

Fonctionnement des collecteurs d'eau pluviale de cinq quartiers de la ville de Yamoussoukro, Côte d'Ivoire : identification des dysfonctionnements et dynamique des nutriments

Assamoi Béatrice AMA-CAUPHYS*, Aman MESSOU, Amenan Lydie Clarisse MANGOUA-ALLALI, Jean Paul AKA et Lacina COULIBALY

Laboratoire Environnement et Biologie Aquatique, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

(Reçu le 29 Août 2022 ; Accepté le 15 Octobre 2022)

* Correspondance, courriel : ama_beatrice@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des pressions humaines sur le fonctionnement des collecteurs ouverts de drainage des eaux pluviales de la ville de Yamoussoukro. Pour ce faire, l'état de fonctionnement de soixante-sept (67) canaux ouverts d'eau pluviale a été évalué. Le nombre de sites de déversement illicites d'eaux usées et de déchets solides sur ces canaux ont été enregistrés. En outre, l'autoépuration des eaux usées dans cinq collecteurs d'eau pluviale a été étudiée. Les résultats montrent que de grandes quantités d'eaux usées et de déchets solides sont véhiculées à travers les réseaux. Les effluents sont constitués de 93 % d'eaux usées domestiques, 4 % d'huile de vidange et 3 % des effluents de transformation de manioc. La présence de beaucoup d'éléments solides véhiculés dans les canalisations les obstrue ou diminue leur diamètre. Ce dysfonctionnement s'intensifie lorsque les collecteurs à ciel ouvert d'eau pluviale traversaient des quartiers populaires (N'Zuessy, Habitat et Dioulakro) à forte densité de population. Pourtant, lorsque les canaux ouverts sont éloignés des habitations, ils ne sont pas perturbés et gardent leur fonction originelle. Les résultats des analyses montrent que les concentrations des polluants étaient relativement plus élevées dans les collecteurs Kokr C2, Dioul C4 et Habt C35 (DCO : 1819,5 à 2131 mg/L ; phosphore : 0,09 à 0,45 mg/L, NO_3^- : 39,39 à 45,5 mg/L et NH_4^+ (34,94 à 38,25 mg/L). Cependant, il se produit une faible élimination des polluants pendant l'écoulement des eaux vers le milieu récepteur. En effet, l'on a obtenu 0,84 à 5,91 % d'enlèvement de la DCO, 1,16 % à 17,5 % d'enlèvement du phosphore, 1,95 % à 7,03 % d'élimination de NH_4^+ et 0,0030 à 4,31 % d'élimination de NO_3^- respectivement de l'amont vers l'aval des collecteurs Dioul C4 et Kokr C2, Nzue C4 et Habt C35, Kokr C2, Nzue C4 et Habt C35 et Dioul C4 et Habt C35. Le pH des eaux usées des collecteurs Nzue C4 et Habt C35 sont acides (PH < 7). En somme, les collecteurs ouverts d'eau pluviale contribuent faiblement à la purification des eaux usées s'écoulant vers le milieu récepteur. Les déchets doivent être fréquemment enlevés pour assurer leur bon fonctionnement.

Mots-clés : *collecteur d'eau pluviale, communauté, déchets solides, effluents, autoépuration, habitat dense, Yamoussoukro.*

Abstract

Stormwater open channel working in five district of the city of Yamoussoukro, Côte d'Ivoire : dysfunction identification and nutrient Dynamics

The aim of this study was to assess the effects of community pressures upon the sustainability of large open stormwater channels of the town of Yamoussoukro. To do this, the working state of sixty-seven stormwater open channels was assessed. The numbers of illicit wastewater and solids discharge sites on these stormwaters were recorded. Additionally, wastewater self purification in five stormwaters channel was investigated. The results show that big quantities of wastewaters and solid elements are transported through the network. The sewages are constituted of 95 % of domestic wastewaters, 4 % of car repair effluent and 3 % cassava couscous processing effluents. The presence of a lot of solid elements transported in the pipelines abstruse them or reduces their diameter. This dysfunction became severe when the stormwater crossed popular districts containing high-density. However, When the stormwater open channel was located far from habitations, they were not disturbed and kept their original function. The results obtained in the physicochemical analysis show Kokr C2, Dioul C4 et Habt C35 stormwater were most pollutant concentration (DCO : 1819,5 à 2131 mg/L; phosphorus: 0,09 à 0,45 mg/L, NO_3^- : 39,39 à 45,5 mg/L et NH_4^+ : 34,94 à 38,25 mg/L). However, the wastewater flowing into the stormwater were weakly self-purified. Indeed, 0.84 to 5.91 % COD removal, 1.16 % to 17.5 % phosphorus removal, 1.95 % to 7.03 % NH_4^+ removal and 0.0030 to 4.31 % NO_3^- removal were obtained respectively from upstream to downstream of the Dioul C4 and Kokr C2, Nzue C4 and Habt C35, Kokr C2, Nzue C4 and Habt C35 and Dioul C4 and Habt C35 stormwater. Wastewater in Nzue C4 and Habt C35 stormwater channel was acid ($\text{pH} < 7$) compared to that of Dioul C4, Kokr C2 and Habt C19. In sum, the stormwater open channel contributed little in wastewater purification. This stormwater must be cleaned regularly to ensure their sustained working condition.

