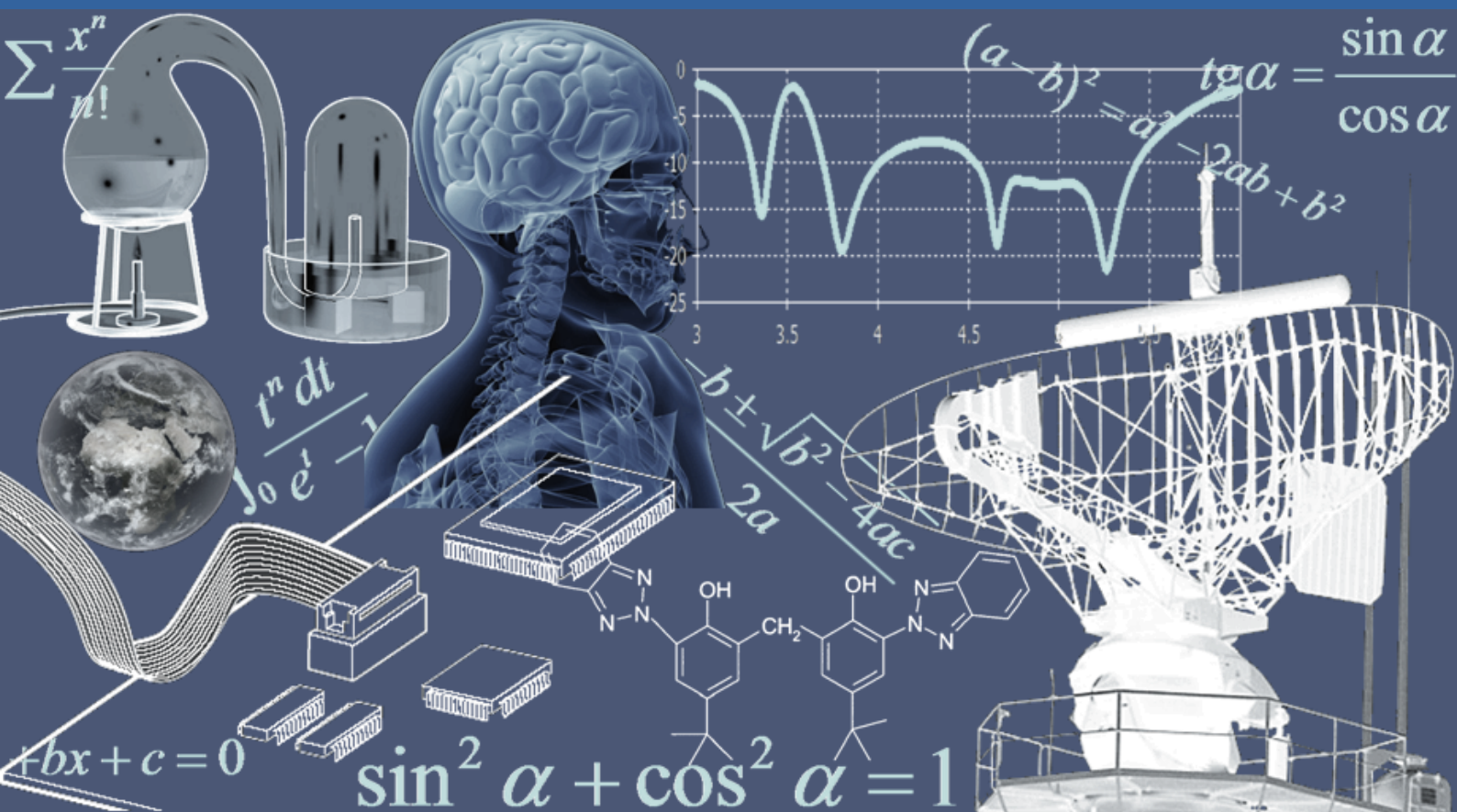


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 35 N. 4 March 2022



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

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

Table of Contents

Influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des mollusques aquatiques dans les étangs rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa (Centre-ouest, Côte d'Ivoire)	513-522
<i>Allouko Jean-Renaud, Kressou Armand, Djéné Kouakou Roland, and Bony Kotchi Yves</i>	
Qualité des eaux de petits barrages du nord et centre de la Côte d'Ivoire à partir des macroinvertébrés aquatiques	523-533
<i>Aime Louis Stevens, Siaka BERTE, and Kone Naminata</i>	
Apport de l'électrophorèse des protéines sériques dans le diagnostic de la maladie de Gaucher: Etude de 8 cas diagnostiqués à l'Hôpital d'enfant Abderrahim Elharouchi, CHU Ibn Rochd Casablanca	534-540
<i>Morjan Asmaa, I. Chahid, S. Ferchichi, N. Kamal, and A. Abkari</i>	
Les cytopathies mitochondriales	541-550
<i>I. Chahid, Morjan Asmaa, N. Kamal, and A. Abkari</i>	
Attitude de la population riveraine face à la conservation communautaire: Cas de la réserve forestière de Kalikuku, Nord Kivu, République Démocratique du Congo	551-558
<i>Mumbere Kirereka Richard, Kavira Kitonda Carine, Kasereka Kyana Mwangaza, and KAMBALE MUHESI Eloge</i>	

Influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des mollusques aquatiques dans les étangs rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa (Centre-ouest, Côte d'Ivoire)

[Influence of physico-chemical parameters on the distribution of aquatic molluscs in Daloa's rice and fish ponds (Central West, Ivory Coast)]

Allouko Jean-renaud, Kressou Armand, Djéné Kouakou Roland, and Bony Kotchi Yves

Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Unité de Formation et de Recherche de l'Environnement (UFR-Environnement),
BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Demographic densification and agricultural activities have led to strong anthropization of the watersheds of the Daloa's urban aquatic environments, which could modify their physico-chemical characteristics. The present study was carried out to highlight the influence of physico-chemical parameters on the distribution of molluscs in Daloa's rice and fish ponds. It took place between July and September 2020, in eight (08) sampling sites located in rice and fish ponds. The aquatic mollusks sampling was carried out using a turbid net (1 m² of sampled area) and a Van Veen bucket (0.15 m² of sediment per sample). The result showed that Dissolved oxygen, conductivity, pH, transparency, temperature and depth did not vary significantly between sampling sites in the rice and fish ponds. The inventory revealed 26 species of mollusks in 10 families and 5 orders. The order Basommatophores (13 species) was the most diversified. The rice ponds with 25 species was more diversified than the fish ponds with 17 species. The presence of *Aplexa marmorata* and *Melanoides tuberculata* in all the Daloa's rice and fish farming systems was due to the basicity of these waters.

KEYWORDS: Water physico-chemical, aquatic mollusks, rice and fish ponds, Daloa, Côte d'Ivoire.

RESUME: La densification démographique et les activités agricoles ont entraîné une forte anthropisation des bassins versants des milieux aquatiques urbains de la ville de Daloa ce qui pourrait modifier leurs caractéristiques physico-chimiques. La présente étude a permis de mettre en évidence l'influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des mollusques dans les étangs rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa. Elle s'est déroulée entre juillet et septembre 2020, dans huit (08) sites d'échantillonnage situés dans les étangs rizicoles et piscicoles. La collecte des mollusques aquatiques a été réalisée à l'aide d'un filet troubleau (1 m² de surface échantillonnée) et une benne Van Veen (0,15 m² de sédiment par échantillon). L'oxygène dissous, la conductivité, le pH, la transparence, la température et la profondeur ne varient pas significativement entre les sites d'échantillonnage dans les étangs rizicoles et piscicoles. L'inventaire effectué a mis en évidence 26 espèces de mollusques réparties entre 10 familles et 5 ordres. L'ordre des Basommatophores (13 espèces) est le plus diversifié. Les étangs rizicoles avec 25 espèces sont plus diversifiés que les étangs piscicoles qui comptent 17 espèces. La présence d'*Aplexa marmorata* et *Melanoides tuberculata* dans l'ensemble des systèmes rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa est due à la basicité de ces eaux.

MOTS-CLEFS: Paramètres physico-chimiques, mollusques aquatiques, étangs rizicoles et piscicoles, Daloa, Côte d'Ivoire.

1. INTRODUCTION

La ville de Daloa, troisième pôle urbain de la Côte d'Ivoire a vu sa population doublée en passant de 173107 habitants en 1998 à 275277 habitants en 2014 [1]. Cette ville bénéficie d'un réseau hydrographique très dense avec de nombreux milieux aquatiques [2]. Parmi ces milieux aquatiques aménagés, il y a les canaux, les étangs et les ruisseaux. Ces écosystèmes aquatiques font l'objet d'usages diverses notamment l'abreuvement du bétail, la pêche et la production agricole. Par ailleurs, la forte anthropisation du bassin versant de ces milieux aquatiques liée à la densification démographique, aux activités agricoles et domestiques restent l'une des causes potentielles de leur dégradation [3]. En effet, ces activités anthropiques ont pour conséquences les rejets des eaux usées dans les canaux d'irrigation des étangs ce qui pourrait avoir des impacts sur les paramètres physico-chimiques. Cette situation pourrait entraîner un dysfonctionnement des équilibres écologiques notamment la structure des communautés biologiques qui y vivent telles que les mollusques [3].

Face à toutes ces menaces qui planent sur les écosystèmes aquatiques de la ville de Daloa, il est apparu nécessaire de montrer l'influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des mollusques dans les étangs rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. MILIEU D'ETUDE

Daloa, Chef-lieu de la région du Haut-Sassandra est située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre les 6°30'00" et 7°00'00" de latitude Nord et entre les 6°00'00" et 6°30'00" de longitude Ouest [4]. La ville de Daloa est caractérisée par un climat Attiéen avec deux saisons climatiques [1]. Une saison des pluies qui s'étend de mars à octobre et une saison sèche de novembre à février [5]. Le département de Daloa est irrigué par le fleuve Sassandra avec son affluent la Lobo qui se ramifie en Dé et Gore. Le réseau hydrographique de la ville de Daloa est constitué de divers plans d'eau tels que les lacs, les étangs, les mares et des rivières naturelles et artificielles. Ces eaux renferment la faune aquatique comme le tilapia, le silure [6] ainsi que les macroinvertébrés [7]

2.2. METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE

Les critères qui ont été pris en compte pour le choix des sites sont l'accessibilité et la présence d'activités humaines. Huit (08) sites comportant chacun trois (03) points d'échantillonnage ont été retenues sur quatre (04) étangs de piscicultures (EP1, EP2, EP3 et EP4) et quatre (04) étangs de rizicultures (ER1, ER2, ER3 et ER4) (Fig 1).

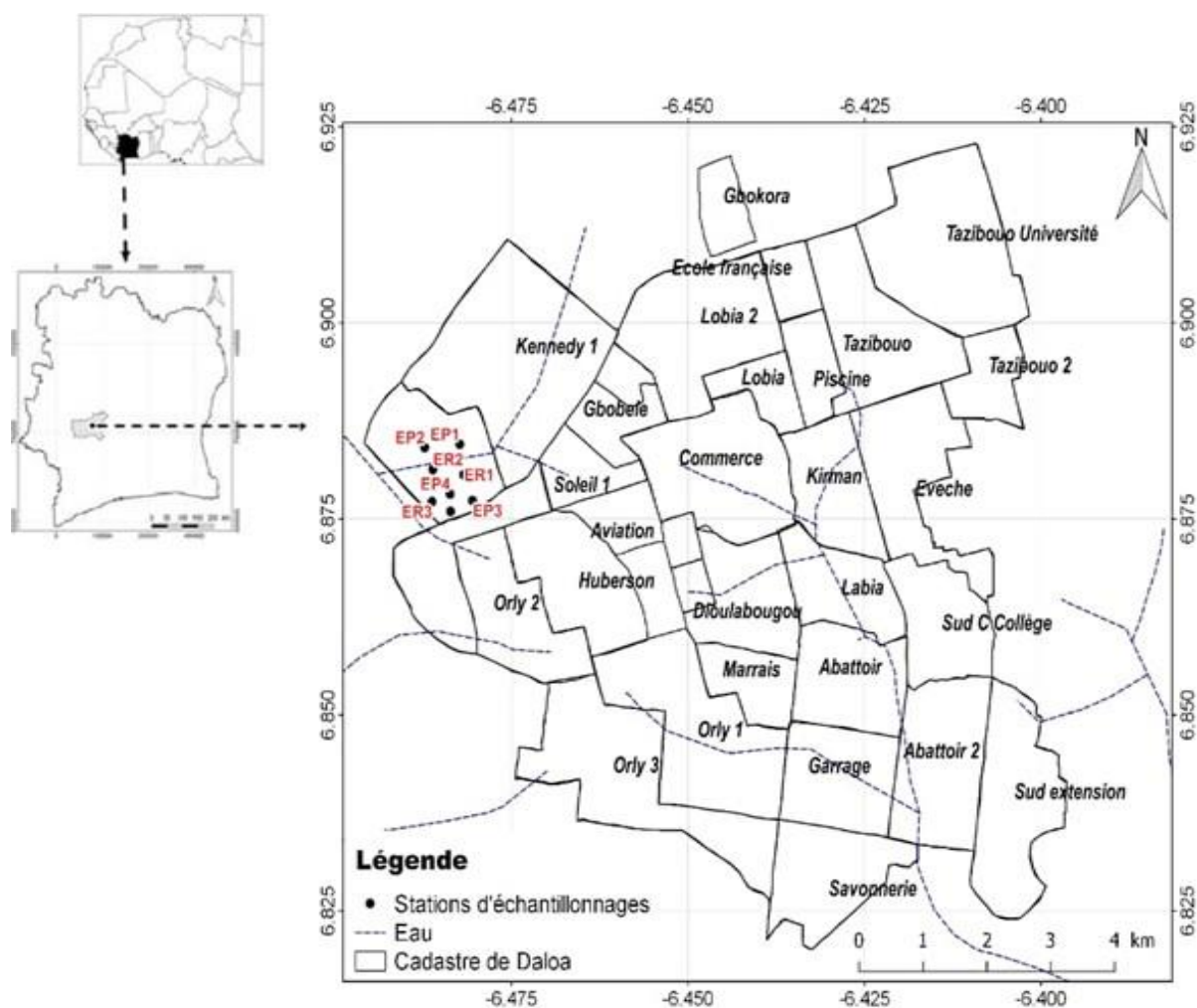


Fig. 1. Répartition des sites d'échantillonnage sur les étangs rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa

L'échantillonnage des mollusques aquatiques sur les systèmes rizicoles et piscicoles retenues dans la ville de Daloa s'est effectué entre juillet et septembre 2020. D'abord, les macroinvertébrés des berges ont été échantillonnés à l'aide du filet troubleau (400 μ m de vide de maille), sur une distance de 2 mètres, pendant 2 minutes, soit une surface 1 m² (2 m x 0,5 m) [8]. Les macroinvertébrés du sédiment ont été récoltés à l'aide de la benne Van Veen, à raison de trois (3) coups (0,05 m x 3), soit une surface de 0,15 m². Les échantillons ont été conservés dans des bocaux plastiques d'un litre contenant de l'alcool 70 %.

Au laboratoire, les mollusques ont été triés de l'ensemble des macroinvertébrés aquatiques dans une boîte de pétri en verre à fond quadrillé sous la loupe binoculaire au grossissement 40 x. Les différents spécimens de mollusques ont été dénombrés et identifiés jusqu'au niveau spécifique le plus bas possible à l'aide des clés et ouvrages d'identification proposés par [9]; [10] et [11].

Les mesures des paramètres la physico-chimiques (oxygène dissous, conductivité, pH, transparence et température) ont été effectuées *in situ* entre 06 heures et 08 heures du matin à l'aide d'un multiparamètre de type HANNA. La profondeur du point d'échantillonnage a été mesurée à partir d'un jalon gradué.

2.3. ANALYSE DES DONNEES

La diversité des mollusques aquatiques dans les étangs rizicoles et piscicoles a été mise en évidence par:

- La richesse spécifique qui correspond au nombre total d'espèces de mollusques prélevés à un site [12].
- La fréquence d'occurrence « *F* » qui permet de déterminer la constance d'une espèce dans un habitat donnée. Elle est le rapport exprimé en pourcentage entre le nombre de relevés « *Fi* » où l'espèce « *i* » apparaît et le nombre total de

prélèvement « F_t » de l'unité biocénotique considérée [13]. La fréquence d'occurrence « F » a été calculée selon la formule suivante: $F = F_t \times 100 / F_t$.

Pour [13], la valeur de la fréquence permettra de déterminer trois (3) catégories d'espèces: $F > 50\%$ = Espèces constantes; $25\% \leq F \leq 50\%$ = Espèces accessoires et $F < 25\%$ = Espèces accidentelles.

L'influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des mollusques aquatiques dans les étangs rizicoles et piscicoles a été mise en exergue à partir de l'algorithme des cartes auto-organisatrices « *Self Organizing Maps (SOM)* » ou cartes de Kohonen [14]. Ainsi, la SOM a été utilisé pour ordonner les sites d'études en fonction des paramètres physicochimiques et des assemblages des espèces de mollusques. Cette analyse a été effectuée à l'aide de l'interface SOM Toolbox (version 2) pour Matlab®.

3. RESULTATS

3.1. ANALYSE DE LA PHYSICO-CHIMIE DES EAUX

Les variations (valeurs maximales et minimales) des variables physico-chimiques des systèmes rizicoles et piscicoles de Daloa sont consignées dans le tableau I. Le pH, l'oxygène dissous, la profondeur et la transparence ont des variations plus élevées dans les étangs piscicoles que rizicoles. Cependant, les variations de la température et de la conductivité sont plus élevées dans les étangs rizicoles. Les variations de l'ensemble des paramètres étudiés ne diffèrent pas significativement (test de Kruskal-Wallis, p -value $> 0,05$) d'un site d'échantillonnage à un autre.

Tableau 1. Valeurs maximales et minimales des variables physico-chimiques des systèmes rizicoles et piscicoles de Daloa entre juillet et septembre 2020.

Paramètres		Sites des étangs piscicoles				Sites des étangs rizicoles			
		EP1	EP2	EP3	EP4	ER1	ER2	ER3	ER4
pH	Maxi	8,7	8,94	8,6	9,4	7,9	8,7	7,8	7,7
	Mini	7,5	8,6	7,7	7,8	7,7	7,3	7,1	7,3
Température (°C)	Maxi	32,8	34,3	30,1	32,5	35,8	37,1	33,2	35
	Mini	27,3	27	27,5	27,1	25,8	25,9	26	25,9
Conductivité (µS/cm)	Maxi	175	550	170	565	525	500	400	375
	Mini	125	400	145	140	390	350	147	110
Oxygène dissous (mg/L)	Maxi	9,8	7	12,1	9,5	13,1	13,5	3,1	5,2
	Mini	4,5	4	7,2	8,1	1,2	4,2	2,4	0,2
Transparence (cm)	Maxi	17,4	14	21	17,8	9,7	18	15,2	15,1
	Mini	5,8	0,2	7	3,6	3,2	1,02	3,1	3
Profondeur (cm)	Maxi	39,8	45	55,1	63,2	9,4	7	17,2	15,5
	Mini	0,3	0,3	19,9	9,8	0,1	0,1	3,1	2,8

Max = Valeur maximale, **Mini** = Valeur minimale

3.2. ANALYSE DE LA COMPOSITION DU PEUPLEMENT DE MOLLUSQUES

La composition spécifique et les occurrences du peuplement de mollusques aquatiques des étangs piscicoles et rizicoles de Daloa sont présentées dans le tableau II. Au total, 26 espèces de mollusques réparties entre 10 familles et 5 ordres ont été collectées dans l'ensemble des systèmes rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa. L'ordre des Basommatophores (13 espèces) est le plus diversifié. Cependant, les Stylommatophores et les Sorbeoconcha avec 1 espèce chacun sont les moins riches en espèces.

Au niveau spatial, la plus forte richesse spécifique (25 espèces) est notée dans les étangs rizicoles alors que la plus faible (17 espèces) est observée au niveau des étangs piscicoles. Dans les étangs rizicoles, la plus forte richesse spécifique (21 espèces) est enregistrée au site ER4 tandis que la plus faible (15 espèces) est notée au site ER2. Au niveau des étangs piscicoles, le site EP3 est la plus riche en espèces (13 espèces). En revanche, les sites EP1 et EP2, avec 4 espèces chacune sont les moins diversifiées.

Les espèces *Aplexa waterloti*, *Biomphalaria glabrata*, *Bulinus beccarii*, *Bulinus nyassanus*, *Tomichia ventricosa*, *Hemistomia* sp., *Bithynia tentaculata*, *Gabbiella africana* et *Lobogenes pusilla* n'ont été inventorié que dans les étangs rizicoles. En revanche, *Gyraulus corinna*, n'a été observée que dans les étangs piscicoles.

Par ailleurs, *Aplexa marmorata* et *Melanoides tuberculata* sont communs aux sites d'échantillonnage. En outre, *Aplexa marmorata* est constante dans les étangs rizicoles pendant que *Limnitesa sulcata* (Bithyniidae) y est noté comme une espèce accidentelle. Les espèces *Aplexa waterloti*, *Biomphalaria glabrata*, *Gyraulus corinna*, *Hemistomia* sp., *Bithynia tentaculata*, *Bithynia tentaculata* et *Lobogenes pusilla* ont été enregistrées comme accidentelles dans l'ensemble des sites d'étude.

