

Evaluation de la qualité physico-chimique et de la pollution métallique du lac Guidimouni, site RAMSAR au Niger : impacts sur 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/esj.2025.v21n27p126](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n27p126)

Submitted: 18 June 2025

Accepted: 23 September 2025

Published: 30 September 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 : impacts sur les organismes aquatiques*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (27), 126. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n27p126>

Résumé

La présente étude fait un diagnostic des perturbations de la qualité des eaux dues aux activités anthropiques sur le lac Guidimouni en se basant sur l'état physico-chimique et la pollution métallique. A cet effet, des mesures sur les eaux ont été réalisées *In-situ* : T°, CE, TDS, pH, OD et *In vitro* : 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. Ces analyses ont été faites à l'aide de méthodes normalisées (Rodier, 2009). 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 pour les organismes aquatiques) en saison pluvieuse. 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 µg/L 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 ; Site Ramsar ; eutrophisation ; pollution métallique, organismes aquatiques

Evaluation of the Physicochemical Quality and Metallic Pollution of Lake Guidimouni, a RAMSAR Site of Niger: Impacts on 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

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°, EC, TDS, pH, DO and *in vitro*: 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 for aquatic organisms) in the rainy season. All the MTE analyzed in the water and sediments were detected, however, at levels in accordance with the standards except for Pb (51.26 µg/L 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; Ramsar Site; Eutrophication; Metal pollution, Aquatic organisms

Introduction

Le lac Guidimouni, situé dans la commune de Guidimouni, est classé site Ramsar et constitue une ressource écologique et socio-économique majeure (MHE/LCD, 2006). Il soutient la pêche (environ 4 tonnes/an pour la

consommation locale et pour l'exportation) (Galadima, 2008), le maraîchage (250 ha exploités où divers types de spéculations y sont cultivées) et l'abreuvement du bétail, tout en abritant une riche biodiversité (poissons, oiseaux migrateurs, crocodiles ; Issa, 2010).

La qualité des eaux, déterminée par les contextes géologiques, climatiques et biologiques (Aziz *et al.*, 2016 ; Bougon *et al.*, 2021), peut être menacée par des pressions anthropiques. Les principales sources de pollution pour le lac Guidimouni sont : l'agriculture (usage d'engrais et pesticides), les pratiques domestiques (lessive, vaisselle), le ruissellement en saison pluvieuse (apports agricoles, transport, forge) et les rejets ménagers (Bassirou, 2017 ; Youchaou Tawaye *et al.*, 2021). Ces apports peuvent entraîner une contamination organique et minérale (pesticides, nutriments, éléments traces métalliques, matières organiques, déchets divers). Les lacs, systèmes fermés, sont particulièrement vulnérables à cette dégradation (Wine *et al.*, 2019).

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. Les éléments traces métalliques, bien que nécessaires à faible concentration, deviennent toxiques lorsqu'ils dépassent les seuils tolérables et peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire, provoquant des perturbations neurologiques et reproductives (Boillot, 2008 ; Mama *et al.*, 2011 ; Daniel *et al.*, 2016 ; Lozo *et al.*, 2019). D'où la nécessité d'évaluer les milieux exposés

L'évaluation de la qualité de l'eau, nécessaire pour les usages de celle-ci, repose sur la mesure de paramètres physico-chimiques, l'utilisation d'organismes indicateurs et l'analyse des sédiments, qui conservent la mémoire des pollutions et peuvent relarguer des contaminants (Devillers *et al.*, 2005 ; Casado-Martinez *et al.*, 2016). Ces paramètres ainsi mesurés sont ensuite comparés à des valeurs de référence qui définissent l'utilisation à laquelle cette eau pourra être destinée. 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. Ces études se sont limitées à des analyses saisonnières de certains paramètres des eaux pour la consommation humaine et pour l'irrigation (Maman-Nasser, 2019 ; Bouba *et al.*, 2020), 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 des sédiments, dans une optique de préservation de ce milieu naturel.

Matériel et méthodes

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 ($13^{\circ} 40' - 13^{\circ} 45' N$ et $9^{\circ} 27' - 9^{\circ} 34'E$). La commune de Guidimouni est localisée dans le département de Damagaram Takaya limitée au Nord par les communes de Damagaram Takaya 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 comprend une période froide (Novembre à Février) et une période chaude (Mars à Mai), 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 ambiante peut descendre entre 8 et $10^{\circ}C$ en saison sèche froide et remontée au-delà de $40^{\circ}C$ en saison sèche chaude (Seydou, 2021).

