

Impact de la qualité des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sur la production

Joseph Mahugnon KIKI^{1*}, Adoté Hervé Gildas AKUESON^{1,2} et Arcadius Yves Justin AKOSSOU¹

¹ *Unité de Statistiques Appliquées et d'Informatique (USIA), Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières (LERF), Faculté d'Agronomie Université de Parakou, BP 123 Parakou, Bénin*

² *Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire Valéry Giscard d'Estaing de Faranah (ISAV-VGE/F), BP 131 Faranah, République de Guinée*

(Reçu le 27 Novembre 2025 ; Accepté le 19 Janvier 2026)

* Correspondance, courriel : kmahugnon@gmail.com

Résumé

Cette étude porte sur l'impact de la qualité des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sur la production. La haute vallée prend en compte sept (07) bassins versants dont Affon, Donga, Wèwè, Bétérou, Alpouro, Yéroumaro et Affon-Donga. Deux (02) périodes de collecte de données ont été retenues en fonction du temps. Il s'agit de la période pluvieuse allant de 11 octobre 2024 à 13 octobre 2024 et celle de la période sèche allant de 22 mars 2025 à 24 mars 2025. Des recherches systématiques sur dix-sept (17) paramètres physico-chimiques ont été effectuées dont neuf (09) paramètres physiques tels que Temp, pH, CE, STD, Transp, Zp, OD, Turb, MES et huit (08) paramètres chimiques que sont DBO₅, DCO, NKJ, PT, PO₄³⁻, NO₂, NO₃ et NH₄⁺. Les paramètres physiques ont été mesurés in-situ au niveau de chaque bassin versant. Les échantillons ont été conservés dans une glacière à une température de 4°C et acheminés au Laboratoire pour les analyses. Le test de Shapiro Wilk au seuil de 5 %, la matrice de corrélation et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) ont été appliqués à l'ensemble des paramètres mesurés pendant la période pluvieuse et la période sèche. Les résultats ont permis d'identifier deux (02) groupes physico-chimiques pendant la saison des pluies et trois (03) groupes pour la saison sèche après la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Les fortes corrélations entre certains paramètres physico-chimiques, $R^2 = 72\%$ pendant la saison sèche et $R^2 = 24\%$ pendant la saison pluvieuse, témoignent de l'utilisation des produits chimiques. L'Indice de Pollution Organique (IPO) calculé montre que les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sont d'une caractérisation de pollution modérée avec une différence significative ($p\text{-value} = 0,0050$) entre les deux périodes.

Mots-clés : eau de surface, qualité physique, qualité chimique, IPO, Ouémé supérieur

Abstract

Impact of surface water quality in the upper Oueme valley on production

This study focuses on the impact of surface water quality in the upper Oueme Valley on agricultural production. The upper valley encompassed seven (7) watersheds: Affon, Donga, Wèwè, Bétérou, Alpouro, Yéroumaro, and Affon-Donga. Two (2) data collection periods were selected based on weather conditions: the rainy season from October 11 to October 13, 2024, and the dry season from March 22, 2025 to March 24, 2025. Systematic

analyses were conducted on seventeen (17) physicochemical parameters, including nine (9) physical parameters such as Temp, pH, EC, STD, Transp, Zp, OD, Turb, MES and eight (08) chemical parameters of which we have : DBO₅, DCO, NKJ, PT, PO₄³⁻, NO₂, NO₃ et NH₄⁺. The Physical parameters were measured in situ at each watershed. Samples were stored in a cooler at a temperature of 4 °C and transported to the laboratory for analysis. The Shapiro-Wilk test at the 5 % significance level, the correlation matrix, and the Hierarchical Ascendant Classification (HAC) were applied to all parameters measured during both the rainy and dry seasons. The results identify two (2) physicochemical groups during the rainy season and three (3) groups during the dry season using Hierarchical Ascendant Classification (HAC). The strong correlations between certain physicochemical parameters, $R^2 = 72 \%$ during the rainy season and $R^2 = 24 \%$ during the dry season, indicate the use of chemical products. The calculated Organic Pollution Index (OPI) shows that the surface waters of the upper Oueme Valley exhibit moderate pollution, with a significant difference ($p\text{-value} = 0.0050$) between the two periods.

Keywords : *surface water, physical quality, chemical quality, IPO, upper Oueme.*

1. Introduction

Les écosystèmes d'eau douce comptent parmi ceux qui ont subi les atteintes les plus graves dues à l'impact des activités humaines durant le dernier siècle [1, 2]. L'agriculture figure parmi les principaux contributeurs de la pollution diffuse des eaux de surface dans différentes parties du monde [3, 4]. Cela entraîne la détérioration de la qualité de l'eau, un changement dans les communautés biologiques et une réduction de la biodiversité [5]. Ainsi, la qualité des eaux de surface est perçue comme un enjeu important depuis un certain temps en raison de la diminution prévue des ressources en eau douce disponibles dans le futur [3]. On peut juger la qualité de l'eau sur la base de ses propriétés physico-chimiques et biologiques, ce qui fait que l'évaluation de ces propriétés est perçue comme important [6]. Par ailleurs, la qualité d'une eau est déterminée par la concentration de ces composants, ce qui permet de juger si elle est appropriée ou non pour un usage spécifique [7]. L'analyse de la qualité physico-chimique et l'appréciation du niveau trophique des rivières permettent d'identifier les composés minéraux qui altèrent la pureté de l'eau et mettent en péril la faune aquatique [8]. Elle occupe une place importante dans le progrès socio-économique à l'échelle locale, régionale et nationale [3, 9]. On reconnaît désormais largement que l'expansion du secteur agricole est essentielle pour favoriser une croissance au bénéfice des populations pauvres [10, 11]. En effet, La transition agroécologique des champs agricoles est de répondre aux enjeux contemporains de l'agriculture [12]. La transformation de la forêt en terre agricole affecte les qualités du sol et des eaux de surface par des modifications de ses caractéristiques physico-chimiques [13, 14]. De même, l'érosion des sols, qui élimine les couches supérieures et leurs nutriments, est favorisée par la déforestation et la transformation des pâturages en terres cultivées [15]. Ce phénomène conduit à des sols non productifs, dépourvus de toute matière organique [16]. Ainsi, la gestion des sols et des eaux dans le domaine agricole est un enjeu prioritaire pour garantir la durabilité des méthodes de production [5, 17]. Par ailleurs, l'eau occupe une place importante dans le progrès socio-économique à l'échelle locale, nationale et régionale [18]. En assurer la qualité est une préoccupation et doit répondre à des exigences croissantes en matière d'approvisionnement en eau [12, 19]. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la qualité des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sur la production au Bénin à travers ses caractéristiques physiques et chimiques.

2. Méthodologie

2-1. Zone d'étude

Située à $2^{\circ} 16' 9''$ E et $9^{\circ} 12' 0''$ N, l'exutoire de Bétérou est encore appelé la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Il convient de retenir que depuis la fin des années 1960, la haute vallée de l'Ouémé supérieur a connue des perturbations aussi bien climatiques qui se sont traduites par une grande diminution de l'amplitude annuelle, soit la moyenne des hauteurs totales de pluies de 180 mm [17]. Les inondations et les sécheresses sont les risques majeurs qui affectent la quasi-totalité population du pays [16]. Les observations ponctuelles montrent des aggravations de sécheresses qui ont eu lieu durant cette même période, en particulier dans les années 1970 et 1980 [15]. La facilité des bassins versants avec les méthodes agricoles peut considérablement affecter les eaux de surface du fait des substances chimiques provenant de l'agriculture [17]. La Figure 1 montre la situation géographique de l'exutoire de Bétérou et ses affluents.

