

## Cartographie des sources de pollution et caractéristiques physico-chimiques d'une rivière péri-urbaine : Cas de la Djibi dans le District d'Abidjan

Yao Blaise KOFFI<sup>1\*</sup>, Okara Henoc EVI<sup>1</sup>, Amani Michel KOUASSI<sup>2</sup>, Kouassi Ernest AHOUSI<sup>1</sup>  
et Anzoumana KAMAGATE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM),  
Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSSEG), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup> Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Département des Sciences de la Terre et des  
Ressources Minières (STeRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques,  
BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

\* Correspondance, courriel : [yaomonie@yahoo.fr](mailto:yaomonie@yahoo.fr)

### Résumé

L'objectif de cet article est de déterminer la qualité de l'eau de la rivière Djibi. Des campagnes de terrains avec échantillonnages d'eau ont été effectuées dans les localités situées sur le bassin versant de cette rivière. L'analyse des échantillons a porté sur les paramètres physico-chimiques tels que la température, les sels nutritifs, la DCO et la DBO<sub>5</sub>. Les résultats montrent des valeurs de DCO (34,36 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>) et de DBO<sub>5</sub> (10,90 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>) supérieures à la norme de JORF. La pollution de la rivière Djibi serait en général due à l'usage d'engrais et par les activités domestiques qui se caractérise par les paramètres PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Pt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Nt élevés. Ce qui traduit une pollution diffuse et ponctuelle de la rivière Djibi. Ces résultats sont soutenus par l'Analyse en Composantes Principales Normées qui montre une pollution organique caractérisée par la Turbidité, la DCO et la DBO<sub>5</sub>; et une minéralisation naturelle caractérisée par NO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>. L'utilisation des engrais le long de la rivière, et le déversement des eaux usées domestiques et industrielles dans les cours d'eau en seraient les principales causes. La rivière Djibi subit donc une pollution d'origine organique et anthropique qui dégrade la qualité des eaux de la lagune Aghien. Cette étude apporte une contribution à la connaissance des pollutions des eaux de surface dans le District d'Abidjan.

**Mots-clés** : *Djibi, paramètres physico chimiques, pollution, Rivière péri-urbaine, effluents, sources de pollution, pollution anthropique.*

### Abstract

**Mapping of pollution sources and physical-chemical characteristics of a periurban river : Case of the Djibi River in the District of Abidjan**

The objective of this paper is to determine the water quality of the Djibi River. Water samplings were carried out on the catchment area of this river. The analysis of the samples focused on physico-chemical parameters such as temperature, nutritive salts, Chemical Oxygen Demand and Biological Oxygen Demand. The results show that, Chemical Oxygen Demand (34.36 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>) and Biological Oxygen Demand

(10.90 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>) values are above the JORF standard. The pollution of the Djibi River is generally due to fertilizer use and domestic activities which is characterized by high PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Pt, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and Nt parameters. This reflects diffuse and point pollution of the Djibi River. These results are supported by the Standard Principal Component Analysis which shows organic pollution characterized by Turbidity, Chemical Oxygen Demand and Biological Oxygen Demand; and natural mineralization characterized by NO<sub>2</sub><sup>-</sup> and O<sub>2</sub>. The use of fertilizers along the river, and the discharge of domestic and industrial wastewater into watercourses would be the main causes. The Djibi River is subject to organic and anthropogenic pollution and degrades the water quality of the Aghien lagoon. This present study contributes to the knowledge of surface water pollution in the District of Abidjan.

**Keywords :** *Djibi, physico-chemical parameters, pollution, peri-urban river, effluents, pollution sources, anthropogenic pollution.*

## 1. Introduction

Dans les pays en voie de développement, le problème d'assainissement reste une préoccupation majeure à cause d'une démographie galopante, de la faiblesse des moyens financiers et matériels et des difficultés à maîtriser la croissance urbaine [1]. Le secteur de l'assainissement est alors dominé par des ouvrages d'assainissement individuels, sources indéniables de pollution des sols et de l'eau [2]. En Afrique et en Asie, on estime que plus de 65 à 100 % des habitations sont équipés d'installations autonomes de stockage des boues de vidange ou des vidangeurs manuels et acheminés vers les rivières ou les champs où ils sont déversés, au mépris des dispositions relatives à la protection de l'environnement [3] ; c'est le cas de la rivière Djibi l'un des principaux affluents de la lagune Aghien. En Côte d'Ivoire, précisément à Abidjan, les difficultés liées à l'approvisionnement en eau potable dans les quartiers d'Abobo et de Yopougon constituent un problème majeur auquel la ville doit faire face. Abidjan connaît une démographie galopante et une urbanisation accélérée qui creusent le fossé entre l'offre et la demande en eau potable [4]. Afin de résorber cette situation l'Etat de Côte d'Ivoire a identifié la lagune Aghien comme source alternative pour la production d'eau potable. Elle est la plus grande réserve d'eau douce à proximité du District d'Abidjan. [5]. Cependant, elle présente sur son bassin d'alimentation des zones urbaines qui dégradent la qualité de cette ressource. En effet, des travaux ont montré que toute activité menée ou exercée sur le bassin versant influence d'une manière ou d'une autre les ressources en eau de surface [6 - 9]. En outre, les déchets générés par les différentes activités humaines et rejetés dans le milieu naturel, entraînent la contamination des eaux par les polluants chimiques (métaux lourds, pesticides, polychlorobiphényles, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc.) qui peuvent être très nocifs voire même mortels pour les animaux et pour les êtres humains [10-12]. Des études ont été réalisées sur la lagune Aghien afin d'évaluer les paramètres physiques, chimiques et bactériologiques, le niveau de contamination par les pesticides et les effets de la dynamique du couvert végétal sur les écoulements dans le bassin versant [4, 13, 14]. Cependant il n'existe aucune étude sur la cartographie des sources de pollution de la rivière Djibi. L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs de la qualité de l'eau [15]. L'objectif de cet article est de déterminer la qualité de l'eau de la rivière Djibi, en identifiant les sources de pollution et faire une étude des paramètres physico-chimiques.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Zone d'étude

La rivière Djibi est située au Nord-Est de la ville d'Abidjan entre les 5°23' et 5°29' de latitude Nord et les 3°55' et 4°03' de longitude Ouest (**Figure 1**). Le bassin versant délimité par cette rivière est limitée au Nord par la sous-préfecture d'Azaguié et au Sud par celle de Bingerville [14]. La rivière Djibi traverse les périphéries de deux localités urbaines (Abobo et Anyama). L'agriculture est la principale activité économique sur ce bassin. On y trouve des cultures d'exportations telles que le palmier à huile, l'hévéa et les cultures vivrières (le manioc, la banane plantain). Le climat de cette zone d'étude se confond à celui de la ville d'Abidjan et est de type équatorial de transition avec quatre types de saisons. Le bassin versant était essentiellement couvert par une forêt sempervirente et ombrophile, mais cette forêt est dégradée à cause de l'intensification des activités anthropiques dans la zone. En effet, son exploitation abusive, l'expansion des cultures de rente (palmier à huile, hévéas) et la croissance de l'habitat humain ont réduit cette forêt à de petits îlots classés par l'Etat de Côte d'Ivoire. Ainsi, dans la zone on trouve les forêts classées de la Djibi. Le réseau hydrographique de la zone est composé des rivières Djibi de direction d'écoulement Nord-Ouest et Sud-Est, la Bété qui s'écoule dans la direction Nord-Sud. D'un point de vue géologique, la zone d'étude est enchâssée dans les formations sablo-argileuses du Continental Terminal. Deux domaines sont à différencier dans cette zone, au Sud, le bassin sédimentaire constitué de roches détritiques du Tertiaire et du Quaternaire et au Nord, le socle cristallin et cristallophyllien constitué de gneiss fins à biotite et amphibole [16].

