

Evaluation de la qualité physico-chimique et de la pollution métallique du lac Guidimouni site RAMSAR au Niger : qualité du milieu de vie pour les organismes aquatiques

Youchaou Tawaye Abdoullatif

Alhou Bassirou

Université Abdoumoumouni de Niamey, Ecole Normale Supérieure,
Département de Science de la Vie et de la Terre, Niamey, Niger

Assane Anabi Toudjani

Département Sciences de l'Eau et Environnement, Faculté des Sciences
Agronomiques et Ecologiques, Université de Diffa, Niger

Doi: 10.19044/esipreprint.7.2025.p137

Approved: 08 July 2025

Posted: 10 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Youchaou Tawaye, A., Alhou, B. & Assane Anabi, T. (2025). *Evaluation de la qualité physico-chimique et de la pollution métallique du lac Guidimouni site RAMSAR au Niger : qualité du milieu de vie pour les organismes aquatiques*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.7.2025.p137>

Résumé

Au Niger les plans d'eau sont soumis à des perturbations physique et chimiques, origine de la dégradation de leur qualité. La présente étude fait un diagnostic des perturbations de la qualité des eaux dues aux activités anthropiques sur le lac Guidimouni en se basant l'état physico-chimique et la pollution métallique. A cet effet, des mesures sur les eaux ont été réalisé *In-situ* : T°, CE, TDS, pH, OD et *Au laboratoire* : MES, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, P, Pb, Zn, Cu, Fe et Cd. Pour les sédiments, la granulométrie et le taux de matière organique ont été déterminés. Les résultats montrent une eau alcaline en saison froide (pH 9,3) (risque de toxicité du NH₃), une charge organique plus élevée en saison chaude et pluvieuse (NH₄⁺ 2,9 mg/L et phosphore 23,8mg/L) indiquant un risque élevé d'eutrophisation avec un niveau très bas d'OD 3mg/L (risque asphyxie) en saison pluvieuse. Une pollution anthropique modérée à forte (chlorure 100,7mg/L). Tous les ETM analysés dans les eaux et sédiments ont été détecté, toutefois à des teneurs conformes aux normes sauf pour le Pb (51,26 à 63,82µg/L), ce qui montre un début de pollution métallique du lac. Des

mesures correctives doivent être envisager afin de préserver la biodiversité locale.

Mots clés : Lac Guidimouni ; Niger ; qualité des eaux ; pollution métallique, organismes aquatiques

Evaluation of the physicochemical quality and metallic pollution of Lake Guidimouni, a RAMSAR site of Niger : environment quality for aquatic organisms

Youchaou Tawaye Abdoullatif

Alhou Bassirou

Université Abdoumoumouni de Niamey, Ecole Normale Supérieure,
Département de Science de la Vie et de la Terre, Niamey, Niger

Assane Anabi Toudjani

Département Sciences de l'Eau et Environnement, Faculté des Sciences
Agronomiques et Ecologiques, Université de Diffa, Niger

Abstract

In Niger, water bodies are subject to physical and chemical disturbances, which is the origine of their quality deterioration. The aim of this study was to diagnose the disturbances in water quality caused by anthropic activities on Lake Guidimouni, based on the physicochemical state and metal pollution. In this order, measurements were carried out on water and sediments in situ: T°, CE, TDS, pH, OD and in the laboratory: SM, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, P, Pb, Zn, Cu, Fe and Cd. For the sediments, the granulometry and the organic matter content were determined. The results showed alkaline water in the cold season (pH 9.3) (risk of NH₃ toxicity), a higher organic load in the hot and rainy season (NH₄⁺ 2.9 mg/L and phosphorus 23.8 mg/L), indicating a high risk of eutrophication with a very low level of DO 3 mg/L (risk of asphyxiation) in the rainy season. Moderate to high anthropogenic pollution (chloride 100.7 mg/L). All the MTE analyzed in the water and sediments were detected, however, at levels in accordance with the standards except for Pb (51.26 to 63.82 µg/L), which shows the beginning of metallic pollution of the lake. Corrective measures must be considered in order to preserve local biodiversity.

Keywords: Guidimouni's Lake; Niger; Water quality; Metal pollution, Aquatic organisms

Introduction

Le lac Guidimouni est situé dans la commune de Guidimouni et fait partie de la dizaine de sites classés Ramsar au Niger. À ce titre, il constitue une ressource dont l'utilisation doit s'inscrire dans des modes de gestion durable, permettant de concilier les activités sociales et économiques avec le maintien de l'équilibre naturel (MHE/LCD, 2006).

Le lac Guidimouni représente un véritable « poumon » pour le paysage local. En effet, plusieurs activités socio-économiques y sont pratiquées, notamment la pêche, le maraîchage (250,03 ha de terres sont exploitées à cet effet), et il sert également de point d'abreuvement pour le bétail. Le lac fournit près de 4 tonnes de poissons par an. Il constitue un milieu naturel favorable à la vie aquatique, accueillant notamment des poissons, des oiseaux migrateurs, ainsi qu'une population de crocodiliens (Issa, 2010).

Selon Bougon *et al.* (2021), la qualité physico-chimique d'une eau naturelle résulte d'un ensemble de processus dépendant des contextes géologiques, hydro-climatiques et biologiques. Cette qualité conditionne la vie des organismes qui y sont inféodés, mais elle est souvent altérée par les pressions physiques et chimiques liées aux activités anthropiques. Parmi celles-ci, les activités agricoles sont fréquemment désignées comme des causes majeures de dégradation de la qualité des eaux (Moussa *et al.*, 2012 ; Aziz *et al.*, 2016).

Les producteurs maraîchers autour du lac ont de plus en plus recours à des produits agrochimiques (engrais et pesticides en particulier) (Bassirou, 2017 ; Youchaou Tawaye *et al.*, 2021). Le lac est aussi parfois utilisé par les riverains pour la lessive et la vaisselle, avec l'usage de détergents. Alimentées par les eaux de ruissellement, ces eaux reçoivent des apports provenant du lessivage des terres cultivées, mais aussi des matériaux issus du transport routier, des activités de forge, etc., dans leur bassin versant, notamment en saison pluvieuse. L'ensemble de ces polluants, transportés jusqu'au lac, menacent les écosystèmes aquatiques, ainsi que les communautés animales et végétales qui y vivent. Selon Thaivin (1966), la dégradation des eaux est d'autant plus marquée dans les systèmes fermés comme les lacs, qui constituent des dépressions humides favorisant l'installation de zones marécageuses et insalubres.

