

États physico-chimiques des eaux du Lac Madarounfa (Niger) : situation et conséquences sur la production piscicole

Hamadou YACOUBA^{1*}, Youssoufa ISSIAKA¹, Toudjani Assane ANABI², Idrissa Kindo ABDOU³
et Mahamadou Hassane INOUSSA⁴

¹Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM), Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement (FASE), Département Génie Rural et Eaux et Forêts, BP 465 Maradi, Niger

²Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques et Ecologiques, Département Eau et Environnement, BP 78, Diffa, Niger

³Université de Diffa, Institut Supérieur en Ecologie et Environnement (IS2E), BP 78, Diffa, Niger

⁴Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM), Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, BP 465 Maradi, Niger

(Reçu le 28 Août 2025 ; Accepté le 13 Octobre 2025)

* Correspondance, courriel : yahamad59@yahoo.fr

Résumé

Cette étude a pour objectif de faire l'état de lieu des paramètres physicochimiques et les conséquences sur la production piscicole. La méthodologie utilisée consiste à faire des mesures *in situ* des paramètres physicochimiques chaque mois sur une période d'un an de janvier à Décembre 2024 dans le lac à l'aide d'un multi-paramètre de marque HANNA HI9813-6, d'un oxymètre JPB-607A et un disque de Secchi dans les 50 premiers centimètres de profondeur et à 2m des berges dans quatre stations où sont exercées des activités anthropiques. Les données ont été analysées au tableur Excell et Minitab. Les résultats sont ensuite comparés aux En, se basant sur les normes du système d'évaluation de la qualité des eaux des surfaces de l'institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement. Le suivi des paramètres physico-chimiques révèle une variation temporelle significative (Pvalue = 0,000). L'eau du lac de Madarounfa est douce avec une température moyenne globale de $26,67 \pm 3,85$ °C ; un pH de $6,87 \pm 0,44$; un TDS de $0,14 \pm 0,11$ ppm ; une conductivité de $88,08 \pm 41,52$ μ S/cm, un taux d'oxygène dissous de $5,93 \pm 1,52$ mg/L. L'analyse en Composante Principale (ACP) entre les paramètres physicochimiques et la production piscicole montre que les fortes productions de poisson coïncident avec les hautes températures en avril, Mai et Juin. On retient de cette étude que les paramètres physico-chimiques lac Madarounfa sont écologiquement acceptable et favorables à la vie aquatique.

Mots-clés : Madarounfa, paramètres physico-chimiques, conséquences, vie aquatique.

Abstract

Physicochemical states of the waters of Lake Madarounfa (Niger) : situation and consequences on fish production

This study aims to assess the current state of physicochemical parameters and their impact on fish production. The methodology used consists of in situ measurements of physicochemical parameters every month over a one-year period from January to December 2024 in the lake using a HANNA HI9813-6 multi-parameter meter, a JPB-607A oximeter, and a Secchi disk in the first 50 centimeters of water depth and 2 meters from the banks at four stations where human activities are carried out. The data were analyzed using Excel and Minitab spreadsheets. The results are then compared to the EN, based on the standards of the surface water quality assessment system of the Brussels Institute for Environmental Management. Monitoring of physicochemical parameters reveals significant temporal variation (P value = 0.000). The water of Lake Madarounfa is fresh with an overall average temperature of 26.67 ± 3.85 °C; a pH of 6.87 ± 0.44 ; a TDS of 0.14 ± 0.11 ppm; a conductivity of 88.08 ± 41.52 μ S/cm, a dissolved oxygen level of 5.93 ± 1.52 mg/L. The Principal Component Analysis (PCA) between the physicochemical parameters and fish production shows that high fish production coincides with high temperatures in April, May and June. It is noted from this study that the physicochemical parameters of Lake Madarounfa are ecologically acceptable and favorable to aquatic life.

Keywords : *Madarounfa, physicochemical parameters, consequences, aquatic life.*

1. Introduction

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages (domestiques, industriels et agricoles). Sa qualité est un facteur influençant l'état de santé et la mortalité à la fois chez l'homme et les animaux [1]. La pollution des eaux, définie comme étant une dégradation physique, chimique ou biologique provoquée par l'activité humaine, perturbe les conditions de vie et les équilibres aquatiques compromettant ainsi leurs utilisations multiples. Cependant, la qualité des eaux de surface est influencée aussi bien par des processus naturels (érosion des sols, précipitation, évaporation) que par l'activité humaine (agriculture, eaux usées urbaines et industrielles [2]. Dans la plupart des pays en voie de développement, par manque de moyens, le contrôle et le suivi de la qualité des eaux de surface et souterraines utilisées pour la production des eaux de consommation ne sont pas systématiques. Pourtant, la connaissance de la qualité et de la fragilité des eaux de surface reste limitée [3]. Cela fait de la qualité de l'eau un enjeu indéniable auquel les populations, les producteurs, les industriels et les pouvoirs publics doivent s'intéresser et gérer avec prévision et précaution. Garantir une qualité d'eau douce adaptée aux besoins humains et écologiques est donc un aspect important de la gestion intégrée de l'environnement et du développement durable [4]. Ainsi, l'eau, source de vie, peut devenir un danger pour l'environnement et pour les utilisateurs si elle n'est pas de qualité acceptable. Cependant, les eaux de surface doivent être gérées et protégées en raison de leur vulnérabilité à la surexploitation et à la pollution [5]. Le Lac Madarounfa compte tenu de sa position géographique subit des pressions anthropiques de toutes sortes. Malgré l'importance de ce plan d'eau et les dangers auxquels il est confronté, il n'existe pas une base de données et d'informations relatives aux paramètres physico-chimiques jugés pertinents pour un meilleur suivi de la qualité de ce plan d'eau et si rien n'est fait on peut assister à une pollution voire une dégradation de la ressource. Pour la préservation des écosystèmes aquatiques, le contrôle permanent de leur état général de santé (qualité de leurs eaux, diversité des organismes qui y vivent et qualité de leurs habitats) est un élément crucial. Dans le cadre de notre étude la méthode de suivi de l'état de santé de l'écosystème aquatique est basée uniquement sur l'utilisation de mesures physicochimiques telles que la mesure de la transparence, la température, le pH, l'Oxygène dissous, la conductibilité et le TDS.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la Zone d'étude et choix des stations