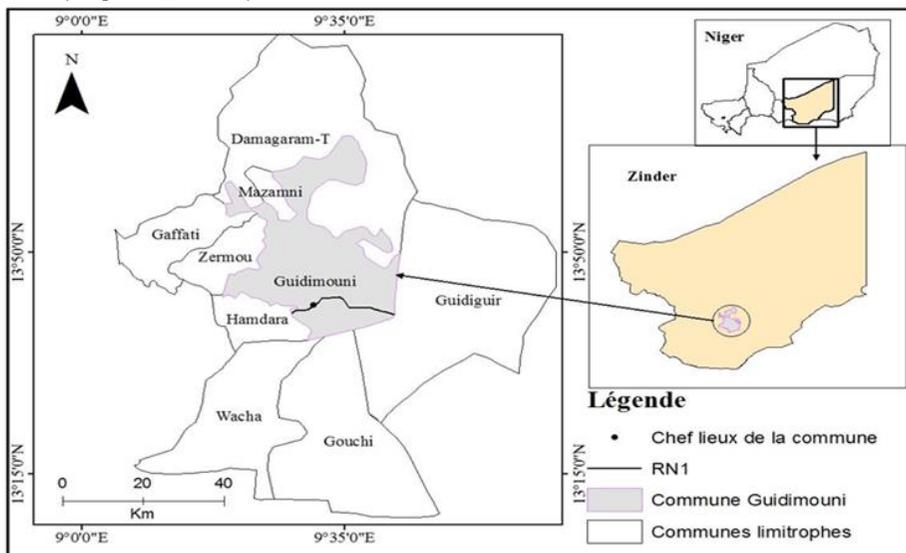


Figure 1 : Carte de localisation de la commune de Guidimouni (Mamane-Nasser, 2019)

Le terroir est marqué par une succession de dunes et de couloirs interdunaires. Trois (3) types de sol sont rencontrés à Guidimouni : les sols subarides bruns-rouges à faible fertilité, sur les dunes ; les sols bruns subarides à fertilité moyenne, dans les cuvettes et les sols hydromorphes riches en humus autour du lac (Guéro et Danlamso, 2008). La population à Guidimouni est estimée à 69.587habitants en 2012 (INS, 2014), avec une densité de 62,35 habitants/km². Les principales activités sont : l'agriculture (pluviale et irriguée) qui occupent plus 90% de la population ; l'élevage et la pêche (Ado Salifou, 2015).

Collecte des données

Echantillonnage

Des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés, à trois endroits différents (amont, milieu et aval) notamment à des points de la zone littorale et au milieu du plan d'eau en allant d'Est en Ouest (figure 2). 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. Cette profondeur est choisie pour les eaux du fait qu'elle se situe dans la couche photique, la transparence de celle-ci se situant entre 0,5m et 0.95m (Toudjani, 20204). La couche photique étant essentielle, car c'est le lieu de développement des phytoplanctons, également, le lieu des échanges gazeux O₂/CO₂ (Lee et al., 2012). Pour les sédiments cette profondeur est la surface de contact directe avec la colonne d'eau, la zone la plus réactive et biodisponible pour les échanges de nutriments et des métaux. Elle est également celle qui concentre plus d'organismes benthiques (Royal Society Publishing, 2023 ; Larowe, 2023). Six (6) campagnes de prélèvement ont été réalisées sur trois saisons, donc deux (2) fois par saison aux mois indiqués : 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 puis mis à sécher à la température ambiante du laboratoire.

