



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## **Evaluation de l'Effet des Eaux Usées Industrielles sur la Qualité de l'Eau de la Rivière Klou au Centre du Bénin**

***Koudjodé Simon Abahi***

Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), Bénin

***Hotèkpo Hervé Akodogbo***

Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA), Bénin

***Rafiou Raoul Thierry Gouton***

***Ayodélé Shola David Darius Adje***

***Pierre Midogbo Gnohossou***

Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), Bénin

***Christophe Piscart***

Univ Rennes, CNRS, ECOBIO - UMR 6553, F-35000, Rennes, France

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n3p148](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n3p148)

Submitted: 15 October 2021  
Accepted: 29 January 2023  
Published: 31 January 2023

Copyright 2023 Author(s)  
Under Creative Commons BY-NC-ND  
4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Abahi K.S., Akodogbo H.H., Gouton R.R.T., Adje A.S.D.D., Gnohossou P.M. & Piscart C. (2023). *Evaluation de l'Effet des Eaux Usées Industrielles sur la Qualité de l'Eau de la Rivière Klou au Centre du Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (3), 148.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n3p148>

### **Résumé**

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'impact des eaux usées industrielles sur la qualité de l'eau de la rivière Klou. Pour cela, des prélèvements d'eau ont été effectués avec une fréquence mensuelle sur des stations témoins et exposées. Les analyses physico-chimiques et le calcul de l'indice de Pollution Organique (IPO) ont été effectués. En période pluvieuse, les valeurs des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, TDS, ammonium, DBO<sub>5</sub>, nitrate, nitrite et orthophosphates) étaient faibles. De plus, les fortes valeurs des paramètres étudiés sont observées sur les stations plus exposées. Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) sur les paramètres physico-chimiques ont révélé deux groupes de stations. Le premier est constitué des deux stations témoins caractérisées par les faibles

valeurs des paramètres étudiés alors que le second est composé des stations plus exposées et celles de l'aval avec les fortes valeurs des paramètres étudiés. L'indice de pollution organique a révélé une pollution modérée au niveau des stations témoins et une pollution organique forte et très forte respectivement au niveau des stations plus exposées et celles de l'aval. Il est nécessaire alors de mettre en place une politique de restauration de la qualité écologique des eaux de cette rivière et des centres d'épuration opérationnels et efficaces.

---

**Mots-clés:** Eaux usées industrielles, qualité des eaux, pollution chimique, rivière Klou, Bénin

---

## **Assessing the Effect of Industrial Wastewater on the Water Quality of Klou River in Central Benin**

*Koudjodé Simon Abahi*

Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), Bénin

*Hotèkpo Hervé Akodogbo*

Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA), Bénin

*Rafiou Raoul Thierry Gouton*

*Ayodélé Shola David Darius Adje*

*Pierre Midogbo Gnohossou*

Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions Animales (LESPA), Bénin

*Christophe Piscart*

Univ Rennes, CNRS, ECOBIO - UMR 6553, F-35000, Rennes, France

---

### **Abstract**

The objective of this study was to assess the impact of industrial wastewater on the water quality of the Klou River. For this purpose, water sampling was conducted with a monthly frequency on control and exposed stations. Physico-chemical analyses and the calculation of the Organic Pollution Index (IPO) were carried out. In rainy periods, the values of the physico-chemical parameters (pH, conductivity, TDS, ammonium, BOD<sub>5</sub>, nitrate, nitrite and orthophosphates) were low. Moreover, the high values of the studied parameters were observed at the more exposed stations. The results of the principal component analysis (PCA) on the physico-chemical parameters revealed two groups of stations. The first consists of the two control stations characterized by low values of the studied parameters, while the second consists of the more exposed stations and those downstream with

high values of the studied parameters. The organic pollution index revealed moderate pollution at the control stations and strong and very strong organic pollution respectively at the more exposed stations and those downstream. It is then necessary to put in place a mechanism to restore the ecological quality of the waters of this river and operational and effective purification centres.

---

**Keywords:** Industrial wastewater, water quality, chemical pollution, Klou River, Benin

## Introduction

Dans la majorité des pays en voie de développement, comme le Bénin, l'explosion démographique, l'intensification agricole et le développement industriel engendrent de nouveaux problèmes environnementaux (Grimm et *al.*, 2008 ; Leigh et *al.*, 2010). En effet, les différents déchets agricoles, les eaux usées industrielles, domestiques et autres effluents urbains sont directement déversés dans les cours d'eau sans aucun traitement préalable (Edokpayi et *al.*, 2017). La plupart de ces composés rejetés dans les milieux sont persistants, s'accumulent dans les êtres vivants, se concentrent et se propagent d'une chaîne alimentaire à une autre, créant ainsi des risques écotoxicologiques : intoxications, des déficiences physiologiques, des perturbations endocriniennes, mortalité et extinction (Agbohessi et *al.*, 2013 ; Owa, 2013). Cette dégradation de la qualité de l'eau affecte négativement les services environnementaux, leur valeur pour la société et la biodiversité aquatique (Dudgeon et *al.*, 2006; Schwarzenbach et *al.*, 2010).