Tableau 2. Compositions spécifiques et occurrences du peuplement de mollusques des étangs piscicoles et rizicoles de la ville de Daloa entre juillet et septembre 2020

Ordres	Familles	Espèces	Acr	Sites des étangs piscicoles				Sites des étangs rizicoles			
				EP1	EP2	EP3	EP4	ER1	ER2	ER3	ER4
Basommatophores	Ampullariidae	<i>Lanistes ciliatus</i>	Lan	-	-	-	*	-	*	**	**
		<i>Lanistes ovum</i>	Lao	-	-	*	-	**	*	-	***
		<i>Pila ovata</i>	Pio	-	*	-	*	*	***	***	*
	Lymnaeidae	<i>Lymnaea truneatula</i>	Lym	-	-	*	-	*	*	***	***
	Physidae	<i>Aplexa marmorata</i>	Apl	**	*	**	**	***	***	***	***
		<i>Aplexa waterloti</i>	Apw	-	-	-	-	-	-	*	*
	Planorbidae	<i>Afrogyrus rodriguezensis</i>	Afr	-	-	***	**	*	-	-	-
		<i>Biomphalaria glabrata</i>	Bio	-	-	-	-	-	-	-	*
		<i>Bulinus beccarii</i>	Bub	-	-	-	-	***	-	***	*
		<i>Bulinus forskali</i>	Buf	-	-	*	-	**	*	***	*
		<i>Bulinus nyassanus</i>	Bun	-	-	-	-	-	-	*	**
		<i>Bulinus tropicus</i>	But	-	-	***	-	*	*	**	**
		<i>Gyraulus corinna</i>	Gyr	-	-	*	-	-	-	-	-
Littorinimorpha	Pomatiopsidae	<i>Tomichia differens</i>	Tod	*	-	***	-	***	**	*	**
		<i>Tomichia rogersi</i>	Tor	-	*	-	-	*	-	***	***
		<i>Tomichia ventricosa</i>	Tov	-	-	-	-	**	*	**	***
		<i>Tomichia zwellendamensis</i>	Toz	-	-	*	-	*	**	-	**
	Tateidae	<i>Hemistomia</i> sp.	Hes	-	-	-	-	*	-	-	-
Mésogastéropodes	Bithyniidae	<i>Bithynia tentaculata</i>	Bit	-	-	-	-	-	*	*	*
		<i>Gabbiella africana</i>	Gab	-	-	-	-	*	*	*	**
		<i>Limnitesa sulcata</i>	Lis	-	-	**	-	*	*	*	*
	Hydrobiidae	<i>Cleopatra bulimoides</i>	Cle	*	-	*	-	**	***	***	*
		<i>Lobogenes michaelis</i>	Lob	-	-	*	*	**	-	-	-
		<i>Lobogenes pusilla</i>	Lop	-	-	-	-	*	-	*	-
Sorbeoconcha	Thiaridae	<i>Melanoides tuberculata</i>	Met	**	*	***	***	***	***	***	**
Stylommatophores	Succineidae	<i>Oxyloma patentissima</i>	Oxp	-	-	-	**	*	-	*	*
Total = 5	10	26		4	4	13	7	20	15	19	21
Nombre d'espèces par étangs				17				25			

Acr= Acronymes; *** = Espèces constantes; ** = Espèces accessoires; * = Espèces accidentelles; - = Absence d'espèce

3.3. DETERMINISME DE LA RICHESSE SPECIFIQUE

L'apprentissage de la SOM (*Self-Organizing Map*) réalisée sur la matrice présence/absence des espèces de mollusques aquatiques des étangs piscicoles et rizicoles de Daloa a permis de classer les 45 échantillons collectés. Une carte de 27 cellules (9 lignes x 3 colonnes) est retenue, car à cette taille, les erreurs de quantification et de topographie sont les plus faibles. Les cellules de la carte auto-organisatrice ont été classées en trois groupes (G1 à G3) à partir d'une Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) avec la méthode Ward et la distance Euclidienne (Figure 2). Les groupes sont illustrés par différents motifs sur la carte de Kohonen (Figures 2 et 3).

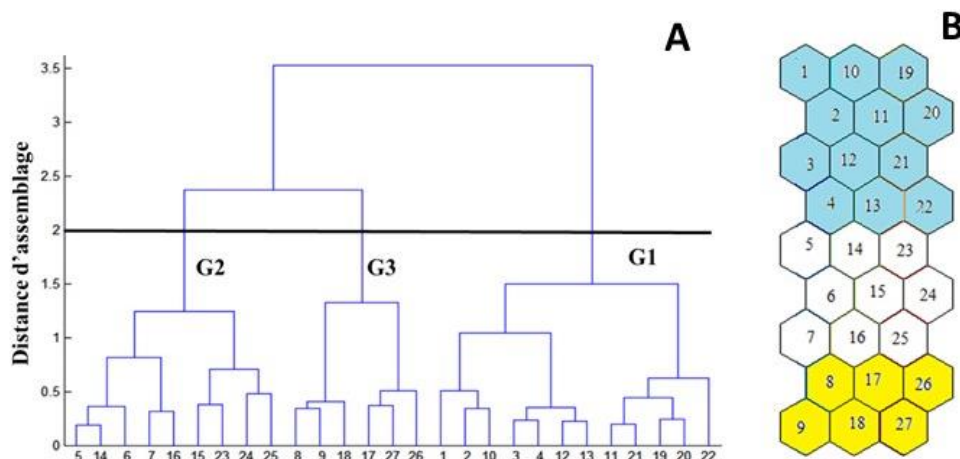


Fig. 2. Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la SOM sur la base des espèces de mollusques des étangs piscicoles et rizicoles de Daloa entre juillet et septembre 2020

A = Classification Hiérarchique Ascendante des cellules de la carte de Kohonen avec la méthode Ward et la distance Euclidienne comme distance d'assemblage (les nombres [1 à 27] correspondent aux numéros de cellules de la carte de Kohonen; les chiffres arabes (1 à 3) représentent les groupes retenus). B = Carte de Kohonen avec les cellules numérotées de 1 à 27

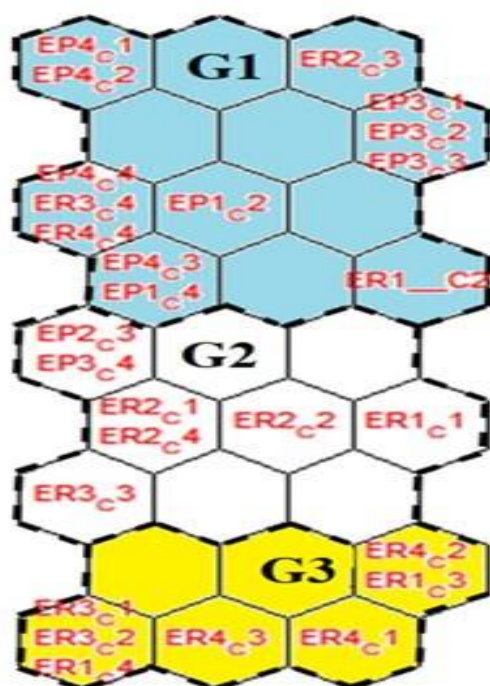


Fig. 3. Distribution des échantillons dans la SOM à partir des données de présence/absence de mollusques récoltés dans les étangs piscicoles et rizicoles de Daloa entre juillet et septembre 2020

G1, G2 et G3 représentent les groupes définis. Les numéros en chiffres arabes (1 à 4) désignent les sites d'échantillonnage; ER = Etangs rizicoles; EP = Etangs piscicoles.

La distribution de chaque espèce de mollusques dans chaque groupe défini par la SOM est montrée par la figure 4. Le groupe 1 (G1), faiblement diversifié est composé de 5 espèces. Il s'agit de *Tomichia differens*, *Afrogyrus rodriguezensis*, *Gyraulus corinna*, *Oxyloma patentissima* et *Gyraulus corinna*. Quant au groupe 2 (G2), moyennement diversifié, il se compose de 7 espèces, qui sont: *Pila ovata*, *Lobogenes michaelis*, *Limnites sulcata*, *Aplexa marmorata*, *Cleopatra bulimoides*, *Gabbiella africana* et *Melanoides tuberculata*. Enfin, le groupe 3 (G3), plus diversifié comprend 14 espèces. Il s'agit de: *Tomichia*

zwellendamensis, *Tomichia ventricosa*, *Tomichia rogersi*, *Lymnaea truneatula*, *Lobogenes pusilla*, *Aplexa waterloti*, *Biomphalaria glabrata*, *Bithynia tentaculata*, *Bulinus beccarii*, *Bulinus tropicus*, *Bulinus forskali*, *Hemistomia* sp., *Lanistes ciliatus* et *Lanistes ovum*. Le nombre d'espèces enregistrés entre les différents groupes diffère significativement (test de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). Cependant, la richesse spécifique des groupes 1 et 2 ne diffère pas significativement (test de Mann-Whitney, $p > 0,05$). En revanche, elle diffère de celle du groupe 3 (test de Mann-Whitney, $p < 0,05$).

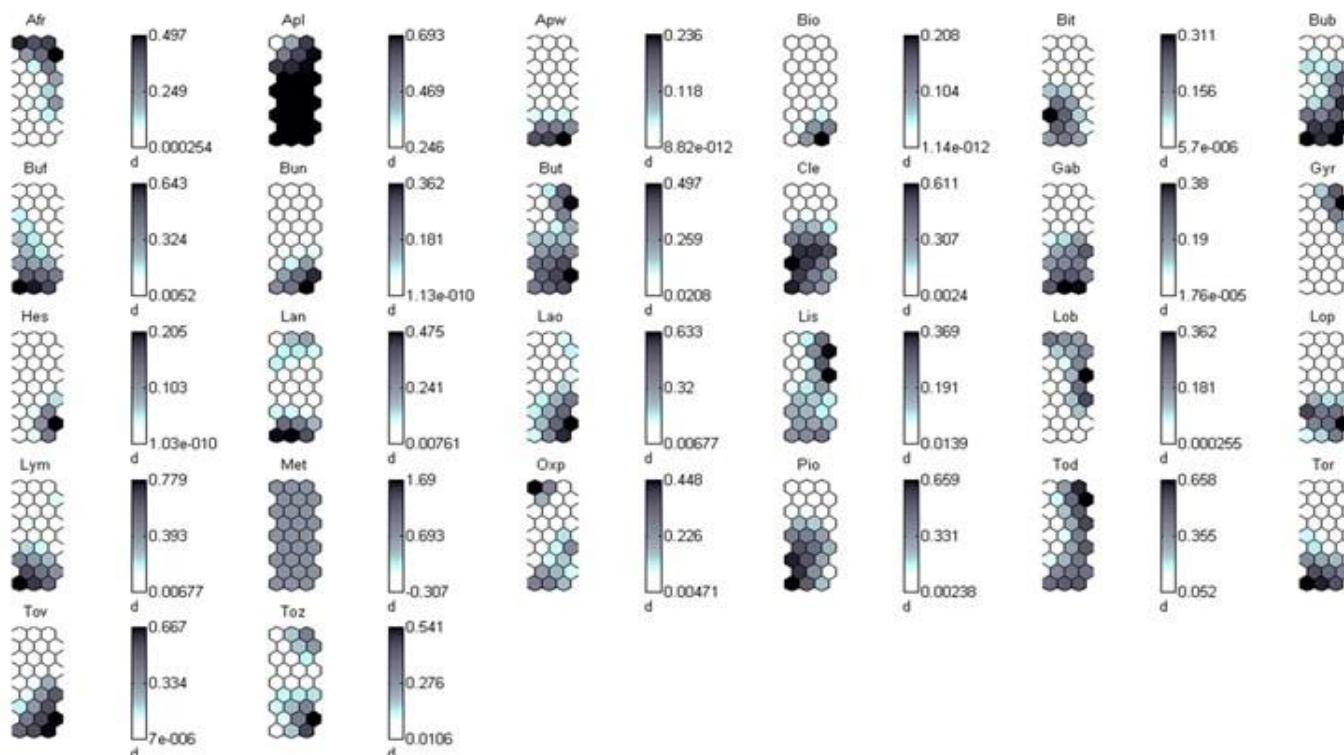


Fig. 4. Profil de distribution des espèces de mollusques sur la carte de Kohonen basée sur les données de présence/absence des mollusques récoltés dans les étangs piscicoles et rizicoles de Daloa entre juillet et septembre 2020.

Couleur sombre = forte probabilité de présence; couleur claire = faible probabilité de Présence;
d = échelle.

La figure 5 illustre l'influence des paramètres physico-chimiques au niveau des groupes 1, 2 et 3 définis par la carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM). La température et la conductivité influence la distribution des espèces du groupe 1. Les espèces du groupe 2 sont influencées par le potentiel hydrogène. Quant à l'oxygène dissous, la transparence et la profondeur, ils influencent les espèces du groupe 3.

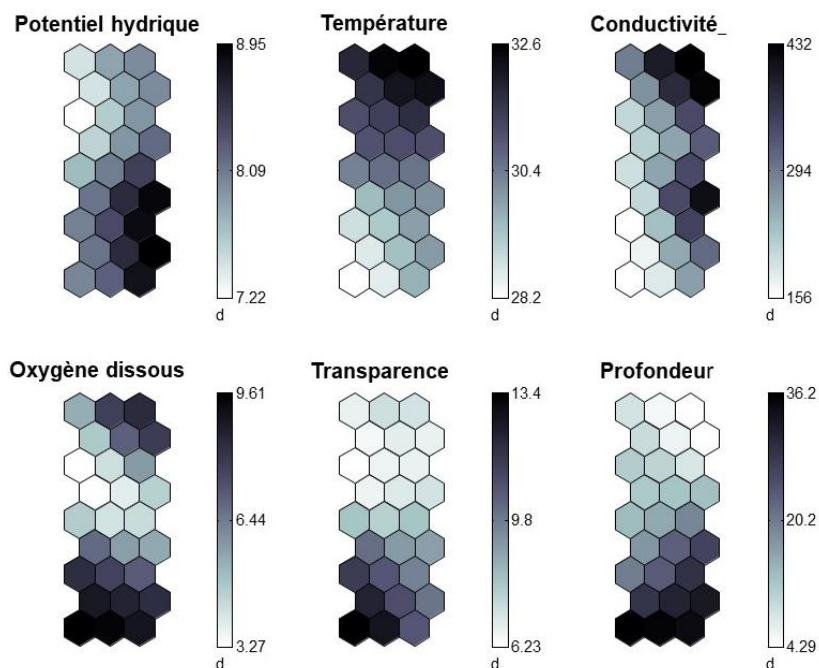


Fig. 5. Influence des paramètres physico-chimiques au niveau des groupes 1, 2 et 3 définis par la carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM).

4. DISCUSSION

La variation spatiale de l'ensemble des paramètres physico-chimiques étudiés révèle qu'ils ne varient pas significativement entre les sites dans les étangs rizicoles et piscicoles. Cette situation s'expliquerait par un échange permanent de l'eau issue des canaux d'irrigation, lié à une importante circulation de la masse d'eau entre les étangs. Pour [4], ce mouvement serait à la base d'une certaine homogénéisation de l'eau à une période donnée.

L'analyse du peuplement des mollusques des étangs piscicoles et rizicoles de Daloa a permis de recenser 26 espèces réparties entre 10 familles et 5 ordres. La richesse spécifique dans les étangs rizicoles (25 espèces) est supérieure à celle enregistrée dans les étangs piscicoles (17 espèces). Cette situation serait due à la chaîne trophique dans les étangs piscicoles. En effet, les poissons de ces étangs (*Oreochromis niloticus*, *Coptodon* sp., *Hemichromis bimaculatus*, *Sarotherodon melanotheron* et *Clarias anguillaris* se nourrissent d'invertébrés comme les mollusques [15]. Cela entraîne la réduction de la diversité des mollusques dans les étangs piscicoles. Cependant, la forte diversité des mollusques au niveau des étangs rizicoles serait en rapport avec l'exploitation agricole. [16] a montré que l'utilisation de fertilisants agricoles augmente la croissance et la diversité des mollusques.

La présence d'*Aplexa marmorata* et de *Melanoides tuberculata* dans l'ensemble des sites des étangs piscicoles et rizicoles de la ville de Daloa serait due à leur caractère évasif et leur croissance rapide. En effet, *Aplexa marmorata* se reproduit par autofécondation et *Melanoides tuberculata* par parthénogénèse (mode de reproduction où l'ovule se développe sans fécondation) [17]. Cela leur confère un avantage sur le plan compétitif sur les autres espèces locales de mollusques [18]. Par ailleurs, *Melanoides tuberculata* serait responsable de la raréfaction et même de la disparition de certains mollusques dans certains [17]. Cette espèce est connue comme n'ayant pas une grande exigence écologique. Elle a la possibilité de pulluler aussi bien dans les eaux polluées que dans les eaux de bonne qualité [19].

L'influence des paramètres physico-chimiques au niveau des groupes définis par la carte auto-organisatrice de Kohonen (SOM) indique que le potentiel hydrogène (pH) influence la distribution d'*Aplexa marmorata* et de *Melanoides tuberculata*. La basicité des eaux dans les étangs piscicoles et rizicoles de la ville de Daloa (pH compris entre 7,47 et 9,40), s'expliquerait par l'apport des eaux de ruissellement en saison pluvieuse [20] et aux rejets réguliers d'effluents domestiques provenant du bassin versant [21]. Cette situation serait à l'origine de la prolifération de ces espèces.

5. CONCLUSION

Le présent travail a permis de montrer l'influence des paramètres physico-chimiques sur la distribution des mollusques dans les étangs rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa. L'ensemble des paramètres étudiés ne varient pas significativement entre les sites dans les étangs rizicoles et piscicoles.

L'analyse du peuplement de mollusques des étangs piscicoles et rizicoles de Daloa a permis de recenser 26 espèces réparties entre 10 familles et 5 ordres. La diversité des espèces de mollusques en fonction des habitats prospectés montre que les étangs rizicoles sont plus diversifiés que les étangs piscicoles. La basicité des eaux des systèmes rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa influence la prolifération d'espèces invasives telle que *Aplexa marmorata* et *Melanoides tuberculata*. En vue de mieux maîtriser la prolifération de ces espèces, une biosurveillance des systèmes rizicoles et piscicoles de la ville de Daloa s'avère nécessaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient toutes les institutions qui ont permis la réussite de cette étude notamment la mairie de Daloa et l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

REFERENCES

- [1] RGPH. (2014). Recensement Général de la population et de l'Habitat. Rapport du Résultat global du secrétariat des techniques permanent du comité technique de RGPH, 26 p.
- [2] K.S.D. Diobo, Z. Koli Bi, H. Asse and Y.T. Brou, "Paramètres environnementaux et prévalence de l'ulcère de burili dans le département de Daloa (centre-ouest de la cote d'ivoire), " Revue de Géographie du Bénin Université d'Abomey-Calavi, Bénin, vol. 14, pp. 184-205, 2013.
- [3] K. R. Djéné, K.Y. Bony, J.R. Allouko, E.A.I. Kamagaté & K.F. Konan, "Aquatic Macroinvertebrates diversity and assessment of urban water quality with the use of EPTC index in Daloa (Côte d'Ivoire; West Africa), " Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, vol. 14, no. 4, pp. 1-7, 2019.
- [4] K. R. Djéné, Diversité des macro-invertébrés et leur utilisation dans l'évaluation de la qualité écologique des écosystèmes aquatiques urbains de Côte d'Ivoire: cas de la ville de Daloa. Thèse de Doctorat, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 208 p, 2020.
- [5] A.H. N'Guessan, K.F. N'Guessan, K.P. Kouassi, N.N. Kouamé and P.W. N'Guessan, "Dynamique des populations du foreur des tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon* Felder (Lépidoptère: Cossidae) dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire, " Journal of Applied Biosciences, vol. 83, pp. 7606-7614, 2014.
- [6] A. Sangaré, E. Koffi, F. Akamou and C.A. Fall, Etat des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Second rapport, 65 p, 2009.
- [7] O. Cadot, J. De Meo, and O. Marcelo, "L'intégration régionale en Afrique: où en sommes-nous?, " Revue d'économie du développement, vol. 8, no. 1, pp. 247-261, 2000.
- [8] B.D. Oertli, R. Biggs, G. Cereghino, A. Jolly. And J.B. Lachavanne, "Conservation and monitoring of pond biodiversity: introduction; " Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, vol. 15, pp. 535-540, 2005.
- [9] D.S. Brown, Freshwater Snails of Arica and their Medical Importance. 2nd Ed. Taylor and Francis Ltd, London, 673 p, 2005.
- [10] N. Mary, Guide d'identification des macro-invertébrés benthiques des rivières de la Nouvelle-Calédonie. Fiche technique, Ministère de l'Environnement, Service de l'Eau (Paris), Province Nord et Province Sud de la Nouvelle-Calédonie, 92 p, 2000.
- [11] H. Tachet, M. Bournaud, P. Richoux and P. Usseglio-Polatera (eds), Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. CNRS (Paris), 587 p, 2006.
- [12] F. Ramade (eds), Elément d'écologie: Ecologie fondamentale, 2 Ed. Dunos, Paris, 190 p, 2003.
- [13] R. Dajoz (eds), Précis d'Écologie. 7ème Ed. Dunod (Paris), 615 p, 2000.
- [14] T. Kohonen (eds), Self-Organizing Maps. 3ème Ed. Springer-Verlag (Berlin), 501 p, 2001.
- [15] J. Morin, S. Duhamel and G. De Roton, Poissons, habitats et ressources halieutiques: cas de la Seine. Fascicules Seine-Aval, Paris, 76 p, 2010.
- [16] B.F.J.V. Rosa, C. Oliveirav and G. Alvesr, "Structure and spatial distribution of the Chironomidae community in mesohabitats in a first order stream at the Poço D'Anta Municipal Biological Reserve in Brazil, " Journal of Insect Science, vol. 11, pp. 15-38, 2010.
- [17] J.P. Pointier, B. Facon, P. Jarne and P. David, "Les thiaridés, des Gastéropodes envahisseurs des eaux douces tropicales, " Xenophora, vol. 104, pp. 14-20, 2004.

- [18] J.P. Pointier; "Invading freshwater snails and biological control in Martinique Island, French West Indies, " *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, vol. 96, pp. 67-74, 2001.
- [19] K. Bony, Biodiversité et écologie des Mollusques Gastéropodes en milieu continental ivoirien (bassins de la Mé, de l'Agnéby et du Banco). Traits d'histoire de vie d'une espèce invasive *Indoplanorbis exustus* (Deshayes, 1834). Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 250 p, 2008.
- [20] IBGE, Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Rapport "L'eau à Bruxelles", 16 p, 2005.
- [21] F.M. Onana, T.S.H. Zebaze, E. Koji, T.N.L. Nyamsi and S. Tchakonte (2016). Influence of municipal and industrial pollution on the diversity and the structure of benthic macro-invertebrates community of an urban river in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 120-133.

