

Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la retenue de la Lobo (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

[Assessment of the physico-chemical quality of waters of the Lobo reservoir (West-central Côte d'Ivoire)]

Sampah Georges Eblin, Affoué Berthe Yao, Kouao Armand Anoh, and Kouakou Séraphin Konan

Département des Sciences de la Terre, Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement, 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: The Lobo River reservoir, the main source of drinking water supply for the municipality of Daloa, is facing a deterioration in its quality. This study aims to assess the quality of this resource. The physico-chemical and chemical parameters of this water were determined during the two seasons of the year 2020. The methodological approach consisted firstly of characterizing the water in the reservoir in relation to the WHO guide values; secondly, determining the phenomena that govern the mineralization of this water and, thirdly, calculating the organic pollution index (OPI) and the water quality index (WQI) of the reservoir. The results show that the physico-chemical parameters (T, pH and EC) comply with the WHO guide values. However, the water has a high turbidity, with a very strong colour in all seasons. Phosphate (0.93 mg/L), ammonium (1.48 mg/L), total iron (2.99 mg/L) and manganese (0.66 mg/L) concentrations are high. On the other hand, chlorides, nitrates and nitrites remain low in both seasons. On the other hand, chlorides, nitrates and nitrites remain low in both seasons. Normalized Principal Component Analysis (NPCA) revealed that the mineralization of this water is of natural and anthropogenic origin. The water quality (2.25 to 3.25) and organic pollution (429.73 to 693.31) indices show that the water in the reservoir is unfit for consumption, with moderate pollution in the dry season and heavy pollution in the rainy season.

KEYWORDS: Daloa, WQI, OPI, Lobo River, Water quality.

RESUME: La retenue de la rivière Lobo, principale source d'approvisionnement en eau potable de la commune de Daloa est confrontée à une dégradation de sa qualité. Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité de cette ressource. Les paramètres physico-chimiques et chimiques de cette eau ont été déterminés durant les deux saisons de l'année 2020. La démarche méthodologique a consisté d'abord à la caractérisation de l'eau de la retenue par rapport aux valeurs guides de l'OMS; ensuite, à la détermination des phénomènes qui gouvernent la minéralisation de cette eau et enfin, au calcul des indices de pollution organique (IPO) et de qualité de l'eau (IQE) de la retenue. Les résultats montrent que les paramètres physico-chimiques (T, pH et CE) sont conformes aux valeurs guides de l'OMS. Cependant, l'eau a une turbidité élevée, avec une très forte couleur quelle que soit la saison. Les concentrations de phosphates (0,93 mg/L), d'ammonium (1,48 mg/L), du fer total (2,99 mg/L) et du manganèse (0,66 mg/L) sont élevées. En revanche, les chlorures, nitrates et nitrites restent faibles sur les deux saisons. L'analyse en composantes principales normées (ACPN) a révélé que la minéralisation de cette eau est d'origines naturelle et anthropique. Les indices de qualité de l'eau (2,25 à 3,25) et de pollution organique (429,73 à 693,31) montrent que l'eau de la retenue est impropre à la consommation, avec une pollution modérée en saison sèche et forte en saison des pluies.

MOTS-CLEFS: Daloa, IQE, IPO, Rivière Lobo, Qualité de l'eau.

1 INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie dans tout écosystème [1]. Cependant elle doit être gérée et protégée en raison de sa vulnérabilité à la surexploitation et à la pollution [2]. Les pays en développement sont confrontés à une pollution de l'eau liée souvent aux activités anthropiques, à une urbanisation incontrôlée avec l'absence souvent de traitements adaptés des eaux usées générées et leur rejet direct dans le milieu naturel. Cette pollution a des conséquences sur les écosystèmes aquatiques, la chaîne trophique et la santé [3].

En Côte d'Ivoire, en zone de socle, l'eau de surface constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable des grandes localités. L'utilisation de cette ressource en vue de satisfaire les besoins des populations est essentiellement due au fait que cette ressource est supposée pérenne et surtout aux faibles débits en zone de socle [4], [5]. Ainsi, l'alimentation en eau potable dans la commune de Daloa est assurée à partir de la rivière Lobo, affluent du fleuve Sassandra et principale eau de surface dans la région. Cependant, cette ressource en eau est fortement influencée par la pollution anthropique et subit le phénomène d'eutrophisation [6]. En effet, ce bassin est une région par excellence de forte production agricole [7], [8]. Or les activités anthropiques à caractère socioéconomique couplées aux processus naturels (érosion des sols, précipitations, évaporation, ruissellement des eaux pluviales) accélèrent la dégradation des ressources en eau de surface [9]. Ces activités engendrent un déséquilibre naturel par l'augmentation de la charge organique de l'eau et des sédiments. Il s'en suit l'encombrement des réservoirs, avec pour conséquences, l'eutrophisation et l'asphyxie du milieu aquatique [10]. Cette éventuelle dégradation pourrait impacter significativement le coût du traitement de cette eau. Ainsi, cette étude vise à évaluer la qualité chimique de cette eau utilisée pour l'alimentation en eau potable de la commune de Daloa. L'approche méthodologique s'est basée sur les techniques d'études hydrochimiques.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La retenue de la Lobo est située à 25 km au Nord-ouest de la ville de Daloa, à 5°38' de longitude Ouest et 6°54' de latitude Nord (Figure 1). Le bassin versant à la retenue couvre une superficie de 5 740 km². Cette zone est sous l'influence du régime équatorial de transition atténué, caractérisé par deux saisons [11]: une grande saison des pluies, de mars à octobre, avec des précipitations moyennes mensuelles variant de 106,3 à 155,3 mm et une saison sèche, de novembre à février, avec des pluies moyennes mensuelles comprises entre 13 et 62 mm. Les températures moyennes mensuelles varient de 24,93°C en juillet à 28,06°C en février. Les sols du bassin sont fertiles, profonds et favorables aux cultures vivrières de grande consommation et surtout aux cultures pérennes, dont le binôme café-cacao qui a favorisé une croissance démographique rapide dans la région [8]. L'approvisionnement en eau potable de ces populations est assuré à partir d'un captage dans la retenue.