Au Bénin, les études antérieures effectuées sur la qualité des eaux sont celles de Dèdjiho et *al.* (2013) sur le lac Ahémé ; Adjagodo et *al.* (2017) ; Zinsou et *al.* (2016) ; Lawani et *al.* (2017) ; Houssou et *al.* (2017) sur le fleuve Ouémé ; Koudenoukpo et *al.* (2017) sur la rivière Sô ; Agblonon Houelome et *al.* (2017 ; 2019) sur la rivière Alibori et Adje et *al.* (2019) sur la rivière Okédama. La seule étude effectuée sur l'impact des activités anthropiques sur la rivière Klou est celle de Akotegnon et *al.* (2018). Cependant, notre connaissance reste toujours limitée, puisque l'étude de Akotegnon et *al.* (2018) ne met pas en exergue l'impact des eaux usées industrielles sur la variation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Klou. Or, la rivière Klou reçoit les eaux usées d'une usine de production de l'alcool pendant toutes les saisons de l'année, ce qui pourrait contribuer à la pollution de l'écosystème. De plus, l'eau de cette rivière est consommée par la population environnante. Le but de cette étude est d'évaluer l'impact des eaux usées industrielles sur la qualité physicochimique des eaux de la rivière Klou dans l'espace et dans le temps.

## **Matériel et méthodes**

### **Description du milieu d'étude**

L'étude a été réalisée sur la rivière Klou, qui est un affluent de la rivière Agbado appartenant au grand bassin du Zou (Figure 1). D'une longueur de 49 km, la rivière Klou prend sa source à 140 m d'altitude entre le village d'Aklampa et Yagbo, derrière le village de Zoungoudo. Elle se trouve entre 7°42' et 8°08' de latitude Nord et 2° et 2°15' de longitude Est (Sintondji et *al.*, 2008) et couvre en partie les communes de Savalou, Glazoué et Dassa-Zoumè. La zone bénéficie d'un climat de type soudano-guinéen avec deux saisons de pluie (de Mars à Juillet et de Septembre à Novembre) et deux saisons sèches (de Décembre à Mars et le mois d'Août) (Adam et Boko, 1983).

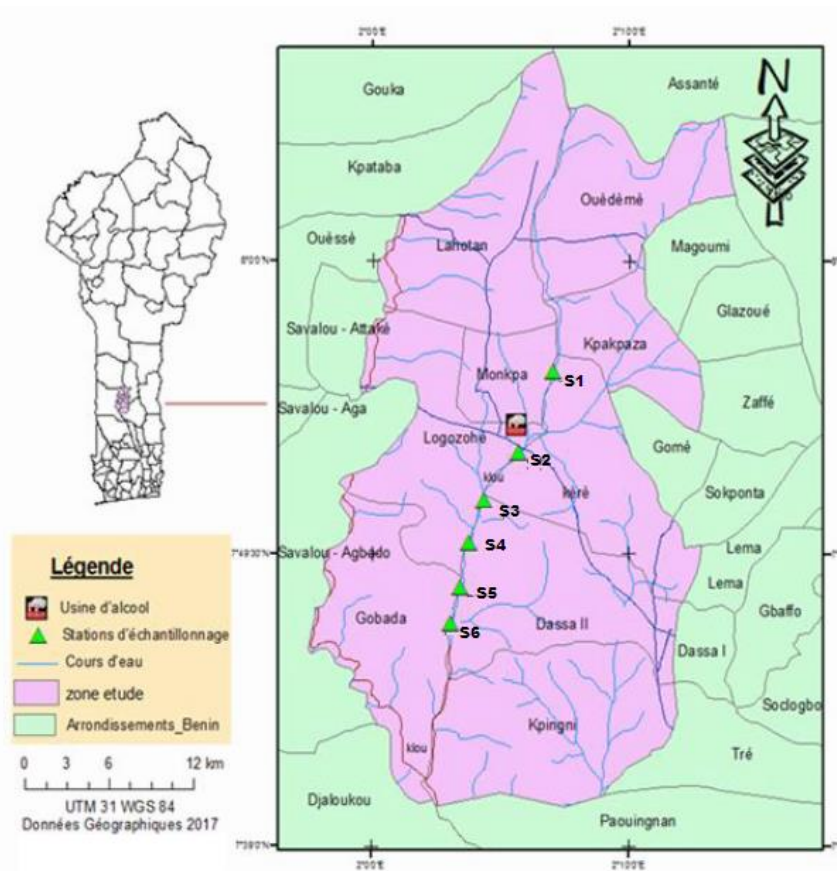
### **Stations d'échantillonnage**

La rivière a été prospectée d'amont en aval et six (06) stations (Figure 1) ont été choisies en fonction de la pérennité de l'eau, de l'altitude, de l'accessibilité en toute saison, de la profondeur (moins d'un mètre) et de la vitesse du courant (assez faible). Elles sont :

- deux stations (Klou 1 et 2) situées en amont, qui sont des stations témoins, en raison de l'absence de rejets directs des industries dans la rivière dans cette zone. Elles sont caractérisées essentiellement la baignade et la pêche.

- deux stations situées à proximité de l'usine (Klou 3 et 4), représentant le point de contact des eaux usées industrielles avec les eaux de la rivière avant qu'elles ne descendent vers l'aval. Ces stations sont exemptes d'autres activités humaines.

- deux stations (Klou 5 et 6) situées en aval et qui reçoivent l'eau venant des stations situées près de l'usine. Les activités humaines sont réduites ici à la pêche.