Qualité des eaux de petits barrages du nord et centre de la Côte d'Ivoire à partir des macroinvertébrés aquatiques

[Water quality of small dams in the north and center of Côte d'Ivoire from aquatic macroinvertebrates]

Aime Louis Stevens¹, Berte Siaka², and Kone Naminata³

¹Laboratoire des milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, Université Felix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, Université Felix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Department des Sciences et Technologies, Ecole Normale Supérieure (ENS), Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The purpose of this study, is to determine the quality of small dams of the North and Center of Côte d'Ivoire base on the analysis of the aquatic macroinvertebrate community. Sampling took place from June 2016 to June 2018 in 08 stations with three in the Center and five in the North. In the Center, five classes (Achaetes, Bivalves, Oligochaetes, Gastropods and Insects), 10 orders and 35 families have been identified while in the North 3 classes (Achaetes, Gastropods, Insects), 11 orders and 36 families were recorded. The average score per taxon showed that water quality of North stations is good and the quality of water in the Center is average. Besides, taxa EPT percent signified that these stations are influenced by anthropical activities.

KEYWORDS: Macroinvertebrate, evaluation, dams, Côte d'Ivoire.

RESUME: Le but de cette étude est de déterminer la qualité de petits barrages du Nord et Centre de la Côte d'Ivoire, à partir de l'analyse de la communauté des macroinvertébrés aquatiques. L'échantillonnage s'est déroulé de juin 2016 à juin 2018 dans 08 stations dont 03 au Centre et 05 au Nord. Au Centre, (05) classes (Achètes, Pélécypodes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 10 ordres et 35 familles ont été identifiés tandis qu'au Nord 03 classes (Achètes, Pélécypodes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 11 ordres et 36 familles ont été enregistrés. Le score moyen par taxon (ASPT) a montré que la qualité de l'eau des stations du Nord est bonne et celle des stations du Centre est moyenne. Par ailleurs, le pourcentage de taxon EPT a signifié que ces stations sont influencées par des activités anthropiques.

MOTS-CLÉS: Macroinvertébrés, évaluation, barrage, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'édification de nombreux petits barrages, en Côte d'Ivoire et plus généralement en Afrique de l'Ouest sahélienne, trouve son origine dans la période de sécheresse qui a sévi dans ces régions au cours des années 1970 à 1990 [1].

Ces petits barrages qui étaient initialement prévus pour l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail, ont vu leurs utilisations se diversifier et s'intensifier avec notamment l'installation de nombreux pêcheurs d'origines diverses pratiquant généralement la pêche d'empoisonnement [2], l'utilisation croissante de produits phytosanitaires intensément employés tant sur les versants qu'à la périphérie des réservoirs [3]. Dès lors, des problèmes sanitaires et écologiques ont surgi. Il s'agit entre autres des maladies hydriques telles que la diarrhée, le choléra, la fièvre typhoïde, le paludisme, la schistosomiose et la paratyphoïde ([4]; [5]) et la modification de l'équilibre écologique des bassins versants. Dans ces conditions, il est apparu le besoin de poser un diagnostic sanitaire des petits barrages du Nord et Centre, afin de prendre d'une part des mesures adéquates pour leur utilisation plus efficiente et rationnelle et d'autre part éclairer la population des facteurs liés à l'eau ou du danger de sa consommation.

Par conséquent, leur suivi doit se faire à travers les indicateurs biologiques fiables et adéquats ([6]; [7]). Parmi les bioindicateurs, les macroinvertébrés aquatiques se révèlent être particulièrement adaptés pour l'évaluation de l'état des écosystèmes dans lesquels ils se développent ([8]). D'abord, leurs mobilités limitées, les empêchant de fuir les perturbations, permettent de donner une illustration fiable des conditions du site où ils se sont développés et ont été récoltés. Ensuite, le peuplement se compose de différentes espèces ayant des sensibilités spécifiques et des réponses différentes aux perturbations. Enfin, les macro-invertébrés aquatiques ayant une durée de vie relativement longue, reflètent mieux le changement de l'environnement aquatique sur une saison ([8]).

L'objectif principal de cette publication est d'utiliser les macroinvertébrés aquatiques pour connaître l'état écologique des petits barrages du Nord et Centre de la Côte d'Ivoire.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

Les huit petits barrages sont repartis au Nord et Centre de la Côte d'Ivoire. Les petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire sont dans la région du Tchologo précisément à Ouangolodougou et Ferkessédougou. Or, les petits barrages du Centre de la Côte d'Ivoire se retrouvent dans les régions du Gbêkê et Bélier respectivement dans les villes de Bouaké et Didiévi. Le Nord de la Côte d'Ivoire est caractérisé par le climat subtropical et le Centre par le climat tropical humide. Ces deux climats présentent deux saisons: une saison sèche allant de novembre à mars et une saison de pluies qui s'étend d'avril à octobre ([9]). Le régime hydrologique du Nord est caractérisé par une crue unique (août à octobre), une période de basses eaux pendant les mois de novembre, juin et juillet, un très faible écoulement est observé pendant les mois précédant la période des hautes eaux (avril et mai) et un étiage très marqué avec des écoulements très faibles (décembre), voire nuls (janvier, février et mars) ([10]). Cependant, au Centre, Le régime hydrologique est marqué par une période de hautes eaux (août à octobre), une période de basses eaux constituée des mois de novembre, juin et juillet et une période étiage (janvier à avril) avec des écoulements faibles voire nuls (février) ([11]).

Pour mener à bien ce travail, huit (08) stations d'échantillonnage ont été choisies, à savoir cinq (05) stations au Nord et trois (03) stations au Centre. La Fig. 1 montre les stations du Nord représentées par Torla, Mambiadougou, Korokara, Noumousso, Sambakaha et celle du Centre que sont Raviart, Kongobo, Allomambo.

Les critères qui ont guidé le choix de ces stations sont la permanence de l'eau, l'accessibilité à la station à toute période de l'année, la diversité des habitats, la disponibilité des ressources.

2.2 ECHANTILLONNAGE DES MACROINVERTÉBRÉS AQUATIQUES

Les différentes campagnes d'échantillonnage se sont effectuées de Juin 2016 à Juin 2018. Les données ont été collectées de sorte à avoir un échantillon représentatif des stations situées sur les lacs de barrage prospectés. En effet, les prélèvements des macro-invertébrés aquatiques se sont effectués dans la zone littorale et sublittorale ([12]) suivant l'approche multi-habitat ([13]), à l'aide d'une benne Van Veen et tamis. Les échantillons ont été lavés et fixés au formol 5 % dans des bocaux étiquetés. Au laboratoire, les organismes ont été triés, identifiés jusqu'à la famille et dénombrés. Les identifications ont été faites selon les travaux de [14]; [15]; [16]; [17].

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

2.3.1 POURCENTAGE DE TAXON EPT

Le pourcentage EPT est la proportion du nombre d'Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères. La valeur du pourcentage EPT augmente lorsque la qualité de l'eau s'améliore ([18]).

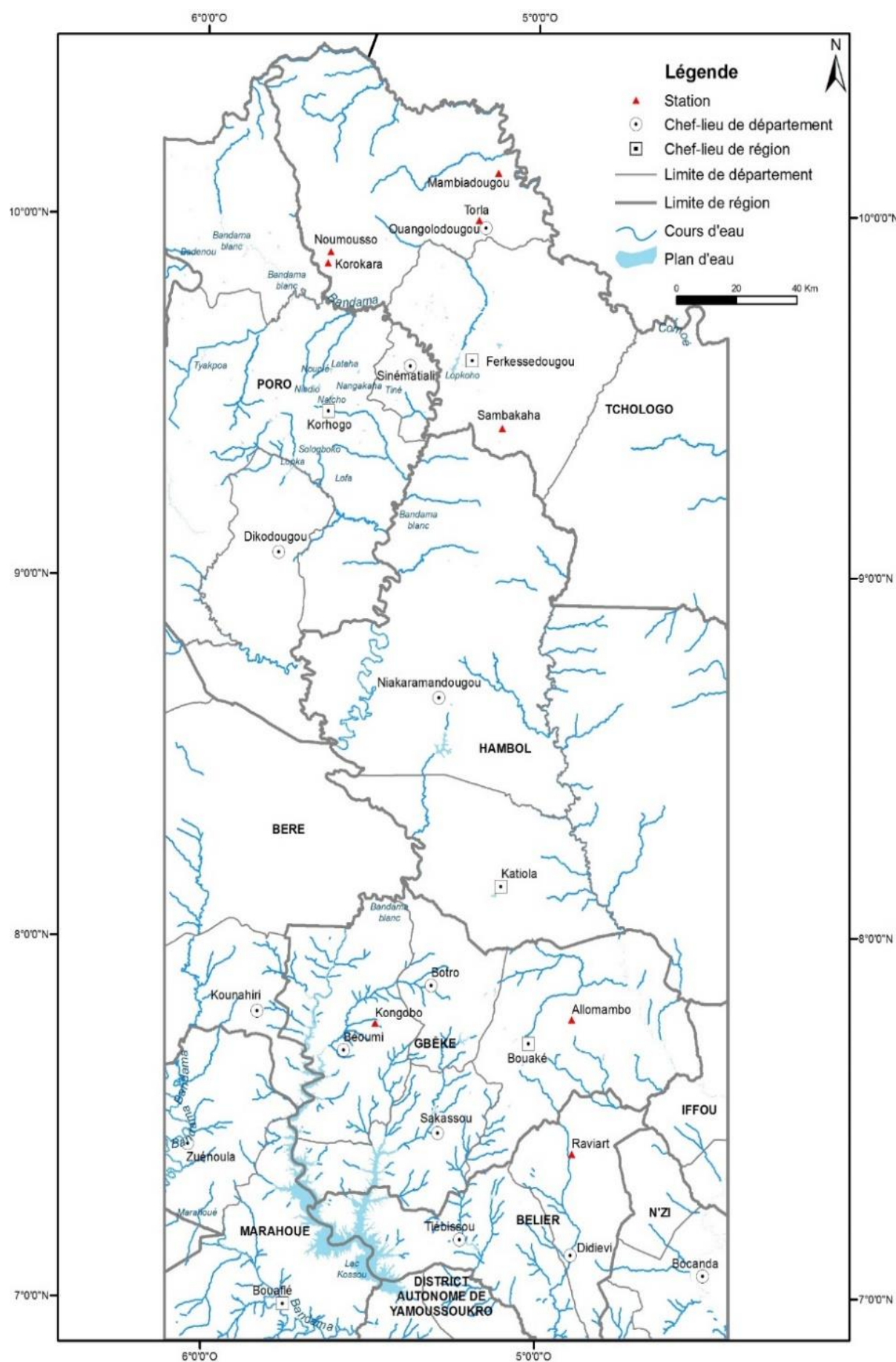


Fig. 1. Situation géographique des localités d'étude et des stations d'échantillonnage

En situation non perturbée ce pourcentage est toujours supérieur à 50%. En dessous de ce seuil on peut considérer que le peuplement observé est plus ou moins fortement impacté par des activités anthropiques ([19]).

%EPT > 50% $\longleftrightarrow$ Peuplement non impacté par les activités anthropiques

%EPT < 50% $\longleftrightarrow$ Peuplement impacté par les activités anthropiques

2.3.2 SCORE MOYEN PAR TAXON (ASPT)

L'évaluation de la qualité de l'eau des petits lacs de barrage du Nord et Centre a été faite grâce au calcul du Score moyen par taxon (ASPT) ([20]; [21]; [22]). Le Score moyen par taxon (ASPT) est la somme des scores de tolérance des familles indicatrices présentes dans un échantillon divisée par le nombre de famille indicatrice dans l'échantillon [23]. Le tableau 1 indique le score de tolérance des familles indicatrices est déterminé par le tableau standard des scores de tolérance (**Tableau 1**) qui assemble des groupes de familles correspondant chacun à une certaine performance de score allant de 10 à 1 avec l'inexistence du score 9 suivant leur sensibilité vis-à-vis de la pollution organique; les familles qui sont les plus sensibles ont un score élevé tandis que les familles tolérantes à la pollution organique ont des scores faibles.

Sa formule est: $ASPT = \sum S_i / N$

avec S_i = Score du taxon indicateur i et N = Nombre de taxons indicateurs présents dans l'échantillon.

La valeur de l'ASPT obtenue est interprétée par le **Tableau 2**.

Tableau 1. Scores de tolérance des Taxons indicateurs ([24])

ORDRES	FAMILLES	SCORE
Ephéméroptères	Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae	10
Plécoptères	Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae	
Hétéroptères	Aphelocheiridae	
Trichoptères	Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae	
Crustacés	Astacidae	8
Odonates	Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae,	
Trichoptères	Psychomyiidae (Ecnomidae), Phylopotamidae	
Ephéméroptères	Caenidae	7
Plécoptères	Nemouridae	
Trichoptères	Rhyacophilidae (Glossosomatidae), Polycentropodidae, Limnephilidae	
Gastéropodes	Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae (Acroloxidae)	6
Trichoptères	Hydroptilidae	
Pélicypodes	Unionidae	
Crustacés	Corophiidae, Gammaridae (Crangonyctidae)	
Odonates	Platycnemididae, Coenagriidae	5
Hétéroptères	Mesovelidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae	
Coléoptères	Halipidae, Hygrobiidae, Dytiscidae (Noteridae), Gyrinidae, Hydrophilidae (Hydraenidae), Clambidae, Scirtidae, Dryopidae, Elmidae	
Trichoptères	Hydropsychidae	
Diptères	Tipulidae, Simuliidae	
plathelminthe	Planariidae (Dogesiidae), Dendrocoelidae	
Éphéméroptères	Baetidae	
Mégaloptères	Sialidae	4
Hirudinées	Pisicolidae	
Gastéropodes	Valvatidae, Hydrobiidae (Bithyniidae), Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae	
Pélicypodes	Sphaeriidae	3
Hirudinae	Glossiphoniidae, Hirudinidae, Erpobdellidae	
Crustacés	Asellidae	
Diptères	Chironomidae	
Oligochètes	Toute la classe	1

Tableau 2. Valeurs indicielles en niveau de pollution ([23], [25])

Valeur de l'ASPT	Degrée de pollution	Qualité de l'eau	Usage de l'eau
≥ 6	Pollution nulle	Excellente	Acceptable pour tous les usages, les eaux sont facilement transformables en eau potable, elle permet la vie piscicole et la reproduction des poissons
5-6	Pollution faible	Bonne	
4-5	Pollution modérée	Moyenne	Les usages récréatifs occasionnels sont possibles, mais la baignade est interdite, la production de l'eau potable est possible. La reproduction de certain poisson peut être aléatoire.
<4	Pollution très forte	Très mauvaise	Les eaux sont utilisables pour les usages industriels peu exigeants. La production d'eau potable est déconseillée. La survie des poissons est aléatoire ou dès fois Inapte pour tous les usages

3 RESULTATS

3.1 COMPOSITION DES COMMUNAUTÉS DES MACROINVERTÉBRÉS AQUATIQUES DU CENTRE

Les spécimens du sont répartis en cinq (05) classes (Achètes, Pélécy-podes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 10 ordres, 35 familles (**Tableau 3**). Dans la station Raviart a été récolté le plus grand nombre de famille soit 31 familles.

Tableau 3. Liste des macroinvertébrés aquatiques recensés dans les stations du Centre étudiées

CLASSES	ORDRES	FAMILLES	Allo	Kong	Rav
ACHETES	Rhynchobdelliformes	Erpobdellidae		+	
BIVALVES	Myida	Unionidae		+	
GASTEROPODES	Basommatophores	Lymnaeidae		+	+
		Planorbidae		+	
	Mesogasteropodes	Hydrobiidae		+	+
OLIGOCHETES	Haplotaxinas	Haplotaxidae	+		
INSECTES	Coléoptères	Dytiscidae	+	+	+
		Elmidae			+
		Gyrinidae			+
		Halipidae		+	
		Hydrophilidae		+	+
		Ceratopogonidae	+		+
	Diptères	Chironomidae	+	+	+
		Culicidae	+		
		Stratiomyidae			+
		Syrphidae		+	
		Baetidae	+		+
	Ephéméroptères	Caenidae		+	
		Oligoneuriidae	+		
		Siphonuridae			+
		Belostomidae			+
	Hétéroptères	Corixidae	+		+
		Gerridae			+
		Mesoveliidae	+		
		Naucoridae		+	+
		Nepidae		+	
		Notonectidae	+		+
		Ranatridae	+	+	+
		Veliidae	+		
	Odonates	Aeshnidae			+
		Calopterygidae		+	

		Coenagriidae	+	+	+
		Cordulegasteridae	+	+	+
		Cordulidae		+	
		Libellulidae	+	+	+
5 Classes	10 Ordres	35 Familles	18	27	31

Allo: Allomambo; Kong: Kongobo; Rav: Raviart

La Fig. 2 montre que les insectes représentent la classe taxonomique qui a le plus grand nombre de famille (soit 83 % des familles présentes) suivi des gastéropodes 8%. Les autres classes, notamment les bivalves, les achètes et les oligochètes sont très faiblement représentées avec 3%.

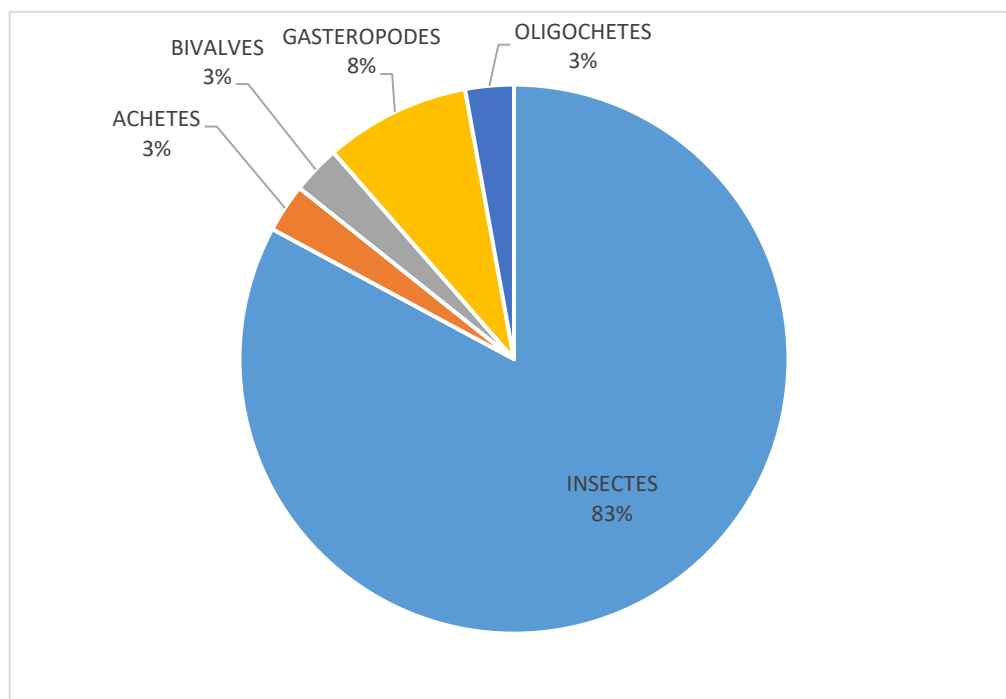


Fig. 2. Pourcentage des classes des différentes familles présentes au Centre

3.2 COMPOSITION DES COMMUNAUTÉS DES MACROINVERTÉBRÉS AQUATIQUES DU NORD

Les spécimens sont répartis en trois (03) classes (Achètes, Pélécypodes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 11 ordres, 36 familles (**Tableau 3**). Dans la station Raviart a été récolté le plus grand nombre de famille soit 31 familles.

Tableau 4. Liste des macro-invertébrés aquatiques recensés dans les stations du Nord étudiées

CLASSES	ORDRES	FAMILLES	Tor	Kor	Mamb	Noum	Samb
ACHETE	Rhynchobdelliformes	Erpobdellidae	+			+	
		Glossiphonidae					+
GASTEROPODES	Basommatophores	Lymnaeidae	+			+	+
		Physidae				+	
		Viviparidae		+			
	Mesogasteropodes	Hydrobiidae	+		+	+	+
INSECTES	Coléoptères	Dytiscidae	+	+	+	+	+
		Elmidae			+		
		Gyrinidae					+
		Haliplidae				+	
		Hydrophilidae	+	+	+	+	+
	Diptères	Ceratopogonidae				+	+
		Chironomidae	+	+	+	+	+
		Culicidae			+		
		Syrphidae	+				
		Tabanidae		+	+		
		Tanypodinae	+				
	Ephéméroptères	Amelitidae		+			
		Caenidae			+		
		Baetidae	+				
		Siphonuridae		+			
	Trichoptères	Ecnomidae					+
	Lépidoptères	Pyrilidae			+		
	Planipennes	Sisyridae	+				
	Hétéroptères	Belostomidae	+		+	+	+
		Corixidae	+	+			+
		Naucoridae			+		
		Nepidae	+		+	+	+
		Notonectidae		+			+
	Odonates	Aeshnidae	+			+	
		Calopterygidae					+
		Coenagriidae	+	+			
		cordulegasteridae	+	+	+		+
		Cordulidae		+			
		Gomphidae	+				
		Libellulidae			+	+	+
4 Classes	11 Ordres	36 Familles	33	19	19	18	22

Tor: Torla; Kor: Korokara; Mamb: Mambiadougou; Noum: Noumouso; Samb: Sambakaha

La Fig. 3 montre que les insectes représentent la classe taxonomique qui a le plus grand nombre de famille (soit 83 % des familles présentes) suivi des gastéropodes 11%. Les achats sont très faiblement représentées avec 6%.

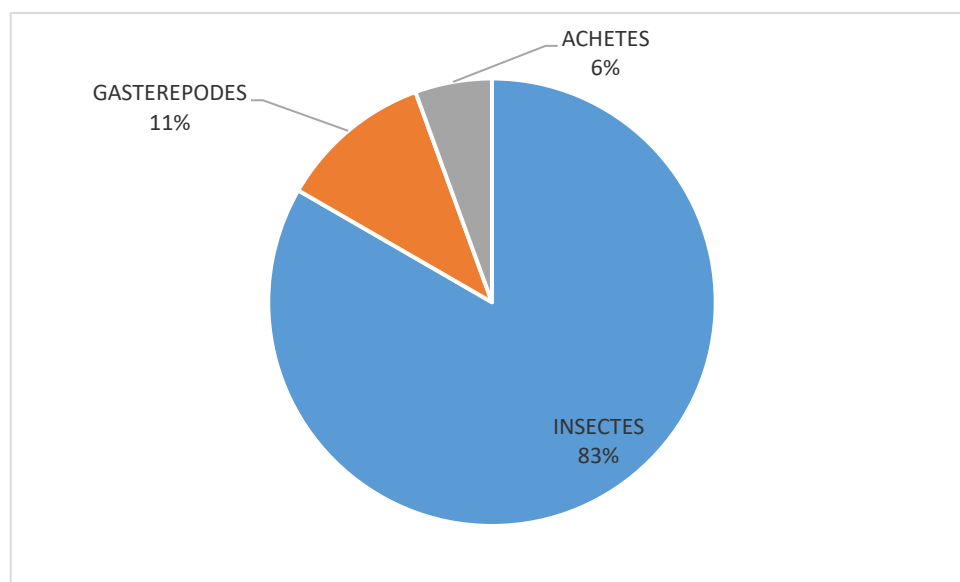


Fig. 3. *Fig. 3: Pourcentage des classes des différentes familles présentes au Nord*

3.3 EVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DES PETITS BARRAGES

3.3.1 POURCENTAGES DE TAXON EPT DU CENTRE

Le pourcentage de taxon EPT sont inférieurs à 50% dans tous les stations du Centre. Le tableau 5 indique les pourcentage des familles EPT les stations du Centre.