Keywords : *stormwater channel, communities, discharge of solid, effluent, self-purification, dense habitation, Yamoussoukro.*

1. Introduction

L'urbanisation accrue et la forte croissance démographique sont le constat général qui marque de nos jours, les pays du monde et en particulier les pays en développement [1]. Cette croissance entraîne une production importante d'eaux usées, associée à d'énormes problèmes d'assainissement. Cette situation est devenue de plus en plus préoccupante dans les pays en développement. En Afrique, plus de 60 % de la population urbaine africaine est pauvre et vit dans des quartiers défavorisés. Ceux-ci sont en général dépourvus d'un système d'assainissement satisfaisant [2]. Pour remédier à cette situation, d'énormes investissements ont été réalisés dans la construction d'ouvrages d'assainissement adéquats tels que les collecteurs d'eaux usées et les stations d'épuration dans les pays en développement, surtout en Afrique [3]. Cependant, ces infrastructures d'assainissement restent insuffisantes et inadaptées dans les grandes villes africaines et une majorité de la population reste non raccordée au réseau d'assainissement de base [4]. Par conséquent, d'importantes quantités d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées sont évacuées dans les eaux de surface ou le milieu naturel [5]. De même, les dysfonctionnements des systèmes d'assainissement des déchets solides et liquides sont perceptibles dans toutes les villes. Les déchets solides sont irrégulièrement collectés. Les conséquences du dysfonctionnement des systèmes d'assainissement sur l'environnement et la santé humaine prennent de plus en plus d'ampleur entraînant des déséquilibres du milieu environnemental (dystrophie des retenues d'eau, disparition des écosystèmes, etc.) et provoquant par ailleurs chez l'homme des problèmes de santé et de mortalité. Ces différents problèmes interpellent tous les acteurs impliqués à prendre des décisions

appropriées [6]. La situation n'est guère reluisante en Côte d'Ivoire, même en milieu urbain. La ville de Yamoussoukro confrontée à une urbanisation galopante en est une illustration. On comptait dans la ville 355.573 habitants au dernier recensement de 2014 [7], contre 8 020 habitants en 1998 [8], soit un taux d'accroissement moyen annuel de 6,92 %. Pourtant, l'assainissement ne suit pas le rythme de la croissance démographique. Dans la ville, il ressort que 2/3 des quartiers ont des systèmes d'assainissement inachevés ou parfois inexistantes surtout dans les nouveaux quartiers créés après 1990 [9]. Dans de nombreux quartiers comme Dioulakro, Sopim, Kokrénou., etc., on observe des insuffisances de système d'assainissement. Face à cette insuffisance, on assiste à des situations alternatives adoptées par des ménages pour la gestion des eaux usées [10]. Les habitants font le choix du rejet des eaux usées urbaines dans la nature ou souvent dans les collecteurs d'eau pluviale strictement destinés au drainage des eaux pluviales vers le milieu récepteur. Ces rejets affectent la qualité des milieux récepteurs, du cadre de vie et créent des nuisances sanitaires. Par ailleurs, des déchets solides produits par les ménages sont introduits dans ces canalisations à ciel ouvert. La présence de ces déchets obstrue et réduit la section et la pente de ces collecteurs ; ce qui entraîne des inondations régulières, des risques de contamination des populations, des odeurs nauséabondes et la pollution accélérée des lacs de Yamoussoukro qui soulève déjà des inquiétudes. Par conséquent, il est nécessaire d'évaluer l'impact des pressions humaines sur le fonctionnement des collecteurs de drainage des eaux pluviales. Les objectifs spécifiques étaient (i) de faire l'état des lieux du fonctionnement des canaux ouverts d'eaux pluviales de cinq quartiers de Yamoussoukro notamment ceux de N'Zuessy, Assabou, Dioulakro, Habitat et Kokrénou (ii) d'évaluer la cinétique d'autoépuration des eaux usées drainées par les canaux ouverts d'eau pluviale de la ville de Yamoussoukro.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

La ville de Yamoussoukro, capitale politique et administrative de la Côte d'Ivoire, est localisée au centre du pays entre 6°40' et 7° de latitude Nord et entre 5°10' et 5°20' de longitude Ouest. Elle est située à une distance de 240 km au nord d'Abidjan. Cette ville compte une dizaine de quartiers, dont des quartiers populaires, qui renferme plusieurs quartiers précaires (Habitat, Dioulakro, Kokrenou, Morofé, N'zuessy, 220 Logements, Énergie) et des quartiers résidentiels (Millionnaire et Assabou). La zone d'étude concerne précisément les collecteurs d'eau pluviale localisés dans cinq quartiers de la ville de ville de Yamoussoukro notamment Assabou, Habitat, N'Zuessy, Dioulakro et Kokrénou (*Figure 1*).

