

# INDICATEURS DE POLLUTION FECALE DANS UNE LAGUNE TROPICALE A FORTE INFLUENCE CONTINENTALE (LAGUNE ABY, CÔTE D'IVOIRE)

O. KAMBIRE<sup>1,2</sup>, A. A. ADINGRA<sup>2</sup>, C. A. KAKOU<sup>1</sup> et R. KOFFI-NEVRY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Biotechnologie et de Microbiologie des Aliments, Université d'Abobo-Adjamé, 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire. E-mail : rosenevry2002@yahoo.fr

<sup>2</sup>Laboratoire de microbiologie du Centre de Recherches Oceanologiques, BP V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

## RESUME

Cette étude a été conduite entre juin 2010 et mars 2011 afin d'évaluer le niveau de pollution fécale des eaux de la lagune Aby et de déterminer l'influence des facteurs physico-chimiques sur cette pollution. Les analyses ont concerné 72 échantillons d'eau et 36 échantillons de sédiments couvrant six secteurs lagunaires. Les charges moyennes des coliformes et des streptocoques fécaux des eaux des différentes stations étudiées varient respectivement de 1,73 à 3,07 log UFC.100 mL<sup>-1</sup> et de 1,18 à 2,63 log UFC.100 mL<sup>-1</sup> ; celles des sédiments varient de 3,16 à 4,1 log UFC.100 g<sup>-1</sup> pour les coliformes fécaux et de 2,79 à 3,93 log UFC.100 g<sup>-1</sup> pour les streptocoques fécaux. Les valeurs moyennes de la température dans ces eaux de surface varient de 26,9 à 29,4°C ; celles de la salinité de 0,0083 à 1,1 ppt et de 6,5 à 7,6 pour le pH. Le pH, la température et la salinité ont une faible influence sur les charges des indicateurs fécaux dans les eaux de surface. La qualité bactériologique des eaux de la lagune Aby dans l'ensemble est acceptable pour les activités récréatives telles que les baignades selon le décret n°81324 du 7 avril 1981 du Conseil des communautés européennes.

**Mots clés** : Paramètres physico-chimiques, indicateurs, lagune Aby, pollution fécale, Côte d'Ivoire.

## ABSTRACT

*PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS AND INDICATORS OF FECAL POLLUTION OF THE LAGOON ABY, CÔTE D'IVOIRE*

*This study was conducted to determine the level of fecal pollution of the Aby lagoon and the effects of physico-chemical parameters on this pollution from June 2010 and March 2011. The analysis was realized on 72 water samples and 36 sediments samples in six lagoon sectors. Mean values of fecal coliforms and fecal streptococci in water varied from 1.73 to 3.07 log CUF.100 mL<sup>-1</sup> and from 1.18 to 2.63 log CUF.100 mL<sup>-1</sup> respectively for the stations investigated. For sediments, the values ranged from 3.16 to 4.1 log CUF.100 g<sup>-1</sup> for fecal coliforms and 2.79 to 3.93 log CUF.100 g<sup>-1</sup> for fecal streptococci. For water, mean values for temperature varied from 26,9 to 29,4°C, those of salinity from 0,0083 to 1,1 ppt and from 6.7 to 7.6 for the pH. pH, temperature and salinity have almost no effect on the fecal indicator bacteria in waters. According to the European community guideline (n°81324 of 7 April 1981), the quality of the lagoon Aby water is acceptable for activities such as bathing.*

**Key-words** : Physicochemical parameters, indicators, Aby lagoon, fecal pollution, Côte d'Ivoire.

## INTRODUCTION

Les lagunes jouent un rôle important dans le développement larvaire de nombreuses espèces animales lagunaires (poissons- *Ethmalosa fimbriata*, mollusques- *Crassostrea gasar* et crustacés- *Callinectes amnicola*) (Sankaré, 2007 ; Sankaré *et al.*, 2010). Elles constituent des zones d'intenses activités anthropiques qui contribuent fortement à leur pollution. Il s'agit entre autre, des activités touristiques, balnéaires et l'exploitation des ressources aquacoles. Par ailleurs, ces milieux sont le lieu de déversements abusifs d'effluents industriels et domestiques sans traitement préalable (Saab *et al.*, 2007). En Côte d'Ivoire, la lagune Ebrié au niveau de la ville d'Abidjan reçoit environ 40.000 m<sup>3</sup> d'eaux usées domestiques et industrielles par jour (Koné *et al.*, 2007a). De plus, dans ces eaux peu profondes, la remise en suspension des sédiments est fréquente, avec pour conséquence la pollution organique et microbienne des milieux. Carmouze et Caumette (1985) ont observé que la contamination microbienne constitue une des agressions anthropiques les plus préoccupantes, compte tenu des risques sanitaires associés.

Divers travaux, notamment de Hassen *et al.* (2002) et d'Aboukacem *et al.* (2007) ont montré que les milieux lagunaires sont des sites d'intenses activités bactériennes, du fait des apports continentaux et marins. Les conditions climatiques (température) et hydrochimiques lagunaires (salinité) sont susceptibles de favoriser le maintien ou la prolifération de bactéries pathogènes conférant ainsi un caractère endémique à certaines maladies (Kouassi *et al.*, 1990). Une enquête ménage transversale menée en 2003 a révélé une prévalence de 15 % pour les maladies diarrhéiques dans 3 villages lagunaires (Koné *et al.*, 2007b). Les enquêtes effectuées dans la région du Sud-Comoé (Bassam, Bonoua, Aboisso, Tiapoum, Assinie et Adiaké) selon le type de commodité sanitaire par le Réseau National de l'Agriculture (RNA), (Anonyme 1, 2001) ont révélé : 10 726 dans la nature, 942 latrines publiques, 21 506 latrines privées et traditionnelles, 6 221 latrines modernes et 281 autres sur un total de 39 676 ménages. Les déchets domestiques générés par ces ménages et déversés le plus souvent dans le milieu

lagunaire sans aucun traitement sont susceptibles de contaminer les eaux, les sédiments et tous les organismes vivants dans ce milieu.