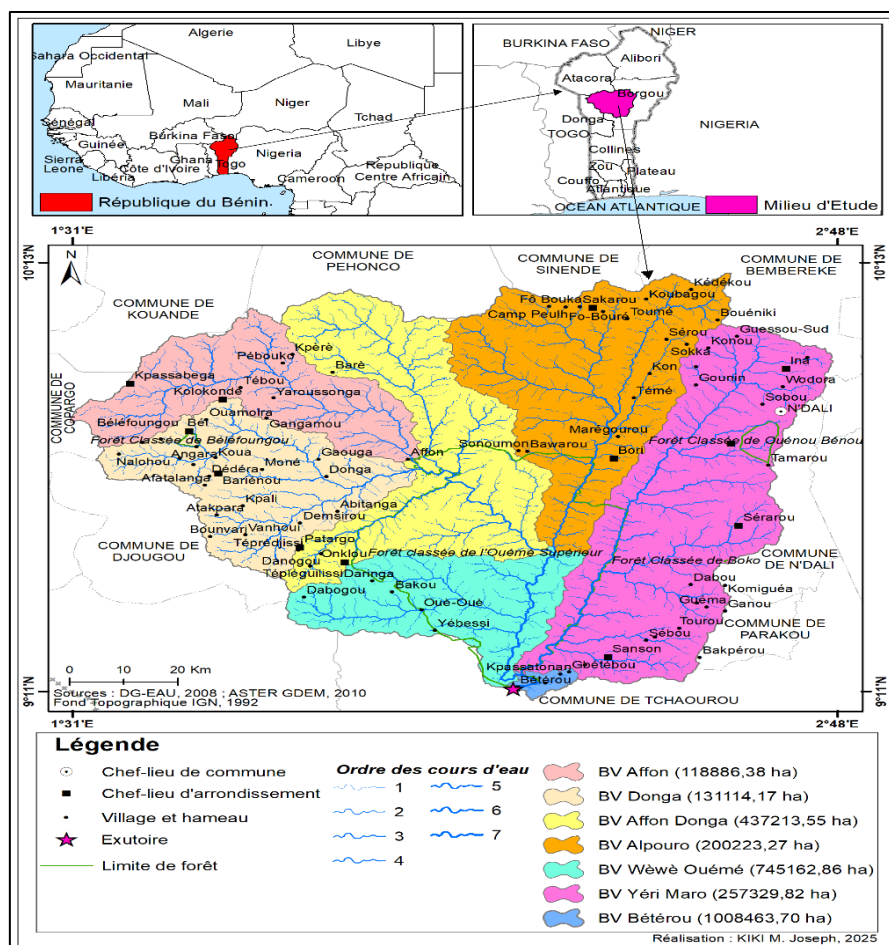


Figure 1 : Exutoire de la haute vallée de l'Ouémé supérieur et ses affluents

2-2. Choix de la Haute vallée de l'Ouémé supérieur et des stations d'échantillonnage

Le bassin versant de Bétérou montre plus de chances d'avoir des apports profonds, où le réseau entaille plus profondément le substrat. Il est l'unité d'hydrologie de base pour le drainage, l'entretien et la protection des ressources en eau. Ces dernières années, les recherches hydrologiques sur les variations du bassin [19] ont entraîné des améliorations significatives dans la comparaison du processus de ruissellement. Les coordonnées géographiques des bassins versant de la Haute vallée de l'Ouémé supérieur sont dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des exutoires des bassins versants

Haute vallée de l'Ouémé	Coordonnées Géographiques		Observations
	Longitude	Latitude	
<i>Affon</i>	2° 17' 40" E	9° 14' 60" N	
<i>Donga</i>	2° 16' 38" E	9° 14' 30" N	
<i>Affon-Donga</i>	2° 20' 22" E	9° 31' 43" N	Cumul des Bassins Versants (BV) Affon, Donga et la portion en aval jusqu'à l'exutoire de Affon Donga
<i>Alpouro</i>	2° 19' 49" E	9° 31' 50" N	
<i>Wèwè-Ouémé</i>	2° 6' 11" E	9° 43' 31" N	Cumul des Bassins Versants (BV) Affon Donga, Alpouro et la portion Sud de Wèwè Ouémé à l'exutoire de Wèwè Ouémé
<i>Yéri-Marô</i>	2° 6' 60" E	9° 44' 28" N	
<i>Bétérou</i>	2° 16' 90" E	9° 12' 00" N	Cumul des Bassins Versants (BV) Wèwè Ouémé, Yéri Marô et la portion Sud du Bassin Versant de Bétérou à l'exutoire de Bétérou

2-3. Collecte des données

2-3-1. Prélèvements des échantillons et mesures des paramètres physico-chimiques

Deux (02) périodes de collecte des données ont été retenues en fonction du temps. Il s'agit de la période pluvieuse allant de 11 Octobre 2024 à 13 Octobre 2024 et celle de la période sèche allant de 22 Mars 2025 à 24 Mars 2025. Les prélèvements des eaux de surface dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur ont été faits entre 06h30mn à 11h30mn [7]. Des recherches systématiques ont été effectuées sur dix-sept (17) paramètres physico-chimiques dont neuf (09) paramètres physiques tels que : la température, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique, les solides totaux dissous, la transparence, la profondeur, l'oxygène dissous, la turbidité et les matières en suspension. S'agissant des paramètres chimiques, huit (08) paramètres ont été évalués dont : la DBO5, la DCO, l'azote total Kjeldahl, le phosphore total, l'orthophosphates, les nitrites, les nitrates et l'ammonium. Les paramètres physiques ont été mesurés in-situ au niveau de chaque bassin versant. Les plastiques d'eau minérale (1,5 L) ont été utilisées pour le prélèvement des échantillons des paramètres chimiques au niveau des bassins versants en suivant le protocole [20]. Les échantillons ont été conservés dans une glacière à une température de 4°C et acheminés dans le Laboratoire d'Ecologie, Santé et de Production Animale (LESPA) de l'Université de Parakou pour les analyses.

2-3-2. Appareils et normes recommandées des eaux de surface à des fins agricoles

Des appareils spécifiques et des normes internationales des eaux de surface destinées à des fins agricoles ont été définies. Le **Tableau 2** présente les appareils et les normes d'excellente qualité des eaux de surface à des fins agricoles utilisées.