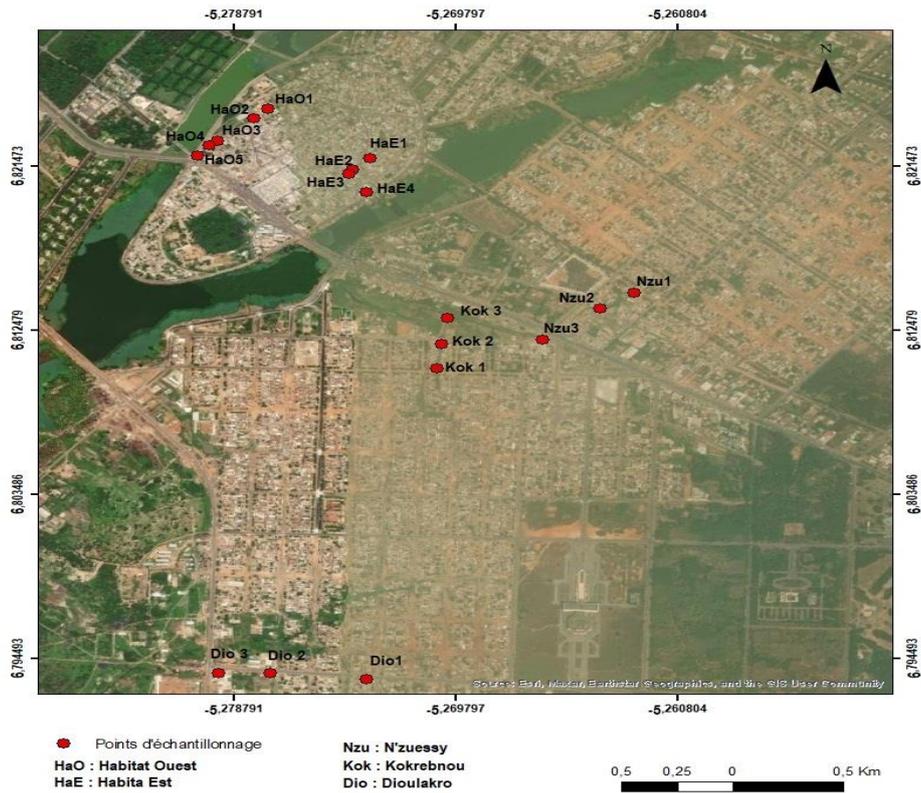


Figure 1 : Localisation des points d'échantillonnage

2-2. Fonctionnement des canalisations d'eau pluviale

Les collecteurs qui ont été choisis dans le cadre de cette étude devaient permettre d'appréhender l'influence des différentes actions humaines sur ces ouvrages. Pour ce faire, les différentes situations rencontrées dans le district d'Abidjan ont été prises en compte : influence des quartiers précaires, influence des quartiers résidentiels, influence de la pollution industrielle ou artisanale, influence de la faune ainsi que la longueur des canaux. Par ailleurs, les collecteurs retenus devaient être bien délimités, proche ou loin des habitations et visitables. C'est ainsi que soixante-sept (67) collecteurs essentiellement en béton ont été identifiés et suivis : huit (8) à Assabou, sept (7) à N'zuessy, quatre (4) à Kokréno, onze (11) à Dioulakro et trente-six (36) à Habitat. Ces canaux de drainage des eaux pluviales étaient influencés par des activités anthropiques indépendamment des quartiers. Habitat, N'Zuessy, Dioulakro et Kokréno sont des quartiers populaires et renferment plusieurs quartiers précaires. En revanche, Assabou est un quartier résidentiel. Pour évaluer le fonctionnement du réseau d'eau pluviale, plusieurs visites ont été réalisées sur ces ouvrages identifiés pour noter les malfaçons. En dehors des eaux pluviales, toutes les anomalies susceptibles de nuire au bon fonctionnement des collecteurs ont été identifiées à savoir les branchements illicites, la présence d'immondices, la présence de végétaux et les dépôts de sédiments. Aussi, la photographie a été utilisée pour mieux appréhender les différents points de défection des canaux, les zones obstruées par les ordures, et d'identifier les imperfections et leurs impacts sur l'environnement.

2-3. Détermination de la nature des déchets solides

La détermination des déchets a été faite par des observations sur des échantillons prélevés à la pelle.

