

## **CARACTÉRISATION ET ÉVALUATION DE LA CHARGE POLLUANTE DES BOUES DE VIDANGE DU DISTRICT D'ABIDJAN, SUD DE LA CÔTE D'IVOIRE**

**Gbombélé SORO<sup>1\*</sup>, Adama COULIBALY<sup>1</sup>,  
Kouamé Serge Magloire KRA<sup>2</sup>, Ossey Bernard YAPO<sup>2,3</sup>  
et Nagnin SORO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, U.F.R. des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR STRM), Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), 22 BP 582 Abidjan 22*

<sup>2</sup> *Centre Ivoirien Anti-pollution (CIAPOL), Laboratoire Central de l'Environnement (LCE), 20 BP 650 Abidjan 20*

<sup>3</sup> *Université Nangui Abrogoua Abidjan, Côte d'Ivoire, U.F.R. des Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR SGE), Laboratoire des Sciences de l'Environnement (LSE), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

---

\* Correspondance, e-mail : [marc\\_soro@yahoo.fr](mailto:marc_soro@yahoo.fr)

### **RÉSUMÉ**

Le district d'Abidjan, à l'instar des capitales africaines est confronté à un véritable problème de gestion des boues de vidange. En effet, les boues sont collectées essentiellement dans des ouvrages d'assainissement autonome (latrines traditionnelles, fosses septiques, regards, etc.). En raison du caractère encore informel de la filière, les boues sont extraites et déversés de façon anarchique ou non contrôlée, causant ainsi des problèmes de pollution environnemental, de santé humaine, etc.). L'objectif de cette étude est de caractériser les boues de vidange du district d'Abidjan en vue d'une meilleure gestion de celles-ci. Les analyses physico-chimiques, bactériologiques et parasitologiques ont été faites au laboratoire selon la norme ISO 17025. Seul le pH et la conductivité ont été mesurés *in situ*. Les boues de vidange présentent une grande variabilité des teneurs des différents paramètres mesurés. Elles ont une forte charge polluante organique, en témoignent les concentrations des paramètres physico-chimiques (DCO, DBO<sub>5</sub>, MES et MS) respectivement de 19398 mg/l, 9465 mg/l, 21115 mg/l et 981 mg/l. Cette matière organique est facilement biodégradable du fait du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> faible (DCO/DBO<sub>5</sub> ≤ 2). Également, l'analyse bactériologique indique une charge importante en coliformes fécaux (672,37.10<sup>5</sup> UFC/100 ml). Enfin, la prévalence parasitaire

s'élève à 21 UFC/100 ml et est dominée par les ankylostomes et les Ascaris. Cette étude fournit des données qualitatives sur les boues de vidange du district d'Abidjan et propose un traitement biologique de celles-ci en vue d'une meilleure gestion. Elle peut également permettre d'envisager une valorisation de celles-ci comme un amendement des sols.

**Mots-clés :** *caractérisation, boues de vidange, pollution, Abidjan.*

## ABSTRACT

### **Pollutant load of faecal sludge characterization and evaluation in Abidjan district, South of Côte d'Ivoire**

As many African great towns, the district of Abidjan is faced with sewage sludge management. Indeed, due to lack of large control, drains of sludge are stored inside individual sanitation dwellings (traditional latrines, septic tanks, manholes) then, extracted and discharged at remote places. By the way, it occurred problems such as environmental pollution and human health safety. This study aims to characterize human faecal sludge in view to better management in the district of Abidjan. Database was performed through physico-chemical, bacteriological, and parasitological analyzes carried out in the laboratory according to ISO 17025 standard. Only pH and conductivity were measured in situ. The parameters measured in faecal sludge highlighted a large variability among which great values of organic pollution and physico-chemical elements (COD, BOD<sub>5</sub>, TSS and SM) respectively reached to 19398 mg/l, 9465 mg/l, 21115 mg/l and 981 mg/l. This organic matter is easily biodegradable due to its low COD/BOD<sub>5</sub> ratio ( $\text{COD/BOD}_5 \leq 2$ ). This indicator directs the treatment of sludge towards biological treatment. Also, bacteriological analysis indicated high content of faecal coliform (672.37.105 CFU/100 ml). Occurrence of parasite is dominated by hookworms and roundworms reached to 21 CFU/100 ml as a rate. This study provides qualitative data on fecal sludge in Abidjan district and proposes a biological treatment of faecal sludge for better management.

**Keywords :** *characterisation, faecal sludge, pollution, Abidjan.*

## I - INTRODUCTION

Dans sa quête de mieux être des populations, les Nations Unis ont adopté en septembre 2015, lors du sommet sur le développement durable, un nouveau programme qui définit 17 objectifs de développement durable (ODD). La cible 6.2 du sixième ODD traite de la question de l'assainissement et de l'hygiène et s'intitule : « permettre un accès à un assainissement et à une hygiène convenable et équitables pour tous et mettre un terme à la défécation en plein