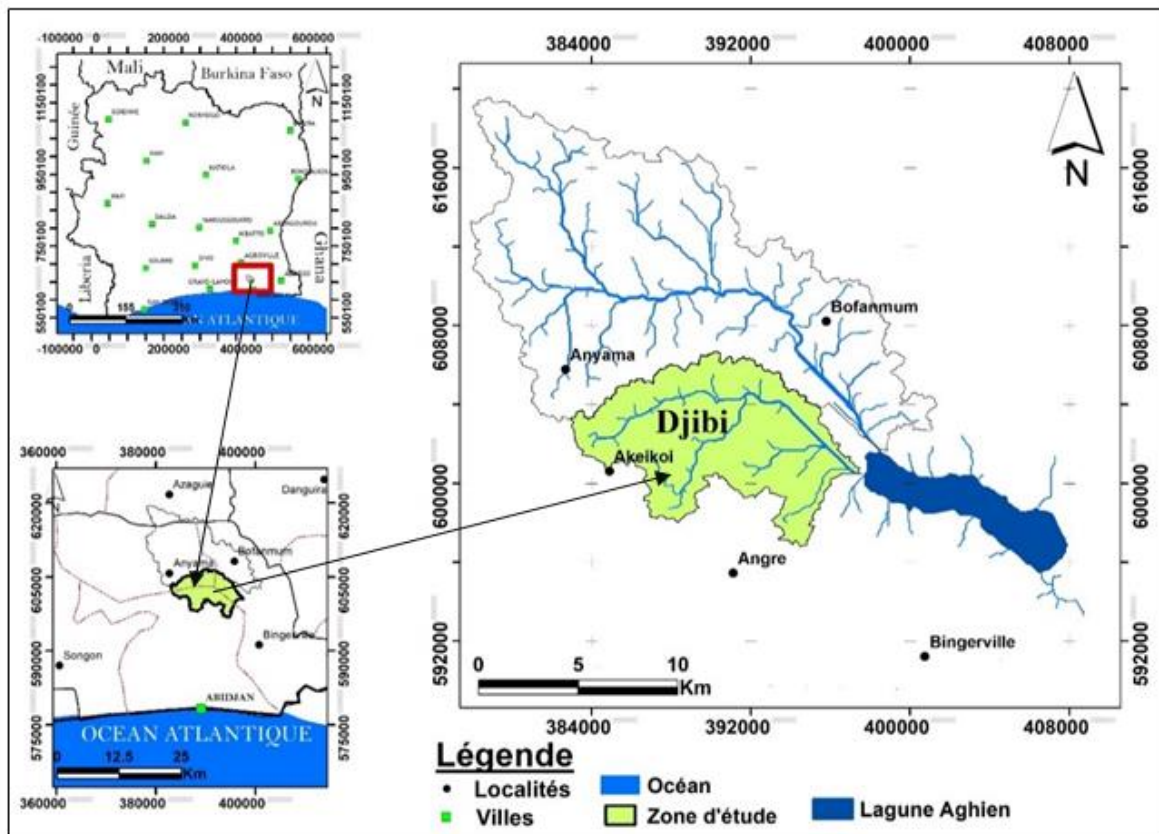


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

## 2-2. Matériel

Le matériel utilisé dans cette étude est constitué de matériel de terrain (GPS, pH-mètre 3310 WTW, d'oxymètre CellC Oxi 3205 WTW) ; de matériel de laboratoire (spectrophotomètre DR6000 et de thermostat HT200s) ; et d'outils informatiques (ArcGis, Statistica 7.1).

## 2-3. Données

Les données climatiques de la station synoptique de l'Aéroport International Felix Houphouët-Boigny (AIFHB) utilisées dans cet article ont été fournies par la Société de Développement et d'Exploitation Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). La carte topographique au 1/50 000 d'Abidjan et ses environs obtenue auprès du Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) a été utilisée. En ce qui concerne les données physico-chimiques, elles sont le résultat d'échantillonnage et d'analyse au laboratoire. Dix (10) échantillons d'eau ont été prélevés sur la rivière Djibi. Certaines données ont été obtenues *in-situ* (température, pH, turbidité, conductivité électrique et l'oxygène dissous) lors de l'échantillonnage.

## 2-4. Méthodes

### 2-4-1. Cartographie des sources de pollution

Pour réaliser cette cartographie, des visites minutieuses sur le bassin versant ont été réalisées. A l'aide d'un GPS et d'un appareil photo numérique, les coordonnées des sources susceptibles de polluer la rivière Djibi ont été répertoriées. Les coordonnées ont donc été insérées dans le logiciel ArcGis en vue d'obtenir une carte de répartition de ses différentes sources de pollution.

### 2-4-2. Analyse physico-chimique des eaux de la rivière Djibi

La campagne de prélèvement d'échantillons d'eau s'est effectuée dans dix stations bien réparties sur la rivière Djibi (**Figure 2**). Une bouteille Niskin a servi pour le prélèvement des échantillons d'eau. Les analyses chimiques ont été effectuées sur dix échantillons d'eau. Les paramètres mesurés sur le terrain sont : la température, le pH, la température, la turbidité, la conductivité électrique et l'oxygène dissout. Ces paramètres physiques ont été mesurés pendant les prélèvements. Les échantillons d'eau destinés aux analyses de laboratoire ont été recueillis dans des bouteilles en plastique et en verre et transportés dans des glacières au Laboratoire de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) de l'Université Nangui Abrogoua. Mais avant les prélèvements, les bouteilles ont été soigneusement lavées et étiquetées par des numéros et des lettres. Au moment du prélèvement, chaque bouteille a été de nouveau rincée avec l'échantillon qui devait la contenir afin de s'assurer qu'il n'y avait pas d'apports extérieurs. L'analyse au laboratoire a intéressé la détermination des paramètres chimiques. Ces paramètres ont été déterminés par différentes méthodes (dosage, bichromate, manométrique, etc.). Les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenues sur le terrain et au laboratoire ont été comparées à la norme internationale du Journal Officiel de la République Française (JORF) 2018 fixée destinée aux eaux brutes de surface. Pour une meilleure interprétation des résultats obtenus, les données recueillies sur le terrain ont été soumises à l'analyse statistique par la méthode l'ACP (Analyse en composantes principales). Dans ce travail, l'ACP a été effectuée avec le logiciel STATISTICA 7.1 sur l'ensemble des dix (10) individus ou unités statistiques (US). Ces unités statistiques constituaient les différents points d'échantillonnage. Treize (13) variables ont été prises en compte dans cette étude : la conductivité électrique (CE), l'oxygène dissout ( $O_2$ ), le pH, la température ( $T^\circ$ ), la turbidité (Turb), l'orthophosphates ( $PO_4^{3-}$ ), le phosphore total (Pt), le nitrate

(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), le nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), l'azote total (Nt), la DBO<sub>5</sub>, et la DCO. Le résultat de l'ACPN dans cette étude sera valable que lorsque les plans factoriels étudiés donneront plus de 70 % d'informations [17]. En dessous de cette limite, on considèrera que l'étude n'a pas tenu compte d'une grande quantité d'informations utiles qui restent cachées.