Le lac de Madarounfa est situé dans la partie sud de la région de Maradi au Niger. Il est compris entre les parallèles 13° et 15° de Latitude Nord, et le méridien 6° et 8° de Longitude Est (*Figure 1*). Il a une forme irrégulière et occupe une superficie d'environ 400 ha pendant l'étiage et 800 ha en période de crue. Quant à sa profondeur, elle varie entre 1,5 m et 5 m selon les saisons et les zones. Il a une côte basse de 353 m en moyenne [6]. En tant que plus important plan d'eau permanent de la région, le lac de Madarounfa conditionne la vie socio-économique et culturelle des populations de toute la zone pour laquelle il assure plusieurs rôles. Les sites choisis sont des villages des pêcheurs périphériques au lac. Ces sites ont été choisis à cause de la présence permanente des activités anthropiques. Le choix des stations de collecte de données est principalement basé sur la présence d'activité anthropique susceptible de modifier la qualité des eaux du lac. Ce choix permet autant que possible de mettre en évidence l'impact des activités des populations riveraines sur les caractéristiques physico-chimiques. Ainsi nous avons subdivisé le lac en quatre secteurs selon les influences anthropiques afin d'étudier les variabilités des paramètres du milieu (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Stations de mesure des paramètres physico-chimiques

Stations	Coordonnées
Saoulaoua (lessive, bain vaisselle, prélèvement divers)	N = $13^{\circ}18'24''$
	E = $07^{\circ}8'44''$
Madarounfa (abreuvement, prélèvement domestique)	N = $13^{\circ}18'18''$
	E = $07^{\circ}9'15''$
Dantoudou (lessive, bain, vaisselle, culture maraîchère)	N = $13^{\circ}18'40''$
	E = $07^{\circ}9'10''$
Gamji (abreuvement, confection des briques)	N = $13^{\circ}19'16''$
	E = $07^{\circ}8'21''$

2-2. Collectes des données

La collecte des données sur le terrain a porté sur une période d'un an de Janvier à Décembre 2024 avec des mesures une fois par mois au niveau de chacune des quatre (4) stations. Avant le début des sessions de mesures, les coordonnées géographiques des stations sont enregistrées lors de la prospection du site à l'aide du GPS. Les mesures sont faites les matins entre 07h00 et 09h00. Au cours de la prise de ces mesures nous nous évertuons chaque fois d'apprécier le temps qu'il fait (état du ciel –nuageux ou non, temps pluvieux, ensoleillé, venteux, etc.). Les paramètres mesurés sont : la température de l'eau ($^{\circ}$ C), le PH, le taux de solides dissous ou TDS (ppm) et la conductivité (μ S/cm) à l'aide d'un Multiparamètre ; la profondeur de l'eau (cm) et la transparence de l'eau (cm) à l'aide d'un disque de Secchi ; le taux de l'oxygène dissous (mg/l) à l'aide d'un oxymètre.

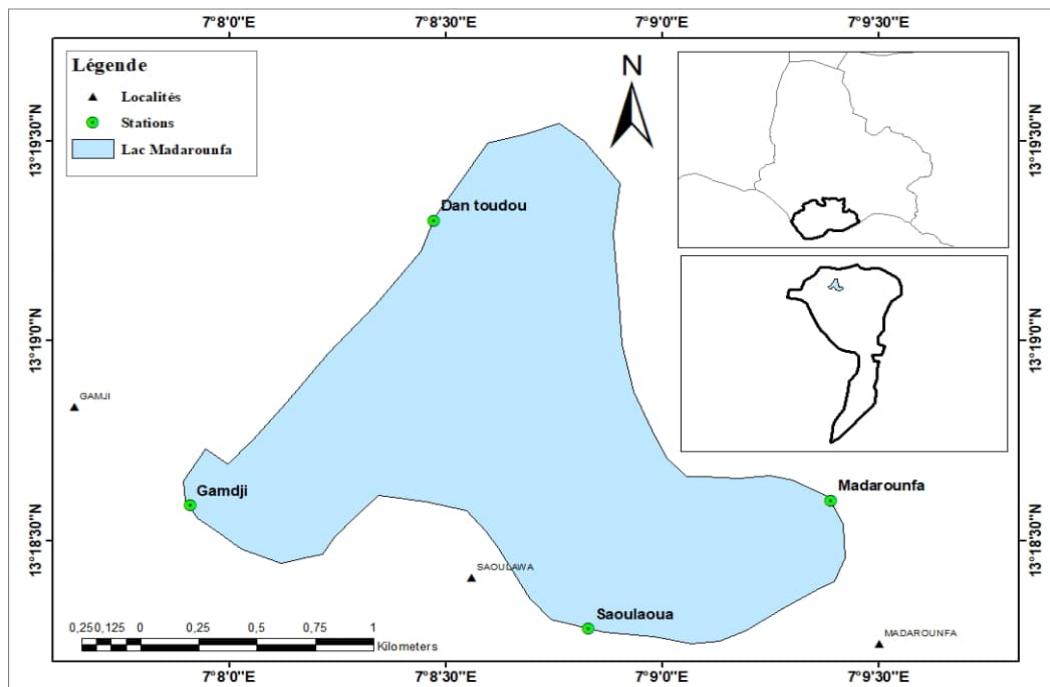


Figure 1 : Localisation des stations d'échantillonnage +

2-3. Matériel de collecte des données

Le matériel utilisé (**Figure 2**) au cours de cette étude est constitué de :

- Un disque de Secchi est utilisé pour la mesure de la transparence de l'eau et de la profondeur de la station à 2 m des berges.
- Un multiparamètre de marque HANNA HI9813-6 a servi pour mesurer les paramètres physicochimiques de l'eau (PH ; Température, conductibilité, TDS).
- Un oxymètre JPB-607A a permis de mesurer l'oxygène dissous.



Figure 2 : Matériel de mesure des paramètres physico-chimiques

2-4. Méthodes

Les mesures *in situ* des paramètres ont été effectuées chaque mois de janvier à Décembre 2024 dans le lac à l'aide d'un multi-paramètre dans les 50 premiers centimètres de profondeur et à 2 m des berges. Les appareils de mesure sont d'abord mis sous tension, puis leurs sondes sont plongées dans l'eau à chaque station d'échantillonnage. La valeur de chaque paramètre est notée après affichage. Pour la mesure de la profondeur et de la transparence, le principe consiste à descendre le disque de Secchi dans l'eau à l'aide d'une corde graduée (en cm) jusqu'à ce qu'elle touche le fond profond puis le faire remonter. La hauteur d'eau à partir de laquelle le disque apparaît constitue la transparence et est noté en centimètre (cm).