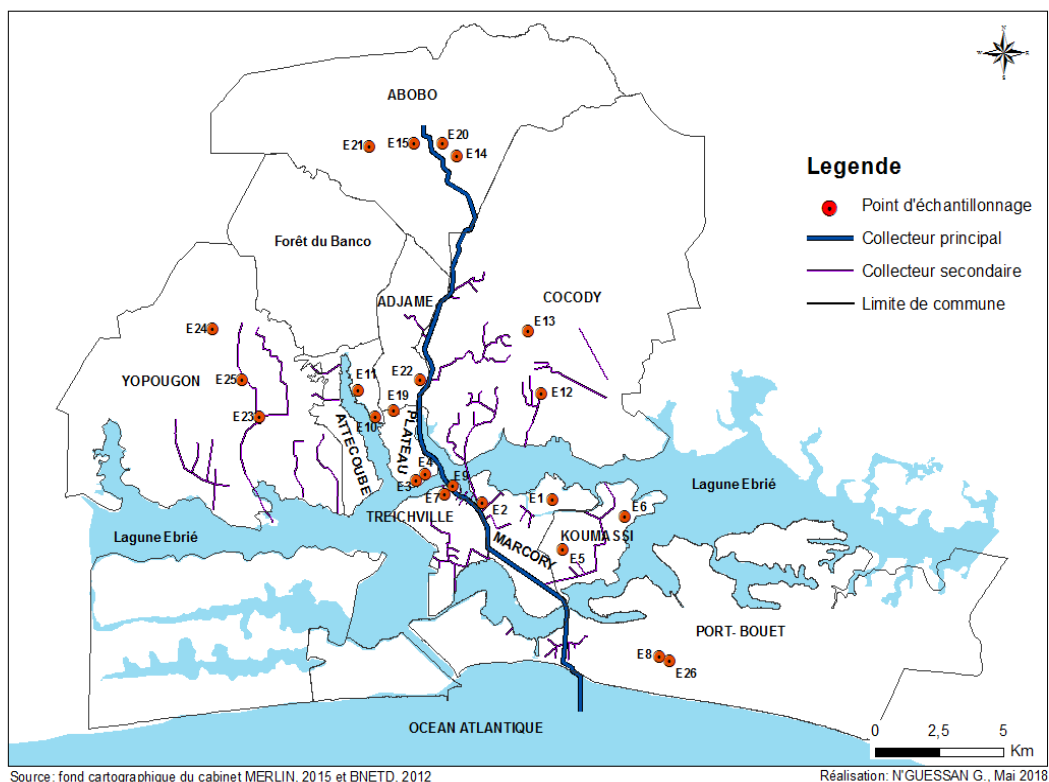
air, en prêtant une attention particulière aux besoins des femmes, des filles et des personnes vulnérables ». A l'entame de ce programme, 946 millions de personnes pratiquaient encore la défécation à l'air libre [1]. L'Afrique subsaharienne à elle seule comptait 695 millions de personnes privées d'un service d'assainissement adéquat [2]. Cette situation serait à l'origine de la mortalité très élevée de 2 millions de décès dus aux diarrhées et autres maladies liées au péril fécal qui affectent particulièrement les enfants de moins de 5 ans, surtout dans les pays en développement [3]. En Côte d'Ivoire comme partout dans les pays en développement, l'accès à l'assainissement représente un combat quotidien pour les populations [4]. Pour le Fonds des Nations Unies pour l'Enfance [5], le taux d'accès à l'assainissement amélioré en Côte d'Ivoire est estimé à 24 % ; avec 36 % en milieu urbain et 11 % en milieu rural. Depuis 1974, le schéma d'assainissement d'Abidjan qui visait le raccordement de la totalité des espaces habités à un réseau collectif de transport des eaux usées [6] a permis de construire trois collecteurs de bases. Face à l'extension spatiale démesurée de la ville, le système d'assainissement collectif s'est avéré incapable de satisfaire les attentes des populations. Le taux de raccordement au réseau d'assainissement collectif reste marginal.

Environ 65 % des ménages d'Abidjan n'ont pas accès aux réseaux collectifs d'assainissement [7]. Pour pallier ce déficit, il a été envisagé une juxtaposition des systèmes d'assainissements collectifs et autonomes. Toutefois, le système d'assainissement autonome favorise l'augmentation de la quantité de boues de vidanges. Aussi, ce mode d'assainissement reste-il vulnérable du fait de la précarité des ouvrages [8] et peut causer de graves nuisances au niveau de l'environnement urbain et de la santé publique [9]. L'État n'ayant pas prévu de système de traitement ou d'élimination des boues, ces dernières sont extraites et déversés dans les rues, les caniveaux, la nature, les points de décharges sauvages ou parfois même dans des fosses creusées près des lieux de collecte. Ces déversements anarchiques ou non contrôlés présentent des risques énormes (pollution de l'environnement, santé humaine, etc.) par l'émanation des gaz toxiques et nocifs. C'est pour répondre à cette problématique que la présente étude a été menée. L'objectif est de caractériser les boues de vidange du district d'Abidjan en vue d'une meilleure gestion de celles-ci. La connaissance des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et parasitologiques de ces boues permettra d'apprécier leur niveau de pollution et d'orienter éventuellement leur traitement.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

### II-1. Présentation du site d'étude

Avec la loi N°2014-453 du 05 aout 2014, le District d'Abidjan est devenu le District Autonome d'Abidjan. Capitale économique de la Cote d'Ivoire, Abidjan est l'un des plus importants centres urbains de l'Afrique subsaharienne, tant sur le plan économique que démographique. Ville cosmopolite, elle compte plus de cinq millions d'habitants. Cette population est répartie sur treize communes : Abobo, Adjamé, Anyama, Attécoubé, Bingerville, Cocody, Koumassi, Marcory, Plateau, Port bouët, Treichville, Songon et Yopougon (*Figure 1*).



**Figure 1 :** Cartographie de la zone d'échantillonnage des boues de vidange

Ses limites se confondent avec celles du Département d'Abidjan et couvre une superficie de 2119 km<sup>2</sup>. Le District d'Abidjan est limité au Sud par l'Océan Atlantique, au Nord, par le département d'Agboville, à l'Est par les départements d'Alépé et de Grand-Bassam et à l'Ouest par les départements de Jacqueville et de Dabou. Une mission de prospection a été réalisée dans les communes de Marcory, Plateau, Koumassi, Treichville, Port-Bouët, Attécoubé, Cocody, Abobo, Bingerville, Adjamé et Yopougon.

## II-2. Matériel

### II-2-1. Boues de vidange

Les matières de vidange sont des résidus de traitement issus des systèmes d'assainissement non collectifs des eaux usées [10]. Elles sont retenues dans les ouvrages de prétraitement qui sont, soit des fosses septiques, soit des fosses toutes eaux, soit des fosses à infiltration, soit des fosses étanches. Ces matières proviennent de la décantation de Matières En Suspension (MES) contenues dans les eaux usées et des flottants constituant le chapeau [11]. Elles sont composées de matières décantables et flottées stockées dans l'ouvrage. Les prélèvements des boues de vidange ont été effectués au cours d'une campagne tenue du 18 décembre 2015 au 30 janvier 2016. Au total, vingt-six (26) échantillons (*Tableau 1*) ont été prélevés à travers toute la zone d'étude.

