



CARACTERISATION DES EAUX USEES DANS LES GRANDS COLLECTEURS DU DISTRICT D'ABIDJAN

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Ahamadou BAYOKO

Travaux dirigés par :

Dr. Kalpy Julien Coulibaly,

Chef d'Unité de Chimie et de Microbiologie Environnementale

Médecin-Microbiologiste/Chargé de Recherche à l'Institut Pasteur de CI

Laboratoire Unité de Chimie et de microbiologie Environnementale

Dr. Mariam DAKOURE SOU

Chef de Département Eau & Assainissement à 2IE

Enseignante-Chercheure/Maître-assistante-CAMES

Laboratoire Eau, Dépollution, Ecosystème et Santé

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Anderson ANDRIANISA

Membres et correcteurs : Dr. Mariam SOU/DAKOURE

M. Jean Jaques NFON DIBIE

Promotion [2014/2015]

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à toute ma famille, à mes

amis et à l'ensemble de mes connaissances

Trouvez ici la légitime satisfaction et ma

profonde reconnaissance pour les multiples peines

que vous avez endurées pour moi.

REMERCIEMENTS

Après avoir remercié Dieu Tout Puissant, créateur de toutes choses, il serait ingrat pour ma part de ne pas remercier toutes les personnes qui ont permis ou contribué à la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais remercier les directions de l'Institut Pasteur de Côte d'Ivoire et de ZIE (Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement) à travers leurs directeurs généraux respectifs que sont **Pr. Mireille DOSSO** et **Pr. Amadou MAIGA** pour la qualité de la formation théorique et pratique qu'elles m'ont données.

En outre, je tiens vivement à remercier plusieurs personnes pour leur soutien permanent et durable qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail de fin de formation, je cite **Dr. Kalpy Julien COULIBALY**, pour m'avoir accepté comme Stagiaire dans son unité, ainsi que pour avoir mis à ma disposition les ressources nécessaires à mon épanouissement et à l'exécution des différentes tâches durant tout le stage.

Dr. Mariam DAKOURE SOU, pour avoir accepté de m'encadrer, sa disponibilité, son indulgence à mon égard et ses remarques pertinentes en vue de l'amélioration de ce travail ;

Mr Ehuï Pierre et Mlle AMON Lydie, Ingénieurs de recherche à l'IPCI (Institut Pasteur de Côte d'Ivoire), pour leurs sympathies, et leurs contributions à la réalisation de ce travail ;

Mr Assindi, technicien de labo à IPCI pour son aide précieux quant aux suivis des mesures effectués au laboratoire et lors des différents prélèvements.

La doctorante **YAO Rosine**, pour ses conseils et ses critiques en vue de l'amélioration de ce document.

En fin Je remercie enfin tous mes amis et collaborateurs de l'IPCI spécialement Mon frère **Mewé BLAKA, Cissé DAOUDA, YEO Kolo Alassane** pour leur grand soutien et leur assistance.

Je remercie également tous mes camarades de la promotion (2012-2015) en particulier **ADAMOU Issouhou** et mes amis très proches que sont **Djibeyorogo Amy Epyfanni, KONE Gbato, DOSSO Losseni** pour leur disponibilité et leur soutien ;

Mes dernières pensées iront vers mes parents, en particulier mon oncle **BAKAYOKO Soualioho**, pour leur soutien sans faille, leurs conseils, leur patience et leur amour, qui m'ont permis de poursuivre mes études jusqu'à aujourd'hui.

Et tous ceux qui ont apporté leur contribution, petite ou grande, à mon mémoire de fin d'études.

RESUME

L'objectif de cette étude est de caractériser les eaux usées du district d'Abidjan et d'en déduire les impacts environnementaux et sanitaires. Pour ce faire, nous avons procédé à une caractérisation qualitative (physiques, chimiques et bactériologiques) et quantitative des eaux usées dans les grands collecteurs en provenance de trois communes du District d'Abidjan (Yopougon, Abobo, Adjamé et Cocody) d'une part et dans la lagune Ebrié d'autre part, qui est le milieu récepteur final des eaux usées. Les résultats des analyses ont été interprétés à partir de la grille d'analyse sur la qualité des eaux de surface de l'Union Européenne pour l'évaluation des impacts environnementaux, sur les valeurs guide de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2006) et les normes ivoiriennes pour les rejets d'effluents en milieu naturel pour l'évaluation des impacts sanitaires. L'évaluation de la qualité des eaux de la lagune montre qu'elle est fortement polluée par les eaux usées résiduelles du district, puisque ces eaux sont classées dans la catégorie médiocre d'une manière générale dans la grille d'évaluation. Cette situation entraîne des problèmes environnementaux tels que l'eutrophisation qui conduit aussi à un déséquilibre du milieu aquatique. Sur le plan sanitaire, les paramètres microbiologiques (streptocoques fécaux, coliformes fécaux et *E.Coli*) évalués dans les échantillons d'eaux prélevés montrent que ces eaux sont pas recommandables ni pour l'irrigation, ni pour les activités récréatives en ce qui concerne la lagune. Ces effluents présentent ainsi d'énormes risques sanitaires qui sont entre autres la prolifération de maladies hydriques (paludisme, fièvre typhoïde) et la dégradation du cadre de vie des populations riveraines. Ces eaux usées contiennent essentiellement les polluants classiques des rejets domestiques, avec notamment une fraction biodégradable de la pollution carbonée qui donne un rapport DCO/DBO5 de 2,3 en moyenne qui permet un traitement biologique. A l'issue de ce travail, un tel traitement est fortement recommandé pour améliorer le cadre de vie des populations et diminuer les risques sanitaires dans le district.

Mots clés : Abidjan, Caractérisation, Eaux usées, Impacts environnementaux et sanitaires, Lagune Ebrié

ABSTRACT

The objective of this study is to characterize the wastewater district of Abidjan and to derive the environmental and health impacts. To do this, we conducted a qualitative characterization (physical, chemical and bacteriological) and quantitative wastewater in large collectors from three municipalities of the District of Abidjan (Yopougon, Abobo, Cocody and Adjamé) on the one hand and the second lagoon Ebrié, which is the final receiving medium wastewater. Assay results have been interpreted from the analysis grid on the quality of the European Union surface water for the assessment of environmental impacts, the guide values of the World Health Organization (WHO , 2006) and the Ivorian standards for effluent discharge into the natural environment for the assessment of health impacts. The assessment of the water quality of the lagoon shows that it is heavily polluted by waste water district, as these waters are classified as poor general category in the evaluation grid. This situation leads to environmental problems such as eutrophication, which also leads to an imbalance in the aquatic environment. On the health front, microbiological parameters in the water samples taken show that these waters are not recommendable either for irrigation or for recreational activities regarding the lagoon. These effluents and present enormous health risks including the proliferation of water-borne diseases (malaria, typhoid fever) and degradation of the living environment of local residents. This wastewater contain essentially conventional pollutants from domestic waste, including a biodegradable fraction of carbonaceous pollution which gives a COD / BOD5 2.3 on average allowing biological treatment. Following this work, such treatment is recommended to improve the living conditions of populations and reduce health risks in the district.

Keywords: Abidjan, characterization, waste water, environmental and health impacts, Lagoon Ebrié

SIGLES ET ABREVIATIONS

AND : Andokoi

2IE : Institut international de l'eau et de l'environnement

°C : Degré Celsius

μS: micro Siemens

BEA : Bile Esculine Azide

BRVL : la gélose lactosée biliée au cristal violet et au Rouge neutre

C : corniche

CHU : Centre hospitalier régional

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

E. coli : Escherichia coli

FM : Fraternité Matin

IPCI : Institut Pasteur de Cote d'Ivoire

LEDES : Laboratoire Eau, Dépollution, Ecosystèmes et Santé

LT : Lycée technique

MES : Matières En Suspension

mg : milligramme

MG : Marché Gouro

mL: millilitre

NH₃ : Ammoniaque

NO₂⁻: Nitrite

NO₃⁻: Nitrate

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PHN : pharmacie Phénix

PLX : Carrefour deux plateaux

Pseudo: *Pseudomonas*

SO₄²⁻: Sulfate

Salm : *salmonelle*

UFC : Unité Formant Colonies

Z: Carrefour Zoo

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENT	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	v
TABLE DES MATIERES.....	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
I. INTRODUCTION.....	10
II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	12
A. Caractéristique des eaux usées urbains	12
B. La gestion des eaux usées urbains dans les grandes villes africaines : Le cas d'Abidjan	13
C. Pollution des milieux lagunaires : conséquences sanitaires et environnementales.....	14
D. Pollution des milieux lagunaires : conséquence économiques et sociales.....	16
E. Cadre réglementaire et législatif pour la protection de l'environnement en cote d'Ivoire.....	16
F. Evaluation de l'état écologique des cours d'eau - Paramètres physico-chimiques généraux ..	21
III. MATERIEL ET METHODE	22
1. Description du site de l'étude	22
2. Méthode et stratégie d'échantillonnage.....	23
Références	23
B. Evaluation quantitative des eaux usées domestiques et de la charge polluante	25
C. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux usées.....	27
D. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux usées urbains et lagunaires	28
IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	30
A. Résultats de l'évaluation quantitative des eaux usées urbains et qualitative des eaux de la lagune Ebrié.....	30
B. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux usées : impacts environnementaux	33
1. Résultats des paramètres physiques.....	33
2. Paramètres organiques des eaux usées	35
3. Paramètres chimiques minérales	37
C. Evaluation de la qualité microbiologique des eaux usées urbaines et des eaux lagunaires : les impacts sanitaires.....	40
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	43
VI. RECOMMADATIONS	44

A. Aux politiques.....	44
B. Aux populations.....	45
C. Aux industries.....	45
VII. BIBLIOGRAPHIE	46
ANNEXES	x
ANNEXE1 Tableaux récapitulatifs des résultats d'analyses	x
ANNEXE3 : Caractères biochimiques des germes	x
ANNEXE 4 : Images du prélèvement	x

Liste des figures

Figure 1 : envahissement de la lagune par des ordures ménagères et des plantes aquatiques .	15
Figure 2 : présentation de la zone d'étude.....	22
Figure 3: point de prélèvement FM à Adjamé	24
Figure 4: point de prélèvement BT de la lagune	24
Figure 5: Point de prélèvement AND de Yopougon	24
Figure 6:Point de prélèvement PHN de Yopougon	24
Figure 7: Quantification des eaux usées.....	30
Figure 8: Quantification de la pollution en Kg DBO5/j.....	31
Figure 9: Concentrations en DBO5	35
Figure 10: concentration en DCO	36
Figure 11 : Concentrations en Nitrate	37
Figure 12: Concentrations en nitrite	37
Figure 13 : concentrations en ammoniacque.....	39
Figure 14: concentrations en sulfate.....	39
Figure 15 : Image du prélèvement d'eaux usées dans la commune de Yopougon	xi
Figure 16 : Image du prélèvement dans la commune d'Abobo	xii

Figure 17 : Figure 21: Carte de localisation du bassin versant du Gourou dans le district d'Abidjanxiii

Liste des tableaux

Tableau 1: norme ivoirienne et norme et (OMS, 2006) 20

Tableau 2 : Paramètres d'évaluation des eaux de surface..... 21

Tableau 4 : Taux de rejets spécifiques 26

Tableau 5 : suivi des paramètres physicochimiques 27

Tableau 6 : paramètres microbiologiques (dénombrement)..... 28

Tableau 7 : paramètres microbiologiques (mise en évidence) 29

Tableau 8: évaluation qualitatives des paramètres physicochimiques de la lagune..... 32

Tableau 9 : résultats des paramètres physiques mesurés in situ..... 33

Tableau 10: dénombrements de Coliformes fécaux, de streptocoques fécaux, et de E.coli 40

Tableau 11 : Mise en évidence des pseudomonas, E. Coli, salmonelles..... 42

Tableau 11: Récapitulatif des paramètres physiques mesurés in situ x

Tableau 12: Récapitulatif des paramètres chimiques minéraux..... xii

Tableau 13 : récapitulatif des paramètres chimiques organiques en mg/L xiii

Tableau 14: Dénombrement de coliformes fécaux , streptocoques fécaux, et E.Coli....**Erreur !**

Signet non défini.