Le lac Guidimouni pourrait ainsi être affecté à la fois par des polluants organiques et minéraux (pesticides, nutriments, éléments traces métalliques, matières organiques, déchets divers), issus des activités agricoles, des excréments d'animaux, et des déchets ménagers. L'introduction de ces polluants dans le milieu aquatique peut modifier divers paramètres de l'eau, entraînant des pertes de biodiversité, des déséquilibres écologiques, ainsi que la dégradation des services écosystémiques (Fagbenro,

2002 ; Olufayo, 2009 ; Moussa *et al.*, 2012). À l'échelle des organismes vivants, les modifications des paramètres physico-chimiques peuvent avoir des impacts significatifs, variables selon les espèces, la nature et la durée des modifications.

Certains éléments traces métalliques sont nécessaires à la croissance et au bien-être des organismes, mais deviennent toxiques lorsque leur concentration dépasse les seuils tolérables (Boillot, 2008 ; Mama *et al.*, 2011 ; Daniel *et al.*, 2016 ; Lozo *et al.*, 2019). En outre, ces éléments peuvent être bioaccumulables et subir des processus de bioamplification, causant des perturbations neurologiques et reproductives susceptibles d'affecter l'ensemble de la chaîne alimentaire, jusqu'à l'être humain.

L'évaluation de la qualité des eaux de surface repose sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques, ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes aquatiques indicateurs de la qualité de l'eau. Ces données sont complétées par l'analyse des sédiments (ou boues), qui conservent la mémoire des épisodes de pollution, notamment par les métaux lourds et autres contaminants (Devillers *et al.*, 2005).

Les sédiments constituent en effet des réservoirs de polluants, souvent liés à des particules minérales ou organiques. Leur analyse est également importante en raison du risque de remobilisation des contaminants (Casado-Martinez *et al.*, 2016).

Les paramètres ainsi mesurés sont ensuite comparés à des valeurs de référence, définies selon les objectifs de l'étude. Cela permet d'apprécier le degré de modification du milieu et d'orienter la recherche des causes de cette altération (Bougon *et al.*, 2021).

Des études sur la qualité physico-chimique de l'eau ont déjà été menées sur le lac Guidimouni, mais elles n'intégraient pas la composante sédimentaire. Par ailleurs, la pollution par les éléments traces métalliques n'a, à notre connaissance, jamais été évaluée à Guidimouni. D'où l'intérêt de la présente étude.

L'objectif de l'étude est de réaliser un diagnostic des perturbations de la qualité de l'eau du lac Guidimouni dues aux activités anthropiques, en se basant sur l'analyse physico-chimique et la pollution métallique des eaux et sédiments, dans une optique de préservation de ce milieu naturel.

Materiel et Methodes

Présentation du site d'étude

Le lac de Guidimouni est un plan d'eau de la commune de Guidimouni, localisée dans la région de Zinder (13,6862450 de latitude Nord et 9,5086950 de longitude Est). La commune de Guidimouni est localisée dans le département de Damagaram Takaya limitée au Nord par les communes de DamagarmTakaya et Mazamni, au Sud par celles de Bouné et

Gouchi (départements de Gouré et Magaria), à l'Est par la commune rurale de Guidigur (Gouré) et à l'Ouest par la commune rurale de Zermou (Issa, 2010). La figure 1 présente la localisation de la commune de Guidimouni

Le lac de Guidimouni couvre une superficie de 60 ha avec une profondeur maximale pouvant atteindre trois (3) mètres. Le climat de la zone est de type sahélo-saharien, marqué par deux principales saisons : une longue saison sèche qui dure huit (8) mois (d'Octobre à Mai) et une courte saison pluvieuse de quatre mois (Juin à septembre). La pluviométrie quant à elle est caractérisée par une irrégularité et une mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les moyennes annuelles varient entre 300 et 600 mm à Guidimouni. La température peut descendre entre 8 et 10°C en saison froide et remontée au-delà de 40°C en saison chaude (Seydou, 2021).

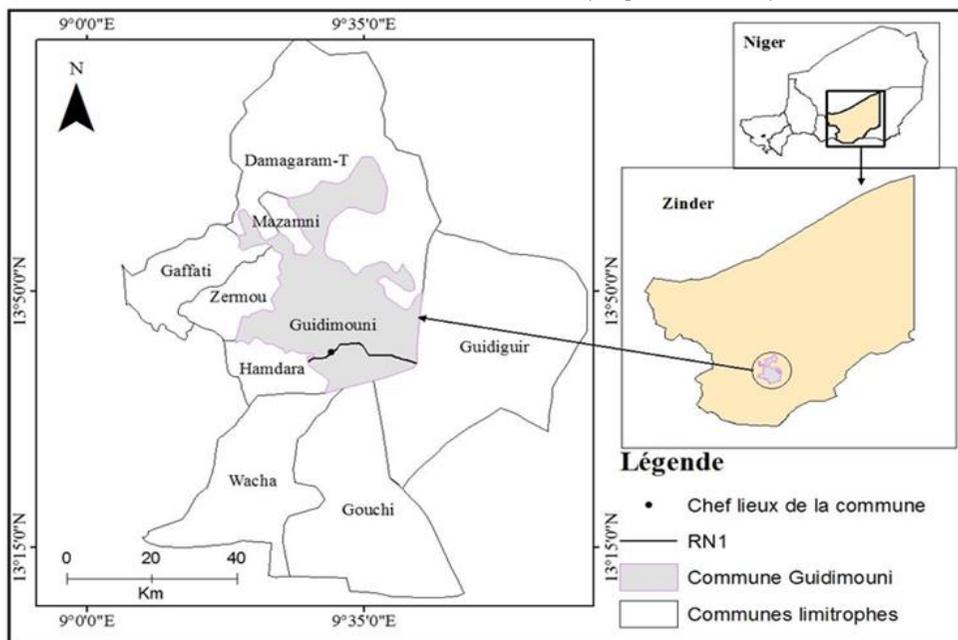


Figure 1 : Carte de localisation de la commune de Guidimouni (Mamane-Nasser, 2019)