**Tableau 1** : Répartition du nombre d'échantillons par commune

Communes	Nombre d'échantillons	Communes	Nombre d'échantillons
Marcory	2	Cocody	3
Plateau	2	Abobo	5
Koumassi	2	Bingerville	1
Treichville	2	Adjamé	2
Port-Bouet	2	Yopougon	3
Attécoubé	2		

Pour caractériser les boues de vidanges, des analyses ont été faites sur des échantillons de boues prélevés sur le site de dépotage. A chaque sortie sur le terrain, les prélèvements ont été faits sur différents camions. Le contenu de la citerne de chaque camion est représentatif des boues issues des fosses de trois familles différentes. Les prélèvements se faisaient au moment du déchargement des camions de vidange. Les boues ont été prélevées dans un seau au début du déchargement, lorsque la citerne était à moitié vide et juste avant la fin du déchargement comme préconisé par [9]. Le contenu du seau est transvasé dans un flacon en polyéthylène de 4 litres pour constituer l'échantillon mixte, puis étiqueté. Après chaque prélèvement, les échantillons ont été conservés à basse température dans une glacière contenant des carboglaces et transportés au laboratoire central de l'environnement à des fins d'analyse.

### II-2-2. Matériel de terrain

Ce matériel comprend les matériels de prélèvements, d'équipements de protection, de conditionnement et de conservation.

### II-2-2-1. Matériel de prélèvements et équipements de protection

Le matériel de prélèvement se compose principalement de camions hydro-cureurs de 8 m<sup>3</sup>, utilisés pour l'extraction et le stockage des boues de vidange jusqu'aux lieux de dépotage. Ce matériel comprend également un équipement de protection individuelle (gants à usage multiple, de gants à usage unique, de cache nez, de blouse et des chaussures de sécurité).

### II-2-2-2. Matériel de conditionnement et de conservation

Le conditionnement et la conservation se sont faits avec le matériel suivant :

- des flacons en polyéthylène de 4 litres pour le recueil des échantillons ;
- de rubans adhésifs pour l'étiquetage des échantillons ;
- des glacières contenant des carboglaces pour la conservation des échantillons ;
- d'un multi paramètre de type HACH muni de sonde électrochimique pour les mesures *in situ* du pH et de la conductivité.

Ensuite au laboratoire, le matériel d'analyse des paramètres est constitué :

- d'un spectrophotomètre de type HACH DR 6000 qui a permis de déterminer les concentrations des paramètres ;
- d'une rampe de filtration, de papier filtre en fibre de verre de type Whatman, d'un four et d'une balance de marque RADWAG et de précision 0,001g pour la détermination des matières en suspension (MES) ;
- d'un respiromètre de type OxiTop pour la détermination de la Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>) ;
- d'un réacteur de type HACH.

Ces paramètres choisis permettent d'apprécier l'impact des boues sur la santé des populations environnantes (prolifération des maladies d'origine hydriques), sur la pollution des eaux souterraines et les dangers d'eutrophication des cours d'eau [12].

## II-3. Méthodes d'analyse des échantillons

La méthodologie adoptée pour la caractérisation des boues de vidange repose sur les analyses des échantillons prélevés *in situ* et au laboratoire et des analyses statistiques des données.

### II-3-1. Analyse *in situ*

Sur le terrain, les paramètres physiques pH et conductivité ont été mesurés juste après le prélèvement des échantillons. La lecture est faite après stabilisation de l'affichage.

**II-3-2. Analyse au laboratoire**

Au laboratoire, les paramètres physico-chimiques (DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, MS, MVS), bactériologiques (Coliformes fécaux, Coliformes totaux) et parasitologiques (œufs d'helminthes) ont été analysés selon la norme ISO 17025. La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est déterminée après oxydation chimique en milieu acide sulfurique fort par un excès de dichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) pendant deux heures. Ensuite la lecture a été faite avec le Spectrophotomètre DR 6000 HACH. Les Matières en suspension (MES) ont été déterminées après séchage à l'étuve à 105°C pendant 1h. Elles ont été isolées au préalable par filtration sur membrane GF/C. La concentration de ces dernières est obtenue en utilisant la formule ci-dessous (**Équation 1**) :

$$MES(mg/l) = \frac{(M1-M0)*1000}{V} \quad (1)$$

*MES étant la masse des matières en suspension en mg/l ; M0, la masse du filtre avant utilisation en mg ; M1, la masse du filtre après utilisation en mg et V, le volume d'échantillon utilisé en mL*

La concentration en Matières sèches (MS) est obtenue après avoir fait sécher 50ml de l'échantillon liquide à 105°C pendant 2h, sans séparer préalablement les particules qu'il contient. Elle est calculée selon la formule (**Équation 2**) suivante :

$$MS(mg/l) = \frac{(P2-P1)*1000000}{V} \quad (2)$$

*avec, P1, la masse de la porcelaine à vide en g; P2, la masse de la porcelaine après passage à l'étuve et V, le volume d'échantillon.*

Quant aux Matières Volatiles Sèches (MVS), leur concentration est calculée à partir de la formule (**Équation 3**) ci-dessous :

$$MVS(mg/l) = \frac{(P2-P3)*1000000}{V} \quad (3)$$

*Dans cette Équation, P2 et P3 correspondent respectivement à la masse de la porcelaine après passage à l'étuve pendant 24h et celle après passage au four à 505°C pendant 3h et enfin V, le Volume de l'échantillon en ml.*

Aussi, les paramètres microbiologiques ont-ils été mesurés. Afin de quantifier les bactéries présentes dans les matières de vidange, celles-ci ont été mises en contact avec un milieu de culture qui après une durée de 10 à 15 mns forment une pâte gélatineuse sur la boîte de Pétri dans laquelle nous avonsensemencé les échantillons. L'incubation s'est ensuite déroulée dans l'enceinte d'un incubateur Memmert à 44°C pour les coliformes. Ensuite, il a suffi de compter

le nombre de colonies. Connaissant le volume de l'aliquote (en général 1 ml sur une boîte), il a été déduit la quantité approximative de bactéries dans le milieu (on considère qu'1 UFC correspond à 1 bactérie). Les parasites sont généralement rencontrés dans les boues de vidanges d'origine fécale. Mais le type et la concentration des parasites varient en fonction du niveau d'infection observé au sein d'une population donnée. L'analyse des paramètres parasitologiques repose sur le dénombrement des œufs d'helminthes car ce sont les parasites résistants les plus représentatifs et les plus faciles à détecter. Le **Tableau 2** présente le récapitulatif des méthodes d'analyse qui ont été employées.