I. INTRODUCTION

Le développement socio-économique conjugué à la croissance démographique des grandes villes africaines engendre l'augmentation des besoins en eau. Une telle augmentation se traduit par la production et le rejet d'importants volumes d'eaux usées. Ces eaux usées sont généralement rejetées sans traitement préalable dans les milieux récepteurs.

En effet, les industries des grandes agglomérations situées en bordure des lagunes constituent une source de pollution des eaux dues aux rejets des effluents non traités par celles-ci. (Briton et al.). Outre les rejets industriels, la réalisation de grands projets de développement modifiant brutalement la circulation naturelle des eaux, les rejets domestiques et le lessivage des sols agricoles, interviennent également dans la pollution des milieux récepteurs (Koffi-Nevry et al., 2011).

Aussi, l'industrie contribue avec le développement urbain, à la pollution des eaux de surface qui ont progressivement perdu leur caractère naturel et sont pour la plupart eutrophisées (Dongo et al., 2013). Les bilans de pollution réalisés par le Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL, 1998) ont révélé qu'à Abidjan plus de 10% des établissements soumis à autorisation au titre de la réglementation des installations classées ont des rejets industriels considérés dangereux pour l'environnement, notamment dans les cours d'eaux (Lagunes, rivières). On note par ailleurs que 40% de ces établissements ne réalisent pas de bilan de pollution et 70% ne disposent pas de station d'épuration pour traiter leurs eaux usées avant rejet. Les effluents sont donc rejetés dans le milieu récepteur sans traitement préalable. Une telle pratique est particulièrement préoccupante dans le contexte des villes africaines car ces eaux usées non traitées sont utilisées par les populations riveraines notamment en agriculture urbaine. Les conséquences de cette utilisation sont d'abord d'ordre sanitaires en contribuant à la persistance des maladies hydriques à l'origine d'un taux de mortalité élevé des populations dans ces pays (Hamaidi et al., 2009). Ensuite, Ces conséquences sont aussi d'ordre environnemental puisqu'elles entraînent l'eutrophisation de la lagune qui à son tour engendre un déséquilibre de l'écosystème du milieu lagunaire.

Au regard de ce qui précède, la présente étude a pour objectif principal d'évaluer les impacts sanitaires et environnementaux du rejet des eaux usées résiduelles à différents points du district d'Abidjan notamment au niveau de la lagune Ebrié.

Ainsi, il s'agit plus spécifiquement :

- de faire une évaluation quantitative des rejets d'eaux usées domestiques ainsi que l'évaluation de l'état écologique des eaux de la lagune à partir des paramètres physico-chimiques.
- d'évaluer la qualité physicochimique des eaux usées urbains dans les grands collecteurs ainsi que celle de la lagune Ebrié.
- d'évaluer la qualité microbiologique des eaux usées urbains ainsi que celle de la lagune.

La qualité des eaux de la lagune sera évaluée à partir de la grille d'évaluation des eaux de surface de l'Union Européenne (Guide technique de l'évaluation des eaux de surfaces) tandis que la conformité microbiologique des eaux de la lagune sera évaluée par les guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Il s'agit du « Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. World Health Organization . Geneva.36pp » et aussi avec la norme ivoirienne pour le rejet d'effluent liquide dans le milieu naturel « (Arrêté n° 01164 MINEEF/CIAPOL/SDIIC du 04 novembre 2008 portant réglementation des rejets et émissions des Installations Classées pour la Protection de l'environnement) »

Le présent rapport s'articule en trois parties complémentaires de la présente introduction :

- la revue bibliographique sur la problématique traitée
- la présentation de la méthodologie de l'étude
- l'interprétation des résultats de l'étude

Le rapport se termine par une conclusion et des recommandations

II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

A. Caractéristique des eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines sont en grande partie les eaux distribuées par les systèmes d'approvisionnement en eau potable sont polluées par les activités anthropiques. Elles comprennent également les eaux de ruissellement. Ces dernières étant constituées par l'ensemble des eaux pluviales, les eaux d'arrosage des voies publiques et des parcs de stationnement, les eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours. Les eaux urbaines sont donc constituées des (IBERINSA, 2001)

- eaux sanitaires provenant de l'activité humaine et domestique, des restes d'aliments, des déjections, des détergents, des savons et des produits de nettoyage etc. ;
- eaux associées aux activités : des centres commerciaux, des hôpitaux, des écoles, des casernes, hôtels, bars, restaurants ;
- eaux résiduaires industrielles déversées dans des collecteurs urbains ;
- eaux résiduaires en provenance des centres d'élevage installés au sein des centres de population.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières minérales et des matières organiques. Ces contaminants peuvent être quantifiés par le biais des mesures telles que les métaux lourds (cuivre, zinc, plomb, cadmium), les matières en suspension totales (MEST) les composés nitrogénés et phosphatés (N total, P total), les composés ammoniacaux (N-NH₄). (Tardat-Henry, 1984; Gray&Becker, 2002)

Les eaux noires (eaux des toilettes) sont les principales sources de composés azotés, phosphorés et ammoniacaux dans les eaux usées urbaines. Les eaux domestiques sont responsables de l'augmentation de la demande en oxygène, 60% pour les eaux de toilettes et 40 % pour les eaux grises (eaux de cuisine, de douche, de lessive) (Ericksson et al., 2002) ; Gray et Becker, 2002)

Les eaux usées peuvent être des sources de contamination pour les populations riveraines dues à la présence de microorganismes pathogènes tels que *E. coli*, *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, *Shigella* ou encore les virus de Norwalk et de l'hépatite A (Petterson et al., 2010).

B. La gestion des eaux usées urbaines dans les grandes villes africaines : Le cas d'Abidjan

La ville d'Abidjan s'est développée sur le pourtour de la lagune Ebrié. La population de cette ville est actuellement estimée à environ 4 millions d'habitants (RGPH, 2014). Cette poussée démographique est due à l'accroissement naturel de la population mais aussi aux migrations provenant de l'intérieur du pays et des pays voisins de la Côte d'Ivoire. Cette démographie galopante n'est pas sans causer de problèmes aux autorités locales en particulier à travers les problèmes d'assainissement qu'elle engendre. En effet, le réseau de collecte des eaux usées de la ville d'Abidjan est insuffisant et représente 1700 km de conduits et plus de 50 ouvrages (KabaetAbé, 1992). Les eaux usées drainées par ce réseau sont pour l'essentiel rejetées dans la lagune. Pour la ville d'Abidjan, ville qui accueille 44% de la population urbaine de Côte d'Ivoire, le taux d'accès à l'assainissement avant 2002 s'élevait à moins de 40% (INS, 1998). Le réseau de collecte des eaux usées est estimé à 2000 km (1700 km en 1991) et a été mis en place il y a plus de 20 ans. La Côte d'Ivoire n'a pas suffisamment de raccords pour recueillir les déchets ménagers d'eaux usées. En effet, le grand collecteur de base dont les premières réalisations ont débuté en 1977 pour s'achever en 1984, part d'Abobo (nord de la ville jusqu'à Port-Bouët (sud de la ville) pour se jeter dans la mer. Malheureusement, ce collecteur de base ne possède pas assez de ramifications. C'est dire que toutes les eaux usées de Cocody, de Yopougon, de la Riviera et de Bingerville situés aux extrémités nord, est et sud-est de la ville ne sont pas raccordées à ce collecteur de base. Le taux de raccordement des ménages au réseau est faible. Selon les estimations de l'ORSTOM en 1990, seulement 30% des ménages (soit 750 000 habitants) sont raccordés au réseau qui décharge ses eaux usées dans la lagune sans aucun traitement. 45% de la population (soit 1 125 000 habitants) utilisent des fosses septiques ou des latrines et 25% (soit 625 000 habitants) n'ont aucun équipement. Leurs eaux usées sont déversées dans la lagune, soit par les écoulements de surface soit par les rejets des vidanges des fosses septiques (Tessard, 1995).

Selon Dufour et Slepoukha (1975), dans la zone urbaine d'Abidjan, le volume des eaux usées domestiques déversées dans la lagune chaque année, équivaut à environ 18% du volume total lagunaire (estimé à $2,6 \times 10^9$ m³). Les eaux usées domestiques représentent plus de la moitié du volume total des effluents déversés dans la lagune. A l'échelon de la ville d'Abidjan et de ses communes, les quartiers non desservis ou mal desservis par la collecte sont essentiellement des quartiers à faible niveau de vie et des zones d'habitats spontanés.

C. Pollution des milieux lagunaires : conséquences sanitaires et environnementales

La pollution des milieux lagunaires, notamment la lagune Ebrié, a des effets directs et indirects très importants sur la vie humaine. Ses impacts vont se répercuter dans tous les domaines de la vie et peuvent être évalués à deux niveaux: sur l'écosystème aquatique et sur l'homme. Quelques uns des impacts mis en cause, qui sont d'ordres socio-économique, sanitaire, écologique, environnemental, touristique et culturel, sont décrits brièvement comme suit:

Premièrement, il est important de souligner que la lagune reçoit les rejets d'eaux usées industrielles qui sont installées pour la plupart non loin des berges lagunaires. Les composés chimiques relargués par ces zones industrielles peuvent donc provoquer la pollution du milieu naturel en entraînant un déséquilibre biologique. Les polluants risquent d'être longtemps présents dans le milieu naturel ce qui pourrait représenter un risque à court, à moyen et à long terme pour les espèces vivantes de ces écosystèmes (Emmanuel, 2004). Cette situation peut alors entraîner une modification de la diversité biologique de la lagune. Par exemple la concentration létale (CI50 96h) pour un certain nombre d'espèces de poissons varie entre 0.2 et 1.1 mg NH₃/L pour les salmonidés et entre 0.7 et 3.4 mg NH₃/L pour les Cyprinidés (Garric, 1987).

Dans les eaux côtières comme la lagune Ebrié, des approvisionnements sans cesse croissants en nitrates stimulent l'eutrophisation dans les lagunes (Nixon, 1995; Dunstan, 1971). Ce phénomène conduit à des catastrophes écologiques comme l'étouffement de la lagune et sont envahissement par des plantes aquatiques (Bell, 1992) et la disparition à terme de la faune aquatique par une diminution drastique des stocks de crustacées, mollusques et poissons à nageoire (Nixon et al., 1986).

Selon le Centre Ivoirien Antipollution(CIAPOL, 1998) les végétaux aquatiques envahissent le plan d'eau lagunaire. Il constitue la pollution la plus spectaculaire et la plus gênante de la lagune Ebrié rendant difficile ou empêchant ainsi le transport lagunaire. Ces végétaux rencontrés sur le plan d'eau de la lagune Ebrié sont : la laitue d'eau (*Pistia stratiotes* L.), la fougère flottante (*Salvinia molesta* Mitchell) et la jacinthe d'eau (*Eichornia*

crassipes Mart). Ces plantes aquatiques tirent leurs éléments nutritifs des rejets industriels et domestiques en putréfaction dans le milieu aquatique.

La figure (1) présente la lagune Ebrié envahie par les ordures de toutes sortes et des plantes aquatiques du côté de la baie de Cocody.