**Figure 1.** Situation géographique du bassin versant du Klou et les stations d'étude.

### Mesure de la qualité physico-chimique *in situ* et prélèvement de l'eau

La mesure mensuelle des paramètres physico-chimiques à savoir la température, le pH, les solides totaux dissous (TDS) et la conductivité a été effectuée « *in situ* » entre 8 Heures et 12 Heures sur chaque station mensuellement pendant deux années couvrant ainsi des périodes sèches et pluvieuses. La température, la conductivité et le TDS ont été mesurés à l'aide d'un multimètre de type HANNA HI 99300. Le pH a été mesuré avec un pH-mètre de type HANNA HI 98107. Des prélèvements d'eau ont été faits par station, dans des bouteilles stériles. Les bouteilles ont été étiquetées, conservées dans une glacière contenant de la glace et transportées au laboratoire pour les analyses de DBO<sub>5</sub>, nitrates, nitrites, l'ammonium et d'Orthophosphates. La demande biochimique en oxygène a été mesurée à l'aide d'un DBO-mètre. Les paramètres comme le nitrate, l'ammonium et l'orthophosphates ont été dosés respectivement selon la méthode de réduction du cadmium, la méthode de Nessler et la méthode phosVer 3 en utilisant le spectrophotomètre DR/6000.

## Détermination de l'Indice de Pollution Organique (IPO)

L'Indice de Pollution Organique (IPO) de Leclercq (2001) a été utilisé pour évaluer la charge organique dans la rivière. L'IPO classe la qualité des eaux en cinq (05) classes (Tableau 1). Cet indice s'obtient au moyen des valeurs des ammoniums, la DBO<sub>5</sub>, nitrites et des orthophosphates. Le principe du calcul est de répartir les valeurs des quatre éléments polluants en cinq classes et de déterminer, à partir des valeurs obtenues, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre en se servant des données moyennes du Tableau 1. L'indice final est la moyenne des classes de pollution pour l'ensemble des paramètres.

**Tableau 1 .** Classes de IPO et caractérisation du niveau de la pollution

Classes	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µg/l)	Limites des classes	Caractérisation de la 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

## Analyse statistiques des données

Les résultats sont présentés sous la forme moyenne ± écart type. Pour comparer les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et l'indice de pollution organique (IPO) entre stations et saisons d'échantillonnage, le test statistique d'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA 2) a été appliqué au seuil de significativité de 5%. Le test de Duncan a ensuite été appliqué pour détecter l'emplacement de la différence. La typologie abiotique des stations d'échantillonnage été faite à l'aide de l'analyse en composantes principales (ACP). Au préalable la normalité des données a été recherchée en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov. Ces tests ont été réalisés à l'aide du logiciel R4.1.3 (R Core Team, 2022).

## Résultats

### Qualité physico-chimique l'eau de la rivière Klou

Le Tableau 2 présente les variations spatio-temporelles des valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux de la rivière Klou. Parmi les paramètres étudiés, seuls la température et le pH n'ont pas varié significativement d'une station à une autre. Alors que sur le plan saisonnier, la température, le pH, l'ammonium et les orthophosphates ont varié significativement entre les saisons ( $p < 0,05$ ). Les plus faibles de température ont été enregistrées pendant la saison pluvieuse au niveau des stations témoins (Klou 1 et 2) alors que les valeurs les plus fortes ont été observées pendant la saison sèche au niveau des stations Klou 5 et 6 situées en aval. Quelle que soit la saison, les faibles valeurs de température, de conductivité, de TDS,

d'ammonium, de DBO<sub>5</sub>, de nitrate, de nitrite et d'orthophosphates sont enregistrées au niveau des stations témoins (Klou 1 et 2) tandis que les fortes valeurs de ces paramètres sont observées sur les stations Klou 3 et 4 en contact direct avec les eaux usées industrielles. En outre, les valeurs faibles de température, de pH, de la conductivité, de TDS, d'ammonium, de DBO<sub>5</sub>, de nitrate, de nitrite et d'orthophosphates ont été enregistrées pendant la saison pluvieuse et les fortes valeurs pendant la saison sèche.

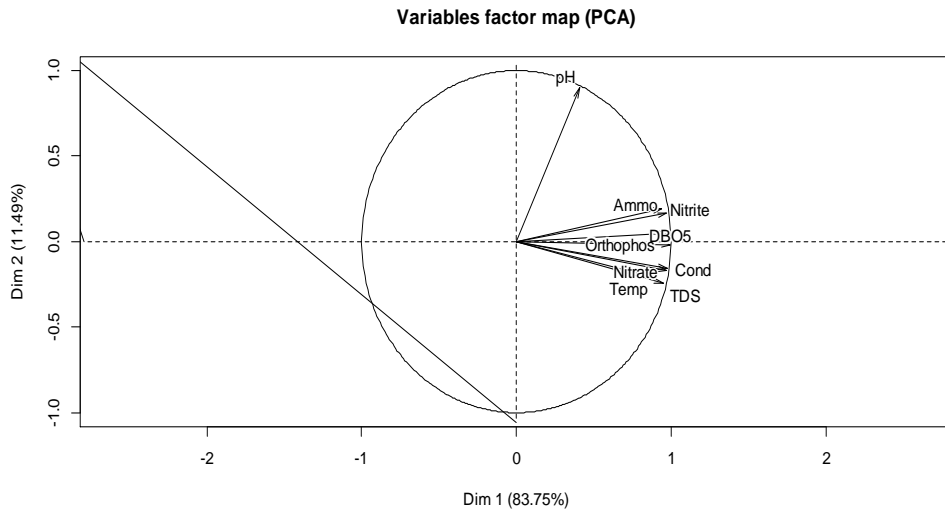
**Tableau 2.** Variations spatio-temporelles de la physico-chimie de l'eau Klou