2-5. Traitement des données

Le tableur Excel (version 2013) pour réaliser les tableaux-synthèses des données, la statistique descriptive (moyennes, minima, maxima, écart-types) et la construction des graphiques. Pour vérifier la relation entre les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et la production piscicole, une analyse multivariée, spécifiquement une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel Minitab18. L'ACP a permis d'établir le lien entre les stations, les mois, la production piscicole et les paramètres physico-chimiques de l'eau. La corrélation de Pearson a été établie entre les paramètres physicochimiques. Les normes présentées dans tableau 2 ont été utilisées pour comparer les résultats.

Tableau 2 : Norme des paramètres physicochimiques des eaux de surfaces favorables pour la vie aquatiques

Paramètres	Normes	Sources
PH	6 à 9	IBGE(2005) [4]
Température	23-31 °C	Lalèyé et al., 2005 [7]
Oxygène	>5mg/L	IBGE(2005) [4]
Conductibilité	50 à 1500 µS/cm	IBGE(2005) [4]
TDS	<400 ppm	Hasni et al (2018) [8]
Transparence	<1m	Ado (2018) [5]

3. Résultats

3-1. Variation dans le temps des caractéristiques physicochimiques des eaux

3-1-1. Température

La température de l'eau régit presque la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et conditionne les équilibres de dissociation. En effet, toute variation brusque de ce paramètre entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème aquatique. La variation de la température entre les mois de l'année montre une valeur maximum de 31.07° C durant le mois de Mai et la plus petite valeur a été observée en décembre avec une valeur de 21 °C (*Figure 3*).

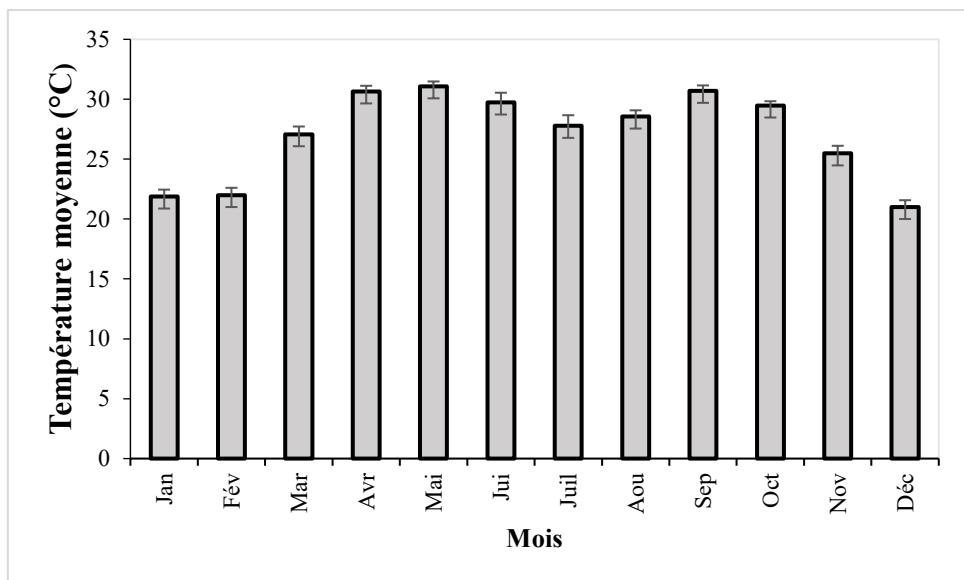


Figure 3 : Variation de la température du lac de Madarounfa

3-1-2. PH

Le PH influence fortement le mécanisme des réactions chimiques et biologiques dans les eaux. Dans les eaux naturelles, les valeurs du pH se situent entre 6 et 9 dans les eaux naturelles non polluée. Il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante. Les valeurs du PH (Figure 4) ne montrent pas de différences durant les 12 mois de suivi. La valeur maximale de pH qui est autour de 7,6 est obtenue pour le mois de Décembre 2024 et la plus petite valeur est observé 6.2 en janvier 2024.

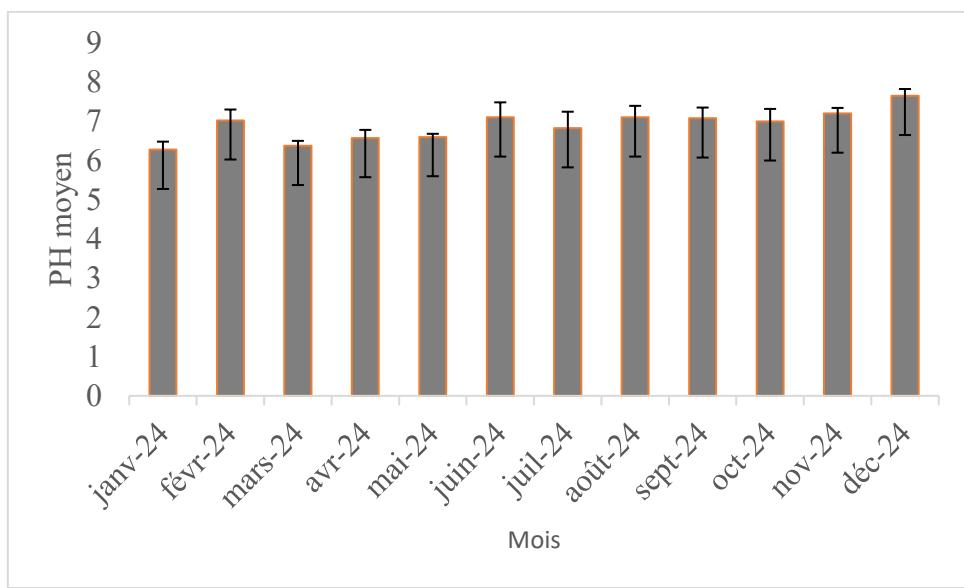


Figure 4 : Variation du PH moyen du lac de Madarounfa

3-1-3. Profondeur et Transparence

Parmi les stations d'études (Tableau 3), Saoulaoua a présenté une eau plus profonde (230 cm) pendant la saison des pluies. La profondeur moyenne mensuelle des eaux des stations d'étude a varié entre 34 cm en Avril et 214,5 cm en septembre. Les valeurs moyennes de la transparence quant à elles ont varié entre 3,5 cm et 24,08 cm durant l'étude dans les stations.