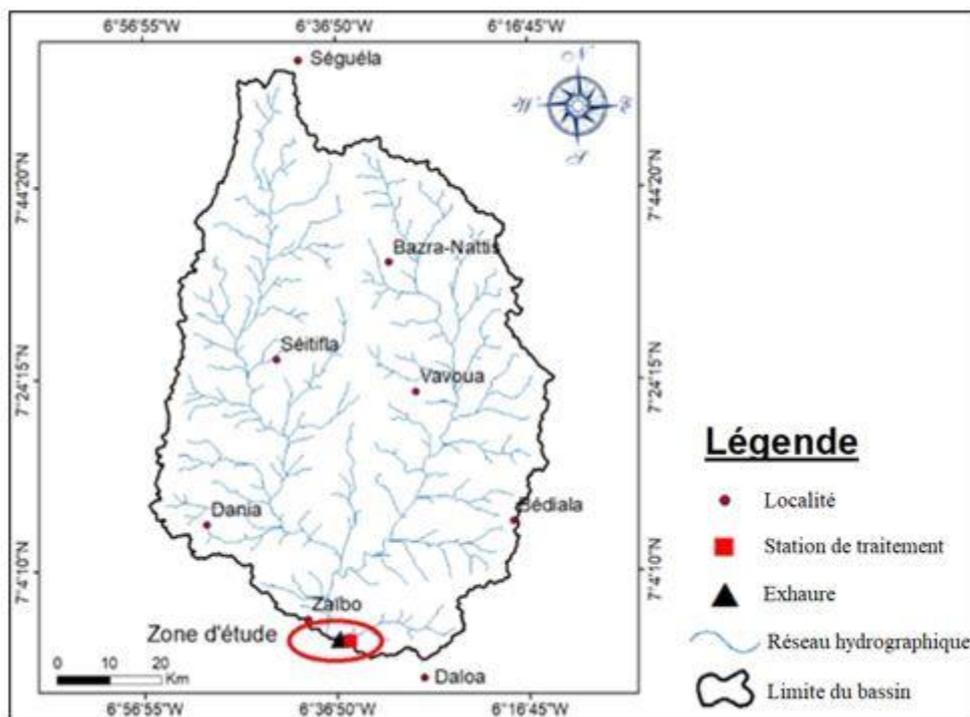


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude (Daloa)

2.2 COLLECTE DE DONNEES

Les données utilisées dans cette étude sont issues des résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau de la retenue de la Lobo, à la station de production d'eau potable de Daloa, en Décembre 2020. L'autre partie des données est acquise en Février, Mai, Août et Novembre de la même année. Ces paramètres sont: le potentiel d'hydrogène (pH), la température (T), la turbidité (Turb.), la couleur (Coul.) et la conductivité électrique (CE) mesurés *in situ*. Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène de capacité 1 L, conservés dans une glacière contenant des carboglaces et transportés au laboratoire pour être analysés. Les paramètres chimiques déterminés sont: le fer (Fe), le manganèse (Mn^{2+}), l'ammonium (NH_4^+), les phosphates (PO_4^{3-}), les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), les chlorures (Cl^-), la silice (SiO_2) et la demande biochimique en oxygène pour 5 jours (DBO5).

3 TRAITEMENT DES DONNEES

3.1 CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA RETENUE DE LA LOBO

Les résultats d'analyses physico-chimiques sont soumis à une analyse statistique simple pour une meilleure exploitation des données. La démarche a consisté d'abord à étudier les valeurs extrêmes (minima et maxima), la valeur centrale (la moyenne) et le paramètre de dispersion (écart-type). Ensuite, une comparaison des valeurs des paramètres physico-chimiques et chimiques de l'eau aux directives de potabilité de l'Organisation Mondiale de la Santé a été faite. Enfin, une analyse des paramètres physico-chimiques et chimiques a été réalisée.