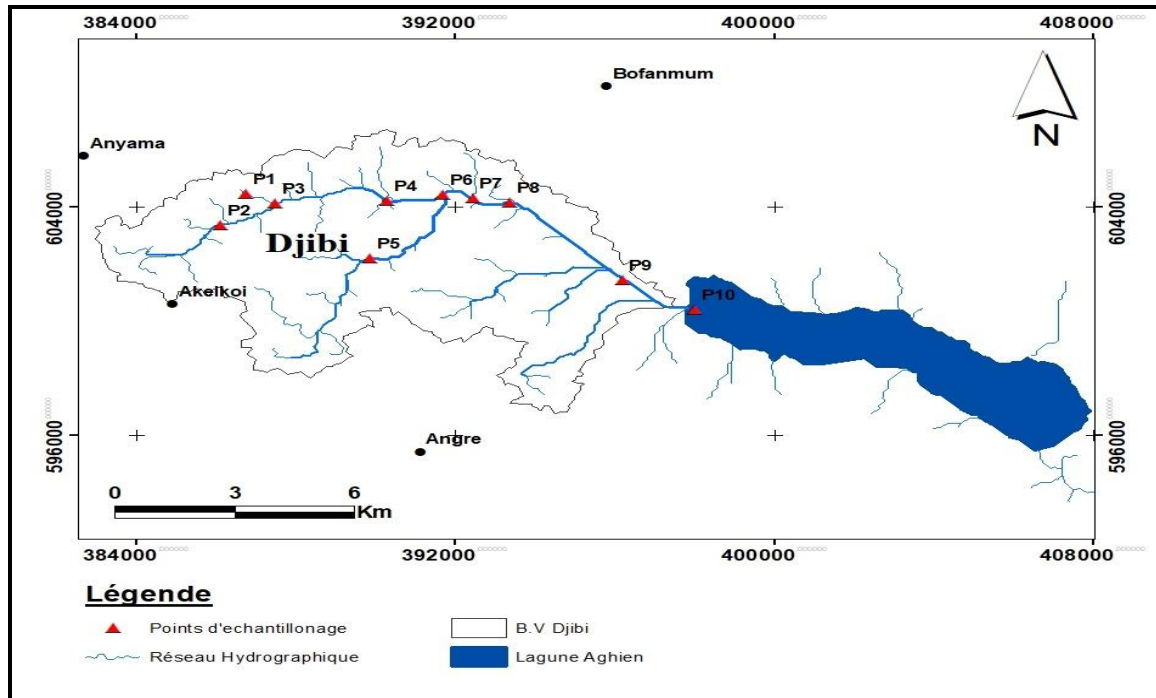
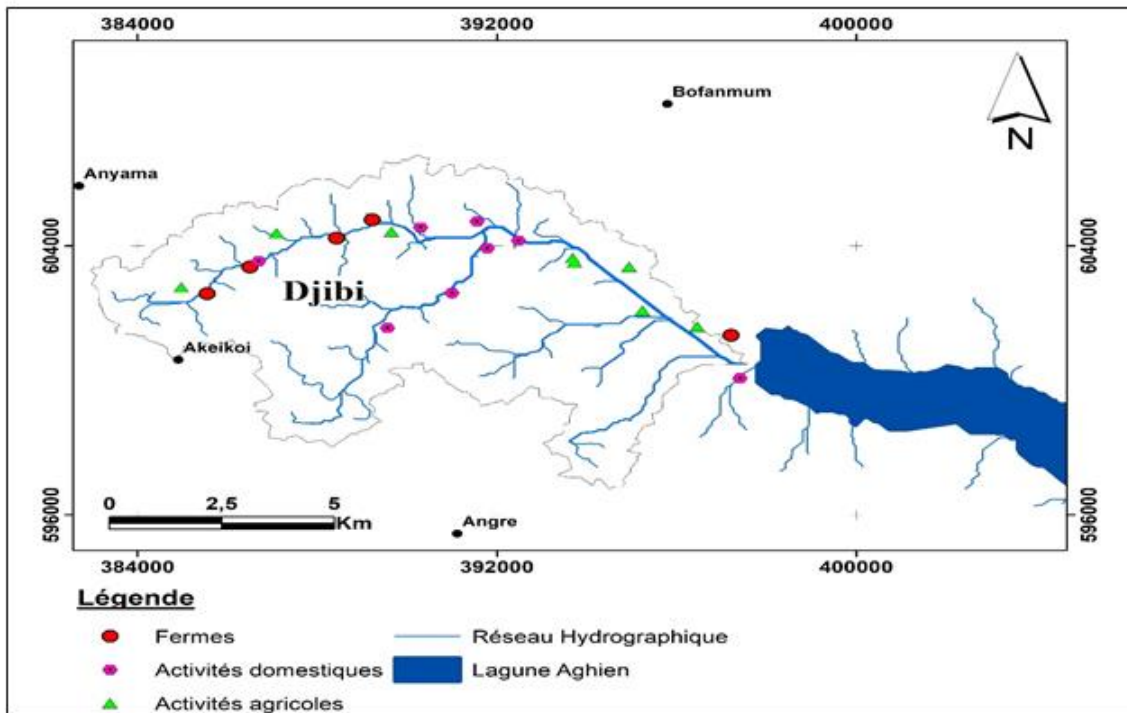


Figure 2 : Carte des points d'échantillonnage

### 3. Résultats

#### 3-1. Sources de pollution identifiée

Les campagnes de terrain effectuées dans plusieurs localités (le village d'Anyama Adjamé et d'Akeikoi, le village de Djibi, Paris village, le village d'Aghien télégraphe et le village d'Anyama débarcadère) ont permis de recenser les principales activités susceptibles de polluer la rivière Djibi. Il s'agit entre autres des fermes, des activités domestiques et des activités agricoles. La **Figure 3** nous montre la carte de répartition des différentes sources de pollution dans le bassin.



**Figure 3 :** Répartition des différentes sources de pollution dans le bassin versant

### 3-1-1. Fermes porcines

Les fermes porcines sont installées le long du bassin. Ces fermes déversent directement leurs eaux usées dans la rivière Djibi sans traitement préalable (*Photo 1*).



**Photo 1 :** *Eléments de pollution des eaux sur la zone d'étude : (a) ferme porcine à Akeikoi, (b) réseau de déversement des eaux de la ferme dans la rivière Djibi*

### 3-1-2. Evacuation des boues de vidange et des eaux grises

L'évacuation des boues de vidange et des eaux grises sont un facteur important dans la pollution du bassin versant vu les proportions d'habitations non raccordées au collecteur d'assainissement. A cet effet, la pollution de la rivière Djibi se fait en amont par les écoulements de surface (*Photo 2a*) ; aussi à travers le

