



Section : Water and Environment Sciences  
Publication type : Full paper

## Study of physical and chemical quality of waters of an anthropised tropical lagoon : Case of the Aghien lagoon (South-East of Côte d'Ivoire)

### Etude de la qualité physique et chimique des eaux d'une lagune tropicale anthropisée : Cas de la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)

Received 13 Apr. 2017  
Accepted 15 June 2017  
On line 30 June 2017

A. TRAORE<sup>1</sup>, G. SORO<sup>1</sup>, K. N. KEUMEAN<sup>1</sup>, N. AKA<sup>2</sup>, K. E. AHOUSI<sup>1</sup>, N. SORO<sup>1</sup> & J. BIEMI<sup>1</sup>

(1) Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement  
UFR des Sciences de la terre et des ressources Minières  
Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody  
Abidjan, Côte d'Ivoire

E-mail : bouareta@yahoo.fr ou aboutraoreat@gmail.com, marc\_soro@yahoo.fr

(2) Centre de Recherches Océanologiques (CRO)  
Abidjan, Côte D'Ivoire  
Email : akanatch@yahoo.fr

#### KEY WORDS

Drinking water,  
Hydrochemical  
classification, Weathering,  
Fertilizer, Residence time.

**Abstract** The problem of drinking water supply in Abidjan Autonomous District is acute. The objective of this study is to assess the quality of Aghien Lagoon waters with a view to their use to make up drinking water deficit. To do this, French Association of Standardization methods were used for determination of various parameters of 48 samples of lagoon waters. Piper diagram was used for waters hydrochemical classification, as well as Principal Component Analysis (PCA) for determining the processes responsible for their mineralization. The mean values of the physical and chemical parameters (pH,  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , CE, TDS,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Cd, Pb, Zn and Cu) comply with the French values required for surface fresh waters intended for drinking water production.

On the other hand, mean concentrations of  $\text{NH}_4^+$  (36.88 mg / L) and Fe (1834.48  $\mu\text{g}$  / L) and turbidity (14.98 NTU) are higher than these regulatory limits. Aghien lagoon waters consist of 54.55% of chlorinated water and 45.45% of bicarbonate water. The chemistry of these waters is controlled by rainfall, the weathering from rocks of the watershed, decomposition of organic matter, fertilizers from agricultural activities, and the weathering of silicate minerals from the underlying sediments. The latter seems to play a minor role in hydrochemistry, due to the relatively short residence time.

On the whole, Aghien Lagoon waters could be used for the production of drinking water.



## MOTS CLES

Eau potable, Classification hydrochimique, Altération, Engrais, Temps de séjour.

**Résumé** Le problème d'approvisionnement en eau potable du District autonome d'Abidjan se pose avec acuité. La présente étude a pour objectif d'évaluer la qualité des eaux de la lagune Aghien en vue de leur utilisation pour pallier le déficit en eau potable. Pour ce faire, les méthodes de l'Association Française de Normalisation ont été utilisées pour le dosage des différents paramètres de 48 échantillons d'eau lagunaire. Le diagramme de Piper a été utilisé pour la classification hydrochimique des eaux, ainsi que l'Analyse en composantes principales (ACP) pour la détermination des processus à l'origine de leur minéralisation. Les valeurs moyennes des paramètres physiques et chimiques (pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , CE, TDS,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Cd, Pb, Zn et Cu) sont conformes aux valeurs françaises requises pour les eaux douces superficielles destinées à la production d'eau potable. Par contre, les concentrations moyennes en  $\text{NH}_4^+$  (36,88 mg/L) et Fe (1834,48 µg/L) et la turbidité (14,98 NTU) sont supérieures à ces limites réglementaires. Les eaux lagunaires d'Aghien sont constituées de 54,55% d'eaux chlorurées et de 45,45% d'eaux bicarbonatées.

La chimie de ces eaux est contrôlée par les précipitations, les eaux de lessivage des roches du bassin versant, la décomposition de la matière organique, les engrais issus des activités agricoles, ainsi que l'altération des minéraux silicatés à partir des sédiments sous-jacents. Cette dernière semble jouer un rôle mineur dans l'hydrochimie, du fait du temps de séjour relativement court.

Dans l'ensemble, les eaux de la lagune Aghien pourraient servir pour la production d'eau potable.

## 1. Introduction

L'alimentation en eau potable des populations du District autonome d'Abidjan est tributaire des eaux souterraines du Continental Terminal. Ces dernières années, la capitale économique est confrontée à d'énormes problèmes d'approvisionnement en eau potable du fait d'une démographie galopante, de l'urbanisation accélérée et mal contrôlée et du déficit pluviométrique. En outre, la qualité des eaux du Continental Terminal est sans cesse menacée par diverses sources de pollution.

Plusieurs travaux ont mis en évidence la pollution de ces eaux par les nitrates [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8] et par les éléments en traces métalliques [4], [9], [7]. L'Etat ivoirien envisage donc de recourir aux eaux de surface, notamment aux eaux lagunaires d'Aghien pour pallier le déficit en eau potable de la ville d'Abidjan et ses environs. Seulement, cette lagune est située dans une zone essentiellement agricole où la forêt dense est détruite et remplacée progressivement par de grandes plantations de palmier à huile, d'hévéa, de bananiers, de manioc et par des fermes d'élevage.

Les eaux de lessivage de ces terres agricoles apportent au plan d'eau lagunaire des substances azotées et phosphorées [10] et des résidus de produits phytosanitaires [11]. En plus, plusieurs villages sont situés sur les rives de la lagune et les populations qui y vivent utilisent ces eaux comme réceptacle de déchets domestiques (eaux usées, ordures ménagères, fèces, etc.).

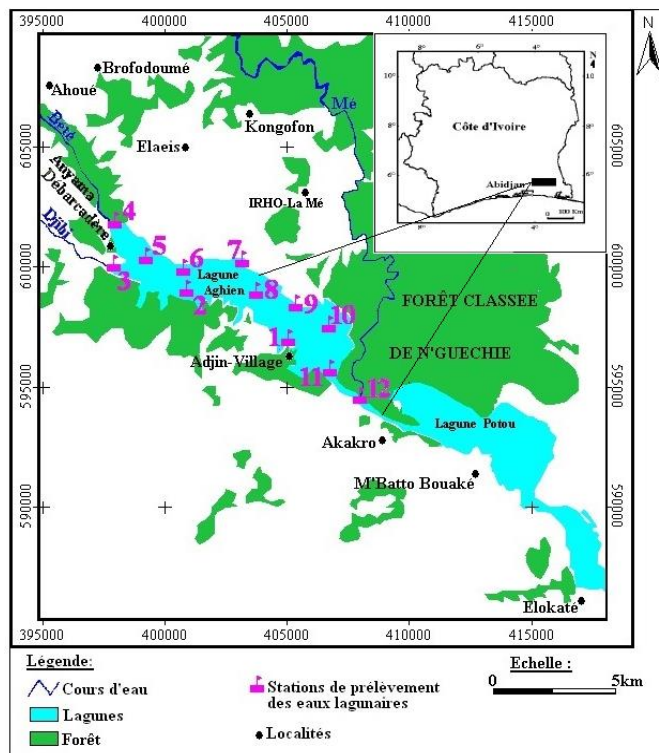
Les eaux d'Aghien sont également utilisées par les populations pour la pêche, la production piscicole et pour les activités ménagères, notamment la vaisselle et la lessive et comme eau de baignade. Toutes ces pressions peuvent avoir des impacts négatifs sur la qualité de la ressource en eau que constituent ces eaux lagunaires. Dans l'optique de leur utilisation comme eau brute destinée à la production d'eau potable, elles devront satisfaire aux normes requises à cet effet.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité des eaux de la lagune Aghien sur la base des procédés analytiques et statistiques en vue de leur utilisation pour la production d'eau potable.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Présentation de la zone d'étude