2-4. Échantillonnage

Pour étudier la dynamique des nutriments et la pollution organique dans les collecteurs, des échantillons d'eau ont été prélevés dans les canaux de NZue C4 à N'zuessy, Dioul C4 à Dioulakro, Kokr C2 à kokrénoù, et Habt C19 à Habitat-Est et Habt C35 à Habitat-Ouest). Sur chaque collecteur, des stations de prélèvement ont été établies de l'amont vers l'aval. Ainsi, trois (03) stations de prélèvement ont été établies sur les collecteurs NZue C4 (Nzu 1, Nzu 2, Nzu 3), Dioul C4 (Dio 1, Dio2 et Dio3) et Kokr C2 (Kok 1, Kok 2 et Kok3), quatre (04) sur le collecteur Habt C19 (HaE1, HaE2, HaE 3 et haE4) et enfin cinq (05) (HaO 1, HaO 2, HaO 3, HaO4 et HaO 5) sur le collecteur Habt C35 (*Figure 1*). Ces stations sont différentes d'un collecteur à un autre. Ainsi pour un collecteur donné (x), ayant trois (3) Points d'Échantillonnage (PE) ; les indications suivantes seront observées : Cx1, Cx2 et Cx3 dans le sens amont aval. Le prélèvement de l'eau aux différentes stations des collecteurs a été réalisé simultanément à 13 heures à intervalle de trois (3) jours distincts. Selon [11], le rendement d'autoépuration est élevé à cette heure. Un échantillon d'eau à chaque station a été prélevé à l'aide d'une pissette et transféré dans un flacon de 0.5 litre. L'ensemble a été conservé à 4°C jusqu'à l'analyse. Les caractéristiques des collecteurs choisis sont présentées dans le *Tableau 1*.

Tableau 1 : Caractéristiques des collecteurs (NZue C4 : collecteur à N'Zuessy ; Dioul : collecteur à Dioulakro; Kokr : collecteur à Korenou; Habt : collecteur à habitat

Collecteurs	NZue C4	Dioul C4	Kokr C2	Habt C19	Habt C35
Forme	Trapèze	Rectangulaire	Carré	Rectangulaire	Rectangulaire
Longueur (m)	780	320	1440	422	866
Quartier	N'Zuessy	Dioulakro	Kokrénou	Habitat est	Habitat Ouest
Vitesse moyenne d'écoulement (m/s)	0,350	0,033	0,170	0,430	0,030
Nombre de Points d'échantillonnage	03 (Nzu1, Nzu2 et Nzu3)	03 (Dio1 , Dio2 et Dio 3)	03 (Kok 1, Kok 2 et Kok 3)	04 (HaE1, HaE2, HaE3 et HaE4)	05 (HaO1, HaO2, HaO3, HaO4 et HaO5)

2-5. Analyse des paramètres physicochimiques

Le pH a été mesuré in situ par la méthode électrochimique à la sonde selon la norme NF T90-008. L'équipement utilisé se compose d'un multiparamètre analyseur consort C 830. Concernant la demande chimique en oxygène (DCO), elle a été déterminée par oxydation au dichromate de potassium conformément à la norme NF T90-101. En effet, l'échantillon est oxydé en milieu acide à haute température (150°C) pendant 2 h par un excès de dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇). L'azote ammoniacal (NH₄⁺) a été déterminé par la méthode spectrométrique, au bleu d'indophénol décrit par la norme NF T90-015. Concernant l'azote total Kjeldahl (NTK), il a été déterminé par la méthode spectrométrique, au bleu d'indophénol décrite par la norme NF T90-015. La détermination des nitrates (NO₃⁻) repose sur la méthode spectrométrique d'absorption au cadmium suivant la norme NF T90-045. Quant au phosphore total (Pt), il a été dosé après minéralisation à chaud par spectrophotométrie UV-Vis pro-Évolution 201 selon la norme ISO 6878 v 2004. Le temps de séjour hydraulique des collecteurs a été obtenu en divisant la longueur du collecteur par une vitesse moyenne d'écoulement.

3. Résultats et discussion

3-1. État de fonctionnement des collecteurs d'eau pluviale

3-1-1. Introduction des effluents urbains

À Yamoussoukro, les collecteurs d'eau pluviale sont essentiellement concentrés dans cinq quartiers (Assabou, Dioulakro, Habitat, Kokrénoù et N'Zuessy) sur les 10 que compte la ville. Les caniveaux à ciel ouvert, destinés à canaliser les eaux pluviales dans la ville de Yamoussoukro, sont, sur fond d'absence de réseau d'égouts, les récepteurs des eaux usées. Il ressort de l'analyse de la **Figure 2** ci-dessous que les eaux usées drainées dans les collecteurs d'eau pluviale sont majoritairement des eaux usées domestiques (93 %) venant des habitations et des activités commerciales (restaurant, marché, etc.). Elles sont suivies des déchets d'hydrocarbure, de graisse et d'huile de moteur provenant des garages mécaniques et station de lavage auto-moto avec une proportion de 4 %. Les rejets issus de la transformation du manioc en attiéké (3 %) représentent la plus faible proportion (**Figure 2**).