Echantillonnage

Des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés, à trois endroits différents notamment à points de la zone littorale en allant d'Est en Ouest et au milieu du plan d'eau. Trois (3) prélèvements ont été effectués et mélangés, aux mêmes points pour toutes les matrices, pour en faire respectivement des composites. Les échantillons d'eau ont été prélevés en immergeant la bouteille de prélèvement dans les vingt-cinq (25) premiers centimètres et les sédiments (500g) recueillis aux les cinq (5) premiers centimètres du fond. Six (6) campagnes de prélèvement ont été réalisées sur trois saisons : saison pluvieuse (Juin et Août), saison sèche froide (Novembre

et Janvier) et la saison sèche chaude (Mars et Mai). Cette stratégie d'échantillonnage adoptée dans cette étude visait à couvrir les saisons hydrologiques et climatiques (Soro *et al.*, 2021). Les échantillons d'eau étaient conditionnés dans des bouteilles de 500-ml en polyéthylène et transportés au frais dans une glacière contenant de la glace jusqu'au laboratoire. Les échantillons de sédiments ont été recueillis dans des sacs plastiques et transportés dans les mêmes conditions que les échantillons d'eau puis mis à sécher à la température ambiante du laboratoire.

Collecte des données

Paramètres physico-chimiques des eaux

Certains paramètres ont été mesurés *in-situ* et d'autres au laboratoire. Les mesures *in situ* ont concerné la température (T°), la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (TDS) ont été mesurés à l'aide de la sonde multi-paramètres Hanna HI-9812-5. Cet appareil a les précisions suivantes : pH ($\pm 0,1$), T° (± 1), CE et TDS ($\pm 2\%$ F.S). L'oxygène dissous a été mesuré au moyen de l'oxymètre ODO 200 YSI avec une précision de $\pm 0,1$ mg/l.

Les analyses au laboratoire quant à elles ont concerné les Matières en suspension (MES), les Chlorures (Cl^-), les Sulfates (SO_4^{2-}), les Bicarbonates (HCO_3^-), les Carbonates (CO_3^{2-}), les Nitrates (NO_3^-), les Nitrites (NO_2^-), l'Ammonium (NH_4^+), le Phosphore (P), le Plomb (Pb), le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Fer (Fe), et le Cadmium (Cd). Ainsi, sur les échantillons d'eau :

- les matières en suspension ont été déterminées par filtration sur de papier whatman préalablement pesé, les résidus séchés à l'étuve à 105°C ;
- les Carbonates et les Bicarbonates par titrimétrie à la Phénolphthaléine et au méthyl Orange ;
- les Nitrates, Nitrites et Ammonium et Sulfates par spectrophotométrie ;
- les chlorures par la méthode de Mohr ;
- le dosage du Plomb (Pb), du Zinc (Zn), du Cuivre (Cu), du Fer (Fe), et du Cadmium (Cd) ont été réalisés par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme, après filtration.

Paramètres physico-chimiques des sédiments

Les caractéristiques physico-chimiques tels que le pH, la granulométrie, la capacité d'échange cationique, le taux de matière organique, l'azote, le phosphore, le potassium, le Plomb, le Zinc, le Cuivre, le Fer, et le Cadmium ont été déterminées sur les sédiments comme :

- la granulométrie a été déterminée par la méthode de la pipette de Robinson ;
- la capacité d'échange cationique a été calculée par la méthode de la saturation à l'acétate d'ammonium ;
- le pH a été mesuré à l'aide du pH-mètre à partir de la solution du sol (rapport sol/eau : 1/2,5) ;
- la conductivité électrique a également été mesurée dans une suspension sédiment/eau (rapport sol/eau : 1/5) ;
- le carbone organique a été déterminé par la méthode de Walkley et Black ;
- le Phosphore a été déterminé par la méthode Bray-1 ;
- l'azote a été déterminé par la méthode Kjeldhal ;
- le Plomb (Pb), le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Fer (Fe), et le Cadmium (Cd) ont également été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme. Leur extraction a été faite par la digestion humide à l'eau régale (HCl/HNO₃, rapport : 3/1) sur 1 g de sol tamisé à 2 mm.

Traitement et analyse des données

Les données recueillies ont subi une analyse descriptive, les résultats sont présentés sous forme de tableau.

Resultats

Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux du lac Guidimouni sont regroupés dans le tableau 1. Il donne la valeur moyenne, maximum, minimum ainsi que l'écart type de chaque paramètre de tous les points de prélèvement.

Tableau 1 : Variations saisonnières des paramètres physico-chimiques des eaux du lac Guidimouni.

Paramètres	Saison froide				Saison chaude				Saison pluvieuse			
	Moy	Max	Min	Ec	Moy	Max	Min	Ec	Moy	Max	Min	Ec
pH	9,3	10,2	7,8	1,3	7,8	8	7,7	0,1	8	8	8	0,0
T (°C)	24,2	29,3	19	4,4	26	28,9	23,4	2,5	28,7	31,2	26,7	1,7
OD mg/L	5,0	7,6	2,87	2,0	5,7	7,7	4,46	1,8	3,0	4,8	1,5	1,2
CE µS/cm	625,6	792,0	470	156,5	758,8	843	695	71,2	751,7	815	695	42,3
TDS mg/L	325,8	395,0	240	75,6	453	765	360	154,5	361,7	410	340	24,4
MES mg/L	69,7	80,0	56	10,2	64,7	84	52	14,2	59,4	62	56	3,0
Ca ²⁺ mg/L	87,5	110,2	70,1	19,3	108,7	116,4	100,2	6,9	104,3	110,2	100,2	4,9
Mg ²⁺ mg/L	38,6	68,2	24,3	16,9	61,4	72,6	42,6	11,1	54,5	58,4	42,6	6,1
Cl ⁻ mg/L	92,4	135,6	47,6	45,2	64,6	93,1	45,2	17,9	100,7	124,8	82,5	18,3
SO ₄ ²⁻	13,8	15,0	12	1,0	12,3	12,6	11,9	0,3	12,4	12,6	12	0,3

mg/L												
NO ₃ ⁻ mg/L	1,7	2,0	1,2	0,3	1,7	1,9	1,6	0,1	1,8	2,0	1,65	0,1
NO ₂ ⁻ mg/L	3,0	4,4	1,4	1,5	1,8	2,1	1,7	0,1	1,9	2,1	1,8	0,1
NH ₄ ⁺ mg/L	1,9	2,7	1,4	0,5	2,9	5,0	2,25	1,0	2,9	5,0	2,4	1,0
P mg/L	23,6	26,5	20	3,1	22,7	24,1	21,4	1,1	23,8	25	23,0	0,7