3.2 MÉCANISME D'ACQUISITION DE LA MINÉRALISATION DES EAUX DE LA RETENUE

L'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN) a été utilisée pour mettre en évidence les différents pôles d'acquisition de la minéralisation des eaux de la retenue de la Lobo. C'est une méthode statistique de description permettant de synthétiser et de classer un grand nombre de variables, afin d'en extraire les facteurs principaux qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leurs relations réciproques. Elle fait l'objet de plusieurs applications dans le but de comprendre et expliquer le fonctionnement hydrodynamique et/ou hydrochimique des réservoirs superficiels ou souterrains [12], [13], [14], [15], [16]. Les analyses ont porté sur 13 paramètres physico-chimiques et chimiques. Ces analyses statistiques

ont été réalisées sous le logiciel STATISTICA 7.1. Les résultats sont présentés en tableaux et en diagrammes. Les éléments statistiques caractéristiques sont: la matrice de corrélation, les valeurs propres des facteurs et le cercle de communautés.

3.3 EVALUATION DE LA POLLUTION ORGANIQUE

La méthode de l'indice de pollution organique (IPO) a été utilisée pour déterminer le degré de pollution organique de l'eau de la retenue de la Lobo. Cette méthode a été utilisée par plusieurs auteurs [17], [18]. Le principe consiste à répartir les valeurs de quatre (04) éléments polluants en cinq (05) classes (Tableau 1) et à déterminer à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne. En d'autres termes, l'IPO se détermine en faisant la moyenne des numéros de classes pour chaque paramètre selon l'équation 1:

$$IPO = (\sum_{k=0}^i (Ck, \dots Ci) / n) \text{ (Eq. 1)}$$

Avec C, le numéro de classe du paramètre et n, le nombre de paramètres analysés.

Tableau 1. Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique [19]

Classes	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (µg/L)	PO ₄ ³⁻ (µg/L)
1	> 15	> 6	> 150	> 900
2	10,1-15	2,5-6	51-150	251-900
3	5,1-10	1-2,4	11-50	76-250
4	2-5	0,1-0,9	6-10	16-75
5	< 2	< 0,1	< 5	< 15

Les valeurs obtenues sont classées en 5 niveaux (couleurs) de pollution correspondant à des degrés de pollution organique (Tableau 2).

Tableau 2. Classification de l'indice de pollution organique [19]

Couleur	Classes	IPO	Degré de Pollution Organique
	1	4,6-5,0	Pollution Nulle
	2	4,0-4,5	Pollution Faible
	3	3,0-3,9	Pollution Modérée
	4	2,0-2,9	Pollution Forte
	5	1,0-1,9	Pollution Très Forte

L'IPO permet donc de rendre compte de manière synthétique, le degré de pollution organique existante aux points de prélèvements.

3.4 DÉTERMINATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DE LA RETENUE DE LA LOBO

Treize paramètres physico-chimiques et chimiques ont été sélectionnés pour calculer l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE). Cet indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau aux valeurs guides [20]. En d'autres termes, l'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.). Cette méthode a été initialement proposée par [21]. Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (Wi), spécifique à chaque paramètre, est calculée selon la formule suivante:

$$W_i = \frac{k}{S_i} \text{ (Eq. 2)}$$

Où k, constante de proportionnalité peut être calculée à l'aide de l'équation 3:

$$k = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n S_i} \right) \text{ (Eq. 3)}$$

Avec n , le nombre de paramètres et S_i , la valeur maximale de la norme standard internationale des eaux de surface de chaque paramètre en mg/L.

Une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 tel que présenté dans l'équation 4:

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) * 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Avec Q_i , l'échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre et C_i , la concentration de chaque paramètre en mg/L.

L'indice global de la qualité de l'eau est calculé suivant l'équation 5:

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (\text{Eq. 5})$$

Cinq (5) classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tableau 3).

Tableau 3. Classification et usages possibles de l'eau selon l'IQE [22], [23]

Couleurs	Classes de IQE	Types d'eau	Usages possibles
	[0 - 25 [	Excellente qualité	Eau potable, Irrigation, et Industrie
	[25 - 50 [	Bonne qualité	Eau potable, Irrigation, et Industrie
	[50 - 75 [	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
	[75 - 100 [	Très mauvaise qualité	Irrigation
	[100; → [	Eau impropre ou non potable	Traitement Approprié requis avant utilisation

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

4.1.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU DE LA RETENUE DE LA LOBO

4.1.1.1 INDICATEURS PHYSICO-CHIMIQUES

Les valeurs maximales, minimales et moyennes des paramètres physico-chimiques durant les deux saisons ainsi que les valeurs guides de l'OMS (2017) sont présentées au tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la retenue de la Lobo durant les deux saisons de l'année 2020

Paramètres	Saison	Min.	Max.	Moy.	Ecart-type	Directives OMS (2017)
Température (°C)	SS	25,3	27	26,15	0,85	25-30
	SP	25,9	28	26,95	1,05	
pH	SS	6,6	6,95	6,775	0,175	6,5-8,5
	SP	6,608	7,05	6,829	0,221	
CE (µS/cm)	SS	166,8	300	233,4	66,6	180-1000
	SP	190,2	205	197,6	7,4	
Turbidité (NTU)	SS	6,83	15	10,915	4,085	≤ 5
	SP	3,79	7,65	5,72	1,93	
Couleur (UCV)	SS	167	188	177,5	10,5	≤ 15
	SP	192	312	252	60	

