23
Savane Arbustive_jachère âgée			
Périodes	Dj	AI	IJI
An_1987	6,75	83,6	49,52
An_2002	16,35	86,83	63,4
An_2017	32,93	87	71,28
Anacarde			
Périodes	Dj	AI	IJI
An_1987	0	0	0
An_2002	6,98	82,76	75,43
An_2017	8,05	86,39	62,02
Jachère jeune			
Périodes	Dj	AI	IJI
An_1987	7,96	88,58	76,38
An_2002	4,01	80,08	61,02
An_2017	15,93	81,89	57,28
Sol Nu_Cultures Annuelles_Localité			
Périodes	Dj	AI	IJI
An_1987	10,48	80,41	79,94
An_2002	5,17	81,07	76
An_2017	4,37	80,12	63,98

4 DISCUSSION

4.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE DE LA DYNAMIQUE STRUCTURALE DES OCCUPATIONS DU SOL

L'usage des indices paysagers pour l'étude de la structure spatiale du paysage est d'un apport essentiel dans le cadre de l'étude de la dynamique des occupations du sol d'une région donnée. En effet, les dynamiques conditionnent la disponibilité des ressources naturelles [37]. Une combinaison de méthodes pour l'étude de la dynamique du couvert végétal s'avère nécessaire pour une meilleure compréhension dans les changements d'occupation du sol, un préalable à une meilleure gestion des ressources naturelles dans les pays dont les écosystèmes subissent de fortes pressions anthropiques [38]. Ce sont les arguments susmentionnés qui ont motivé l'association de l'écologie du paysage et de la télédétection dans le cadre de la présente étude. Des auteurs tels que les références [16], [33], [37] et [39] ont également associé, l'écologie du paysage à la télédétection et / ou à l'inventaire botanique pour l'étude de la dynamique de la végétation. En effet, bien que, l'analyse des

occupations du sol, permette de percevoir les tendances évolutives de chaque occupation du sol le long du gradient temporel, elle ne donne aucune information sur la configuration spatiale des différentes composantes du paysage. La référence [39] abordant dans le même sens, ont affirmé que l'étude de la dynamique du paysage à travers l'imagerie satellitale constitue un élément important dans la gestion des ressources naturelles et le suivi des changements environnementaux car permet de décrire et de quantifier les changements intervenus dans le temps et l'espace d'une unité d'occupation des sols.

Les indices utilisés pour la quantification de la structure du paysage s'avèrent souvent redondants dans les informations véhiculées comme l'ont mentionné plusieurs auteurs ([40], [41]). Les indices les plus pertinents pour la quantification de la composition du paysage sont le nombre de taches, l'aire et le périmètre ([32], [33]). Bien que ces trois indices soient les plus pertinents dans la détermination des processus de transformation spatiale, ils ne permettraient pas de déduire l'origine de ces transformations. Nous avons donc adjoint à ces indices, la dominance D, l'indice d'agrégation AI (%) et l'indice de juxtaposition et d'interspersation (IJI) et l'indice de perturbation (U) afin de mesurer le lien entre le processus écologique subi par la classe ou le paysage et le développement des activités anthropiques.

4.2 IMPACTS DES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES SUR LA STRUCTURE SPATIALE DU PAYSAGE

Le paysage de la zone de Dianra a connu une hétérogénéisation sur la période de l'étude (1987-2017) avec l'apparition de la classe anacardières, absente en 1987 et une augmentation du taux de contacts entre les taches des différentes classes d'occupations du sol. Par ailleurs, la croissance de l'indice de perturbation révèle que les transformations spatiales opérées dans le paysage sont en grande partie liées aux activités anthropiques. Plusieurs études sont parvenues aux mêmes résultats que les nôtres ([39], [41], [42], [43], [44]). À l'échelle des différentes classes, les processus de transformations spatiales qui se sont réalisés sont l'agrégation, la dissection, la fragmentation, la création et la suppression. Au sein des classes correspondant aux formations végétales naturelles, les processus les plus en vue sont la dissection et la fragmentation. Selon la référence [37], la fragmentation est un processus spécifique aux milieux naturels tels que les forêts. Ce processus serait lié à l'intensification des activités agricoles [42]. Ces processus qui ont dominé ces formations naturelles décrivent selon la référence [36], une dégradation de la couverture végétale. Parmi ces processus, la dissection est celui qui est commun à l'ensemble des formations naturelles de notre zone d'étude. Cette dissection serait liée à l'évolution naturelle des formations végétales; dont les facteurs déterminants seraient les changements climatiques, la baisse des précipitations, le pâturage et le feu comme le soutiennent les références [45], [46].