Variables	Saisons	Klou1	Klou2	Klou3	Klou4	Klou5	Klou6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	Sèche	0,06 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,19 ± 0,1 <sup>b</sup>	1,35 ± 0,2 <sup>b</sup>	0,86 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,82 ± 0,0 <sup>c</sup>
	Pluvieuse	0,04 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,55 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,41 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,31 ± 0,0 <sup>c</sup>
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	Sèche	9,17 ± 0,2 <sup>a</sup>	8,33 ± 0,2 <sup>a</sup>	74,54 ± 6,1 <sup>b</sup>	76,93 ± 0,3 <sup>b</sup>	59,21 ± 3,5 <sup>c</sup>	51,7 ± 16,6 <sup>c</sup>
	Pluvieuse	2,59 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,55 ± 0,4 <sup>a</sup>	58 ± 0,0 <sup>b</sup>	66 ± 0,0 <sup>b</sup>	33 ± 0,0 <sup>c</sup>	31 ± 0,0 <sup>c</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Sèche	0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,46 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,39 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,35 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,30 ± 0,1 <sup>c</sup>
	Pluvieuse	0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,17 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,06 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,02 ± 0,0 <sup>c</sup>
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Sèche	0,01 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,28 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,32 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,10 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,16 ± 0,0 <sup>c</sup>
	Pluvieuse	0,008 ± 0,0 <sup>a</sup>	0,01 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,05 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,06 ± 0,0 <sup>c</sup>	0,02 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,01 ± 0,0 <sup>b</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	Sèche	2,25 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,20 ± 0,1 <sup>a</sup>	49,12 ± 3,0 <sup>b</sup>	49,98 ± 7,1 <sup>b</sup>	22,53 ± 1,2 <sup>c</sup>	34,80 ± 0,3 <sup>c</sup>
	Pluvieuse	1,10 ± 0,0 <sup>a</sup>	1,02 ± 0,1 <sup>a</sup>	15,79 ± 0,0 <sup>b</sup>	16,26 ± 0,0 <sup>b</sup>	7,70 ± 0,0 <sup>c</sup>	8,77 ± 0,0 <sup>c</sup>
pH	Sèche	8,20 ± 0,3 <sup>a</sup>	8,25 ± 0,1 <sup>a</sup>	8,80 ± 0,5 <sup>a</sup>	8,75 ± 0,1 <sup>a</sup>	8,15 ± 0,1 <sup>a</sup>	8,50 ± 0,2 <sup>a</sup>
	Pluvieuse	7,21 ± 0,1 <sup>a</sup>	7,70 ± 0,7 <sup>a</sup>	6,78 ± 0,2 <sup>a</sup>	7,63 ± 0,2 <sup>a</sup>	7,41 ± 0,3 <sup>a</sup>	7,28 ± 0,2 <sup>a</sup>
Cond (μS/cm)	Sèche	96 ± 0,0 <sup>a</sup>	101 ± 0,0 <sup>a</sup>	354 ± 0,0 <sup>b</sup>	341 ± 0,0 <sup>b</sup>	317 ± 0,0 <sup>c</sup>	321 ± 0,0 <sup>c</sup>
	Pluvieuse	94 ± 5,7 <sup>a</sup>	108 ± 8,5 <sup>a</sup>	284 ± 5,7 <sup>b</sup>	281 ± 19,8 <sup>b</sup>	231 ± 3,5 <sup>c</sup>	245 ± 35,4 <sup>c</sup>
TDS (mg/l)	Sèche	48 ± 0,0 <sup>a</sup>	51 ± 0,0 <sup>a</sup>	177 ± 0,0 <sup>b</sup>	171 ± 0,0 <sup>b</sup>	159 ± 0,0 <sup>c</sup>	161 ± 0,0 <sup>c</sup>
	Pluvieuse	47 ± 2,8 <sup>a</sup>	54 ± 4,2 <sup>a</sup>	142 ± 2,8 <sup>b</sup>	141 ± 10,6 <sup>b</sup>	115 ± 1,4 <sup>c</sup>	123 ± 17,7 <sup>c</sup>
Temp (°C)	Sèche	28,70 ± 0,8 <sup>a</sup>	29,75 ± 0,2 <sup>a</sup>	31,40 ± 0,1 <sup>a</sup>	31,10 ± 0,4 <sup>a</sup>	32 ± 1,1 <sup>a</sup>	32,45 ± 0,2 <sup>a</sup>
	Pluvieuse	25,55 ± 0,9 <sup>a</sup>	25,13 ± 0,3 <sup>a</sup>	28,75 ± 0,9 <sup>a</sup>	29,70 ± 1,1 <sup>a</sup>	29,90 ± 2,8 <sup>a</sup>	25,98 ± 1,1 <sup>a</sup>