Tableau 5. *Valeurs des pourcentages de taxon EPT des stations échantillonnées au Centre*

STATIONS	Allomambo	Kongobo	Raviart	Centre
Pourcentage de taxon EPT	35,89%	1,17%	1,95%	7,67%

3.3.2 VALEURS DES SCORES MOYENS PAR TAXON DES STATIONS DU CENTRE

Les scores moyens par taxon obtenu dans chaque station sont compris entre 4 et 5. Le score moyen plus élevé (4,87) a été obtenue à la station Raviart lac, suivi de la station Kongobo (4,81) et la plus faible (4,80) à la station Allomambo. Le Tableau 5 montre les différentes valeurs du score moyen des stations du Centre.

Tableau 6. *Valeurs du score moyen par taxon des stations échantillonnées au Centre*

STATIONS	Valeurs du score moyen par taxon	Qualité de l'eau	Degré de pollution	Usage de l'eau
Centre	4,80	Moyenne	Pollution modérée probable	Les usages récréatifs occasionnels sont possibles, mais la baignade est interdite, la production de l'eau portable est possible. La reproduction de certain poisson peut être aléatoire
Allomambo	4,80	Moyenne	Pollution modérée probable	
Kongobo	4,81	Moyenne	Pollution modérée probable	
Raviart	4,87	Moyenne	Pollution modérée probable	

3.3.3 POURCENTAGES DE TAXON EPT DU NORD

Les pourcentage de taxon EPT sont inférieurs à 50%, dans tous les stations du Nord. Le tableau 6 indique les du pourcentage de taxon EPT les stations du Nord.

Tableau 7. Valeurs des pourcentages de taxon EPT des stations échantillonnées au Nord

STATIONS	Tor	Kor	Mamb	Noum	Samb	Nord
Pourcentage de taxon EPT (%)	10,30	1,70	0,40	0,00	0,40	1,90

Tor: Torla; Kor: Korokara; Mamb: Mambiadougou; Noum: Noumouso; Samb: Sambakaha

3.3.4 VALEURS DES SCORES MOYENS PAR TAXON DES STATIONS DU NORD

Les scores moyens par taxon obtenu dans les stations Korokara et Sambakaha sont compris entre 5 et 6. Le score moyen obtenue à la station Korokara est 5,90 et le score moyen de la station Sambaka est (5,00). La valeur du score moyen de l'ensemble des stations du Nord est 5,46 (**Tableau 7**). Dans les stations Torla, Mambiadougou, Noumouso les scores moyens sont respectivement 4,92; 4,58; 4,20. Tous ces scores moyens sont compris entre 4 et 5.

Tableau 8. Valeurs du score moyen par taxon des stations échantillonnées au Nord

STATIONS	Valeurs du score moyen par taxon	Qualité de l'eau	Degrée de pollution	Usage de l'eau
Nord	5,46	Bonne	Pollution faible	Acceptable pour tous les usages, les eaux sont facilement transformables en eau potable, elle permet la vie piscicole et la reproduction des poissons
Korokara	5,90	Bonne	Pollution faible	
Sambakaha	5,00	Bonne	Pollution faible	
Torla	4,92	Moyenne	Pollution modérée probable	Les usages récréatifs occasionnels sont possibles, mais la baignade est interdite, la production de l'eau potable est possible. La reproduction de certain poisson peut être aléatoire
Mambiadougou	4,58	Moyenne	Pollution modérée probable	
Noumouso	4,20	Moyenne	Pollution modérée probable	

4 DISCUSSION

Les répartitions des spécimens du Centre en cinq (05) classes (Achètes, Pélécytopodes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 10 ordres, 35 familles et du Nord en trois 03 classes (Achètes, Pélécytopodes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 11 ordres, 36 familles correspondent en général à celle des eaux d'Afrique Occidentale ([6]; [26]). Parmi les différentes classes recensées dans les stations du Centre et Nord, les insectes constituent le groupe taxonomique le plus abondant et le plus diversifié. En effet, les insectes dominent majoritairement les macroinvertébrés d'eau douce en raison de la diversité d'espèces qu'ils renferment et également de leurs larves qui sont pour la plupart exclusivement aquatiques ([27]). La plus grande diversité familiale dans les stations Torla et Raviart serait due à la présence d'une abondante végétation aquatique et aussi probablement à la nature du fond qui créent de nombreux micro-habitats (secteurs à granulométrie fine, à granulométrie grossière, à macrophytes immergés et à débris végétaux) susceptibles d'accueillir les macroinvertébrés aquatiques ([28]). Les valeurs du pourcentage de taxon EPT dans les stations du Centre comme au Nord sont inférieures à 50%. De ce fait, peuplement des macroinvertébrés aquatiques serait sous la pression des activités anthropiques ([19]).

La qualité de l'eau du Centre est moyenne [ASPT=4,80 (pollution modérée probable)]. En effet, la zone Centre présente un très faible pourcentage de taxon EPT (7,67%) inférieur à 50%, d'où le peuplement des macroinvertébrés aquatiques du Centre est très fortement impacté par les activités anthropiques ([19]). Les stations Allomambo (ASPT=4,80); Kongobo (ASPT=4,81) et Raviart (ASPT=4,87) présentent une pollution modérée probable d'où la qualité de l'eau moyenne. Cette qualité d'eau dans les stations d'Allomambo, Kongobo et Raviart serait liée aux activités anthropiques telles que la pêche, prise de l'eau, lessive et baignade. Or, la baignade est interdite à une qualité d'eau moyenne. De ce fait, la pollution serait très accentuée et l'eau serait de très mauvaise qualité, inapte pour tout usage. Par ailleurs, l'indice ASPT a révélé que la qualité des eaux dans la zone Nord sont, en général, bonnes [la pollution est faible (ASPT= 5,46)]. Cependant, le peuplement des macroinvertébrés aquatiques de la zone Nord serait influencé par les activités anthropiques ([19]). car le pourcentage de taxon proche de 40%. Dans la station Torla, la qualité de l'eau est moyenne (ASPT= 4,92), mais le % EPT est presque nul (0,10 %). L'absence

des taxons EPT indiquerait que la station Torla est soumise aux pressions anthropiques telles que l'agriculture sur les versants, lessives et baignades. En effet, ces espèces ne supportent pas les eaux polluées car elles sont sensibles à la pollution organique ([29]). A cette allure, la qualité de l'eau de la station Torla se dégraderait d'avantage. Dans la station Korokara, la qualité de l'eau est bonne [la pollution est faible (ASPT= 4,92)] mais il existe des perturbations écologiques causés par les prises de l'eau, lessive et baignade. Certes, la qualité de l'eau serait acceptable pour tous usages mais si, les usages ne sont pas contrôlés cela pourraient diminuer sa qualité. En effet, la quasi-absence des taxons sensibles (%EPT=1,7) pourrait expliquer cet état de fait. Selon la référence ([30]), lorsque la qualité de l'eau n'est pas bonne, les taxons sensibles sont absents. Les stations Mambiadougou et Noumousso ont une qualité de l'eau moyenne avec des valeurs d'ASPT respectivement égales à 4,58 et 4,20. Ce constat, dans les stations Mambiadougou et Noumousso, serait due aux activités de Pêche, lessive et baignade qui se pratiquent intensément. Cependant, si ces activités ne sont pas stoppées, la pollution serait très forte et l'eau serait inapte pour tout usage. A Sambakaha, la qualité de l'eau est bonne [pollution faible (ASPT=5,00)] car la station Sambakaha est moins impactée par les activités anthropiques (les prises d'eau, lessive et baignade) qui devrait être contrôlées.

5 CONCLUSION

La présente étude a concerné les petits barrages du Nord et Centre de la Côte d'Ivoire et leur faune de macroinvertébrés aquatiques. Elle a permis de déterminer la qualité de l'eau à partir de l'analyse des macroinvertébrés aquatiques. Au total, 35 familles réparties dans (05) classes taxinomiques (Achètes, Pélécytopodes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 10 ordres au Centre et 36 familles scindées en trois (03) classes (Achètes, Pélécytopodes, Gastéropodes, Oligochètes et Insectes), 11 ordres au Nord. La classe la plus représentée en diversité familiale est celle des Insectes au Nord comme au Centre. La richesse taxinomique a révélé que les stations Torla (36) et Raviart (31) ont les plus grands nombres de famille recensés. Les valeurs du score moyen par taxon (ASPT) indiquent que les stations Korokara et Sambakaha (Nord) ont une bonne qualité d'eau tandis que les stations Allomambo, Raviart, Kongobo (Centre); Torla et Noumousso (Nord) ont une qualité moyenne de l'eau. Par ailleurs, le pourcentage de taxon EPT a montré que les stations du Nord et Centre de la Côte d'Ivoire sont impactées par des activités anthropiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité de l'UFR Biosciences de l'Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire) pour leur contribution à la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] Aka-Koffi M, Zooplancton des petits lacs de barrage du Nord et du Centre de la Côte d'Ivoire: communautés, biomasses, relations trophiques et impact de la prédation par les larves de Chaoborus et de poissons. Thèse unique, Université d'Abobo-Adjamé, pp. 270, 2003.
- [2] Da Costa K. S, Tito de Morais L et Traoré K, Potentialités halieutiques des petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire, dans: Note descriptive, CNRA, Bouaké, p.7, 2004.
- [3] Gourdin F, Cecchi P, Corbin D, Étienne J, Séguis L. et Casenave A. Localisation des petits barrages et caractérisation des bassins par télédétection In: L'eau en partage: Les petits barrages de Côte d'Ivoire. Marseille: IRD Edition, 2007.
- [4] R. Labbo, J. C. Ernould, A. Djibrilla, A. Sidiki et J. P. Chippaux, "Transmission de Schistosoma haematobium dans la ville de Niamey, " Niger, Dans: Santé et urbanisation en Afrique. Bulletin de la Société de pathologie Exotique vol 96, no 3, pp. 178-182, 2003.
- [5] Alhou B, Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger, Thèse de doctorat, Facultés Universitaires Notre-Dame de la paix Namur, Faculté des Sciences, Belgique, pp. 199, 2007.
- [6] D. Diomande, Y.K. Bony, E.O. Edia, K.F. Konan et G. Gourene, "Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest), " European Journal of Scientific Research, vol 35, no 3, pp. 368-377, 2009.
- [7] A. Ben moussa, A. Chahlaoui, E. Rour et M. Chahboune, "Diversité taxinomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane (Maroc) ", Journal of Materials and Environmental Science, vol 5, no 1, pp. 183-198, 2014.
- [8] R.M.A. Warwick, "New method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities". Marine Biology, vol 92, pp. 557-562, 1986.
- [9] Cecchini M, 2020. [Online] disponible: www.climatetvoyage.com.
- [10] Goula B.T.A., Savane I., Konan B., Fadika V. & Kouadio G. B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). Vertigo, no 1, pp.1-12.
- [11] Kouassi A. M., 2007. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat unique, Université de Cocody, 210 p.
- [12] S. Sanogo S. et T.J.A. Kabre, "Dynamique de structuration spatio-temporelle des populations de familles de 43183 International Journal of Development Research, vol 11, no 01, pp. 43173-43184, 2021, Dans: un continuum lac de barrage effluent-fleuve issu de périmètre irrigué. Bassin de la Volta (Burkina Faso). Journal of Applied Biosciences, vol 78, pp. 6630-6645, 2014.

- [13] AFNOR, Qualité Ecologique des Milieux Aquatiques. Qualité de l'Eau. Prélèvement des Macroinvertébrés Aquatiques en Rivières Peu Profondes. Association Française de Normalisation, Norme expérimentale T 90-333: Paris, 2009.
- [14] Durand J. R. et Lévêque C, Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahelo- soudanienne (Tome 1). Paris, France: ORSTOM, pp. 1-390, 1980.
- [15] Dejoux C., Elouard J. M., Forge P. et Maslin J. L, Catalogue Iconographique des Insectes Aquatiques de Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM, pp. 178, 1981.
- [16] Moisan J, Guide d'identification des principaux macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec- Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, Canada, pp. 82, 2010.
- [17] Tachet H., Richoux P., Bourneau M. et Usseglio-Polatera P, Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. Editions CNRS, Paris, France, pp.587, 2010.
- [18] Bode R. W., Novak M. A., Abele L. E., Heitzman D. L. et Smith A. J, Quality Assurance Work Plan for Biological Stream Monitoring in New York State, Albany (New York), Stream Biomonitoring Unit Bureau of Water Assessment and Management Division of Water, NYS Department of Environmental Conservation, pp. 41, 2002.
- [19] Bacchi, Inventaires macrobenthiques sur les rivières du parc naturel du haut jura. Rapport de Gestion des cours d'eau et des zones humides du haut jura, pp. 115, 2012.
- [20] P. Armitage, P. D. Moss, J. Wright et M. Furse, "The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water" Water Research, vol 17, pp. 333-347, 1983.
- [21] Gnohossou M.P, La faune benthique d'une lagune ouest africaine (le lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variations Temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, pp. 184, 2006.
- [22] Tamiru S.M, Assessment of the Impact of Anthropogenic Activities on Water Quality, Biodiversity and Livelihood in Lake Tana, Northwestern Ethiopia. Doctorate in environmental science, pp. 375, 2018.
- [23] Mandaville S. M., 2002.Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. New York State Department of Environmental Conservation. <http://chebucto.ca/Science /SWCS/ SWCS.html>.
- [24] Mason, Biology of Freshwater Pollution 4th ed. New York, NY, USA, Prentice Hall, 2002.
- [25] Environnement en Poitou-Charente, L'eau. Observatoire régional de l'environnement, Edition 2015.
- [26] A.Sarr, R. Kinzelbach et M Diouf, "Diversité spécifique et écologie des mollusques continentaux de la basse vallée du Ferlo (Senegal) ", MalaCo 7, pp. 383-390, 2011.
- [27] Tachet H., Bournaud M. et Richoux P, Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. CNRS Editions, Paris, France, pp. 587, 2003.
- [28] Fontoura et De Pauw, "Préférence pour le microhabitat du macrobenthos des cours d'eau et son importance dans l'évaluation de la qualité d'eau", SIL Proceeding 1922-2010, vol 25, no 3, pp. 1036-1940, 1994.
- [29] J.C. Micha et J.L. Noiset, "Evaluation biologique de la pollution des ruisseaux et rivières par les invertébrés aquatiques", Probio-revue, vol 5, no 1, pp. 143, 1982.
- [30] Agence Bassin Hydrologique, Les chiers de N°12, Qualité des eaux superficielle dans les bassins du kebir- Rhumel, de la Seybouse et le Mejarda-Mellegue 2004-2007, Agence de bassin hydrobiologique Contantinoise-Seybouse-Mellegue, Constantine, 2009.

Apport de l'électrophorèse des protéines sériques dans le diagnostic de la maladie de Gaucher: Etude de 8 cas diagnostiqués à l'Hôpital d'enfant Abderrahim Elharouchi, CHU Ibn Rochd Casablanca

[Contribution of serum protein electrophoresis in the diagnosis of Gaucher disease: Study of 8 cases diagnosed at Abderrahim Elharouchi Children's Hospital, CHU Ibn Rochd Casablanca]

Morjan Asmaa¹⁻², I. Chahid²⁻³, S. Ferchichi⁴, N. Kamal¹⁻², and A. Abkari²⁻³

¹Laboratoire de biochimie, CHU Ibn Rochd de Casablanca, Morocco

²Laboratoire d'Immunologie Clinique et d'Immuno-Allergie (LICIA), Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

³Unité de Neurologie Pédiatrique, Service de Pédiatrie III, Hôpital mère enfant Abderrahim Harouchi, CHU Ibn Rochd, Morocco

⁴Laboratoire biochimie hôpital Farhat Hached, Tunisia

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

ABSTRACT: Gaucher disease is an autosomal recessive genetic metabolic disorder due to an inherited disorder of metabolism, resulting from glucocerebrosidase deficiency, resulting in the deposition of glucocerebroside and its components. The clinical symptoms are different depending on the type of the disease, but it is usually hepatosplenomegaly or damage to the central nervous system.

Laboratory diagnosis can use routine analyzes such as ferritin, HDL, vitamin b12, folate, serum iron, but also specialized ones such as serum protein electrophoresis as well as immunofixation for the typing of immunoglobulins.

Through this work, we will shed light on the interest of serum protein electrophoresis in the biological orientation of the biology diagnosis of Gaucher disease, and this through case illustrations.

Confirmatory laboratory diagnosis is based on DNA analysis and / or enzymatic analysis of white blood cells, and by demonstrating a decrease in β -glucosidase activity...

KEYWORDS: Left-handed, electrophoresis, hepatomegaly, splenomegaly, enzymatic activity.

RESUME: La maladie de Gaucher est une affection métabolique génétique à transmission autosomique récessive due à un trouble héréditaire du métabolisme, résultant d'un déficit en glucocérébrosidase, entraînant le dépôt de glucocérébroside et de ses composants. La symptomatologie clinique est différente selon le type de la maladie mais il s'agit généralement d'une hépatosplénomégalie ou d'une atteinte du système nerveux central.

Le diagnostic biologique peut avoir recours à des analyses de routines telles que la Ferritine, HDL, vitamine b12, folates, le fer sérique mais aussi spécialisées telle l'électrophorèse des protéines sériques ainsi que l'immunofixation pour le typage des immunoglobulines.

A travers le présent travail, nous mettrons la lumière sur l'intérêt de l'électrophorèse des protéines sériques dans l'orientation biologique du diagnostic biologique de la maladie de Gaucher, et ceci par des illustrations de cas.

Le diagnostic biologique de confirmation repose sur l'analyse de l'ADN et/ou l'analyse enzymatique des globules blancs, et par la mise en évidence de la diminution de l'activité de la β -glucosidase....

MOTS-CLEFS: Gaucher, électrophorèse, hépatomégalie, splénomégalie, activité enzymatique.

1 INTRODUCTION

La maladie de Gaucher est une affection génétique à transmission autosomique récessive due à un déficit en une enzyme lysosomale, la β -glucocérébrosidase.

Les manifestations cliniques sont diverses, essentiellement hématologiques (splénomégalie, cytopénies...) et osseuses (ostéonécrose, ostéoporose).

Trois types de la maladie de Gaucher ont été décrits. (1), on trouve; le type I dans 95 %, le type II dans moins de 1 % et le type III dans moins de 5%.

2 OBSERVATIONS

Nous rapportons dans ce travail une série de 8 patients diagnostiqués Gaucher type 1 à l'unité des maladies métaboliques de l'hôpital d'enfants Abderrahim el Harouchi du CHU Ibn Rochd de Casablanca. La tranche d'âge était incluse entre 2 et 19 ans.

Les huit patients ont présenté tous une hépatomégalie, une splénomégalie, une thrombopénie, une hyperferritinémie et une hyperprotidémie.

Chez tous les patients, l'électrophorèse des protéines sériques a objectivé systématiquement une augmentation polyclonale importante dans la zone des gammaglobulines et une bande étroite d'allure monoclonale migrant dans la zone des gammaglobulines chez un seul patient (incidence = 12.5 %).