Le processus marquant la classe anacardières est la création de nouvelles taches. Ce processus s'explique par l'expansion de la culture de l'anacardier qui constitue avec le coton la source de revenu majeur de la zone d'étude [8].

5 CONCLUSION

L'analyse de la structure paysagère du Département de Dianra à travers les indices de paysages a permis de mettre en évidence les transformations spatiales qui se sont opérées durant les 30 années ainsi que l'influence des activités anthropiques sur cette dynamique paysagère. Il ressort de cette étude que la végétation de la zone a connu une hétérogénéisation durant la période d'étude.

Au titre des transformations spatiales au niveau des classes, les formations naturelles ont été plus marquées par la fragmentation et la dissection. A l'opposé, les formations d'origine anthropiques telle que la classe anacardières a connu la création de nouvelles taches durant la période d'étude. L'étude révèle par ailleurs qu'en ce qui concerne l'origine des transformations, il y a l'effet combiné des activités agricoles ainsi que l'évolution naturelle des formations végétales caractéristiques de la zone mais avec une influence de facteurs climatiques et anthropiques.

REFERENCES

- [1] Y. L. Akpa, N. H. Dibi, J. H. Danumah, B. K. Kpangui And V. C. Jofack-Sokeng, «Mapping natural vegetation vulnerability to cash crop expansion: the case of cashew plantation in north-east Cote d'Ivoire», *International Journal of Current Research*, 11, (09), 6836-6843, 2019.
- [2] K. E. Konan And, R. Amani, «Apports des images LANDSAT à la dynamique de l'occupation du sol et à l'analyse des conflits d'usage dans le département de Dianra au nord de la Côte d'Ivoire», *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 223, 232-249, 2021.
- [3] M. Kone, K. Kouadio, Y. L. Kouadio, N. F. R. Danho And D. F. Malan, «« Dégradation de la forêt dense humide tropicale, cas de la région de l'indéniéDjuablin à l'est de la Côte d'Ivoire»», *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 21, 15 p, 2014.