La lagune Aghien est située entre 5°21' et 5°28' de latitude Nord et 3°49' et 3°58' de longitude Ouest (Cf. Fig.1). Le climat de la zone d'étude est de type équatorial caractérisé par deux saisons de pluie alternées par deux saisons sèches.



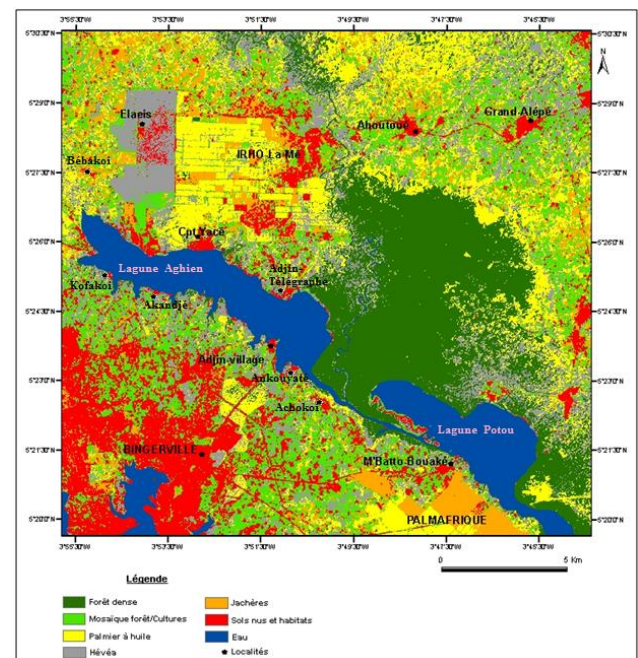
**Fig.1 : Localisation de la zone d'étude**

Source : Travail personnel

La forêt dense qui couvre la zone est fortement dégradée à cause des activités anthropiques en l'occurrence, l'expansion des cultures de rente (Palmier à huile, hévéas) et la croissance de l'habitat humain (Cf. Fig.2).

Le réseau hydrographique est composé des cours d'eau Bété, Djibi et Mé. La Bété et la Djibi débouchent directement dans la lagune Aghien et la Mé débouche dans le canal naturel entre les lagunes Aghien et Potou.

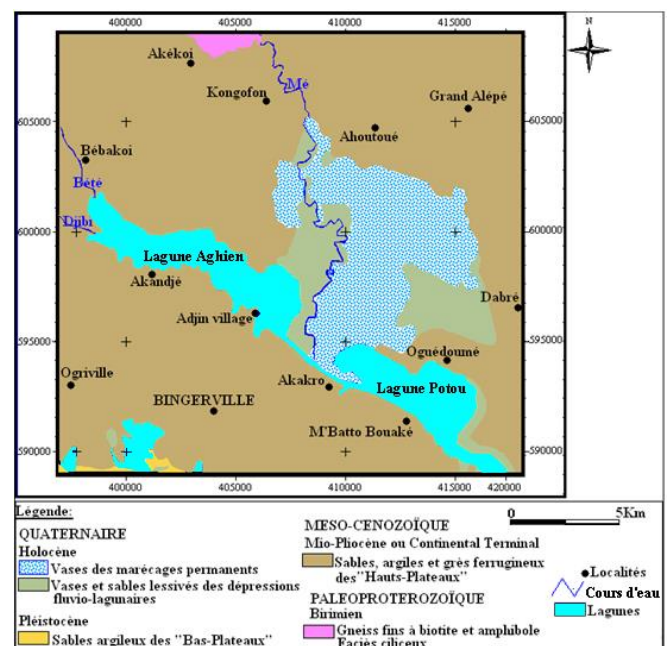
Les sols de la zone sont des sols hydromorphes organiques notamment, les sols tourbeux ou sols humiques à gley indifférenciés et les sols hydromorphes minéraux à gley ou pseudo-gley indifférenciés et sur alluvions à dominance sableuse [12].



**Fig.2 : Carte d'occupation du sol de la zone d'étude**

Source : Travail personnel

La géologie (Cf. Fig.3) est marquée par les formations sédimentaires constituées de roches détritiques du Tertiaire et du Quaternaire. Les sables et les vases quaternaires bordent les eaux lagunaires et la Mé. Les sables, les argiles et les grès ferrugineux du Continental Terminal sont les plus abondants [13].



**Fig.3 : Carte géologique de la zone d'étude**

Source : [13]





## 2.2. Echantillonnage

Une série de deux campagnes effectuées respectivement le 21 mars (saison sèche) et le 7 juin (saison pluvieuse) 2014, a permis de prélever pour les deux campagnes au total 48 échantillons d'eaux lagunaires. Les échantillons ont été prélevés dans 12 stations (Cf. Fig.1) dont 9 sur la lagune Aghien et une à l'embouchure de chaque cours d'eau tributaire (Djibi, Bété et Mé). Quatre (4) échantillons d'eau ont été prélevés à chaque station. Le choix des stations a été fait de manière à obtenir une bonne couverture spatiale et a tenu compte des activités agricoles et domestiques autour des plans d'eau. Les bouteilles de 1 litre en polyéthylène qui devraient contenir les échantillons ont été préalablement nettoyées au laboratoire avec de l'acide nitrique 65% dilué et ont été rincées avec de l'eau bi-distillée. A chaque station, les échantillons d'eau ont été prélevés à la surface de l'eau et à l'interface eau/sédiment à l'aide d'une bouteille Niskin. Ils ont été ensuite transvasés dans les bouteilles en polyéthylène rincées au préalable 3 fois avec l'eau à prélever. Toutes les bouteilles ont été remplies à refus et fermées hermétiquement puis conservées dans une glacière et transportées au laboratoire. Les analyses ont été réalisées au Laboratoire Central pour l'Hygiène Alimentaire et l'Agro-industrie (LCHAI) du Laboratoire Nationale d'Appui au Développement Agricole (LANADA) d'Abidjan.

## 2.3. Méthodes d'analyses

Les mesures in situ de température, salinité, conductivité électrique (CE), pH, solides dissous totaux (TDS), potentiel d'oxydoréduction (ORP) et oxygène dissous (OD) ont été effectuées à l'aide d'un appareil multi-paramètres de type HANNA HI 9828 avec les précisions suivantes:  $T^{\circ} \pm 0,15^{\circ}\text{C}$ ; salinité  $\pm 2\%$ ; CE  $\pm 1\%$ ; pH  $\pm 0,02$  pH; TDS  $\pm 1\%$ ; ORP  $\pm 1$  mV et OD  $\pm 1,5\%$ .