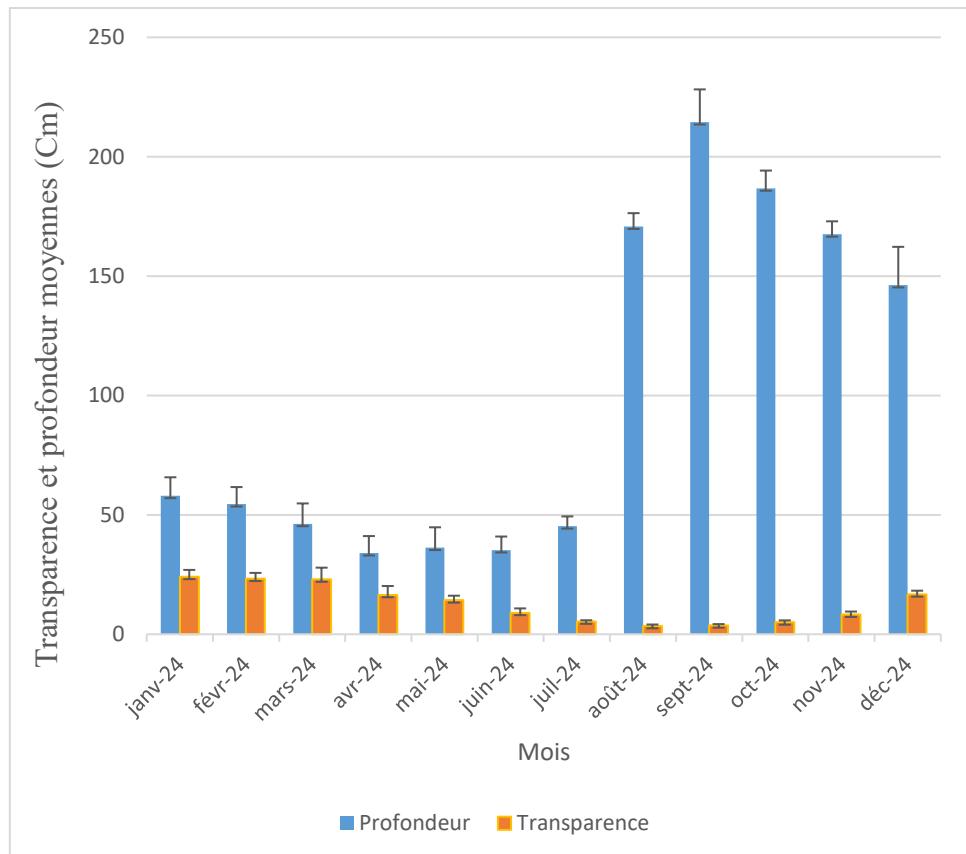


Figure 5 : Variation de la Profondeur et de la transparence du lac de Madarounfa

3-1-4. Conductivité

La variation de la conductivité du lac de Madarounfa entre les mois de l'année (**Figure 6**) montre une variation mensuelle moyenne importante (33 à 145,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

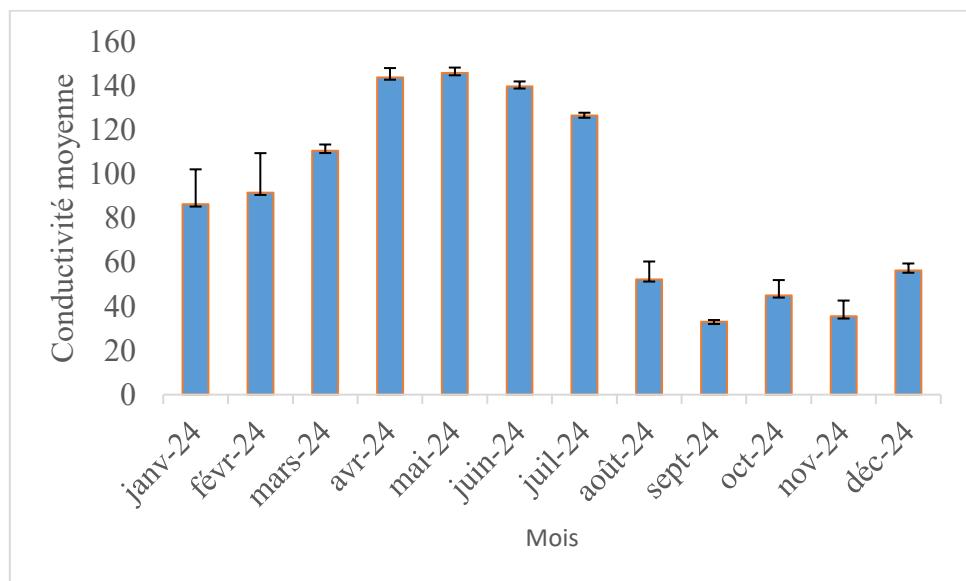


Figure 6 : Variation de la conductivité du lac de Madarounfa

3-1-5. Oxygène dissous

La variation de l'oxygène dissous durant l'étude (**Figure 7**) montre que les eaux du Lac de Madarounfa sont plus oxygénées durant les mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Juin et Juillet où elle varie entre 6,72 et 7,35 mg/L. les eaux sont moins oxygénées durant les mois d'Aout à Décembre Septembre avec une valeur minimale de 3,82 mg/L au mois de Septembre.

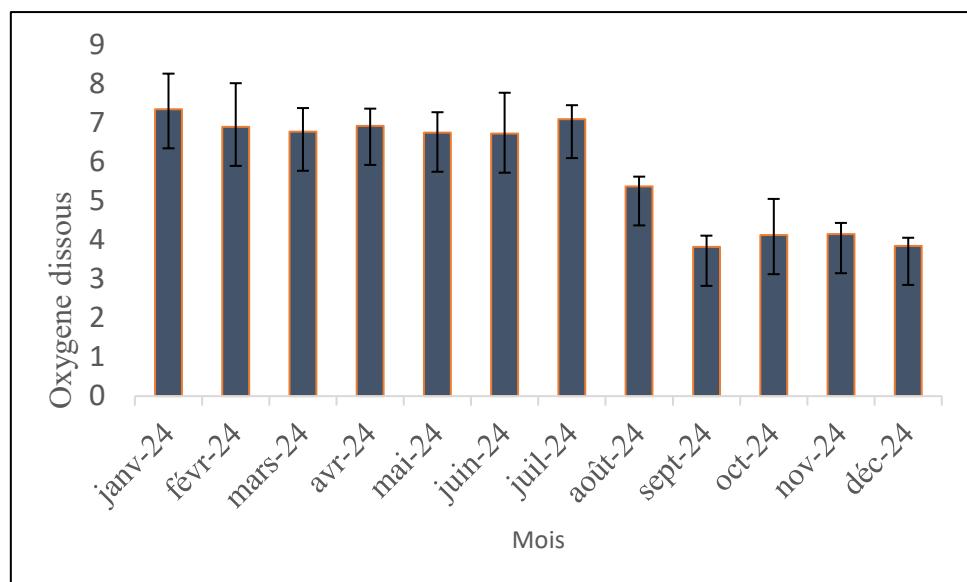


Figure 7 : Variation de l'oxygène dissous du lac de Madarounfa

3-1-6. TDS

Les Solides Totaux Dissous (TDS) enregistrés pendant la période d'étude sont en relation avec la conductivité. Les valeurs mesurées ont varié entre 0.28 ppm en Juillet 2024 et 0,03 ppm en septembre 2024 (**Figure 8**).