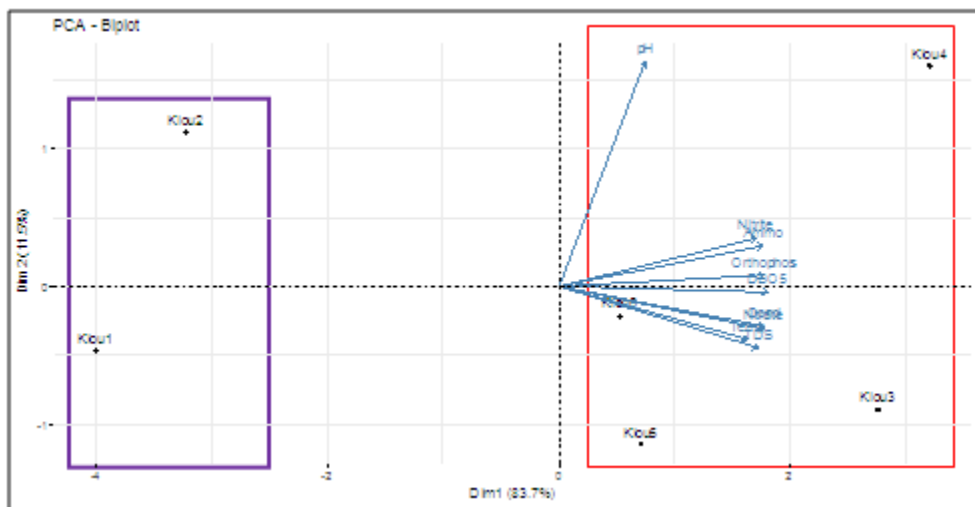
### Typologie des stations

Une typologie abiotique des stations réalisée à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP) révèle que l'essentiel des informations contenues dans les variables sont contrôlées à 95,49 % par les deux premières dimensions (1 et 2) (Figure 2). La DBO<sub>5</sub>, l'orthophosphate, la conductivité, l'ammonium et le nitrate ont contribué plus à la formation du premier axe tandis que le pH est plus lié au second axe. Le cercle de corrélation (Figure 2) indique que l'ammonium ( $r=0,97$  ;  $p=0,001$ ), la température ( $r=0,98$  ;  $p=0,014$ ), l'orthophosphate ( $r=0,97$  ;  $p=0,0009$ ), la DBO<sub>5</sub> ( $r=0,99$  ;  $p=0,000$ ), le nitrate ( $r=0,97$  ;  $p=0,001$ ), le nitrite ( $r=0,94$  ;  $p=0,005$ ) ; la conductivité et le TDS ( $r=0,97$  ;  $p=0,003$ ) sont fortement et significativement corrélés à la dimension 1. Le pH ( $r=0,89$  ;  $p=0,014$ ) est fortement, positivement et

significativement corrélé à la dimension 2. La projection des paramètres physico-chimiques et des stations dans le système des deux premiers d'axes défini par l'ACP indique que : les stations Klou 1 et 2 forment le groupe I caractérisé par les faibles valeurs des différents paramètres et le groupe II composé des stations Klou 3, 4, 5 et 6 caractérisé par les fortes valeurs des différents paramètres (Figure 3).



**Figure 2.** Positionnement des paramètres physico-chimiques



**Figure 3.** Projection des paramètres physico-chimiques et des stations

### Evaluation de la pollution organique de la rivière Klou

Les valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) et les niveaux de qualité correspondants sont donnés dans le Tableau 3. Les valeurs obtenues de



l'IPO montrent que les eaux de la rivière Klou varient entre trois classes de pollution organique: modérée, forte et très forte (Tableau 3). En effet, les valeurs de l'IPO des stations Klou 3, 4, 5 et 6 oscillent entre 1,5 (pollution organique très forte) et 2,25 (pollution organique forte) alors que les stations témoins (Klou 1 et 2) pour lesquels les indices ont varié entre 3 et 3,5 ont une pollution organique modérée. Globalement, les valeurs de IPO enregistrées sont faibles pendant la saison sèche et élevées pendant la saison pluvieuse. Par ailleurs, l'indice de pollution organique a varié significativement entre les stations ( $p = 0,0072$ ) mais entre les saisons il n'y a pas de différence significative ( $p = 0,3469$ ).

**Tableau 3.** Variation de l'indice de pollution organique (IPO)

Saisons	Saison sèche		Saison pluvieuse	
	Valeurs De IPO	Caractérisation de la pollution	Valeurs de IPO	Caractérisation de la pollution
<b>Klou1</b>	3,25 ± 0,43	Modérée	3,5 ± 0,32	Modérée
<b>Klou2</b>	3 ± 0,21	Modérée	3,25 ± 0,32	Modérée
<b>Klou3</b>	1,5 ± 0,17	Très forte	2,25 ± 0,40	Forte
<b>Klou4</b>	1,5 ± 0,20	Très forte	2 ± 0,19	Forte
<b>Klou5</b>	2 ± 0,25	Forte	2,25 ± 0,35	Forte
<b>Klou6</b>	1,875 ± 0,28	Très forte	2,25 ± 0,2	Forte

## Discussion

L'étude de la qualité physico-chimique l'eau de la rivière Klou a montré que les paramètres mesurés varient dans l'espace et selon les saisons. Dans l'ensemble, pendant la saison pluvieuse la majorité des variables telles que le pH, la conductivité, le TDS, l'ammonium, la DBO<sub>5</sub>, le nitrate, le nitrite et les orthophosphates sont faibles. Cette baisse de valeurs enregistrée par rapport à la saison sèche pourrait s'expliquer aussi par le phénomène de dilution que connaît la rivière suite aux précipitations en saison pluvieuse. Par contre, pendant la période sèche la majorité de ces variables a connu une élévation de valeur ; ce qui est favorisée par un faible débit de la rivière et une prédominance des eaux usées.