Au laboratoire, les analyses ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre de type UV-1700 PHARMASPEC, d'un spectromètre de type Varian SpectraAA 110 et d'un appareil distillateur de type KJELDAHL PRO-NITRO M. Les différents paramètres ont été analysés selon les normes [14], [15], [16]. Les paramètres  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Fe, Cd, Cu, Zn et Pb ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique dans la flamme (SAAF) selon la norme NF T90-112 [14], les ions  $\text{Cl}^-$  et l'alcalinité ont été dosés par la méthode volumétrique [16] et les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  ont été dosés par la méthode néphélométrique selon la norme NF T90-040 [14]. Les dosages des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), ammoniums ( $\text{NH}_4^+$ ) et ortho-phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ont été réalisés respectivement par la méthode spectrométrique d'absorption moléculaire selon la norme

NF T90-045 [14], la méthode spectrométrique d'absorption moléculaire selon la norme NF T90-013 [14], la méthode par acidimétrie après distillation selon la norme NF T90-015 [14] et la méthode spectrométrique selon la norme NF T90-023 [14]. Quant à la DBO<sub>5</sub>, elle a été mesurée par la méthode de l'indice permanganate selon la norme NF EN ISO 8467 [16].

## 2.4. Méthodes de traitement des données

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus ont été traités à partir des méthodes hydrochimiques et des méthodes d'analyse statistique. Les eaux lagunaires d'Aghien étant considérées comme des eaux brutes, l'estimation de leur qualité physico-chimique a consisté à comparer les concentrations obtenues pour chaque paramètre analysé aux valeurs de références notamment aux valeurs guides et aux valeurs limites impératives du Journal Officiel de la République Française [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. La classification hydrochimique des eaux a été effectuée grâce au diagramme de Piper qui a été réalisé à l'aide du logiciel Diagramme 4.0.

Pour déterminer l'origine de la minéralisation des eaux et pour mieux évaluer l'effet de l'environnement qui entoure la lagune sur la qualité de ses eaux, il a été utilisé une méthode statistique dite Analyse en Composante Principale (ACP) sur des variables centrées-réduites. L'ACP est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive utilisable comme outil d'aide à l'interprétation d'une matrice de données [18]. Elle permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leurs relations propres [19].

C'est une méthodologie largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques [20], [9], [8]. Cette analyse en composante principale a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA version 6.0. Les variables prises en compte dans le cadre de cette étude sont au nombre de 20 : pH,  $T^{\circ}\text{C}$ , potentiel d'oxydoréduction (ORP), CE, salinité (Sal), turbidité (Turb), OD, DBO<sub>5</sub>,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , TDS,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ .

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Paramètres physiques

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux d'Aghien sont consignés dans le tableau 1. L'analyse des résultats montre que les eaux de la lagune Aghien ont des températures qui varient de  $28,9^{\circ}\text{C}$  à  $30,2^{\circ}\text{C}$ , avec une moyenne de  $29,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  supérieure à la valeur limite



impérative de 25°C [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Aux embouchures des cours d'eau tributaires Djibi (station 3) et Bété (station 4), la température moyenne est de 29,3°C et à l'embouchure de la Mé (station 12), elle est de 28,9°C. Ces valeurs moyennes sont également supérieures à la valeur limite impérative. Les eaux de la lagune sont légèrement troubles. La turbidité y varie de 11,02 NTU à 23,48 NTU, avec une moyenne de  $14,98 \pm 1,21$  NTU. Aux exutoires de la Djibi, la Bété et la Mé, les turbidités moyennes sont respectivement de 11,24 NTU, 20,37 NTU et 25,68 NTU. Les eaux sont faiblement minéralisées, avec des conductivités électriques (CE) qui varient de 102,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 164,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La valeur moyenne de  $124,38 \pm 10,30$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  est conforme à la valeur guide de 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [17] requise pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Aux exutoires des cours d'eau Djibi, Bété et Mé, les valeurs moyennes de la CE sont de 135,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 116  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 91,25  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivement. Les eaux lagunaires d'Aghien ont une très faible salinité. Elles sont limniques (salinité comprise entre 0 et 0,05). La plus faible salinité est 0,025, la plus forte est 0,040 et la salinité moyenne des eaux est estimée à  $0,031 \pm 0,001$ . Aux exutoires des tributaires, la salinité moyenne est de 0,03 pour la Djibi et la Bété et de 0,04 pour la Mé.

## **3.2. Paramètres chimiques**

### **3.2.1. Composés azotés et phosphorés**

Les concentrations en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) varient de 2,09 mg/L à 16,40 mg/L, avec une moyenne de  $5,73 \pm 1,27$  mg/L. Cette concentration moyenne est inférieure à la valeur limite impérative de 50 mg/L [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Les tributaires Djibi, Bété et Mé présentent à leurs exutoires des concentrations moyennes respectives de 4,62 mg/L, 3,47 mg/L et 2,78 mg/L. Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont présents dans les eaux lagunaires à des concentrations faibles. Ces concentrations varient de 0,01 mg/L à 0,03 mg/L, avec une moyenne de  $0,02 \pm 0,002$  mg/L. Aux exutoires des tributaires Djibi, Bété et Mé, la concentration moyenne en  $\text{NO}_2^-$  est de 0,02 mg/L pour tous ces cours d'eau. Les concentrations en  $\text{NH}_4^+$  sont très élevées. Elles varient de 18,72 mg/L à 58,50 mg/L, avec une moyenne de  $36,88 \pm 3,86$  mg/L en lagune Aghien. Aux embouchures des cours d'eau tributaires Djibi, Bété et Mé, les concentrations moyennes en  $\text{NH}_4^+$  sont de 40,68 mg/L, 58,50 mg/L et de 17,64 mg/L respectivement. Les eaux d'Aghien présentent une concentration moyenne en ammonium largement supérieure à la valeur limite impérative de 4 mg/L [17]

pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Dans les eaux de la lagune Aghien, les concentrations en ortho-phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) varient de 0,16 mg/L à 0,59 mg/L, avec une moyenne de  $0,34 \pm 0,03$  mg/L. Cette concentration moyenne en ortho-phosphates est conforme à la valeur guide de 0,5 mg/L pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Aux exutoires des cours d'eau Djibi, Bété et Mé, les concentrations moyennes sont respectivement de 0,39 mg/L, 0,19 mg/L et 0,28 mg/L.

### **3.2.2. Ions majeurs**

Les concentrations en calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) varient de 21,18 mg/L à 97,73 mg/L dans les eaux de la lagune Aghien, avec une moyenne de  $59,82 \pm 8,95$  mg/L.