Moy : moyenne, Max : maximum, Min : minimum, Ec : ecartype

Paramètres physico-chimiques de base

Le pH en saison froide est élevé (moyenne : 9,3 ; maximum : 10,2), ce qui indique une forte alcalinité. Il est légèrement basique (entre 7,8 et 8) en saison chaude et en saison pluvieuse, ce qui correspond au pH naturel de l'eau.

La température moyenne de l'eau est modérée avec une valeur de 24,2°C en saison froide. Elle est plus élevée en saison chaude et pluvieuse (entre 26°C et 28,7°C).

Les concentrations moyennes d'OD sont de 3 mg/L en saison pluvieuse, 5,7 mg/L (maximum : 7,7 mg/L) en saison chaude et de 5 mg/L (maximum : 7,6 mg/L) en saison froide, des valeurs généralement favorables à la vie aquatique.

Minéralisation et pollution ionique

La conductivité électrique (CE) est de 625,6 µS/cm en saison froide, avec un minimum de 470 µS/cm. Elle augmente significativement en saison chaude pour atteindre 758,8 µS/cm, traduisant une minéralisation plus marquée. Les TDS (Total Dissolved Solids) suivent la même tendance, avec des concentrations plus élevées en saison chaude (453 mg/L), contre 325,8 mg/L en saison froide et 361,7 mg/L en saison pluvieuse. La concentration en chlorures (Cl⁻) est plus faible en saison froide (92,4 mg/L, maximum : 135,6 mg/L), ce qui suggère une source anthropique modérée. Elle augmente légèrement en saison pluvieuse, atteignant 100,7 mg/L.

Les concentrations en sulfates (SO₄²⁻) sont relativement stables, oscillant entre 12 et 15 mg/L, ce qui indique une faible pollution soufrée. Les carbonates sont présents à des niveaux modérés mais très variables. Ils augmentent de manière significative en saison chaude, puis diminuent légèrement en saison pluvieuse, tout en restant relativement élevés. La dureté totale de l'eau, déterminée principalement par les concentrations en calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺), indique que l'eau du lac Guidimouni est de dure à très dure, en particulier en saisons froide et pluvieuse.

Nutriments et pollution organique

Les nitrates (NO_3^-) présentent de faibles concentrations tout au long de l'année, comprises entre 1,7 et 1,8 mg/L. Les nitrites (NO_2^-) sont plus élevés en saison froide (3 mg/L, maximum : 4,4 mg/L), tandis qu'une hausse des concentrations en ammonium (NH_4^+) est observée en saisons chaude et pluvieuse (de 2,9 à 5 mg/L). Les concentrations en phosphore restent élevées en toutes saisons, variant entre 22,7 et 23,8 mg/L.

Les matières en suspension (MES) montrent une forte variabilité saisonnière. Elles sont plus élevées en saison froide, avec une moyenne de 69,7 mg/L. En saison chaude, la moyenne est légèrement plus basse (64,7 mg/L), mais les pics sont plus importants (jusqu'à 84 mg/L).

Contrairement aux attentes, les MES sont plus faibles et plus stables en saison pluvieuse, avec une moyenne de 59,4 mg/L et un maximum de 62 mg/L.

Caractéristiques physico-chimiques des sédiments

Le tableau 2 présente les résultats des caractéristiques analysés dans les sédiments du lac Guidimouni et de la mare de Tabalak.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sédiments du lac Guidimouni

Sites	PP/S	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	MO (%)	A (%)	Lf (%)	Lg (%)	Sf (%)	Sm (%)	Sg (%)
Guidimouni	GS 1	7,4	621,7	5,9	15	3,71	9,35	16,48	51,58	3,88
	G S 2	7,4	580	6,0	22,18	3,75	6,12	15,27	46,85	5,83
	G S 3	7,4	475	5,8	25,01	1,11	6,56	15,52	44,26	7,54

pH : Potentiel Hydrogène ; *CE* : Conductivité Electrique ; *MO* : Matière Organique ;
N : Azote ; *PT* : Phosphore Total ; *GS* : Guidimouni, échantillon de Sédiment

Le pH du plan d'eau est de 7,4 montre une légère alcalinité des sédiments durant la période d'étude. Les teneurs en matières organiques sont comprises entre 5,8 et 6%. Ces teneurs sont > 5% ce qui indique des sédiments à hautes teneurs en matière organique.

La conductivité des eaux du lac Guidimouni quant à elle varie entre 475 et 631,7 $\mu\text{S/cm}$.

S'agissant des nutriments contenus dans les sédiments, la teneur en azote est autour de 0,27% ; celle du phosphore varie entre 14,82 et 16,11%.

L'analyse granulométrique des sédiments montre des textures limono-argileuse. Les teneurs dans les sédiments étaient plus élevées en argiles (15 à 25,01%), celle des limons entre 1,11 et 9,35% et celle des sables entre 3,88 et 51,58%. Ces sédiments sont peu fournis en azote, ses valeurs étaient stables à tous les niveaux. Ils sont par contre riches en phosphore (14,82 à 16,18).

Variation des éléments traces métalliques dans les matrices eau et sédiments du lac Guidimouni

Les tableaux 3 et 4 montrent respectivement les teneurs en éléments traces métalliques dans les eaux et les sédiments du Lac Guidimouni.