Tableau 2 : Appareils et normes d'excellente qualité des eaux de surface à des fins agricoles

Variables	Symboles	Unités	Appareils	Normes recommandées
<i>Température</i>	Temp.	-	SN-ODEOA-1504	20 - 22
<i>Potentiel d'hydrogène</i>	pH	-	HANNA HI 98107	5,5 - 6,5
<i>Conductivité Electrique</i>	CE	µS/cm	HANNA HI 99300	50 - 400
<i>Solides Totaux Dissous</i>	STD	mg/L	HANNA HI 99300	700 - 1750
<i>Transparence</i>	Transp.	UT	Disque de Secchi	3 - 5
<i>Profondeur</i>	Zp	m	Règle graduée	1 - 1,5
<i>Oxygène Dissous</i>	OD	mg/L	SN-ODEOA-1504	5
<i>Turbidité</i>	Turb	NTU	Turbidimètre portable/TSS	5
<i>Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours</i>	DBO5	mgO ₂ /L	Spectrophotomètre	< 10
<i>Demande Chimique en Oxygène</i>	DCO	mg/L	Spectrophotomètre	< 30
<i>Azote total Kjeldahl</i>	NKJ	mg/L	Spectrophotomètre	1 - 2
<i>Phosphore Total</i>	PT	mg/L	Spectrophotomètre	0,5
<i>Orthophosphates</i>	PO4	mg/L	Spectrophotomètre	0,5
<i>Nitrites</i>	NO2-	mg/L	Spectrophotomètre	1
<i>Nitrates</i>	NO3-	mg/L	Spectrophotomètre	50
<i>Ammonium</i>	NH4+	mg/L	Spectrophotomètre	0,5
<i>Matières en Suspension</i>	MES	mg/L	Turbidimètre portable/TSS	50 - 200

2-4. Calcul de l'Indice de Pollution Organique (IPO)

L'évaluation de la charge organique des eaux de surface a été réalisée en se basant sur l'Indice de Pollution Organique (IPO) [21]. L'IPO catégorise la qualité des eaux de surface en cinq (05) différentes classes. Cet indicateur est obtenu en utilisant les valeurs des ammoniums, de la Demande Biochimique en 5 jours (DBO5), des nitrites et des phosphates. Le processus de calcul consiste à distribuer les valeurs des quatre éléments polluants en cinq catégories distinctes et à établir, sur la base des valeurs recueillies lors de l'étude, le numéro de catégorie associé pour chaque facteur en utilisant les données moyennes [21]. L'indice final est calculé en prenant la moyenne des classes de pollution pour tous les paramètres. Les catégories d'IPO et la caractérisation de la pollution sont consignées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Classes d'IPO et caractérisation de la pollution

Classes	DBO5 (mgO ₂ /L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (µg/L)	PO ₄ ³⁻ (µg/L)	Limites des classes	Caractérisation de pollution
5	< 2	< 0,1	< 5	< 15	4,6 - 5,0	Nulle
4	2 - 5	0,1 - 0,9	6 - 10	16 - 75	4,0 - 4,5	Faible
3	5,1 - 10	1 - 2,4	11 - 50	76 - 250	3,0 - 3,9	Modérée
2	10,1 - 15	2,5 - 6	51 - 150	251 - 900	2,0 - 2,9	Forte
1	> 15	> 6	> 150	> 900	1,0 - 1,9	Très forte

2-5. Méthode d'analyse

L'ensemble des données utilisées pour les analyses et traitements statistiques comprend dix-sept (17) paramètres physico-chimiques répartis sur sept (07) bassins versants pendant la saison pluvieuse et pendant la saison sèche. La matrice de corrélation a été réalisée afin d'illustrer les coefficients de corrélation entre les divers paramètres observés. Le coefficient de corrélation établit la connexion entre deux variables et évalue la force de ce rapport. Il oscille entre -1 et +1. Lorsqu'il atteint la valeur de 1, cela signale une

corrélation parfaite entre les variables, tandis que lorsqu'il se fixe à 0, cela signifie qu'aucun lien n'existe. Le symbole (+) indique que la relation est proportionnelle, tandis que le symbole (-) indique que la relation est inversement proportionnelle. Le calcul du coefficient de corrélation offre un aperçu des possibles relations entre paramètres : répartition uniforme et réaction identique face aux processus physico-chimiques, séparation semblable, impact de l'un sur l'autre. On a eu recours au test de Shapiro-Wilk afin de déterminer si les paramètres physico-chimiques des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur présentent une distribution normale. Il a été effectué la typologie abiotique en utilisant une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) pendant la période pluvieuse et pendant la saison sèche afin d'identifier les différents groupes de stations. Enfin, l'Indice de Pollution Organique (IPO) a été déterminé pendant la période pluvieuse et pendant la saison sèche afin de caractériser les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Les analyses statistiques ont été réalisées en utilisant le logiciel R version 4.4.2.

3. Résultats

3-1. Variabilité saisonnière des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur

Les **Tableaux 4 et 5** montrent respectivement les variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. Le test de normalité de Shapiro-Wilk appliqué aux paramètres physico-chimiques montre que $W > p\text{-value}$, alors les variations spatiales des paramètres physico-chimiques dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur suivent une distribution normale. Pendant la saison pluvieuse, il est constaté que les nitrites ($p\text{-value} = 0,0295$) et les matières en suspension ($p\text{-value} = 0,01812$) sont significativement différents d'un bassin versant à un autre (Affon, Donga, Wèwè, Bétérou, Alpouro, Yéroumaro et Affon-Donga) dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur au Bénin. Pour neuf (09) paramètres physiques évalués (Temp, pH, CE, STD, Transp, Zp, OD, Turb et MES), uniquement la température ($26,90 \pm 0,74$) et la turbidité ($13,05 \pm 2,65$) ne respectent pas les normes de recommandation des eaux de surface à des fins agricoles. Les paramètres chimiques évalués (DBO₅, DCO, NKJ, PT, PO_4^{3-} , NO_2 , NO_3 et NH_4^+) montrent que la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours ($95,43 \pm 17,51$), la demande chimique en oxygène ($77,50 \pm 32,29$), l'Azote total Kjeldahl ($7,79 \pm 2,20$), le Phosphore total ($0,57 \pm 0,27$), l'Orthophosphates ($9,39 \pm 1,13$) et les Nitrites ($1,41 \pm 0,59$) ne respectent pas les normes de recommandation des eaux de surface à des fins agricoles. Ainsi, il ressort une mauvaise qualité physico-chimique des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur dans la saison pluvieuse. Par contre, la transparence ($p\text{-value} = 0,0242$), l'ammonium ($p\text{-value} = 0,02873$) et les matières en suspension ($p\text{-value} = 0,004172$) sont significativement différents d'un bassin versant à un autre (Affon, Donga, Wèwè, Bétérou, Alpouro, Yéroumaro et Affon-Donga) dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur au Bénin pendant la saison sèche. Dans les paramètres physiques évalués (Temp, pH, CE, STD, Transp, Zp, OD, Turb et MES), seulement la température ($28,68 \pm 0,88$), le potentiel d'hydrogène ($7,59 \pm 0,32$) et la turbidité ($8,54 \pm 2,32$) ne respectent pas les normes de recommandation des eaux de surface à des fins agricoles. Durant cette saison, les paramètres chimiques évalués (DBO₅, DCO, NKJ, PT, PO_4^{3-} , NO_2 , NO_3 et NH_4^+) montrent que la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours ($93,14 \pm 39,55$), la demande chimique en oxygène ($218,86 \pm 26,73$), l'azote total Kjeldahl ($3,54 \pm 1,26$), le phosphore total ($1,43 \pm 0,78$), l'Orthophosphates ($7,20 \pm 1,26$), les nitrates ($6,41 \pm 1,84$) et l'ammonium ($1,98 \pm 1,48$) ne respectent pas également les normes de recommandation des eaux de surface à des fins agricoles. Par conséquent, il y a une mauvaise qualité physico-chimique des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur dans la saison sèche.