Aux embouchures des cours d'eau Djibi, Bété et Mé, les concentrations moyennes en  $\text{Ca}^{2+}$  sont de 82,98 mg/L, 23,99 mg/L et 20,39 mg/L respectivement. Les eaux d'Aghien présentent des concentrations en magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) qui varient de 3,30 mg/L à 5,14 mg/L, avec une moyenne de  $4,17 \pm 0,19$  mg/L.

Aux embouchures de la Djibi et de la Bété, les concentrations moyennes en  $\text{Mg}^{2+}$  sont respectivement de 4,02 mg/L et 4,09 mg/L. Elles sont de 4,62 mg/L à l'embouchure de la Mé. Les concentrations en sodium ( $\text{Na}^+$ ) varient de 8,79 mg/L à 25,64 mg/L, avec une moyenne de  $16,43 \pm 1,82$  mg/L.

Aux exutoires de la Djibi et de la Bété, les concentrations moyennes en  $\text{Na}^+$  sont respectivement de 18,59 mg/L et de 18,95 mg/L. A l'embouchure de la Mé, la concentration en  $\text{Na}^+$  est plus importante, avec une moyenne de 27,86 mg/L. Les concentrations en potassium ( $\text{K}^+$ ) dans les eaux lagunaires d'Aghien varient de 7,58 mg/L à 33,28 mg/L. La concentration moyenne est de  $14,39 \pm 2,12$  mg/L. Aux exutoires des cours d'eau tributaires Djibi, Bété et Mé, les concentrations moyennes respectives en  $\text{K}^+$  sont 12,22 mg/L, 11,78 mg/L et 12,94 mg/L.

Dans les eaux de la lagune Aghien, les concentrations en bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) varient de 69,87 mg/L à 241,60 mg/L, avec une moyenne de  $158,84 \pm 18,38$  mg/L. Aux exutoires des cours d'eau tributaires Djibi, Bété et Mé, ces concentrations sont de 220,92 mg/L, 105,67 mg/L et 119,71 mg/L respectivement.

Les concentrations en chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) ont une valeur minimale de 34,49 mg/L, une maximale de 73,50 mg/L et une moyenne de  $51,47 \pm 3,97$  mg/L. Cette concentration moyenne est conforme à la valeur guide de 200 mg/L [17].



Aux embouchures des cours d'eau Djibi, Bété et Mé, ces concentrations ont les valeurs respectives de 55,09 mg/L, 34,49 mg/L et 31,81 mg/L.

Les concentrations en sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) varient de 3,74 mg/L à 9,14 mg/L, avec une moyenne de  $5,55 \pm 0,61$  mg/L. La concentration moyenne en  $\text{SO}_4^{2-}$  est conforme à la valeur limite impérative de 250 mg/L [17] requise pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Aux exutoires des tributaires, les concentrations moyennes sont de 7,25 mg/L pour la Djibi, 3,83 mg/L pour la Bété et 7,12 mg/L pour la Mé.

### 3.2.3. Autres paramètres chimiques

Dans les eaux d'Aghien, le pH varie de 6,2 à 7,6, avec une valeur moyenne de  $7 \pm 0,1$ . Ces valeurs indiquent que les eaux sont légèrement acides et tendent vers la neutralité. Le pH moyen est conforme à la valeur guide de 5,5-9 [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Aux embouchures des cours d'eau Djibi, Bété et Mé, les valeurs moyennes du pH sont respectivement de 7,3, 7,2 et 6,5.

Le potentiel d'oxydo-réduction des eaux lagunaires est négatif relevant ainsi qu'elles sont réductrices. La plus faible valeur est de -65,98 mV et la plus élevée est de -12,53 mV. La valeur moyenne est estimée à  $-30,85 \pm 4,40$  mV. Aux exutoires des tributaires Djibi, Bété et Mé, les valeurs moyennes du potentiel d'oxydo-réduction sont de -27,48 mV, -22,53 mV et -26,08 mV respectivement.

La lagune Aghien est sous-saturé en oxygène, avec un pourcentage de saturation moyen de  $66,12 \pm 2,46\%$  ( $4,99 \pm 0,18$  mg/L) inférieur à 100%. La concentration moyenne en oxygène dissous (OD) est inférieure à la valeur guide de 5 mg/L (70%) [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. La concentration en OD varie de 3,80 mg/L (50,01%) à 5,84 mg/L (77,07%). Aux exutoires des tributaires, les concentrations moyennes sont de 5,84 mg/L (77,07%), 5,25 mg/L (69,43%) et de 3,88 mg/L (50,59%) respectivement pour la Djibi, la Bété et la Mé.

La demande biochimique en oxygène ( $\text{DBO}_5$ ) varie de 0,93  $\text{mgO}_2/\text{L}$  à 2,67  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , avec une moyenne de  $1,66 \pm 0,16$   $\text{mgO}_2/\text{L}$  conforme à la valeur guide de 3  $\text{mgO}_2/\text{L}$  [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Aux embouchures de la Djibi, de la Bété et de la Mé, la  $\text{DBO}_5$  présente les concentrations moyennes respectives de 2,67  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , 1,59  $\text{mgO}_2/\text{L}$  et 1,13  $\text{mgO}_2/\text{L}$ .

Les solides totaux dissous (TDS), dans la lagune Aghien, varient de 75,50 mg/L à 89,75 mg/L, avec une moyenne de  $81,18 \pm 1,44$  mg/L. Aux embouchures de la Djibi, de la Bété et de la Mé, les valeurs moyennes de TDS sont respectivement de 78,25 mg/L, 85 mg/L et 59,25 mg/L.

### 3.2.4. Éléments en traces métalliques

Dans les eaux de la lagune Aghien, la concentration en cadmium (Cd) varie de 0,04  $\mu\text{g/L}$  à 0,38  $\mu\text{g/L}$ , avec une moyenne de  $0,22 \pm 0,04$   $\mu\text{g/L}$  inférieure à la valeur limite impérative de 5  $\mu\text{g/L}$  [17]. Les tributaires présentent à leurs embouchures des concentrations moyennes de 0,38  $\mu\text{g/L}$  pour la Djibi, 0,26  $\mu\text{g/L}$  pour la Bété et 0,27  $\mu\text{g/L}$  pour la Mé.

La plus faible concentration en plomb (Pb) est 4,46  $\mu\text{g/L}$ , la plus élevée est 19  $\mu\text{g/L}$  et la moyenne est estimée à  $11,85 \pm 1,60$   $\mu\text{g/L}$ . Cette moyenne est inférieure à la valeur limite impérative de 50  $\mu\text{g/L}$  [17]. Dans les cours d'eau tributaires, la concentration moyenne en Pb est de 8,59  $\mu\text{g/L}$  à l'exutoire de la Djibi, 18,61  $\mu\text{g/L}$  à celui de la Bété et 9,32  $\mu\text{g/L}$  à l'embouchure de la Mé.

Les eaux lagunaires ont des concentrations en zinc (Zn) qui varient de 0,22  $\mu\text{g/L}$  à 0,49  $\mu\text{g/L}$ , avec une moyenne de  $0,33 \pm 0,03$   $\mu\text{g/L}$  largement inférieure à la valeur limite impérative de 5000  $\mu\text{g/L}$  [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Aux embouchures des cours d'eau Djibi, Bété et Mé, les concentrations moyennes en Zn sont respectivement de 0,22  $\mu\text{g/L}$ , 0,40  $\mu\text{g/L}$  et 0,22  $\mu\text{g/L}$ .