En effet, les valeurs de conductivité et de TDS obtenues sont respectivement comprises entre 94 et 354  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et 47 et 177  $\text{mg}/\text{L}$ . Les stations témoins ont enregistré les faibles valeurs de ces deux paramètres tandis que les stations polluées sont caractérisées par les fortes valeurs. La forte minéralisation des eaux pendant la saions sèche est due à la forte température qui caractérise cette période et qui pourrait accélérer les réactions biochimiques induisant l'accumulation d'ions (IBGE, 2005). Les fortes valeurs de conductivité et de TDS enregistrées sur les stations polluées sont similaires aux observations rapportées lors de l'étude de l'impact des effluents industriels par Ewa et al. (2011) et Ibezute et al. (2016) respectivement sur les rivières Omoku et Ikpoba au Nigéria. Ces fortes valeurs observées au niveau

de ces stations traduisent une forte anthropisation liées aux eaux usées industrielles directement déversées dans l'eau de la rivière. Le pH enregistré dans cette étude est compris entre 6,78 et 8,80 et se situe donc dans la limite tolérable ( $6,5 < \text{pH} < 9,5$ ) de l'Organisation mondiale de la santé (WHO, 2017). De plus, l'ensemble des valeurs de pH obtenues est acceptable pour la plupart des espèces aquatiques (6,5 - 8,5) (IBGE, 2005). Les températures enregistrées sur la rivière Klou sont comprises dans la fourchette 25,13 à 32,45 °C. L'augmentation de la température de l'amont vers l'aval, peut être attribuée aux activités humaines intenses ravissant les stations de canopée, les exposant à une forte insolation.

Les valeurs de  $\text{DBO}_5$  enregistrées sont élevées pendant la saison sèche. Ces fortes valeurs traduisent une forte présence de matière organique dans la rivière Klou. En effet, pendant la saison sèche, l'écoulement des eaux est très faible ainsi que la circulation de la matière organique. Ce qui traduit une augmentation de ce paramètre en saison sèche. Des observations semblables ont été faites par Lawani et *al.* (2017) dans le Delta de l'Ouémé au Bénin et par Ogundiran et Fawole (2014) sur la rivière Asa au Nigéria. Les valeurs de  $\text{DBO}_5$  enregistrées au niveau des stations polluées étaient supérieures à la limite acceptable de 30 mg/l selon OMS, confirmant l'existence d'une pollution organique (WHO, 2017). La conséquence des niveaux élevés de  $\text{DBO}_5$  dans les stations polluées pourrait être une diminution de la quantité d'oxygène pour les activités biologiques des espèces aquatiques. Les résultats obtenus sont comparables à ceux de Arimoro et *al.* (2015) et de Ibezute et *al.* (2016) respectivement sur les rivières Ogba et Ikpoba au Nigéria. Quant à l'ammonium, les valeurs enregistrées dans cette étude (0,04 - 1,35 mg/l) sont inférieures aux valeurs rapportées par Onana et *al.* (2019) et Baa-Poku et *al.* (2013) dans les stations urbanisées. Les valeurs obtenues au niveau des stations impactées lors de cette étude sont inférieures aux valeurs admissibles fixées pour les eaux de surface (0,2 mg/l) (Chapman, 1996) et par l'OMS qui est de 0,5 mg/l pour la consommation (WHO, 2017).

En outre, les teneurs de nitrites et de nitates obtenues sont assez faibles dans toutes les stations et sont comprises respectivement entre 0,008 et 0,32 mg/l puis 0,00 et 0,46 mg/l. Toutefois, les valeurs de nitrate et nitrites obtenues au niveau des stations polluées et de l'aval sont supérieures aux valeurs rapportées par Arimoro et *al.* (2015) ; Karrouch et *al.* (2017) et Onana et *al.* (2019). Les valeurs enregistrées à ces stations dépassent la concentration naturelle des eaux de surface qui est égale à 0,1 mg/l (Chapman, 1996). Ces fortes valeurs de nitrate observées dans cette étude surtout au niveau des stations polluées sont donc occasionnées par le rejet des eaux usées industrielles. Les valeurs des orthophosphates enregistrées dans cette étude (1,02 - 49,98 mg/l), surtout sur les stations impactées, sont plus élevées que celles des eaux de surface dont la valeur moyenne est 0,02 mg/l (Chapman,

1996; BE, 2012). Ces valeurs observées classent les eaux de la rivière Klou dans un état général mauvais vis-à-vis de leur état trophique (IFREMER, 2000). Les valeurs de l'orthophosphates obtenues dans cette étude sont très supérieures à celles rapportées sur la rivière Ogba (0,23- 1,08 mg/l) au Nigéria (Arimoro et *al.*, 2015) et sur la Rivière Agnéby (0,85- 2,12 mg/l) en Côte d'Ivoire par Diomandé et *al.* (2009). Les fortes concentrations du phosphate peuvent indiquer la présence d'une pollution et sont responsables des conditions d'eutrophisation (Chapman, 1996).