Figure 1 : envahissement de la lagune par des ordures ménagères et des plantes aquatiques

La zone périurbaine d'Abidjan (Côte d'Ivoire), connaît un développement de la culture des légumes non loin des berges lagunaires et autres points marécageux (Koffi-Nevry et al., 2011). Dans des contextes difficiles marqués notamment par le manque de moyens financiers pour l'approvisionnement en eau potable et en engrais de synthèse pour la fertilisation des sols, les maraîchers sont poussés à utiliser les eaux usées pour l'irrigation et les déjections d'animaux comme engrais pour le sol (Pettersson et al., 2010). Ces pratiques pourraient favoriser une forte contamination des légumes par des microorganismes dont certains peuvent se révéler dangereux pour le consommateur. La consommation de fruits et légumes constitue un facteur de risque potentiel d'infection par des bactéries entéropathogènes telles que *Salmonella* et *Escherichia coli O157* (Pettersson et al., 2010). Des cas d'intoxications alimentaires liés à l'ingestion de légumes contaminés ont été identifiés un peu partout dans le monde (Ackers et al., 1998). Parmi les facteurs généralement impliqués dans la contamination des légumes figure l'eau d'arrosage (Pettersson et al., 2010).

En plus les femmes utilisent l'eau de la lagune pour la cuisson de l'attiéké et le nettoyage des ustensiles et des sacs utilisés tout au long du processus de production. Elles s'exposent ainsi à

des risques de maladies à travers le contact avec les eaux lagunaires polluées et exposent également les consommateurs à des risques de maladies liées non seulement à une contamination microbiologique de l'attiéké, mais aussi à une contamination par certains métaux lourds et pesticides présents dans la lagune (Adingra and Kouassi, 2011)

D. Pollution des milieux lagunaires : conséquence économiques et sociales

Ainsi, sur le plan socio-économique on remarque que la pêche en lagunaire ne sert pas seulement à la nourriture des pêcheurs et de leurs familles. Le poisson pêché est aussi commercialisé et rapporte ainsi de l'argent qui augmente le capital financier des familles de pêcheurs. Avec la pollution lagunaire et la raréfaction du poisson qui s'en suit, on assiste à la réduction du capital financier des ménages de pêcheurs et à l'appauvrissement de l'alimentation des populations en protéines provenant des poissons. La pollution de la lagune Ebrié la rend impropre et disqualifiée pour les activités sportives, touristiques et culturelles; Enfin, ces eaux connaissent, par période, une pollution microbienne (plus de 100.000 coliformes totaux par 100 ml), ce qui interdit toute baignade d'après les normes (OMS, 2006). en effet, les activités récréatives autour de la lagune dont les jeunes ont fait cas au cours des discussions, contribuaient à renforcer les relations sociales entre les individus en créant pour eux des espaces et des moments communs de retrouvailles joyeuses. Aujourd'hui, le capital social issu de ces activités n'existe plus et les enfants qui continuent à se baigner dans la lagune s'exposent aux risques de maladies diarrhéiques ou toute autre maladie susceptible d'être provoquées par ces eaux (Darboux, 2008)

E. Cadre réglementaire et législatif pour la protection de l'environnement en cote d'Ivoire.

Afin de se donner un cadre juridique approprié à la protection et à une gestion durable de l'environnement, la Côte d'Ivoire a élaboré plusieurs textes. Dont les plus pertinentes sont les suivantes :

- **La loi Cadre n°96-766 du 3 Octobre 1996 portant Code de l'Environnement.**

Ce code fixe le cadre général des textes juridiques et institutionnels relatifs à l'Environnement. Les principes généraux de la loi cadre sont :

Le Principe de précaution : « Lors de la planification ou de l'exécution de toute action, des mesures préliminaires sont prises de manière à éviter ou réduire tout risque, tout danger pour l'environnement. Toute personne dont les activités sont susceptibles d'avoir un impact sur

l'environnement doit, avant d'agir, prendre en considération les intérêts des tiers ainsi que la nécessité de protéger l'environnement. Si, à la lumière de l'expérience ou des connaissances scientifiques, une action est jugée susceptible de causer un risque ou un danger pour l'environnement, cette action n'est entreprise qu'après une évaluation préalable indiquant qu'elle n'aura pas d'impact préjudiciable à l'environnement ».

Le Principe de Substitution : « Si à une action susceptible d'avoir un impact préjudiciable à l'environnement, peut être substituée une autre action qui présente un risque ou un danger moindre, cette dernière action est choisie même si elle entraîne des coûts plus élevés en rapport avec les valeurs à protéger ».

Le Principe de Préservation de la diversité biologique : « Toute action doit éviter d'avoir un effet préjudiciable notable sur la diversité biologique ».

Le Principe de Non-dégradation des ressources naturelles : « Pour réaliser un développement durable, il y a lieu d'éviter de porter atteinte aux ressources naturelles tels que l'eau, l'air et les sols qui, en tout état de cause, font partie intégrante du processus de développement et ne doivent pas être prises en considération isolement. Les effets irréversibles sur les terres doivent être évités dans toute la mesure du possible ».

Le Principe "Pollueur-Payeur" : « Toute personne physique ou morale dont les agissements et/ou les activités causent ou sont susceptibles de causer des dommages à l'environnement est soumise à une taxe et/ou à une redevance. Elle assume en outre toutes les mesures de remise en état ».

Le Principe d'Information : « Toute personne a le droit d'être informée de l'état de l'environnement et de participer aux procédures préalables à la prise de décisions susceptibles d'avoir des effets préjudiciables à l'environnement ».

Le Principe de Coopération : « Les autorités publiques, les institutions internationales, les associations de défense et les particuliers concourent à protéger l'environnement à tous les niveaux possibles ».

L'Article 75 stipule que : « Sont interdits : les déversements, les rejets de tous corps solides, de toutes substances liquides, gazeuses, dans les cours et plans d'eaux et leurs abords ; toute activité susceptible de nuire à la qualité de l'air et des eaux tant de surface que souterraines »

- **Loi n° 98-755 du 23 décembre 1998 portant Code de l'Eau.**

Il définit les mécanismes destinés à une gestion durable de cette ressource renouvelable. Il institue la notion de gestion par bassin versant hydrographique, renforce le cadre institutionnel du secteur de l'eau et met un accent particulier sur la planification et la coopération en matière de gestion de la ressource. Les objectifs de ce Code sont entre autres :

- la préservation des écosystèmes aquatiques ;
- la protection contre toute forme de pollution ;
- la protection, la mobilisation et la gestion des ressources en eau
- la valorisation de l'eau comme ressource économique et sa répartition de manière à satisfaire ou à concilier tous les différents usages, activités ou travaux ;
- la planification cohérente de l'utilisation des ressources en eau tant à l'échelle du bassin versant hydrologique qu'à l'échelle nationale.

Dans son Article 1, il est stipulé : " Les déversements, dépôts de déchets de toute nature ou d'effluent radioactifs, susceptibles de provoquer ou d'accroître la pollution des ressources en eau sont interdits".

Dans son Article 49, il est stipulé : " Tout rejet d'eaux usées dans le milieu récepteur doit respecter les normes en vigueur ".

Dans son Article 50, il est stipulé : "L'usage d'explosifs, de drogues, de produits toxiques comme appât dans les eaux de surface et susceptible de nuire à la qualité du milieu aquatique est interdit".

Dans son Article 51, il est stipulé : "Il est interdit de déverser dans la mer, les cours d'eau, les lacs, les lagunes, les étangs, les canaux, les eaux souterraines, sur leur rive et dans les nappes alluviales, toute matière usée, tout résidu fermentescible d'origine végétale ou animale, toute substance solide ou liquide, toxique ou inflammable susceptibles de constituer un danger ou une cause d'insalubrité, de provoquer un incendie ou une explosion.

- **loi n° 81-640 du 31 juillet 1981 portant Code pénal ivoirien :**

Le livre II de la dite loi qui traite du Droit pénal spécial, consacre le chapitre 9 de son titre premier aux « atteintes à la santé, à la salubrité et à la moralité publique » et en son article 328 prévoit les peines encourues. Cette loi stipule par exemple que :

« Est puni d'un emprisonnement de quinze jours à six mois et d'une amende de 100 000 à 1 000 000 de francs ou de l'une de ces deux peines seulement, celui qui souille ou pollue directement ou indirectement, par quelque moyen que ce soit, tout produit ou élément naturel nécessaire à la vie ou à la santé des populations. »

Pour le contrôle des rejets des installations classées tels que les industries, l'Etat de Cote d'Ivoire a mis en place à travers le ministère de l'environnement et du développement durable des normes à respecter avant tous rejets liquides dans le milieu naturel. Au plan du respect des normes nationales et internationales sur les valeurs limites pour les rejets des effluents (Arrêté n°01164/MINEEF/CIAPOL/SDIIC du 04 novembre 2008).

Le tableau (1) donne les valeurs guides pour l'OMS(Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. World Health Organization. Geneva.36pp) et ceux de la norme ivoirienne)

Tableau 1: valeurs admissibles pour les rejets des eaux usées et valeurs guides (OMS, 2006)

Paramètres	Normes (OMS)	Normes ivoiriennes
pH	6.5-9	5.5-8.5
Température		40oC
Conductivité	400 µS/Cm	
Turbidité	50 NTU	
Nitrate	50mg/L	
Nitrite	-	
Sulfate	-	
Ammoniaque	-	
DBO5	100-150 mg/L	100-150 mg/L
DCO	250-500 mg/L	250-500 mg/L
MES	-	50-150 mg/L

F. Evaluation de l'état écologique des cours d'eau - Paramètres physico-chimiques généraux

Le tableau (2) présente la liste des paramètres et leurs normes de qualité environnementales (NQE) à respecter pour évaluer la qualité à travers les paramètres physicochimiques des eaux de surfaces. Ces valeurs sont celles de la directive 2008/105/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 2008.

Tableau 2 : Paramètres d'évaluation des eaux de surface

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'états				
	Très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
Température	20	21,5	25	28	
pH max	6.5	6	5.5	4.5	
pH min	8.2	9	9.5	10	
Conductivité	-	-	-	-	
Nitrite	0.1	0.3	0.5	1	
Nitrate	10	50	-	-	
Sulfate	-	-	-	-	
DBO5	3	6	10	25	

Source : Guide technique évaluation des eaux douces de surface de métropole (MEEDDAT, 2009)

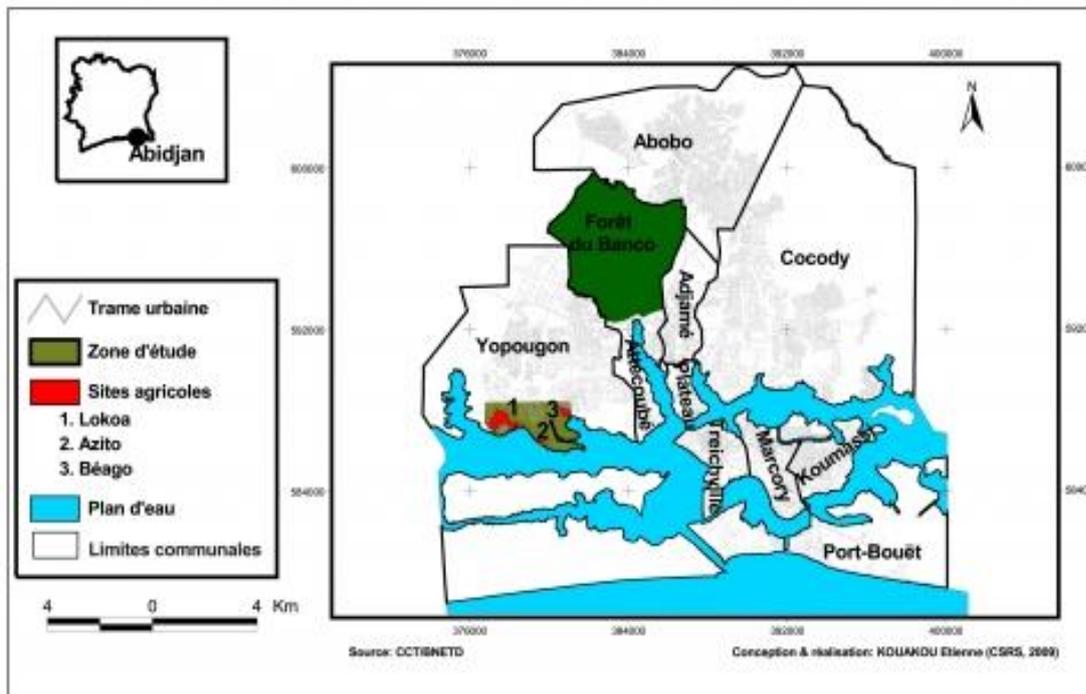
Les limites de chaque classe sont prises en compte de la manière suivante :] valeur de la limite supérieure (exclue), valeur de la limite inférieure (inclue)]