Les concentrations en fer sont très élevées dans les eaux de la lagune Aghien dépassant ainsi la valeur limite impérative de 300  $\mu\text{g/L}$  recommandée pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. La concentration moyenne est de  $1834,48 \pm 207,31$   $\mu\text{g/L}$ . La concentration maximale est de 3426,25  $\mu\text{g/L}$  et le minimal est de 958,50  $\mu\text{g/L}$ . Aux exutoires de la Djibi, de la Bété et de la Mé, le fer présente les concentrations moyennes respectives de 3426,25  $\mu\text{g/L}$ , 1931,5  $\mu\text{g/L}$  et 2116,75  $\mu\text{g/L}$ . Les concentrations en Cu varient de 0,98  $\mu\text{g/L}$  à 13,57  $\mu\text{g/L}$ , avec une moyenne de  $3,81 \pm 1,12$   $\mu\text{g/L}$  inférieure à la valeur guide de 50  $\mu\text{g/L}$  [17]. Les concentrations moyennes aux exutoires des cours d'eau Djibi, Bété et Mé sont respectivement de 1,55  $\mu\text{g/L}$ , 7,30  $\mu\text{g/L}$  et 0,80  $\mu\text{g/L}$ .

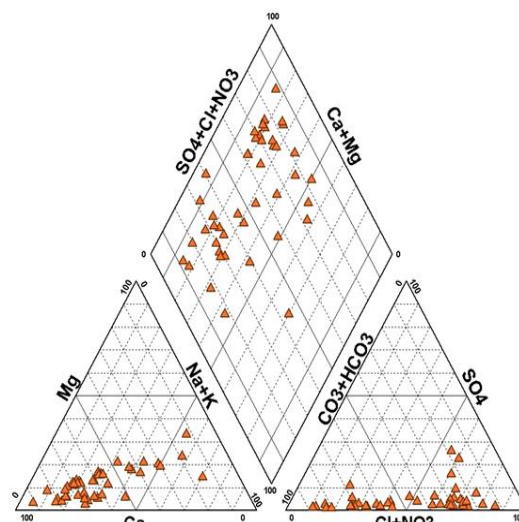
**Tab. 1 : Statistiques élémentaires des paramètres physiques et chimiques des eaux lagunaires d'Aghien**

Paramètres	Min	Max	Moy. ± e.s	Ecart-type	[17]
T°C	28,9	30,2	29,5 ± 0,1	0,4	≤ 25
Turbidité (NTU)	11,02	23,48	14,98 ± 1,21	4,02	
CE (µS/cm)	102,7	164,7	127,02 ± 5,07	16,82	< 1100
Salinité	0,025	0,04	0,031 ± 0,001	0,004	
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	21,18	97,73	59,82 ± 8,95	29,68	
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	3,3	5,14	4,17 ± 0,62	0,62	
Na <sup>+</sup> (mg/L)	8,79	25,64	16,43 ± 6,03	6,03	≤ 200
K <sup>+</sup> (mg/L)	7,58	33,28	14,39 ± 7,03	7,03	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	69,87	241,6	158,84 ± 60,97	60,97	
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	34,49	73,5	51,47 ± 13,17	13,17	≤ 200
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	3,74	9,14	5,55 ± 2,03	2,03	≤ 250
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	2,09	16,4	5,73 ± 1,27	4,23	≤ 50
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,01	0,03	0,02 ± 0,002	0,01	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	18,72	58,5	36,88 ± 3,86	12,79	≤ 4
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0,16	0,59	0,34 ± 0,03	0,11	≤ 0,5
pH	6,2	7,6	7 ± 0,1	0,38	5,5-9
ORP (mV)	65,98	12,53	-30,85 ± 4,4	14,59	
OD (mg/L)	3,8	5,84	4,99 ± 0,18	0,6	> 5
%S	50,01	77,07	66,12 ± 2,46	8,14	> 70
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	0,93	2,67	1,66 ± 0,16	0,53	< 3
TDS (mg/L)	75,5	89,75	81,18 ± 1,44	4,79	
Cd (µg/L)	0,04	0,38	0,22 ± 0,04	0,12	≤ 5
Pb (µg/L)	4,46	19	11,85 ± 1,6	5,31	≤ 50
Zn (µg/L)	0,22	0,49	0,33 ± 0,03	0,08	≤ 5000
Fe (µg/L)	958,5	3426,25	1834,4 ± 207,31	687,5	≤ 300
Cu (µg/L)	0,98	13,57	3,81 ± 1,12	3,73	≤ 50

e.s = erreur standard Cv = coefficient de variation, Min = Minimum, Max = Maximum, Moy. = Moyenne  
Source : Travail personnel

### 3.2.5. Classification hydrochimique des eaux

La classification des résultats d'analyses chimiques obtenus à partir du diagramme triangulaire de Piper permet d'identifier deux grandes familles d'eau (Cf. Fig.4) que sont les eaux chlorurées et les eaux bicarbonatées. Ces familles présentent une hétérogénéité dans leur composition cationique qui permet de les distinguer en quatre grands faciès. Il y a les eaux chlorurées calciques qui sont les plus importantes, avec 47,73% des eaux étudiées. Ensuite, les eaux bicarbonatées calciques (43,18%), les eaux chlorurées sodi-potassiques (6,82%), et enfin les eaux bicarbonatées sodi-potassiques (2,27%).



**Fig.4 : Classification hydrochimique des eaux d'Aghien à partir du diagramme de Piper**

Source : Travail personnel

### 3.2.6. Analyse en composantes principales (ACP)

L'étude statistique à partir de l'ACP donne les résultats reportés dans les tableaux 2 et 3. Le Tableau 2 présente les valeurs propres, les variances exprimées pour les trois premiers facteurs (F1, F2 et F3) et leurs cumuls.

**Tab.2 : Valeurs propres et pourcentages de variance exprimée**

Facteurs	Valeurs propres	% Variance exprimée	% Variance exprimée cumulée
1	8,71	43,53	43,53
2	2,83	14,14	57,68
3	1,79	8,97	66,65

Source : Travail personnel



Ces trois facteurs dont la somme des variances exprimées est de 66,65% renferment le maximum d'informations devant permettre l'interprétation des résultats. La représentation à l'aide de ces facteurs rend compte de la structure des nuages de points de manière significative.

Les vecteurs propres permettant de définir chacun des trois facteurs par rapport aux variables sont consignés dans le tableau 3.