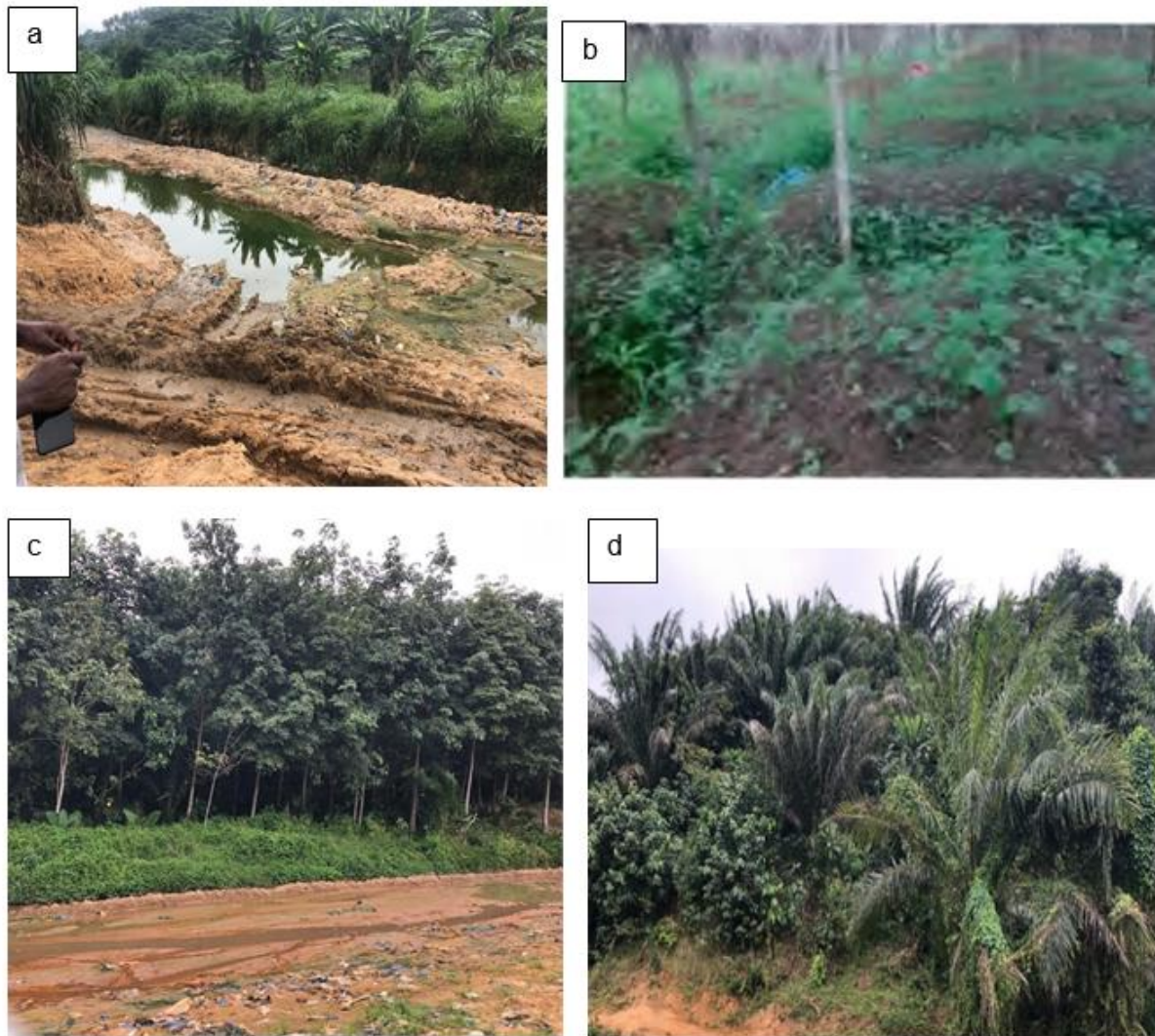
système des latrines (*Photo 2b*) et des boues de vidanges (*Photo 2c*). En aval, elle se fait de façon ponctuelle par les déversements directs d'eaux usées ménagères et par la défécation directe des populations riveraines dans les eaux. Également les décharges sauvages au voisinage de la rivière Djibi (*Photo 2d*). Les activités de bain, vaisselle et de lessive constituent des menaces de pollution. En saison des pluies, des corps sans vie sont souvent découverts dans la rivière Djibi. A tout cela s'ajoute l'hôpital général d'abobo qui déverse directement ses eaux usées dans la rivière par l'intermédiaire des canaux souterrains



**Photo 2 :** *Evacuation des boues de vidange et des eaux grises (a : les écoulements de surface, b : latrines à proximité de la rivière, c : déversement des boues de vidanges, d : les décharges sauvages au voisinage de la rivière Djibi)*

### **3-1-3. Activités agricoles**

Les activités agricoles vont des petits champs de vivriers (manioc, banane plantain, aubergines) (*Figure 6a*) en passant par les cultures maraichères (persil, salade, choux) (*Photo 3b*) jusqu'aux cultures d'exportation (palmier à huile et hévéa) (*Photos 3c et 3d*). On recense les compagnies YACE et CCP ELAEIS qui utilisent d'importantes quantités d'engrais à base d'azote et de phosphore ainsi que des pesticides. Tous ces produits chimiques représentent une sérieuse menace pour le milieu aquatique par pluviollessivage.



**Photo 3 :** *Activité agricole (a : champs de vivriers, b : les cultures maraichères, c et d : culture d'exportation)*

### 3-2. Paramètres physico-chimiques

#### 3-2-1. Paramètres physiques

La température des eaux varie de  $26,8^{\circ}\text{C}$  à  $29,6$  avec une moyenne de  $28,61^{\circ}\text{C}$ . La variation de la température est fonction du point de prélèvement. Les valeurs mesurées ne sont pas conformes à la norme de JORF (2018). La conductivité électrique d'une eau est liée à la minéralisation de celle-ci. Celle mesurée varie de  $24,2 \mu\text{Scm}^{-1}$  à  $621 \mu\text{Scm}^{-1}$  avec une moyenne de  $202,62 \mu\text{Scm}^{-1}$  (**Figure 4**). Cette valeur (la moyenne) n'est pas conforme à la norme de JORF. Le pH varie entre 5,78 et 7,61. La valeur moyenne du pH est de 6,80. Cette valeur est en revanche admise par la norme prescrite par JORF (pH compris entre 6-9). La rivière présente en général un pH acide. La turbidité de la rivière est comprise entre 7,77 NTU et 204 NTU, avec une moyenne de 88,08 NTU (**Figure 5**). La valeur moyenne mesurée n'est pas conforme à la norme de JORF ( $\leq 50$  NTU). Les teneurs en oxygène dissous sont comprises entre  $0,73 \text{mgL}^{-1}$  et  $10,27 \text{mgL}^{-1}$ . La moyenne est de  $3,43 \text{mgL}^{-1}$ . La valeur moyenne mesurée n'est pas conforme à la norme de JORF (2018) ( $\text{OD} > 6 \text{mgL}^{-1}$ ).



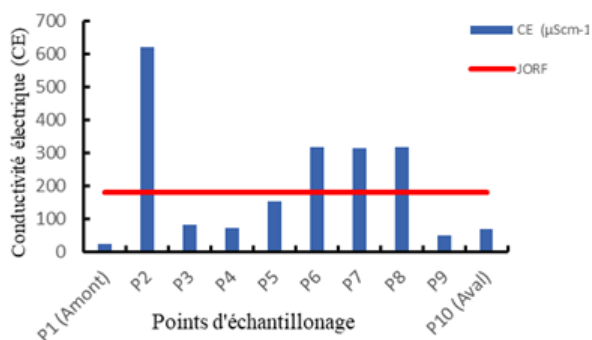


Figure 4 : Évolution de la conductivité électrique

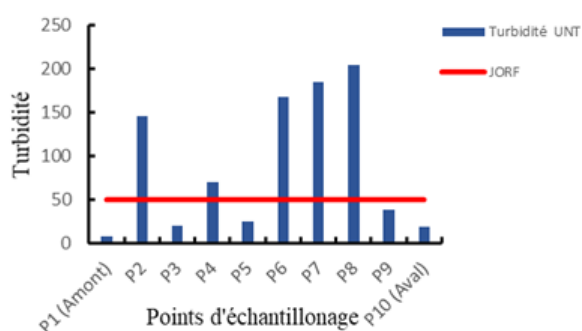


Figure 5 : Évolution de la turbidité

### 3-2-2. Paramètres chimiques

Les concentrations en orthophosphate varient entre 0,01 mgL<sup>-1</sup> et 0,21 mgL<sup>-1</sup>. La concentration moyenne est de 0,07 mgL<sup>-1</sup>. Cette valeur respecte la norme prescrite par JORF (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> < 0,5 mgL<sup>-1</sup>). Les concentrations en nitrates varient entre 2,60 mgL<sup>-1</sup> et 5,80 mgL<sup>-1</sup>. La concentration moyenne est de 3,69 mgL<sup>-1</sup>. Cette valeur respecte la norme prescrite par JORF (≤ 50mgL<sup>-1</sup>). Les concentrations en nitrites varient entre 0,02 mgL<sup>-1</sup> et 0,1 mgL<sup>-1</sup>. La concentration moyenne est de 0,06 mgL<sup>-1</sup>. Cette valeur respecte la norme prescrite par JORF (≤ 0,3 mgL<sup>-1</sup>). Les concentrations en ammonium varient entre 0,19 mgL<sup>-1</sup> et 2,23 mgL<sup>-1</sup>. La concentration moyenne est de 1,09 mgL<sup>-1</sup>. Cette valeur ne respecte pas la norme prescrite par JORF (0,5 mgL<sup>-1</sup>). Les concentrations en phosphore total varient entre 0,13 mgL<sup>-1</sup> et 0,78 mgL<sup>-1</sup>; la concentration moyenne est de 0,32 mgL<sup>-1</sup> (Figure 6). Cette valeur ne respecte pas la norme prescrite par JORF (≤ 0,2 mgL<sup>-1</sup>). Les concentrations en azote total varient entre 2,62 mgL<sup>-1</sup> et 35,20 mgL<sup>-1</sup>. La concentration moyenne est de 14,07 mgL<sup>-1</sup> (Figure 7). Cette valeur ne respecte pas la norme prescrite par JORF (≤ 3 mgL<sup>-1</sup>). Les teneurs en DCO enregistrées au niveau de la rivière Djibi sont comprises entre 9,30 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup> et 68,8 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>. La moyenne est de 34,36 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup> (Figure 8). Cette valeur ne respecte pas la norme prescrite par JORF (≤ 30 68,8 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>). Les teneurs en DBO<sub>5</sub> enregistrées au niveau de la rivière Djibi sont comprises entre 6 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup> et 19 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>. La moyenne est de 10,90 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup> (Figure 9). Cette valeur ne respecte pas la norme prescrite par JORF (≤ 6 mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>).