L'étude des paramètres environnementaux a révélé que les stations témoins sont caractérisées par les faibles valeurs de conductivité, de TDS, d'ammonium, de DBO<sub>5</sub>, de nitrate, de nitrite et d'orthophosphates ; ce qui indique le niveau de pollution organique modérée. Les stations impactées par les eaux usées industrielles et les stations de l'aval sont caractérisées par de fortes valeurs de ces paramètres et ont une pollution organique oscillant entre forte et très forte. De telles situations ont été rapportées par Buhungu et *al.* (2018) sur la rivière Kinyankonge au Burundi. Les quantités élevées de matières organiques mises en évidence par les faibles valeurs de l'IPO (1,5 – 2,25) expriment une forte pollution organique due à la grande quantité de matières organiques et leur faible minéralisation. Ce constat est soutenu par les observations de Buhungu et *al.* (2018) et de Foto et *al.* (2013), qui disent que l'apport d'effluents organique entraîne une augmentation de la conductivité, de l'azote ammoniacal, des orthophosphates, des matières en suspension et de la turbidité. De plus, les valeurs fortes de l'IPO obtenues pendant la saison pluvieuse par rapport à la saison sèche seraient dues à la faible circulation de l'eau observée en saison sèche, ne favorisant pas la distribution et la dilution de la matière organique et induisant ainsi de grandes variations des paramètres physico-chimiques pris en compte dans son calcul.

## Conclusion

L'analyse des paramètres physico-chimiques a révélé que les valeurs des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, TDS, ammonium, DBO<sub>5</sub>, nitrate, nitrite et orthophosphates) sont élevées au niveau des stations polluées et pendant la saison sèche. De plus, les indices de pollution organique ont montré que les stations témoins ont une pollution organique modérée alors que les stations impactées par les eaux usées provenant de l'usine et celles situées en aval ont une pollution forte et très forte. A part le pH et l'ammonium, les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenues dans les stations impactées sont supérieures aux normes des eaux de boisson. Ce qui fait des eaux de la rivière Klou une eau impropre à la consommation humaine. Ces niveaux de pollution obtenus signalent un risque pour la biodiversité présente dans la rivière Klou. Ainsi, une étude ultérieure permettra de

caractérisation des effluents directs de l'usine et d'évaluer aussi leurs impacts sur la biodiversité de cette rivière.

### Remerciements

Ce travail a été financé par la Fondation Internationale pour la Science (IFS) à travers la subvention (I2-A-6703-1) accordée au premier auteur. Les auteurs expriment également leurs remerciements au laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Production Animales de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou pour le cadre de recherche.

### References :

1. Adam, K.S., & Boko, M. (1983). Le climat du Bénin in Le Bénin. Ed. Sodimas-Edicef, Paris, 96 p.
2. Adjagodo, A., Kelomè, N.C., Vissin, E.W., & Agbossou, E. (2017). 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), 167 - 186.
3. Adje, D.D., Gnohossou, P., Akodogbo, H.H., Gouissi, F.M., Abahi, K.S., & Okoya, G.J. (2019). Étude de la pollution organique de la rivière Okedama dans la Commune de Parakou. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 15 (4), 299–305.
4. Agblonon Houelome T.M., Adandedjan D., Chikou A., Imorou Toko I., Youssao I., & Laleye P. (2017). Caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 13(4),35-49
5. Agblonon Houelome T.M., Adandedjan D., Chikou A., Lazar I, Lazar G., & Laleye P. (2019). Ecological quality of Alibori river (In northern Benin) based on macroinvertebrates community by multivariate statistical approach. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(3), 1639-1646
6. Agbohessi, P.T., Toko, I.I., Houndji, A., Gillardin, V., Mandiki, S.N.M., & Kestemont, P. (2013). Acute toxicity of agricultural pesticides to embryo-larval and juvenile African catfish *Clarias gariepinus*. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 64, 692–700. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9871-3>
7. Akotegnon C.K., Gbaguidi A.N.M., Dovonon L.F.C., Hounaho G-F., Zannou A., Kpognon E., Adanho H., Amoussou-Chouh O., & Moussoro S. (2018). Environmental impacts of industrial liquid discharges from the food alcohol production plant on the waters of the Klou river of Logozohè in Benin. *American Journal of Applied*

- Chemistry, 6(5), 156-168.  
<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajac>
8. Arimoro, F.O., Odume, O.N., Uhunoma, S.I., & Edegbene, A.O. (2015). Anthropogenic impact on water chemistry and benthic macroinvertebrate associated changes in a southern Nigeria stream. *Environmental monitoring and assessment*, 187(14), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4251-2>
  9. Baa-Poku, J., Asante, F., & Amakye, J.S. (2013). Impact of Urban Effluents on the Macroinvertebrates of a Creek in Accra, Ghana. *West African Journal of Applied Ecology*, 21(1), 97–110. <https://doi.org/10.4314/wajae.v21i1>.
  10. BE (2012). Bruxelles Environnement. Programmes de surveillance de l'état des eaux de la Région de Bruxelles-Capitale en application de l'Ordonnance Cadre Eau.
  11. Buhungu, S., Montchowui, E., Barankanira, E., Sibomana, C., Ntakimazi, G., & Bonou, C.A. (2018). Caractérisation spatio-temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Kinyankonge, affluent du Lac Tanganyika, Burundi. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 576–595. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.44>
  12. Chapman, D.V. (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, Second Edition. ed. CRC Press, London, 651 p. <http://www.earthprint.com>
  13. Dèdjiho, C.A., Mama, D., Tomètin, L., Nougbodé, I., Chouti, W., Sohounhloué, C.K.D., & Boukari, M. (2013). Évaluation de la qualité physico-chimique de certains tributaires d'eaux usées du lac Ahémé au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 70(1), 5608–5616.
  14. Diomandé, D., Bony, K.Y., Edia, O.E., Konan, K.F., & Gourène, G. (2009). Diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*, 35(3), 368–377.
  15. Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., & Stiassny, M.L. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>.
  16. Edokpayi, J.N., Odiyo, J.O., & Durowoju O.S. (2017). Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: A case study of South Africa. In *Water Quality: IntechOpen*, Vienna, Austria, 402–416. <https://doi.org/10.5772/66561>.