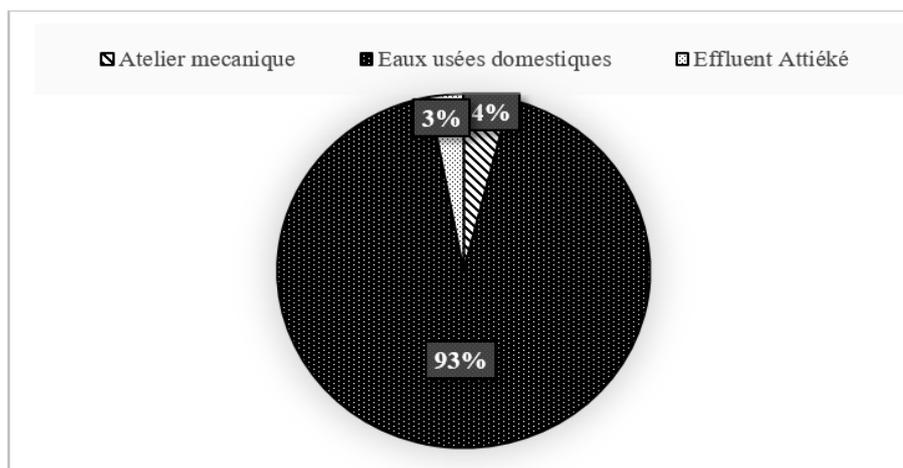


Figure 2 : Nature des rejets liquides dans les canalisations d'eau pluviale

Les photos de la **Figure 3** ci-dessous sont une illustration de ces types d'eaux usées introduites dans les canalisations d'eau pluviale. La **Figure 3A**, montre les sites de rejet d'effluents de production d'attiéké au niveau du quartier N'Zuessy. Les photos de la **Figure 3B et 3C** présentent des caniveaux recevant des huiles de vidange et des eaux de lessive, respectivement au quartier Dioulakro et Kokrénoù. Ces pratiques révèlent le manque de connaissance et de prise de conscience des atteintes liées à l'environnement. L'introduction des eaux usées domestiques dans les collecteurs d'eau pluviale pourrait s'expliquer par le manque de collecteurs d'eaux usées dans les zones traversées, ce qui indique que la gestion des eaux usées constitue dans ce contexte un acte individuel [12]. L'insuffisance d'ouvrage avait été relevée par [13] qui soutenait que seulement 8 % de la population à Yamoussoukro étaient raccordées au réseau d'égout. Face à cette insuffisance, de nombreux ménages utilisent le système d'assainissement individuel provoquant des problèmes d'évacuation des eaux usées dans les rues et les collecteurs d'eau pluviale. Les travaux de [14] à Niamey [15] au Cameroun [16] à Yaoundé [17] à M'Bahiakro [11 - 18] à Abidjan et [19] à Daloa, confirment cette situation qui montrent que les caniveaux sont utilisés par 2 à 9 % des ménages qui résident à proximité. Ces déversements non contrôlés contribuent à la pollution des lacs de Yamoussoukro [20]. Par ailleurs, les effluents issus des activités exercées en bordure des collecteurs (effluents de garages, de lavage d'autos, de production d'attiéké, etc.) y sont directement rejetés. Cette situation est due à l'insuffisance et/ou le manque d'ouvrage d'assainissement d'eaux usées d'une part, et au manque d'éducation environnementale des populations d'autre part.



Figure 3 : *Illustration des types d'eaux usées dans les canalisations d'eau pluviale : A= écoulement de jus de manioc issus de la production d'attiéké (Quartier N'Zuessy); B = Déversement d'huile de moteur dans les collecteurs (Quartier Dioulakro); C = déversement d'eau de lessive (Quartier Kokrénou)*

Les eaux usées domestiques produites sont rejetées soit directement dans les caniveaux, soit à travers un raccordement en tuyau PVC liant le domicile et le réseau existant ou par rigole drainant les eaux usées des habitations (**Figure 4**).



Figure 4 : *Branchement illicite sur les canalisations. A = Intrusion par rigole d'eau de toilette (Habitat); B = point de déversement direct d'eau de lessive et vaisselle (Dioulakro); C = Raccordement par PVC (Dioulakro)*

Les investigations ont permis de montrer que le déversement direct (55 %) des eaux usées et le raccordement par les tuyaux PVC (26 %) sont les pratiques les plus répandues dans les différents quartiers contrairement au déversement par les rigoles (19 %) (**Figure 5**). Ce constat est plus accentué au niveau des collecteurs traversant les quartiers populaires et précaires comme Habitat, Dioulakro et N'Zuessy avec respectivement 437, 349 et 305 (**Figure 6**) points de raccordement illicites dénombrés sur ces collecteurs. Cette situation serait due à l'insuffisance et/ou le manque d'ouvrage d'assainissement d'eaux usées, au manque d'éducation environnementale des populations à Yamoussoukro, mais aussi à la proximité des habitations avec les collecteurs.