La pêche est beaucoup pratiquée dans la lagune Aby. Les productions de poissons et de crustacés pêchés dans cette lagune sont estimées respectivement entre 6 000 et 7 000 t par an ; 2 000 (poissons) et 3 000 t (crustacés) sont vendues sur les différents marchés ruraux et urbains de la région du Sud-Comoé et à Abidjan (Sankaré *et al.*, 2010). Ces produits halieutiques, très appréciés et consommés par la population (Koffi *et al.*, 2006) peuvent constituer un risque pour la santé publique s'ils sont contaminés par les microorganismes pathogènes qui prolifèrent dans la lagune (Koffi-Nevry *et al.*, 2008). Certains pêcheurs de poissons (Niamien-Ebrottié *et al.*, 2008) et de crabes nageurs (Sankaré, 2007) de cette lagune se plaignent de démangeaisons et de boutons sur le corps, particulièrement les mains aux retours des pêches.

Le système lagunaire ivoirien est constitué d'une lagune, la lagune de Fresco et de 3 complexes lagunaires, à savoir : Ebrié-Aghien-Potou-Ouladine-Azuretty, Grand-Lahou-Mackey-Tiagba-Niouzoumou et Aby-Tendo-Ehy. Les données scientifiques relatives à la pollution bactériologique des lagunes Ebrié et Grand-Lahou existent (Konan *et al.*, 2009, Kouassi *et al.*, 1990). Toutefois, à notre connaissance, la lagune Aby ne semble pas encore avoir fait l'objet d'une étude bactériologique. Pourtant, le complexe lagunaire Aby-Tendo-Ehy présente, sur les berges, des campements, des villages et des villes.

L'étude vise à évaluer le niveau de pollution fécale du milieu lagunaire Aby en relation avec les paramètres physiques et chimiques.

## MATERIEL ET METHODES

### SITES DE PRELEVEMENT

Située dans la partie Sud-Est de la Côte d'Ivoire, (2°51 et 3°21 W et 5°05 et 5°22 N). La lagune Aby sert de frontière naturelle au Sud et à l'Est entre la Côte d'Ivoire et le Ghana.

Six stations de prélèvements réparties sur toute la lagune ont été retenues (Figure 1) en fonction des rejets divers (eaux usées, excréments) et des activités anthropiques. La station 1 est localisée près d'une zone urbaine (la ville d'Adiaké). La baignade et la pêche y sont pratiquées. A côté de cette station, s'effectue également l'embarquement des passagers à bord des pinasses. Ce site est sous l'influence des eaux marines (majeure) et fluviale. La station 2 située près de l'embouchure du fleuve Bia est une zone de pêche. Elle est influencée par les eaux douces de la Bia. La station 3,

située en zone rurale, est une zone de pêche et de baignade. Elle est non loin des installations sanitaires sur pilotis et sous l'influence fluviale (majeure) et marine. La station 4 est localisée près d'une zone rurale, zone de baignade et de pêche, sous influence marine. La station 5 se localise à l'entrée de la passe vers la mer. C'est une zone de pêche dominée par les eaux marines. La station 6 est située en zone rurale. C'est une zone de pêche et de baignade sous influence des eaux marines et non loin des installations sanitaires sur pilotis.

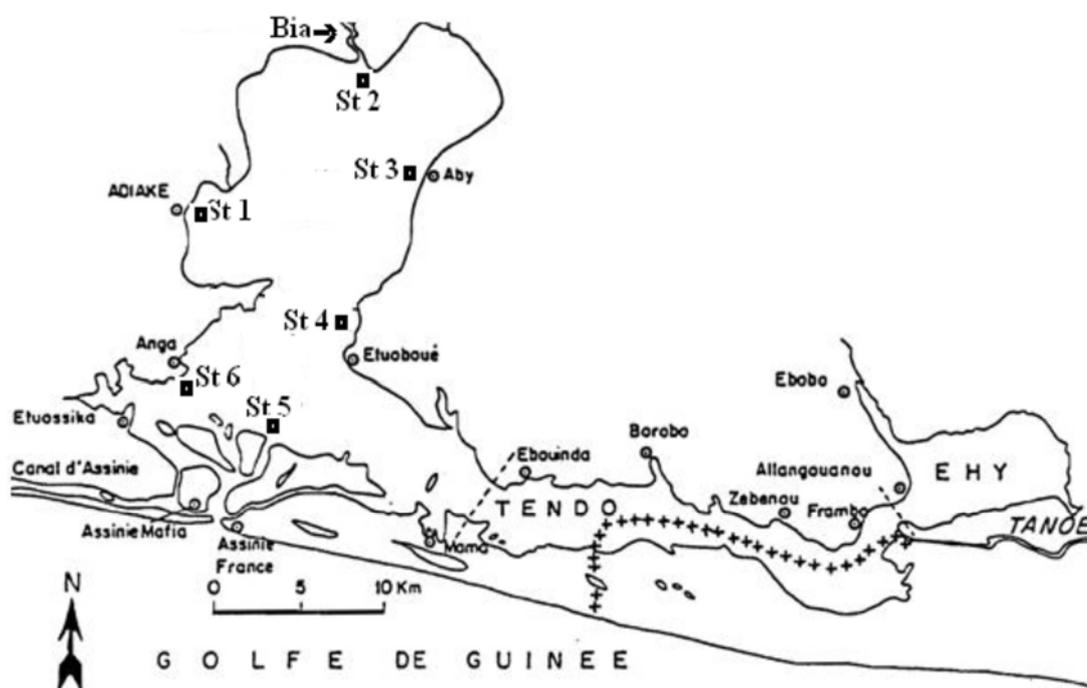


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude des stations d'échantillonnage.

*Location of the study area and sampling stations.*

## ECHANTILLONNAGE

Six campagnes d'échantillonnage d'eau et de sédiment ont été effectuées entre juin 2010 et mars 2011. Ces campagnes de prélèvements effectuées au milieu de chaque saison se sont déroulées comme suit : deux campagnes en saison pluvieuse (juin - juillet), deux en saison de crues (septembre - octobre) et deux autres en saison sèche (février - mars). Le moyen de transport utilisé au cours de l'échantillonnage a été une pirogue motorisée. Pour chaque

campagne, deux échantillonnages d'eau au niveau de chaque station ont été effectués à 20 cm de la surface à l'aide de bouteilles borosilicatées de 500 mL préalablement stérilisées. Au total 72 échantillons d'eau ont été prélevés durant ces six campagnes, soit une moyenne de 12 échantillons par station. Les échantillons de sédiment ont été prélevés à l'aide d'une benne Hackman. La benne munie d'une corde a été d'abord armée en surface, ensuite plongée jusqu'au fond de l'eau. Le déclencheur, situé au bout de la corde, a été enfin lâché de la

surface jusqu'au contact de la benne pour favoriser son déclenchement engendrant le ramassage des sédiments. Les profondeurs de prélèvement des sédiments ont été respectivement, de 1,2 ; 0,7 ; 0,9 ; 3 ; 2,3 et 0,6 m pour les stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6. Environ 500 g de sédiment sont recueillis dans un sachet stomacher pour chaque prélèvement. Au total, 36 échantillons ont été prélevés, à raison de 6 échantillons par station. Les différents échantillons prélevés et étiquetés sont immédiatement introduits dans une glacière contenant de la carboglace et transportés au laboratoire pour les analyses. Le temps écoulé entre les prélèvements et les analyses a été d'environ 20 h.

#### ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Au laboratoire, les échantillons d'eau et de sédiment ont été retirés de la glacière puis exposés à la température ambiante. Les échantillons d'eau ont été secoués vigoureusement et les sédiments pesés avant les analyses.

La recherche des coliformes et des streptocoques fécaux dans les échantillons d'eau et de sédiments a été faite par la méthode de la membrane filtrante (Anonymes 2 et 3). Des volumes de 1, 5 et 10 mL de chaque échantillon d'eau ont été filtrés à travers une membrane filtrante stérile en cellulose, de porosité 0,45 µm (Sartorius Stedim Biotech). Ensuite, les membranes ont été placées dans des boîtes de Pétri sur les géloses Eosine au Bleu de Méthylène (EMB) Bio-Rad pour la numération des coliformes fécaux et Slanetz et Bartley (Biokar) pour les streptocoques fécaux. L'analyse des sédiments a consisté d'abord à la préparation, d'une solution mère en diluant 10 g de sédiment dans 90 mL d'eau peptonnée tamponnée. A partir de cette solution de dilution  $10^{-1}$ , une deuxième dilution ( $10^{-2}$ ) a été effectuée. Des volumes de 1, 5 et 10 mL de chaque échantillon dilué ont été filtrés comme précédemment, et les filtres placés sur les géloses EMB et Slanetz et Bartley. Les boîtes de Pétri ont été incubées à 44,5 °C pendant 24 h pour les coliformes fécaux et celles des streptocoques fécaux, à 44 °C pendant 48 h (Rodier *et al.*, 1996). Les colonies violettes à brunes et rouge à marron ont été retenues respectivement pour le dénombrement des coliformes fécaux sur le milieu EMB et des

streptocoques fécaux sur le milieu Slanetz et Bartley. Le nombre de colonies a été exprimé sous forme d'Unité Formant Colonie (UFC.100 mL<sup>-1</sup>) pour les échantillons d'eau et (UFC.100 g<sup>-1</sup>) pour les échantillons de sédiments puis transformé en logarithme à base 10.

#### DETERMINATION DE L'ORIGINE DE LA CONTAMINATION FECALE

Selon les critères définis par Borrego et Romero (1982), la contamination est d'origine animale si le rapport (R) coliformes fécaux (CF)/ streptocoques fécaux (SF) est inférieur à 0,7 et d'origine humaine, si ce rapport est supérieur à 4. L'origine de la contamination est mixte à prédominance animale si R est compris entre 0,7 et 1 ; cette origine est incertaine si R est compris entre 1 et 2. L'origine de la contamination est mixte à prédominance humaine si R se situe entre 2 et 4.

#### MESURES DES PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE L'EAU

Le pH, la température, la salinité, la conductivité et l'oxygène dissous des eaux de la lagune ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi paramètres (Orion 4Star, USA).

Le dosage des paramètres tels que les matières en suspension, l'ammonium et le phosphore total dans les échantillons d'eau a été effectué au laboratoire de chimie du Centre Ivoirien Antipollution de Côte d'Ivoire (CIAPOL). La détermination des matières en suspension (MES) a été effectuée par filtration sur membrane et séchage conformément à la norme AFNOR T90-105. La mesure de l'Azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a été réalisée selon la méthode au bleu de l'indophénol (norme NF T90-015). Enfin, le dosage du phosphore total a été fait après minéralisation des échantillons d'eau (norme AFNOR NFT 90-023).

#### ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel ADE4. A partir de l'analyse en composantes principale (ACP), la carte factorielle, la corrélation entre les différents paramètres, et la classification des stations en fonction des charges des indicateurs de pollution fécale ont été établies (Thioulouse *et al.*, 1997).

## RESULTATS

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes des paramètres physiques et chimiques de toutes les saisons dans les différentes stations. Les valeurs moyennes de la température dans les eaux de surface de la lagune Aby ont varié entre 26,9 et 29,4 °C, celles de la salinité de 0,0083 à 1,1 ppt et de 67 à 2 130  $\mu\text{S cm}^{-1}$  pour la conductivité. Le pH était de 6,5 à 7,6. Les stations 1, 4, 5 et 6 ont eu les valeurs de pH, de salinité, de température et de conductivité les plus élevées avec des valeurs respectives de 7,6 ; 1,1 ppt ; 29,4 °C et 2 130  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Les minima enregistrés aux stations 2 et 3 ont été de 6,5 pour le pH, 0,0083 ppt pour la salinité, 26,9 °C pour la température et 67  $\mu\text{S cm}^{-1}$  pour la conductivité. Les teneurs moyennes en

oxygène dissous, les matières en suspension, l'ammonium et le phosphore total ont varié respectivement de 4,4 à 8,2  $\text{mg L}^{-1}$ , 6,1 à 15  $\text{mg L}^{-1}$ , 0,03 à 0,07  $\text{mg L}^{-1}$  et de 0,04 à 0,07  $\text{mg L}^{-1}$ .

Le tableau 2 présente les charges moyennes des indicateurs de pollution fécale (exprimées  $\log \text{UFC.100 mL}^{-1}$  et  $\log \text{UFC.100 g}^{-1}$ ) pour toutes les saisons. Les charges moyennes des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux dans les eaux de surface ont varié respectivement de 1,73 à 3,07  $\log \text{UFC.100 mL}^{-1}$  et de 1,18 à 2,63  $\log \text{UFC.100 mL}^{-1}$ . Au niveau des sédiments, ces charges moyennes ont varié entre 3,16 et 4,1  $\log \text{UFC.100 g}^{-1}$  pour les coliformes fécaux et de 2,79 à 3,93  $\log \text{UFC.100 g}^{-1}$  pour les streptocoques fécaux.