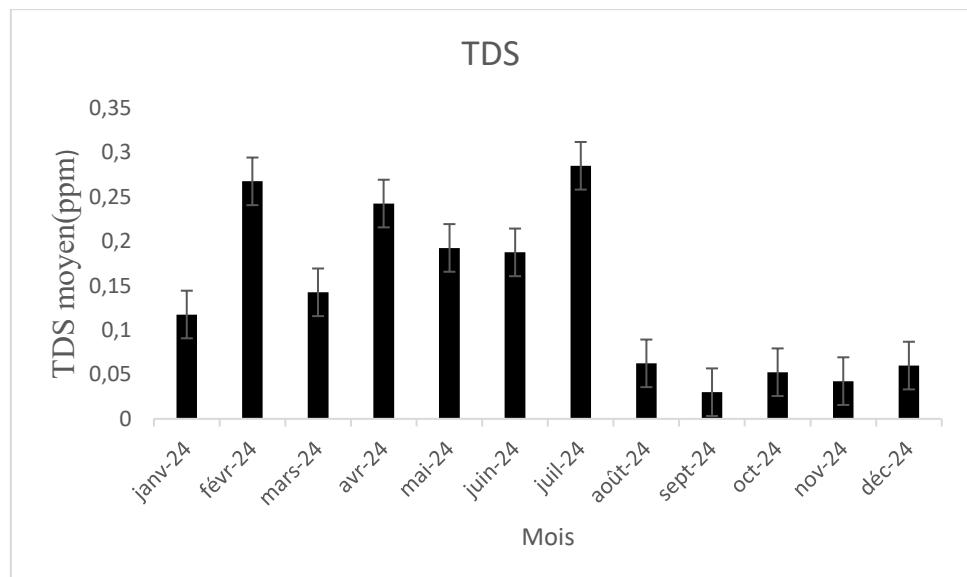


Figure 8 : Variation du TDS du lac de Madarounfa

3-2. Analyse temporelle des paramètres physicochimiques du lac de madarounfa

L'analyse temporelle des paramètres physicochimiques du lac de Madarounfa (*Tableau 3*) montre une différence significative pour les paramètres ($p < 0,05$) entre les douze (12) mois. Tous les paramètres présentent des variations mensuelles significatives.

Tableau 3 : *Comparaison temporelle des paramètres physicochimiques du lac de Madarounfa*

Mois	Température	PH	TDS	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Transparence(cm)	Profondeur(m)	Oxygène dissous
janv-24	21,87 \pm 0,58 ^f	6,27 \pm 0,20 ^d	0,1175 \pm 0,0287 ^{ab}	86,25 \pm 15,88 ^d	24,07 \pm 2,88 ^a	0,5800 \pm 0,0775 ^d	7,350 \pm 0,915 ^a
févr-24	22,00 \pm 0,60 ^f	7,02 \pm 0,27 ^{ab}	0,2675 \pm 0,1648 ^a	91,50 \pm 17,97 ^{cd}	23,27 \pm 2,42 ^a	0,5450 \pm 0,0714 ^{de}	6,900 \pm 1,120 ^{ab}
mars-24	27,07 \pm 0,65 ^d	6,37 \pm 0,125 ^{cd}	0,14250 \pm 0,0050 ^{ab}	110,50 \pm 2,89 ^{bc}	22,98 \pm 4,92 ^a	0,4625 \pm 0,0854 ^{de}	6,775 \pm 0,608 ^{ab}
avr-24	30,65 \pm 0,47 ^{ab}	6,575 \pm 0,20 ^{bcd}	0,2425 \pm 0,1118 ^a	143,75 \pm 4,27 ^a	16,50 \pm 3,70 ^b	0,3400 \pm 0,0712 ^e	6,925 \pm 0,4433 ^{ab}
mai-24	31,07 \pm 0,41 ^a	6,60 \pm 0,081 ^{bcd}	0,19250 \pm 0,0150 ^{ab}	145,75 \pm 2,50 ^a	14,250 \pm 1,893 ^{bc}	0,3625 \pm 0,0854 ^e	6,750 \pm 0,526 ^{ab}
juin-24	29,72 \pm 0,81 ^{abc}	7,10 \pm 0,38 ^{ab}	0,18750 \pm 0,00500 ^{ab}	139,75 \pm 2,22 ^a	9,000 \pm 1,826 ^{cd}	0,3525 \pm 0,0568 ^e	6,725 \pm 1,050 ^{ab}
juil-24	27,77 \pm 0,89 ^d	6,82 \pm 0,41 ^{bcd}	0,2850 \pm 0,1328 ^a	126,50 \pm 1,29 ^{ab}	5,375 \pm 0,479 ^d	0,4525 \pm 0,0411 ^{de}	7,100 \pm 0,356 ^a
août-24	28,55 \pm 0,52 ^{cd}	7,10 \pm 0,29 ^{ab}	0,06250 \pm 0,01258 ^b	52,25 \pm 8,10 ^{ef}	3,500 \pm 0,577 ^d	1,7075 \pm 0,0562 ^b	5,375 \pm 0,250 ^{bc}
sept-24	30,70 \pm 0,45 ^{ab}	7,07 \pm 0,27 ^{ab}	0,0300 \pm 0,0000 ^b	33,000 \pm 0,816 ^f	3,750 \pm 0,500 ^d	2,1450 \pm 0,1370 ^a	3,825 \pm 0,287 ^c
oct-24	29,47 \pm 0,35 ^{bc}	7,00 \pm 0,31 ^{bc}	0,0525 \pm 0,00957 ^b	45,00 \pm 6,93 ^a	5,000 \pm 0,816 ^d	1,8675 \pm 0,0746 ^b	4,125 \pm 0,929 ^c
nov-24	25,47 \pm 0,64 ^e	7,20 \pm 0,14 ^{ab}	0,04250 \pm 0,0050 ^b	35,50 \pm 7,14 ^f	8,250 \pm 1,258 ^d	1,6750 \pm 0,0545 ^{bc}	4,150 \pm 0,289 ^c
déc-24	21,00 \pm 0,57 ^f	7,65 \pm 0,17 ^a	0,0600 \pm 0,0000 ^b	56,25 \pm 3,20 ^e	16,750 \pm 1,500 ^b	1,4625 \pm 0,1601 ^c	3,850 \pm 0,208 ^c
P-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