Tableau 3 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les eaux du lac Guidimouni

ETM ($\mu\text{g/L}$)	Guidimouni			Normes ($\mu\text{g/L}$)
	GEE 1	GEE 2	GEE 3	
Pb	63,82	51,26	46,37	< 50
Zn	7,18	8,01	8,29	< 20
Cu	10,78	8,16	12,29	< 50
Fe	156,80	146,74	159,63	-
Cd	4,71	3,28	3,82	< 5

*ETM : Eléments traces métallique ; GEE : Guidimouni, Echantillon d'Eau ; Pb : Plomb ; Zn : Zinc ; Cu : Cuivre ; Fe : Fer ; Cd : Cadmium
Les valeurs en gras sont des teneurs dépassants les normes.*

Tableau 4 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments du lac Guidimouni

ETM (mg/kg)	Guidimouni			Normes (mg/kg)
	GS 1	GS 2	GS 3	
Pb	0,74	0,41	0,20	91,30
Zn	1,16	1,40	0,82	315,00
Cu	0,51	0,65	0,57	197,00
Fe	128,92	144,98	125,00	-
Cd	0,02	0,02	0,01	3,50

ETM : Elément Trace Métallique GS : Guidimouni échantillon de Sédiment

L'analyse de ces tableaux révèle la présence de tous les éléments trace analysés (Plomb, Zinc, Cuivre, Fer, Cadmium) dans les échantillons d'eau et de sédiments à tous les points de prélèvement. Les concentrations dans les sédiments sont relativement plus élevées. Une hiérarchisation de ces concentrations fait ressortir les ordres suivants : $\text{Cd} < \text{Zn} < \text{Cu} < \text{Pb} < \text{Fe}$ et $\text{Cu} < \text{Cd} < \text{Zn} < \text{Pb} < \text{Fe}$ dans les échantillons d'eau et $\text{Cd} < \text{Cu} < \text{Pb} < \text{Zn} < \text{Fe}$ et $\text{Cd} < \text{Cu} < \text{Pb} < \text{Zn} < \text{Fe}$ dans les sédiments.

Les différentes teneurs sont comprises entre : Pb (0,46 – 0,64 $\mu\text{g/L}$), Zn (0,007 – 0,008 $\mu\text{g/L}$), Cd (0,03-0,05 $\mu\text{g/L}$) dans les eaux et dans les sédiments entre Pb (0,198 – 0,744 mg/kg), Zn (0,822 – 1,396 mg/kg), Cu (0,514 – 0,651 mg/kg), Cd (0,013 – 0,022 mg/kg). Les teneurs en Fer sont partout les plus élevées. Ces teneurs varient entre 146,74 et 159,63 $\mu\text{g/L}$ dans les eaux et 125 et 144,97 mg/kg dans les sédiments.

En dehors du Pb à Guidimouni au niveau des deux premiers points de prélèvement (GEE1 et GEE2), toutes les autres teneurs dans les eaux et les sédiments étaient conformes aux normes de qualité.

Discussion

La qualité des eaux de surface est essentielle pour la vie aquatique, car elle conditionne la survie et le développement équilibré des organismes aquatiques. La surveillance de cette qualité est donc primordiale ; elle passe notamment par l'analyse de paramètres physico-chimiques auxquels ces organismes ne peuvent échapper.

En saison chaude, on constate que les eaux du lac Guidimouni sont légèrement alcalines, une situation favorable aux écosystèmes aquatiques. Selon Tfiel *et al.* (2018), la valeur du pH dépend de la matière organique thermostable dissoute ou non dans l'eau, et sa variation est liée à la perte de gaz carbonique. Abboudi A. *et al.* (2014) signalent également l'influence du substrat que traverse l'eau (sol calcaire ou siliceux). Cette valeur de pH pourrait donc être liée à une activité biologique accrue (photosynthèse et respiration modifiant le CO₂ dissous). En saison pluvieuse, le pH devient légèrement basique, probablement en raison de la présence de bicarbonates. En saison froide, l'élévation du pH peut être causée par une dissolution accrue des minéraux alcalins (carbonates, hydroxydes), due à la température plus basse réduisant la teneur en CO₂ dissous. Un pH de 9,3 (pouvant atteindre 10,2) est trop alcalin pour la majorité des espèces aquatiques. En effet, un pH supérieur à 9 peut nuire aux poissons et invertébrés, altérer la solubilité des nutriments et accroître la toxicité de l'ammoniaque (NH₃). En effet, un pH basique n'est donc pas très favorable au développement des poissons, qui peuvent perdre leur chair et devenir squelettiques à maturité (Dimon *et al.*, 2014). Les pH observés en saisons chaude et pluvieuse, variant de 7,8 à 8, sont favorable pour la vie aquatique, la fourchette optimale étant située entre 6,5 et 8,5 (I.B.G.E, 2005). Ces valeurs corroborent celles obtenues par Bouba *et al.* (2020) sur le lac Guidimouni, notamment avec des valeurs comprises entre 6,93 et 9,9.

La température varie entre 24,2 et 28,7 °C au cours de toutes les saisons. Ces températures se situent dans la fourchette tolérable pour les poissons tropicaux et tempérés. Toutefois, le pic observé en saison pluvieuse (31,2 °C) pourrait être nocif. Une température supérieure à 30 °C peut réduire l'oxygénation et stresser les espèces sensibles. Cette élévation peut être liée à celle du milieu ambiant lors des prélèvements (pluies chaudes, brassage des couches d'eau, activité biologique accrue). En saison froide, l'eau connaît de fortes variations thermiques, pouvant affecter la chimie de l'eau et les organismes aquatiques. En saison chaude, l'eau devient plus stable et plus chaude, favorisant les processus biologiques. Les moyennes de température observées en saison pluvieuse sont similaires à celles rapportées par Agblonon Houelome *et al.* (2016) dans les eaux de la rivière Alibori (26 °C à 31,86 °C), par Aziz *et al.* (2016) dans l'oued Beht au Maroc (20 °C à 26 °C), et par Millogo *et al.* (2020) dans le bassin du lac Bam au Burkina Faso

(25,5 °C à 30,8 °C). Ces températures sont caractéristiques des zones tropicales et comparables à celles d'autres pays subsahariens.