La température varie de 25°C à 28°C durant les deux saisons. Elle est donc conforme aux directives de l'OMS (25-30°C). Les valeurs de pH sont également conformes aux directives de l'OMS (6,5 < pH < 8,5). En effet, elles tournent autour de la valeur

de neutralité qui est 7. La conductivité électrique est comprise entre 166,8 et 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur les deux saisons. Dans l'ensemble, l'eau de la retenue est faiblement à moyennement minéralisée. L'eau est moins trouble en saison des pluies qu'en saison sèche. La couleur est très largement supérieure à la valeur guide de l'OMS quelle que soit la saison.

4.1.1.2 INDICATEURS CHIMIQUES

Les caractéristiques des paramètres chimiques durant les deux saisons sont présentées au tableau 5. Les concentrations de phosphates et d'ammonium sont élevées en saison pluvieuse tandis que les fortes valeurs du fer total et du manganèse sont observées en saison sèche. En revanche, les chlorures, nitrates et nitrites restent faibles sur les deux saisons.

Tableau 5. Caractéristiques chimiques de l'eau de la retenue de la Lobo durant les deux saisons de l'année 2020

Paramètres	Saison	Min.	Max.	Moy.	Ecart-type	Directives OMS (2017)
Chlorures (Cl ⁻)	SS	17	25	21	4	250
	SP	21,7	22,5	22,1	0,4	
Ammonium (NH ₄ ⁺)	SS	0,15	0,52	0,335	0,185	1,5
	SP	0,55	1,48	1,015	0,465	
Fer (Fe)	SS	2,442	2,58	2,511	0,069	0,3
	SP	1,864	2,99	2,427	0,563	
Manganèse (Mn ²⁺)	SS	0,329	0,663	0,496	0,167	0,1
	SP	0,19	0,467	0,328	0,138	
DBO5 (mgO ₂ /L)	SS	11,63	14,81	13,22	2,25	
	SP	12,12	16,21	14,17	2,89	
Calcium (Ca ²⁺)	SS	17,6	19,6	18,53	1,006	
	SP	20,4	29,2	26,27	5,08	
Magnesium (Mg ²⁺)	SS	0	7,29	4,54	3,96	
	SP	1,70	8,51	5,6	3,50	
Nitrates (NO ₃ ⁻)	SS	0,4	0,7	0,55	0,15	50
	SP	1,3	2,2	1,75	0,45	
Nitrites (NO ₂ ⁻)	SS	0	0,003	0,001	0,0017	3
	SP	0	0,061	0,021	0,034	
Silice (SiO ₂)	SS	0	10,80	7,1	6,15	10
	SP	0	18,60	9,23	9,30	
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	SS	0,19	0,61	0,4	0,21	0,2
	SP	0,7	0,93	0,815	0,115	

4.1.2 MINÉRALISATION DES EAUX DE LA RETENUE

Les résultats obtenus à la suite du traitement statistique sont exprimés sous forme de tableaux ou graphiques

4.1.2.1 MATRICE DE CORRÉLATION

Les différentes corrélations entre les variables nécessaires pour la compréhension des phénomènes étudiés sont présentées dans le tableau 6. Il existe de nombreuses corrélations fortes positives et négatives entre certains paramètres physico-chimiques et chimiques:

- Les corrélations sont hautement significatives entre pH, SiO₂ ($r > 0,9$) et Cl⁻ ($r > 0,80$); Veuillez ne pas numéroter le résumé;
- Il existe des corrélations négatives très importantes entre pH, Ca²⁺, Mg²⁺, PO₄³⁻ et NO₃⁻ ($r < -0,9$);
- Les corrélations sont très importantes entre NO₃⁻, Mn²⁺ ($r = 0,99$), Fe ($r = 0,94$) et Mg²⁺ ($r = 0,93$);
- Les corrélations sont fortes entre CE, NO₃⁻ ($r = 0,81$) et Mn²⁺ ($r = 0,75$);
- Les corrélations sont aussi fortes entre NO₃⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻ ($r \geq 0,70$).