- [4] J. E. N. Abrou, D. Kouame And Y. C. Y. Adou, «Diversité floristique des communautés végétales dans l'espace de la forêt des marais Tanoe-Ehy (FMTE), Sud-Est de la Côte d'Ivoire», *International journal of biological and chemical sciences*, 13 (6), 2874-2887, 2019.
- [5] A. G. P. Séka And T. I. A. Lazare, «Contribution of geomatics to the analysis of the dynamics of degradation of the Mafé classified forest linked to anthropic pressures (Côte d'Ivoire),» *Revue Resol-Tropiques*, 3 (1), 13-27, 2022.
- [6] A. V. Koulibaly, Caractéristiques de la végétation et dynamique de la régénération, sous l'influence de l'utilisation des terres, dans des mosaïques forêts-savanes, des régions de la réserve de Lamto et du parc national de la Comoé, en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Laboratoire de Botanique, Université de Cocody, Abidjan, 150 p, 2008.
- [7] Y. S. S. Barima, N. Barbier, I. Bamba, D. Traoré, J. Lejoly And J. Bogaert, «Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne,» *Bois & Forêts des Tropiques*, 299 (299): 15-25, 2009.
- [8] P. Dugue, R. Kone And G. Kone, «Gestion des ressources naturelles et évolution des systèmes de production agricoles des savanes de Côte d'Ivoire. Conséquences pour l'élaboration des politiques agricoles,» *Cahiers Agricultures*; 12: 267-273, 2003.
- [9] V. Jofack Sokeng., Y. L. Akpa, T. Assoma, F. Kouamé, S. Corgne and J.-P. Rudant, Suivi par télédétection des affectations des terres pour la promotion d'une agriculture intégrée au développement forestier en Côte d'Ivoire. Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin, 17 p. [Online] Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02189403>, 2019.
- [10] T. Dires, F. Temesgen, «Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia». *Cogent Environmental Science*, 6 (1), 2020.
- [11] G.W. Barrett, « Landscape ecology: Designing sustainable agricultural landscapes». *J. Sustain. Agric.* 2 (3): 83-1, 1992.
- [12] B. R. Noon and V. H. Dale, « Broad-scale ecological science and its application. In: Gutzwiller KJ (ed) Applying landscape ecology in biological conservation». *Springer*, Berlin Heidelberg New York, 34–52 pp, 2002.
- [13] J. Bogaert and A. Mahamane, «Écologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale». *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* 1 (7): 39-68, 2005.
- [14] J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, R. V. O'Neill and P. R. Coleman, «Landscape pattern in a disturbed environment». *Oikos* 48: 321-324, 1987.
- [15] I. Bamba, A. Mama, D. F. R. Neuba, K. J. Koffi, D. Traoré, M. Visser, B. Sinsin, J. Lejoly and T. J. Bogaer, « Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (R.D. Congo),» *Sciences & Nature*, 5 (1): 49 – 60, 2008.
- [16] Y. S. S. Barima, Dynamique, fragmentation et diversité végétale des paysages forestiers en milieux de transition forêt-savane dans le Département de Tanda (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université libre de Bruxelles, Belgique, 178 p., 2009.
- [17] K. A. N. Koua, I. Bamba, Y. S. S. Barima, A. T. M. Kouakou, K. A. Kouakou and Y. C. Sangne, « Echelle spatiale et dynamique de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) en période de conflits,» *Revue Environnement et Biodiversité-PASRES*, 2 (1), 54-68, 2017.
- [18] I. Bamba, Y. S. S. Barima, Y. C. Sangne, J. Andrieu, and J. P. Assi-Kaudjhis, «Partition du territoire et dynamique des végétations pendant la période de conflit en Côte d'Ivoire,» *Tropicultura*, 36 (2), 141-154, 2018.
- [19] A. Aubréville, «À la recherche de la forêt en Côte d'Ivoire,» *Bois et Forêts des Tropiques*, 57: 12-29, 1958.
- [20] Y. Monnier, Carte de la végétation de la Côte d'Ivoire. In: Vennetier P. & Laclavère G. (eds): Atlas de Côte d'Ivoire. 2^e édition., *Jeune Afrique*, Paris, 72 p, 1983.
- [21] J-L. Devineau, Structure et dynamiques de quelques forêts tropicales de l'Ouest Africain (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'État, Université Paris VI (France), 294 p, 1984.
- [22] M. Eldin, «Le climat in le milieu naturel de Côte d'Ivoire», *Mémoire. ORSTOM* (Paris), 50: 73-108, 1971.
- [23] J-L. Guillaumet and E. Adjahoun, «La végétation de la Côte d'Ivoire. In: AvenardJ-M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf de LussignyP., Guillaumet J-L., Adjahoun E., Perraud A. Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Paris,» *ORSTOM*, (50): 161-263, 1971.
- [24] R. Caloz and C. Collet, Précis de télédétection: Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université de Québec et AUF, Sainte-Foy, (3): 386p, 2001.
- [25] C. Chatelain, Possibilités d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière. Thèse de Doctorat, Université de Genève, Suisse, 158 p., 1996.
- [26] M. C. Girard and C. M. Girard, Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, France, 529 p, 1999.
- [27] H. Dibi N'da, Y. C. Y. Adou, K. E. N'Guessan, M. Koné and Y. C. Sangne, «Analyse de la Diversité floristique du Parc National de la Marahoué, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire», *Afrique Science*, 4 (3): 552–579, 2008.
- [28] J. F. Mas, «Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement», *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26 (4): 349-348, 2000.