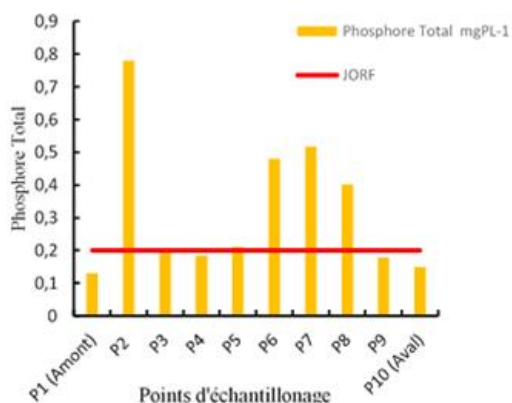


Figure 6 : Evolution du phosphore Total

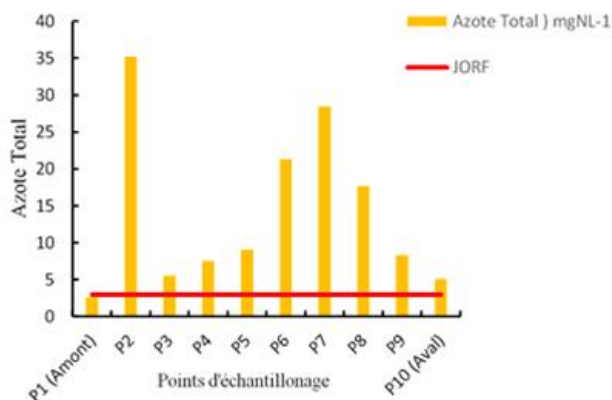


Figure 7 : Evolution de l'azote Total

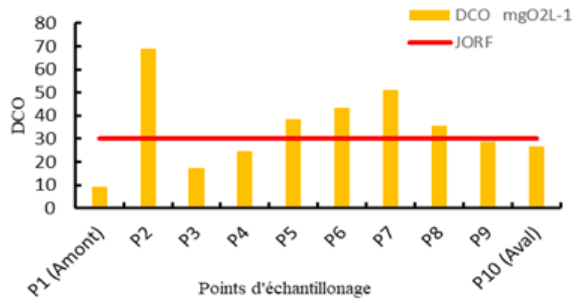
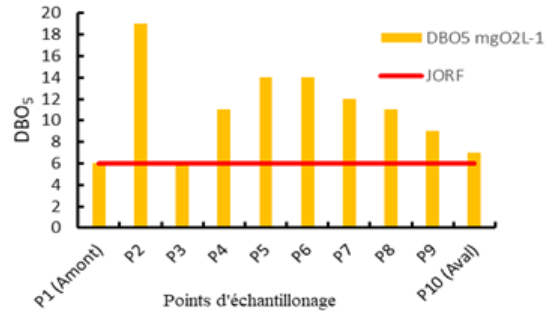


Figure 8 : Évolution de la DCO

Figure 9 : Évolution de la DBO<sub>5</sub>

### 3-2-3. Analyse statistique des paramètres physico-chimiques par l'ACPN

Au total treize (13) variables qui sont les paramètres physicochimiques ont été utilisés pour l'application de la méthode de l'ACPN sur les 10 observations (échantillons) en donnant des résultats relatifs aux éléments qui constituent la base de ces interprétations.

#### 3-2-3-1. Valeurs propres

Les valeurs propres, permettant l'appréciation de chaque variance exprimée pour chaque facteur et leur cumul, sont consignées dans le **Tableau 1**. Le facteur 1 porte 68,13 % de la variance exprimée et 14,51 % de l'information est portée par le facteur F2. Le pourcentage de variance exprimé par les facteurs F1 et F2 est de 82,63 %.

**Tableau 1 : Valeurs propres, pourcentage de variance exprimée**

	F1	F2
<b>Valeurs propres</b>	8,86	1,89
<b>% Total variance</b>	68,13	14,51
<b>Cumul Valeurs propres</b>	8,86	10,74
<b>% Cumulé de variance exprimée</b>	68,13	82,63

#### 3-2-3-2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation présente les différentes corrélations entre les variables prises deux à deux. L'analyse du **Tableau 2** montre qu'il existe plusieurs types de corrélations. La corrélation entre deux éléments est très bonne si elle est proche de 1.

Ainsi les corrélations sont très bonnes entre les paramètres suivants :

- CE avec Turb (0,77), avec PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (0,92), avec NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (0,85), avec NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,90), avec Pt (0,98), avec Nt (0,95), avec DCO (0,92) et DBO<sub>5</sub> (0,86) ;
- Turb avec PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (0,71), avec NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (0,82), avec NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,90), avec Pt (0,79) et Nt (0,83) ;
- O<sub>2</sub> avec NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ;

- $PO_4^{3-}$  avec  $NO_2^-$  (0,84), avec  $NH_4^+$  (0,85), avec Pt (0,95), avec Nt (0,94), avec DCO (0,85) et  $DBO_5$  (0,76) ;
- $NO_2^-$  avec  $NH_4^+$  (0,92), avec Pt (0,90), avec Nt (0,91) et DCO (0,78) ;
- $NH_4^+$  avec Pt (0,92), avec Nt (0,93), avec DCO (0,84) et  $DBO_5$  (0,72) ;
- Pt avec Nt (0,98), avec DCO (0,92) et  $DBO_5$  (0,82) ;
- Nt avec DCO (0,94) et  $DBO_5$  (0,82) ;
- DCO avec  $DBO_5$  (0,91).

Les paramètres suivants sont moyennement corrélés :

CE avec pH (0,62) ; pH avec  $NO_2^-$  (0,62), avec  $NH_4^+$  (0,65) et DCO (0,67) ; Turb avec DCO (0,69) ;  $NO_2^-$  avec  $DBO_5$  (0,60). On remarque des paramètres inversement corrélés :

CE avec  $O_2$  (-0,62) ; Turb avec  $O_2$  (-0,68) ;  $O_2$  avec  $PO_4^{3-}$  (-0,61), avec  $NH_4^+$  (-0,72), avec Pt (-0,65) et Nt (-0,66).