Tableau 6. Matrice de corrélation

Variables	T°C	pH	CE	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Fe	Mn ²⁺	PO ₄ ³⁻	SiO ₂	Cl ⁻
T°C	1,00											
pH	0,16	1,00										
CE	0,26	-0,59	1,00									
NO ₃ ⁻	-0,11	-0,94	0,81	1,00								
NH ₄ ⁺	-0,77	-0,65	0,39	0,70	1,00							
Mg ²⁺	-0,32	-0,99	0,52	0,93	0,75	1,00						
Ca ²⁺	--0,39	-0,93	0,25	0,77	0,66	0,95	1,00					
Fe	-0,19	-0,23	0,56	0,94	0,66	0,99	0,94	1,00				
Mn ²⁺	-0,11	-0,97	0,75	0,99	0,68	0,95	0,83	0,97	1,00			
PO ₄ ³⁻	-0,07	-0,91	0,28	0,73	0,40	0,89	0,94	0,92	0,80	1,00		
SiO ₂	0,41	0,91	-0,66	-0,95	-0,88	-0,94	-0,82	-0,92	-0,95	-0,69	1,00	
Cl ⁻	0,17	0,81	-0,88	-0,96	-0,76	-0,81	-0,60	-0,81	-0,92	-0,51	0,93	1,00

4.1.2.2 VALEURS PROPRES DES FACTEURS

Le tableau 7 représente les trois premiers facteurs avec leurs valeurs propres et les différents pourcentages exprimés.

Tableau 7. Valeurs propres et pourcentage de variance exprimée

	F1	F2	F3
Valeur propre	9,12	1,66	1,21
% variance exprimée	76,05	13,84	10,10
Cumul de valeur propre	9,12	10,78	12,00
% de variance exprimée cumulé	76,05	89,89	100,00

Les trois premiers facteurs représentent 100% de la variance exprimée dont 76,05% pour le facteur 1, 13,84% pour le facteur 2 et 10,10% pour le facteur 3. Le couple F1×F2 exprime à lui seul 89,89% de l'information recherchée. Les mécanismes qui contrôlent donc l'évolution chimique de l'eau de la retenue sont largement contenus dans les deux premiers facteurs. Ainsi, l'analyse a porté uniquement sur ces deux facteurs (F1×F2).

Le facteur F1 est déterminé dans sa partie positive par plusieurs variables qui traduisent à la fois une minéralisation liée au contact eau-roche (Ca²⁺, Mg²⁺), au phénomène d'oxydo-réduction (Mn²⁺, Fe) et aux apports superficiels d'éléments (PO₄³⁻, NO₃⁻, NH₄⁺). Par ailleurs, le regroupement dans sa partie négative des paramètres SiO₂, pH et Cl⁻ traduit une minéralisation liée à l'hydrolyse acide des minéraux silicatés de la roche.

La position médiane de CE par rapport aux facteurs F1 et F2 déterminée par la température confirme l'origine naturelle et anthropique de la minéralisation de l'eau de la retenue de la Lobo.

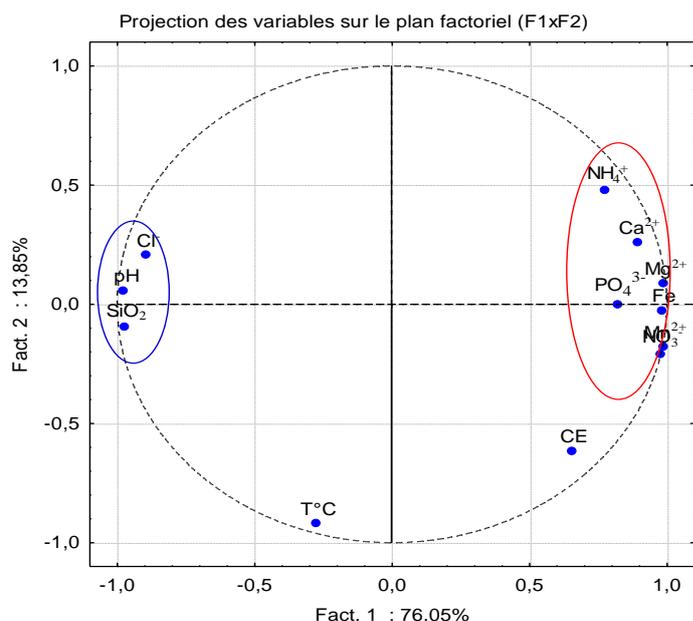


Fig. 2. Cercle de corrélation du plan factoriel F1x F2

4.1.3 QUALITÉ DES EAUX DE LA RETENUE DE LA LOBO

4.1.3.1 INDICE DE POLLUTION ORGANIQUE (IPO)

L'indice de pollution organique (IPO) obtenu a permis de déterminer les classes de qualité des eaux de la retenue de la Lobo pour les deux saisons. L'IPO évolue de 3 à 3,25 en saison sèche tandis qu'en saison des pluies, il oscille entre 2,25 et 2,75 (Tableau 8). La retenue de la Lobo présente alors une pollution organique modérée en saison sèche et forte en saison pluvieuse.

Tableau 8. Degré de pollution organique des eaux de la Lobo

Saisons	IPO	Degré de pollution Organique
Sèche	3,25	Pollution Modérée
	3	Pollution Modérée
Pluvieuse	2,25	Pollution Forte
	2,75	Pollution Forte

4.1.3.2 INDICE DE QUALITÉ DE L'EAU (IQE)

L'indice de qualité de l'eau varie de 557,58 à 597,84 en saison sèche et de 429,73 à 693,31 pendant la saison pluvieuse (Tableau 9). Le pourcentage de l'indice de qualité calculé sur l'eau brute et traitée représente 100% pour la classe eau impropre (> 100) et montre que l'eau brute de la retenue est impropre à la consommation.