Tableau 4 : Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques pendant la saison pluvieuse

Paramètres	Saison pluvieuse : Haute vallée de l'Oué mé supérieur							Moyenne±σ	Test de Shapiro-Wilk	
	Affon	Donga	Wèwè	Bétérou	Alpouro	Yéroumaro	Affon-Donga		W	p-value
Temp	26,7	25,5	27,7	25,9	28	26,9	27,6	26,90±0,74	0,93144	0,5632
pH	7,89	5,95	5,77	6,79	5,64	5,89	6,4	6,33±0,59	0,84157	0,1028
CE	140,4	179,5	152,8	211,3	34,8	77,4	63,2	122,77±55,12	0,9484	0,7151
STD	271,6	576	372,9	188,2	201,7	272	125,3	286,81±107,22	0,8935	0,2934
Transp	68	83	26	31	86	71	96	65,86±21,35	0,87642	0,211
Zp	82	90	59	47	52	83	75	69,71±14,61	0,90858	0,2387
OD	4,65	4,36	6	4,63	2,47	3,44	4,85	4,34±0,79	0,94852	0,7162
Turb	12,3	9,78	13,56	20,1	11,2	9,65	14,79	13,05±2,65	0,88269	0,3861
DBO5	47	98	113	125	86	92	107	95,43±17,51	0,92031	0,4718
DCO	56,3	75,4	29	140,5	36,3	115	90	77,50±32,29	0,95861	0,8067
NKJ	7,56	9,04	8,19	10,25	4,28	3,85	11,37	7,79±2,20	0,92683	0,5242
PT	0,19	0,16	0,67	1,03	0,89	0,65	0,41	0,57±0,27	0,93576	0,6008
PO ₄ ³⁻	7,37	9,78	9,15	11,96	8,32	10,4	8,78	9,39±1,13	0,9818	0,9678
NO ₂	0,9	1	0,8	3	1,3	1	1,9	1,41±0,59	0,78572	0,0295
NO ₃	5	4	4	7,3	5,7	7	6	5,57±1,06	0,91955	0,4659
NH ₄ ⁺	0,22	0,18	0,21	0,97	0,42	0,56	0,33	0,41±0,20	0,83248	0,08445
MES	24,61	33,62	76,22	156,7	26,7	42,12	51,94	58,84±32,92	0,76491	0,01812

Tableau 5 : Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques pendant la saison sèche

Paramètres	Saison sèche : Haute vallée de l'Oué mé supérieur							Moyenne±σ	Test de Normalité	
	Affon	Donga	Wèwè	Bétérou	Alpouro	Yéroumaro	Affon-Donga		W	p-value
Temp	27,2	29,12	28,5	28,02	29,1	27,9	30,9	28,68±0,88	0,93347	0,5808
pH	6,86	8	7,8	7,8	7,9	7,5	7,3	7,59±0,32	0,89349	0,2934
CE	420	398	258	624	332	388	462	411,71±77,39	0,94349	0,6703
STD	210	199	129	312	166	194	231	205,86±38,69	0,94349	0,6703
Transp	48	52	12	15	59	48	50	40,57±15,47	0,77721	0,0242
Zp	55	67	19	22	72	69	83	55,29±19,96	0,85575	0,1386
OD	6,13	6,05	5,31	5,28	3,9	4,7	1,23	4,66±1,20	0,83335	0,08607
Turb	7,56	8,75	8,85	16,08	4,5	5,41	8,6	8,54±2,32	0,84444	0,1093
DBO5	98	121	134	158	43	45	53	93,14±39,55	0,89277	0,2894
DCO	220	237	250	262	187	162	214	218,86±26,73	0,96398	0,852
NKJ	3,15	4,34	4,39	4,95	1,48	1,55	4,89	3,54±1,26	0,82917	0,07857
PT	0,6	0,8	1,7	3,2	0,7	0,9	2,1	1,43±0,78	0,84883	0,1199
PO ₄ ³⁻	5,97	7,58	8,46	9,85	6,14	5,1	7,32	7,20±1,26	0,97037	0,9011
NO ₂	0,001	0,001	0	0,09	0,085	0,087	0,172	0,06±0,05	0,84498	0,1105
NO ₃	3,38	4,59	4,82	9,59	8,44	6,83	7,21	6,41±1,84	0,96018	0,8203
NH ₄ ⁺	0,48	0,39	0,51	1,36	3,43	3,85	3,85	1,98±1,48	0,78458	0,02873
MES	19	25	88	108	18	17,5	25,24	42,96±31,45	0,70471	0,004172

3-2. Typologie abiotique des caractéristiques physico-chimiques

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) pendant la saison pluvieuse montre deux groupes distincts des caractéristiques physico-chimiques dans la contamination des eaux de surface avec un $R^2 = 24 \%$ ($R^2 = 30000 - 6000$). Ainsi, la relation entre les variables explicatives et la variable expliquée est faible avec le groupe 1 constitué de : Temp, pH, CE, Transp, Zp, OD, Turb, MES, DBO5, DCO, NKJ, PT, PO₄³⁻, NO₂, NO₃ et NH₄⁺ et le groupe 2 constitué de STD. Pendant la saison sèche, la relation entre les variables explicatives et la variable expliquée est forte avec un $R^2 = 72$ ($R^2 = 80000 - 8000$). Le groupe 1 constitué de Temp, pH, Transp, Zp, OD, Turb, MES, DBO5, NKJ, PT, PO₄³⁻, NO₂, NO₃ et NH₄⁺ ; le groupe 2 constitué de DCO et STD et le groupe 3 constitué de CE. Il en résulte dans la haute vallée de l'Oué mé supérieur pendant la saison

pluvieuse et la saison sèche des variations spatio-temporelles des contaminants agricoles dans les eaux de surface. Donc, les bassins versants tels que : Affon, Donga, Wèwè, Bétérou, Alpouro, Yéroumaro et Affon-Donga. Les Classificationx Ascendante Hiérarchique (CAH) pendant la saison pluvieuse et pendant la saison sèche sont illustrées par les **Figures 2 et 3**.