- : pas de valeurs établies, à ce stade des connaissances ; seront fixées ultérieurement

III. MATERIEL ET METHODES

1. Description du site de l'étude

La figure (2) présente les différentes communes de la ville d'Abidjan, leur situation géographiques les unes par rapport aux autre



Source : BNETD, 1996

Figure 2 : présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est comprise entre 4°10 et 5°30 de latitude Nord et 3°50 et 4°10 de longitude Ouest (Figure 2). La ville d'Abidjan, capitale économique de la Côte d'Ivoire, est située sur la façade maritime en bordure de la lagune Ebrié. Elle s'étend sur une superficie de 58 000 ha dont 9 000 ha de lagunes (16%) et 49 000 ha de terre ferme (84%). Depuis 1978, la ville d'Abidjan comprend dix communes (Abobo, Adjamé, Attécoubé, Cocody, Koumassi, Marcory, Plateau, Port- Bouët, Treichville, Yopougon) différent les unes des autres par le mode d'occupation du sol, le niveau de vie des populations et les activités commerciales et industrielles (BNETD, 1996). Les eaux usées des anciennes communes tels que Koumassi, Marcory, Treichville et Port-Bouët) sont prises en charge par le réseau d'égout qui se déverse en haute mer sans traitement. Les eaux usées de nouvelles communes extensibles telles que :

Abobo, Adjamé, Cocody, et Yopougon ne sont pas prises en compte par le réseau d'égouts existant. Leurs eaux usées sont alors drainées à travers de grands collecteurs dans la lagune Ebrié. Ces dernières ont donc attiré notre attention et ont fait l'objet d'études afin d'évaluer leur contribution dans la pollution lagunaire. Aussi serait-il important de noter que ces nouvelles communes abritent la grande majorité des bidonvilles d'Abidjan. Elles sont aussi les plus peuplées du district, posant ainsi le problème de la gestion de leurs eaux usées. Ainsi en fonction de leurs grandeurs, plusieurs points de prélèvement sont marqués dans ces différentes communes. Pour évaluer l'impact du rejet de ces eaux usées urbaines, nous nous sommes aussi intéressés à l'évaluation de la qualité de la lagune proprement dite.

2. Méthode et stratégie d'échantillonnage

Chaque site d'étude (tableau 4), comprend entre 1 à 4 stations de prélèvement. Sur chaque station 4 échantillons ont été prélevés dont 2 échantillons pour la microbiologie et 2 échantillons pour les paramètres physico-chimiques.

Tableau 3: points de prélèvement d'échantillons

Sites	Nombres de points	repères	Références
Abobo	2	<ul style="list-style-type: none"> • Zoo d'Abidjan • Carrefour II plateaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Zoo • Iiplx
Adjamé	1	<ul style="list-style-type: none"> • Fraternité Matin 	<ul style="list-style-type: none"> • FM
Cocody	2	<ul style="list-style-type: none"> • Lycée technique • Corniche 	<ul style="list-style-type: none"> • LT • C
Yopougon	4	<ul style="list-style-type: none"> • Lycée d'Andokoi • CHU de Yop • Marché Gouro • Pharmacie Phenix 	<ul style="list-style-type: none"> • And • CHU • MG • Phenix
Lagune Ebrié	2	<ul style="list-style-type: none"> • baie de Treichville • baie cocody 	<ul style="list-style-type: none"> • BT • BC

Les images ci-dessous présentent quelques points de prélèvement. La figure (4) représente la baie de la Lagune du Coté de Treichville que nous avons référencé (BT) tandis que la figure

(3) représente le seul point de prélèvement de la commune d'Adjamé non loin de Fraternité matin (FM). La figure (5) et (6) sont des points de prélèvement de la commune de Yopougon du coté respectivement d'Andokoi et de la pharmacie Phenix.



Figure 3: point de prélèvement FM à Adjamé



Figure 4: point de prélèvement BT de la lagune



Figure 5: Point de prélèvement AND de Yopougon



Figure 6: Point de prélèvement PHN de Yopougon

Les échantillons ont été prélevés en utilisant la méthode de prélèvement manuel instantané durant le mois d'Aout à Septembre 2015 à raison d'une campagne par semaine et par site. Au total 44 échantillons d'eaux usées ont été prélevés. Les échantillons d'eaux prélevés ont été mis dans des bouteilles en verre d'un (01) litre pour les analyses microbiologiques et en polyéthylène pour les analyses physico chimiques. Sur le terrain, avant le remplissage des bouteilles, celles-ci ont été lavées trois fois avec l'eau à prélever. Le remplissage des bouteilles a été fait à ras bord puis le bouchon vissé afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère pour les analyses physico-chimiques. Quant aux échantillons pour les analyses microbiologiques, un espace d'environ 5% du volume de la bouteille a été laissé libre pour permettre les échanges gazeux des microorganismes. Les échantillons d'eau ont été ensuite transportés au laboratoire pour analyse dans une glacière contenant des accumulateurs de froid à 4 °C environ. Lors des prélèvements, les paramètres physiques des eaux tels que la température, le pH, et la conductivité ont été mesurés *in situ*.

A. Evaluation quantitative des eaux usées domestiques et de la charge polluante

La quantification des volumes d'eaux usées et de la charge polluante produits par les ménages a été calculée à partir des quantités d'eau potable consommées par les populations. Les ratios de consommation d'eau potable et rejets spécifiques correspondants sont indiqués également dans le tableau (4). Ces paramètres sont fonction du niveau de vie des populations. Les rejets spécifiques constituent le facteur multiplicateur qui, appliqué aux consommations spécifiques en eau potable et au nombre d'habitants, permet de déterminer les quantités d'eaux usées produites par les ménages.

La charge polluante des eaux usées domestiques est évaluée à partir des paramètres tels que la demande biologique en oxygène (DBO5). L'étude menée par (NEDECO, 1981), dans les quartiers d'Abidjan, a révélé que par jour, les quartiers résidentiels généraient 35 g de DBO5, contre 30 g dans les quartiers économiques et 25 g dans les quartiers évolutifs et spontanés. Ces ratios restent encore valables et ont été utilisés dans cette étude. Les volumes et la charge polluante des eaux usées rejetées dans la nature, hors des systèmes d'évacuation, ont été calculés selon le mode adopté par (BCEOM, 1984). En effet, BCEOM dans son étude estime que dans la conception générale des systèmes d'assainissement dans le contexte africain les volumes et charges polluantes rejetés à l'égout sont estimés à 40% de la production totale, soit

60% de la production des eaux usées domestiques. Ce taux n'ayant subi aucune modification à ce jour, a servi à calculer les quantités d'eaux usées domestiques et la charge polluante rejetée hors et dans le système d'égout pour l'ensemble de nos différents sites.

Le tableau (3) présente les consommations spécifiques en eau potable (L/habt/jour) et les taux de rejets spécifiques des eaux usées (L/habt/jour) en fonction du type d'habitation et du niveau de vie des populations.

Tableau 3 : Taux de rejets spécifiques des eaux usées résiduaires

Ancienne typologie	Niveau de vie	Consommation spécifique en eau potable (L/habt/jour)	Taux de rejets spécifique des eaux usées L/habt/jour
Habitat résidentiel (1)	Haut niveau de vie	340	0.45
Habitat économique (2)	Niveau de vie moyen	90	0,80
Habitat spontané (3)	Faible niveau de vie	60	0,8

Source (BCEOM,1982)

(1) Habitat individuel bon standing

(2) Habitat collectif moyen standing, habitat collectif bon standing, habitat individuel économique, habitat individuel moyen standing, Habitat cour commune Habitat précaire

B. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux usées urbaines et lagunaires

La caractérisation des eaux usées consiste à évaluer la qualité des eaux usées urbaines et lagunaires (Ebrié) par la mesure de leurs paramètres physicochimiques et bactériologiques.

Le tableau (4) présente les méthodes de mesures des paramètres physicochimiques

Tableau 4 : suivi des paramètres physicochimiques des eaux usées urbaines et lagunaires

Paramètres	Unités	Méthodes
pH		Le pH, la température, la conductivité ont été déterminés <i>in situ</i> à l'aide d'un appareil multi paramètres de marque Hydrocheck.
Temperature	oC	
Conductivité	uS/cm	
Turbidité	NTU	La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre (Turbidimeter) de marque Wagtech
Nitrite(NO₂)	mg/L	Le suivi des paramètres chimiques minéraux a consisté au dosage de l'ammoniaque, des nitrites, des nitrates, du sulfate à l'aide d'un photomètre de marque Wagtech (CP 1000)
Nitrate(NO₃)	mg/L	
Ammoniaque (NH₃)	mg/L	
MES	mg/L	La détermination des matières en suspension (MES) a été effectuée par filtration sur membrane (microfibre de type wattman GF/C et de millipore 0.45µm),
DBO	mg de O ₂ /L	La DBO ₅ a été déterminée par la méthode respirométrique à l'aide d'un Oxitop. Elle a consisté à conserver un volume représentatif de l'échantillon (164 ml) dans une enceinte thermostatée à 20°C à l'obscurité, pendant 5 jours suivi de la lecture.
DCO	mg de O ₂ /L	La DCO a été analysée par la méthode de digestion en milieu acide dans un excès de dichromate de potassium (K ₂ Cr ₂ O ₇), suivie d'une lecture au spectrophotomètre DR 6000 à 620 nm.

C. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux usées urbains et lagunaires

Le tableau (5) donne la méthode de dénombrement des *E.coli*, Streptocoques fécaux, coliformes fécaux en précisant le milieu et la technique d'isolement utilisés

Tableau 5 : paramètres microbiologiques (dénombrement)

Paramètres de suivi	Unités	Méthodes
<i>Escherichia coli</i>	UFC/ mL	<ul style="list-style-type: none"> Milieu d'isolement : REC 2 (Rapide E .coli2) à incuber à 44 °C pendant 24h Technique utilisée : ensemencement par étalement
<i>Streptocoques fécaux</i>	UFC/ mL	<ul style="list-style-type: none"> Milieu d'isolement utilisé : Bile Esculine Azide (BEA) Technique : Ensemencement dans la masse puis on incube à 37°C pendant 24h
<i>Coliformes fécaux</i>	UFC/mL	<ul style="list-style-type: none"> Milieu utilisé : la gélose lactosée biliée au cristal violet et au Rouge neutre (VRBL) à incubé à 44°C Technique utilisée : est l'ensemencement par étalement

Le dénombrement a été fait suivant la formule suivante :

$$N = \frac{\sum C}{(n1 + 0.1 * n2)(d.v)}$$

- N : Nombre d'UFC par gramme ou par mL de produit initial
- $\sum C$: Somme des colonies des boites interprétables
- V: volume de solution déposée (1mL)
- n1: nombre de boites considéré à la première dilution retenue
- n2 : nombre de boite considéré à la seconde dilution retenue
- d : facteur de la première dilution retenue

Le tableau (6) présente la mise en évidence des *E. Coli*, *Pseudomonas*, et *salmonelles* par la méthode classique de la bactériologie qui comprend 3 grandes étapes : l'enrichissement, l'isolement, Tests d'identification biochimiques

Tableau 6 : paramètres microbiologiques (mise en évidence des *E.coli*, *pseudomonas* , *salmonelles*)