Tableau 9. Classe des indices de qualité des eaux de la retenue de la Lobo

Saisons	Indices de qualité	Classes de qualité	Couleurs
Sèche	557,58	Impropre	[Couleur rouge]
	597,84	Impropre	
Pluvieuse	429,73	Impropre	[Couleur rouge]
	693,31	Impropre	

4.2 DISCUSSION

Les activités anthropiques dans le bassin versant de la Lobo, en particulier l'agriculture, participent à la dégradation de la qualité de l'eau de cette ressource. L'eau de la retenue est faiblement à moyennement minéralisée. Ceci pourrait être due à la composition géologique des terrains traversés par ces eaux [24]. La présence de Mg^{2+} signifie que cette eau est influencée par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

Dans la retenue, les teneurs en ammonium sont plus élevées que celles des nitrites. L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Il pourrait provenir de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates [25]. Ce qui entraîne une faible nitrification des eaux [26]. L'ammonium est donc un excellent indicateur de pollution organique de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel. Les faibles teneurs de NO_2^- montrent que ces éléments pourraient provenir principalement du métabolisme des microorganismes. Selon [27], la présence des teneurs élevées en PO_4^{3-} dans les eaux aussi bien en saison sèche que pluvieuse est liée à la fertilisation des terres (engrais chimiques) et à la décomposition de la matière organique des rejets urbains.

L'Analyse en Composantes Principales Normée (ACPN) a permis de mettre en évidence la corrélation entre ces paramètres, des indications sur l'origine de la minéralisation des eaux ainsi que l'origine du fer et du manganèse. Les résultats montrent des corrélations hautement significatives entre Cl^- et SiO_2 ($r = 0,93$), entre Mg^{2+} et Ca^{2+} ($r = 0,95$), entre Fe et Mn^{2+} ($r = 0,97$), entre Fe et NO_2^- ($r = 0,93$). La proximité entre Fe et Mg^{2+} ($r = 0,99$) montre qu'ils proviennent de la roche, car le Ca^{2+} est un élément de la roche. L'origine de ces deux éléments dans l'eau est donc naturelle. La présence du fer et du manganèse serait liée au milieu réducteur que constitue la roche encaissante. Cette affirmation est justifiée par [28], [29] qui attestent que les teneurs élevées de ces deux paramètres dans les eaux pourraient être attribuées aux formations géologiques cristallines. Ces minéraux se retrouvent dans les eaux de surface au contact de l'eau avec la roche encaissante et/ou lors des échanges entre la nappe et le cours d'eau. Cela corrobore avec les études de [30] lorsqu'ils affirment que les teneurs élevées de fer et de manganèse pourraient expliquer la connexion entre les nappes et les rivières. Mais le Fe et le Mn^{2+} peuvent provenir également des apports anthropiques car ils présentent ici une corrélation significative avec le NH_4^+ respectivement de 0,86 et 0,87. Ainsi, l'ACPN révèle que la minéralisation de l'eau de la retenue est contrôlée par le contact eau-roche comme l'indique les résultats des tests statistiques. La géologie de la région est dominée par les formations telles que les granites, les gneiss et les schistes. L'hydrolyse de telles roches riches en feldspaths alcalins et en plagioclases acides, explique les teneurs en Ca^{2+} dans ces eaux [31]. L'apport des activités anthropiques dans cette minéralisation a également été mis en évidence. Les pratiques agricoles et autres activités anthropiques dans le bassin versant de la Lobo participent à la dégradation de la qualité de l'eau de cette rivière. En effet, d'autres études ont montré l'importance des activités anthropiques dans la minéralisation des eaux superficielles [32], [3].

Le calcul de l'indice de pollution organique (IPO) montre que les eaux de la Lobo sont modérément polluées en saison sèche contre une forte pollution en saison des pluies. Cet état de pollution est surtout lié aux très faibles concentrations de nitrites (NO_2^-) dont une augmentation engendre un état critique de pollution organique. L'état de pollution en saison des pluies pourrait principalement s'expliquer d'une part par les fortes concentrations de phosphates et d'ammonium obtenues dans ces eaux et d'autre part par les écoulements de surface dans le bassin versant [33].

Les valeurs de l'indice de qualité (IQE) sont comprises entre 429,73 et 693,31 durant l'année 2020. L'IQE a montré que sur les deux saisons, l'eau est impropre à la consommation. Cette mauvaise qualité de l'eau est due aux différentes concentrations élevées des paramètres organoleptiques (la turbidité, la couleur), physico-chimique (la température) et chimiques (le fer, le manganèse) dans la retenue. Cette mauvaise qualité de l'eau pourrait s'expliquer également par les apports anthropiques et naturels comme le montre les résultats de l'ACPN [34], [35].