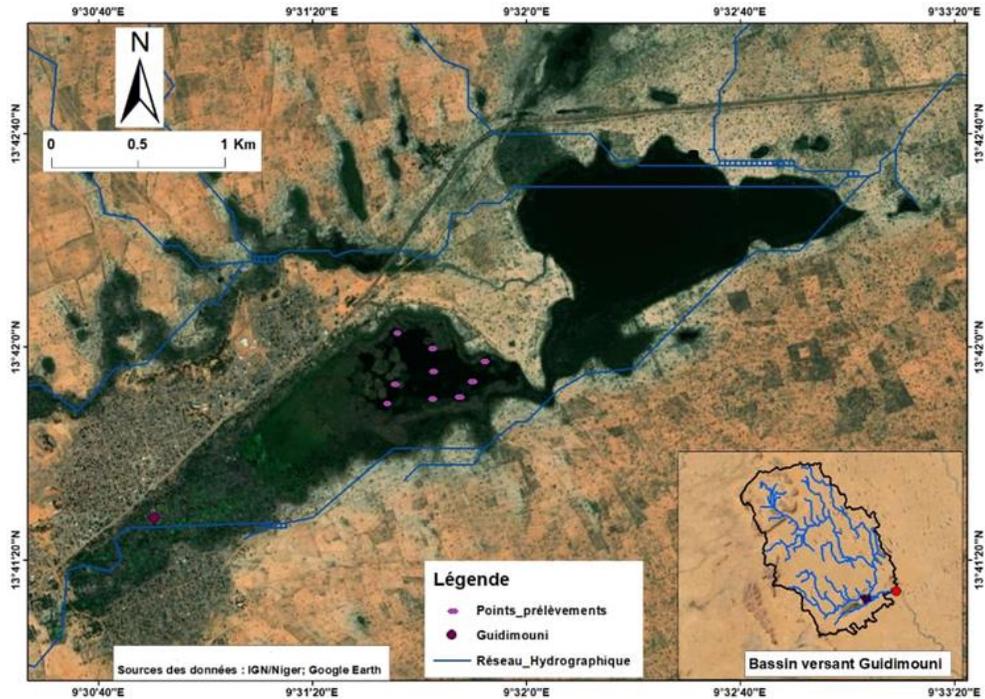


Figure 2 : Localisation des points prélèvements

Détermination des paramètres physico-chimiques des eaux

Certains paramètres ont été mesurés *in situ*, tandis que d'autres ont été déterminés au laboratoire. Les mesures *in situ* ont concerné la température (T°), la conductivité électrique (CE) et les solides totaux dissous (TDS). Ces paramètres ont été obtenus à l'aide d'une sonde multiparamètres **Hanna HI-9812-5**, présentant les précisions suivantes : pH ($\pm 0,1$), T° ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), CE et TDS ($\pm 2\%$ F.S). L'oxygène dissous a été quantifié au moyen d'un oxymètre **ODO 200 YSI** avec une précision de $\pm 0,1$ mg/L.

Les analyses effectuées au laboratoire ont porté sur 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), ainsi que sur les métaux lourds : plomb (Pb), zinc (Zn), cuivre (Cu), fer (Fe) et cadmium (Cd), selon les procédures de Rodier (2009).

Les méthodes analytiques appliquées aux échantillons d'eaux étaient les suivantes :

- Les matières en suspension ont été déterminées par filtration sur papier **Whatman** préalablement pesé, suivie d'un séchage des résidus à l'étuve à 105°C , pendant 1 heure puis refroidit pendant 30mn et répétés jusqu'à l'obtention de poids constant.

- Les carbonates et bicarbonates ont été dosés par titrimétrie, respectivement à la phénolphtaléine et au méthyl orange.
- Les nitrates, nitrites, ammonium et sulfates ont été quantifiés par spectrocolorimétrie.
- Les chlorures ont été déterminés par la méthode de Mohr.
- Les métaux lourds (Pb, Zn, Cu, Fe, Cd) ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique en flamme, après filtration des échantillons (Rodier, 2009).

Détermination des paramètres physico-chimiques des sédiments

Les caractéristiques physico-chimiques analysées sur les sédiments comprenaient le pH, la granulométrie, la teneur en matière organique ainsi que les métaux lourds (Pb, Zn, Cu, Fe, Cd). La granulométrie a été déterminée par la méthode de la pipette de Robinson (1922), le pH et la conductivité électrique respectivement dans des suspensions sol/eau aux rapports 1/2,5 et 1/5 à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre. Le carbone organique a été dosé par la méthode de Walkley et Black (1934). Les métaux lourds ont été quantifiés par spectrophotométrie d'absorption atomique en flamme, après extraction par digestion humide à l'eau régale (HCl/HNO₃, 3 :1) sur des échantillons de sol tamisés à 2 mm (Rodier, 2009).

Traitement et analyse des données

Les données recueillies ont subi une analyse descriptive. Les moyennes, les valeurs minimales, les valeurs maximales et les écart-types standards ont été calculés à l'aide du tableur Excel dans sa version 2021.

Résultats

Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux du lac Guidimouni sont regroupés dans les tableaux 1, 2, 3. Il donne la valeur moyenne, maximum, minimum (Moy : moyenne, Max : maximum, Min : minimum, Ec : écart-type) ainsi que l'écart type de chaque paramètre de tous les points de prélèvement.

Paramètres physico-chimiques de base

Le Tableau 1 présente les paramètres physico-chimiques de base, le pH, la température et l'oxygène dissous:

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques de bases 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

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.