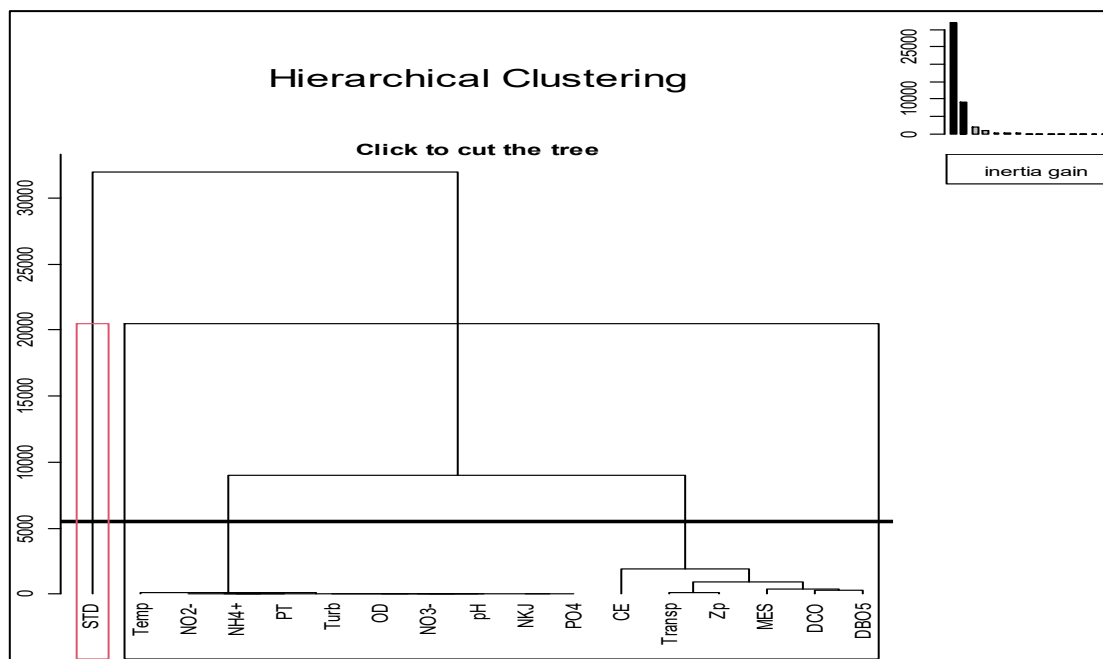


Figure 2 : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) pendant la saison des pluies

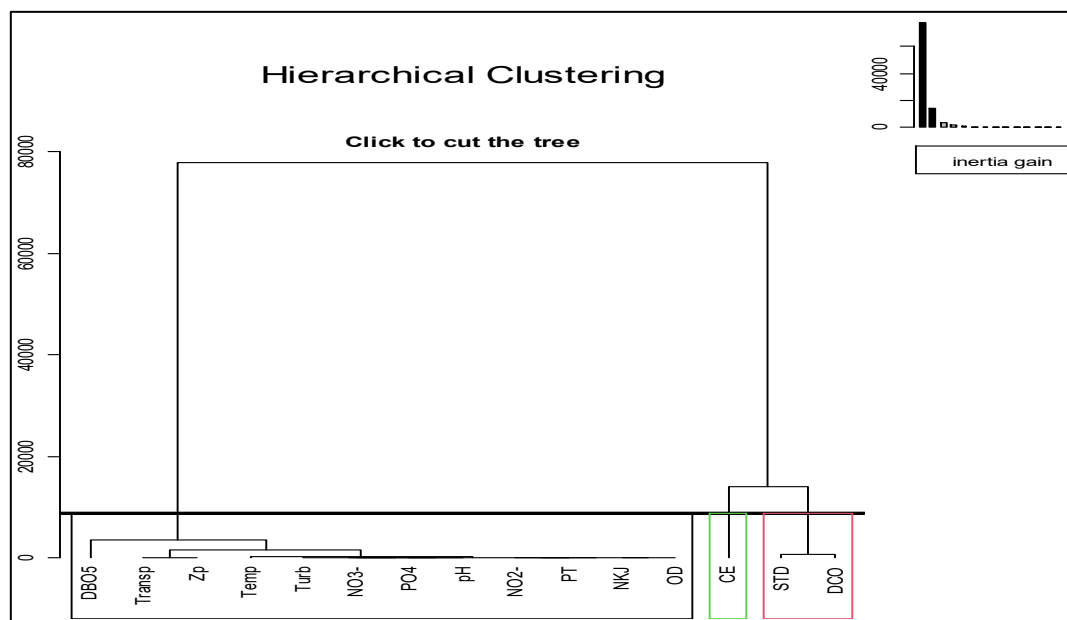


Figure 3 : Dendrogramme de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) pendant la saison sèche

3-3. Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur

Il est remarqué pendant la saison des pluies, une forte corrélation positive entre les matières en suspension, les nitrites et la turbidité. De même entre l'ammonium, les nitrites et les nitrates, la forte corrélation positive

s'observe. Par contre, entre le phosphore total et la profondeur, il y a une forte corrélation négative. Ainsi, pendant la saison pluvieuse, les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sont contaminées à travers l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture. De surcroît, pendant la saison sèche, il y a des fortes corrélations positives entre la demande biologique en oxygène pendant 5 jours, la demande chimique en oxygène, les matières en suspension et les orthophosphates. La demande chimique en oxygène est fortement corrélée avec l'azote total Kjeldahl, les orthophosphates et la turbidité. Donc, pendant la saison sèche, les eaux de surface sont contaminées à travers l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture. Les matrices de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques mesurés pendant la saison des pluies et la saison sèche sont consignées dans les **Tableaux 6 et 7**.

Tableau 6 : Matrice de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques pendant la saison des pluies

	CE	DBO5	DCO	MES	NH ₄ ⁺	NKJ	NO ₂	NO ₃	OD	pH	PO ₄ ³⁻	PT	STD	Temp	Transp	Turb	Zp
CE	1																
DBO5	0,28	1															
DCO	0,30	0,40	1														
MES	0,61*	0,72**	0,59 *	1													
NH ₄ ⁺	0,22	0,48	0,78**	0,78**	1												
NKJ	0,51*	0,43	0,26	0,48	0,03	1											
NO ₂	0,29	0,57*	0,70**	0,81***	0,83***	0,52*	1										
NO ₃	-0,18	0,23	0,78**	0,46	0,87***	-0,12	0,68 *	1									
OD	0,59*	0,29	-0,07	0,38	-0,23	0,70**	0,02	-0,41	1								
pH	0,34	-0,54*	0,19	0,09	0,06	0,33	0,19	0,11	0,26	1							
PO ₄ ³⁻	0,50*	0,76**	0,79**	0,78**	0,78**	0,19	0,64*	0,54*	0,05	-0,24	1						
PT	-0,06	0,55*	0,25	0,64*	0,77**	-0,22	0,56*	0,60*	-0,26	-0,35	0,53*	1					
STD	0,47	-0,04	-0,27	-0,26	-0,50*	-0,03	-0,54*	-0,72**	0,20	-0,24	0,03	-0,51*	1				
Temp	-0,77**	-0,08	-0,57*	-0,31	-0,26	-0,32	-0,26	-0,03	-0,12	-0,31	-0,53*	0,27	-0,52*	1			
Transp	-0,66*	-0,40	-0,09	-0,73**	-0,38	-0,14	-0,22	-0,01	-0,56*	-0,08	-0,46	-0,47	-0,07	0,14	1		
Turb	0,46	0,54*	0,46	0,90***	0,67*	0,64*	0,87***	0,44	0,41	0,34	0,48	0,52*	-0,51*	-0,13	-0,55*	1	
Zp	-0,05	-0,48	0,02	-0,64*	-0,57*	-0,03	-0,56*	-0,32	0,03	0,17	-0,29	-0,89***	0,49	-0,34	0,53*	-0,66*	1

La significativité des corrélations est marquée par les étoiles. Lorsque $P < 5 \% = *$ (la corrélation est significative), $P < 1 \% = **$ (la corrélation est très significative) et $P < 1 \% = ***$ (la corrélation est hautement significative).