**Tableau 1** : Moyennes des paramètres physico-chimiques étudiées au niveau des différentes stations

*Mean values of physicochemical parameters studied at the different stations.*

Stations	Paramètres							
	pH	Salinité	Temp	Cond	O <sub>2</sub>	MES	Am	phos
Station 1	7,5±0,8	0,7±0,5	28,2±1	1578±1061	8,2±0,9	6,3±4,2	0,05±0,04	0,04±0,04
Station 2	6,6±0,2	0,008±0,01	26,9±0,5	67±33	5,8±0,1	14,4±6,6	0,03±0,02	0,07±0,01
Station 3	6,5±0,2	0,2±0,05	27,7±1	526±42	4,4±0,7	15±21	0,05±0,02	0,07±0,05
Station 4	7,6±0,6	0,8±0,8	28,4±1	1705±1414	6,4±0,2	12,9±17	0,03±0,03	0,05±0,04
Station 5	7,6±0,7	0,9±0,8	28,4±1	1924±1636	6,7±0,8	6,8±1	0,07±0,09	0,04±0,01
Station 6	7,5±0,2	1,1±0,9	29,4±2	2130±1675	5,2±0,9	6,1±2	0,04±0,05	0,04

Temp : température, Cond : conductivité, O<sub>2</sub> : oxygène dissous, Am : ammonium, phos : phosphore, MES : matières en suspension

**Tableau 2** : Charges moyennes des indicateurs de pollution fécale des eaux et des sédiments au niveau des différentes stations ( $\log \text{UFC.100 mL}^{-1}$  pour les eaux et  $\log \text{UFC.100 g}^{-1}$  pour les sédiments).

*Mean values of indicators of fecal pollution in water and sediments at the different stations ( $\log \text{CFU.100 mL}^{-1}$  for water and  $\log \text{CFU.100 g}^{-1}$  for sediment).*

Stations	Paramètres			
	C.F <sub>eau</sub>	S.F <sub>eau</sub>	C.F <sub>sédiment</sub>	S.F <sub>sédiment</sub>
Station 1	2,00 ± 0,46	1,57 ± 0,14	3,76 ± 0,09	3,23 ± 0,21
Station 2	2,58 ± 0,11	1,95 ± 0,39	3,8 ± 0,1	2,79 ± 0,61
Station 3	3,07 ± 0,46	2,63 ± 0,34	4,1 ± 0,27	3,93 ± 0,17
Station 4	2,28 ± 0,04	1,26 ± 0,27	3,69 ± 0,65	3,22 ± 0,76
Station 5	1,73 ± 0,35	1,18 ± 0,25	3,16 ± 0,27	2,86 ± 0,83
Station 6	2,95 ± 0,57	2,44 ± 0,9	3,88 ± 0,22	3,42 ± 0,82

C.F : Coliformes fécaux ; S.F : Streptocoques fécaux

Les variations spatio-temporelles des indicateurs de pollution fécale et physico-chimiques sont résumées dans la figure 2. Cette figure présente 12 graphiques. Chacun des 12 graphiques renferment des cercles et des carrés correspondant aux six stations en fonction des trois saisons étudiées. Chaque graphique indique les valeurs normées de chaque paramètre. Les cercles représentent les valeurs positives et les carrés, les valeurs négatives. Le pH, la salinité, la température, la conductivité, les MES, l'ammonium et le phosphore total ont présenté les variations saisonnières les plus marquées.

En effet, les valeurs les plus faibles de pH, de salinité, de température et de conductivité ont été enregistrées pendant la saison des pluies et les valeurs les plus élevées en saison sèche. Par contre, les MES, l'ammonium et le phosphore total ont eu les concentrations maximales en saison des pluies et minimales en saison sèche. Concernant la variation spatiale, les valeurs de la température, la salinité, la conductivité et le pH les plus élevées ont été observées au niveau des stations 6, 5, 4 et 1 tandis que les plus faibles valeurs ont été relevées au niveau des stations 2 et 3. Pour l'oxygène dissous, les MES, l'ammonium et le phosphore total, les concentrations les plus élevées ont été respectivement observées aux stations 1, 3 et 5. Dans les eaux, les stations 2, 3 et 6 ont eu les charges les plus élevées de bactéries indicatrices de pollution fécale. Dans les sédiments par contre, ce sont les stations 3 et 6 qui ont eu les fortes charges. Aucune variation saisonnière marquée n'a été observée pour les coliformes et les streptocoques fécaux dans les eaux de surface ni dans les sédiments.

Une analyse en composante principale (ACP) a permis d'établir une corrélation entre les paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Le plan factoriel F1 regroupe la quasi-totalité des paramètres physico-chimiques (température, pH, salinité, conductivité,

ammonium, phosphore total et les MES) et le plan F2 tous les paramètres bactériologiques ainsi que l'oxygène dissous (Figure 3). On distingue ainsi sur l'axe F1 une corrélation positive entre pH, salinité, conductivité et température. Une corrélation positive a été également observée entre l'ammonium, le phosphore total et les matières en suspension. Par contre, une corrélation négative a été observée entre le groupe composé de : salinité, pH, conductivité et le groupe constitué par l'ammonium, le phosphore total et les matières en suspension. Des corrélations positives ont été également observées entre les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux dans les eaux comme dans les sédiments. Aucune corrélation n'a été observée entre les paramètres physico-chimiques et les paramètres indicateurs de pollution fécale. Sauf l'oxygène dissout qui a été négativement corrélé aux bactéries indicatrices de pollution fécale.

Une classification basée sur les données bactériologiques a été effectuée pour répartir les différentes stations en fonction des charges (Figures 4 et 5). La classification a révélé deux grands groupes, à savoir : le groupe A qui renferme toutes les stations les plus polluées et le groupe B les stations les moins polluées. Au niveau du groupe A, les stations 2, 3 et 6 au niveau des eaux et les stations 4, 6 et 3 au niveau des sédiments ont été les plus polluées. Les stations 4, 1 et 5 dans les eaux, et les stations 2, 1 et 5 dans les sédiments ont été les moins polluées.

Le tableau 3 montre l'origine de la contamination fécale des eaux de surface de la lagune Aby. Sur les six stations étudiées, quatre (1, 3, 5 et 6) ont été dominées par une pollution mixte, à prédominance humaine ( $3 < FC/SF < 4$ ) et deux (2 et 4) par une pollution exclusivement humaine ( $CF/SF > 4$ ). Par contre, aucune pollution exclusivement animale ( $CF/SF < 0,7$ ), n'a été observée.