3-3. Relations entre la production du piscicole par station et les paramètres physicochimiques

Les données des productions piscicoles des stations et des paramètres physicochimiques ont été soumises à une analyse en composante principale (ACP). Les deux premiers axes concentrent à eux seuls 60 à 75 % de la variance totale dans chaque station. Les axes 1 centralisent à eux seuls des valeurs variant de 48 à 52,4 % et les deuxièmes axes 21,7 à 23,9 % de l'information contenue dans les axes (*Figure 9*). L'analyse du plan factoriel montre que les profondeurs et les PH élevés sont obtenus en août, septembre, octobre, novembre et décembre alors que l'oxygène dissous, le TDS, la conductibilité, la transparence sont élevés en Janvier, Février et Mars. Les fortes productions de poisson coïncident avec les hautes températures en avril, Mai et Juin.

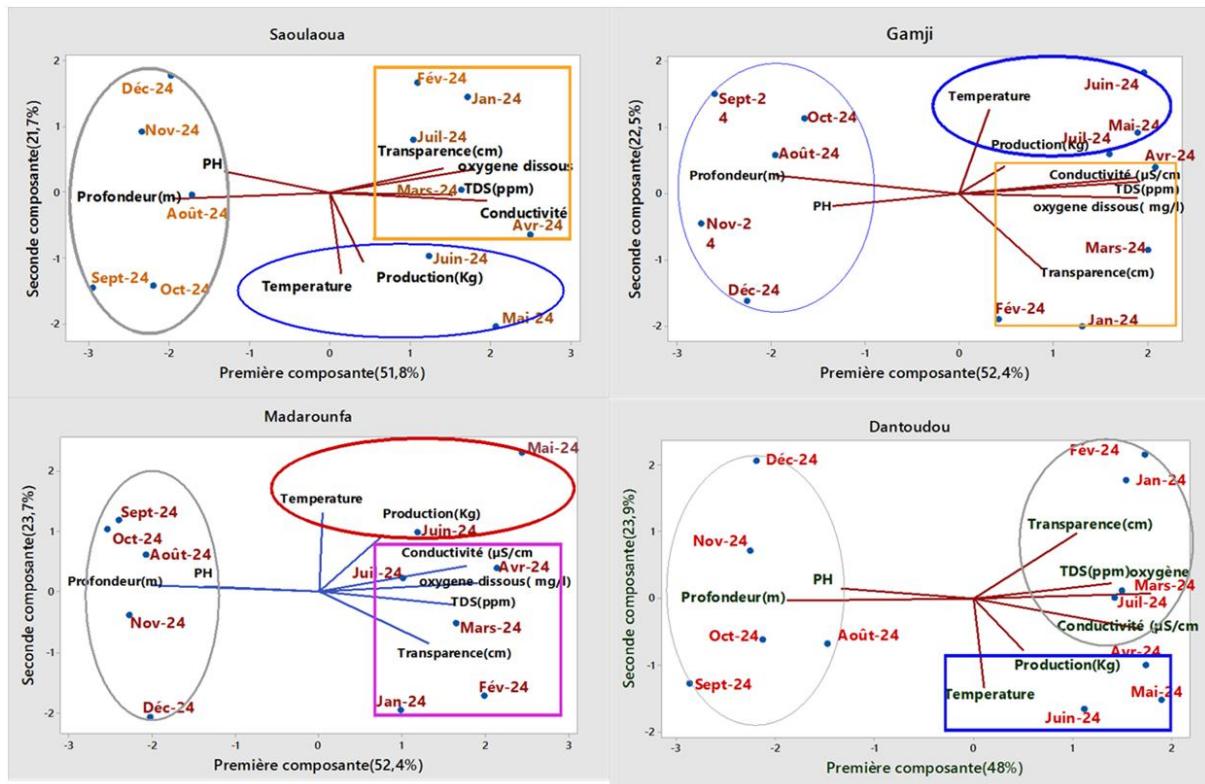


Figure 9 : Plan factoriel des paramètres physicochimiques des stations et production piscicole

3-4. Variation spatiale des paramètres physicochimiques

3-4-1. Corrélation entre paramètres

Le **Tableau 4** renseigne sur la matrice de corrélation entre les différents paramètres physicochimiques mesurés au niveau des différents sites de prélèvement de l'eau du lac. Les résultats de l'analyse statistique montrent des corrélations positives et significatives entre les paramètres physicochimiques tel que la conductivité et TDS (0,67) ; oxygène dissous et conductivité (0,75). Une corrélation positive modérée entre profondeur et PH (0,51) ; entre oxygène dissous et TDS (0,56) et entre oxygène dissous et transparence (0,54). Une corrélation négative significative entre température- transparence (-0.65) ; entre profondeur-TDS (-0.68) ; profondeur-conductivité (-0.88) ; oxygène dissous –profondeur (-0.81).

Tableau 4 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques

	Corrélation							
	Température	pH	TDS (ppm)	Conductivité (µS)	Transparence (cm)	Profondeur(m)	oxygène dissous	
Température	1							
pH	-0,046	1						
P-value	0,748							
TDS (ppm)	0,085	-0,26	1					
P-value	0,55	0,063						
Conductivité (µS/cm)	0,277	-0,383	0,672	1				
P-value	0,047	0,005	0,001					
Transparence (cm)	-0,651	-0,444	0,197	0,262	1			
P-value	0	0,001	0,161	0,061				
Profondeur(m)	0,081	0,519	-0,684	-0,885	-0,536	1		
P-value	0,567	0,001	0,001	0,001	0,001			
Oxygène dissous	-0,107	-0,57	0,566	0,753	0,541	-0,818	1	
	0,452	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001		

3-4-2. Synthèse spatiale des paramètres physico-chimiques

Le **Tableau 5** présente les valeurs moyennes et extrêmes, l'écart type et les Probabilités des paramètres physicochimiques du Lac de Madarounfa. Ainsi les températures extrêmes ont été obtenues à la station de Gamji avec un maximum de 31,6 °C et un minimum de 20,5 °C. Le PH a varié de 6,2 (Station de Madarounfa) à 7,9 pour la station de Dantoudou. Le TDS a été très faible variant de 0,03ppm pour toutes stations à 0,42ppm pour la station de Madarounfa. La conductibilité du lac présente un maximum de 150µS/cm pour la station de Gamji et un minimum de 25µS/cm pour la station de Saoulaoua. La transparence présente un maximum de 40cm à la station de Dantoudou et un minimum de 3cm pour Madarounfa et Dantoudou. Les probabilités tous ($P > 0.05$) montrent qu'il y a aucune différence significative entre les stations.