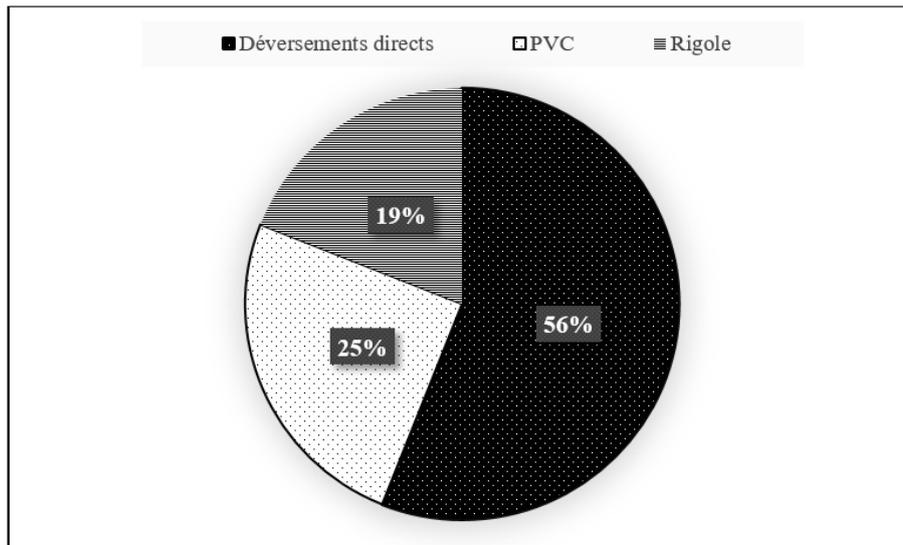


Figure 5 : Proportion des modes d'intrusion des eaux usées dans les canaux

En revanche, les collecteurs traversant Assabou qui est un quartier résidentiel, regorgent moins de raccordement d'habitation. Ce résultat pourrait s'expliquer par le niveau d'information et le standing de vie. En effet, on constate que les habitants du quartier résidentiel d'Assabou sont les mieux informés des questions environnementales. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par [21] qui a montré dans une étude réalisée à Lefke (Turky), que le niveau d'éducation est un facteur qui affecte la sensibilité des populations face aux questions environnementales. De même [22], dans une étude réalisée dans cinq pays (France, Allemagne, Italie, le Portugal, le Royaume-Uni) ont montré aussi l'influence du niveau d'éducation et de vie sur le comportement des citoyens vis-à-vis de l'environnement. Cependant, des branchements illicites ont été observés sur les collecteurs Ass C6 et Ass C7 dudit quartier. Cette situation s'expliquerait par le fait que ces collecteurs traversent un quartier populaire et une zone où l'on pratique des activités commerciales (maquis, restaurant et lavage auto). Aussi, le raccordement d'habitation sur ces collecteurs en dehors des quartiers précaires et populaires pourrait-il s'expliquer par le coût élevé de la connexion à l'égout des eaux usées s'il existe et d'autre part par le manque d'éducation sanitaire sur le rôle des collecteurs d'eau pluviale.

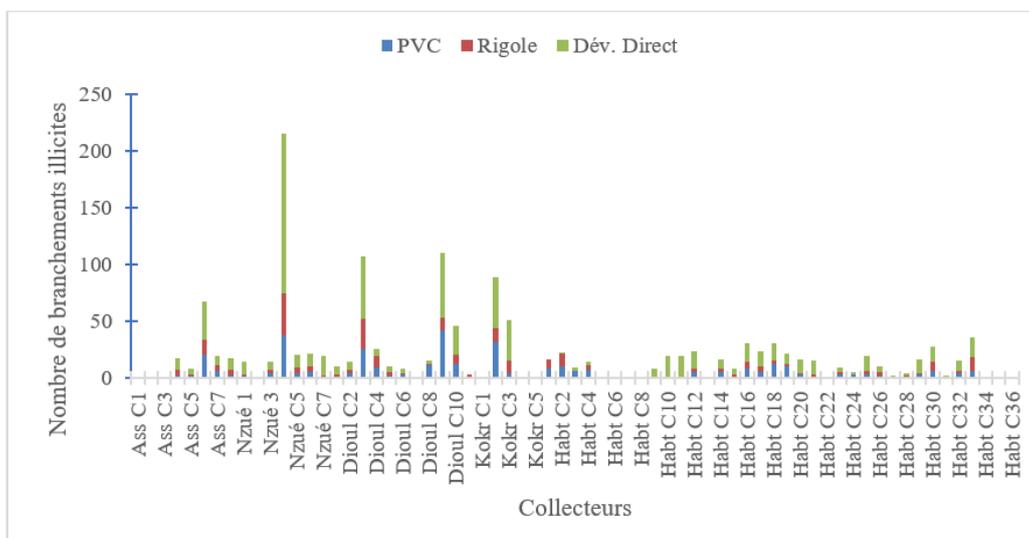


Figure 6 : Points d'intrusion illicite d'eaux usées dans les collecteurs primaires