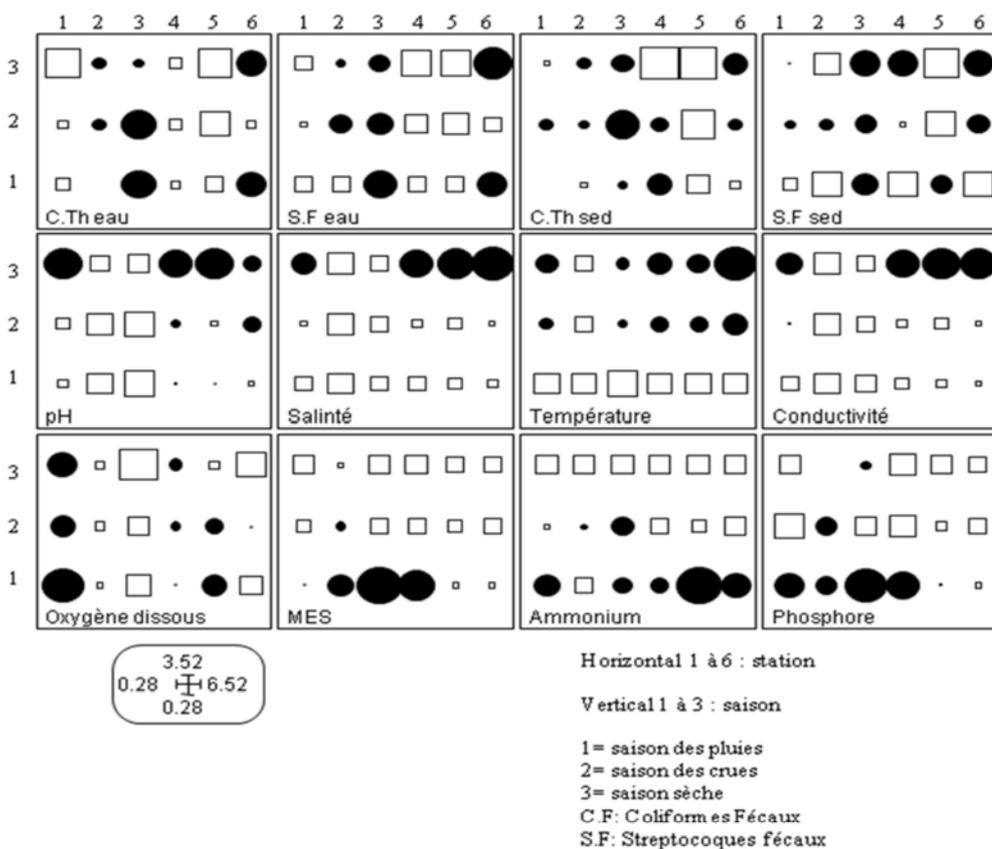


Figure 2 : Variation spatio-temporelle des paramètres bactériologiques et physico-chimiques de la lagune Aby.

*Spatio-temporal changes in bacteriological parameters and physico-chemical properties of the Aby lagoon.*

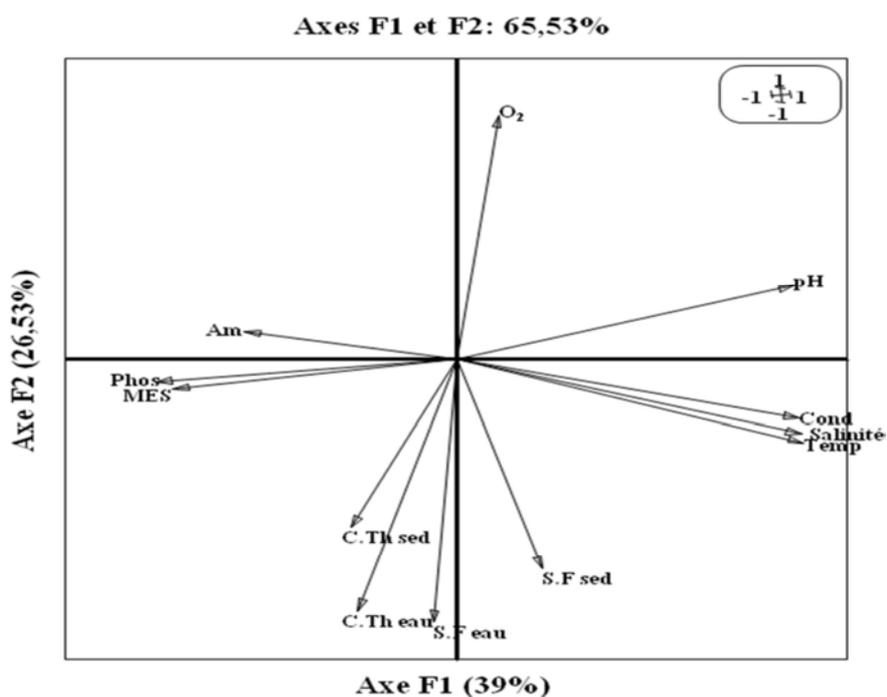
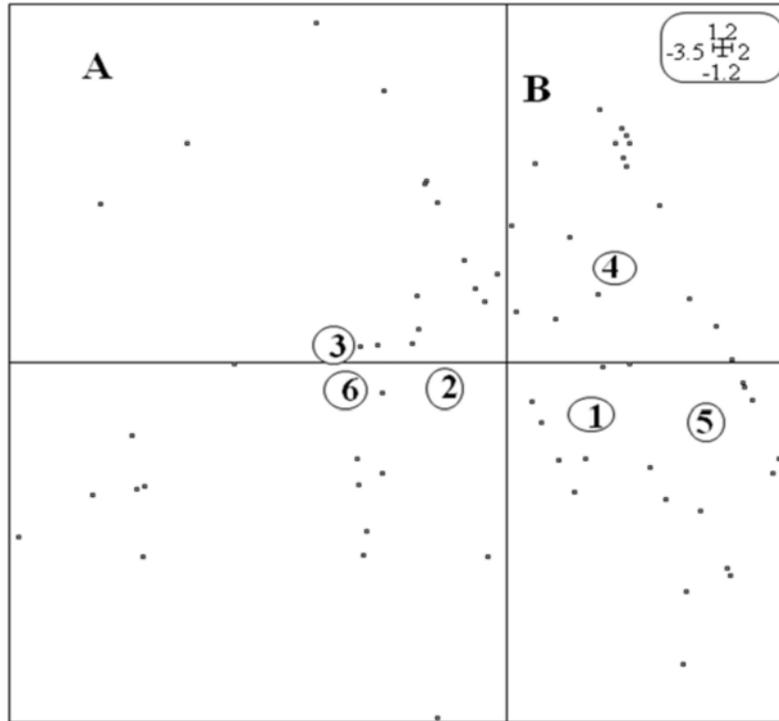