**Tableau 2 : Méthodes d'analyses des échantillons**

Paramètres	Référence de la méthode	Description de la méthode
pH	NF T 90-006	Sonde électrochimique
Conductivité Electrique	NF T90-015-2	Sonde électrochimique
Matières Solides	MA. 100 – S.T. 1.1	Séchage à 105°C pendant 2 h
Matière Volatiles	MA. 100 – S.T. 1.1	Calcination à 550°C pendant 2 h
MES	NF EN 872	Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre
DCO	ISO 15705	Détermination de la demande chimique en oxygène au moyen de la méthode en tube fermé.
DBO <sub>5</sub>	Méthode OxiTop® WTW	Mesure respirométrique sans mercure
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HACH	Méthode spectrophotométrique au bleu d'indophénol
Azote Total	HACH	Méthode de la digestion au persulfate en milieu alcalin TNT TUBE
Phosphore Total	HACH	Méthode de la digestion au persulfate en milieu acide TNT TUBE
Coliformes fécaux	NF EN ISO 9308-1	Dénombrement des coliformes fécaux
Œufs d'helminthes	Méthode SAF	Utilisation de la solution sodium acétate - acétique acide – formaldéhyde.

### **II-3-3. Traitement des données.**

Les tests statistiques utilisés sur les données ont été réalisés au moyen du logiciel Statistica 7.1. Il s'agit des tests de corrélations et de l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

#### **II-3-3-1. Analyse en composantes principales**

L'analyse en composantes principales (ACP) est un outil extrêmement puissant de synthèse de l'information, très utile lorsque l'on est en présence d'une somme importante de données quantitatives à traiter et interpréter [13]. L'ACP permet d'expliquer la structure des corrélations ou des covariances en utilisant



des combinaisons linéaires des données originelles. Elle permet également de réduire et d'interpréter les données sur un espace réduit [14]. Elle a été utilisée pour apprécier certes les relations entre les différentes variables que nous avons mesurées, mais surtout pour connaître leur structuration afin de les regrouper par zone.

### II-3-3-2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation est utilisée pour évaluer la dépendance entre plusieurs variables en même temps. Le résultat est une table contenant les coefficients de corrélation entre les variables. Il existe différentes méthodes de tests de corrélation dont le test de corrélation de Pearson. Plus le coefficient est proche des valeurs extrêmes -1 et 1, plus la corrélation linéaire entre les variables est forte. On emploiera alors l'expression « fortement corrélées » pour qualifier les deux variables. Par contre, une corrélation égale à « 0 » signifie que les variables ne sont pas corrélées linéairement [15].

## III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### III-1. Provenance des boues et fréquence de vidange

Les résultats des prélèvements (*Tableau 3*) indiquent que les boues proviennent de quatre types d'ouvrages avec la proportion la plus importante (65 %) issue des fosses septiques.

**Tableau 3** : Différents types d'ouvrages et leurs proportions

Type d'ouvrages	N° des échantillons	Quantité	Pourcentage (%)
Fosses septiques (FS)	1, 2, 3, 4, 8, 11, 12, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26	17	65
Latrines traditionnelles (LT)	5, 6, 7	3	12
Regards (R)	13, 16	2	8
Autres	9, 10, 15, 18	4	15

Ces types d'ouvrages de stockage des boues de vidange sont pour la plupart ceux qui sont rencontrés dans les métropoles d'Afrique subsaharienne [2]. Aussi, les proportions des types d'habitats d'où sont issus les prélèvements, sont-elles exprimées dans le *Tableau 4*. La proportion la plus importante (65 %) provient des bas-quartier et la plus faible, des bureaux.

**Tableau 4 : Types d'habitats et leurs proportions**

Type d'habitats	N° des échantillons	Quantité	Pourcentage (%)
Bas quartiers	1, 5, 6, 7, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24	17	65
Résidences	2, 3, 12, 25	4	15
Hôtels	10, 13, 26	3	12
Bureaux	4, 8	2	8

Les résultats de la répartition des fosses septiques en fonction de leur fréquence de vidange (**Tableau 5**) révèlent trois grandes catégories : les fosses dont la vidange se fait annuellement (54 %), celles dont la fréquence de vidange se fait au-delà d'une année (08 %) et enfin celles dont la fréquence n'est pas déterminée (38 %).

**Tableau 5 : Répartition des fosses en fonction de la fréquence de vidange**

Fréquence de vidange	N° des échantillons	Quantité	Pourcentage (%)
≤ 1 an	1, 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19	14	54
> 1 an	3, 4	2	8
ND	9, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26	10	38

ND : Non déterminé

La fréquence de vidange des fosses septiques dépend donc des types d'habitats dont sont issues les boues. Le temps de séjour relativement long de ces boues dans les fosses aura une incidence sur les phénomènes qui s'y produisent. En effet, des périodes de stockage plus ou moins longues favoriseraient une meilleure stabilisation biochimique des boues de vidange [2]. Aussi, une minéralisation plus ou moins importante des boues dépend-elle de leur durée du stockage [16].

### III-2. Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats de l'analyse physico-chimique (**Tableau 6**) concernent le pH, la conductivité et les concentrations en DCO, DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, MES, MS et MVS.