Tableau 7 : Matrice de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques mesurés pendant la saison sèche

	CE	DBO5	DCO	MES	NH ₄	NKJ	NO ₂	NO ₃	OD	pH	PO ₄ ³⁻	PT	STD	Temp	Transp	Turb	Zp
CE	1																
DBO5	0,32	1															
DCO	0,32	0,92***	1														
MES	0,33	0,81***	0,77**	1													
NH ₄ ⁺	0,03	-0,84***	-0,76**	-0,42	1												
NKJ	0,42	0,69*	0,86***	0,59*	-0,47	1											
NO ₂	0,42	-0,52*	-0,33	-0,11	0,85***	0,02	1										
NO ₃	0,51*	-0,12	-0,09	0,32	0,59*	-0,05	0,72**	1									
OD	-0,08	0,60*	0,31	0,23	-0,78**	-0,08	-0,89***	-0,45	1								
pH	-0,13	0,27	0,22	0,36	-0,06	0,07	-0,09	0,40	0,13	1							
PO ₄ ³⁻	0,44	0,83***	0,91***	0,89***	-0,47	0,83***	-0,02	0,30	0,09	0,43	1						
PT	0,67*	0,52*	0,60*	0,81***	0,00	0,69*	0,44	0,6*	-0,26	0,17	0,83***	1					
STD	0,25	0,32	0,32	0,33	0,03	0,42	0,42	0,51*	-0,08	-0,13	0,44	0,67*	1				
Temp	-0,04	-0,35	-0,03	-0,20	0,46	0,33	0,62*	0,26	-0,83***	0,22	0,13	0,19	-0,04	1			
Transp	-0,18	-0,78**	-0,71**	-0,96***	0,46	-0,55*	0,21	-0,12	-0,28	-0,21	-0,77**	-0,71**	-0,18	0,29	1		
Turb	0,76**	0,81***	0,81***	0,82***	-0,42	0,77**	0,05	0,33	0,17	0,16	0,89***	0,87***	0,76**	-0,10	-0,72**	1	
Zp	-0,11	-0,84***	-0,72	-0,91***	0,63*	-0,41	0,45	-0,02	-0,53*	-0,22	-0,70**	-0,53*	-0,11	0,51*	0,94***	-0,65*	1

3-4. Évaluation de la pollution organique des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur

L'évaluation de la pollution organique montre, à travers les valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) calculées, que les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur sont d'une caractérisation de pollution modérée avec une différence significative ($p\text{-value} = 0,0050$) entre les deux périodes. La variation de l'indice de pollution organique (IPO) est consignée dans le **Tableau 8**.

Tableau 8 : Variation spatiale des indices de pollution organique (IPO)

Saisons Rivières	Saison pluvieuse		Saison sèche		
	Valeurs IPO	Caractérisation de la pollution	Valeurs IPO	Caractérisation de la pollution	
Affon	3,75		3,75		Nulle 4,6 - 5,0
Donga	3,75		3,75		Faible 4,0 - 4,5
Wèwè	3,75		3,75		Modérée 3,0 - 3,9
Bétérou	3,50		3,50		Forte 2,0 - 2,9
Alpouro	3,75		3,75		Très forte
Yéroumaro	3,75		3,25		
Affon-Donga	3,75		3,25		

4. Discussion

4-1. Qualité physique des eaux de surface de l'Ouémé Supérieur

Les substances toxiques relâchées dans l'environnement à la suite des phénomènes naturels ou des actions humaines peuvent infiltrer les écosystèmes aquatiques et se mêler aux particules en suspension [22, 23]. Les mesures des températures relevées dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur pendant la saison des pluies et pendant la saison sèche varient respectivement entre $26,90 \pm 0,74$ et $28,68 \pm 0,88$. Ces résultats sont comparables aux données obtenues dans la caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : la rivière Sô au Sud-Bénin [7] et dans le Delta de l'Ouémé [24]. Cependant, elles ne montrent pas de fluctuations entre elles et ne peuvent donc pas indiquer la possibilité d'une prolifération rapide des microorganismes et des algues qui pourrait mener à une détérioration notable de l'environnement récepteur. Pour ce qui est du pH, il affiche des valeurs allant de $6,33 \pm 0,59$ pendant la saison pluvieuse et $7,59 \pm 0,32$ pendant la saison sèche. Ces valeurs proches de la neutralité sont typiques de la plupart des eaux superficielles et, par conséquent, ne révèlent ni acidité ni alcalinité des eaux fluviales. Ces résultats sont similaires à ceux de l'impact de la contamination agricole sur la qualité physico-chimique des eaux de surface de l'Ouémé supérieur au Bénin [25]. La conductivité fait référence à la capacité d'une solution à transmettre de l'électricité. Cette méthode permet une évaluation rapide du niveau de minéralisation d'une eau. Elle varie entre $122,77 \pm 55,12$ pendant la saison des pluies et $411,71 \pm 77,39$ pendant la saison sèche. Les résultats sont similaires à ceux de l'étude de la pollution physique et bactériologique de l'eau du fleuve dans la basse vallée de l'Ouémé pendant les périodes de basses et hautes eaux au Bénin [26]. Les résultats corroborent ceux de la caractérisation physico-chimique des eaux et des sédiments de surface de la baie des milliardaires en Côte-d'Ivoire [22]. Les valeurs des solides totaux dissous pendant la saison des pluies et la saison sèche varient respectivement entre $286,81 \pm 107,22$ et $205,86 \pm 38,69$. Ces résultats corroborent ceux obtenus

dans l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux superficielles et l'impact des techniques de récupération des terres dégradées sur la productivité du mil [16, 27]. Il en est de même pour les résultats relatifs la contamination agricole sur la qualité physico-chimique des eaux de surface de l'Ouémé supérieur au Bénin [25]. Bien que la transparence de l'eau influence la quantité d'oxygène générée par le milieu aquatique. En effet, une eau limpide favorisera une plus grande pénétration de la lumière, ce qui stimulera ainsi la photosynthèse. Ces données indiquent $65,86 \pm 21,35$ pendant la saison des pluies et de $40,57 \pm 15,47$ pendant la saison sèche. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus dans l'étude sur la caractérisation physico-chimique et étude de la toxicité de la lagune côtière, de Togbin à Grand Popo (Sud-Ouest Bénin) [28]. Les concentrations d'oxygène détectées sont associées à une hausse des solides totaux dissous, indiquant des conditions plus propices à la décomposition de la charge organique. Ce paramètre est un élément essentiel du fonctionnement métabolique de l'écosystème. La turbidité pendant la saison pluvieuse $13,05 \pm 2,65$ et pendant la saison sèche $8,54 \pm 2,32$ montre des valeurs dépassant les normes de recommandation (5 NTU) pour les eaux de surface destinées à des fins agricoles. Ces résultats s'expliquent par l'action des hommes dans l'utilisation des produits toxiques. La demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO5) et la demande chimique en oxygène (DCO) montrent respectivement ces valeurs pendant la saison pluvieuse $95,43 \pm 17,51$; $77,50 \pm 32,29$ et pendant la saison sèche $93,14 \pm 39,55$; $218,86 \pm 26,73$. Ces résultats ne respectent pas les normes de recommandation : DBO5 (< 10) et DCO (< 30) pour des eaux de surface destinées à l'irrigation dans les productions agricoles. Les résultats corroborent à ceux obtenus sur la variation saisonnière de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux d'irrigation et des légumes du site maraîcher de Bawéra et risques sanitaires associés [29].