Minéralisation et pollution ionique

Le Tableau 2 donne le niveau de minéralisation et de la pollution ionique des eaux du la Guidimouni:

Tableau 2 : Teneur en sel dissous des eaux du lac Guidimouni

Paramètres	Saison froide				Saison chaude				Saison pluvieuse			
	Moy	Max	Min	Ec	Moy	Max	Min	Ec	Moy	Max	Min	Ec
CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	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
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⁻ mg/L	13,8	15,0	12	1,0	12,3	12,6	11,9	0,3	12,4	12,6	12	0,3

La conductivité électrique (CE) est de 625,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en saison froide, avec un minimum de 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle augmente significativement en saison chaude pour atteindre 758,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 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 (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). En saison froide, le Calcium : 87,5 mg/L (min 70,1 – max 110,2) et le Magnésium : 38,6 mg/L (min 24,3 – max 68,2) ; en saison chaude, le Calcium : 108,7 mg/L (min 100,2 – max 116,4) et le Magnésium : 61,4 mg/L (min 42,6 – max 72,6) et en saison pluvieuse Calcium : 104,3 mg/L (min 100,2 – max 110,2) Magnésium : 54,5 mg/L (min 42,6 – max 58,4). Ce qui indique que l'eau du lac Guidimouni est de dure, en particulier en saisons froide et pluvieuse.

Nutriments et pollution organique

Le Tableau 3 montre les teneurs en nutriments et des matières en suspension des eaux du lac Guidimouni:

Tableau 3 : Teneurs en nutriments et des matières en suspension des eaux du lac Guidimouni

Paramètres	Saison froide				Saison chaude				Saison pluvieuse			
	Moy	Max	Min	Ec	Moy	Max	Min	Ec	Moy	Max	Min	Ec
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
MES mg/L	69,7	80,0	56	10,2	64,7	84	52	14,2	59,4	62	56	3,0

Les nitrates (NO_3^-) présentent de faibles concentrations tout au long de l'année, ses teneurs ont peu varié 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 saison 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 4 présente les résultats des caractéristiques des sédiments du lac Guidimouni et de la mare de Tabalak:

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des sédiments du lac Guidimouni

Sites	PP/S	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	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

PP/S : Points de prélèvement des Sédiments pH : Potentiel Hydrogène ; CE : Conductivité Eclectique ; MO : Matière Organique, A : Argile, Lf : Limon fin, Lg ; Limon grossier, Sf : Sable fin, Sm : Sable moyen, Sg : Sable grossier, GS : Guidimouni, échantillon de Sédiment.

Le pH 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 quant à elle varie entre 475 et 631,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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%. 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 5 et 6 montrent respectivement les teneurs en éléments traces métalliques dans les eaux et les sédiments du Lac Guidimouni.

L'analyse des tableaux met en évidence la présence de l'ensemble des éléments traces étudiés (Plomb, Zinc, Cuivre, Fer et Cadmium) dans les échantillons d'eau et de sédiments, et ce, à tous les points de prélèvement.

Tableau 5 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les eaux du lac Guidimouni

ETM ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Guidimouni			NQE ($\mu\text{g}/\text{L}$) (AGRBC, 2011)
	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.

Les teneurs relevées dans les eaux varient de 0,46 à 0,64 $\mu\text{g}/\text{L}$ pour le Pb, de 0,007 à 0,008 $\mu\text{g}/\text{L}$ pour le Zn, et de 0,03 à 0,05 $\mu\text{g}/\text{L}$ pour le Cd. La hiérarchisation des concentrations révèle l'ordre suivant : **Cd < Zn < Cu < Pb < Fe.**

Tableau 6 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les sédiments du lac Guidimouni

ETM (mg/kg)	Guidimouni			Normes (mg/kg) (CCME, 2005)
	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 ;

Dans les sédiments, elles oscillent entre 0,198 et 0,744 mg/kg pour le Pb, 0,822 et 1,396 mg/kg pour le Zn, 0,514 et 0,651 mg/kg pour le Cu, et 0,013 à 0,022 mg/kg pour le Cd. La hiérarchisation des concentrations révèle l'ordre suivant : **Cd < Cu < Pb < Zn < Fe**.

Les teneurs en Fer sont, dans tous les cas, les plus élevées, avec des valeurs comprises entre 146,74 et 159,63 µg/L dans les eaux et entre 125 et 144,97 mg/kg dans les sédiments.

À l'exception du Plomb mesuré à Guidimouni, au niveau des deux premiers points de prélèvement (GEE1 et GEE2), l'ensemble des concentrations observées dans les eaux comme dans les sédiments respecte les normes de qualité en vigueur.