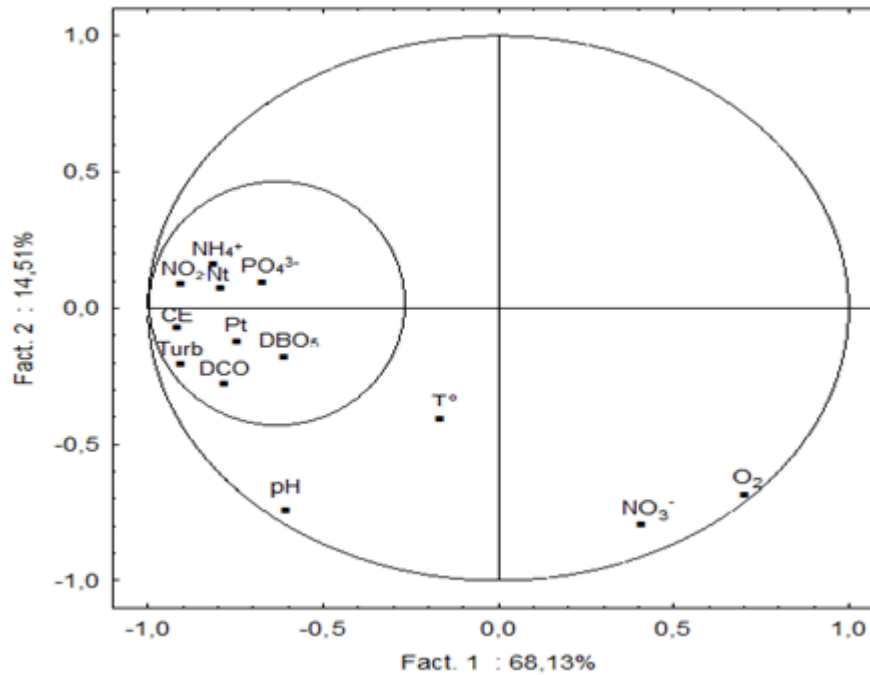
**Tableau 2 : Matrice de corrélation**

	T°	CE	pH	Turb	$O_2$	$PO_4^{3-}$	$NO_3^-$	$NO_2^-$	$NH_4^+$	Pt	Nt	DCO	$DBO_5$
T°	1												
CE	0,03	1											
pH	0,43	0,62	1										
Turb	0,36	0,77	0,57	1									
$O_2$	0,13	-0,62	0,03	-0,68	1								
$PO_4^{3-}$	0,07	0,92	0,49	0,71	-0,61	1							
$NO_3^-$	-0,08	-0,30	0,27	-0,51	0,89	-0,35	1						
$NO_2^-$	0,02	0,85	0,62	0,82	-0,55	0,84	-0,22	1					
$NH_4^+$	0,15	0,90	0,65	0,90	-0,72	0,85	-0,44	0,92	1				
Pt	0,06	0,98	0,58	0,79	-0,65	0,95	-0,36	0,90	0,92	1			
Nt	0,16	0,95	0,59	0,83	-0,66	0,94	-0,38	0,91	0,93	0,98	1		
DCO	0,20	0,92	0,67	0,69	-0,51	0,85	-0,20	0,78	0,84	0,92	0,94	1	
$DBO_5$	0,11	0,86	0,51	0,59	-0,56	0,76	-0,28	0,60	0,72	0,82	0,82	0,91	1

### 3-2-3-3. Espace des variables du plan factoriel F1-F2

L'ACP réalisée sur les 13 variables mesurées. Le pourcentage de variance exprimé par les facteurs F1 et F2 est de 82,63 % (**Tableau 1**). Les points les plus importants sont généralement ceux qui sont assez proches d'un des axes et assez loin de l'origine. Les coordonnées des variables suivant ces différents facteurs figurent dans le **Tableau 2**. Le facteur F1 exprimant 68,13 % de la variance totale est assez bien corrélé sa partie négative par tous ces composées suivantes :  $PO_4^{3-}$ , Pt,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$  et Nt, CE, Turb, DCO, et la  $DBO_5$ . Les composées :  $PO_4^{3-}$ , Pt,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$  et Nt se retrouvent dans la pollution domestique et dans la composition des fertilisants agricoles. La corrélation qui existe entre ces paramètres indique qu'ils évoluent dans le même sens ou qu'ils ont la même origine. Ces éléments proviennent du lessivage des terres agricoles. Les composées CE, Turb, DCO, et  $DBO_5$  se retrouvent dans les eaux usées et la matière fécale et traduit la biodégradation de la matière organique. La corrélation entre ces variables montre qu'elles évoluent dans le

même sens. Ainsi le facteur F1 semble rendre compte du phénomène de pollution organique et anthropique par l'évacuation des eaux usées. Le facteur F2 (14,51) déterminé par les variables  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{O}_2$  et se trouvant dans la partie négative du facteur F2. La corrélation qui existe entre ces variables indique qu'ils évoluent dans le même sens ou qu'ils ont la même origine. Le facteur F2 exprime donc une minéralisation d'origine naturelle.

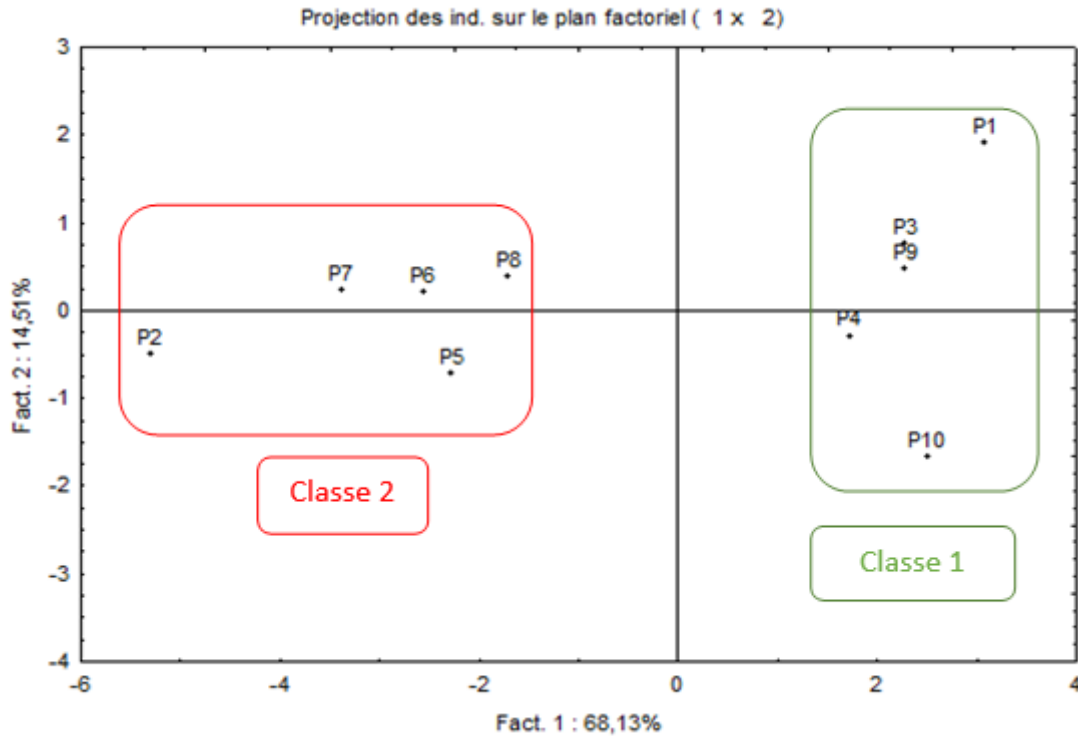


**Figure 10 :** Espace des variables du plan factoriel

### 3-2-3-4. Projection des individus sur le plan factoriel F1-F2

L'analyse dans l'espace des individus du plan factoriel F1-F2 (**Figure 11**), montre que la rivière se regroupe en deux (2) classes comme indiqué dans le plan factoriel F1-F2.

- Classe 1 : Il s'agit des points d'eaux faiblement polluées. Elle regroupe les points P1, P3, P4 et P9. Les concentrations de tous les éléments physico-chimiques sont faibles dans ces cinq (5) points ;
- Classe 2 : C'est la classe des points d'eaux fortement polluée. Elle regroupe les points P2, P5, P6, P7, P8. Cette classe contient les éléments ayant les plus fortes concentrations en DCO et  $\text{DBO}_5$ .