5 CONCLUSION

Il ressort de l'évaluation de la qualité des eaux de la retenue de la Lobo que les paramètres physico-chimiques mesurés connaissent une augmentation en saison des pluies du fait des eaux de ruissellement et du lessivage des aires agricoles autour de la retenue. L'analyse en composantes principales normées montre que la minéralisation de l'eau de la retenue est d'origines naturelle et anthropique. Elle est acquise par le contact eau-roche (minéralisation-temps de séjour), les phénomènes d'hydrolyse acide des minéraux silicatés, d'oxydo-réduction et de la pollution anthropique. L'eau est riche en fer (2,99 mg/L), manganèse (0,467 mg/L) et phosphates (0,93 mg/L), avec une turbidité élevée et une coloration très largement supérieure à la valeur guide de l'OMS. Par contre, les nitrates, les nitrites, la silice ont de faibles concentrations.

Les indices de qualité (IQE) et de pollution organique (IPO) montrent que l'eau de la retenue est impropre à la consommation, avec une pollution modérée. Cette eau doit subir impérativement un traitement de potabilisation avant tout

approvisionnement en eau de consommation. La protection de la retenue s'avère donc nécessaire vis-à-vis des activités anthropiques et surtout agricoles pratiquées autour du cours d'eau.

REMERCIEMENTS

La présente étude a été réalisée dans le cadre du projet EPEAEP: « Elaboration d'un modèle de gestion intégrée des ressources en eau pour l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable de la commune de Daloa. » retenu par le projet AMRUGE-CI (Appui à la Modernisation et à la Réforme des Universités et Grandes Ecoles de Côte d'Ivoire. L'étude a été possible grâce à l'appui de la Société de distribution d'eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) qui a fourni une grande partie des données hydrochimiques.

REFERENCES

- [1] L. Tampo, M. Gnazou, V. Akpataku, L. Bawa, and G. Djaneyé-Boundjou, Application des méthodes statistiques à l'étude hydrochimique des eaux d'un hydrosystème tropical: Cas du bassin versant de la rivière Zio (Togo), *European Scientific Journal*, vol 11, no 14, pp. 204-225, 2015.
- [2] Osuolale and Okoh, Human enteric bacteria and viruses in five Wastewater treatment plants in the Eastern Cape, South Africa, *Journal of Infection and Public Health*, vol 10, pp. 541-547, 2017.
- [3] A. Adjagodo, D.T.M. Agassounon, N.C. Kelomè and R. Lawani, Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde: synthèse bibliographique, *International Journal of Biological and Chemical Science*, vol 10, no 3, pp. 1459-1472, 2016.
- [4] K. E. Ahoussi, Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville, Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), p.270, 2008.
- [5] B. Dibi, Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans la région d'Aboisso (Sud-est de la Côte d'Ivoire): Apport du SIG et de l'analyse multicritère, Thèse de doctorat, Université de Cocody- (Abidjan, Côte d'Ivoire), p. 167, 2008.
- [6] K.E. Ahoussi, F. Silué and K. Dongo, Etude des caractéristiques physiques et chimiques des eaux de surface de la zone forestière de Côte d'Ivoire: cas de la rivière Lobo à Daloa, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol 25 pp. 1375-1388, 2019.
- [7] Y.T. Brou, Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, (Lille, France), p. 226, 2005.
- [8] W.N.G. Koukougnon, Milieu urbain et accès à l'eau potable: cas de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat des Sciences de l'Homme et de la Société, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), p. 364 2013.
- [9] S. Aw, E.B.Z. N'goran, S. Siaka and B. Parinet, Intérêt de l'analyse multi dimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico chimique de l'eau d'un système lacustre tropical: cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), *Journal of Applied Biosciences*, vol 38, pp. 2573-2585, 2011.
- [10] G. Ado, V. Desayes, and D. Mama, Etude statistique du rôle du phosphore et de l'azote NTK dans le mécanisme de l'eutrophisation des lacs de la ville de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire, *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, vol. 10, pp. 155-171, 2000.
- [11] A.B. Yao, B.T.A. Goula, Z.A. Kouadio, K.E. Kouakou, A. Kané, and S. Sambou, Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide. Cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, *Revue ivoirienne des Sciences et Technologie*, vol. 19, pp. 136-157, 2012.
- [12] S.G. Eblin, G. Soro, A.P. Sombo, N. Aka, O. Kambiré and N. Soro, Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'Adiaké (Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire), *Larhyss Journal*, vol. 17, pp. 193-214, 2014.
- [13] F. Kanohin, O.B. Yapo, B. Dibi and A.C. Bonny, Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 11, no 5, pp. 2495-2509, 2017.
- [14] S. Khelif and A. Boudoukha, Multivariate statistical characterization of groundwater quality in Fesdis, East of Algeria, *Journal of Water and Land Development*, vol. 37, pp. 65-74, 2018.
- [15] G. Soro, T.D. Soro, N.M-R. Fossou, O.A. Adjiri and N. Soro, Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la Côte d'Ivoire), *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 13, no 3, pp. 1870-1889, 2019.