4-2. Qualité chimique des eaux de surface de l'Ouémé Supérieur

Bien qu'il n'y ait pas de norme de toxicité établie pour l'azote total, une concentration supérieure à 1,0 mg/L dans les eaux de surface est perçue comme un signe de suralimentation excessive dans l'écosystème [30]. Ainsi, une pollution s'observe dans les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur. Les orthophosphates proviennent de la décomposition des bactéries de phosphates organiques provenant du métabolisme, des secteurs agro-alimentaires chimiques ainsi que de l'usage d'engrais [25, 31]. Dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur, les valeurs varient entre $9,39 \pm 1,13$ pendant la saison pluvieuse et $7,20 \pm 1,26$ pendant la saison sèche. Ces résultats ne respectent pas les normes de recommandation (0,5 mg/L) pour une eau de surface à des fins agricoles. Les nitrates et les nitrites dans la haute vallée de l'Ouémé supérieur varient respectivement d'une saison à une autre. Ces valeurs sont respectivement $5,57 \pm 1,06$; $1,41 \pm 0,59$ pendant la saison des pluies pour les nitrates et les nitrites puis $6,41 \pm 1,84$; $0,06 \pm 0,05$ pendant la saison sèche. Ces résultats corroborent ceux obtenus pour l'état de pollution de l'eau des zones de pêche dans la Basse vallée de l'Ouémé au Bénin [29, 32] dans la Variation saisonnière de la qualité physicochimique des eaux de surface [33]. Par ailleurs, l'ammoniaque, généralement représenté par l'ion ammonium (NH_4^+), affiche des valeurs relativement basses, variant entre $0,41 \pm 0,20$ pendant la saison des pluies et $1,98 \pm 1,48$ pendant la saison sèche. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour la qualité physico-chimique des écosystèmes aquatiques du sud-Bénin [34]. Les matières en suspension varient entre $58,84 \pm 32,92$ pendant la saison des pluies et $42,96 \pm 31,45$ pendant la saison sèche. Les résultats obtenus sont conformes aux normes recommandées (50 mg/L – 200 mg/L) pour des eaux de surface dans les productions agricoles.

4-3. Typologie abiotique des caractéristiques physico-chimiques

La typologie abiotique des caractéristiques physico-chimiques montre une faible corrélation ($R^2 = 24 \%$) pendant la saison pluvieuse et une forte corrélation ($R^2 = 72$) pendant la saison sèche. Ces résultats s'expliquent par l'effet de la concentration des éléments chimiques pendant la saison sèche et de dilution pendant la saison pluvieuse [35]. De surcroît, la matrice de corrélation montre de fortes corrélations entre les

paramètres physico-chimiques pendant la saison sèche. Cela, n'épargne pas la contamination des eaux de surface pendant la saison pluvieuse. Ainsi, les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur présentent une pollution sous l'effet des actions humaines sur les ressources [32]. L'évaluation de la pollution organique des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur montre que l'Indice de Pollution Organique (IPO) est d'une caractérisation modérée pendant la saison pluvieuse et pendant la saison sèche.

5. Conclusion

Au terme de cette étude, les résultats montrent que les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur présentent une caractérisation de pollution modérée pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. Les traces en nitrates, nitrites, phosphore total et les orthophosphates montrent un niveau moyen de la contamination des eaux à travers l'utilisation des engrais chimiques dans les productions agricoles. Il est essentiel de mettre en place une stratégie globale de gestion qui englobe la protection de la rivière en passant d'une caractérisation de pollution modérée à une caractérisation de pollution faible. Les eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur ne constituent pas un grand danger pour l'utilisation dans les productions. Ce travail contribuera à guider les services techniques du gouvernement dans les décisions concernant l'orientation et la gestion prévisionnelle des eaux de surface de la haute vallée de l'Ouémé supérieur de même que le choix des intrants agricoles.

Références

- [1] - S. BUHUNGU, A. M. HOUSSOU, E. MONTCHOWUI, G. NTAKIMAZI, J. L. VASEL & T. NDIKUMANA, Etablissement du pollutogramme et de l'hydrogramme de la rivière Kinyankonge, Burundi. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (3) (2017) 1386 - 1399
- [2] - O. A. THOMPSON, O. B. AKINTUYI, L. O. OMONIYI & O. A. FATOKI, Analysis of land use and land cover change in oil palm producing agro-ecological zones of Nigeria. *Journal of Agroforestry and Environment*, 15 (1) (2022) 30 - 41
- [3] - J. M. NJUE, A. M. MAGANA & E. W. GITHAE, Effects of Agricultural Nutrients Influx on Water Quality in Thiba River basin, a sub-catchment of Tana River Basin in Kirinyaga County, Kenya. *East African Journal of Agriculture and Biotechnology*, 5 (1) (2022) 69 - 89
- [4] - D. BERHANU, T. GASHAW, A. HAILESLASSIE, T. ALAMIREW, W. MEKURIA, G. ZELEKE, T. LEMANN, H. HURNI & G. L. FEYISA, Hydrological Dynamics in Various Agroecological Zones and Impacts of Soil and Water Conservation Measures on Runoff and Sediment Yield in the Africa ecoregion, Bale Eco-Region, (2024) 67 p.
- [5] - G. BILLEN & J. GARNIER, The water-agro-food system : Upscaling from the Seine river basin to the global scale. *Comptes Rendus. Géoscience*, 355 (S1) (2023) 301 - 315
- [6] - A. CHABUK, Q. AL-MADHLOM, A. AL-MALIKI, N. AL-ANSARI, H. M. HUSSAIN & J. LAUE, Water quality assessment along Tigris River (Iraq) using water quality index (WQI) and GIS software. *Arabian Journal of Geosciences*, 13 (14) (2020) 654 - 677
- [7] - Z. C. KOUDENOUKPO, A. CHIKOU, D. ADANDEDJAN, R. HAZOUME, I. YOUSAO, G. A. MENSAH & A. P. LALEYE, 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 (1) (2017) 11111 - 11122
- [8] - D. MAMA, W. CHOUTI, A. ALASSANE, O. CHANGOTADE, F. ALAPINI & BOUKARI, Étude dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *Int J. Chem. Sci*, 5 (3) (2011) 1278 - 1293