- [29] R. G. Congalton, «A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data,» *Remote sensing of environment*, 37 (1): 35-46, 1991.
- [30] K. McGarigal, S. Cushman, M. Neel and E. Ene, FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2002.
- [31] J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, R. V. O'Neill and P. R. Coleman, «Landscape pattern in a disturbed environment», *Oikos* 48: 321-324, 1987.
- [32] K. McGarigal and B. J. Marks, Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying structure. Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-351. Oregon, USA, 132 p., 1995.
- [33] A. Mama, B. Sinsin, C. De Cannière and J. Bogaert, «Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin» *Tropicultura*, 31 (1): 78-88, 2013.
- [34] H. Li and J. F. Reynolds, «A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes» *Landscape ecology*, 8 (3): 155-162, 1993.
- [35] R. V. O'Neill, J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L., Milne B. T. De Angelis, M. G. Turner, B. Zygmunt, S. W. Christensen, V. H. Dale and R. L. Graham, «Indices of landscape pattern», *Landscape Ecology*, 3: 153-162, 1988.
- [36] J. Bogaert and S. K. Hong, «Landscape ecology: monitoring landscape dynamics using spatial pattern metrics. In Ecological issues in a changing world», *Springer*, Dordrecht.109-131, 2004.
- [37] A. T. M. Kouakou, Dynamiques spatio-temporelles du couvert végétal et diversité floristique de quelques parcs nationaux et forêts classées de Côte d'Ivoire dans un contexte de crises politico-militaires. Thèse de doctorat de l'Université Jean Lorougnon Guede, UFR Environnement, Daloa, Côte d'Ivoire, 244 p., 2019.
- [38] S. E. B. Bouiadjra, W. E. Zerey and K. Benabdeli, «Étude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale: cas des monts du tessala (algérie occidentale) ». *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, V: 211-225, 2011.
- [39] S. Dembele, M. Soumare, C. H. Diakite and D. Gaillard, «Dynamiques des paysages régionaux en zone cotonnière du Mali». *Tropicultura*, 36 (2): 232-242., 2018.
- [40] J. Bogaert and A. Mahamane, Écologie du paysage: cibler la configuration et l'échelle spatiale *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* 1 (7): 39-68, 2005.
- [41] C. S. Kaleba, U. Y. Sikuzani, M. F. Kankumbi and J. Bogaert, «Activités anthropiques et dynamique spatiotemporelle de la forêt claire dans la Plaine de Lubumbashi. Anthropisation des paysages katangais. Gembloux, Belgique»: *Presses Universitaires de Liège – Agronomie-Gembloux*, (13): 253-266, 2018.
- [42] A. S. Sadda, A. Diouf, S. Lawali, M. Ouedraogo, J. Bogaert, and A. Mahamane, «Pression anthropique et dynamique paysagère en zone rurale semi-aride: cas de la commune de Tibiri, région de Maradi (Niger)», *Tropicultura*, 34 (2): 127-139, 2016.
- [43] D. H. Akpoyè, R. C. Landeou and V. O. Orékan, «Anthropisation et dynamique des paysages en pays Agonlin Au Bénin», *European Scientific Journal*, 14 (36): 571-594. 2018.
- [44] A. T. M. Kouakou, A. A. Y. Assale and Y. S. S. Barima, «Impact des pressions anthropiques sur la flore de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)», *Tropicultura*, 36 (2): 155-170, 2018.
- [45] C. Skarpe, «Dynamics of savanna ecosystems,» *Journal of vegetation Science*, 3 (3): 293-300, 1992.
- [46] S. Soulama, A. Kadeba, B. M. I. Nacoulma, S. Traoré, Y. Bachmann and A.Thiombiano, «Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique,» *Journal of Applied Biosciences*, 87: 8047– 8064, 2015.