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, les eaux du lac Guidimouni sont légèrement alcalines, favorables aux écosystèmes aquatiques. Selon Tfiel et al. (2018), le pH dépend de la matière organique dissoute et de la perte de CO₂, tandis qu'Abboudi A. et al. (2014) soulignent l'influence du substrat traversé par l'eau (de nature siliceux Sandao (2013)). Les variations de pH peuvent donc résulter d'une activité biologique accrue (photosynthèse et respiration). En saison froide, l'élévation du pH peut être liée à une dissolution accrue des minéraux alcalins due à une température plus basse réduisant le CO₂ dissous (Romero-Mujalli et al., 2019). Un pH supérieur à 9, comme 9,3–10,2, est défavorable à la plupart des espèces aquatiques, affectant poissons et invertébrés et augmentant la toxicité de l'ammoniaque (Dimon et al., 2014). Les pH observés en saisons chaude et pluvieuse, variant de 7,8 à 8, se situent dans la fourchette optimale pour la vie aquatique (6,5–8,5) (I.B.G.E, 2005). Ces résultats sont supérieurs à ceux rapportés dans les rivières du sud-ouest du Nigeria par Bello et al. (2023) qui sont de 6,5–7,9 et dans le lac Tchad de 7,2–

8,4 par Akan et al. (2012), mais corroborent de ceux signalés au lac Guidimouni par Bouba et al. (2020) qui sont de 8,5–9,4.

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 d'une part et stresser les espèces sensibles d'autre part (IERE, 2021). 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.* (2021) sur le littoral du lac Kivu. L'OD optimal pour la majorité des poissons et invertébrés est > 5 mg/L (USEPA, 1986 ; WHO, 2017).

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 µS/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 (CO₃²⁻), qui augmentent en saison chaude à cause

de l'évaporation. Cormier et al. (2018) et Stober et al. (2023) 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 valeurs de la CE obtenues (625–758 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dépassent celles des rivières du Nigeria (150–400 $\mu\text{S}/\text{cm}$), par Bello et al. (2023) et celles obtenues sur le fleuve Niger à Bamako (200–600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) par Sangaré et al. (2024), mais sont comparables à celles rapportées à Guidimouni (600–800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) par Bouba et al. (2020).

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 (Bhoyar, 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^- montrent une pollution limitée, la valeur seuil étant à 2 mg/L (AGRBC, 2011). Les moyennes des concentrations (1,7–1,8 mg/L) en NO_3^- sont inférieures aux teneurs observées par Sangaré et al., 2024 qui ont trouvés jusqu'à 6 mg/L et celles de Bello et al. (2023). Les NO_2^- indiquent une pollution organique pas complètement oxydée, Les teneurs (1,8–3 mg/L) du NO_2^- sont nettement plus élevées que celles rapportées au lac Tchad (<0,5 mg/L ; Akan et al., 2012) ; elles sont également plus élevées que la norme de 1 mg/L (AGRBC, 2011). La hausse de NH_4^+ (1,9 – 2,9 mg/L) en saisons chaude et pluvieuse pourrait indiquer une forte décomposition organique ou un apport d'eaux usées. Ces concentrations sont largement supérieures aux valeurs courantes dans les écosystèmes naturels (<0,5 mg/L ; Chapman, 1996) et à celles trouvées dans le Niger à Bamako (<1 mg/L ; Sangaré et al., 2024). Ces valeurs se situent dans une classe de qualité médiocre à mauvaise 2mg/L pour NH_4^+ (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, 2016).

La pollution organique serait liée à la matière organique en décomposition, aux engrais azotés et phosphatés utilisés autour du lac. Ceux-ci s'infiltreraient 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, 1986). Les teneurs de MES moins élevées durant la période pluvieuse pourrait probablement être dues à une mise en suspension plus élevée accompagnée aussi à une diminution du niveau des eaux. Les moyennes de (59–70 mg/L) sont supérieures aux valeurs rapportées dans des réservoirs nigériens (20–40 mg/L ; Mustapha, 2009), mais inférieures aux pics observés dans le Niger en crue (>100 mg/L ; Sangaré et al., 2024).