**Tableau 6 : Caractéristiques physico-chimiques des boues de vidange**

Paramètres	Nombre d'échantillons	Moyenne	Minimum	Maximum
pH	26	7,31 ± 0,37	6,20	7,59
Conductivité électrique (ms/cm)	26	3,75 ± 3,52	0,91	16,32
DCO (mg/l)	26	19398 ± 8856	250	42000
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	26	9465 ± 4739	120	22800
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	26	367,50 ± 653,17	60	3400
MES (mg/l)	26	21115 ± 15697	624	53300
MS (mg/l)	26	981 ± 1160,33	5,04	3869,58
MVS (mg/l)	26	960 ± 1132,77	5,03	3750

Le pH des boues varient entre 6,20 et 7,59 avec une moyenne de 7,31. Les boues de vidange sont donc d'une tendance proche de la neutralité. Ces valeurs sont compatibles avec le développement des bactéries qui assurent l'épuration des boues. Le pH peut être un facteur limitant pour le développement des bactéries épuratrices [16] impactant ainsi l'efficacité du traitement [16, 17]. Celles-ci se développent en général à des pH compris entre 5 et 9. A titre d'exemple, les bactéries de la nitrification telles que *Nitrosomonas* se multiplient dans un milieu alcalin avec un pH compris entre 7,4 et 9 tandis que celles de la nitrification croissent dans un milieu dont le pH se situe entre 8,5 et 9,1. La conductivité moyenne est de l'ordre de  $3,75 \pm 3,52$  mS/cm et a atteint 16,32 mS/cm dans un échantillon. C'est cette dernière valeur qui explique le grand écart-type obtenu ( $\pm 3,52$  mS/cm). Les boues de vidange présentent des concentrations moyennes en DCO et DBO<sub>5</sub> respectivement de 19398 mg/l et 9465 mg/l. La valeur moyenne du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> est égale à 2, révélant ainsi la présence d'une grande proportion de matières biodégradables dans ces boues [2]. Aussi, cette faible valeur du paramètre DCO/DBO<sub>5</sub> permet-elle d'orienter le traitement vers un traitement biologique des boues du district d'Abidjan. La matière organique est facilement et perpétuellement dégradée dans les fosses des ouvrages durant un temps de séjour important en milieu anaérobie ou très faiblement en milieu aérobie. Selon [2], cette qualité biodégradable des boues du district d'Abidjan est l'apanage de celles du Sénégal et de la Guinée. Par contre, au Burkina Faso et au Bénin, la qualité des boues laisse apparaître un caractère difficilement biodégradable [18]. L'analyse des résultats obtenus indiquent également une concentration en matière sèche (MS) comprise entre 5,04 et 3869,58 mg/L avec une moyenne de  $981 \pm 1160,33$  mg/L. De même, la proportion de matières en suspension (MES) est évaluée à  $21115 \pm 15697$  mg/L en moyenne. Cette forte proportion des MES dans les BV pourrait être liée à la forte concentration de DCO dans la mesure où une forte proportion de cette dernière est sous forme particulière

[19]. Les concentrations en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) sont élevées et peuvent atteindre 3400 mg/L. Sa teneur élevée dans les boues de vidange peut s'expliquer par l'activité de décomposition organique quasi-continue dans les fosses et durant le trajet. En effet, l'ammonium fait partir des composés azotés, formes sous lesquelles se présente la matière organique contenue dans les boues de vidange. Selon le processus d'ammonification, cet azote organique est minéralisé sous forme d'ammonium par des bactéries. Le pH et la durée de stockage y contribuent fortement. Les boues de vidange du district d'Abidjan se caractérisent par une forte variabilité de la concentration des paramètres physico-chimiques. Les écart-types sont souvent très élevés (parfois supérieurs à la moyenne). C'est le cas de la conductivité, des concentrations de  $\text{NH}_4^+$ , MS et MVS par exemple. Cette forte variabilité serait influencée principalement par la durée de stockage des boues dans les installations, le type d'installation de stockage, le mode de vidange [20]. Une comparaison de ces résultats avec ceux d'études antérieures réalisées à Ouagadougou [20], à Dakar [21] et au Cameroun [22] est faite. Les résultats de cette étude comparative (**Tableau 7**) montre que les valeurs de la DCO et des MES à Abidjan, bien que supérieures à celles de Ouagadougou et de Dakar, sont inférieures à celles du Cameroun. Quant aux concentrations de MS et MVS, elles sont inférieures à celles des trois autres capitales. Cela peut s'expliquer par le fait que le nombre d'échantillons et les périodes de caractérisation, les méthodes utilisées diffèrent d'une étude à l'autre. Cette charge des boues est probablement due au long séjour des boues dans les fosses septiques [23].

**Tableau 7 :** Comparaison des paramètres trouvés avec ceux d'autres études

Paramètres	Abidjan	Barro (2011) Ouagadougou	Dème <i>et al</i> (2009) Dakar	Kengne, (2006) Cameroun
pH	7,31	8,28	7,30	7,50
Conductivité (ms/cm)	3,75	205	-	220
DCO (mg/l)	19398	6930	3853	29700
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	9465	-	-	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	94,52	166	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	367,5	-	-	-
MES (mg/l)	21115	5492	2130	33400
MS (mg/l)	981	8608	3488	29000
MVS (mg/l)	960	4996	1571	19800

Également, les boues ont en général un pH presque neutre, contrairement à celles de Ouagadougou qui sont basiques. Cette différence de pH s'explique par la diversité des types d'ouvrages d'où proviennent ces boues. Ceci est corroboré par les travaux de [24] qui indiquent que le pH des boues de vidange apparaît neutre dans les fosses septiques mais légèrement alcalin dans les latrines sèches.

### III-3. Caractéristiques bactériologiques et parasitologiques

Les résultats de l'analyse bactériologiques (**Tableau 8**) révèlent une valeur moyenne de coliformes fécaux de  $672,37.10^5$  UFC/100 mL.