Paramètres de suivi	Unités	Méthodes
<i>E. coli</i>	Présence/Absence	<ul style="list-style-type: none"> Enrichissement : 1 mL de l'échantillon + 9 mL de EPT (1) Isolement : (2) sur le milieu Rapide E.coli 2(Rec2) Colonies suspects: violettes Testes d'Identification biochimiques : Portoir réduit de LEMINOR (Kligler-Hajna, Lysine-fer , citrate) (1)
<i>Pseudomonas</i>	Présence/Absence	<ul style="list-style-type: none"> Enrichissement : Eau peptone tamponnée (EPT) 1 mL de l'échantillon + 9 mL de EPT (1) Isolement : (2) sur le milieu Cétrimide(1) Colonies suspects: vertes Testes de différenciation des pseudos : le King A et le King B pour différencier les .Pseudo.A et les Pseudo.SP (1)
<i>salmonelle</i>	Présence/Absence	<ul style="list-style-type: none"> Pré-enrichissement : 1 mL de l'échantillon + 9 mL de EPT (1) Enrichissement : 1 mL de l'échantillon pré-enrichie + 9 mL du bouillon Rappaport Vassiliadis (1) Isolement (2) sur le milieu Hectoen .(1) Colonies bleu/verte avec centre noire Testes d'Identification biochimiques : Portoir réduit de LEMINOR (Kligler-Hajna, Lysine-fer , citrate de Simmons urée-indole) (1)

(1) A incubé pendant 24h à 37°C

(2) Etalement par strie en cadran

EPT : Eau peptonée Tamponnée (milieu d'enrichissement)

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

A. Résultats de l'évaluation quantitative des eaux usées urbaines et qualitative des eaux de la lagune Ebrié

Le figure (7) présente les quantités d'eaux usées issues des ménages selon qu'elles sont prises en charge par les égouts ou par les différentes communes étudiées.

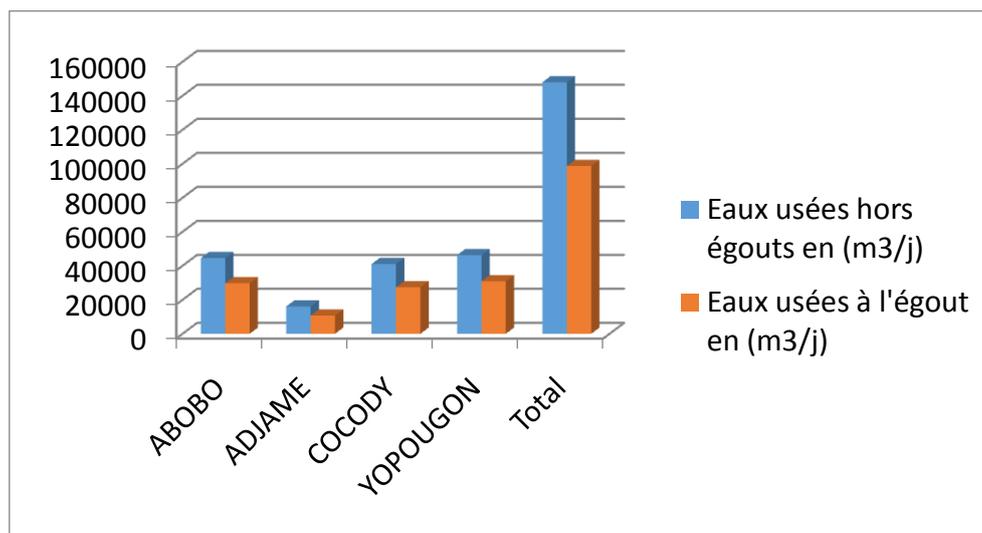


Figure 7: Quantification des eaux usées résiduaire

Les volumes d'eaux usées qui s'écoulent dans les rues et à travers les grands collecteurs sont largement supérieurs à ceux qui sont prise en charge par le réseau d'égouts existants. Ce débit qui s'élève à plus de 14000 m³/j n'a d'autre issue que de se déverser dans la lagune Ebrié. Sur tous les sites étudiés le constat est le même. Les volumes d'eaux usées s'écoulant hors égouts sont supérieurs à ceux qui sont pris en charge par le réseau. Ce qui nous montre que le réseau existant n'est pas assez étendu et que le taux de raccordement reste encore faible. Cette valeur de 14000m³/j ne représente que la production de 4 communes sur 10. Le rôle récepteur de la lagune Ebrié a été évoqué par de nombreux auteurs (Koné et Aka, 1996) qui ont montré que toutes les industries de l'agglomération d'Abidjan y déversaient leurs eaux usées estimées à 12 000 m³/j. Par ailleurs, le rejet de toutes ces quantités quotidiennes d'eaux usées dans la lagune va contribuer fortement à une dégradation rapide de la qualité des eaux de la lagune et ainsi engendrer des problèmes d'ordre environnemental et sanitaire. On remarque aussi que la production d'eaux usées serait liée au nombre d'habitants des communes.

Le figure (8) présente la pollution organique exprimée en kg de DBO5/j pour les différentes communes étudiées slon que la pollution soit à l'égout ou non.

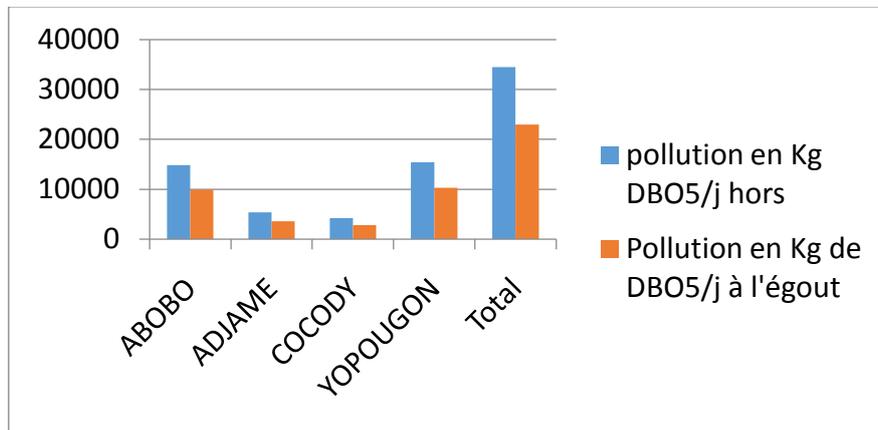


Figure 8: Quantification de la pollution en Kg DBO5/j

Environ 35000 Kg DBO5 arrivent chaque jour dans la lagune. Ce fait contribue fortement à l'eutrophisation de la lagune qui engendre un déséquilibre du milieu aquatique. Il est aussi important de souligner que Yopougon et Abobo sont les plus grands contributeurs à la pollution lagunaire. Cette grande quantité de matière organique drainée dans la lagune va fortement contribuer à son étouffement. En effet les microorganismes ont besoin d'oxygène pour dégrader la matière organique dans le milieu naturel. Une trop grande concentration en matière organiques va contribuer à la diminution considérable d'oxygène dans le milieu. Cette situation va engendrer le dégagement de mauvaises odeurs aux abords de la lagune Ebrié.

Le tableau (7) présente l'évaluation de la qualité physicochimique de l'eau de la lagune Ebrié par la méthode proposée par la directive 2008/105/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 2008. Il donne les paramètres classés en fonction de leurs valeurs comparés aux limites de classe.

Tableau 7: évaluation qualitatives des paramètres physicochimiques de la lagune

Paramètres	Valeurs	Classes
Température (oC)	25	Moyen
pH	7.85	Bon
Conductivité (µS/Cm)	39,5	-
Nitrite (mg/L)	0,2	Médiocre
Nitrate (mg/L)	3,35	-
Sulfate (mg/L)	78,5	-
DBO5 (mg/L)	125	Mauvais

On remarque d'une manière générale que la lagune Ebrié est fortement polluée vue les résultats de l'évaluation des paramètres chimiques minéraux (nitrites, nitrates) et organiques (DBO5). Ces valeurs confirment l'assertion selon la quelle les eaux usées urbaines ont un impact significatif sur la qualité des eaux de la lagune. En effet, la lagune reçoit des eaux usées non seulement des industries mais aussi des communes à travers les grands collecteurs (Dongo et al., 2013). Des approvisionnements sans cesse croissants en nitrates stimulent l'eutrophisation anthropique dans les estuaires (Nixon, 1995). Ce phénomène conduit à des catastrophes écologiques. Ce taux très élevé en DBO5 classé très mauvais témoigne d'une pollution organique des eaux de la lagune provenant des eaux usées domestiques des communes du district. Un abattement de ces paramètres s'avère donc nécessaire.

B. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux usées : impacts environnementaux

1. Résultats des paramètres physiques

Le tableau (8) présente les résultats des mesures des paramètres physiques mesuré *in situ* et les valeurs limites admissibles selon la norme ivoirienne et l'OMS.

La couleur rouge indique les valeurs hors normes et la couleur orange indique les valeurs limites admissible selon la norme ivoirienne (Arrêté n° 01164 MINEEF/CIAPOL/SDIIC du 04 novembre 2008 portant réglementation des rejets et émissions des Installations Classées pour la Protection de l'environnement) et de l'(OMS, 2006)

Tableau 8 : résultats des paramètres physiques mesurés in situ

	Norme ivoirienne	Norme OMS	Abobo	Cocody	Adjamé	Lagune Ebrié	Yopougon
PH	5.5 – 8.5	6.5 - 8.5	6.95	6.90	6.89	7.85	7.42
Température (°C)	40	30	25.5	24.5	24	25	23.5
Conductivité (µS/Cm)	*	400	44.85	40.74	38.20	39.7	33.80
Turbidité (NTU)	*	50	52.15	70.15	123	74.25	106.25
MES (mg/L)	50 – 150	*	76	91.5	68	162	174

(*) Représente l'absence de valeurs de ces paramètres

Le Tableau (8) indique clairement que les paramètres physiques respectent pour la plupart les normes de rejets ivoiriennes et les valeur guides fixés par l'OMS à l'exception de la turbidité et des matières en suspension (MES). La turbidité moyenne des eaux usées des collecteurs principaux de la ville d'Abidjan est de 85,16 NTU. Les valeurs de turbidité dépassent de loin

les valeurs guides de l'OMS pour tous les sites. Ces valeurs élevées de turbidités confirment la présence d'ordures ménagères dans ces grands collecteurs. Selon (Samaké, 2008) Les corps en suspension (chaux, poils, déchets etc.) rendent l'eau de surface turbide. On remarque par ailleurs que les eaux de la lagune sont aussi très turbides avec une valeur de 74,25 NTU très au dessus de la norme OMS. S'il est vrai que l'augmentation de la turbidité est liée en la présence de corps en suspension, alors on en déduit que la turbidité élevée de la lagune est due aux corps en suspension drainés par les eaux usées urbains des communes. Cette assertion est confirmée par les valeurs hors normes des sites de Yopougon et de la lagune tant en MES qu'en turbidité. On constate également que ces deux paramètres seraient liés car la turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide, dans notre cas les eaux résiduaires ou pluviales urbaines, due à la présence de matières colloïdales et/ou en suspension. La théorie de Mie (Mishendo et al., 1999), pour n classes de particules en suspension homogènes et d'indice de réfraction déterminé permet de démontrer que la relation entre la turbidité mesurée en atténuation T et la concentration en MES C_{MES} est linéaire. Ainsi les valeurs hors normes de ses 2 paramètres confirmeraient la présence de corps en suspension dans la lagune Ebrié. Ces corps en suspension sont drainés par les eaux usées urbaines. Enfin, il est important de noter qu'en matière de pollution physique, les eaux usées en provenance de Yopougon se sont avérées les plus polluées.

2. Paramètres organiques des eaux usées

La figure (9) présente les résultats d'analyse de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) des différents sites.