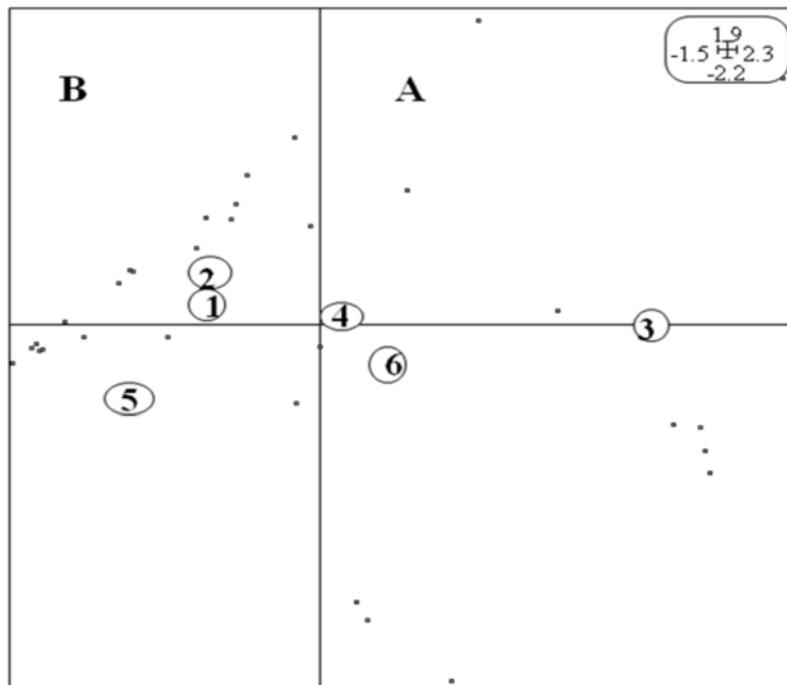
Figure 3 : Analyse en composante principale des différents paramètres étudiés.

*Principal component analysis of the different parameters studied.*



**Figure 4 :** Répartition des stations en fonction des charges des indicateurs de contamination fécale dans les eaux de la lagune Aby.

*Distribution of stations according to the loads of fecal indicators in the Aby lagoon waters.*



**Figure 5 :** Répartition des stations en fonction des charges des indicateurs de contamination fécale dans les sédiments de la lagune Aby.

*Distribution of stations according to the loads of fecal indicators in the Aby lagoon sediments.*

**Tableau 3** : Origine de la contamination fécale des eaux de surface de la lagune Aby.*Origin of the fecal contamination of the surface waters of the Aby lagoon.*

Stations	C.F/S.F	Origine
1	3,53	Mixte (prédominance humaine)
2	4,9	Humaine
3	3,85	Mixte (prédominance humaine)
4	12,5	Humaine
5	3,58	Mixte (prédominance humaine)
6	3,9	Mixte (prédominance humaine)

C.F : Coliformes fécaux ; S.F : Streptocoques fécaux

## DISCUSSION

La salinité et la température des eaux de surface dans les systèmes lagunaires présentent des variations spatio-temporelles qui sont fonction des apports d'eau douce et des modalités de leur mélange avec les eaux océaniques (Wango, 2009). En effet, pendant la saison des pluies, les valeurs de température et la salinité ont été faibles mais ont augmenté progressivement pour atteindre les valeurs maximales en saison sèche. Selon Kouassi et Adingra (2005), la variation spatio-temporelle de la salinité conditionne également l'évolution du pH des eaux. Ce qui explique la forte corrélation entre ces deux paramètres. Aux périodes de salinité élevée (saison sèche) correspondent des eaux basiques et aux séquences de fortes influences continentales (saison des pluies), des eaux faiblement acides (Kouassi *et al.*, 1990). La faible variation de la salinité indique une limitation des échanges entre la lagune Aby et la mer. Wango (2009) a attribué ceci à l'exiguïté de la passe d'Assinie, mais également à la présence de nombreuses îles.

Les stations 6, 5, 4 et 1, les plus proches de la zone océanique, et qui présentent des valeurs élevées de température, de salinité et du pH subissent plus l'influence des eaux océaniques, tandis que les stations 2 et 3 présentant des valeurs plus faibles sont surtout influencé par des eaux continentales (la Bia).

Les MES, l'ammonium et le phosphore total ont évolué selon les saisons. Les résultats de cette étude sont comparables à ceux de Issola *et al.* (2008) qui ont indiqué que pendant la saison des pluies, les eaux de ruissellement arrachent des sols les MES, l'ammonium et le phosphore concentrés sur le continent durant toute la saison sèche et les acheminent vers la lagune, entraînant des concentrations de ces

paramètres pendant la saison pluvieuse dans les eaux lagunaires.

Les stations 3 et 4 ont les teneurs des MES les plus importantes. Ces deux stations reçoivent les eaux turbides du fleuve Bia et de la rivière Toudoumi. Les teneurs de phosphore total dans les stations 1 à 4 pendant la saison pluvieuse sont dues à l'utilisation des engrais et des pesticides dans les plantations de cultures de rente de ces différentes zones. Le lessivage des sols par les eaux de ruissellement a engendré le transfert de phosphore des plantations vers la lagune. Les importantes concentrations d'ammonium pendant la saison pluvieuse dans les stations situées en zone rurale (3, 4, 5 et 6) et urbaine (1) permettent d'affirmer que cet élément est essentiellement issu des eaux usées en provenance de ces zones.