**Figure 11 :** *Espace des individus sur le plan factoriel F1-F2*

**4. Discussion**

**4-1. Sources de pollution**

Dans ce travail de recherche l'identification des effluents permet de connaître les différentes sources de pollution (diffuse et ponctuelle) à prendre en compte au niveau de la pollution des eaux la rivière Djibi. Les campagnes d'identification menées le long de la rivière Djibi montrent la présence de fermes porcines, de dépôt d'ordure, de latrine à branchement anarchique, de déversement de boue de vidange et de défécation à l'air libre. Une telle situation est susceptible d'accroître le risque sanitaire lié à la gestion des déchets liquides (eaux usées et excréta) et des déchets solides (ordures ménagères et non ménagères) et d'entraîner une contamination éventuelle de la ressource en eau.

**4-2. Paramètres physico-chimiques**

L'analyse des paramètres physico-chimiques montre que les eaux de la rivière Djibi ont une température qui oscille entre 26,8°C et 29,6 °C. Ces fortes températures favorisent le phénomène d'autoépuration et accroissent la vitesse de sédimentation de la matière en suspension [18]. Cette gamme de variation est en concordance avec les eaux du bassin versant du N'zi qui est de 28,37 °C [19] et les eaux de surface d'un CET à Kossihouen qui varie entre 25,60 et 28,20 °C [20]. La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique [21]. La conductivité de la rivière Djibi est comprise entre 24,2 µScm<sup>-1</sup> et 621 µScm<sup>-1</sup>, elle est donc faiblement minéralisée ce qui atteste que ces eaux sont douces et ont une minéralisation faible [22]. Ces eaux montrent des caractéristiques similaires aux eaux de la région d'Adiaké qui ont une conductivité

qui varie entre  $21 \mu\text{Scm}^{-1}$  et  $228 \mu\text{Scm}^{-1}$  [23] et celles des eaux du banco et Agbô qui varie entre  $24,7 \mu\text{Scm}^{-1}$  et  $224 \mu\text{Scm}^{-1}$  [24]. Le pH est légèrement acide (moyenne = 6,80) mais respecte toute fois les normes de JORF (6 à 9). Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend des facteurs multiples dont l'origine de l'eau [25]. En effet, un pH inférieur à 6,50 présente des effets corrosifs significatifs, par contre, un pH supérieur à 8,50 traduirait des risques d'incrustation importants pour cette eau [26]. La valeur moyenne de pH des eaux de la rivière Djibi est considérée comme acceptable puisqu'elle proche de la neutralité. La moyenne du pH est similaire à celle déterminé dans les eaux de surface d'Adiaké (pH = 6,4) [23]. L'acidité des eaux de surface a été observée dans les eaux de Bingerville qui ont un pH compris entre 3,72 et 6,14 [27] et dans les eaux superficielles de la commune de Marcory qui est 6,8 [28]. L'acidité des eaux en zone tropicale humide est principalement liée à la décomposition de la matière organique végétale, avec la production de  $\text{CO}_2$  dans les premières couches du sol [29, 30]. Pour ce qui est des paramètres organique (DCO et  $\text{DBO}_5$ ), la moyenne obtenue est respectivement de  $34,36 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  et de  $10,90 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ . Les concentrations des paramètres organiques obtenues dans la rivière Djibi sont largement supérieures à la norme de JORF 2018 qui est de 30 et  $6 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  respectivement pour la DCO et la  $\text{DBO}_5$ . Une évolution de la  $\text{DBO}_5$  et la DCO dans les eaux de surfaces traduit une nette dégradation de la qualité des eaux [18]. Cette pollution organique a été également révélée par l'ACPN. Les concentrations moyennes en DCO et  $\text{DBO}_5$  sont nettement inférieures à celles obtenues sur les baies des milliardaires ( $175,50 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  et de  $51,7 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ ), du banco ( $286,3 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  et de  $111,7 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ ), de cocody ( $273,7 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  et de  $112 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ ), de Marcory ( $309,7 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  et de  $101,4 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ ), et de Bietry ( $381,8 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  et de  $125,6 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) [31]. En effet, les valeurs de DCO et  $\text{DBO}_5$  mesurées dans ces baes montrent qu'elles sont soumises à des rejets directs, qui sont beaucoup plus important que ceux de la rivière Djibi. Par ailleurs, ces rejets proviendraient des activités industrielles, agricoles, portuaires, domestiques et artisanales [32]. Des faibles valeurs (moyennes) en éléments azotés et phosphatés ( $\text{PO}_4^{3-} = 0,07 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $\text{NO}_2^- = 0,06 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^- = 3,69 \text{ mgL}^{-1}$ ) de la rivière Djibi sont également à signaler. Ces valeurs sont conformes à la norme de JORF. La présence des nutriments azotés dans ces eaux, principalement les nitrates, traduit une origine anthropique liée à l'usage des fertilisants pour l'activité agricole. Ces éléments sont transportés par le ruissèlement des eaux de pluie jusqu'aux eaux des retenues. Ces propos sont similaires à ceux de la lagune Potou et la rivière Mé [33]. Contrairement aux éléments azotés et phosphaté précédant l'on remarque que le  $\text{NH}_4^+$  ( $1,09 \text{ mgL}^{-1}$ ), le Nt ( $14,07 \text{ mgNL}^{-1}$ ) et le Pt ( $0,32 \text{ mgPL}^{-1}$ ) qui sont quant à eux supérieurs à la norme de JORF. Ces résultats traduisent une pollution d'origine agricole et domestique. La pollution d'origine domestique résulte principalement des rejets des eaux usées des communes d'Abobo et d'Anyama. Par ailleurs la pollution domestique peut également provenir des activités de lessive, de baignade, de vaisselle, des restes d'aliments, des restes de manioc, des décharges sauvages et l'utilisation d'engrais au voisinage de la lagune [4]. En saison pluvieuse, cette pollution est dominée par le lessivage des terres cultivées. Ce qui permet donc d'affirmer que le pluviolessivage est le facteur-clé de l'entrée des nutriments dans les eaux lagunaires [34]. L'analyse en composantes principales Normées a mis en exergue divers axes déterminant l'origine probable des ions dosés dans ces eaux. Ainsi l'axe F1 contenant  $\text{PO}_4^{3-}$ , Pt,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et Nt dans sa partie positive et CE, Turb, DCO,  $\text{DBO}_5$  dans sa partie négative traduit un phénomène de pollution d'origine agricole, domestique et organique par l'évacuation des eaux usées. La forte corrélation entre ces paramètres témoigne de leurs origines communes. Quant à l'axe F2 contenant  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{O}_2$  dans sa partie négative ; il traduit une minéralisation d'origine naturelle.

## 5. Conclusion

L'identification des sources de pollution a permis de connaître les différentes activités autour de la rivière Djibi. Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus indiquent que la rivière Djibi est faiblement minéralisée avec une moyenne de  $202,62 \mu\text{Scm}^{-1}$  et légèrement acide avec un pH de 6,80. Les composés azotés (nitrates, nitrites, et ammonium) ont des teneurs en dessous des normes préconisées par JORF pour les eaux brutes. Par contre les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$  et Pt) ont des teneurs respectivement de  $0,07 \text{ mgL}^{-1}$  et  $0,32 \text{ mgPL}^{-1}$  supérieurs à la norme de JORF. Le phosphate constitue l'un des indicateurs de pollution des eaux de surface. La  $\text{DBO}_5$  et la DCO ont des valeurs au-dessus de la norme fixée par JORF ce qui implique la présence d'une grande proportion de matière biodégradable. La DCO et la  $\text{DBO}_5$  sont donc les facteurs principaux d'indicateur de pollution dans la rivière Djibi vu les apports des eaux usées et la matière fécale dans lesquels on les retrouve. La rivière Djibi subit une pollution d'origine organique et anthropique. Elle contribue donc à la pollution de la lagune Aghien.