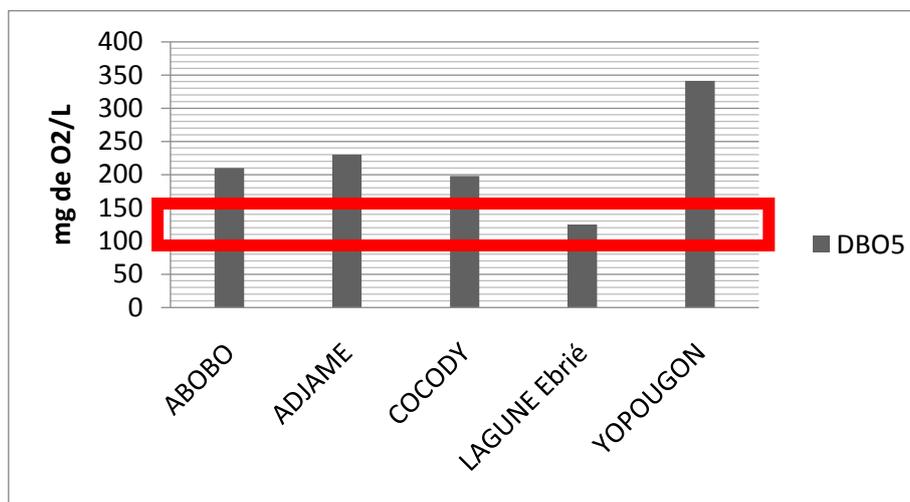


Figure 9: Concentrations des eaux usées résiduaires et lagunaire en DBO₅

 Représente l'intervalle de 100 à 150 mg /L de O₂ fixé par les normes ivoiriennes et OMS

La moyenne de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) varie de 125 mg O₂/l mesurés au niveau de la lagune à 345 mg de O₂/l mesurés à Yopogon. Toutes les valeurs de DBO₅ en provenance des communes dépasse de loin le seuil de 150 mg/L de O₂ fixé par la norme ivoirienne. La valeur moyenne des DBO₅ mesurés s'élève à 220,8 mg de O₂/L.

Ces valeurs sont aussi supérieures aux normes de (OMS, 2006). Elles témoignent d'une grande pollution de nature organique. La DBO₅ moyenne étant largement supérieure à la norme limite ivoirienne, Cela implique une forte pollution des eaux lagunaires. Un traitement mérite d'être réalisé avant rejet. Ces résultats confirment les observations faites par (Dongo et al., 2013) qui a évalué la DBO₅ par entreprise à plus de 30 mg O₂/l par jour. La DBO₅ seule participait à hauteur de 25% de la pollution de la lagune Ebrié. Un abattement sur ce paramètre reste indispensable.

Le graphique (10) présente les concentrations en Demande Chimique en Oxygène des différents sites

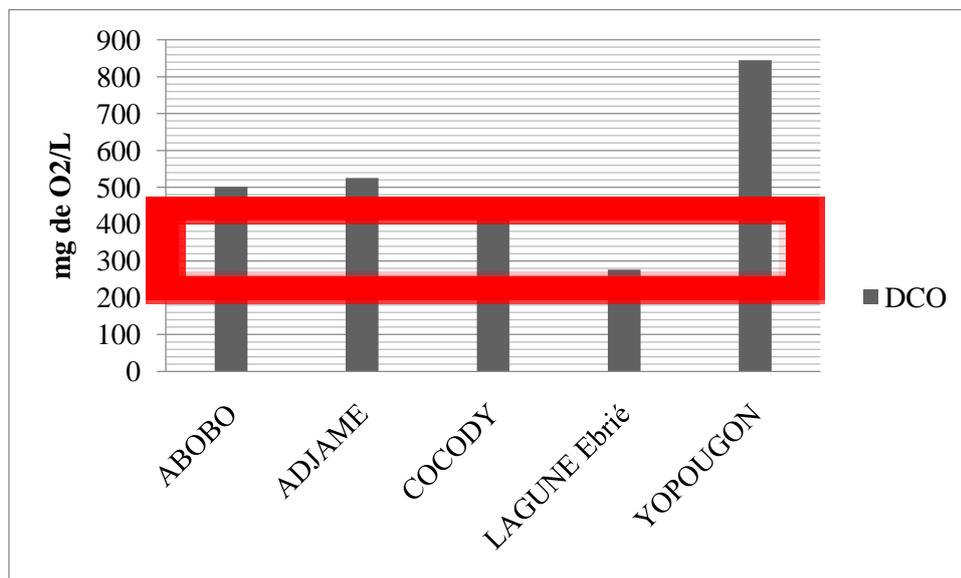


Figure 10: concentration des eaux usées résiduares et lagunaire en DCO



Représente l'intervalle de 250 à 500 mg /L de O₂ fixé par les normes ivoiriennes et OMS.

La moyenne de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) observée sur les différents sites est comprise entre 276 mg O₂/L, et 845 mg O₂/L. La valeur moyenne des DCO observées est égale à 514.4 mg de O₂/L. On remarque que trois sites dont Yopougon, Adjamé et Abobo sont au dessus du seuil fixé par la norme ivoirienne qui est de 500 mg/L. Ces sites sont caractérisés par la présence d'industries chimiques et para chimiques. En effet, il existe une Zone industrielle à la limite entre Yopougon et Abobo ; Adjamé compte en son sein de petites industries de tanneries. Par conséquent les rejets sont fortement chargés en élément physicochimiques. Ces industries ne respectent donc pas les critères de rejets ou bien le traitement réalisé serait inefficace. Le rapport DCO/DBO₅ donne une indication sur la biodégradabilité d'une eau usée. Ce rapport serait généralement proche de 2,5 pour les eaux usées biodégradables(Benoit., 2002). Les valeurs obtenues (2.02 – 2.45) dans cette étude sont conformes à celles de (Benoit., 2002).Ce qui confirmerait la biodégradabilité et l'origine résiduaire urbaine des effluents dans les grands collecteurs d'Abidjan.

S'il est démontré que les effluents qui se déversent dans la lagune sont biodégradables, il faut cependant remarquer que cela nécessite une forte consommation en oxygène. Ce qui va entraîner la réduction drastique de la teneur en oxygène dissous avec pour corollaire l'apparition des zones anoxies. Cette zone anoxie serait le siège des dégradations anaérobies des polluants entraînant des émissions de gaz de mauvaise odeur.

3. Paramètres chimiques minéraux des eaux usées résiduaires et lagunaires

Les graphiques (11) et (12) donnent les concentrations en nitrate et en nitrite des différents sites

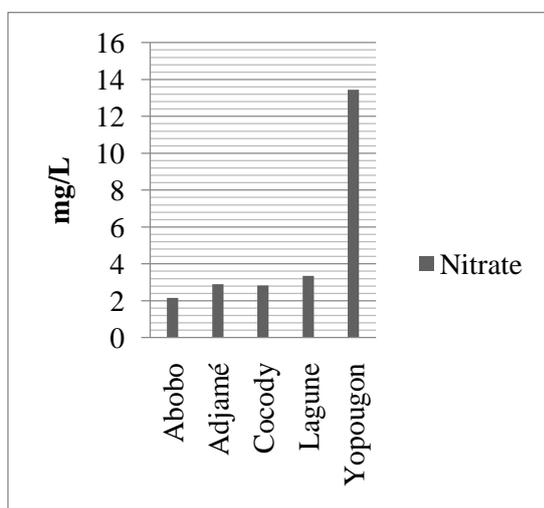


Figure 12 : Concentrations des eaux usées résiduaires et lagunaire en Nitrates

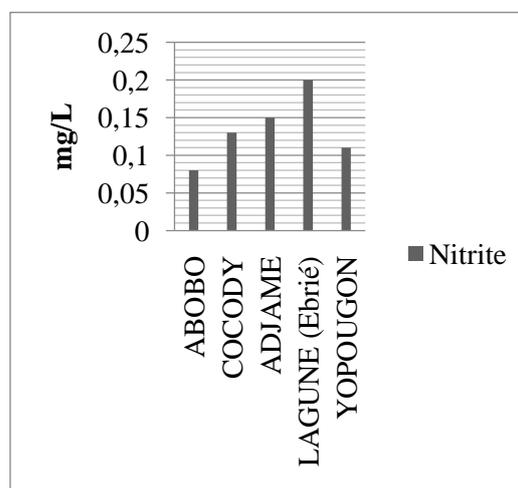


Figure 11: Concentrations des eaux usées résiduaires et lagunaires en nitrites

La valeur moyenne des teneurs en nitrates mesurée dans les grands collecteurs de la ville d'Abidjan s'élève à 4,93 mg/L. Cette valeur moyenne est encadrée par les valeurs extrêmes de 2,15 mg/L enregistrée au niveau du site d'Abobo et 13,45 mg/L enregistrée au niveau du site de Yopougon. Pour les concentrations en Nitrites, la lagune Ebrié a la plus forte concentration qui s'élève à 2 mg /L. La présence de ces composés azotés dans les eaux usées dans des proportions élevées favorise le processus d'eutrophisation dans le milieu récepteur qui est la lagune Ebrié. Cette affirmation est vérifiée par l'envahissement du milieu lagunaire actuel par de nombreuses plantes aquatiques qui se nourrissent particulièrement de composés azotés et phosphorés. Selon Potelon et Zisman , (1998) les nitrites sont des formes instables donc présent en faible concentration dans le milieu naturel. Alors leur présence en grande

concentration signifie qu'elles ont été déversées dans le milieu à travers les eaux usées urbains.

Le figures (13) et (14) représentent respectivement les concentrations en ammoniacques et en sulfates pour tous les sites de prélèvements

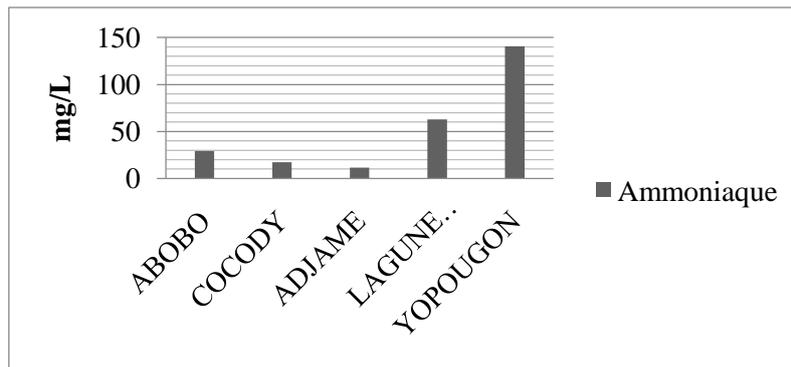


Figure 13 : concentrations des eaux usées résiduaires et lagunaire en ammoniacques

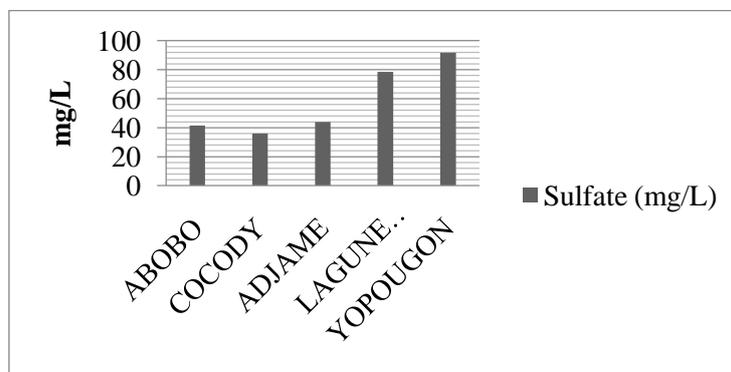


Figure 14: concentrations des eaux usées résiduaires et lagunaire en sulfates

La plus grande valeur en ammoniacque a été enregistré à Yopougon (140 mg /L) à l'instar des autres paramètres chimiques minéraux tels que le sulfate et le nitrate. La valeur moyenne en ammoniacque s'élève à 52,24 mg/L. La concentration létale (C150 96h) pour un certain nombre d'espèces de poissons varie entre 0.2 et 1.1 mg NH₃/L pour les salmonidés et entre 0.7 et 3.4 mg NH₃/L pour les Cyprinidés (Garric, 1987). L'ammoniacque est alors un danger pour les poissons de la lagune Ebrié.