L'électrophorèse des protéines sériques a été réalisée au service de biochimie, CHU Ibn Rochd de Casablanca par technique capillaire

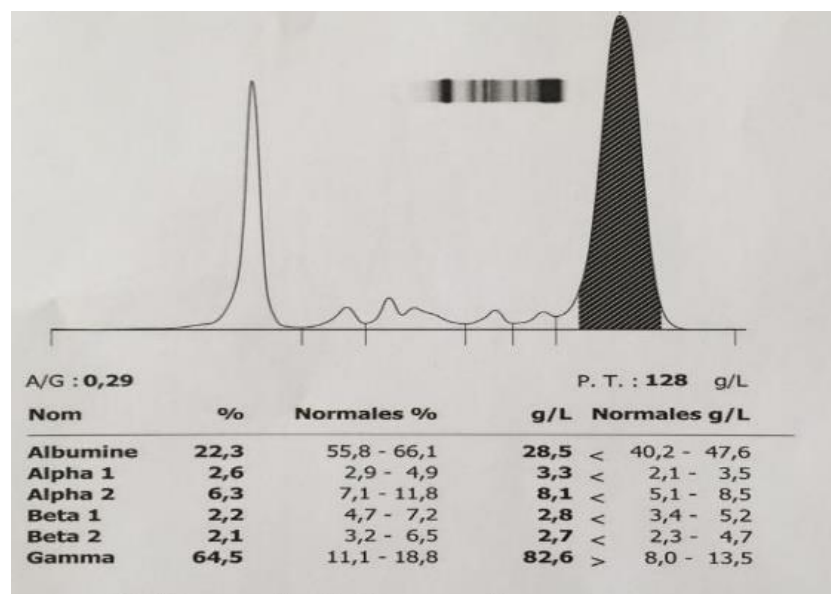


Fig. 1. Patient 1: Hypergammaglobulinémie importante d'allure polyclonale associée à une hyperprotidémie et une hypoalbuminémie importante, à interpréter en fonction du contexte clinique et biologique

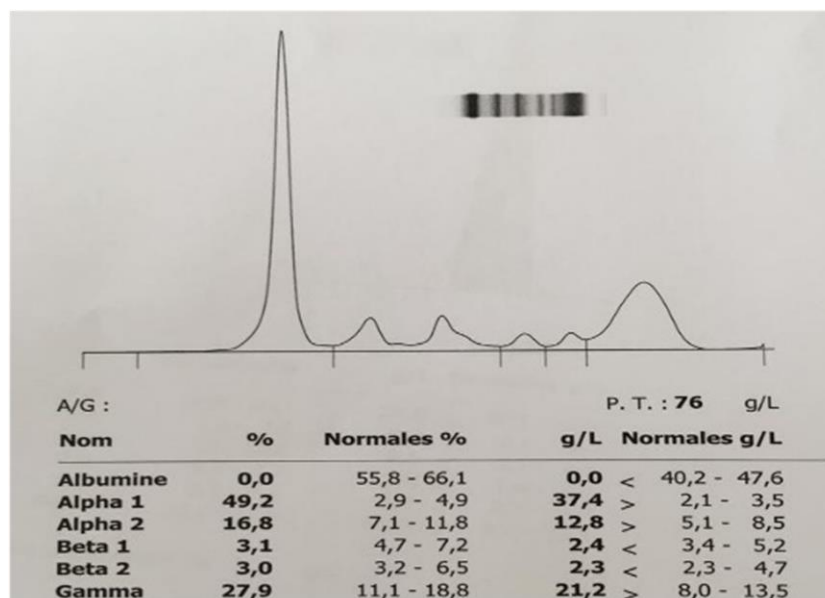


Fig. 2. Patient 2: Hypergammaglobulinémie importante d'allure polyclonale, à interpreter en fonction du contexte clinique et biologique

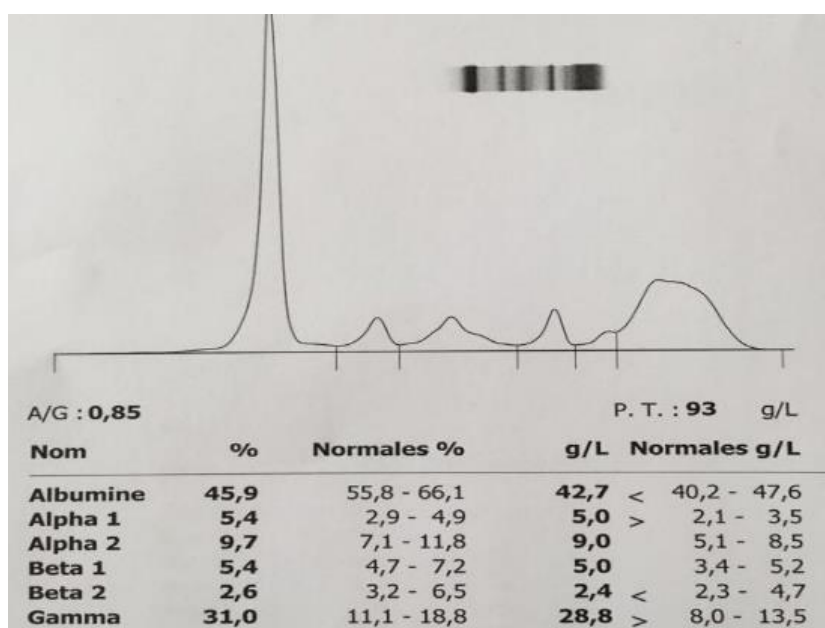


Fig. 3. Patient 3: Hypergammaglobulinémie importante d'allure polyclonale, à interpreter en fonction du contexte clinique et biologique

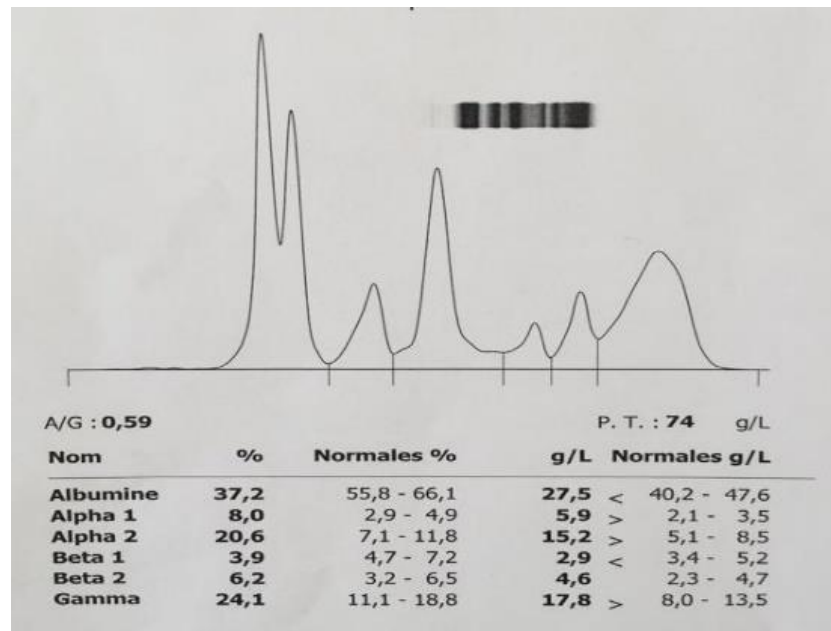


Fig. 4. Patient 4: Hypergammaglobulinémie modérée d'allure polyclonale, associée à un syndrome inflammatoire important, une bisalbuminémie et une hypoalbuminémie importante à interpréter en fonction du contexte clinique et biologique

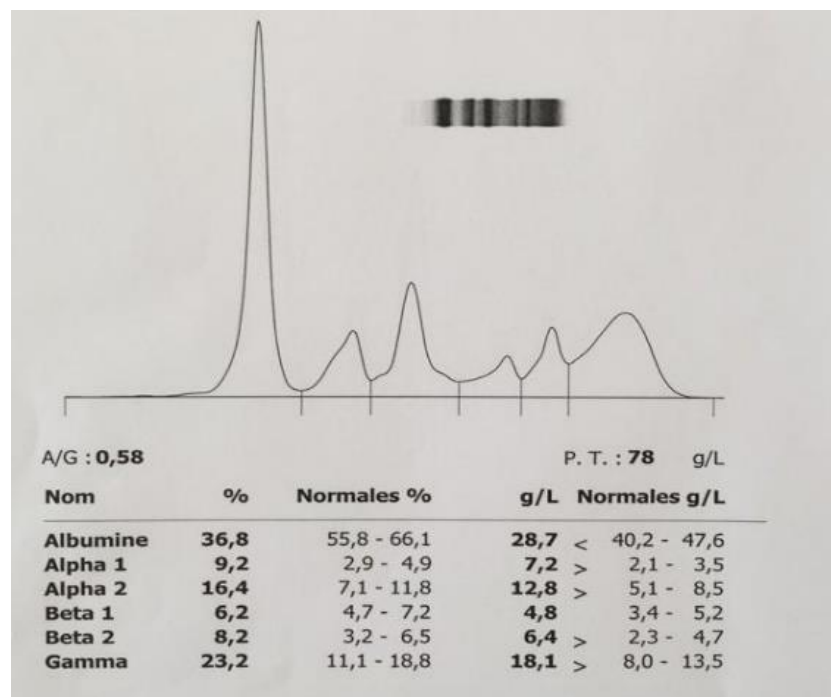


Fig. 5. Patient 5: Hypergammaglobulinémie modérée d'allure polyclonale, associée à un syndrome inflammatoire important, une augmentation modérée de la fraction beta-2Globulines et une hypoalbuminémie importante à interpréter en fonction du contexte clinique et biologique.

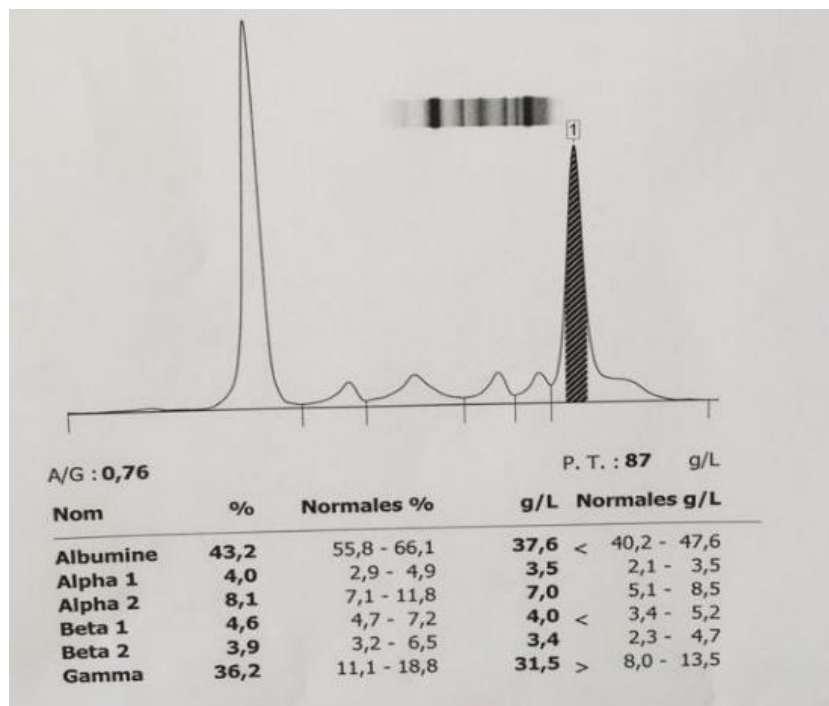


Fig. 6. Patient 6: Hypergammaglobulinémie importante d'allure polyclonale, à interpreter en fonction du contexte clinique et biologique

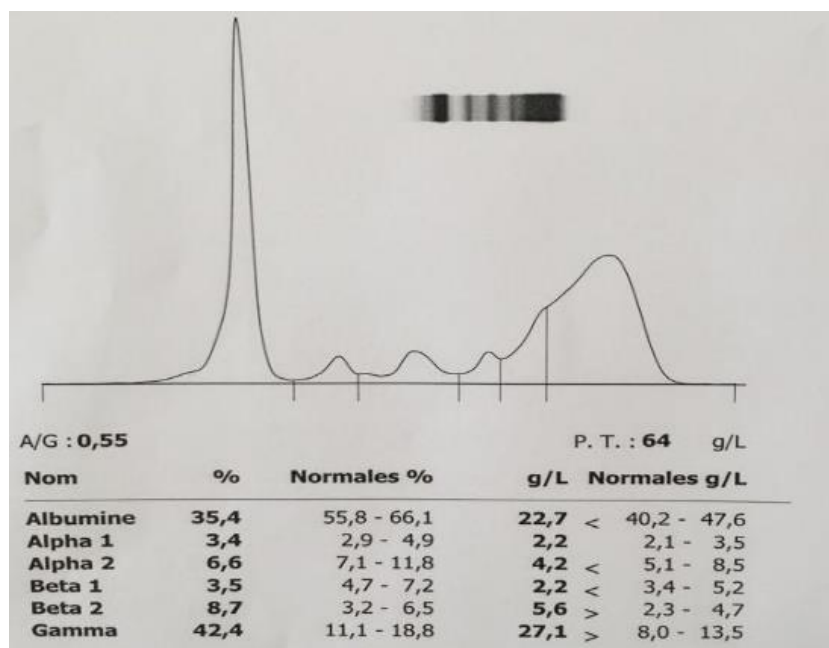


Fig. 7. Patient 7: Hypergammaglobulinémie modérée d'allure polyclonale, associée à une augmentation modérée de la fraction beta-2Globulines et une hypoalbuminémie importante à interpreter en fonction du contexte clinique et biologique.

Pour 6 patients, le diagnostic biologique de confirmation de la maladie de Gaucher était basé sur la mise en évidence de la diminution de l'activité de la β -Glucosidase par Spectrofluorimètre avec une calibration par le 4-methylumbelliférone au Laboratoire biochimie hôpital Farhat Hached, Tunisie

Deux cas ont été diagnostiqués par la détermination de l'activité de la β -Glucosidase acide dans les leucocytes par fluorimétrie, les résultats étaient comme suivis:

Patient	β -Glucosidase acide + H ₂ O (μ kat/kg de protéine)	β - Glucosidaseacide+AcTaurocholique (μ kat/kg de protéine)	Hexosaminidase Totales (μ kat/kg de protéine)	Rapport β - Glucosidaseacide+AcTaurocholique/ Hexosaminidase Totales $\times 100$
1	0.23	1.51	321	0.47
2	0.13	0.59	310	0.19

En comparaison au témoin du jour, l'activité de la β -Glucosidase acide dans les leucocytes était effondrée chez les deux malades ce qui est en faveur de la maladie de Gaucher. Le diagnostic a été confirmé par la détection de la présence des mutations hétérozygotes du gène GBA dans un centre de référence.

3 DISCUSSION

La maladie de Gaucher de type I est la forme la plus commune de la maladie. Cette forme n'affecte généralement pas le cerveau de l'individu ni la moelle épinière: la maladie de Gaucher non-neuropathique. Les symptômes qui y sont associés peuvent être bénins à sévères et peuvent apparaître tout au long de la vie du sujet (de l'enfance à l'âge adulte).

Les signes cliniques les plus significatifs sont: l'élargissement du foie et de la rate (hépto-splénomégalie), une déficience du taux de globules rouges (anémie), une tendance aux ecchymoses en conséquence d'une diminution de plaquettes circulantes (thrombocytopénie), des anomalies pulmonaires, des problèmes osseux (douleurs, fractures, etc.) ou encore de l'arthrite.

La maladie de Gaucher de type II et III sont des formes neuronopathiques dont le système nerveux central est affecté.

Au-delà des symptômes associés à la première forme de la maladie, des mouvements anormaux au niveau des yeux peuvent être significatifs, ou encore, des crises neurologiques ou des atteintes cérébrales peuvent être visibles.

Néanmoins, ce qui différencie le type 2 du type 3 est l'étendue de la maladie. En effet, les atteintes neurologiques associées au type 2 sont plus rapides que pour la troisième forme.

Les signes cliniques qui accompagne cette maladie sont généralement la splénomégalie l'hépatomégalie et les anomalies biologiques.

La splénomégalie est souvent le premier point d'appel de cette pathologie. Elle est présente chez 87% des patients, Peut atteindre 5 à 20 fois le volume normal, elle est asymptomatique ou responsable d'une distension abdominale douloureuse.

L'hypersplénisme entraîne une thrombopénie (épistaxis, gingivorragies, ecchymoses, hématomes) et une anémie modérée il peut se compliquer d'infarctus spléniques et des lésions de fibroses ou nodules peuvent apparaître.

L'hépatomégalie quant à elle, présente chez plus de 50% des malades, peut atteindre jusqu'à quatre fois le volume normal elle est Homogène, souvent des lithiases biliaires sont visibles à l'échographie. Elle peut se compliquer de fibrose, cirrhose, voire d'une hypertension portale.

Les anomalies biologiques sont généralement représentées par une hyperferritinémie, de l'ordre de 500 à 2000 μ g/l, une sidérémie normale et un coefficient de saturation de la transferrine normale, une hypo-HDL et une diminution des folates ou de la vitamine B12.

Le diagnostic de certitude repose sur la mise en évidence d'une activité enzymatique déficitaire de la glucocérébrosidase (ou bêta glucosidase acide ou glucosylcéramidase) dont la valeur est inférieure à 20-25 %. cette mesure doit être réalisée dans un laboratoire spécialisé. Elle est habituellement réalisée dans le sang du patient ou dans le cadre d'un diagnostic prénatal, sur leucocytes totaux ou mieux sur cellules mononuclées, à l'aide de substrats synthétiques.

En cas de discordance clinico-biologique, il est nécessaire de réaliser une biopsie de peau pour culture de fibroblastes sur lesquels sera vérifiée l'activité de la glucocérébrosidase. (5)

Un exceptionnel déficit en saposine C doit être recherché par les laboratoires suscités quand l'activité enzymatique est normale et que la présentation clinique est évocatrice. (5)

Chez tous nos patients, l'électrophorèse des protéines sériques a objectivé systématiquement une augmentation polyclonale importante des gammaglobulines avec une bande étroite d'allure monoclonale migrant dans la zone des gammaglobulines chez un seul patient.

Plusieurs études ont montré la présence d'une incidence plus élevée de gammopathies monoclonales au cours de la maladie de Gaucher, et une surreprésentation des gammopathies monoclonales à IgA. Ce type d'immunoglobuline à localisation muqueuse préférentielle pose une question dans leur interaction avec les cellules pathologiques de Gaucher, d'où l'intérêt de l'électrophorèse des protéines sériques et de l'hypergammaglobulinémie comme critère biologique orientant le diagnostic de la maladie de Gaucher.

D'autres études ont confirmé l'existence au cours de la maladie de Gaucher plus d'auto-anticorps que dans la population générale, sans qu'il y ait cependant plus de maladies auto-immunes.

4 CONCLUSION

Cette étude nous a permis de mettre le point sur la place de l'électrophorèse des protéines sériques dans le diagnostic de la maladie de Gaucher, ainsi que sur l'intérêt de l'immunofixation pour le typage de l'immunoglobuline accompagnée.

L'incidence élevée d'Ig monoclonale chez cette population qui est de 12,5% par rapport à la population normale 1 % devrait faire poser la question sur la nécessité du suivi annuel du profil électrophorétique de ces patients.

REFERENCES

- [1] NIH. GENETICS HOME REFERENCE. 2016. Gaucher disease.
[En ligne]. <https://ghr.nlm.nih.gov/condition/gaucher-disease>. (Consulté le 11.06.2016).
- [2] NIH. NATIONAL HUMAN GENOME RESEARCH INSTITUTE. 2012. Learning About Gaucher Disease.
[En ligne]. <https://www.genome.gov/25521505/learning-about-gaucher-disease/>. (Consulté le 11.06.2016).
- [3] BELMATOUG. N., STIRNEMANN.J. 2012. Maladie de Gaucher.
[En ligne]. http://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?Lng=FR&Expert=355. (Consulté le 11.06.2016).
- [4] BELMATOUG.N., CAUBEL.I., STIRNEMANN.J. 2004. La maladie de Gaucher.
[En ligne]. <https://www.orpha.net/data/patho/FR/fr-gaucher.pdf>. (Consulté le 11.06.2016).
- [5] PNDS Maladie de Gaucher HAS / Service des affections de longue durée et accords conventionnels /Janvier 2007 16.
- [6] Stirnemann J et al. The French Gaucher'sdiseaseregistry: clinicalcharacteristics, complications and treatment of 562 patients. Orphanet J Rare Dis. 2012; 7: 77.
- [7] Kaplan P et al. The clinical and demographiccharacteristics of nonneuronopathic Gaucher disease in 887 children at diagnosis. Arch PediatrAdolesc Med. 2006; 160 (6): 603-8.
- [8] Charrow J et al. The Gaucher registry: demographics and diseasecharacteristics of 1698 patients with Gaucher disease. Arch Intern Med. 2000; 160 (18): 2835-43.
- [9] Pastores GM et al. Therapeutic goals in the treatment of Gaucher disease. SeminHematol. 2004; 41 (4 Suppl 5): 4-1.

Les cytopathies mitochondriales

[Mitochondrial diseases]

I. Chahid^{2,3}, A. Morjan^{1,2}, N. Kamal^{1,2}, and A. Abkari^{2,3}

¹Laboratoire de biochimie, CHU Ibn Rochd de Casablanca, Morocco

²Laboratoire d'Immunologie Clinique et d'Immuno-Allergie (LICIA), Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

³Unité de Neurologie Pédiatrique, Service de Pédiatrie III, Hôpital mère enfant Abderrahim Harouchi, CHU Ibn Rochd, Morocco

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

ABSTRACT: Mitochondrial diseases, are the most frequent hereditary diseases of metabolism. They are characterized by a dysfunction of the respiratory chain, which results in an energy deficit.

These are very heterogeneous diseases, with a very variable clinical presentation and often difficult diagnosis. They are due to the alteration of very diverse genes located either on mitochondrial DNA (mtDNA) or on the nuclear genome. Recent technological advances with exon sequencing have led to the discovery of many genes involved and to better understand the pathophysiological mechanisms of these diseases, which are essential for the development of specific treatments.

The diagnostic approach consists in recognizing the disease in front of the clinical presentation. For clinical practice, the diagnostic approach of mitochondrial cytopathies would be more easy if the practitioner keeps in mind the most evocative clinical pictures and if he provides proof of the mitochondrial anomaly by biochemical, radiological and histopathological explorations. Only the highlighting of the causative gene makes it possible to affirm the diagnosis of mitochondrial disease. Genetic diagnosis allows genetic counseling, in order to support the prognosis, particularly pejorative for early-onset forms.

KEYWORDS: Mitochondrial diseases, diagnosis, management.

RESUME: Les maladies mitochondriales, sont les plus fréquentes des maladies héréditaires du métabolisme. Elles sont caractérisées par un dysfonctionnement de la chaîne respiratoire, qui se traduit par un déficit énergétique.

Ce sont des maladies très hétérogènes, à présentation clinique très variable et de diagnostic souvent difficile. Elles sont dues à l'altération de gènes très divers localisés soit sur l'ADN mitochondrial (ADNmt), soit sur le génome nucléaire.

Les avancées technologiques récentes avec le séquençage de l'exon ont permis la découverte de nombreux gènes impliqués et de mieux comprendre les mécanismes physiopathologiques de ces maladies, qui sont indispensables au développement de traitements spécifiques.

La démarche diagnostique consiste à reconnaître la maladie devant la présentation clinique.

Pour la pratique clinique, l'approche diagnostique des cytopathies mitochondriales serait plus facile si le praticien garde à l'esprit les tableaux cliniques les plus évocateurs et s'il apporte la preuve de l'anomalie mitochondriale par des explorations biochimiques, radiologiques et histopathologie. Seule la mise en évidence du gène causal permet d'affirmer le diagnostic de maladie mitochondriale. Le diagnostic génétique, permet un conseil génétique, en vue d'étayer le pronostic, particulièrement péjoratif pour les formes à début précoce.

C'est dans ce but que nous passons en revue dans cette mise au point de façon schématique les associations cliniques et biologique les plus évocatrices de maladies mitochondriales ainsi que la prise en charge thérapeutique

MOTS-CLEFS: Cytopathies mitochondriales, diagnostic, prise en charge.