**Tableau 8 :** Caractéristiques bactériologiques et parasitologiques des boues de vidange

Indicateur	Nombre d'échantillons	Moyenne	Minimum	Maximum
Coliformes fécaux (10 <sup>5</sup> UFC/100 ml)	26	672,37 ± 1885,09	3,54	9450
Œufs d'helminthes (UFC/100 ml)	26	21 ± 18,74	0	70

Cette présence bactériologique indique que ces boues sont susceptibles de contenir d'autres microorganismes pathogènes. Aussi, la détection de coliformes fécaux dans ces boues témoigne-t-elle généralement d'une pollution fécale récente [16]. Une comparaison des concentrations moyennes des coliformes fécaux est faite avec celles d'autres villes. Ainsi, ces concentrations ( $672,37.10^5$  UFC/100 mL) sont largement supérieures à celles obtenues par [16, 20] qui sont respectivement de  $3,2.10^5$  UFC/100 mL et de  $3,01.10^5$  UFC/100 mL. Cela confirme la grande variabilité des caractéristiques des boues d'un contexte géographique à un autre. Aussi, les types d'œufs rencontrés dans les boues sont-ils essentiellement les ankylostomes (dans 16 échantillons) et les ascaris (dans 10 échantillons). L'espèce *Trichirus trichura* est présente dans 4 échantillons et les schistosomes sont retrouvés dans un seul échantillon. En plus, les œufs d'ankylostomes et d'ascaris sont les plus abondants (respectivement 317 et 158). Cette prédominance surtout celle des ascaris, est due à leur plus grande résistance aux conditions du milieu. Le nombre des œufs d'helminthes n'est pas très élevé (en moyenne  $21 \pm 18,74$ ) parce que les boues sont très diluées. En fait, lors de la vidange des fosses, l'extraction de la partie supérieure (plus liquide) des boues est plus importante que celle des boues proprement dites. Ces caractéristiques des boues accentuent le risque de contamination des eaux de surface [25] et de la nappe phréatique par les pathogènes [26]. Des auteurs [12] ont mesurés des teneurs en coliformes fécaux d'environ 10000 UFC/100 mL dans les eaux de puits traduisant ainsi la vulnérabilité des ressources en eau au regard de la pollution bactériologique liée aux infiltrations issues des latrines.

### III-4. Analyses statistiques (ACP)

#### III-4-1. Matrice de corrélation

Le **Tableau 9** présente les résultats de l'analyse corrélative entre les paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Ainsi, la conductivité est positivement corrélée au pH et aux nutriments (ammonium et orthophosphates). De même, les paramètres de pollution organique que sont les MES, les MS, la DCO et la DBO<sub>5</sub> sont positivement et fortement corrélés entre eux. Ce qui signifie que les valeurs de ces variables sont "proportionnelles" les unes aux autres. Par contre, bien que positivement corrélés, les couples de paramètres pH-MVS, pH-nutriments (ammonium et orthophosphates) et enfin MVS-orthophosphates, sont très faiblement corrélés.

**Tableau 9** : Matrice de corrélation de Pearson des paramètres physico-chimiques et bactériologiques

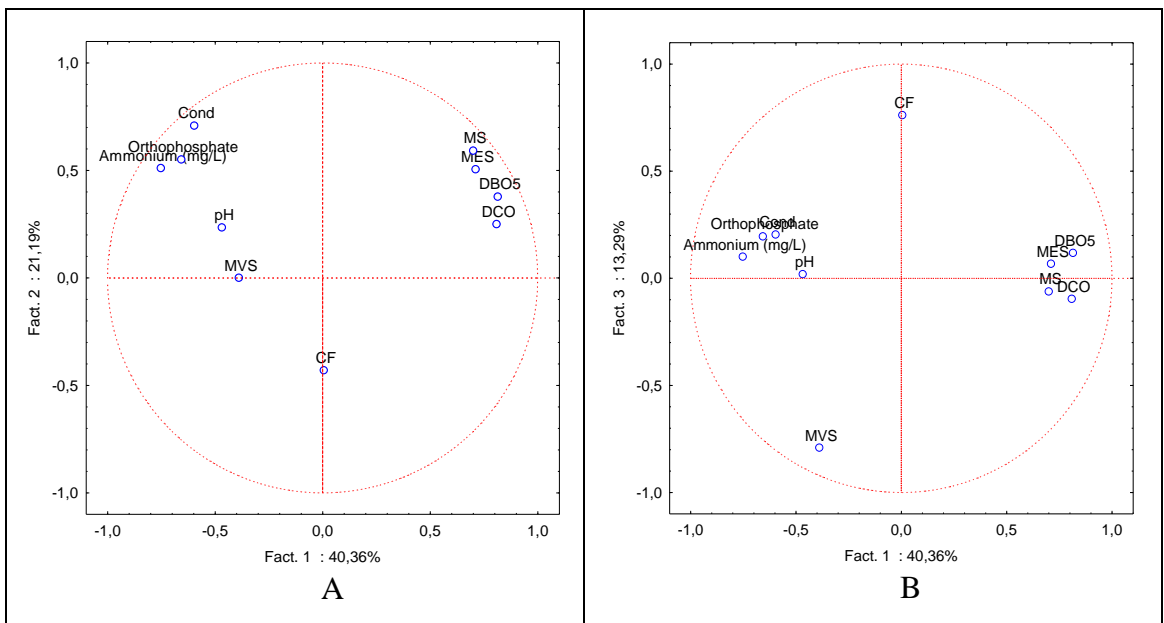
	Cond	pH	MES	MS	MVS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Orth	DCO	DBO <sub>5</sub>	CF
Cond	1									
pH	0,523	1								
MES	-0,137	-0,282	1							
MS	-0,030	-0,204	0,811	1						
MVS	0,028	0,170	-0,268	-0,145	1					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,773	0,331	-0,233	-0,255	0,242	1				
Orth	0,752	0,159	-0,135	-0,126	0,148	0,791	1			
DCO	-0,271	-0,293	0,561	0,625	-0,239	-0,462	-0,412	1		
DBO <sub>5</sub>	-0,174	-0,131	0,680	0,734	-0,391	-0,411	-0,371	0,748	1	
CF	-0,189	-0,048	-0,109	-0,204	-0,381	-0,118	-0,064	-0,159	-0,061	1