3-1-2. Accumulation de déchets solides

En plus des eaux usées urbaines, les collecteurs à ciel ouvert drainent divers déchets solides produits par les ménages. Ces déchets sont composés de sachets d'emballage, des cartons, des débris d'aliments, des chaussures usées, des récipients, de sable, etc. (**Figure 7A**). Ces mêmes observations ont été faites à Abidjan [11 - 23] et à Porto Novo au sud du Bénin [24]. Cette situation a pour conséquence l'envasement des lacs de Yamoussoukro qui sont le réceptacle privilégié et l'obstruction partielle ou totale des collecteurs entraînant ainsi une stagnation des eaux usées ou des inondations dans la ville (**Figure 7B**). [6] ont pu constater de tels phénomènes à Yaoundé. Par ailleurs, le long séjour de déchets dans les collecteurs d'eau pluviale sur lesquels croissent des végétaux pourrait être dû au manque de curage régulier de ces canalisations par la SODECI.



Figure 7 : *Présence de déchets solides dans les caniveaux : A = Poubelle installée à proximité du collecteur (Kokrénou), B = accumulation de déchets solides dans un collecteur complètement envasé*

La **Figure 8** montre le nombre de points de déchets solides et d'ensablements identifiés sur l'ensemble des collecteurs primaires. Un plus grand nombre de points de déchets solides a été rencontré dans les collecteurs suivants : N'Zué 4 à N'Zuessy (27), Habt C10 (12), Habt C11(12) à Habitat, Dioul C6 à Dioulakro (10), Ass C6 à Assabou (8) et Dioul C9 à Dioulakro. Dans ces zones, la proximité géographique des collecteurs détermine souvent l'attitude et le comportement des ménages dans la gestion des ordures ménagères. En effet, les visites de terrain révèlent que les ménages des quartiers Habitat et Dioulakro situés à proximité du canal perçoivent le canal comme une décharge d'ordures. Des résultats similaires ont été obtenus par [25] qui a observé en moyenne que 45 % des avaloirs étudiés dans la ville de Parakou au Bénin étaient bouchés dont 15 % l'étaient délibérément par des riverains. Cette réalité découle de la défaillance du système de gestion des déchets dans ces zones, se traduisant notamment par une absence du service de collecte des ordures dans certains quartiers de la ville et l'éloignement des points de collecte des déchets. En effet, le mauvais état des routes desservant ces quartiers, rend pénible leur accès par les véhicules motorisés, en charge de la précollecte et de la collecte des ordures. Les ménages ont donc comme solution alternative, le rejet des déchets produits dans ces espaces. À cette réalité, s'ajoute le manque de civisme des ménages. L'augmentation des déchets solides dans la canalisation due à la proximité des habitations semble se vérifier, car les collecteurs éloignés des habitations ne contiennent presque pas de déchets solides. C'est le cas des collecteurs de Kokr C4 et C5 à Kokrénou, Ass C1 à Assabou, Habt C1, C6, C7, C15, C34 à Habitat. Concernant les points d'ensablement, les plus grands nombres ont été observés dans les collecteurs NZué C4 à N'Zuessy (18 points) tandis qu'un petit nombre a été trouvé dans les autres collecteurs. Ce résultat traduit le manque de curage régulier de cette canalisation par la mairie et le district autonome de Yamoussoukro. En effet, ces acteurs sont chargés de faire l'entretien des grands collecteurs de la ville et du ramassage des ordures ménagères. Ces résultats sont conformes à ceux de [26, 27]. Ces auteurs expliquent ce constat par le manque d'entretien des collecteurs à Abidjan et à Cotonou.

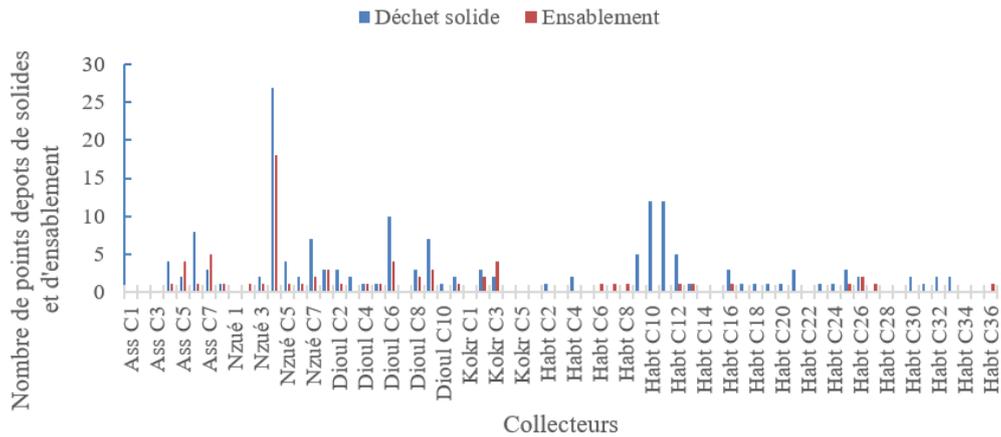


Figure 8 : Proportion des points d'ensablement et de déchets solides dans l'ensemble des collecteurs primaires