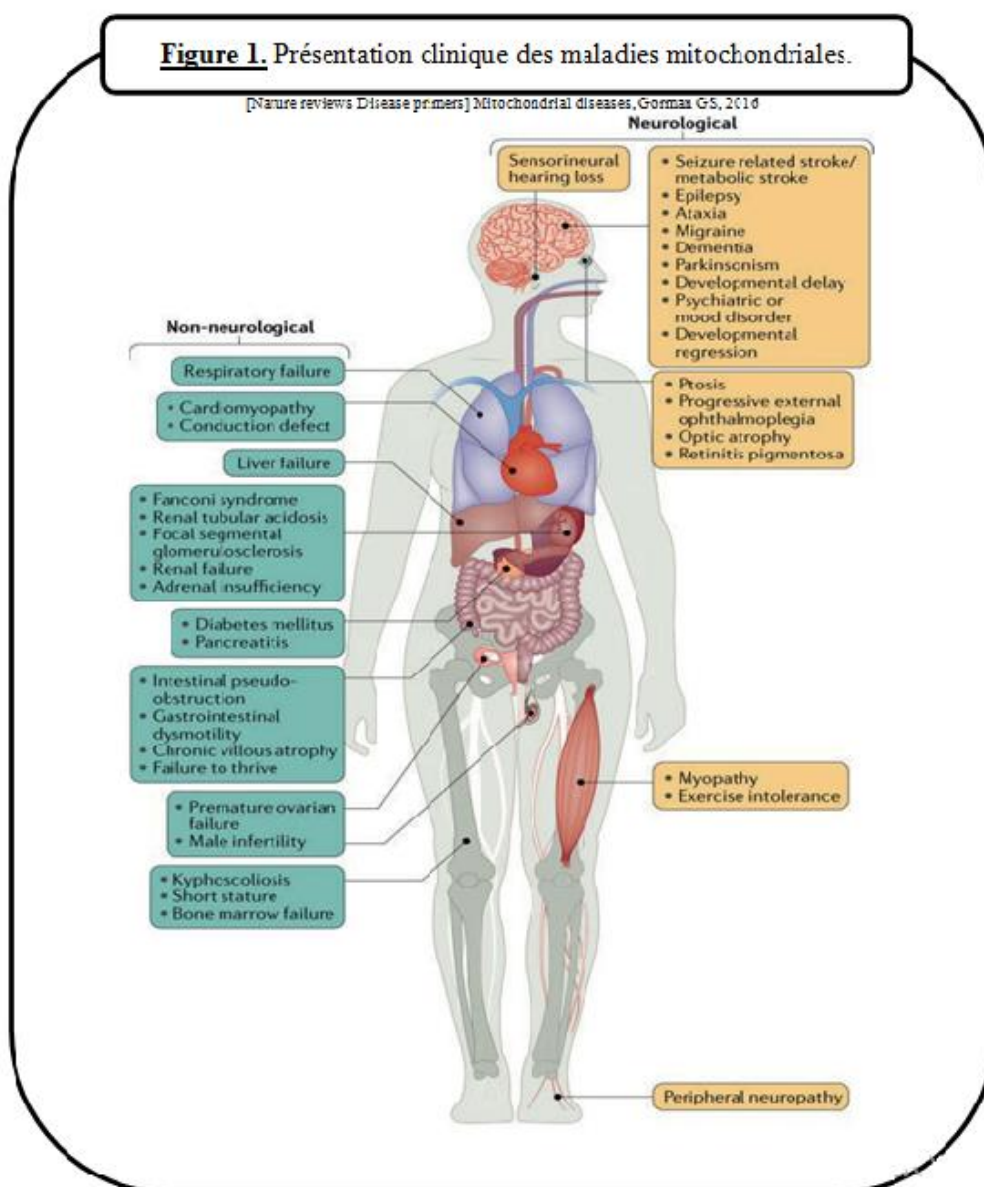
INTRODUCTION

Les maladies mitochondriales sont caractérisées par leur polymorphisme clinique d'une part elles peuvent atteindre de nombreux organes (Fig. 1) [1], d'autre part sont susceptibles de se révéler à toutes les périodes de la vie, de la période anténatale jusqu'à un âge avancé de la vie. Elles ne sont pas rares et sont les plus fréquentes des maladies métaboliques. Leur prévalence mondiale est estimée à 1 cas pour 5000 naissances vivantes. [1-2]

Elles résultent d'un dysfonctionnement de la chaîne des oxydations phosphorylantes (OXPHOS) à l'exclusion des déficits des autres voies métaboliques de la mitochondrie (bêta-oxydation, cycle de l'urée ou cycle de Krebs). [1-4]

Leur diagnostic est difficile et complexe, du fait de la grande hétérogénéité clinique et le grand nombre de gènes impliqués. La démarche diagnostique repose sur des examens d'orientation. Elle a été nettement améliorée par les progrès réalisés dans le domaine de la neuro-imagerie. La suspicion diagnostique est alors confirmée par des analyses spécifiques qui doivent être réalisées sur le tissu qui exprime le déficit. Seule la mise en évidence de l'anomalie génétique permet d'affirmer le diagnostic [1-5]

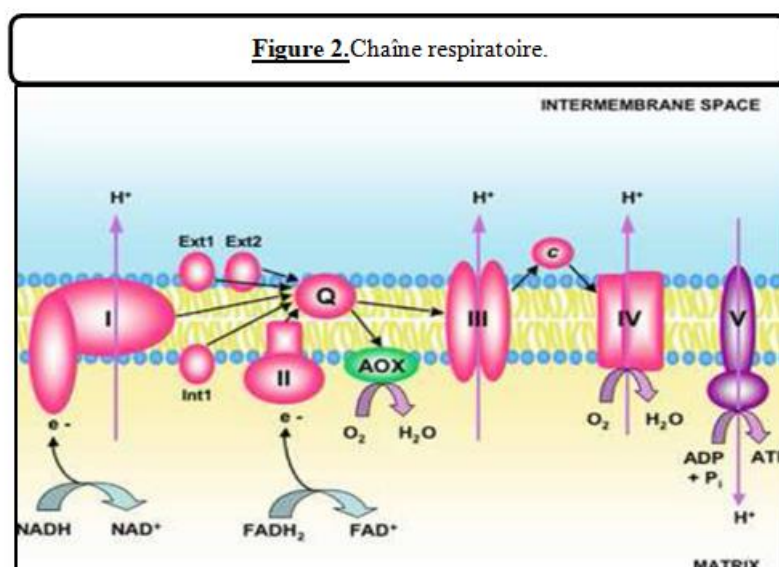
La prise en charge de ces maladies est symptomatique dans la majorité des cas, et leur pronostic reste péjoratif malgré les avancés diagnostiques et thérapeutiques.



RAPPEL PHYSIOPATHOLOGIQUE

La chaîne respiratoire mitochondriale permet de produire l'énergie de la cellule sous forme d'ATP grâce à la phosphorylation oxydative.

Elle est localisée dans la membrane interne mitochondriale. Elle se compose de cinq grands complexes multienzymatiques (CI à CV) qui transfèrent les électrons produits par le métabolisme intermédiaire jusqu'à l'oxygène avec formation d'eau. Ces réactions d'oxydoréduction s'accompagnent d'un transfert de protons de la matrice mitochondriale vers l'espace inter-membranaire, ce qui induit le potentiel de membrane mitochondrial indispensable au fonctionnement de l'ATP-synthase pour la production d'ATP. Ce potentiel de membrane est également essentiel à l'importation des protéines mitochondriales et du calcium. Toutes les cellules de l'organisme, à l'exception des érythrocytes, possèdent des mitochondries et donc une chaîne respiratoire leur assurant l'énergie dont elles ont besoin. Le corollaire est qu'en cas de dysfonctionnement de cette chaîne, tout tissu ou organe pourra être potentiellement affecté, en l'occurrence les tissus les plus énergie-dépendants: le système nerveux, les muscles squelettiques et cardiaques, le rein, les systèmes endocriniens, le foie. [4-10]



PRÉSENTATIONS CLINIQUES

Les maladies mitochondriales sont des affections à expression clinique très hétérogène caractérisée par une association dite illégitime de symptômes qui vont s'additionner sur un mode évolutif progressif. [1; 6-12]

Même s'il existe quelques formes mono symptomatiques limitées à un seul organe telle la Neuropathie Optique Héréditaire de Leber (NOHL), la majorité des patients présentent une atteinte multi-systémique [11-13].

Le plus souvent c'est ce caractère multi-systémique du tableau qui oriente vers une maladie métabolique, et a fortiori une maladie mitochondriale. En particulier l'existence d'associations d'atteintes d'organes n'ayant pas de lien embryologique ou fonctionnel est évocatrice [14-17]

Rarement certains signes sont directement évocateurs de maladie mitochondriale, à l'exemple des pseudo-accidents vasculaires qui font partie de la définition du syndrome MELAS « Mitochondrial Encephalomyopathy Lactic Acidosis and Stroke Like Episodes » [14], ainsi que de l'atteinte des ganglions de la base et du tronc cérébral dans le syndrome de Leigh [15], et l'atteinte des muscles oculomoteurs dans le cas des ophtalmoplégies chroniques [18].

La présentation clinique est dominée par l'atteinte du système nerveux (central et périphérique), suivie de l'atteinte musculaire (cardiaque et squelettique), et des organes sensoriels de la vue et de l'audition. Le tableau 1 résume les signes cliniques observés.

Tableau 1. Signes cliniques observés dans les maladies mitochondriales [6]

Neurologique	Hypotonie et grande acidose lactique néonatale - Encéphalomyopathie nécrosante subaiguë (début souvent avant 1 an) - Encéphalopathie épisodique, régression psychomotrice, retard mental, démence - Épilepsie, souvent pharmacorésistante, état de mal, myoclonies - Pseudo-accidents vasculaires - Syndrome extrapyramidal et mouvements anormaux - Myopathie, ptosis et/ou ophtalmoplégie externe, rhabdomyolyse, myalgie, fatigabilité - Ataxie cérébelleuse, neuropathie, dysautonomie, atteinte médullaire, migraine, etc.
Sensorielle	- Atrophie optique, rétinite pigmentaire, dystrophie maculaire - Hypoacousie
Cardiaque	Cardiomyopathie (plus souvent hypertrophique que dilatée), bloc de conduction
Digestive	Insuffisance hépatique ou hépatocellulaire (néonatale), stéatose, cirrhose - Insuffisance pancréatique exocrine - Vomissements, diarrhée, pseudo-obstruction intestinale chronique (à l'adolescence)
Rénale	Tubulopathie proximale (néonatale), néphropathie tubulo-interstitielle (plus rare)
Hématologique	Anémie sidéroblastique, thrombopénie, neutropénie
Endocrinienne	- Retard de croissance intra-utérin, retard staturo-pondéral - Diabète, hypoglycémie, hypoparathyroïdie, hyperaldostérionisme

L'âge de survenue de ces affections est variable mais on admet l'existence de 2 périodes d'apparition de la maladie: [1-5]

- Un premier pic pendant les 3 premières années de vie.
- Un deuxième pic sur une période beaucoup plus large s'étendant de la fin de l'adolescence à la quatrième décennie de vie;

Toutefois les maladies mitochondriales peuvent apparaître beaucoup plus tard en particulier l'ophtalmoplégie externe chronique progressive (CPEO) [18]. Elles sont en général progressives.

STRATÉGIE DIAGNOSTIQUE

Il n'existe pas d'arbre décisionnel unique pour l'ensemble des maladies mitochondriales. Le diagnostic est difficile en raison du grand nombre de manifestations cliniques possibles et repose sur un faisceau d'arguments parmi lesquels l'observation clinique est primordiale. Celle-ci conduira à la réalisation d'investigations métaboliques, biochimiques, histo-pathologiques et d'imagerie pour conforter cette suspicion diagnostique; enfin, la mise en évidence de l'altération génétique permettra d'affirmer le diagnostic de cytopathie mitochondriale. Il est important de noter que seule l'identification du gène responsable permet d'affirmer le diagnostic de maladie mitochondriale primitive. [19,20]

1 INVESTIGATIONS MÉTABOLIQUES

Elles visent à mettre en évidence l'altération de la fonction d'oxydo-réduction, respectivement dans le cytoplasme et les mitochondries. Elles mettent en évidence l'accumulation des substrats en amont de la chaîne des OXPHOS, ainsi une hyperlactatémie persistante ($>2,5\text{mM}$), une élévation du rapport lactate/pyruvate ($\text{L/P} > 20$) et du rapport des corps cétoniques 3hydroxybutyrate/acétoacétate ($3\text{OHB}/\text{AcAc} > 2$) font suspecter une maladie mitochondriale, en particulier en période néonatale.

Ces dosages sanguins doivent être réalisés au repos, répétés au cours de la journée, à jeun et en postprandial, afin de démasquer une hyperlactacidémie latente et/ou une hypercétonémie paradoxale. Une hyperlactatorachie est également évocatrice dans les formes neurologiques. La chromatographie des acides aminés sanguins peut révéler indirectement une hyperlactacidémie par élévation de l'alanine et de la proline et, occasionnellement, une hyperméthioninémie. Par ailleurs, de nombreuses situations peuvent empêcher la détection d'un déficit d'oxydoréduction dans le plasma: une tubulopathie proximale, un diabète sucré ou une atteinte de la chaîne respiratoire tissu-spécifique sans répercussion significative sur l'état d'oxydoréduction plasmatique.

L'absence de ces anomalies n'élimine pas le diagnostic et ne doit pas conduire à l'arrêt des explorations. En effet, un bilan d'extension systématique de tous les organes et tissus potentiellement impliqués doit être réalisé à la recherche d'autres atteintes associées: examen ophtalmologique, auditif, échographie cardiaque. [21-25]

Tableau 2. *Le bilan initial devant une maladie mitochondriale [1,7]*

Bilan métabolique	• Rapport d'oxydoréduction (L/P et 3OHB/AcAc) à jeun et en post-prandial • Lactaturie et lactatorachie • Chromatographie des acides aminés plasmatiques et urinaires • Chromatographie des acides organiques urinaires • Profil des acylcarnitines, carnitine libre et totale plasmatique et urinaire • Épreuve fonctionnelle (test de charge en glucose) rarement réalisée
Bilan d'extension	• Ophtalmologique: FO, ERG, PEV • Cardiaque: échographie, ECG • Hépatique: transaminases, protéines de la coagulation • Pancréatique: recherche de stéatorrhée, dosage de l'élastase fécale • Rénale: recherche de polyurie/polydipsie, glycosurie, pH urinaire, ionogramme sanguin et urinaire • Musculaire: dosage des CPK, EMG, testing musculaire, étude en spectro-IRM • Cérébrale: IRM cérébrale, spectro-IRM, EEG

2 IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM)

Les caractéristiques neuroradiologiques des maladies mitochondriales sont très variables. L'IRM est l'examen le plus performant en terme de sensibilité et de résolution pour identifier les atteintes encéphaliques. Les séquences IRM classiques apportent des informations structurales: anomalies bilatérales et symétriques de la substance grise et du tronc cérébral; des anomalies de la substance blanche une atrophie cérébrale et cérébelleuse; des calcifications cérébrales.

Les techniques d'imagerie plus récentes, comme les séquences en diffusion et la spectroscopie, amènent des données fonctionnelles et métaboliques supplémentaires. L'imagerie de diffusion et le coefficient apparent de diffusion (ADC) permettent de préciser la nature des hypersignaux en T2, orientant ainsi la démarche diagnostique. En effet, ces séquences permettent de différencier l'œdème vasogénique, fréquemment associé aux lésions mitochondriales, de l'œdème cytotoxique, observé dans les infarctus cérébraux.

La spectroscopie par résonance magnétique (spectro-IRM) est une méthode non invasive pour étudier le métabolisme énergétique du système nerveux central (SNC) ou d'un autre organe. Elle permet de mesurer une augmentation du lactate intracérébral, qui peut survenir alors que l'acide lactique périphérique peut être normal. Bien que ces anomalies ne soient pas spécifiques, la spectro-IRM est un outil à la fois pour le diagnostic des maladies mitochondriales et le suivi thérapeutique des essais. [26-30]

3 RECHERCHE D'ALTÉRATIONS MITOCHONDRIALES HISTOLOGIQUES

Cette recherche est essentiellement réalisée dans le muscle car il est très souvent impliqué dans les maladies mitochondriales même en absence de myopathie; il s'agit d'une prolifération anormale de mitochondries donnant un aspect caractéristique de «ragged red fibers» ou RRF (fibres rouges déshuées). Toutefois, il existe des résultats faussement positifs. À l'inverse, il est fréquent que l'histologie soit normale dans les déficits en complexes I et V et chez les enfants. Cette étude peut être associée, dans la mesure du possible, à des explorations enzymologiques sur le tissu atteint comprenant des études en polarographie [19,20, 31,32]

4 GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRE

Les maladies mitochondriales sont hétérogènes sur le plan génétique et tous les modes de transmission sont possibles: cas sporadiques, transmission maternelle, transmission autosomale (récessive ou dominante) et transmission liée à l'X.

Les investigations génétiques sont alors très particulières. Les recommandations du réseau français des laboratoires diagnostiques des maladies mitochondriales, sont d'analyser l'ADNmt en priorité, d'une part pour la fréquence de ses mutations responsables et d'autre part pour écarter son implication dans le cadre du conseil génétique;

L'ADNmt est facilement accessible au séquençage dans sa totalité; toutefois son caractère polymorphe et le phénomène d'hétéroplasmie rendent l'analyse moléculaire et l'interprétation des résultats complexes. Du fait de la répartition tissulaire qui est souvent variable et nécessite d'analyser le tissu atteint ou à défaut le muscle qui reste le tissu le plus informatif.

En pratique, l'étude de l'ADNmt comportera la recherche de délétions simples de grande taille, de délétions multiples, de délétions et de mutations ponctuelles. La mise en évidence d'une délétion unique, si elle est en quantité suffisante permettra dans certaines situations de poser le diagnostic.

Pour l'ADN nucléaire, la difficulté tient dans le très grand nombre de gènes candidats, connus ou non à ce jour. En pratique elle comporte la détection des anomalies: Gènes de structure de la CR; Gènes d'assemblage de la CR; Gènes impliqués dans la traduction mitochondriale; Gènes impliqués dans le métabolisme de l'ADN

Du fait de l'hétérogénéité génétique des maladies mitochondriales, même si l'identification de la mutation responsable est indispensable pour guider le conseil génétique, elle ne permet pas toujours de proposer un diagnostic prénatal fiable. S'il s'agit de mutations dans un gène nucléaire, la transmission de la pathologie se fera selon un mode mendélien: effet la majorité des maladies mitochondriales liées aux gènes nucléaires sont autosomiques récessives avec un risque de 25 % d'avoir un enfant atteint alors qu'une mère peut transmettre son ADNmt muté à tous ses enfants. Si cette recherche est négative, les investigations seront poursuivies par l'étude des gènes nucléaires, parfois de façon ciblée mais de plus en plus souvent par panel large de gènes.

Les délétions uniques de l'ADNmt sont généralement sporadiques. Si la mère du cas index n'est pas porteuse de la délétion, le risque de transmission est très faible. Un DPN sur liquide amniotique sera proposé à 16 SA.

En cas de mutation ponctuelle hétéroplasmique de l'ADNmt

Si la mutation est présente dans les leucocytes de la mère du cas index, le risque de récurrence est élevé mais très difficile à déterminer avec précision. La fiabilité du DPN est peu satisfaisante du fait de la notion d'hétéroplasmie. Un pourcentage d'ADNmt mutant inférieur à 20 % ou supérieur à 80 % devrait prédire un risque d'expression de la maladie faible ou élevé, respectivement si la mutation est absente dans différents tissus de la mère du cas index (cellules épithéliales urinaires, leucocytes, frottis buccal) ainsi que chez les apparentés maternels, le risque de récurrence est faible et il s'agit vraisemblablement d'une mutation de novo. Le conseil génétique est également difficile car de nombreux facteurs encore inconnus sont impliqués dans l'expressivité de la maladie.