- [16] K.S.A. Yao and K.E. Ahoussi, Caractérisation physico-chimique des eaux de surface dans un environnement minier du Centre-ouest de la Côte d'Ivoire: cas du département de Divo, *European Scientific Journal*, vol. 16, no. 12, pp. 293-315, 2020.
- [17] B. Sadaali, E.F. Deradji, T. Saboua, R. Remita and F. Zahi, Impact de l'activité anthropique sur la dégradation de l'environnement et sur la Qualité des eaux: cas du parc national d'EL Kala, *Revue des Sciences et de la Technologie*, vol. 30, pp. 66-775, 2015.
- [18] M.H. Bekri, A. El Hmaidi, H. Jaddi, H. Ousmana, Z. Kasse, E.M. El Faleh, A. Essahlaoui and A. El Ouali, Utilisation des indices de qualité et de pollution organique dans l'évaluation de la qualité physicochimique des eaux superficielles des Oueds Moulouya et Ansegmir (Haute Moulouya, NE Du Maroc), *European Scientific Journal*, vol. 16, no. 27, pp. 55-75, 2020.
- [19] L. Leclercq, Les eaux courantes: caractéristiques et moyens d'étude, dans les zones humides. Actes des colloques organisés en 1996 par le Ministère de la Région Wallonne dans le cadre de l'Année Mondiale des Zones Humides, Jambes, Région Wallonne, *International Journal of Aquatic Biology*, Vol. 6, no. 5, pp. 259-260, 2001.
- [20] OMS, Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4ième Edition intégrant le premier additif, (Genève, Suisse), p. 539, 2017.
- [21] R.K. Horton, An index-number system for rating water quality, *Journal of Water Pollution Control Federation*, vol. 37, no. 3, pp. 300-306, 1965.
- [22] D.N. Aher, V.D. Kele, K.D. Malwade and M.D. Shelke, Lake Water Quality Indexing to identify suitable sites for household utility: A case study Jambhulwadi Lake; Pune (MS), *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 6, no. 5, pp. 16-21, 2016.
- [23] Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., and O'Connor, M.F., A Water Quality Index-Crashing the Psychological Barrier. In: *Indicators of Environmental Quality*, Thomas A.W. (Eds.), Springer (Boston), pp. 173-182, 1972.
- [24] G.V. Akilino, Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Méné (Bassin versant du Sassandra, Côte d'Ivoire), Mémoire de Master en Science et Gestion de l'Environnement, Université Nangui-Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 45, 2014.
- [25] H.L. Zinsou, P. Gnohoussou, D. Adandedjan and P. Laleye, Profil de distribution des macroinvertébrés benthiques du delta de l'Ouémé à partir du Self Organizing Map (SOM), *Afrique SCIENCE*, vol. 12, no. 1, pp. 224-236, 2016.
- [26] M. Sondergaard, J.P. Jensen and E. Jeppesen, Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes, *Hydrobiologia Science*, vol. 506, no. (1-3), pp. 135-145, 2003.
- [27] I. Guasmi, Pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l'Oued Medjerda (Nord-est Algérien), Thèse de doctorat de l'Université d'Annaba (Annaba, Algérie), p. 240, 2009.
- [28] O.M.J. Mangoua, D.L. Goné, K.A. Kouassi K.G. N'guettia, G.A. Douagui, I. Savané and J. Biémi, Hydrogeochemical assessment of groundwater quality in the Baya watershed (Eastern of Côte d'Ivoire), *African Journal of Agricultural Research*, vol 10, no. 49, pp. 4477-4489, 2015.
- [29] K. E. Ahoussi, Y. B. Koffi, A. M. Kouassi, G. Soro and J. Biémi, Etude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'Ouest montagneux de la Côte d'Ivoire: Cas du village de Mangouin-Yrongouin (S/P de Biankouman), *Journal of applied biosciences*, vol. 63 pp. 4703-4719, 2013.
- [30] G.S. Ouattara, B. Dibi, A.B. Konan-Waidhet, O.M.J. Mangoua and B. Kamagate, Study of groundwater-river interactions using hydrochemical tracers in fissured rock: Case of the Lobo watershed at Nibéhibé (Central-West, Côte d'Ivoire), *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 10, no. 12, pp. 55-66, 2020.
- [31] N. Soro, Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique, Thèse de Doctorat d'État des Sciences Naturelles, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire) p. 272, 2002.
- [32] F. Lakhili, M. Benabdelhadi, N. Bouderkha, H. Lahrach and A. Lahrach, Etude de la qualité physico-chimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc), *European Scientific Journal*, vol. 11, no. 11, pp. 1857-7431, 2015.
- [33] J-M. Dorioz, Mécanismes et maîtrise de la pollution diffuse agricole: le cas du phosphore et sa portée générale, *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, vol. 17, no. 1, pp. 277-291, 2013.
- [34] M. Izougarhane, D. Mansouri, H. El Ibaoui, S. Chakiri and M. Fadli, Physico-chimie et teneurs métalliques des eaux de l'estuaire de l'Oued Sebou durant des années de dragage du sable, *European Scientific Journal*, vol. 12, no. 30, pp. 127-151, 2016.
- [35] S. Şener, E. Şener and A. Davraz, Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SWTurkey), *Science of the Total Environment*, vol. 584, pp. 131-144, 2017.