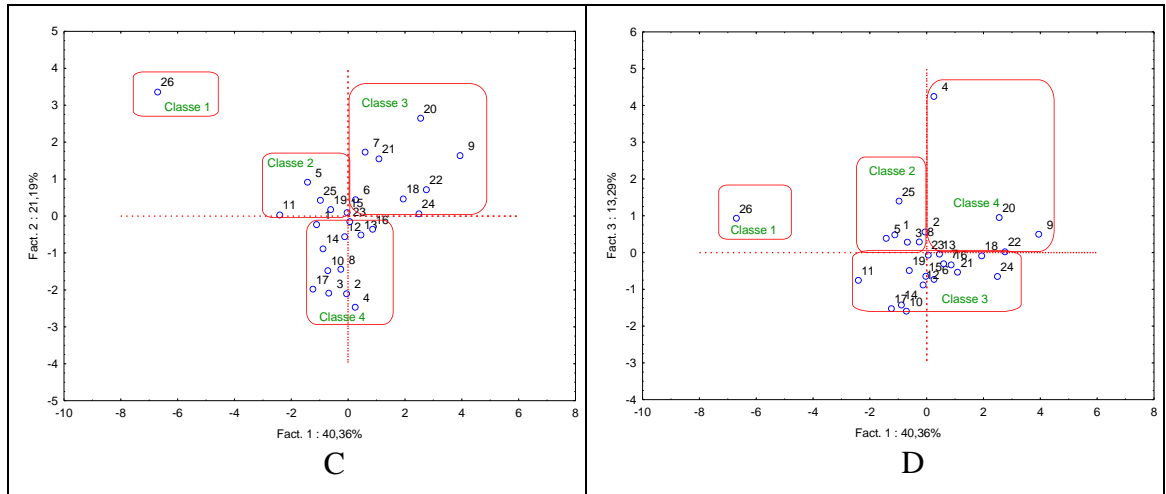
De fortes corrélations entre la conductivité et d'une part l'ammonium (0,772) et d'autre part l'orthophosphate (0,752) ont été établies. Aussi, une forte association entre NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et l'orthophosphate (0,791) traduit-elle la part prise par ces deux fractions des sels nutritifs. Les MES présentent une corrélation significative avec les MS (0,811). Par contre, la corrélation entre MES et MVS est très faible (-0,268). Les corrélations entre MES et MS et entre MES et MVS traduisent l'importance de la fraction organique contenue dans les échantillons. Il en est de même entre la DBO<sub>5</sub> et la MS (0,734) car la DBO<sub>5</sub> constitue la fraction organique biodégradable par les microorganismes. Aussi, observe-t-on une corrélation forte entre la DCO et la DBO<sub>5</sub> (0,748) qui traduit que la DBO<sub>5</sub> est la fraction biologiquement dégradable de la DCO.

#### III-4-2. Valeurs propres et variances exprimées

L'Analyse en Composante Principale (ACP) indique que les plans factoriels (F1-F2 ; F1-F3), représentent 74,83 % de la variance expliquée. Par

conséquent, ils dégagent la majorité des informations attendues. Le facteur 1 (F1) qui exprime 40,35 % de la variance expliquée est corrélé positivement aux matières en suspension (MES), aux matières sèches (MS), à la DCO et à la DBO<sub>5</sub> et négativement à l'ammonium et aux orthophosphates. Ce facteur traduit donc une pollution organique des boues de vidange. En ce qui concerne le facteur 2 (F2), seule la conductivité (CE) contribue fortement à sa représentation. Ce facteur exprime 21,19 % de la variance expliquée. Il traduit donc une forte minéralisation et un état alcalin des matières de vidange. Quant au facteur 3 (F3), il est corrélé négativement aux matières volatiles sèches (MVS) et positivement aux coliformes fécaux (CF). Ce facteur traduit la contamination des boues de vidange par des bactéries d'origine fécale. La **Figure 2** présente les résultats de l'analyse des cercles de communauté, des unités statistiques des plans factoriels F1-F2 et F1-F3.





**Figure 2 :** Cercles de communauté et unités statistiques des plans factoriels F1-F2 et F1- F3

Quatre grandes classes de boues de vidange se dégagent de cette analyse :

- Classe 1 concerne les boues de vidange riches en matières nutritives ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Il s'agit de l'échantillon 26 des boues de vidange,
- Classe 2 correspond aux boues de vidange alcalins et comprenant des MVS. Ce sont les échantillons 5, 25, 19, 11, 1, 23 des boues de vidange,
- Classe 3 est constituée de boues pauvres en polluants organiques (DCO, DBO5, MES, MS) et en matières nutritives ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) mais riches en coliformes fécaux. Il s'agit des échantillons 14, 12, 13, 10, 8, 17, 3, 2 et 4 des boues de vidange qui sont apparemment les plus chargées en coliformes fécaux.
- Classe 4 concerne les boues de vidange riches en polluants organiques (DCO, DBO5, MES, MS) et pauvres en matières nutritives ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Il s'agit des échantillons de boues de vidange 15, 6, 18, 24, 22, 21, 7, 20, et 9.

#### IV - CONCLUSION

La gestion des boues de vidange constitue une préoccupation majeure dans le District d'Abidjan. Elle requiert surtout une meilleure connaissance de la ressource. Ainsi, cette étude révèle que les matières de vidange se caractérisent par une grande variabilité des teneurs des différents paramètres. Celles-ci portent une forte charge polluante organique qui se traduit par des concentrations moyennes des paramètres physico-chimiques (DCO, DBO<sub>5</sub>, MES et MS) respectivement de 19398 mg/L, 9465 mg/L, 21115 mg/L et 981 mg/L. De plus,



ces paramètres de pollution organique sont positivement corrélés entre eux. Les boues du District d'Abidjan présentent également un caractère facilement biodégradable ( $DCO/DBO_5 \leq 2$ ). Ces résultats permettent d'orienter leur traitement vers plutôt un traitement biologique. La caractérisation bactériologique des boues révèle une forte charge en coliformes fécaux ( $672,37.10^5$  UFC/100 mL). Cette présence indique généralement une pollution fécale récente. La prévalence parasitaire s'élève à 21 UFC/100 mL et est dominée par les ankylostomes suivis des *Ascaris*. Cette étude apporte des informations qualitatives sur les boues de vidange du district d'Abidjan et propose un traitement biologique de celles-ci.