## Références

- [1] - J. WETHE, M. RADOUX ET E. TANAWA, *Vertigo*, 4 (1) (2003) 13 p., doi :10.4000/vertigo.4741
- [2] - P. BLUNIER, H. KOANDA, D. KONÉ, M. STRAUSS, A. KLUTSÉ et J. TARRADELLAS, "Quantification des boues de vidange. Exemple de la ville de Ouahigouya, Burkina Faso", *ResearchGate*, (2004). Consulté le 14 Juin 2019 : Disponible sur: <https://www.researchgate.net/publication/242167553>
- [3] - A. MONTANGERO AND M. STRAUSS, "Faecal Sludge Treatment", *SANDEC*, (2002). Consulté le 4 Mars 2019. Disponible sur: [http://www.sandec.ch/FaecalSludge/Documents/IHE\\_lecture\\_notes\\_02\\_small.pdf](http://www.sandec.ch/FaecalSludge/Documents/IHE_lecture_notes_02_small.pdf)
- [4] - A. TRAORE, G. SORO, K. E. KOUADIO, S. B. BAMBA, M-S. OGA, N SORO et J. BIEMI, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6(6) (2012) 7048-7058 doi : 10.4314/ijbcs.v6i6.40
- [5] - S. K. KONAN, B. K. KOUAKOU, M-J. OHOU, F. K. KONAN, K. B. DONGUI, *J. Appl. Biosci.*, 120 (2017) 12042-12052 doi : 10.4314/jab.v120i1.7
- [6] - P. A. G. M. SCHEREN, C. KROEZE, F. J. J. JANSSEN, L. HORDIJK and K. J. PTASINSKI, *Journal of Marine Systems*, 44 (2004) 17 p.
- [7] - M. L. BELGHITI, A. CHAHLAOUI, D. BENGOUIMI, R. EL MOUSTAINE, *Larhyss journal*, 14 (2013) 21 - 36
- [8] - K. A. N'GUESSAN, K. F. KONAN, K. Y. BONY, O. E. EDIA, GNAGNE T, S. TRAORE and P. V. HOUENOU, *Procedia Environmental Sciences*, 9 (2) (2011) 140 - 147
- [9] - A. L. EL OUALI, O. EL HILALI, M. BENLAMIH, M. MOMERZOUKI, N. RAISS, K. S. IBENSOUDA et H. OUMNIA, *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 32 (2010) 119 - 127
- [10] - K. S. OUFFOUÉ, M. SALLA, D. Y. KICHO, D. SORO, K. P. DA AND Z. F. TONZIBO, *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 1 (2) (2013) 9-15 doi :10.12691/jephh-1-2-1
- [11] - M. S. A. MATIAS, "Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique", Thèse de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier (2008) 489 p.
- [12] - N. L. B. KOUASSI, "Contribution à l'étude de la distribution, de la mobilité et de la toxicité potentielle des métaux cuivre, zinc et cadmium dans les sédiments d'un estuaire tropical (lagune Ébrié, Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat, UFR-SSMT, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan (2014) 157 p.
- [13] - A. TRAORE, K. E. AHOUSI, N. AKA, A. TRAORE ET N. SORO, *Int. J. Pure App. Biosci.*, 3 (4) (2015) 312 - 322
- [14] - S. DIALLO, D NOUFÉ, B. Z. A. TRA, A. DAO, B. KAMAGATÉ, K. R. EFFEBI, D. L. GONÉ, E. S. EHOUMAN, J. T. KOFFI, J. E. PATUREL, J-L. PERRIN ET L. SEGUIS, *European Scientific Journal*, 14(36) (2018) 1857 - 7431 doi : 0.19044/esj.2018.v14n36p312

- [15] - H. L. ZINSOU, A. H. ATINGLI, P. GNOHOSSOU, D. ADANDEDJAN, P. LALEYE, *J. Appl. Biosci.*, 97(2016) 9163 - 9173 doi : 10.4314/jab.v97i1.3
- [16] - C. DELOR, I. DIABY, B. YAO, "Notice Explicative de la Carte Géologique à 1/200 000 (1ère édition). Feuille de Grand Bassam" (1992)
- [17] - J. BIEMI, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et des isotopies des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", Thèse de Doctorat d'état, Université Nationale de Côte d'Ivoire, (1992) 479 p
- [18] - A. E. KOUASSI, "Evaluation de la qualité des eaux (Souterraines et de surface) et des plantes p l'environnement de la décharge non contrôlée d'Akouedo (Abidjan-Côte d'Ivoire)", Thèse unique Un Boigny, (2016) 228 p
- [19] - A. M. KOUASSI, Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse unique Université Félix Houphouët Boigny, (2007) 234 p.
- [20] - K. E. AHOUSSE, Y. M. S. OGA, Y. B. KOFFI, A. M. KOUASSI, N. SORO et J. BIEMI, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(5) (2011) 2114 - 2132
- [21] - M. MAKHOUKH, M. SBAA, A. BERRAHOU et V.N. CLOOSTER, *Larhyss Journal*, 09 (2011) 149 - 169
- [22] - T. D. IDRISOU, S. DOUMA, A. H. ISSA, M. K. ASSOUMANE, A. MAHAMANE et M. SAADOU, *Afrique science*, 15(6) (2019) 198 - 205, <http://www.afriquescience.net>
- [23] - S. EBLIN, A. P. SOMBO, G. SORO, N. AKA, O. KAMBIRÉO, N. SORO, *Journal of Applied Biosciences*, 75 (2014) 6259 - 6271, doi: 10.4314/jab.v75i1.10
- [24] - K. E. AHOUSSE, "Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville", Thèse de doctorat, Université de Cocody Abidjan (Côte d'Ivoire), (2008) 270 p.
- [25] - H. HADDAD et H. GHOUALEM, *Larhyss Journal*, 18 (2014) 155 - 167
- [26] - A. E. L. EBA, " Approche géomatique pour la délimitation des périmètres de protection autour des ressources en eau de surface destinées à la consommation : cas de la retenue d'eau de Gagnoa (centre-ouest de la Côte d'Ivoire)", (2013), 180 p.
- [27] - F. KANOHIN, O. B. YAPO, B. DIBI et C. A. BONNY, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11(5) (2017) 2495 - 2509
- [28] - K. E. AHOUSSE, Y. B. KOFFI, S. LOKO, A. M. KOUASSI, G. SORO, J. BIEM, *Geo-Eco-Trop.*, 36 (2012) 159 - 174
- [29] - S. A. TAPSOBA, " Contribution à l'étude Géologique et Hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire): Hydrochimie, Isotopie et Indice de vieillissement des eaux souterraines" Thèse de 3e cycle de l'Université nationale de Côte d'Ivoire, (1995) 200 p.
- [30] - L. MATINI, J. M. MOUTOU et M. S. KONGO-MANTONO, *Afrique Science*, 05 (1) (2009) 82 - 98 <http://www.afriquescience.net>
- [31] - K. M. YAO, B. S. METONGO, A. TROKOUREY et Y. BOKRA, *International Journal of Biological and Chimical Sciences*, 3(4) (2009) 755 - 770
- [32] - G. SORO, S. B. METONGO, N. SORO, K. E. AHOUSSE, K. F. KOUAMÉ, S. G. P. ZADÉ et T. SORO, *International Journal of Biological and Chimical Sciences*, 3(6) (2009) 1408 - 1427
- [33] - S. K. M. YEO, "Dynamique spatiale et temporelle des caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments, et statut trophique du système lagunaire périurbain Adjinn-Potou (Côte-d'Ivoire)", Thèse de Doctorat Nangui Abrogoua (Côte-d'Ivoire) (2015) 171 p.
- [34] - K. KOMOE, "Diversité du phytoplancton du complexe lagunaire de Grand-Lahou, en Côte d'Ivoire", Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, (2010) 306 p.