**Tab.3 : Vecteurs propres ou coordonnées des variables**

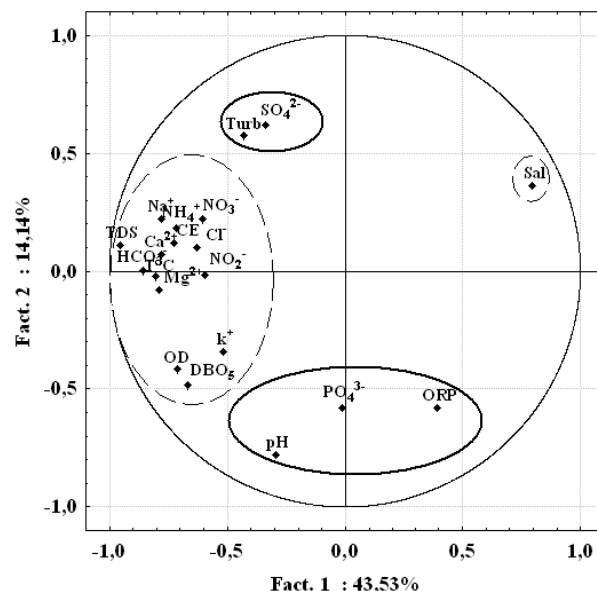
Variables	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3
$K^+$	-0,517	-0,341	-0,385
$Na^+$	<b>-0,782</b>	0,221	0,334
$Ca^{2+}$	<b>-0,781</b>	0,070	0,148
$Mg^{2+}$	<b>-0,792</b>	-0,082	-0,147
$Cl^-$	<b>-0,631</b>	0,101	-0,211
$SO_4^{2-}$	-0,338	0,619	-0,312
$NO_3^-$	-0,605	0,215	0,017
$HCO_3^-$	<b>-0,858</b>	-0,003	0,227
$NO_2^-$	-0,595	-0,015	-0,530
$NH_4^+$	<b>-0,715</b>	0,184	0,353
$PO_4^{3-}$	-0,013	-0,578	<b>-0,677</b>
pH	-0,297	<b>-0,781</b>	0,192
$T^\circ C$	<b>-0,806</b>	-0,029	0,053
Sal	<b>0,797</b>	0,362	-0,275
Turb	-0,433	0,572	0,104
ORP	0,391	-0,582	0,509
OD	<b>-0,714</b>	-0,419	-0,052
$DBO_5$	<b>-0,670</b>	-0,486	-0,005
CE	<b>-0,726</b>	0,121	-0,198
TDS	<b>-0,955</b>	0,108	0,064

Source : Travail personnel

Le facteur 1 (Cf. Fig.5) qui représente 43,53% de la variance totale est déterminé par les variables tels que :  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $T^\circ C$ , TDS,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $K^+$ , Sal, OD, CE,  $DBO_5$  et  $Cl^-$ . Les éléments :  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  proviennent probablement des précipitations, de l'hydrolyse des minéraux à partir des sédiments sous-jacents et des eaux de lessivage des roches du bassin versant.  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$  et  $NO_3^-$  sont issus de la dégradation de la matière organique et CE, TDS, OD,  $T^\circ C$ ,  $DBO_5$  et Sal indiquent les conditions qui règnent dans le milieu lagunaire. Par conséquent, F1 traduit la minéralisation naturelle de l'eau.

Le facteur 2 exprime 14,14% de la variance totale et est défini par pH, ORP, Turb,  $PO_4^{3-}$  et  $SO_4^{2-}$ . Les variables  $PO_4^{3-}$  et  $SO_4^{2-}$  sont des paramètres pouvant provenir des engrais

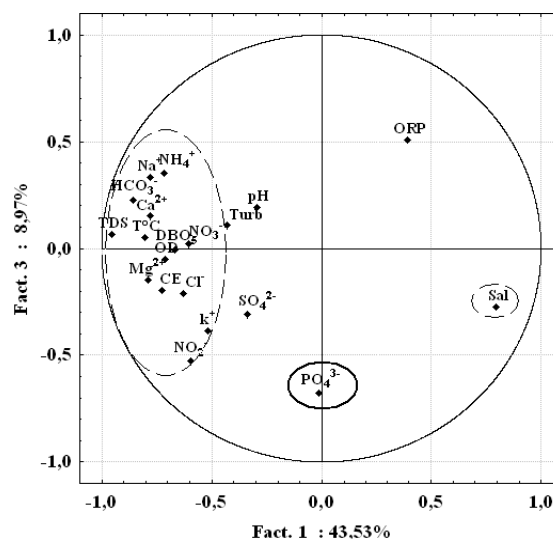
sulfatés et phosphorés. F2 exprime donc le phénomène de la minéralisation anthropique lié aux apports superficiels.



**Fig. 5 : Cercle de communauté du plan factoriel F1-F2**

Source : Travail personnel

Dans le plan factoriel F1-F3, le facteur 1 est toujours déterminé par les éléments ( $Ca^{2+}$ , CE,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ , TDS, OD,  $T^\circ C$ ,  $DBO_5$  et Sal) qui proviennent de la minéralisation naturelle des eaux de la lagune Aghien (Cf. Fig.6). En ce qui concerne F3, il est mis en relief par  $PO_4^{3-}$  qui pourrait provenir des engrais phosphorés. Tout comme F2, F3 qui représente 8,97% de la variance totale exprime le phénomène de la minéralisation anthropique lié aux apports superficiels.



**Fig. 6 : Cercle de communauté du plan factoriel F1-F3**

Source : Travail personnel





### 3.3. Discussion

Les valeurs moyennes de pH (7),  $\text{Ca}^{2+}$  (59,82 mg/L),  $\text{K}^+$  (14,39 mg/L),  $\text{Cl}^-$  (51,47 mg/L),  $\text{Na}^+$  (16,43 mg/L),  $\text{Mg}^{2+}$  (4,17 mg/L),  $\text{PO}_4^{3-}$  (0,34 mg/L),  $\text{SO}_4^{2-}$  (5,55 mg/L), CE (127,02  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), TDS (81,18 mg/L),  $\text{DBO}_5$  (1,66  $\text{mgO}_2/\text{L}$ ),  $\text{NO}_3^-$  (5,73 mg/L),  $\text{NO}_2^-$  (0,02 mg/L), Cd (0,22  $\mu\text{g}/\text{L}$ ), Pb (11,85  $\mu\text{g}/\text{L}$ ), Zn (0,33  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) et Cu (3,81  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) déterminées dans les eaux lagunaires d'Aghien sont conformes aux valeurs requises par JORF [17] pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Par contre, les valeurs moyennes de turbidité (14,98 NTU), de  $\text{NH}_4^+$  (36,88 mg/L) et de Fe (1834,48  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) sont supérieures aux valeurs du JORF [17]. En outre, la lagune Aghien est sous-saturée en oxygène, avec une concentration moyenne en oxygène de 4,99 mg/L (66,12%) inférieures à la valeur guide de 5 mg/L (70%) fixée par JORF [17]. Cette sous-saturation peut s'expliquer par le fait que la décomposition de la matière organique contenue dans les eaux occasionne une importante consommation d'oxygène dissous. En plus, les cours d'eau tributaires Djibi, Bété et Mé sont également sous-saturés en oxygène à leurs exutoires. Leur apport en oxygène dissous dans les eaux lagunaires est donc réduit.