Tableau 5 : Valeurs moyennes et extrêmes de paramètres physico-chimiques du lac de Madarounfa

		Stations				
Paramètres		Madarounfa	Gamji	Saoulaoua	Dantoudou	Global
Température (°C)	Maximum	31	31,6	31,2	30,8	
	Minimum	20,7	20,5	20,6	20,6	
	Moyenne \pm écart-type	26,66 \pm 4,02	26,82 \pm 3,92	26,45 \pm 3,85	26,62 \pm 4,05	26,64 \pm 3,85
	Probabilité		0,97			
PH	Minimum	6,2	6,5	6,3	6	
	Maximum	7,5	7,6	7,6	7,9	
	Moyenne \pm écart-type	6,77 \pm 0,36	6,95 \pm 0,42	6,92 \pm 0,48	6,81 \pm 0,48	6,87 \pm 0,44
	Probabilité		0,78			
TDS (ppm)	Maximum	0,42	0,40	0,41	0,19	
	Minimum	0,03	0,03	0,03	0,03	
	Moyenne \pm écart-type	0,15 \pm 0,12	0,13 \pm 0,10	0,15 \pm 0,12	0,10 \pm 0,06	0,14 \pm 0,11
	Probabilité		0,82			
Conductivité (µS/cm)	Maximum	147	150	147	142	
	Minimum	33	32	25	33	
	Moyenne \pm écart-type	85,5 \pm 42,3	87,9 \pm	92,5 \pm 42,5	86,3 \pm 45,1	88,08 \pm 41,52
	Probabilité		0,99			
Transparence (cm)	Maximum	27	27	27,4	40	
	Minimum	3	4	4	3	
	Moyenne \pm écart-type	13,19 \pm 8,86	13,6 \pm 7,99	15,23 \pm 10,78	14,12 \pm 9,3	14,03 \pm 9,04
	Probabilité		0,98			
Profondeur (cm)	Maximum	210	198	230	220	
	Minimum	27	40	37	25	
	Moyenne \pm écart-type	93 \pm 69	99 \pm 65	102 \pm 68	93 \pm 69	97 \pm 66
	Probabilité		0,86			
Oxygène dissous (mg/L)	Minimum	3,6	3,3	3,6	3,8	
	Maximum	7,4	7,6	8,9	7,3	
	Moyenne \pm écart-type	5,73 \pm 1,36	5,89 \pm 1,61	6,39 \pm 1,93	5,70 \pm 1,15	5,93 \pm 1,52
	Probabilité		0,54			

4. Discussion

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux du lac de Madarounfa révèlent que ces eaux ont des températures variant entre 20,5 à 31,6 °C avec une moyenne de 26,64 \pm 3,85 °C. La température de l'eau étant un facteur très important pour le fonctionnement des écosystèmes, est soumise aux influences atmosphériques et particulièrement aux changements de la température de l'air. Ainsi, les fortes températures de l'eau (> 30 °C), s'expliqueraient par l'ensoleillement des couches superficielles durant la saison sèche chaude. Les rayons traversent la faible épaisseur d'eau en la réchauffant de façon

homogène. En revanche, les températures inférieures à 30 °C sur le lac Madarounfa sont obtenues pendant la saison sèche froide, s'expliqueraient par le refroidissement des eaux du lac pendant cette période. Néanmoins, cette température est proche de l'intervalle de température optimale (23-31°C) favorable à la vie de l'ichtyofaune [7]. Cette température est conforme aux normes admises pour les eaux de surface et attestent d'une eau de qualité moyenne à bonne. Ces valeurs sont conformes aux conclusions de Lemoalle qui indique des températures supérieures à 20°C pour l'Afrique intertropicale [10]. On note une très faible variation du PH d'une station à une autre. Ces valeurs varient 6 et 7.9 pour la plupart avec une moyenne légèrement acide ($6,87 \pm 0,44$). Cet état peut être qualifié de bon voire moyen ; car il est favorable à la vie aquatique et est conforme aux normes admises pour les eaux de surface. La conductivité moyenne est très faible ($88,08 \pm 41,52 \mu\text{S}/\text{cm}$) ce qui atteste que ces eaux sont douces et ont une minéralisation faible. Ces valeurs sont faibles par rapport aux valeurs obtenues dans la mare dulcicole de Wankama dans la région de Tillaberi au Niger [11]. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ([4]). La quantité d'oxygène dissous a varié entre 3.3 et 7.9 mg/L avec une moyenne de $5,93 \pm 1,52 \text{ mg/L}$. Ces résultats sont comparables à ceux signalés par [12] au Benin (3,18 et 6,19 mg/l), par [13] au Maroc (4,32 et 7,2 mg/l), et par [14] en Algérie (1,16 et 3,3 mg/l). L'analyse des valeurs des différents mois et stations sont acceptables les normes favorables à la vie aquatique se situe entre 5 et 8 mg/l. Les valeurs moyennes de TDS mesuré ont varié entre 0.03 ppm et 0.42 ppm. Les faibles valeurs des TDS ($0,14 \pm 0,11 \text{ ppm}$) pourraient signifier qu'il y a moins de solides dissous dans les eaux du Lac de Madarounfa. La profondeur est le premier paramètre à être touché par le phénomène d'assèchement. Ce paramètre est dépendant de la saison et des facteurs climatiques. La profondeur de l'eau des stations d'étude a varié entre 34 cm et 214,5 cm. Les valeurs moyennes de la transparence ont varié entre 3,5 cm et 24,08 cm durant l'étude. L'augmentation progressive de la profondeur du lac d'août à septembre est due aux apports de la saison de pluie. A l'échelle du temps, l'avènement de pluies très est important. Son incidence se traduit par un apport très remarquable d'eau qui provoque la dilution des substances contenues dans l'eau. Ainsi, les concentrations de différentes substances contenues dans les eaux diminuent pendant la période des hautes eaux. Cet apport d'eau provoque la crue donc une augmentation de la profondeur [15]. Les faibles valeurs observées au cours de cette la saison des pluies seraient due au phénomène de ruissellement qui charrie des matières en suspension et les jette dans le lac. Ces fortes concentrations des matières en suspension jouent sur la transparence de l'eau en saison de pluie qui devient faible [16]. L'analyse de la matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques a permis de ressortir les corrélations existantes entre les variables prises deux à deux. Cependant, les corrélations observées se situent entre les variables conductivité et TDS (0.67) ; oxygène dissous et conductivité (0.75). Une corrélation positive modérée entre profondeur et pH (0.51); entre oxygène dissous et TDS (0.56) et entre oxygène dissous et transparence (0.54). La variation du TDS est en rapport avec celle de la conductivité de l'eau. La similarité entre la variation du TDS et la conductivité pourrait s'expliquer par la forte corrélation mise en exergue par plusieurs auteurs entre ces deux paramètres [17]. [18]. De façon générale, la conductivité de l'eau est faible en saison des pluies [17]. De façon générale, les paramètres physico-chimiques des eaux du lac de Madarounfa enregistrés au cours de cette étude sont favorables à la survie de l'ichtyofaune.

5. Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau du lac de Madarounfa sont comparés aux normes de qualité des eaux et aux résultats obtenus par d'autres auteurs sur des cours et plans d'eau du Niger et de la sous-région. Au terme de cette étude, le constat général montre que la qualité de l'eau du lac, même si elle est écologiquement acceptable au vu des résultats des analyses, les valeurs de certains paramètres indiquent une certaine pollution. Le suivi des paramètres physico-chimiques doit être régulier et s'impose comme un prérequis indispensable pour faire face aux éventuels impacts des variabilités anthropiques et climatique.

Références

- [1] - <https://www.sciencedirect.com/journal/ecotoxicology-and-environmental-safety>, (Juillet 2025)
- [2] - R. O. STROBL et P. D. ROBILLARD, "Network design for water quality monitoring of surface freshwaters": *Journal of Environmental Management*, 87 (2008) 639 - 648 : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479707000928>
- [3] - P. LE PIMPEC, "Guide pratique de l'agent préleur chargé de la police des milieux aquatique. Pollution des milieux aquatiques", Edition CEMAGREF, (2002) : <https://side.developpement-durable.gouv.fr/GRDE/doc/SYRACUSE/82240>
- [4] - Institut Bruxellois pour la Gestion de l'environnement (IBGE), "Rapport sur l'état de la pollution : Cadre général", (2005) 3 - 7 : https://document.environnement.brussels/opac_css/doc_num.php?explnum_id=5378
- [5] - F. MERHABI, H. AMINE et HALWANI, "Evaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha " *Journal scientifique Libanais*, 20 (1) (2019) 10 - 34 : <https://lsj.cnrs.edu.lb/wp-content/uploads/2019/05/Jalal-H1.pdf>
- [6] - RAMSAR, Niger Fiche Lac de Madarounfa, (2021) : https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/NE2451RIS_2105_fr.pdf
- [7] - P. LALEYE, D. AKALE et J. C. PHILLIPPART, La pêche traditionnelle dans les plaines inondables du fleuve Ouémé Bénin, *Cahiers d'Ethologie*, 22 (2) (2005) 25 - 38 : <https://agris.fao.org/search/en/providers/122397/records/64738c6268b4c299a3f7fc21>
- [8] - T. HASNI, M. MOHAMED, A. M. BABA, A. AHMED, Y. A. LEMHABA et V. H. MOHAMED, "Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux De Surface Et Étude De La Diversité Ichtyologique De Quelques Zones Humides Continentales En Mauritanie " :<http://dx.doi.org/10.19044/esj.>, (2018).v14n6p83
- [9] - I. M. ADO, "Influence de la pêche sur la structure des stocks de poisson dans les pêcheries de Boubon au (Niger)" mémoire de master, Faculté des Sciences Agronomiques/Université d'Abomey Calavi (Bénin), (2018) 99 p. https://www.slire.net/download/2517/m_moire_final_pdf.pdf
- [10] - LEMOALLE, "Eléments d'hydrobiologie du lac Tchad au cours d'une période de sécheresse (1973-1989) ". Rome, Fao Rapport sur les pêches, N°45 (1991) 54 - 61 p.
- [11] - L. DANIEL et O. NAFATOU, "Pisciculture extensive, Caractéristiques physico chimiques des certaines mares de la région de Tillabéry". DFPP, (1994) 95 p.
- [12] - H. ZINSOU, LEONCE, A. ARTHUR HERMAS, G. PIERRE, A. DELPHINE, L.PHILIPPE ".Caractéristiques physico-chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Oueme au Benin". *J. Appl. Biosci.*, 97 (2016) 9163 - 9173
- [13] - I. NECHAD, K. FADIL and F. FADIL, "Physicochemical Quality of Ain REGRAG and Ain SIDI BOUALI Springs in the SEFROU Region (MOYEN ATLAS, MAROC) ". *Larhyss Journal*, 20 (2014) 127 - 146
- [14] - A. REGGAM, "Qualité Physico-Chimique des Eaux de l'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie) : Caractérisation et Analyse en Composantes Principales " *J. Mater. Environ. Sci.*, 6 (5) (2015) 1417 - 1425
- [15] - M. S. AHOUANSOU, "Diversité et Exploitation des poissons de la rivière Pendjari (Bénin, Afrique de l'Ouest)". Thèse du grade de docteur. Faculté des Sciences Agronomiques / Université d'Abomey-Calavi. Bénin, (2011) 234 p.
- [16] - E. R. AKPAN and J. O. OFFEM, "Seasonal Variation in Water Quality of the Cross River, Nigeria". *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 26 (2004) 95 - 103
- [17] - A. CHIKOU, "Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons-chats (Téléostéen, Siluriformes) dans le delta de l'Ouémé au Bénin". Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, (2006) 459 p.
- [18] - D. LEDEROUN, "Etude et exploitation des ressources halieutiques de la lagune de Porto Novo, au Benin": Mémoire de master, Faculté des Sciences Agronomiques/Université d'Abomey Calavi (Bénin), (2006) 69 p.