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 des ETM (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 (Djeddi 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, cette concentration plus élevée du Pb pourrait s'expliquer par la dominance des activités agricoles par rapport aux autres types d'activité dans la zone. Le Pb peut être issu des pesticides organo-plombés, probablement des produits contrefaits utilisés par les producteurs comme signalé par Youchaou Tawaye et al. (2021). 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). Le fer

domine dans les deux compartiments, ce qui traduit son abondance naturelle et son rôle central dans les cycles biogéochimiques (Viollier et al., 2000). À l'opposé, le cadmium demeure le moins représenté, en raison d'un faible apport et d'une précipitation préférentielle sous forme de sulfures très insolubles (Di Toro et al., 1992). Le zinc se retrouve en proportion plus élevée dans les sédiments que dans l'eau. Bien que mobile en solution, il est efficacement piégé par la matière organique (Wang et al., 2023). Le cuivre, quant à lui, occupe une position intermédiaire : il reste partiellement mobile dans l'eau mais présente une forte affinité pour la matière organique (Singh et al., 2005). Le plomb montre un comportement particulier : sa proportion relativement élevée dans l'eau suggère des apports récents encore peu intégrés aux dépôts, mais il a tendance à s'accumuler progressivement dans les sédiments grâce à son adsorption sur les oxydes et carbonates (Huser et al., 2012).

Conclusion

Cette étude visait à évaluer l'impact des pressions anthropiques sur la qualité de l'eau du lac Guidimouni, en s'appuyant sur l'analyse physico-chimique et la cartérisation de la pollution métallique. Les résultats montrent une variation saisonnière des paramètres étudiés. Certaines valeurs de ces paramètres obtenues, dépassent les normes. Ce qui prouve une dégradation des eaux du lac : pH très alcalin en saison froide, oxygène dissous très faible en saison pluvieuse, chlorures très élevés en saison froide et pluvieuse. Le lac Guidimouni est fortement menacé par l'eutrophisation, la pollution azotée et phosphorée. 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 métallique qui en fonction des fluctuations des paramètres physico-chimiques, présenteraient une toxicité faible à modérée. Afin de préserver les usages que procure ce plan d'eau 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. 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*, vol. 10 (23). pp. 84-94.
2. Adesina P.F. (2024). Impacts of heavy metals on aquatic dwellers: a literature review. *IntechOpen*. DOI: 10.5272/intechopen.1008328
3. Ado Salifou A. M., (2015). Une économie stimulée par la frontière : l'exemple de Guidimouni dans le sud-est du Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. Vol.10(2). pp. 656-665.
4. Agblonon Houelome, T.M., Adandedjan, D., Chikou, A., Imorou Toko, I., Youssao, I. & Laleye, P. (2016). Caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *Afrique Science*. Vol 13(4). pp. 35 – 49. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>
5. AGRBC., (2011). Arrêté du gouvernement de la Région Bruxelles-Capitale établissant des normes de qualités environnementales, des normes de qualité de base et des normes chimiques pour les eaux de surfaces, contre la pollution causée par certaines substances dangereuses et certains polluants. etaamb.openjustice.be
6. Akan, J. C., Abdulrahman, F. I., Sodipo, O. A., & Chiroma, Y. A. (2012). Physicochemical parameters in soil and vegetable samples from Gongulon agricultural site along the river Alau Dam, Borno State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection*. Vol.(12). pp. 1428–1441.
7. 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. pp. 165.
8. 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*, vol.12(24). pp. 1857 – 7881. doi: [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n24p186](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n24p186).

9. Bassirou, M., 2017. Pratiques phytosanitaires par les producteurs maraichers dans la commune de Guidimouni. Mémoire de licence, Faculté d'Agronomie université Abdoumoumouni de Niamey. pp.
10. Bello, O. S., Ibrahim, A. T., & Adeogun, A. O. (2023). Seasonal variation of physicochemical characteristics and nutrient status of some rivers in Southwestern Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol.195(5), 621.
11. Bhoyar, V. (2021). Physicochemical parameters and water quality of ambona lake. *World Journal of Pharmaceutical Research*. Vol.10 (13). pp.1750-1754.
12. 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. pp. 313.
13. Bougon, N., Roubex, V., Lepage, M., Ferréol, M., Danis, P., & Akopian, M. (2021). Vers une évaluation physico-chimique en cohérence avec la biologie des milieux aquatiques continentaux. *Sciences Eaux & Territoires*, (37), 48–53. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2021.4.09>
14. Capo-chichi, H.B.P., Adandedjan, D., Agblonon houelomet, M. & Laleye P. (2022). Physico-chimie et pollution organique du lac Nokoué au Sud du Bénin. *J. Appl. Biosci*. Vol. 170. pp.17752– 17774. <https://doi.org/10.35759/JABs.170.7>
15. Casado-Martinez, M.C., Molana-Leno, L., Grandjean, D., De Alencastro, L.F., Werner, I. & 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*. Vol (4). pp. 56-63.
16. Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
17. Chaussée, K. (2003). Nitrates / Nitrites. In : *Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Institut National de Santé Publique du Québec. pp. 12.
18. 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, *Biotecnologies*. Vol. 29 (9) pp. 9-14.
19. Cormier, S.M., Zheng, L., Suter, G.W., & Flaherty, C.M. (2018). Assessing back ground levels of specific conductivity using weight of evidence. *Science of the total environment*, 628-629. pp. 1637-1649.