La turbidité relativement élevée de la lagune et de ses tributaires empêche la photosynthèse de compenser les pertes d'oxygène dues à l'oxydation de la matière organique qu'elles charrient. Selon Guiral et Etien [21], la diminution des teneurs en oxygène résulte de la limitation des échanges eau-atmosphère et d'un accroissement très important des activités respiratoires. Les conditions climatiques et hydrodynamiques locales (pression atmosphérique, température, brassage mécanique et renouvellement des eaux) influencent dans une large mesure et de façon journalière l'oxygénation des eaux lagunaires [22]. Rodier et al. [16] indiquent également que la teneur en oxygène de l'eau dépend, à la saturation, de la température de l'eau et de la pression atmosphérique.

Les eaux lagunaires d'Aghien se distinguent en eaux chlorurées (54,55%) et en eaux bicarbonatées (45,45%). La minéralisation de ces eaux est influencée par les précipitations, l'hydrolyse des minéraux à partir des sédiments sous-jacents, les eaux de lessivage des roches du bassin versant, la décomposition de la matière organique et les activités anthropiques. En effet, les eaux lagunaires sont sous l'influence d'une part, des pluies qui tombent directement sur le plan d'eau et d'autre part, des eaux de ruissellement direct sur les berges et des apports d'eaux résultant des crues des cours d'eau Bété, Djibi et Mé.

En accord avec Kouakou et al [23] les conséquences de ces arrivées d'eau sont des apports considérables d'éléments organiques, minéraux et de nutriments au milieu lagunaire. Les eaux des tributaires s'enrichissent en tannins dans leur parcours et donnent temporairement à la lagune une couleur brune. En outre, les travaux de N'Guessan [24] sur l'analyse des sédiments de surface de la lagune Aghien ont montré que les minéraux tels que l'épidote, les amphiboles, la calcite, la tourmaline et la glauconite sont abondants dans les sédiments. Selon cet auteur, on y trouve accessoirement le pyroxène et la biotite. L'hydrolyse de ces minéraux est une source d'ions pour les eaux lagunaires même si son apport semble relativement faible. En effet, selon Drever [25] et Yidana [26], les changements naturels dans la chimie d'une masse d'eau alors qu'elle coule, en dehors des effets du mélange, sont généralement relativement faibles par rapport aux changements qui se produisent dans la zone du sol. Et cela, du fait que le temps de séjour de l'eau dans l'encaissant est relativement court.

De fortes concentrations en Fe ont été observées dans la lagune Aghien. Ces concentrations élevées sont liées au lessivage des sols ferralitiques qui sont prépondérants dans la région. En outre, l'excès de fer est lié à l'altération de la pyrite, la vivianite, la leucoxène, la limonite, l'ilménite, la colombo-tantalite, les grenats et les débris ferreux observés en quantité importante par Tastet et Guiral [27] et N'Guessan [24] dans les sédiments lagunaires d'Aghien.

Les concentrations en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) sont très élevées dans les eaux d'Aghien, avec une moyenne de 36,88 mg/L. La pollution organique a plusieurs origines notamment domestique et agricole et elle est aussi le résultat de la décomposition d'animaux ou de végétaux morts [28], [29].

Dans les environs de la lagune Aghien, il existe de nombreuses plantations de palmier à huile, d'hévéa, de bananiers et de manioc et des fermes d'élevage de bovins et de volailles. Les cultures maraîchères bordent également les eaux lagunaires. Des renseignements recueillis auprès des services du Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) font état de l'utilisation d'engrais notamment, de type NPK, d'urée, de chlorure de potassium (KCl) et de phosphate tricalcique ( $\text{PCa}_3$ ) dans ces surfaces cultivées. Le chlorure de potassium (KCl) est utilisé également dans les fermes d'élevage de bovins pour une croissance optimale de la prairie. Les eaux de lessivage de ces terres agricoles alimentent la lagune en ions.  $\text{NH}_4^+$  provient des engrais azotés utilisés dans les plantations, des déjections des animaux (bovins et volailles) des fermes et de la décomposition de la matière organique.



En effet, une partie des déjections des animaux des fermes d'élevage est utilisée comme fertilisant dans les plantations et le reste est rejeté dans la nature. Les eaux de ruissellement et les vents entraînent ces déjections directement dans la lagune et dans les cours d'eau tributaires. En outre, les bordures lagunaires sont des lieux d'aisance pour les populations riveraines qui y déposent les fèces. Les rares latrines existantes, débouchent également en lagune. Par ailleurs, la lagune Aghien est utilisée par les riverains pour la lessive, la baignade, la vaisselle et comme réceptacle de déchets domestiques. Les eaux lagunaires étant sous-saturées en oxygène, les réactions de biodégradation de la matière organique par les bactéries ammonifiantes entraînent une grande concentration des ions ammoniums dans les eaux. Ces ions constituent les premières formes de la minéralisation de la matière organique. Les nitrites sont réduits en ammonium dans les conditions anaérobies [30]. Les fortes concentrations en  $\text{NH}_4^+$  indiquent une possible pollution bactérienne par les déchets animaux [31].

#### 4. Conclusion

Cette étude a permis de caractériser la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de la lagune Aghien. Les paramètres tels que : pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , CE, TDS,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Cd, Pb, Zn et Cu ont des valeurs moyennes conformes aux valeurs requises pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Par contre, les valeurs moyennes de turbidité,  $\text{NH}_4^+$  et Fe sont supérieures aux limites réglementaires pour la production d'eau de boisson.

L'hydrochimie est contrôlée principalement par les précipitations, la décomposition de la matière organique, les eaux de lessivage des roches du bassin versant et les intrants chimiques agricoles. L'hydrolyse des minéraux silicatés à partir des sédiments lagunaires semble jouer un rôle mineur dans la minéralisation des eaux à cause du faible temps de séjour.

Dans l'ensemble, les eaux de la lagune Aghien pourraient servir pour la production d'eau de consommation si des mesures de protections sont prises.

#### Remerciements

Les auteurs de cet article remercient le Laboratoire Central pour l'Hygiène Alimentaire et l'Agro-industrie (LCHAI) du Laboratoire Nationale d'Appui au Développement Agricole (LANADA) d'Abidjan pour avoir réalisé les différentes analyses.