Actuellement, seul le don d'ovocytes permet théoriquement d'empêcher la transmission maternelle d'une maladie mitochondriale. Toutefois, certaines études préliminaires concernant les mutations NARP et MELAS suggèrent que le diagnostic préimplantatoire serait une alternative intéressante. Enfin, un homme atteint n'a aucun risque de transmettre une anomalie de l'ADNmt à sa descendance. [33-37]

Tableau 3. Association clinico-radiologique et génétiques des principales maladies mitochondriales [1,6,7]

SYNDROME	CLINIQUE	IRM	GENETIQUE
MALADIES MITOCHONDRIALES D'APPARITION PRECOCE			
ALPERS HUTTENLOCHER	Retard de développement /régression, état de mal épileptique avec ou sans insuffisance hépatique		POLG, FARS2, NARS2, PARS2 (AR)
Barth	Cardiomyopathie, myopathie, petite taille et neutropénie		TAZ (lié à l'X)
HUPRA (HyperUricemia, Pulmonary hypertension, Renal failure, Alkalosis)	Insuffisance rénale précoce avec alcalose métabolique, hypertension pulmonaire, hypotonie et retard de développement		SARS2 (AR)
Leigh	Episodes aigus de régression neurodéveloppementale avec récupération partielle, hypotonie, retard de croissance, dystonie, dysphagie, épilepsie, encéphalopathie et lésions du tronc cérébral et des ganglions de la base.	Lésions en hyposignal T1 et hypersignal T2 spin-écho et FLAIR Atteinte bilatérale et symétrique évocatrice, mais non systématique Atteintes des NGC du tronc cérébral et du cervelet Plus rare: atteinte de la SB périventriculaire ou leucodystrophie, atteinte du corps calleux et des capsules internes, retard de myélinisation	> 75 gènes ADNn et ADNmt
LBSL (Leuko encephalopathy with Brainstem and Spinal cord involvement and Lactate elevation)	Leuco-encéphalopathie avec atteinte du tronc cérébral et de la moelle épinière; hyperlactacidémie; spasticité et mouvements anormaux		DARS1 (AR)

MEGDEL (3-methylglutaconic aciduria with deafness, encephalopathy and Leigh like syndrome)	Surdité neurosensorielle, retard de croissance, encéphalopathie, hypotonie, retard psychomoteur, hypoglycémie, hépatopathie et acidose lactique		SERAC1 (AR)
MLASA (Myopathy, Lactic Acidosis and Sideroblastic anemia)	Atteinte muscle squelettique et cardiaque et anémie sidéroblastique		YARS2 (AR)
Pearson	Anémie sidéroblastique avec insuffisance pancréatique exocrine, pancytopenie et tubulopathie		Délétion simple de grande taille de l'ADNmt
Sengers	Cataracte congénitale, CMH, myopathie, intolérance à l'effort et acidose lactique		AGK (AR)
MALADIES MITOCHONDRIALES D'APPARITION TARDIVE [1,6,7]			
ADOA (Autosomal Dominant OpticAtrophy)	Atrophie optique de type 1; perte progressive de la vision débutant dans la 1re décennie plus ou moins associée à une surdité neurosensorielle		OPA1 (AD)
Kearns Sayre (KSS)	PEO, rétinite pigmentaire, troubles du rythme cardiaque, ataxie, hyperprotéinorachie; avant 20 ans	Leucodystrophie (atteinte de la SB sous-corticale qui est épargnée dans la plupart des autres leucodystrophies) Atteinte des NGC ($\pm$ calcifications), du thalamus et du mésencéphale Atrophie corticale, du cervelet et du tronc cérébral	Délétion simple de grande taille de l'ADNmt
LHON (Leber Hereditary Optic Neuropathy)	Neuropathie optique héréditaire de Leber, perte brutale indolore de la vision du jeune adulte (homme préférentiellement)	Hypersignaux de la SB	ADNmt
MELAS (Mitochondrial myopathy, Encephalopathy, Lactic Acidosis and Stroke likeepisodes)	Encéphalomyopathie, acidose lactique, faiblesse musculaire, migraines, vomissements et pseudo- AVC, déclin cognitif	Association de lésions corticales de topographie non vasculaire, souvent occipitales ($\pm$ prise de contraste), et de lésions des NGC ($\pm$ calcifications) En phase aiguë: hypersignal en séquence de diffusion puis disparition des lésions ou apparition d'une atrophie Pic de lactates dans les régions affectées en spectro- IRM Atrophie du cervelet, leucoencéphalopathie (rare)	ADNmt (MT-TL1 m. 3243A > G dans 80% des cas)
MERRF (Myoclonic Epilepsy with Ragged Red Fibers)	Myopathie, neuropathie périphérique, lipomatose		ADNmt (MT-TK et autres) POLG (AR)
MIDD (Maternal Inherited Diabetes and Deafness)	Diabète insulino-dépendant et surdité d'hérédité maternelle		ADNmt (MT-TL1, m. 3243A > G)
MNGIE (Mitochondrial Neurogastrointestinal Encephalopathy)	Chez l'adolescent ou le jeune adulte, dysmotilité gastro-intestinale, neuropathie périphérique et leucoencéphalopathie	Leucoencéphalopathie épargnant le corps calleux	TYMP mais aussi POLG, RRM2B (AR) et ADNmt MT-TL1, MT-TV
NARP (Neuropathy, Ataxia and Retinis Pigmentosa)	Neuropathie, ataxie, rétinite pigmentaire	Atrophie pontocérébelleuse, pic de lactates en spectro-IRM Caractéristiques mimant celles du syndrome de Leigh, du MELAS, de l'encéphalomyélite aiguë disséminée ou d'une leucomalacie périventriculaire	ADNmt MT-ATP6
PEO (Progressive External Ophtalmoplégia)	Ophtalmoplégie externe progressive +/- myopathie		ADNmt délétion simple ou mutations POLG, TYMP, RRM2B, SLC25A4 (AD)

Perrault	Insuffisance ovarienne précoce, surdité		
SANDO (Sensory Ataxia, Neuropathy, Dysarthrie, Ophtalmoplégia)	Spectre des neuropathies ataxiantes récessives		POLG, TWNK, OPA1 (AR)
SCAE (Spinocerebellar Ataxia with Epilepsy)	Ataxie spinocérébelleuse et épilepsie		POLG (AR)
Wolfram	Diabète insipide, diabète sucré, atrophie optique, Surdité		WFS1 (AR)

PRISE EN CHARGE

Le traitement des maladies mitochondriales est essentiellement symptomatique, à l'exception des maladies mitochondriales par déficit primaire en coenzyme Q10 où l'administration du Coenzyme Q10 s'avère efficace en particulier quand il est introduit précocement et à forte dose. [38-43].

Cette prise en charge repose sur deux piliers:

1 PRISE EN CHARGE DES COMPLICATIONS AIGUES

- ✓ Les complications métaboliques: les acidoses lactiques aiguës complication fréquente dont la correction repose sur la perfusion de solutés physiologique ainsi que le recours aux bicarbonates
- ✓ Les complications neurologiques:
 - Les convulsions nécessitant parfois un traitement antiépileptique agressif permettant un arrêt des convulsions et limitation les complications neurologique pouvant aller jusqu'à la sédation

Ces anticonvulsivants doivent être choisis avec précaution compte tenu des interactions avec la chaîne respiratoire ainsi le valproate de sodium est proscrit. La Carbamazépine ou le Levetiracetam constituent les anticonvulsivants de première intention. Il a été démontré que les formes d'épilepsies pharmacorésistantes ont bénéficié du régime cétogène. Le régime cétogène est le traitement du déficit en complexe 1 de la chaîne respiratoire mitochondriale, du déficit en pyruvate déshydrogénase et du déficit en transporteur intracérébral du glucose (maladie de Vivo). Il est aussi proposé dans le traitement des épilepsies rebelles, c'est-à-dire les épilepsies contre lesquelles les traitements médicamenteux sont inefficaces, principalement chez l'enfant. Il peut être prescrit lorsque les crises ne sont pas maîtrisées ou lorsque les effets secondaires des anti-convulsivants ou du traitement chirurgical sont considérés comme inacceptables.

- Les pseudo- accidents vasculaires: suspectés cliniquement devant une détérioration neurologique rapide associée à des signes de focalisation, leur gestion rapide et équilibrée permettrait une nette amélioration du pronostic neurologique
- ✓ Les complications infectieuses: contribuent à leur tour à l'accélération de la détérioration neurologique et constituent la plus fréquente cause de décompensation des maladies mitochondriales et doivent être traitées énergétiquement pour une meilleure évolution.

2 PRISE EN CHARGE AU LONG COURS

- ✓ Complications neuro-sensorielles: Nécessité d'une évaluation neurologique périodique ainsi qu'une prise en charge adaptée au malade visant à améliorer la qualité de vie et à maintenir une certaine indépendance en assurant une rééducation posturale ainsi de qu'une préservation de la marche et de la mobilité articulaire.

La prise en charge des complications sensorielles « vision et audition » fait partie intégrante de cette prise en charge et a pour objectif le maintien d'une fonctionnalité normale surtout pour les formes compromettant la marche

- ✓ Complications cardiaques: la prise en charge symptomatique ainsi que la mise en place de peace maker permettrait selon plusieurs écrits de retarder le recours à la transplantation cardiaque qui reste le gold standard pour la prise en charge des cardiomyopathies.
- ✓ Complications respiratoires sont multifactorielle et nécessite un monitoring régulier leur management repose sur un traitement antibiotique des épisodes infectieux ainsi qu'une kinésithérapie respiratoire, une antibioprophylaxie pourrait être proposée si la

fréquence des épisodes est élevée et finalement une vaccination annuelle contre le virus de la grippe et anti pneumocoque est recommandée.

- ✓ Prise en charge nutritionnelle: Un régime pauvre en carbohydrates et riche en lipides est recommandé dans les déficits en complexe I associés à une hyperlactacidémie. En effet, l'apport important de glucose est déconseillé car il ne peut être utilisé du fait du bloc enzymatique. Il faut également éviter tout jeûne prolongé.

3 LES AVANCÉS EN MATIÈRE DE THÉRAPIE GÉNIQUE

- ✓ Bien que extrêmement prometteurs, les traitements ciblant les troubles liés à l'ADNmt en sont encore au stade préclinique et nécessitent l'adoption d'essais cliniques rigoureux en milieu clinique.
- ✓ D'un point de vue clinique, les traitements des anomalies enzymatiques d'origine nucléaire sont à un stade plus avancé. Dans certains cas, les thérapies étiologiques sont axées sur la restauration ou le contournement de défauts spécifiques d'enzymes ou de cofacteurs.

CONCLUSION

Malgré les progrès réalisés, le diagnostic des maladies mitochondriales reste difficile, notamment du fait de leur hétérogénéité clinique et biologique. L'identification des nombreux gènes nucléaires responsables est un objectif majeur car, outre l'intérêt diagnostique et du conseil génétique, elle permettra de mieux comprendre les mécanismes physiopathologiques responsables de ces maladies. Cette compréhension est un préalable indispensable au développement de traitements spécifiques, actuellement inexistantes, dans des pathologies dont le pronostic reste sombre.

REFERENCES

- [1] Gorman, G., Chinnery, P., DiMauro, S. et al. Mitochondrial diseases. *Nat Rev Dis Primers* 2, 16080 (2016). <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.80>.
- [2] Schaefer AM, McFarland R, Blakely EL et al. Prevalence of mitochondrial DNA disease in adults *Ann Neurol* 2008; 63: 35-39.
- [3] Di Mauro S, Schon EA. Mitochondrial respiratory-chain diseases. *N Engl J Med* 2003; 348: 2656–2668.
- [4] Duchon, M. R. Mitochondria in health and disease: perspectives on a new mitochondrial biology. *Mol. Aspects Med.* 25, 365–451 (2004).
- [5] Mauro Scarpelli, Alice Todeschini, Irene Volonghi, Alessandro Padovani, Massimiliano Filosto. Mitochondrial diseases: advances and issues. *Dovepress The Application of Clinical Genetics* 2017; 10 21–26.
- [6] J. Serratrice, C. Desnuelle. Evoking mitochondrial cytopathy. *EMC-Médecine* 1 (2004) 262–275.
- [7] Annabelle Chaussenot, Agnès Rötig, Véronique Paquis-Flucklinger. *Progrès Dans les Pathologies Mitochondriales. Maladies métaboliques héréditaires*.
- [8] Jill Edith Kisler, Roger Graham Whittaker, Robert McFarland Mitochondrial diseases in childhood: a clinical approach to investigation and management. *Developmental Medicine & Child Neurology* 2010, 52: 422–433.
- [9] Hopper, R. K. et al. Mitochondrial matrix phosphoproteome: effect of extra mitochondrial calcium. *Biochemistry* 45, 2524–2536 (2006).
- [10] Soubannier V, McBride HM. Positioning mitochondrial plasticity within cellular signaling cascades. *Biochim Biophys Acta.* 2009; 1793: 154-170.
- [11] Auré K, Jardel C, Lombès A. Mitochondrial diseases: molecular mechanisms, clinical presentations and diagnosis investigations. *Ann Pathol* 2005; 25: 270-81.
- [12] Chinnery PF, Schon EA. Mitochondria. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2003; 74: 1188–1199.
- [13] Yu-Wai-Man P, Chinnery PF. Leber Hereditary Optic Neuropathy - therapeutic Challenges and Early Promise. *Taiwan J Ophthalmol.* 2011; 1: 12-15.
- [14] Pavlakis, S. G., Phillips, P. C., DiMauro, S., De Vivo, D. C. & Rowland, L. P. Mitochondrial myopathy, encephalopathy, lactic acidosis, and stroke-like episodes: a distinctive clinical syndrome. *Ann. Neurol.* 16, 481–488 (1984).
- [15] Martin MA, Blazquez A, Gutierrez-Solana LG, Fernandez-Moreira D, Briones P, Andreu AL, et al. Leigh syndrome associated with mitochondrial complex I deficiency due to a novel mutation in the NDUFS1 gene. *Arch Neurol* 2005; 62: 659-661.
- [16] Dvořáková V, Tesařová V, Honzík T. MELAS syndrom. In Ehler E et al. *Vzácná onemocnění*. Solen 2014, Olomouc, 44-56. ISBN 978-80-7471-089-6.

- [17] Amy C. Goldstein & Poonam Bhatia & Jodie M. Vento. Mitochondrial Disease in Childhood: Nuclear Encoded. *Neurotherapeutics* (2013) 10: 212–226.
- [18] Sommerville, E. W., Chinnery, P. F., Gorman, G. S. & Taylor, R. W. Adult-onset Mendelian PEO associated with mitochondrial disease. *J. Neuromuscul. Dis.* 1, 119–133 (2014).
- [19] Diagnostic strategy for mitochondrial diseases A. Chausseot, V. Paquis-Flucklinger. *La Lettre du Neurologue* 15 (2): 45-50.
- [20] Böhm M, Pronicka E, Karczmarewicz E, Pronicki M, Piekutowska-Abramczuk D, Sykut-Cegielska J, et al Retrospective, multicentric study of 180 children with cytochrome C oxidase deficiency. *Pediatr Res* 2006; 59: 21- 26.
- [21] DiMauro S, Schon EA. Mitochondrial respiratory-chain diseases. *N Engl J Med.* 2003; 348: 2656-2668.
- [22] Chinnery PF, Ed. Mitochondrial Disorder Overview. 2010. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1224/>.
- [23] Jackson MJ, Shaefer JA, Johnson MA, Morris AAM, Turnbull DM, Bindoff LA. Presentation and clinical investigation of mitochondrial respiratory chain disease. A study of 51 patients. *Brain* 1995; 118: 339–57.
- [24] Hutcheson A, Preece MA, Gray G, Green A. Measurement of lactate in cerebrospinal fluid in investigation of inherited metabolic disease. *ClinChem* 1997; 43: 158–61.
- [25] Chow SL, Rooney ZJ, Cleary MA, Clayton PT, Leonard JV. The significance of elevated CSF lactate. *Arch Dis Child* 2005; 90: 1188–9.
- [26] Haas R, Dietrich R. Neuroimaging of mitochondrial disorders. *Mitochondrion* 2004; 4 (5-6): 471-90.
- [27] Leigh D. Subacute necrotizing encephalomyelopathy in an infant. *J neurochem* 1951; 14: 216-21.
- [28] Lebre AS, Rio M, Faivre d'Arcier L et al. A common pattern of brain MRI imaging in mitochondrial diseases with complex I deficiency. *J Med Genet* 2010; 48 (1): 16-23.
- [29] Bricout M, Grévent D, Lebre AS et al. Brain imaging in mitochondrial respiratory chain deficiency: combination of brain MRI features as a useful tool for genotype/phenotype correlations. *J Med Genet* 2014; 51: 429-435.
- [30] Bianchi MC, Sgandurra G, Tosetti M, Battini R, Cioni G. Brain magnetic resonance imaging in the diagnostic evaluation of mitochondrial encephalopathies. *Biosci Rep* 2007; 27: 69–85.
- [31] Fayet G, Jansson M, Sternberg D, et al. Ageing muscle: clonal expansions of mitochondrial DNA point mutations and deletions cause focal impairment of mitochondrial function. *NeuromusculDisord* 2002; 12 (5): 484-493.
- [32] Lombès A, Auré K et Jardel C. Physiopathologie des maladies mitochondriales. *Biologie aujourd'hui* 2015; 209 (2),125-32.
- [33] Bannwarth S, Procaccio V, Lebre AS, et al. Prevalence of rare mitochondrial DNA mutations in mitochondrial disorders. *J Med Genet.* 2013; 50 (10): 704-14. 4–823.
- [34] Kearns TP, Sayre GP. Retinitis pigmentosa, external ophthalmoplegia and complete heart block. Unusual syndrome with histologic study in one of two cases. *Arch Ophthalmol (Chicago)* 1958; 60: 280.
- [35] Lestienne P, Ponsot G. Kearns-Sayre syndrome with muscle mitochondrial DNA deletion. *The Lancet* 1988; i: 885.
- [36] Zhu X, Peng X, Guan MX, Yan Q. Pathogenic mutations of nuclear genes associated with mitochondrial disorders. *ActaBiochimBiophys Sin (Shanghai)* 2009; 41: 179-187.
- [37] Calvo SE, Compton AG, Hershan SG, Lim SC, Lieber DS, Tucker, EJ, et al. Molecular diagnosis of infantile mitochondrial disease with targeted next-generation sequencing. *SciTransl Med* 2012; 4: 118ra10.
- [38] Chinnery P, Majamaa K, Turnbull D et al. Treatment for mitochondrial disorders. *Cochrane Database Syst Rev* 2006: CD004426.
- [39] Rahman S, Hanna MG. Diagnosis and therapy in neuromuscular disorders: diagnosis and new treatments in mitochondrial diseases. *J NeurolNeurosurg Psychiatry* 2009; 80 (9): 943-53.
- [40] Lalani SR, Vladutiu GD, Plunkett K et al. Isolated mitochondrial myopathy associated with muscle coenzyme Q10 deficiency. *Arch Neurol* 2005; 62 (2): 317-20.
- [41] Koga Y, Akita Y, Nishioka J et al. L-arginine improves the symptoms of stroke-like episodes in MELAS. *Neurology* 2005; 64 (4): 710-2.
- [42] Pineda M, Ormazabal A, Lopez-Gallardo E et al. Cerebral folate deficiency and leukoencephalopathy caused by a mitochondrial DNA deletion. *Ann Neurol* 2006; 59 (2): 394-8.
- [43] Wenz T, Diaz F, Spiegelman BM et al. Activation of the PPAR/PGC-1alpha pathway prevents a bioenergetic deficit and effectively improves a mitochondrial myopathy phenotype. *Cell Metab* 2008; 8 (3): 249-56.

Attitude de la population riveraine face à la conservation communautaire: Cas de la réserve forestière de Kalikuku, Nord Kivu, République Démocratique du Congo

[Attitude of the local population towards community conservation: Case of the Kalikuku forest reserve, North Kivu, Democratic Republic of Congo]

Mumbere Kirereka Richard¹, Kavira Kitonda Carine¹, and Kasereka Kyana Mwangaza², KAMBALE MUHESI Eloge¹

¹Assistant, Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières, Butembo, Nord Kivu, RD Congo

²Assistant, Institut Supérieur de Développement Rural, Kanyabayonga, Nord Kivu, RD Congo

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

ABSTRACT: The objective of this survey was to appreciate attitudes and to determine ignorance factors of Kalikuku riparian population on forest's importance. The results have shown that this population ignores human devastating actions on forest (search for firewood, building materials and arable lands), the consequences of these actions on forest biodiversity as well as forest ecological role. This population's information, sensitization and environmental education around forest should so be considered as palliative solutions.

KEYWORDS: Attitude, Riparian population, Community conservation, Forest reserve, Kalikuku.

RESUME: L'objectif de cette recherche était d'apprécier les attitudes et déterminer les facteurs de la méconnaissance de la population riveraine de Kalikuku sur l'importance de la forêt. Les résultats ont montré que cette population ignore les actions dévastatrices humaines sur la forêt (recherche de bois de chauffe, matériaux de construction et recherche de terres arables), les conséquences de ces actions sur la biodiversité forestière ainsi que le rôle écologique de la forêt. L'information, la sensibilisation et l'éducation environnementale de cette population autour de la forêt seraient donc envisagées comme solutions palliatives.

MOTS-CLEFS: Attitude, Population riveraine, Conservation communautaire, Réserve forestière, Kalikuku.

1 INTRODUCTION

La forêt a été longtemps considérée comme réservoir des ressources énergétiques et des matières premières par l'homme en lui fournissant le bois d'œuvre, le charbon de bois, le bois d'énergie, les matériaux de construction, les produits alimentaires, les substances diverses pour l'artisanat et les médicaments (GEORGES, 1936). Ainsi, elle nécessite une protection intégrale car elle a un impact positif sur la dégradation de l'environnement

Cependant, la forêt ne représente plus aujourd'hui un véritable patrimoine productif des matières ligneuses, car elle est victime des abattages incontrôlés d'arbres, menacée et exposée à des nombreuses pressions (fragmentation de l'espace forestier, extension de l'urbanisation sur les lisières forestières, loisir, fréquentation, surexploitation), des diverses crises environnementales (incendies, tempête, pollution atmosphérique et le dépérissement (MARC G. et SIMON 2006).

Comme l'ont constaté certains chercheurs, la pression démographique constitue une menace qui pèse actuellement sur les écosystèmes forestiers des régions montagneuses. Elle conduit ainsi à des pertes énormes de la biodiversité et à la dégradation de l'environnement par les activités humaines (MWANZA A. 2012; MBANGILWA, 2009).

Ces actions anthropiques entraînent la destruction de la diversité biologique de certaines réserves de l'Afrique centrale, notamment par l'agriculture, l'élevage, le braconnage, la carbonisation, le feu de brousse incontrôlé et même les constructions anarchiques, entraînant ainsi sa spoliation (KAMBALE et al 2017).

En RD Congo, la conjoncture socio-économique actuelle oblige la population à s'en prendre à la faune, à la flore et aux terres des réserves pour vivre, sous le regard impuissant de l'Etat et ses organes de surveillance. Sous ce même constat, la réserve forestière de KALIKUKU se heurte à la pression des populations environnantes qui cherchent à satisfaire leurs besoins économiques. Réservée par décret Royale N°25/266 /AGRI du 25/06/1952, en vue de conserver des espèces biologiques qui s'imposaient dans la région, elle est victime des prélèvements anarchiques des bois de chauffe, de construction et des supports, le déplacement des limites au profit de l'agriculture et de l'élevage. La préoccupation reste à savoir ce que serait l'attitude des populations riveraines face à la réserve forestière de Kalikuku.

Cette étude a comme objectif d'évaluer l'attitude des populations riveraines face à la réserve de Kalikuku qui et envisager les mesures conservatoires pour la sauvegarde de celle-ci par une conservation communautaire.

2 METHODOLOGIE

Dans cette section nous allons décrire le milieu d'étude ainsi que les méthodes et techniques utilisées pour l'atteinte des objectifs.

2.1 DESCRIPTION DU SITE D'ÉTUDE

Géographiquement, la Réserve forestière de Kalikuku est située à 7 Km de la commune rurale de Lubero, localisée en Chefferie de Baswagha, Territoire de Lubero, Province du Nord-Kivu en République Démocratique du Congo. Elle s'étend à l'Ouest sur la route Butembo – Goma, dans le Groupement de Luongo avec une superficie actualisée de 89ha.

Comme l'agglomération de Lubero et ses environs, cette réserve se situe entre 29°30' Longitude Est, 00°30' Latitude Sud, avec une altitude variant entre 1830m et 2000m faisant ainsi partie des hautes terres du territoire de Lubero (VYAKUNO, 2006).