L'oxygène dissous (OD) est plus élevé en saisons chaude et froide, et plus faible en saison pluvieuse. Cela s'explique par la température : les eaux plus froides favorisent une meilleure dissolution de l'oxygène. En saison chaude, l'OD varie peu, probablement en raison d'une photosynthèse plus active. Selon Villeneuve et al. (2006) et Kouassi *et al.* (2007), les taux d'OD dépendent du vent, de la photosynthèse, de la vitesse du courant et de la présence de dépôts réducteurs. En saison pluvieuse, l'OD chute à des niveaux critiques (min. 1,5 mg/L), indiquant un risque d'anoxie pouvant entraîner la mortalité d'espèces. Cette baisse est sans doute liée à une charge organique élevée (ammonium, phosphore) et à une respiration bactérienne accrue. Des valeurs similaires ont été observées par Dimon *et al.* (2014) sur le lac Ahémé (Bénin) et par Hyangya *et al.* (2022) sur le littoral du lac Kivu. L'OD optimal pour la majorité des poissons et invertébrés est > 5 mg/L.

En saison froide, la conductivité est plus basse et plus variable, suggérant une dilution ou des influences hydrologiques diverses. La baisse des températures peut aussi réduire la dissolution des sels minéraux. En saisons chaude et pluvieuse, la conductivité est plus élevée et stable, indiquant une minéralisation accrue par évaporation ou apports externes. Une conductivité > 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ devient problématique, affectant les échanges osmotiques (Monney *et al.*, 2016). Ici, la zone reste modérément minéralisée. La conductivité et les solides dissous totaux (TDS) sont influencés par les chlorures (Cl^-) et carbonates (CO_3^{2-}), qui augmentent en saison chaude à cause de l'évaporation. Welcomme (1985) et N'Goran (1989) indiquent que ces variations dépendent des précipitations, de l'évaporation et du substrat traversé. Selon Hade (2003), la géologie, la température, les débits et les apports anthropiques jouent aussi un rôle.

Les concentrations en chlorures et sulfates restent inférieures aux seuils de bon état chimique (150 mg/L pour Cl^- , 120 mg/L pour SO_4^{2-}) (I.B.G.E, 2005). Leur présence provient souvent de la dissolution de dépôts salins (Bhojar, 2021). Des niveaux élevés peuvent indiquer une contamination anthropique (Gul *et al.*, 2021). La moyenne de chlorures est plus élevée en saison pluvieuse, suggérant un ruissellement contaminé.

Les nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-), issus de la nitrification de l'ammonium (NH_4^+), sont naturellement présents (Chaussée, 2003). Les faibles concentrations de NO_3^- suggèrent une pollution limitée. Les NO_2^- indiquent une pollution organique incomplètement oxydée. La hausse de NH_4^+ (2,9 - 5 mg/L) en saisons chaude et pluvieuse indique une forte décomposition organique ou un apport d'eaux usées. Ces valeurs se situent l'eau dans une classe de qualité médiocre à mauvaise (I.B.G.E, 2005). Le NH_4^+ n'est pas toxique en soi, mais peut se transformer en ammoniac (NH_3),

gaz soluble et toxique (Koudénoukpo, 2017). Le phosphore est élevé toute l'année, signe d'une pollution persistante. De telles concentrations peuvent perturber les écosystèmes aquatiques, provoquer une asphyxie des poissons et entraîner une accumulation de matière organique. Le phosphore total, paramètre clé de la fertilisation aquatique, joue un rôle dans la croissance planctonique (Capo-Chichi *et al.*, 2022). La hausse en saison pluvieuse (25 mg/L max) indique un apport agricole. Ces valeurs excèdent largement la limite admissible de 0,5 mg/L (Agblonon Houelome, 2017).

La pollution organique serait liée à la matière organique en décomposition, aux engrais azotés et phosphatés utilisés autour du lac. Ceux-ci s'infiltrent par ruissellement ou lixiviation. Les détergents domestiques sont aussi une source de phosphates. Les troupeaux utilisant le lac pour l'abreuvement apportent des matières fécales, contribuant aux matières en suspension (MES). Bien que globalement acceptables, un pic de 80 mg/L a été noté, indiquant une forte turbidité. Cela peut limiter la lumière, entraver la photosynthèse, endommager les branchies des poissons, et nuire à leur respiration (US EPA, 2003).

Concernant la pollution métallique, les éléments traces métalliques (ETM) sont naturellement présents, mais leur concentration actuelle résulte surtout d'activités humaines (industrie, agriculture, transport). En milieu rural, les pesticides et engrais sont les principales sources (Ouattara *et al.*, 2018). Les analyses montrent que les ETM sont généralement conformes aux normes, mais leur présence reste préoccupante pour la vie aquatique. Leur toxicité dépend du pH, de la température, de la salinité, de la matière organique et des ions présents, qui modifient leur solubilité, biodisponibilité et toxicité (Djedi *et al.*, 2018 ; Adesina, 2024). Les sédiments analysés du lac Guidimouni présentent un pH neutre, une texture limoneuse et une forte teneur en matière organique. Les valeurs de conductivités sont similaires à celles observées dans les sédiments d'eau douce ($100 < CE < 1000$). Ces conditions sont favorables à la rétention des métaux (Atika, 2018).

En saison froide, la toxicité est réduite par un pH alcalin. En saisons chaude et pluvieuse, un pH plus neutre augmente la biodisponibilité, donc la toxicité, aggravée par les températures élevées. Le faible OD en saison pluvieuse accroît la toxicité du Pb, Cu et Cd. La présence de MES et sels minéraux réduit cette toxicité par adsorption. La dureté de l'eau (Ca^{2+} , Mg^{2+}) réduit également la toxicité des métaux lourds.

Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes, causant des effets délétères comme la bioaccumulation et la bioamplification (Ouattara *et al.*, 2021 ; Martinez-Haro *et al.*, 2022). Cela présente un risque pour la santé humaine, notamment au lac Guidimouni, à vocation piscicole. Seul le plomb (Pb) dépasse les normes. Il est absorbé par les branchies et la peau des poissons, s'accumule dans le foie, les reins et les os, provoque du stress

oxydatif, altère le système nerveux et immunitaire (Chouahda et Soltani, 2009 ; Lee *et al.*, 2019 ; Srivastav *et al.*, 2024).

Conclusion

On observe une variation saisonnière des paramètres étudiés, ce qui soutient une dégradation des eaux du lac. Le lac Guidimouni est fortement menacé par l'eutrophisation, la pollution azotée et les fluctuations d'oxygène dissous. Sans actions correctives la biodiversité locale risque d'être gravement affectée, avec des mortalités des poissons et une détérioration plus accentuée de la qualité des eaux. Les eaux de ce lac présentent par ailleurs un début de pollution aux éléments traces métalliques qui en fonction des fluctuations des paramètres physico-chimiques, présenteraient une toxicité faible à modérée. Afin de préserver les usages que procure cette rivière aux populations riveraines, il importe qu'une approche intégrée de la gestion de celle-ci et de son bassin versant soit instaurée pour sa protection et les organismes vivants qui y habitent.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier : Mr Addam M. du service communal de l'environnement pour les facilitations à l'accès du site, Mr Mamane Nassirou notre guide de terrain, le chef de département des sciences du sol de la Faculté d'Agronomie (Pr Tidjani Adamou) pour ses aides dans les analyses au laboratoire.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Millogo C., Bakouan C., Sawadogo S., Nakolendousse S., 2020. Caractérisation physico-chimique des eaux de surface et des altérites du bassin versant du lac Bam, Centre Nord du Burkina Faso. *Afrique Science*, 17(5) : 137-150.
2. Derwich E., beziane Z., benaabidate L., belghyti D. 2008. Evaluation de la qualité des eaux de surface des oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraîchère au Maroc. *Larhyss Journal*, (7) : 59-77.
3. Aziz Q., Hajar H., Kaoutar H., Ilham S., El Hassania S., Fadli M., 2016. Les Teneurs Métalliques Et Paramètres Physico Chimiques De

- L'eau Et Du Sédiment De Oued Beht, Au Niveau De Sidi Kacem Et De Oued R'dom Au Niveau De Sidi Slimane. *European Scientific Journal*, 12(24) : 1857 – 7881 doi: [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n24p186](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n24p186).
4. Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F., Benaabidate L., Lahrach A., 2014. Etude de la qualité physico chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou (Maroc). *European Scientific Journal* 10 (23)
 5. Taffouo V.D., Ikoli Saya R.A., Oben Mbeng L., et Tomedi Eyango M., 2017. Impacts des caractéristiques physico-chimiques des eaux sur la distribution du phytoplancton et des macrophytes de la rivière Nkam (Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(4): 1766-1784, DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.28>
 6. Buhungu S., Montchowui E., Barankanira E., sibomana C., Ntakimazi G. et Bonou C.A., 2018. Caractérisation spatio-temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Kinyankonge, affluent du Lac Tanganyika, Burundi *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(1) : 576-595, DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.44>
 7. Monney A.I., Issa N.O., Raphaël N.E., Maryse N. A., Mamadou B. et Tidiani K. 2016. Distribution du zooplancton en relation avec les caractéristiques environnementales de quatre rivières côtières du Sud-est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 98 : 9344-9353. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v98i.1.10>.
 8. Moussa A.B., Chahlaoui A. et Rour El H., 2012. Evaluation de la pollution physico-chimique des eaux de l'Oued Khoumane (Moulay Idriss Zerhoun, Maroc). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(6): 7096-7111 DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.44>
 9. Dimon F., Dovonou F., Adjahossou N., Chouti W., Mama D., Alassane A., Boukari M., 2014. Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 037 : 36 – 42.
 10. Chaussée K., 2003. Nitrates / Nitrites. In : Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. *Institut National de Santé Publique du Québec*, 12 p.
 11. Agblonon Houelome T.M., Adandedjan D., Chikou A., Imorou Toko I., Youssao I., Laleye P., 2017. Caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *Afrique SCIENCE* 13(4) :35 – 49.
 12. Capo-chichi H.B.P., Adandedjan D., Agblonon houelomet .M., Laleye P., 2020. Physico-chimie et pollution organique du lac

- Nokoué au Sud du Bénin. *J. Appl. Biosci.* Vol : 170 : 17752– 17774
<https://doi.org/10.35759/JABs.170.7>
13. Martinez-Haro M., Acevedo P., Pais-Costa A.J., Neto J.M., Vieira L.R., Ospina-Alvarez N., Taggart M.A., Guilhermino L., Ribeiro R., Marques J.C., 2022. Ecotoxicological tools in support of the aims of the European Water Framework Directive : A step towards a more holistic ecosystem-based approach. *Ecological Indicators* 145 (109645) : 1-9 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109645>
 14. Hyangya B. L., Riziki J. W., Masilya P. M., Zabene F. Z., Alunga G. L., Kaningini B. M., & Kankonda A. B. 2021. Physico-chemical characterization of littoral water of Lake Kivu (Southern basin, Central Africa) and use of water quality index to assess their anthropogenic disturbances. *World Water Policy*,1–28. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12059>
 15. Koudenoukpo Z.C., Chikou A., Adandedjan D., Hazoume R., Youssao I., Mensah G.A., Laleye A.P. 2017 : Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : la rivière Sô au Sud Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Applied Biosciences* 113 : 11111-11122.
 16. Gul S., Balkhi M.H., Abubakr A, Shah T.H., Bhat B.A., Bhat F.A. and Javeed H., 2021. A study on physico-chemical parameters of Manasbal Lake, Kashmir, India *The Pharma Innovation Journal* 10 (9): 554-559
 17. Bhoyar V., 2021. Physicochemical parameters and water quality of ambona lake. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 10 (13) : 1750-1754.
 18. Millogo C., Bakouan C., Sawadogo S., et Nakolendousse S., 2020. Caractérisation physico-chimique des eaux de surface et des altérites du bassin versant du lac Bam, Centre Nord du Burkina Faso. *Afrique Science* 17(5) : 137 – 150 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
 19. Agblonon Houelome T.M., Adandedjan D., Chikou A., IMOROU TOKO I., YOUSSAO I. Philippe LALEYE P., 2017. Caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *Afrique Science* 13(4) :35 – 49 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>
 20. USEPA, 2003. Developing waterquality criteria for suspended and bedded sediment (SABBS),US EPA/Office of water/ Office of science and technology. 59p
 21. Adesina P.F., 2024. Impacts of heavy metals on aquatic dwellers : a literature review.IntechOpen.DOI : 10.5272/intechopen.1008328