La moyenne des teneurs en sulfates mesurées sur les différents sites évalués, donne 58,35 mg/L. Les valeurs extrêmes varient de 36 mg/L à Cocody à 91,71 mg/L à Yopougon. les sulfates peuvent être apportés dans l'eau par l'activité humaine, notamment l'agriculture.

L'étude de paramètres chimiques minéraux a montré que la lagune Ebrié est fortement polluée par les nutriments tels que les nitrites et les nitrates qui provoquent fortement l'eutrophisation de la lagune. Au regard de tous ces paramètres physicochimiques étudiés Yopougon est la commune qui contribue le plus à la pollution lagunaire.

C. Evaluation de la qualité microbiologique des eaux usées urbaines et des eaux lagunaires : les impacts sanitaires

Le tableau (9) présente les charges des eaux usées urbaines et celle de la lagune Ebrié en Coliformes fécaux(CF), en streptocoques fécaux (SF) et en *E.Coli* (EC)

Tableau 9: dénombrements de Coliformes fécaux, de streptocoques fécaux, et de E.coli

		ABOBO	ADJAME	COCODY	LAGUNE Ebrié	YOPOUGON
	Norme OMS	Charge (UFC/ml)	Charge (UFC/ml)	Charge (UFC/ml)	Charge (UFC/ml)	Charge (UFC/ml)
CF	1000 CF/ 100 ml (OMS, 2006).	3.66×10^5	1.3×10^5	2.8×10^5	2.25×10^6	4.9×10^5
SF		1.7×10^3	5.54×10^2	2.6×10^3	9.5×10^4	8×10^3
EC		6×10^4	3.8×10^3	2.7×10^4	2×10^5	4×10^4

Les résultats de l'analyse bactériologique des eaux de la lagune indiquent la présence en nombre très élevé de coliformes fécaux, de streptocoques fécaux et de *E.Coli*. L'analyse microbiologique des eaux des collecteurs prospectés a révélé qu'elles possèdent des

charges bactériennes largement au-dessus du seuil de 103UFC/ 100 ml fixé par le guide de (l'OMS,2006).

La forte densité des *E. coli*, bactéries indicatrices les plus spécifiques d'une pollution fécale (CEAEQ, 2000) ; Edberg et al., 2000), dans les eaux analysées, indique clairement leur contamination par des germes fécaux et par conséquent, le risque épidémiologique potentiel que représente leur rejet sans traitement (Servais et al., 2006). En effet, la présence de ces entérobactéries, quoique non pathogènes dans leur grande majorité, doit faire sérieusement soupçonner celle de plusieurs autres microorganismes pathogènes tels que les salmonelles responsables de la fièvre typhoïdes et les *vibrio-cholerae* responsables du cholera.

Les coliformes fécaux (CF) sont les plus importants dans le milieu étudié. Les charges moyennes en coliformes fécaux (CF) des différents sites étudiés varient de $2.5 \cdot 10^5$ microorganismes/ml prélevé au niveau de Cocody à $2.5 \cdot 10^6$ coliformes /ml du côté de la lagune Ebrié. Les streptocoques fécaux sont présents dans cette étude mais avec des concentrations moins importantes que celles notées pour les coliformes fécaux. Le rapport des Coliformes fécaux /streptocoques fécaux indique en générale une valeur très supérieure à 4. Ce qui indique l'origine humaine de la pollution fécale car selon ces critères définis par (Borrego&Romero, 1982), la contamination est d'origine animale si le rapport (R) coliformes fécaux (CF) sur streptocoques fécaux (SF) (CF/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. Cela prouve clairement que les microorganismes sont drainés dans les dans la lagune par les eaux usées urbaines domestiques en particulier. Les eaux usées urbaines sont alors responsables de la pollution bactériologique de la lagune Ebrié.

Le tableau (10) présente le taux de présence des pseudomonas, des E.Coli, et des Salmonelles en fonction du nombre d'échantillons positifs.

Tableau 10 : Mise en évidence des pseudomonas, E. Coli, salmonelles

	ABOBO		ADJAME		COCODY		LAGUNE Ebrié		YOPOUGON		Total	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
PSEUDO	4	18%	2	9%	1	4.54%	9	41%	5	23%	21	95%
E.COLI	5	23%	1	4.54%	1	4.54%	7	29%	4	17%	18	82%

(A)= Nombre d'échantillon positif

(B)= Taux de présence

Les eaux usées peuvent être des sources de contamination pour les populations riveraines en raison de la présence de microorganismes pathogènes tels que *E. coli*, *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, *Shigella* ou encore les virus de Norwalk et de l'hépatite A (Pettersen et al., 2010).

Ainsi les résultats révèlent qu'aucun échantillon ne s'est révélé positif pour les bactéries du genre *Salmonella*. Cette absence peut s'expliquer par la période d'échantillonnage qui s'est faite pendant la petite saison pluvieuse d'où diminution considérable de certains germes à cause de l'effet de dilution. Pendant que nous enregistrons un taux de présence de 95% pour les pseudomonas et de 82% pour les *E.Coli*.

De plus, ce tau de présence élevé de *Pseudomonas* (p) et de *E.coli* dans les eaux usées d'Abidjan montre qu'elles peuvent constituer une source de contamination pour les populations en ce sens que les *P. aeruginosa* est l'agent pathogène prédominant associé à une morbidité et mortalité élevées chez les patients souffrant de mucoviscidose, une maladie pulmonaire,. (Essoh, 2013)

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Il ressort de cette étude que les effluents urbains dans le district d'Abidjan et particulièrement ceux des communes tels que Yopougon, Abobo, Ajamé et Cocody polluent l'environnement en particulier le milieu lagunaire. Les résultats de ce présent rapport nous indiquent que importants volumes d'eaux usées domestiques environ 14000 m³ sont déversé chaque jour directement dans la lagune Ebrié. En plus l'évaluation physicochimique des eaux usées urbaines a montré qu'elles sont à l'origine de la pollution chimique et organique de la lagune Ebrié. Cette pollution entraîne des problèmes environnementaux tels que l'eutrophisation en ce sens que les eaux usées urbaines sont fortement chargées en composés azotés tel que le nitrite et le nitrate. Dans l'ensemble, l'analyse physicochimique a montré la mauvaise qualité des eaux lagunaires et l'existence d'une pollution anthropique se traduisant par des valeurs importantes en matières organiques (DCO, DBO5). Par ailleurs, l'analyse bactériologique révèle que les eaux usées urbaines sont très chargées en microorganismes tels que les *E.coli* et les coliformes dont la seule présence présage celle d'une multitude d'autres germes pathogènes. Ces germes pathogènes causent de nombreux problèmes d'ordre sanitaire qui sont entre autres la prolifération de maladies hydriques (le choléra, la fièvre typhoïde), et la dégradation progressive du cadre de vie des populations riveraines. Les valeurs hors normes de ces paramètres montrent que ces eaux usées constituent une source de contamination de l'environnement immédiat et aquatique (milieu récepteur). Face à ce grave constat, des mesures idoines doivent être adoptées en termes de protection des milieux récepteurs, et d'amélioration du cadre de vie des populations. Pour se faire, un abattement des paramètres en deçà des normes devrait être envisagé. Cela passe par l'implication de tous les acteurs de la vie (population, élus locaux).

Ainsi, pour terminer, serait – il important pour nous, d'explorer la recherche de micropolluants tels que les pesticides et les hydrocarbures qui seraient responsables de graves maladies.

VI. RECOMMADATIONS

A partir des résultats obtenus, vu les charges physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées urbaines de la ville d'Abidjan, des solutions idoines doivent alors être proposées à l'endroit de tous les acteurs de la société depuis les décideurs jusqu'aux populations.

A. Aux politiques

Les eaux usées, dans le district d'Abidjan ne doivent pas être rejetées directement dans la nature ni être réutilisées à des fins agricoles. Celles-ci pourraient engendrer de sérieux problèmes environnementaux et sanitaires.

Dans cette optique, un procédé opératoire par lagunage facultatif, le cas échéant, par lagunage à haut rendement pourrait constituer une alternative à la question de la gestion et du traitement des eaux usées dans le district d'Abidjan. Ce procédé permettra de diminuer la charge polluante afin de respecter les normes internationales en vigueur en termes de rejets, et par conséquent protéger non seulement la vie des populations riveraines mais aussi améliorer leur cadre de vie.

Dans nos recherches bibliographiques il nous avons constaté que la ville d'Abidjan est dotée depuis plusieurs décennies d'un système d'assainissement d'eaux usées qui s'étend sur 30 km (4 stations principales de pompage) et 2500km de collecteurs secondaires comportant 51 stations de pompage dans différents quartiers.

Malheureusement, force est de constater qu'aucune de ces stations ne fonctionnent et l'Etat n'arrive pas à les réhabiliter.

Nous exhortons les décideurs (élus locaux) à se pencher sur la question et à lancer une vaste campagne de réhabilitation et d'extension du réseau d'assainissement des eaux usées qui se présente comme une condition nécessaire au développement. Le code de l'eau ivoirien stipule que le rôle de collecte des eaux usées revient à l'Etat. Un effort doit être fait dans ce sens. Enfin, l'Etat doit jouer son rôle régalien qui est d'assurer le contrôle au niveau des industries dans la ville afin qu'elles traitent leurs eaux usées avant de les rejetées dans le milieu naturel.

B. Aux populations

Il est vrai que les infrastructures d'assainissement n'ont pas suivi le développement, mais il est déplorable de constater certains comportements des populations. En effet les collecteurs d'eaux usées sont aujourd'hui des dépotoirs d'ordures ménagères et des lieux de défécation publiques en témoignent les valeurs très élevées d'indicateurs de pollutions fécales (coliformes fécaux et streptocoques fécaux) et organiques (DBO5 et DCO). Les populations se doivent d'adopter un comportement éco-citoyen tout en maintenant leur cadre de vie sain comme le stipule le code de l'environnement ivoirien. Tout rejet d'eaux usées dans le milieu récepteur doit respecter les normes en vigueur. (article 49 du code de l'eau)

C. Aux industries

Le code de l'environnement ivoirienne stipule en son article 77 qu' Il est interdit de rejeter dans les eaux maritimes et lagunaires des eaux usées , à moins de les avoir préalablement traitées conformément aux normes en vigueur, des déchets de toutes sortes non préalablement traités et nuisibles.

Les industries ivoiriennes doivent adopter des politiques de responsabilité sociétale et environnementale en mettant en place de mini station d'épuration à fin de respecter les normes de rejets de leurs eaux usées dans l'environnement pour celles qui n'en possède pas et pour les entreprises qui ont déjà leur station de traitement, elles doivent encore améliorer le rendement de leurs traitements.

VII. BIBLIOGRAPHIE

Britton, B. Y., G. A., 2007. Evaluation of the Abidjan lagoon pollution. *Journal of Applied Science, Environmental Management*, 11, 173-179.

Koffi-Nevry, Assi-Clair, B.J., Koussemon, M., Wognin, A.S., N.Coulibaly, , 2011. Enterobacteria risk factors associated with contamination of lettuce (*Lactuca sativa*) grown in the peri urban area of Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5, 279-290.

Dongo, K.R., NIAMKE, B.F., ADJE, A.F., BRITTON, B.G.H., NAMA, L.A., ANOH, K.P., ADIMA, A.A., ATTA, K., 2013. Impacts des effluents liquides industriels sur l'environnement urbain d'Abidjan - Côte D'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci* 7, pp404-420.