Les charges des coliformes et des streptocoques fécaux ont été plus élevées dans les sédiments que dans les eaux de surface. Ces résultats sont en accord avec ceux de Donna (2002) qui a enregistré des charges d'entérocoques 100 fois plus élevées dans les sédiments que dans les eaux de surface d'un petit cours d'eau aux Philippines. Dans la présente étude, les charges en streptocoques fécaux et en coliformes fécaux dans les sédiments sont environ 10 fois plus élevées que celles obtenues dans les eaux de surface. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les sédiments peuvent servir de réservoir pour les bactéries fécales durant le cycle hydroclimatique comme l'indique également Hartel *et al.* (2005). La saison des pluies et celle des crues favorisent l'enrichissement des eaux lagunaires en éléments nutritifs utiles à la prolifération des bactéries. En outre, les particules (contenant les microorganismes) arrachées des sols pollués et transportées dans la lagune à travers les cours d'eau et les eaux de ruissellement peuvent sédimenter, et augmenter les charges bacté-

riennes dans les sédiments. La concentration en streptocoques fécaux a été plus faible que celle des coliformes fécaux dans les eaux comme dans les sédiments. Ces résultats sont en accord avec ceux d'autres auteurs (El Moâti et Jarousha, 2006 ; Konan *et al.*, 2009 ; Kuitcha *et al.*, 2010). Selon Leclerc (1981), les coliformes fécaux sont abondants dans les fèces et représentent les indicateurs prédominants de l'environnement.

Les coliformes fécaux sont généralement plus abondants dans les matières fécales de l'homme que les streptocoques fécaux. Ces derniers seraient plus importants en nombre que les coliformes fécaux chez l'animal (Koffi-Nevry *et al.*, 2008) ; d'où l'importance du rapport coliformes fécaux sur streptocoques fécaux. Dans ce travail, les valeurs du rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux indiquent en majeure partie une pollution mixte à prédominance humaine. Cette caractéristique serait liée aux apports des déjections des installations sanitaires situées sur la lagune, des eaux usées non traitées et aux excréments de quelques animaux domestiques et sauvages qui se promènent au bord de la lagune (Koffi-Nevry *et al.*, 2012). L'absence de pollution exclusivement d'origine animale est due au non développement de l'élevage autour de cette lagune.

Dans les eaux de surface, trois stations se distinguent des autres. Ce sont notamment, les stations 2, 3 et 6. Parmi ces trois stations, les stations 3 et 6 ont présenté les charges les plus élevées de bactéries indicatrices de contamination fécale. Cette différence pourrait résulter d'une contamination par les installations sanitaires construites sur la lagune et non loin de chacune de ces deux stations qui participeraient significativement à l'apport d'un grand nombre de germes de contamination fécale. Concernant la station 2, il convient d'indiquer que la Bia déverse ses effluents dans la lagune après avoir parcouru son bassin versant. Ces effluents sont susceptibles de renfermer des microorganismes qui pourraient être responsables de la contamination de cette dernière. Dans les sédiments, les stations 3, 6 et 4 ont eu les charges les plus élevées de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux. Dans les stations 3 et 6, ces charges seraient certainement liées aux installations sanitaires. A la station 4, cette charge serait induite par une sédimentation bactérienne rapide ou une forte prolifération bactérienne au sein des sédiments riches en éléments nutritifs.

Contrairement aux stations 2, 3 et 6 qui sont dominées par des apports ponctuels, les stations 1, 4 et 5 sont sous la dominance des apports diffus compte tenu de l'évolution des charges des indicateurs fécaux dans ces stations. Ces apports diffus sont occasionnés par les eaux de ruissellement qui transfèrent des bactéries dans la lagune à travers le lessivage des sols.

La forte corrélation positive entre les coliformes et les streptocoques fécaux traduit une forte probabilité de détection de ces deux groupes bactériens, dans le cadre des études bactériologiques des eaux de surface. Ce résultat est conforme avec celui de Konan *et al.* (2009). La corrélation négative observée entre les indicateurs fécaux et l'oxygène dissous s'explique par l'utilisation de l'oxygène dissous par ces indicateurs au cours de leur multiplication.

Aucune corrélation n'a été observée entre les paramètres physico-chimiques et les bactéries indicatrices de pollution fécale. Aucune variation saisonnière également bien marquée n'a été observée pour les coliformes fécaux et streptocoques fécaux dans les eaux de surface. La pollution bactérienne de la lagune Aby serait probablement dominée par une source ponctuelle ou plus influencée par les processus hydrodynamiques. Ces processus regroupent la dilution, la dispersion, la sédimentation et la remise en suspension dans le milieu aquatique. La dilution et la dispersion dépendent uniquement de l'hydrodynamique du système, tandis que la sédimentation et la remise en suspension sont conditionnées par l'adsorption et/ou l'attachement des bactéries fécales à des matières en suspension comme le soutient Servais *et al.* (2009). Le degré d'eutrophisation est fortement amplifié dans les zones à faible hydrodynamisme. Selon Hébert et Legare (2000), les pluies peuvent également intervenir comme un agent de dilution de la contamination bactérienne en augmentant le débit des cours d'eau.

## CONCLUSION

Cette étude a révélé que la lagune Aby est très peu polluée et de qualité moyenne pour la baignade selon le décret n°81324 du 7 avril 1981 du Conseil des communautés européennes. Cependant, le degré de pollution serait plus élevé au niveau des stations situées à proximité des

latrines sur pilotis. Cette pollution bactériologique est dominée par une contamination mixte à prédominance humaine. A cet effet, une campagne de sensibilisation mettant l'accent sur les dangers encourus par les riverains qui défèquent directement dans la lagune est nécessaire, de même que le retrait des latrines construites sur la lagune. En outre, la passe devrait être élargie pour éviter la concentration des polluants à long terme.