### REMERCIEMENTS

*Les auteurs remercient le Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL) à travers le Laboratoire Central de l'Environnement et celui des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement pour leur aide multiforme. Les auteurs remercient également les différents lecteurs du manuscrit pour leur contribution qui ont permis de rehausser la qualité de l'article.*

### RÉFÉRENCES

- [1] - ONU (ORGANISATION DES NATIONS UNIES), « Rapport sur les Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) », (2015) 75
- [2] - MC NDIAYE, H BOUCARI, M SAGNA and CS TOURE, « caractérisation de la charge polluante des boues de vidange dans les pays d'Afrique subsaharienne », *Cabinet EDE (Environnement, déchets, Eau) International-Ingénieurs, Conseils, Etudes et Contrôles*, (2018) 10
- [3] - I. SY, M. KEITA, D. TRAORÉ, B. KONÉ, K. BÂ, O. B. WEDADI, B. FAYOMI, B. BONFOH, M. TANNER and G. CISSÉ, « Eau, hygiène, assainissement et santé dans les quartiers précaires à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à l'approche écosanté à Hay Saken », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série, 19 (2014) 25
- [4] - D. HERISCHEN, M. S. RUWAIDA, and R. BLACKBURN, « Répondre au défi urbain », *Population Reports, Série M, N°.16*, Info Project, Maryland, USA, (2002) 23
- [5] - UNICEF (FOND DES NATIONS UNIES POUR L'ENFANCE), « Progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau – Rapport 2013 ». Bibliothèque OMS, (2013) 40
- [6] - M. COLCANAP and P. DUFOUR, « L'assainissement de la ville d'Abidjan : Evaluation, recommandation, proposition d'alternatives », *ORSTOM*, (1981) 299

- [7] - INS (INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE) « Profil de pauvreté en Côte d'Ivoire en 2002 », Abidjan, (2003) 188
- [8] - K. KOUASSI, « La vulnérabilité du système d'assainissement autonome et vulnérabilité environnementale à Attécoubé », *SANKOFA*, N° 6 (2014) 94 - 107
- [9] - F. KLINGEL, A. MONTANGERO, D. KONE and M. STRAUSS, « Gestion des boues de vidange dans les pays en développement », Manuel de planification, 1<sup>ère</sup> éd., EAWAG/SANDEC, (2002) 63
- [10] - DINEPA (Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement), « Guide technique : Filières de traitements des matières de vidange », (2013) 35
- [11] - DORDOGNE, « Schéma départemental d'éliminations des matières de vidange, rapport simplifié », (2009) 14
- [12] - C. DEFO, T. FONKOU, P. B. MABOU, P. NANA and Y. MANJELI, « Collecte et évacuation des boues de vidange dans la ville de Bafoussam, Cameroun (Afrique centrale) », *VertigO-La revue électronique en sciences de l'environnement*, 15 (1) (2015) 23
- [13] - M. GUERRIEN, « L'intérêt de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la recherche en sciences sociales », *Cahiers des Amériques latines* [En ligne], 43 | 2003, mis en ligne le 10 août 2017, consulté le 15 mai 2020. URL : <http://journals.openedition.org/cal/7364> ; DOI : 10.4000/cal.7364
- [14] - K. R. CLARKE and M. AINSWORTH, « A method of linking multivariate community structure to environmental variables », *Marine Ecology*, 92 (1993) 205 - 219
- [15] - J. COHEN, « *Statistical power analysis for the behavioral sciences* », Ed. Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates, New York, (1988)
- [16] - M. KONE, E. SERVICE, Y. OUATTARA, P. OUATTARA, L. BONOU and P. JOLY, « Caractérisation des boues de vidange dépotées sur les lits de séchage de zagtoui (Ouagadougou) », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (6) (2016) 2781 - 2795
- [17] - DEGRÉMONT, « *Memento Technique de l'eau, Tome 1-2* », Ed. Degrémont suez, Dixième édition, Paris, (2005)
- [18] - M. BASSAN, M. MBÉGUÉRÉ and F. ZABSONRÉ, « Integrated faecal sludge management scheme for the cities of Burkina Faso », *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 03 (2) (2013) 216 - 221
- [19] - J. P. CANLER, « Guide technique sur les matières de vidanges issues de l'assainissement non collectif : caractérisation, collecte et traitement envisageable », Ed. Cemagref, Documentation technique FNDAE 37, Lyon, (2010) 67
- [20] - R. BARRO, « Contribution à la mise en place d'une station de traitement des matières de vidanges par lits de séchage plantés d'*Echinochloa pyramidalis* à Ouagadougou », Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou (Burkina Faso), (2011) 63

- [21] - N. DEME, M. MBEGUERE and D. KONE, « Traitement de boues de vidange de système d'assainissement autonome à Dakar : évaluation de l'efficacité de la séparation solide/liquide dans deux bassins expérimentaux de sédimentation/épaississement », Symposium international sur la gestion des boues de vidange, Dakar, Sénégal, (2009) 27 - 31
- [22] - N. I. M. KENGNE, « Potentials of sludge drying beds vegetated with *Cyperus papyrus* L. and *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase for faecal sludge treatment in tropical regions », PhD thesis, University of Yaounde I, Faculty of Science, Yaounde, (2006) 114
- [23] - D. KONE and M STRAUSS, (2004), « Low-cost options for treating faecal sludges (FS) in developing countries; challenges and performance », Eawag/Sandec, (2004) 9
- [24] - F. M. ATO, T. WILSON, A. EDWARD, A. JOHANNES, A. EMMANUEL, A. JUSTICE, M. MOSES and C. KARTIK, « Chemical characterization of faecal sludge in the Kumasi metropolis, Ghana », *Gates Open Research*, (2017) 1 - 12
- [25] - Y. A. GNAGNE, B. O. YAPO, L. MEITE, V. K. KOUAMÉ, A. A. GADJI, V. MAMBO and P. HOUENOU, « Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (2) (2015) 1082 - 1093
- [26] - R. NATUMANYA and J. OKOT-OKUMU, « Evaluating coagulant activity of locally available *Syzygium cumini*, *Artocarpus heterophyllus* and *Moringa oleifera* for treatment of community drinking water, Uganda », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (6) (2015) 2535 - 2554