#### Références bibliographiques

- [1] L. Kouadio, S. Abdoulaye, P. Jourda, M. Loba, A. Rambaud, "Conséquences de la pollution urbaine sur la distribution d'eau d'alimentation publique à Abidjan". Cahiers de l'Association Scientifique Européenne pour l'Eau et la Santé, vol.3, n°1, pp. 61-75, 1998.
- [2] J. P. Jourda, K. J. Kouamé, M. B. Saley, B. H. Kouadio, Y. S. Oga, S. Deh, "Contamination of the Abidjan Aquifer by Sewage : An Assessment of Extent and Strategies for Protection". In: Groundwater pollution in Africa, edited by Y. X. Xu and B. Usher, Great-Britain, pp. 291-300, 2006.
- [3] K. E. Ahoussi, N. Soro, G. Soro, T. Lasm, M. S. Oga, S. P. Zade, "Groundwater Pollution in Africans Biggest Towns: Case of the Town of Abidjan (Côte d'Ivoire)". European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X, vol.20, n°2, pp.302-316, 2008.
- [4] K. E. Ahoussi, N. Soro, G. Soro, M. S. Oga, S. P. Zade, "Caractérisation de la qualité physico-chimique et Bactériologique des eaux de puits de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)", Africa Geoscience Review, vol.16, n°3, pp. 203-215, 2009.
- [5] K. E. Ahoussi, S. Loko, Y. B. Koffi, G. Soro, Y. M. S. Oga, N. Soro, "Evolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)". Int. J. Pure App. Biosci., vol.1, n°3, pp. 45-60, 2013.
- [6] A. G. Douagui, I. K. Kouamé, K. Koffi, B. Dibi, F. K. Konan, I. Savané, "Origines et modélisation de la minéralisation des eaux du Quaternaire d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire)". Int. J. Biol. Chem. Sci., vol.3, n°5, pp. 856-869, 2009.
- [7] N. Soro, L. Ouattara, K. Dongo, K. E. Kouadio, K. E. Ahoussi, G. Soro, Y. M-S. Oga, I. Savané, J. Biémi. "Déchets municipaux dans le District d'Abidjan en Côte d'Ivoire : sources potentielles de pollution des eaux souterraines". International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol.4, n°6, pp. 364-384, 2010.
- [8] O. B. Yapo, V. Mambo, A. Séka, M. J. A. Ohou, F. Konan, V. Gouzile, A. S. Tidou, K. V. Kouamé, P. Houénou, "Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville". Int. J. Biol. Chem. Sci., vol.4, n°2, pp. 289-307, 2010.



- [9] E. K. Ahoussi, N. Soro, A. M. Kouassi, G. Soro, Y. B. Koffi, S. P. Zade, "Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des métaux lourds (Cu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> et Pb<sup>2+</sup>) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan". *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol.4, n°5, pp.1753-1765, 2010.
- [10] A. Traoré, G. Soro, K. E. Kouadio, B. S. Bamba, Y. M. S. Oga, N. Soro, J. Biémi, "Evaluation des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques des eaux d'une lagune tropicale en période d'étiage : la lagune Aghien (Sud-est de la Côte d'Ivoire)". *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.6, n° 6, pp. 7048-7058, 2012.
- [11] A. Traoré, K. E. Ahoussi, N. Aka, A. Traoré, N. Soro, "Niveau de contamination par les pesticides des eaux des lagunes Aghien et Potou (Sud-est de la Côte d'Ivoire)". *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, vol.3, n°4, pp. 312-322, 2015.
- [12] E. Roose, M. Cheroux, "Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire". O.R.S.T.O.M. Adiopodoumé, multig., pp. 51-92, 1966.
- [13] C. Delor, I. Diaby, Y. Siméon, M. Adou, B. Z. Zamblé, J-P. Tastet, B. Yao, G. Konan, J-C. Chiron, A. Dommanget, "Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000". 1<sup>ère</sup> Edition, Feuille GRAND-BASSAM, Direction de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire, 1992.
- [14] AFNOR (Association Française de Normalisation). "Qualité de l'eau. Recueil de normes françaises, Environnement". Première édition, Paris, France, 862 p., 1994.
- [15] AFNOR (Association Française de Normalisation). "Analyses microbiologiques Tome 1 : contrôle de la qualité des produits alimentaires". Recueil de normes françaises, Paris, France, 521 p., 1996.
- [16] J. Rodier, B. Legube, N. Merlet, J. Brunet, "L'Analyse de l'eau". 9<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, France, 1579 p., 2009.
- [17] JORF (Journal Officiel de la République Française), "Limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées". Ministère de la Santé et des Solidarités. Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique, 9 p., 2007.
- [18] Y. Travi, J. Mudry, "Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères du socle de la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest". *Revue d'Hydrogéologie*, vol.1, pp.13-21, 1997.
- [19] J. Biémi, Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Naturelle. "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", Université Nationale de Côte d'Ivoire, p. 480, 1992.
- [20] J. El Asslouj, S. Kholtei, N. El Amrani-Paaza, A. Hilali, Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc). *Rév. Sci. Eau*, vol.20, n°3, pp. 306-321, 2007.
- [21] D. Guiral, N. Etien, "Les macrophytes : In Environnement et ressources aquatiques de Côte-d'Ivoire. Tome II-Les milieux lagunaires". J-R Durand, P. Duffour, D. Guiral et S. G. F. Zabi (Réd.). Editions de l'ORSTOM, Paris, pp. 137-154, 1994.
- [22] B. Millet, "Hydrologie et hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical: le lac Togo". Editions de l'ORSTOM, collections Etudes et Thèses, Paris, 230 p., 1986.
- [23] S. K. Kouakou, A. M. Kouassi, A. A. Adingra, B. K. Dongui, D. Gnakri, "Variations Saisonnières des Paramètres Abiotiques des Eaux d'une Lagune Tropicale: La Lagune de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire". *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X, vol.21, n°3, pp. 376-393, 2008.
- [24] Y. A. N'Guessan, Thèse de Doctorat. "Analyse morphologique, sédimentologique et environnement de dépôts des sédiments superficiels des lagunes Adjin et Potou (Zone littorale de la Côte d'Ivoire)", Université de Cocody (Abidjan), Côte d'Ivoire, 145 p., 2008.
- [25] J. I. Drever, "The Geochemistry of Natural Waters". Englewood Cliffs (N. J.), Prentice-Hall, 437 p., 1988.
- [26] S. M. Yidana, "The hydrochemical framework of surface water basins in southern Ghana". *Journal of Environmental Hydrology*, vol.16, p.1-11, 2008.
- [27] J-P. Tastet, D. Guiral, "Géologie et sédimentologie : In Environnement et ressources aquatiques de Côte-d'Ivoire. Tome II-Les milieux lagunaires". J-R Durand, P. Duffour, D. Guiral et S. G. F. Zabi (Réd.). Editions de l'ORSTOM, Paris, pp 35-57, 1994.



- [28] J.R. Durand, D. Guiral, "Hydroclimat et Hydrochimie : In Environnement et ressources aquatiques de Côte-d'Ivoire. Tome II-Les milieux lagunaires". J-R Durand, P. Duffour, D. Guiral et S. G. F. Zabi (Réd.). Editions de l'ORSTOM, Paris, pp 59-90, 1994.
- [29] D. Mama, V. Deluchat, J. Bowen, W. Chouti, B. Yao, B. Gnon, M. Baudu, "Caractérisation d'un Système Lagunaire en Zone Tropicale: Cas du lac Nokoué (Bénin)". European Journal of Scientific Research, vol.56, n°4, pp. 516-528, 2011.
- [30] K. M. Yao, M. B. Soro, A. Trokourey, Y. Bokra, "La pollution des eaux de la zone urbaine d'une lagune tropicale par les matières oxydables (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire)". Int. J. Biol. Chem. Sci., vol.3, n°4, pp. 755-770, 2009.
- [31] OMS (Organisation Mondiale de la Santé), "Guidelines for Drinking-water Quality". World Health Organization, Fourth Edition; Genève, Suisse 541 p., 2011.