20. 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.* Vol 4(6). pp. 204-217.
21. Deviller, J., Squilbin, M. & Yourassowsky, C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement/Observatoire des données de l'Environnement. pp. 1-16.
22. Di Toro, D. M., Mahony, J. D., Hansen, D. J., Scott, K. J., Hicks, M. B., Mayr, S. M., & Redmond, M. S. (1992). Acid volatile sulfide predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediments. *Environmental Science & Technology.* Vol. 26(1). pp. 96–101.
23. 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.* Vol.037 pp. 36 – 42.
24. 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.* Vol. 14 (15). pp. 269-286.
25. Fagbenro, O.A. (2002). Tilapia: fish for thought. 32nd innogural lectre, Federal University of Technology, Akure, Nigeria. pp.77.
26. FDR. (2021). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar pour le lac Madarounfa VIII.13 de la conférence des parties contractantes. pp.17.
27. Guéro Y., & Dan Lamso N., (2008). Etude pédologique, rapport final, dans le cadre du Projet petite hydraulique pour la sécurité alimentaire dans les régions de Zinder et Tahoua, (FAO). pp.71
28. 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.* Vol. 10 (9). pp. 554-559.
29. Hade A. 2003. *Nos Lacs. Les Connaître pour Mieux les Protéger.* Editions Fides.
30. Huser, B. J., Köhler, S., Wilander, A., & Johansson, K. (2012). Lead reductions following the phasing-out of leaded gasoline in Sweden. *Environmental Science & Technology.* Vol. 45(2). pp. 284–291.
31. 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. pp.1–28.
<https://doi.org/10.1002/wwp2.12059>
32. I.B.G.E, (2005). Qualité physico-chimique et chimique des Observatoire eaux des de surface. Données de l'Environnement. Fiche de donnés, IBGE. pp.16.
 33. IERE – Institute for Energy and Resource Efficiency (2021). How does temperature affect water quality? Disponible sur : <https://iere.org>
 34. ISSA, M. (2010). Diagnostic et impacts du maraichage dans la cuvette de Guidimouni, Mémoire de maitrise géographie, FLSH, UAM de Niamey. pp. 71.
 35. Kouassi, K.L, Goné, D.L. Meledje, N.H, Wognin, A.V & K. Aka K. (2007). Hydrologie et évolution spatio-temporelle des charges solides en suspension dans le lac du barrage hydroélectrique de Taabo (Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research. Vol.18 (3). pp.464 – 478
 36. 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. Vol. (113) pp. 11111-11122.
 37. 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. Vol. 68. pp. 101-108.
 38. Lozo, R.N., Berté S., Ouattara, N.I. & Kouamélan, E.P. (2019). Variation spatio-saisonnrière des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire), Reb-Pasres. Vol. 4 (1) pp. 34 – 43
 39. Mama, D., Aina, M., Alassane, A., Boukari, O.T., Chouti, W., Deluchat, V., Bowen, J., Afouda, A. & Baudu, M. (2011). Caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin) Int. J. Biol. Chem. Sci. Vol. 5(5). pp. 2076-2093 DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.29>
 40. 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. pp.43.