## REFERENCES

- Aboukacem A., Chahlaoui A., Soulaymani A., Rhazi-Filali F. et D. Benali. 2007. Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc). *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* 1 : 10 - 22.
- Anonyme 1. 2001. Réseau National de l'Agriculture (RNA). Ministère de l'Agriculture, 180 p.
- Anonyme 2. 2005. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec : Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermotolérants) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 - Fec.Ec 1.0, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 20 p.
- Anonyme 3. 2006. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec : Recherche et dénombrement des entérocoques : méthode par filtration sur membrane, MA. 700 - Ent 1.0, Rév. 3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 23 p.
- Borrego A. F. and P. Romero. 1982. Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. *In* Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Revue des Sciences de l'Eau.* 20 (4) : 341 - 352.
- Carmouze J. P. et P. Caumette. 1985. Les effets de la pollution organique sur les biomasses et activités du phytoplancton et les bactéries hétérotrophes dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), *In* : Caractérisation de la répartition spatio-temporelle des bactéries à l'interface eau-sédiment d'une lagune tropicale : cas de la baie du Banco, Abidjan, Côte d'Ivoire *European J. Scientific Res.* 21 (1) : 164 - 174.
- Donna R. J. C. 2002. Abundance, diversity, and potential contamination sources of enterococci in creeks. Bachelor of science in agriculture university of the philippines los baños laguna, Philippines ; 96 p.
- El Moâti A. and El Jarousha K. 2006. Influence of seasonal environmental variables on the distribution of fecal Indicator bacteria in seawater of Gaza Strip. *Annals of Alquds Medicine.* 2 (1) : 18 - 24.
- Hartel P., Rodgers K., Fisher J. A., McDonald J. L., Gentit L. C., Otero E., Rivera-Torres Y., Bryant T. L. and S. H. Jones. 2005. Survival and regrowth of fecal enterococci in desiccated and rewetted sediments. *Proceedings of the 2005 Georgia Water Resources Conference.* University of Georgia, Athens, Georgia, U.S.A.
- Hassen A., Yoshida M., Bouzaiane O., Saidi N., Hamdi H., Fourti O., Taghouti Z. et N. Jedidi. 2002. Caractérisation microbiologique et physico-chimiques des sédiments superficiels de la lagune de Bizerte. RPP-SEPMCL, Initial Report 2002, pp 76 - 89.
- Hébert S. et S. Légaré. 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec, envirodoq N° ENV-2001-0141, rapport N° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
- Issola Y., Aka M. K., Dongui D. K. et J. Biemi. 2008. Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). *A. S. 04 (03) : 368 - 393.*
- Koffi-Nevry R., Manizan P. N., Wognin S. A., Koussémon M., Koffi S. O. et K. Tano. 2008. Caractérisation de la Répartition Spatio-Temporelle des Bactéries à L'interface Eau-Sédiment D'une Lagune Tropicale: Cas de la Baie du Banco, Abidjan, Côte D'Ivoire. *European J. Scientific Res.* ISSN 1450-216X. 21 (1) : 164 - 174.
- Koffi-Nevry R., Assil-Clair B. J., Koussémon M., A. et S. Wognin. 2012. Origine des témoins de contamination fécale de l'eau d'arrosage de la laitue (*lactuca sativa*) cultivée dans la zone péri urbaine d'Abidjan. *J. Appl. Biosci.* 52 : 3669 - 3675.
- Koffi R., Kouamé P. K. A., Koussémon M. et F. Beudjé. 2006. Etude Bactériologique du Tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivé en Côte d'Ivoire. *Microbiologie et Hygiène Alimentaire.* 18 (52) : 8 - 13.
- Konan K. S., Kouassi A. M., Adingra A. A. and D. Gnakri. 2009. Spatial and temporal variation

- of fecal contamination indicators in Grand-Lahou lagoon, Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.* 23 : 1422 - 1435. ISSN 1997 - 5902.
- Koné B., Doumbia M. et F. X. Adji. 2007a. Approche écosystémique à la gestion des maladies diarrhéiques en milieu périurbain : cas d'un village lagunaire dans la commune de yopougon (Abidjan, Côte d'Ivoire). Projet de recherche Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire, rapport final, 81 p.
- Koné B., Houenou P. V., HOUENOU A. Y., Odermatt P., Tanner M. and G. Cissé. 2007b. Risk factors for reported episodes of fever, diarrhoeal diseases and acute respiratory infections in a peri-urban area nearby the lagoon of yopougon district, Abidjan, Côte d'Ivoire. Mexico, 19<sup>th</sup> International Conference of Environmental Epidemiology 2007.
- Kouassi A. M. et A. A. Adingra. 2005. Surveillance hydrologique des eaux de la lagune Ebrié au niveau d'Abidjan. Fiche techniques et documents de vulgarisation, Abidjan, CRO, 2005, 1 - 18.
- Kouassi A. M., Guiral D. et M. Dosso. 1990. Variations saisonnières de la contamination microbienne de la zone urbaine d'une lagune tropicale estuarienne cas de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *RQU. Hydrobiol. trop.* 23 (3) : 181 - 194.
- Kuitcha D., Ndjama J., Tita A. M., Lienou G., Kamgang K. B. V. and B. H. Ateba. 2010. Bacterial contamination of water points of the upper Mfoundi watershed, Yaounde, Cameroon. *Afr. J. Microbiol. Res.* 4 (7) : 568 - 574.
- Leclerc H. F. 1981. Les indicateurs bactériens dans le contrôle bactériologique de l'eau : exigences et limites. *J. Fr. hydrol.* (35) : 213 - 228.
- Niamien-Ebrottié E. J., Konan K. F., Gnagne T., Ouattara A., Ouattara M. et G. Gourène. 2008. Etude diagnostique de l'état de la pollution du système fluvio-lagunaire Aby-Bia-Tanoé (Sud-Est, Côte d'Ivoire). *Sud Sciences et Technologies*, N° 16 juin 2008, ISSN 0736-5419 ; 5 - 13.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H. et L. Rodi. 1996. L'analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduelle, eau de mer. 8<sup>e</sup> édition Dunod, 1383 p.
- Saab H. B., Nassif N., El Samrani A. G., Daoud R., Medawar S. et N. Ouaini. 2007. Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Rev. Sci. Eau.* 20 (4) : 341 - 352.
- Sankaré Y. 2007. Exploitation et bioécologie du crabe nageur *Callinectes amnicola* de Rochebrune, 1883 (Decapode-Portunidae) dans le complexe lagunaire Aby-Tendo-Ehy (Côte d'Ivoire - Afrique de l'Ouest). Thèse Unique de l'Université d'Abidjan-Cocody, U.F.R. Biosciences, Université de Cocody, 320 p.
- Sankaré Y., Joanny T. et J. -B. Amon Kothias. 2010. Evaluation des ressources maritimes halieutiques démersales et thonières de la Côte d'Ivoire. Rapport d'exécution de Convention CRO / PAGDRH, 120 p.
- Servais P., Billen G., Garcia-Armisen T., George I., Goncalves A. et S. Thibert. 2009. La contamination microbienne du bassin de la Seine. Programme Piren-Seine 52 p.
- Thioulouse, J., Chessel, D., Doledec, S. and J. M. Olivier. 1997. ADE-4 : a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing.* 7 : 75 - 83.
- Wango T. D. 2009. Modélisation de l'hydrodynamique, de la dispersion du sel et de l'eau douce dans le complexe lagunaire de Côte d'Ivoire (Grand-lahou, Ebrié et Aby). Thèse de doctorat, Océanologie, Université de Cocody (Côte d'Ivoire), 187 p.