17. Ewa, E.E., Iwara, A.I., Adeyemi, J.A., Eja, E.I., Ajake, A.O., & Otu, C.A. (2011). Impact of industrial activities on water quality of Omoku creek. *Sacha Journal of Environmental Studies*, 1(2), 8–16.
18. Foto, M.S., Tchakonte, S., & Njiné, T. (2013). Water quality assessment using benthic macroinvertebrates in a periurban stream (Cameroon). *International Journal of Biotechnology*, 2(5), 91–104.
19. Houssou, A.M., Ahouansou Montcho, S., Montchowui, E., & Bonou, C.A., (2017). Spatial and seasonal characterization of water quality in the Ouémé river basin (Benin). *Egyptian Journal of Chemistry*, 60(6), 1077–1090. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2017.1463.1095>
20. Ibezute, A.C., Asibor, G.I., & Ibezute, S.U. (2016). Ecological assessment of brewery effluent impact on the macrobenthic invertebrates of Ikpoba River, Edo State, Nigeria. *International Journal of Ecosystem*, 6(3), 47–54.
21. IBGE (2005). Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. 16 p.
22. IFREMER (2000). Mise à jour d'indicateurs du niveau d'eutrophisation des milieux lagunaires méditerranéens – Rapport final-09-2000, Tome I – 236 p.
23. Karrouch, L., Chahlaoui, A., & Essahale, A., (2017). Anthropogenic Impacts on the Distribution and Biodiversity of Benthic Macroinvertebrates and Water Quality of the Boufekrane River, Meknes, Morocco. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 173.
24. Koudenoukpo, Z.C., Chikou, A., Adandedjan, D., Hazoume, R., Youssao, I., Mensah, G.A., & Laleye, A.P. (2017). Caractérisation physico-chimique d'un système lotique en région tropicale : la rivière Sô au Sud- Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Applied Biosciences*, 113(1), 11111–11122. <https://doi.org/10.4314/jab.v113i1.1>
25. Lawani, R.A.N., Kelomè, N.C., & Agassounon, D.T.M. (2017). Characterization of Ouémé river quality in upper delta using water evaluation indices and multivariate analysis. *European Scientific Journal*, 13(17), 170–182.
26. Leclercq, L. (2001). Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. *Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique*, 75p.
27. Leigh, C., Burford, M.A., Robert, D.T., & Udy, J.W. (2010). Predicting the vulnerability of reservoirs to poor water quality and cyanobacterial blooms. *Water Research*, 44(15), 4487–4496. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.016>

28. Ogundiran, M.A., & Fawole, O.O. (2014). Assessment of the impacts of industrial effluent discharges on the water quality of Asa River, Ilorin, Nigeria. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(7), 80–98.
29. Onana, F.M., Togouet, S.H.Z., Tamsa, A.A., Tchatcho, N.L.N., Tchakonte, S., Koji, E., Yemeli, A.W.Y., & Makong, A.N.S.M. (2019). Comparing Freshwater Benthic Macroinvertebrate Communities in Forest and Urban Streams of the Coastal Ecological Region of Cameroon. *Open Journal of Ecology*, 9, 521–537. <https://doi.org/10.4236/oje.2019.912034>
30. Owa, F.D. (2013). Water Pollution: Sources, Effects, Control and Management. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 4(8), 6568. <http://dx.doi.org/10.5901/mjss.2013.v4n8p65>.
31. R Core Team, 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
32. Schwarzenbach, R.P., Egli, T., Hofstetter, T.B., Gunten, U.V., & Wehrli, B. (2010). Global water pollution and human health. *Annual Review Environment and Resources*, 35(1), 109-136. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>.
33. Sintondji, L.O., Awoye, H.R., & Agbossou, K.E. (2008). Modélisation du bilan hydrologique du bassin versant du Klou au Centre-Bénin: Contribution à la gestion durable des ressources en eau. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 59, 35–48.
34. Wang, H., Wang, T., Zhang, B., Li, F., Toure, B., Omosa, I.B., Chiramba, T., Abdel-Monem, M., & Pradhan M. (2014). Water and wastewater treatment in Africa –Current practices and challenges. *Clean – Soil, Air, Water*, 42(8), 1029-1035. <https://doi.org/10.1002/clen.201300208>.
35. WHO (2017). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. 631 p.
36. Zinsou, H.L., Attingli, A.H., Gnohossou, P., Adandedjan, D., & Laleye, A.P. (2016). Caractéristiques physico-chimiques et pollution del 'eau du delta de l'Oueme au Benin. *Journal of Applied Biosciences*, 97, 9163–9173. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v97i1.3>