- [9] - B. LEGUBE, F. MONTIGNY, P. BUSTAMANTE, G. BAREILLE, M. BAUDRIMONT, J. CACHOT, G. GUIBAUD, Y. HECHARD, J. LABANOWSKI & T. LACQUE-LABARTHE, Qualité des milieux naturels. *AcclimaTerra*, 2 (2018) 120 - 149
- [10] - F. GERARD, F. AFFHOLDER, N. F. MANE & M. SALL, Impact de différentes politiques publiques sur l'intensification agroécologique et les inégalités de revenu dans le Bassin arachidier du Sénégal. *Éditions AFD*, (2020) 76 p.
- [11] - T. YIRGU, Y. YIHUNIE & A. ASELE, Agro-ecological assessment of physico-chemical properties of soils in Kulfo Watershed, South Western Ethiopia. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 14 (1) (2020) 6 - 14
- [12] - D. TREVISAN, C. JANIN, P. TAILLANDIER & B. SARRAZIN, PSDR4 TIP TOP-Un outil sur les paysages agricoles, l'eau et la transition agroécologique. *Innovations Agronomiques*, 86 (2022) 123 - 136
- [13] - M. D. DIALLO, O. NDIAYE, M. M. SALEH, A. TINE, A. DIOP & A. GUISSÉ, Étude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal). *African Crop Science Journal*, 23 (2) (2015) 101 - 111
- [14] - A. G. AMEJO, Mapping soil terrain resources and descriptions of agro-ecological zone in Dawuro and Gamo Gofa zones in south-western Ethiopia. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 9 (10) (2018) 164 - 179
- [15] - Y. KARIMBA & C. P. MUGUNGA, Effects of Land uses on Soils Quality in Rwandan Central Plateau Agro-Ecological Zone. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12 (4) (2024) 516 - 520
- [16] - S. BABIO, A. HOUGNI & J. A. YABI, Sécurité Alimentaire au Bénin : Les Grandes Familles de Pratiques Agro-écologiques Adoptées dans les Zones Cotonnières. *European Scientific Journal*, 19 (12) (2023) 12 - 32
- [17] - A. B. Y. ZANNOU, Analyse et modélisation du cycle hydrologique continental pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Bénin. Cas du Bassin de L'ouémé à Bétérou. Thèse de doctorat. Cotonou, Bénin : Université d'Abomey-Calavi, (2011) 286 p.
- [18] - MEPN, Programme d'action national aux fins de l'adaptation aux changements climatiques (PANA). Cotonou, (2008) 81 p.
- [19] - N. CARLUER, C. LAUVERNET, D. NOLL and R. MUÑOZ-CARPENA, Defining context-specific scenarios to design vegetated buffer zones that limit pesticide transfer via surface runoff. *Science of the Total Environment*, 575 (2017) 701 - 712
- [20] - L. LECLERCQ, *Intérêts et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau*, (2001) 44 p.
- [21] - A. O. MOUSSA, S. I. OUMAILA, I. DAN GUIMBO et H. GAMA DADI, Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la commune de Simiri, ouest-nigérien. *International Journal of Applied Research*, 10 (6) (2024) 193 - 202
- [22] - C. KOUGBLENOU, S. AZONBAKIN, M. ACCROMBESSI, B. AGUEMON, M. ADJAGBA, B. AWEDE, M. P. AINA, R. B. DARBOUX et A. LALEYE, Evaluation du risque de génotoxicité de l'eau de la rivière Okpara à Kika au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (3) (2018) 1298 - 1308
- [23] - C. J. NOUMON, D. MAMA, C. A. DEDJIHO, E. AGBOSSOU & S. IBOURAIMA, Evaluation de la qualité physico-chimique et du risque d'eutrophisation de la retenue d'eau de Kogbétohoué (Sud-Bénin). *Journal of Applied Biosciences*, 85 (2015) 7848 - 7861
- [24] - H. L. ZINSOU, A. H. ATINGLI, P. GNONHOSSOU, D. ADANDEDJAN & P. LALEYE, Caractéristiques physicochimiques et pollution de l'eau du Delta de l'Ouémé au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 97 (2016) 9163 - 9173
- [25] - N. M. FASSINO, F. M. GOUISSI, S. O. GOURA, W. B. YESSOUFOU, T. S. BIAOU, K. H. KAKPO, H. H. AKODOGBO & D. D. TOFFA, Impacts de la Contamination Agricole sur la Qualité Physicochimique des Eaux de Surface de l'Ouémé Supérieur au Bénin. *European Scientific Journal*, 19 (9) (2023) 102 - 136

- [26] - A. ADJAGODO, N. C. KELOME, E. W VISSIN et E. AGBOSSOU, Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'Ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal*, 13 (33) (2017) 167 - 186
- [27] - M. M. ABDOU, M. HASSIMI, A. ABDOU, A. ABDULKADRI, A. I. MAAZOU et M. Z. ALZOUMA, Impact des techniques de récupération des terres dégradées sur la productivité du mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R. Br.) au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29 (4) (2020) 1264 - 1272
- [28] - W. K. CHOUTI, N. E. CHITOU, N. KELOME, B. B. H. KPAKO, D. H. VLAVONOU & M. TOSSOU, Caractérisation Physico-Chimique Et Étude De La Toxicité De La Lagune Côtière, De Togbin À Grand Popo (Sud-Ouest Bénin). *European Scientific Journal*, 13 (27) (2017) 131 - 151
- [29] - I. DJEGBE, T. S. TAMOU-TABE, N. TOPANOU, F. M. SOGLO, A. PARAISO, R. DJOUAKA & C. N. KELOME, Variation saisonnière de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux d'irrigation et des légumes du site maraîcher de Bawéra et risques sanitaires associés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (2) (2018) 781 - 795
- [30] - M. MANSOUR, I. M. ISSIAKA, H. VOLKER et M. ALI, Évaluation du risque d'érosion du sol au Sahel : cas du paysage de Tillabéry. *Afrique SCIENCE*, 16 (5) (2020) 235 - 248
- [31] - A. H. ATTINGLI, S. A. MONTCHO, H. AGADJIHOUEDE & P. A. LALEYE, Paramètres physico-chimiques déterminants et état de pollution de l'eau des zones de pêche dans la Basse Vallée de l'Ouémé au Bénin. *Afrique SCIENCE*, 13 (1) (2017) 13 - 23
- [32] - M. D. DIALLO, O. NDIAYE, M. M. SALEH, A. TINE, A. DIOP et A. GUISSSE, Étude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal). *African Crop Science Journal*, 23 (2) (2015) 101 - 111
- [33] - N. T. NORBERT, P. B. A. FAI, M. MBIDA et K. N. D. BRICE, Bioévaluation de La qualité des eaux du Cours d'eau Menoua en zone périurbaine de Dschang, Ouest Cameroun. *European Scientific Journal*, 13 (27) (2017) 368 - 389
- [34] - K. R. LALEYE, H. AGADJIHOUEDE, D. LEDEROUN, T. A. HOUELOME, A. CHIKOU et A. P. LALEYE, Impact de l'exploitation du sable fluvio-lagunaire sur la qualité physico-chimique de l'eau des écosystèmes aquatiques du sud-Bénin. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 26 (2) (2022) 121 - 135
- [35] - A. TALHAOU, A. EL HMAIDI, H. JADDI, H. OUSMANA et I. MANSSOURI, Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE) Pour L'évaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'Oued Moulouya (NE, Maroc), *European Scientific Journal*, 16 (2) (2020) 64 - 85