CIAPOL, 1998. Centre Ivoirien antipollution . Lutte contre les végétaux aquatiques envahissant les plans d'eau pour améliorer, restaurer la diversité biologique. Ciapol : Abidjan: Côte d'Ivoire. .

Hamaidi, Shamaidi, M., Zoubiri, A., Benouaklil, F., Dhan, Y., 2009. Etude de la dynamique des populations phytoplanctoniques et résultats préliminaires sur les blooms toxiques à cyanobactéries dans le barrage de Ghrib (Ain Defla-Algérie). *European Journal of Scientific Research* 32, pp369-380.

IBERINSA, 2001. (Iberica de Estudios e Ingeniera S.A.), Problématique de l'Environnement dans le Secteur Industriel. Séminaire : Industrie et Environnement, Haïti,.

Tardat-Henry, 1984. *Chimie des eaux*, Les éditions le Griffon d'Argile Inc., Québec.

Gray&Becker, 2002. . Contaminant flows in urban residential water systems. *Urban water* 4, pp:331-346.

Ericksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002. . Characteristics of grey wastewater *Urban Water* 4, pp85-104.

Petterson, S.R., Ashbolt, N.J., Sharma, A., 2010. Microbial risks from wastewater irrigation of salad crops:a screening-level risk assessment. *J Food Sci* 75, 283-290.

RGPH, r.G.d.l.p.e.d.l.h., 2014. Resultats Globaux du Secrétariat Technique Permanent
du Comité Technique du RGPH.

KabaetAbé, 1992. Résidus d'organochlorés dans les milieux lagunaire et marin. Communication à la Journée AISA (Association Ivoirienne des Sciences Agronomique) Abidjan Côte d'Ivoire, Centre de recherches océanologiques.

INS, 1998. Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH). Données socio-démographiques et économiques des localités ; résultats définitifs par localités, régions des lagunes, vol. III, tome 1, p. 43.

Emmanuel, 2004. Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater. Environment International (ARTICLE IN PRESS), 2004.

Garric, J., 1987. Toxicité de l'azote ammoniacal pour la faune aquatique dans les eaux continentales. Rapport CEMAGREF Lyon, Génie de l'Environnement–Ecodéveloppement, Lyon :CEMAGREF 75p. .

Nixon, S.W., 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. Ophelia
41:pp199–219. .

Dunstan, R.e., 1971. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment.
. Science 171, pp:1008-1013.

Bell, P.R.F., 1992. Eutrophication and coral reefs—some examples in the Great Barrier Reef Lagoon. . Water Research 5, pp553–568. .

Adingra, A.A., Kouassi, A.M., 2011.
POLLUTION EN LAGUNE EBRIÉ ET SES IMPACTS SUR
L'ENVIRONNEMENT ET LES POPULATIONS RIVERAINES

. F. Tech. & Doc. Vulg. Centre de Recherches Océanologiques, BP V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire
pp48-53.

OMS, 2006. (Organisation mondiale de la santé), 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. World Health Organization. Geneva. 36pp.

Darbox, E., 2008. Contribution à l'évaluation de la relation entre les activités anthropiques, la pollution du lac Nokoué et l'état général de santé des populations riveraines: cas des zones LadjiAhouansori et Ganvié Sô-Tchanhoué. Mémoire de fin de cycle en Licence Professionnelle, 92 pages.

BNETD, 1996. Actualisation du schéma directeur d'Abidjan. Bilan diagnostic urbain. Etude n°4. Phase 1, pp.1-153.

NEDECO, 1981. Assainissement et drainage de la ville d'Abidjan. Etude de facilité. Rapport d'actualisation du plan directeur, tome 2, p.1-57.

BCEOM, 1984. Conception générale des systèmes d'assainissement urbains dans le contexte africain, p. 166. .

Samaké, D., 2008. Traitement des eaux usees de tanneries a l'aide de materiaux a base d'argile. Universit e Joseph-Fourier - Grenoble I, 2008, France.

Mishendo, M.I., HOVENIER, J.W., TRAVIS, L.D., 1999. Light Scattering by Nonspherical Particules: Theory, Measurements, and Applications. San Diego, Academic Press, 620 p.

Benoit., B., 2002. Guide pour l'étude des technologies conventionnelles des eaux usées d'origine domestique. Editon Gouvernement du Québec. Canada.

CEAEQ, 2000. (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale, Gouvernement du Québec.) Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. .

Servais, P., Garcia-Armisen, T., Lizin, P., P, M., Anzil, A., 2006. Modélisation de la dynamique des indicateurs de qualité microbiologique en estuaire de Seine. Rapport scientifique SeineAval 3. 11pp. .

Borrego&Romero, 1982. Study of microbiological pollution of malaga littoral area II, Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci, VIème journée études. Pollution Cannes. 561-569.

Essoh, C.Y., 2013. Étude épidémiologique desouches de Pseudomonas aeruginosa responsables d'infections et de leurs bactériophages pour une approche thérapeutique., THESE EN COTUTELLE INTERNATIONALE École doctorale Gènes Génomes Cellules (GGC) UNIVERSITÉ PARIS-SUD XI France Paris.

ANNEXES

ANNEXE1 Tableaux récapitulatifs des résultats d'analyses

Tableau 11: Récapitulatif des paramètres physiques mesurés *in situ*

		ABOBO			COCODY			Adjamé			Lagune Ebrié			Yopougon		
	OMS	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs supérieurs	Valeurs min	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales
PH	6.5 - 8.5	6.94	6.95	6.96	6.88	6.90	6.93	6.89	6.89	6.89	6.75	7.85	9	6.15	7.42	8.72
Température (°C)	30	25	25.5	26	23	24.5	26	24	24	24	23	25	27	21	23.5	27

CARACTERISATION DES EAUX USEES DES GRANDS COLLECTEURS DE LA VILLE D'ABIDJAN

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	1200	39.4	44.85	50.3	38.20	40.74	41.5	38.20	38.20	38.20	37.5	39.7	41.9	31.4	33.80	36.4
Turbidité (NTU)	5 à 30	49.5	52.15	54.8	68.90	70.15	71.40	123	123	123	32.3	74.25	111	75	106.25	133

Tableau 12: Récapitulatif des paramètres chimiques minéraux

	OMS Normes	ABOBO				ADME				COCODY				LAGUNE (Ebrié)			YOPOUGON		
		Minimales	Valeurs Moyennes	Valeurs Maximales	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Minimales	Valeurs Moyennes	Valeurs Maximales	Minimales	Valeurs Moyennes	Valeurs Maximales	Minimales	Valeurs moyennes	Valeurs Maximales			
Nitrite	1	0.08	0.08	0.09	0.15	0.15	0.15	0.08	0.11	0.15	0.05	0.2	0.35	trace	0.11	1.48			
Nitrate	1	2.10	2.15	2.20	2.9	2.9	2.9	2.2	2.83	3.4	3.2	3.35	3.5	1.35	13.45	45			
Sulfate	600	40	41.5	43	44	44	44	24	32	44	31	78.5	126	36	91.75	250			
Ammoniac	0.1	28.6	29	29.4	11.4	11.4	11.4	17.8	20.6	23.4	50.8	62.9	75	27.2	140.7	445			

Tableau 13 : récapitulatif des paramètres chimiques organiques en mg/L

	Normes OMS	ABOBO			ADJAME			COCODY			LAGUNE (Ebrié)			YOPOUGON		
		Valeur	Moy	Valeur Max	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales	Min	Valeur	Moy	Valeur	Valeur	Moy	Valeur	Valeur	Valeur
DCO	90	498	501	504	525	525	525	354	375.5	397	166	276	386	538	845	1104
DBO	30	200	210	220	230	230	230	175	182.5	190	78	125	171	210	341	450
MES	20	60	76	92	68	68	68	81	91.5	102	119	162	205	71	128.5	174

ANNEXE3 : Caractères biochimiques des germes

E.Coli		Salmonella		Pseudomonas	
Glucose	+	Glucose	+	Glucose	+
Lactose	+	Lactose	-	Lactose	+
H2S	-	H ₂ S	+	H2S	-
Gaz	+	Gaz	+	Gaz	
citrate	-	Citrate	+		
		uréase	-	Urée	+
Uréase	-	indole	-	Indole	-
Indole	+	LDC	+	King A	+
		LDA	-	King B	+
		Oxidase	-	Oxidase	+

ANNEXE 4 : Images du prélèvement



Figure 15 : Image du prélèvement d'eaux usées dans la commune de Yopougon



Figure 16 : Image du prélèvement dans la commune d'Abobo

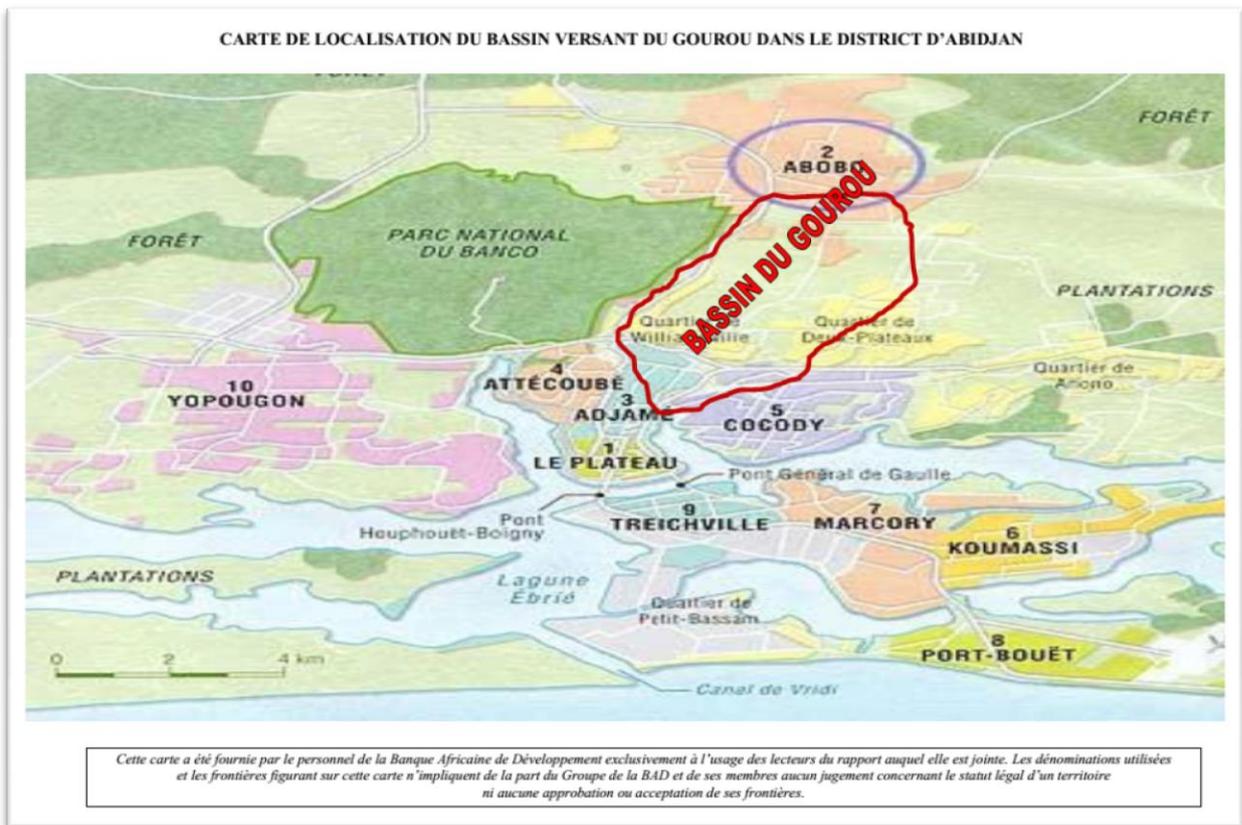


Figure 17 : Figure 18: Carte de localisation du bassin versant du Gourou dans le district d'Abidjan