La forêt dense de Kalikuku jouit d'un climat tropical de type Af d'après la classification de KÖPPEN (1923). Elle est répartie sur un relief collinaire dont le sommet le plus élevé atteint 2000 m. Les sols de la région de Beni – Lubero dérivent du substrat rocheux qui sont la plupart argileux. Il ressort de ces travaux que les sols des hautes terres à l'extrême du Nord – Kivu sont essentiellement argileux et faiblement ferrallitiques, des terrains cristallins du pré – cambrien inférieur (NDUYIRE, 2007).

Ces différents ruisseaux sont: Kalikuku, Lusimi, Makanga, Kyamasamba, Kihuko, Mupa et celui de VWANDANZE. La moyenne des précipitations annuelles est de 1750 mm (SAHANI, 2011).

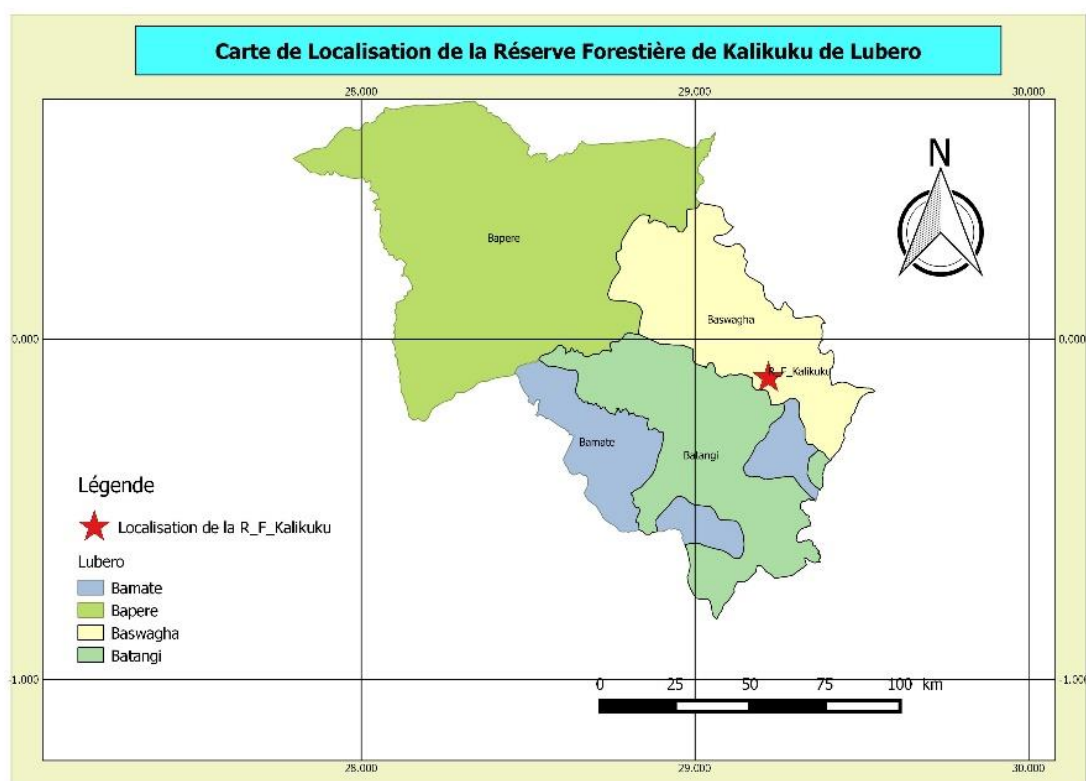


Fig. 1. Carte de localisation de la réserve forestière de Kalikuku

2.2 MÉTHODE ET TECHNIQUES DE RÉCOLTE DES DONNÉES

Cette étude a été menée auprès des habitants vivant autour de la réserve de KALIKUKU à l'aide d'un questionnaire d'enquête et un protocole de recherche constitué de différentes fiches pour la meilleure récolte des données. Les réponses des interrogés ont aidé à comprendre l'attitude qu'affiche la population face à la réserve. Pour y parvenir, les enquêtes ont aidé comprendre intelligemment la véracité et l'ampleur des risques sur la Réserve d'étude.

Pour concrétiser cette méthode, les techniques ci-dessous nous ont été utiles dans la formulation de la présente investigation: la technique documentaire reposant sur la consultation des ouvrages, des mémoires, des journaux et autres documents; l'interview libre consistant en la collecte des données auprès des enquêtés; le questionnaire d'enquête constitué des questions imprimées qui ont été adressées juste après une explication et traduction en langue locale à la personne enquêtée et s'en est suivi le traitement lié au calcul des proportions par rapport aux opinions des 124 interlocuteurs.

3 RESULTATS

Les résultats obtenus après l'interview libre de 124 individus sur l'attitude qu'affiche la population riveraine de la localité de KALIKUKU face à la réserve forestière de cette localité sont présentés dans les tableaux 1 à 12.

3.1 CONNAISSANCE DE LA POPULATION RIVERAINE FACE À LA FORÊT ET À SES AVANTAGES

Tableau 1. Sens que donne la population riveraine à la forêt

Modalités de réponses / enquêtés	Effectif	Pourcentage
Ensemble d'arbres hébergeant les animaux sauvages	34	27,4
Ensemble de la faune et de la flore	14	11,2
Etendue couverte des végétations où l'on conserve les animaux et plantes intouchables	56	45,1
Etendue de terre couverte d'arbres	20	16,1
Total	124	100

Il ressort de ce tableau que 45,1% d'enquêtés conçoivent la forêt comme une étendue couverte de végétaux où l'on conserve les animaux et plantes intouchables; 27,4% d'enquêtés la définissent comme un ensemble d'arbres hébergeant les animaux sauvages; 11,2% d'enquêtés la considère comme un ensemble de la faune et de la flore et 16,1% pensent que la forêt est une étendue de terre couverte d'arbres.

Tableau 2. Les avantages que l'homme tire de la forêt

Modalités de réponses / enquêtés	Effectif	Pourcentage
Nourriture à travers les produits forestiers non ligneux	12	9,6
Perche pour la construction	28	22,6
Bois énergie	62	50
Laboratoire scientifique pour la formation	4	3,2
Pharmacopée et médecine traditionnelle	18	14,5
Total	124	100

Les résultats consignés dans ce tableau montrent que 50% d'individus enquêtés tirent de la forêt le bois de chauffe et la braise, 22,6% d'enquêtés tirent de la forêt les matériaux de construction, 9,6%, 3,2% et 14,5% tirent respectivement de la forêt les nourritures, la recherche scientifique et médicaments traditionnels. De tous les avantages énoncés par les personnes enquêtées, personne n'a connu autre fonction économique de la forêt. Cependant, ces personnes sont moins informées de l'importance scientifique de la forêt.

3.2 OPINIONS DE LA POPULATION SUR LES PRESSIONS HUMAINES ET CONSÉQUENCES SUR LES FORÊTS.

Tableau 3. Opinions sur l'éventuelle disparition de la forêt suite aux pressions humaines

Opinions	Effectif	Pourcentage
Oui	96	77,4
Non	20	16,1
Sans avis	8	6,5
Total	124	100

Il découle des résultats consignés dans le tableau 3 que la disparition de la forêt un jour est une vérité pour 77,4% de personnes enquêtées suite aux faits multiples tels que l'exploitation irrationnelle de la forêt, le non reboisement, la recherche des terres arables, des bois de chauffe, des matériaux de construction, des braises par la population riveraine, l'accroissement démographique.

Tableau 4. Les conséquences des pressions anthropiques sur les écosystèmes

Modalités de réponses par les enquêtés	Effectif	Pourcentage
Changement climatiques	30	24,2
Désertification, savanisation et infertilité du sol	4	3,2
Disparition des espèces animales et végétales	26	21
Risque d'érosion	14	11,3
Rareté des bois de construction et d'énergie	24	19,4
Présences de maladies	12	9,7
Manque d'oxygène pur	14	11,2
Total	124	100

Ce tableau montre que la population riveraine est consciente des conséquences néfastes pouvant survenir après la disparition de la forêt suite aux pressions humaines. Ainsi, 24,2% d'enquêtés pensent que le changement climatique est conséquence des pressions démographiques sur les aires protégées; 3,2% citent la désertification, la savanisation et l'infertilité

du sol; 21% énoncent la disparition de la flore et faune sauvage, 11,2% évoquent l'érosion et 19,4% présentent le manque des matériaux de construction, des bois de chauffe et des braises. La présence des maladies et le manque d'oxygène pur sont autant des conséquences avancées respectivement par 9,7% et 11,2%.

Tableau 5. Position des enquêtés sur le rôle écologique de la forêt

Opinions	Effectifs		Total	Pourcentage		Total
	Oui	Non		Oui	Non	
Régulation du cycle de l'eau et régime pluviométrique	92	32	124	74,2	25,8	100
Purification de l'air	82	42	124	66,2	33,8	100
Fertilité du sol par sa biomasse	74	50	124	59,7	40,3	100
Protection du sol contre les érosions	124	0	124	100	0	100
Augmentation de l'humidité dans l'air	56	68	124	45,2	54,8	100

Le tableau ci-dessus nous révèle que la population riveraine sait que la forêt joue un rôle important dans la protection des sols à l'exemple de l'érosion. 74,2% d'enquêtés confirment que la forêt intervient dans la régulation du cycle de l'eau et du régime pluviométrique, 66,2% d'enquêtés pensent que la forêt appuie la purification de l'air par l'absorption des gaz toxiques comme rôle de la forêt; pour 59,7% d'enquêtés, la forêt soutient la fertilité du sol et 45,2 % d'enquêtés sont convaincus que la forêt agit dans l'augmentation de l'humidité de l'air.

Tableau 6. Opinions sur le réchauffement climatique

Opinions	Effectifs	Pourcentage
Oui	18	14,5
Non	106	85,5
Total	124	100

Ce tableau montre que la majorité de la population riveraine (85,5%) est d'accord que la disparition de la forêt suite aux menaces de l'homme est à la base du réchauffement climatique tandis que 14,5% l'ignorent.

Tableau 7. De la connaissance de la population riveraine sur la perturbation du cycle des pluies des pluies dans une région forestière exposées aux pressions démographiques

Opinions	Effectifs	Pourcentage
Oui	124	100
Non	0	0
Total	124	100

Au regard de ce tableau, tous les enquêtés savent que la forêt intervient dans la régulation des pluies. Les pressions humaines sur les aires forestières entraînent la perturbation du cycle des pluies.

Tableau 8. De la connaissance de la population riveraine sur la désertification, la savanisation et l'infertilité progressive des sols dans une région forestière menacée par les activités humaines

Opinions	Effectifs	Pourcentage
Oui	74	59,7
Non	50	40,3
Total	124	100

Les résultats consignés dans ce tableau montrent que 59,7% d'enquêtés savent bien que la déforestation provoque l'épuisement du sol, 40,3% d'enquêtés n'en sont pas convaincus.

Tableau 9. *Du point de vue de la population riveraine sur le rôle de la forêt dans la purification de l'air*

Opinions	Effectifs	Pourcentage
Oui	46	37,1
Non	78	62,9
Total	124	100

Le tableau ci-dessus indique que 62,9% d'enquêtés n'intervient pas dans la purification de l'air; seul 34,1% en sont convaincus.

3.3 DE MÉCANISMES POUR ÉRADICUER LES PRESSIONS HUMAINES SUR LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

Tableau 10. *Mécanisme au niveau local pour éradiquer les pressions humaines sur les écosystèmes forestiers*

Mécanismes	Effectifs	Pourcentage
Sensibilisation et éducation environnementales	54	43,6
Reboisement et agroforesterie autour de la réserve	70	56,4
Total	124	100

La lecture de ce tableau montre que 56,4% d'enquêtés pensent que le reboisement et l'agroforesterie constituent le meilleur mécanisme de reconstitution forestière tandis que 43,6% prônent la sensibilisation et l'éducation environnementale.

Tableau 11. *Synthèse des pistes des solution au niveau local, national, régional et mondial pour limiter les conséquences des pressions anthropiques sur les forêts*

Niveau	Stratégies	Effectifs	%	Total en %
Local	Vulgariser les espèces et la sensibilisation de la population sur le rôle que joue la forêt	100	80,6	100
	Apport financier et implantation des CLD	24	19,4	
National	Renforcement de protection des forêts sous le contrôle du ministère de tutelle	97	78,2	100
	Organisation des comités locaux de gestion de forêts	27	21,8	
Régional	Développer la foresterie communautaire autour des aires protégées	79	63,7	100
	Développer un programme national de lutte contre les spoliations des aires protégées	45	36,3	
Mondial	Réduire les usines de transformation du bois et élaborer une bonne politique des gestions forestières	29	23,3	100
	Protection de forêts restantes	95	76,7	

A partir du tableau ci-haut, nous remarquons que plusieurs solutions sont envisagées pour parvenir à limiter au niveau local, national, régional et mondial les conséquences désastreuses des pressions humaines sur les écosystèmes forestiers. Il ressort des résultats obtenus qu'au niveau local 80,6% d'enquêtés envisagent comme solution: la vulgarisation des espèces pour le reboisement et la sensibilisation de la population riveraine face à l'importance que joue la forêt dans la vie de l'homme; 19,4% exigent l'appui financier et l'implantation d'un comité de l'environnement pour mieux mettre en œuvre certaines recommandations face à la limite des pressions humaines sur les forêts.

Au niveau national, 78,2% d'enquêtés recommandent le renforcement de la protection de la forêt sous un contrôle du gouvernement central, prendre aussi conscience du fléau qui guette la nation, alors que 21,8% proposent l'organisation d'un comité de gestion nationale de la forêt afin de limiter son agression par les populations riveraines.

Au niveau régional, 63,7% d'enquêtés recommandent la gestion communautaire de la forêt et l'organisation de la campagne de lutte contre les menaces sur les réserves forestières. Par contre, 36,3% d'enquêtés exigent l'élaboration d'un code forestier et la supervision du programme régional face aux menaces des écosystèmes forestiers

Au niveau mondial, 76,6% de la population enquêtée ont proposé la protection des forêts qui restent encore sur la planète terre et accorder un moyen financier aux agents de l'environnement au niveau mondial; 23,3% proposent la réduction des usines de transformation de bois et élaborer une bonne politique forestière.

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus au terme de nos recherches ont montré que la population riveraine de la localité de KALIKUKU connaît le sens du concept forêt, même s'il y a de moindres nuances, leur définition converge vers l'idée d'une étendue de terre couverte des produits végétaux (arbres) et animaux sauvages (tableau 1). Cette idée semble s'accorder avec celles de ARNOULD P. (2000) et ANONYME (2002) qui considèrent la forêt comme un écosystème complexe et riche, offrant de nombreux habitats à des nombreuses espèces et populations animales, végétales, fongiques et microbiennes entretenant entre eux pour la plupart des relations d'interdépendance. De même, selon DEFONTAINES P. (1960) et DUBOIS (1993), la forêt est non seulement milieu de vie, de loisir, de détente, de tourisme, de découverte de la faune, de la flore et des paysages, mais aussi source de revenu pour les communautés locales.

Il est ressorti des tableaux 2 et 5 que la population riveraine de la localité de KALIKUKU connait les avantages que l'homme tire de la forêt ainsi que de son rôle écologique. Ces résultats rejoignent ceux de MBANGILWA M. (2009) et MWANZA A. (2012) qui confirment que la population rurale connaît que la forêt joue un grand rôle pour elle.

Par rapport aux avantages que l'homme tire de la forêt (tableau 2), le bois de chauffage et la braise (50%) marquent la moitié d'effectif des enquêtés. Il s'agit là des activités qui détruisent la forêt et concourent à la dégradation des écosystèmes et de la biodiversité. Elles constituent, selon MBANGILWA M. (2009) et MWANZA A. (2012), non seulement des pressions humaines qui amènent à des pertes énormes de la biodiversité et à la dégradation de l'environnement, mais aussi une menace pesant actuellement sur les écosystèmes forestiers des régions montagneuses. Dans ces régions, elles frappent les formations forestières présentes, refuge de la biodiversité d'un grand intérêt. Pratiquée en grande échelle, elles mettent en cause l'avenir des formations végétales dont la génération naturelle n'est nullement garantie (FAO, 2003). Ainsi, les résultats du tableau 2 ne s'écartent pas de ceux de MALDAGUE (2001) qui renseignent qu'à l'échelle mondiale, de milliers de personnes utilisent des combustibles biomasses (bois, charbon de bois, résidus des végétaux agricoles) pour la cuisson.

D'après les résultats du tableau 5, le rôle écologique de la forêt le plus connu de la part de la population riveraine de KALIKUKU est la protection du sol contre l'érosion ou la lutte anti érosive. Les résultats de nos enquêtes corroborent les idées de MARC et SIMON (2006) selon lesquelles la forêt intervient dans la régulation du régime hydrologique du milieu dans lequel elle est implantée, dans la purification de l'air par l'absorption des gaz toxiques, la protection du sol contre l'érosion et l'enrichissement du sol. Les réserves forestières sont les réservoirs de la diversité biologique, d'habitats et des ressources génétiques et phytopharmaceutiques (KAVOTHA et al., 2017). En revanche, NGWAMASHI (2009) indique que le rôle de régulation est plus biologique, c'est-à-dire que la forêt régularise les paramètres de l'évolution du milieu. En fait, la forêt utilise la lumière solaire le dioxyde de carbone (CO₂) pour réduire l'entropie et produire la biomasse; elle est pourvoyeuse d'oxygène et consommatrice du dioxyde de carbone; elle est, enfin, régulatrice de la pollution atmosphérique et des populations animales.

L'exploitation irrationnelle de la forêt, le non reboisement, la recherche des terres agricoles, l'accroissement démographique sont des multiples causes avancées par 77,42% de personnes sur la disparition de la forêt suite aux pressions anthropiques (tableau 3). A ce propos, Ed VERHEIJ (2003) indique que si les forêts disparaissent, il y a toujours des raisons irrésistibles telles que le manque des terres arables ou la migration. Ensuite, pour nourrir plus des couches, il faut augmenter les superficies sous les cultures alimentaires. En revanche, FOURNIER et SASSON (1983) stipulent qu'en détruisant nos forêts pour l'implantation des champs, des fermes et des maisons d'habitation, nous détruisons de très grandes superficies forestières dont les conséquences sont évidentes; la perturbation du cycle bio-géo-chimique (cycle de l'eau, cycle de l'azote, cycle de l'oxygène et de carbone) et les risques d'érosion accompagnés de catastrophes naturels (inondations et glissement des terres).

Par rapport aux conséquences des pressions anthropiques sur les écosystèmes forestiers étudiés (Tableau 4), l'on constate que bon nombre de personnes enquêtées reconnaissent le changement climatique; d'autres citent la disparition de la faune et de la flore, le manque des bois de chauffe et des braises. Ces deux conséquences sont inévitables lorsque le sol est dénudé.

La population riveraine de la localité de KALIKUKU ignore en grande partie que la désertification, la savanisation et l'infertilité du sol résultent de la disparition de la forêt.

5 CONCLUSION

L'appréciation de l'attitude de la population riveraine de KALIKUKU face à sa conservation communautaire a recouru à l'enquête et l'entretien dirigé dirigé auprès de 124 personnes riveraines de la réserve. Au regard de la problématique évoquée quant à ce, il s'est révélé que la population riveraine de KALIKUKU a un faible niveau de connaissance sur l'importance de la forêt. Pour elle, la biodiversité de la forêt est une source de vie. Les conséquences des pressions humaines sur la biodiversité de la forêt ainsi que son rôle écologique dans l'environnement sont peu connus par cette population.

Il s'avère donc que la population riveraine de cette localité devrait s'intéresser au reboisement et à la protection de la biodiversité au compte de la sauvegarde de la vie, participer à des séances de formation sur le rôle de la forêt et sur la gestion des terres agricoles et enfin, se soumettre à la loi environnementale en vigueur et au nouveau code forestier congolais.

REFERENCES

- [1] ARNOULD P., 2000: La forêt qui cache la forêt, Paris, pp263-723.
- [2] DEFONTAINES P., 1969: L'homme et la forêt, Paris, Gallinard, p186.
- [3] DUBOIS C., 1993: Dictionnaire universel, Livre de poche, Edition.
- [4] EDVERHEIJ, 2003: L'agroforesterie, édition CTA Wageningen, Pays-Bas.
- [5] F.A.O, 2003: Code régional d'exploitation forestière à faible impact dans les forêts denses tropicales humides d'Afrique centrale et de l'Ouest, Rome, 129p.
- [6] FOURNIER et SASSON A., 1983: Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique, Recherche sur les ressources naturelles. XIXORSTOM, UNESCO, 473p.
- [7] GEORGES P; 1936: La forêt de Bercé. Etude de Géographie-physique, Paris p113 Hachette, Paris, p30.
- [8] KAMBALE SIKIVULA, KAMBALE MUHESI, KAMBERE MAYANI: Etude taxonomique et structurale de la flore ligneuse de la réserve forestière de Kalikuku, Lubero, Nord Kivu, Echo du développement, Revue interdisciplinaire de l'ISDR Kitsomboiro Vol 4, 2017.
- [9] KÖPPEN, W., (1923). Die Klimate der Erde-Gundriss der Klimakunde. Walter de Gruyter & Co., Berlin, Leipzig, 369 p.
- [10] MALDAGUE M., 2001: Politique énergétique intégrée en République Démocratique du Congo, 39p.
- [11] MARC GALOCHE et SIMON, 2006; La forêt, ressource et patrimoine, Ed. Marketing SA, Paris, 271p.
- [12] MBANGILWA M., 2009: Etude socio-économique des communautés riveraines de la réserve forestière de YOKO, P.O, Mémoire DEA, UNIKIS, 117p;.
- [13] MWANZA A., 2012: Modélisation de l'évolution du bilan carbone d'un système agro-forestier et sa zone tampon dans le village de Bagbasigbe, Mémoire DEA, Unikis, 123p.
- [14] Nduyire, 2007: La détermination de différentes contraintes de la production de la culture de maïs en cité de Lubero et ses environs.
- [15] NGWAMASHI T., 2009: Inventaire des espèces ligneuses locales pour le reboisement à des fins énergétiques à Kinshasa, 33p.
- [16] Sahani, 2011. Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord- Kivu/ RDC). Université de Liège, Collège de doctorat en Géographie, 300 p.
- [17] Vyakuno, K., (2006).Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en RDC. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale, Tome I, Thèse, Université de Toulouse II, Département de géographie et aménagement, p.144.