22. Atika H., 2018. Détermination de quelques métaux lourds dans les sédiments. Impact sur l'environnement. Thèse en vue de l'obtention de diplôme de doctorat. Université Badji Mokhtar-Annaba/Algérie, 165P.
23. Djeddi H., Nacereddine S.K., Keddari D., Afri-mehennaoui F-Z., 2018. Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn et Pb des sédiments du barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie). *European Scientific Journal*. 14 (15) : 269-286
24. Chalou C., Leroy D., Thome J-P. & Goffort, A. 2006. Les micropolluants dans les eaux de surface en Région wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Aquapole-Ulg. Liège. 137 p.
25. Chouahda S., Soltani N., 2009. Impact du cadmium et du halofenozide sur les indices métriques des femelles adultes d'un poisson Culiciphage *Gambusia affinis*, *Sciences et technologie. C, Biotechnologies* 29 (9): 9-14
26. Lee J-W., Choi H., Hwang U-K., Kang J-C., Kang Y.J., Kim K.I., Kim J-H., 2019. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune response in fish : A review. *Environmental toxicology and Pharmacology*, 68 : 101-108.
27. Srivastav A., Srivastav S.K., Upadhyay R.K., 2024. Physiological and behavioral effects of lead poisoning in aquatic and marine animals : a review. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 13(6) :171-185
28. Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification du Niger. 2006. Diagnostic sur la gestion des zones humides du Niger. Rapport final, p. 35.
29. ISSA M., 2010., Diagnostic et impacts du maraichage dans la cuvette de Guidimouni, Mémoire de maîtrise géographie, FLSH, UAM de Niamey, 71 p.
30. M. BASSIROU M., 2017. Pratiques phytosanitaires par les producteurs maraichers dans la commune de Guidimouni. Mémoire de licence, Faculté d'Agronomie université Abdoumoumouni de Niamey, 28 p.
31. Youchaou Tawaye A., Alhou B. et Adamou A.E.S., 2021. Niveau de contamination aux pesticides et risques écotoxicologiques dans deux écosystèmes aquatiques au Niger : Lac Guidimouni et mare de Tabalak. *Afrique SCIENCE* 18 (2) : 1 – 13
32. Boillot C., 2008. Evaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les contributions à l'amélioration de la phase « caractérisation des effets ». Thèse pour l'obtention de

- grade de docteur en Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 313 p.
33. Casado-Martinez M.C., Molana-Leno L., Grandjean D., De Alencastro L.F., Werner I. et Ferrai B.J.D., 2016. Impact des sédiments sur la qualité de l'eau, surveillance écotoxicologique de la qualité de la rivière. *Aqua et Gas*. (4) : 56-63.
 34. Mama D., Aina M., Alassane A., Boukari O.T., Chouti W., Deluchat V., Bowen J., Afouda A. et Baudu M., 2011. Caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin) *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(5): 2076-2093 DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.29>
 35. IBGE, 2005. Qualité physico-chimique et chimique des Observatoire eaux des de surface. Données de l'Environnement. Fiche de donnés, IBGE, 16 p.
 36. Lozo R.N., Berté S., Ouattara N.I. et E. P. Kouamélan E.P., 2019. Variation spatio-saisonnière des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire), *Reb-Pasres*, 4 (1) : 34 - 43
 37. Welcomme R.L., 1985. River fisheries. F.A.O Fisheries Technical Paper 262, Rome, 330 p. N'Goran Y.N. 1989. Effets des barrages de retenues d'eau sur l'environnement abiotique d'un bassin côtier ouest africain : paramètres physico-chimiques de la Bia Côte d'Ivoire-Ghana. Mémoire de DEA Environnement. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), (1989) 65 p.
 38. Thauvin J.P., 1966. « Monographie hydrogéologique de la Mamora. Notes et Mémoires du Service géologique », N° 195, Maroc, 94p.
 39. Daniel K.K., Bernard Y.O., Ladji M., 2016. Contamination des sédiments d'une lagune tropicale par les éléments traces métalliques (As, Cd, Cr, Pb, Zn) : cas de la baie lagunaire de la ville d'Abidjan (Côte d'ivoire). *Int.J.Pure.App.Boisci* 4(6) : 204-217.
 40. Fagbenro O.A., 2002. Tilapia : fish for trough . 32nd innogural lectre, Federal University of Technology, Akure, Nigeria. 77p.
 41. Tfeil H., Mahfoudh M., Mhamed B.A.M., Aliyen A., Yarba L., Hmeyada A.M.V., 2018. Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux De Surface Et Étude De La Diversité Ichtyologique De Quelques Zones Humides Continentales En Mauritanie. *European Scientific Journal*, 14(6) : 83-103.
URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p83>
 42. Seydou S., 2021. FDR (Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar). Catégories approuvées dans la recommandation 4.7 modifiée par la résolution VIII.13 de la conférence des parties contractantes, 12 p. Seydou S., 2004. FDR (Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar). Catégories approuvées dans la

recommandation 4.7 modifiée par la résolution VIII.13 de la conférence des parties contractantes, 12 p.

43. Mamane-Nasser D.S., 2019. Variations physico-chimiques, usages des eaux des lacs et dynamique d'occupation du sol à Guidimouni (Sud Zinder). Mémoire de fin de cycle Présenté pour obtenir le diplôme de Master Intégré en Sciences de L'Environnement, gestion Des ressources naturelles et développement durable (Mise), Faculté des sciences et Techniques/Université Abdou Moumouni de Niamey, 43p.