41. 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*. Vol. 145 (109645). pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109645>
42. 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*. vol. 17(5). pp. 137-150.
43. 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. pp., p. 35.
44. Monney, A.I., Issa, N.O., Raphaël, N.E., Maryse, N. A., Mamadou, B. & 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*. Vol. 98. pp. 9344-9353. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v98i.1.10>.
45. Moussa, A.B., Chahlaoui, A. & Rour, E.I.H. (2012). Evaluation de la pollution physico-chimique des eaux de l'Oued Khoumane (Moulay Idriss Zerhoun, Maroc). *Int. J. Biol. Chem. Sci*. Vol.6(6). pp.7096-7111. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.44>
46. Mustapha, M. K. (2009). Assessment of the water quality of Oyun Reservoir, Offa, Nigeria, using selected physicochemical parameters. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 9(1). pp.123–130.
47. Olufayo, M.O. (2009) Hematological Characteristics of *Clarias gariepinus* Juveniles Exposed to Derris Elliptica Root Powder. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*. Vol. 9. pp. 920-933.
48. Ouattara, A.A., Sangaré, N., N'Goran, K.P.A., Yao, K.M., Trokourey, A. & Diaco, T. (2021). Evaluation de la contamination des éléments traces métalliques dans les sédiments de la rivière N'zi Côte d'Ivoire. *Int.Biol.Chem.Sci*. Vol.15(5). pp. 2199-2208.
49. Ouattara, A.A., Yao, K.M., Soro, M.P., Diaco, T. & Trokourey, A. (2018). Arsenic and trace metals in three west Africans rivers : Concentrations, Partitioning and distribution in particle-size fractions. *Archives of Environmental contamination and Toxicology*. Vol.7(3). pp.449-463.
50. Robinson, H. (1922). A method for the mechanical analysis of soils. *Journal of Agriculture Science*. Vol.12. (2). pp. 53-61.

51. Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, résiduaires, eau de mer (9^e éd.) Dunod.
52. Romero-Mujalli, G., Hartmann, J., & Borker, J. (2019). Temperature and CO₂ dependency of global carbonate alkalinity in rivers. *Chemical geology*. Vol. 5(17). pp. 1-17.
53. Sandao, I. (2013). Etudes hydrodynamique, hydro-chimique et Isotopique des eaux souterraines du bassin versant de la korama Sud Zinder, Niger : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques. Thèse de doctorat de l'université Abdou Moumouni. pp.179
54. Sangaré, Y., Coulibaly, M., Kéita, A., & Doumbia, L. (2024). Seasonal dynamics of water quality in the Niger River at Bamako (Mali): Implications for aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol.31(7). pp. 8775–8787.
55. 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. pp.12.
56. Singh, S. P., Ma, L. Q., & Tack, F. M. G. (2005). Copper-induced changes in metal partitioning and bioavailability in soils. *Environmental Pollution*. Vol. 138(3). pp.524–533.
57. Soro, T.A., Silué, K.D., Gogbé, Z.M., Gooré, B.I.G. & Coulibaly L (2021). Paramètres physico-chimiques des eaux du bassin du Haut Bandama (Côte d'Ivoire). *Revue des Sciences et de la Technologie*. Vol. 27(1). pp. 33-48.
58. 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*. Vol. 13(6) pp.171-185.
59. Stober, F., Caballero-Ledernann A. & Van Geldern, R. (2023). From freshwater inflows to salt lakes : Geochemical enrichment, ground water pollution by oil and gas production and evaporite deposits. *HydroResearch*. 45, 100158.
60. 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*. vol .14(6). pp. : 83-103.
URL: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p83>
61. Tidjani A.D., (2008). Erosion éolienne dans le Damagaram Est (sud-est du Niger) Paramétrisation, quantification et moyens de lutte. Thèse de doctorat de l'Université catholique de Louvain. pp.171.

62. USEPA (2003). Developing waterquality criteria for suspended and bedded sediment (SABBS), US EPA/Office of water/ Office of science and technology. pp.59.
63. USEPA. (1986). Quality Criteria for Water. United States Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
64. Villeneuve, V. Legare, S. Painchaud, J. & Vincent, W. (2006). Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Revue des Sciences de l'eau*. Vol. 19 (4). pp.259 – 2274.
65. Viollier, E., Inglett, P. W., Hunter, K., Roychoudhury, A. N., & Van Cappellen, P. (2000). The ferrozine method revisited: Fe(II)/Fe(III) determination in natural waters. *Applied Geochemistry*. Vol.15(6). pp. 785–790.
66. Walkley, A. & Black I.A. (1934). An examination of Degt jareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chronic acid titration method. *Soil Science*. Vol.37. (1). pp. 29-38.
67. Wang, Y., Zhang, L., Li, M., & Liu, H. (2023). Partitioning behavior and environmental risks of trace metals in sediments. *Hydrology*. Vol.10(2). pp. 51.
68. WHO. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). World Health Organisation
69. Wine, M.L., Rimne, A. & Laronne, J.B. (2019). Hydrologic effects of human induced land degradation and climate change in the lake Kinnret Basin, Israel. *Earth's Future*, Vol.7. (11). pp. 1253-1271.
70. Youchaou Tawaye, A., Alhou, B. & 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*. Vol .18 (2). pp. 1 – 13