3-2. Dynamique des polluants dans les collecteurs d'eau pluviale

3-2-1. pH

La **Figure 9** présente l'évolution du pH des eaux usées des collecteurs étudiés. Dans l'ensemble, les valeurs de pH diminuent de l'amont vers l'aval des collecteurs. Cette diminution du pH dans le sens amont-aval du collecteur peut s'expliquer par la dilution de l'eau du collecteur par les eaux usées ou de ruissellement introduit ou par le processus de nitrification [28]. Cependant, des valeurs élevées de pH ont été observées dans les échantillons des collecteurs Dioul C4 à Dioulakro, Kokr C2 (Kokrenou) et Habt C19 (Habitat Est). Les valeurs moyennes sont comprises entre 7,1 et 7,5. Les valeurs obtenues sont du même ordre que celles des eaux usées domestiques [29], ce qui confirme que les eaux rejetées dans ces trois collecteurs d'eau pluviale ont une origine purement domestique. En revanche, les collecteurs Nzue C4 (N'Zuessy) (6,5) et Habt C35 (Habitat-Ouest) (5,9) donnent les faibles valeurs de pH. Les faibles valeurs enregistrées dans le collecteur Habitat-Ouest seraient dues à la présence d'unité de production d'attiéké à proximité de ces collecteurs qui y déverse des effluents (jus de manioc) dont la dégradation produit des dérivés acides [26].

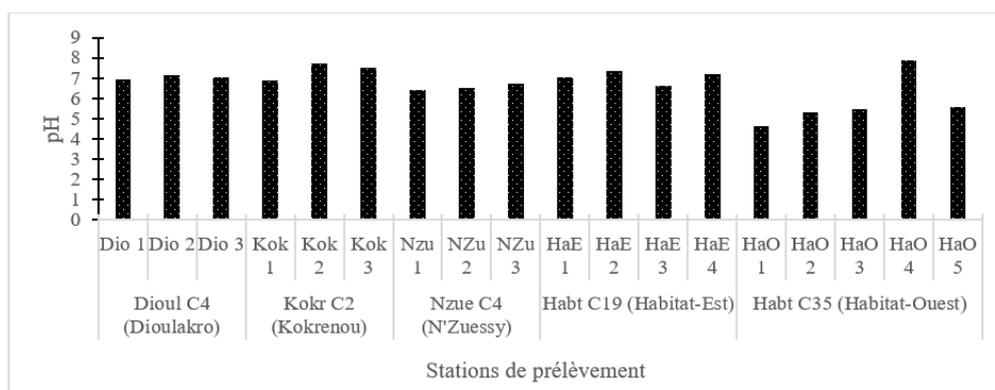


Figure 9 : Variation du pH des EU dans les collecteurs d'eau pluviale étudiés

3-2-2. Phosphore total

La **Figure 10** présente l'évolution de la concentration de phosphore dans les collecteurs étudiés. On observe une diminution de la concentration du phosphore dans le sens Amont aval des collecteurs Dioul C4 (Dioulakro), Nzue C4 (N'Zuessy), Habt C19 (Habitat-Est) et Habt C35 (Habitat-Ouest) contrairement au collecteur Kokr C2

(kokrénu) dans lequel les concentrations de phosphore augmentent de l'amont vers l'aval. La variation de concentration observée entre les différentes stations pourrait s'expliquer par la qualité des eaux introduite dans le collecteur. En effet, une eau issue d'un raccordement qui aurait une concentration faible en phosphore pourrait contribuer à une dilution de la concentration en se mélangeant aux eaux du collecteur. En revanche, le phénomène contraire pourrait se dérouler si l'eau introduite avait une concentration élevée en phosphore. La diminution de la concentration du phosphore dans le sens amont aval pourrait s'expliquer également par l'utilisation du phosphore par les microorganismes pour leur synthèse biochimique. Par ailleurs, les concentrations de phosphore dans les collecteurs Kokr C2 (Kokrénu) et Habt C35 (Habitat-Ouest) étaient supérieures (0,09 à 0,45 mg/L) à celles des autres collecteurs avec les concentrations qui varient entre 0,03 à 0,04 mg/L. La forte concentration de phosphore serait due à la faible présence de sédiments qui réduit le phénomène d'adsorption dans ces collecteurs. [30] affirme que le phosphore a une forte affinité pour les sédiments, ce qui fait qu'en période de basses eaux, il y a une adsorption de phosphore sur ceux-ci et sa concentration est faible dans la colonne d'eau. Ce résultat pourrait également être dû au rejet d'importants volumes d'eaux usées de marchés, des habitations des quartiers populaires traversés et des stations de lavage. En effet, dans ces quartiers, les populations ont construit des habitations sans y installer des systèmes sanitaires adéquats si bien que les eaux de ménage et des commerces sont évacuées dans les rues et les caniveaux à ciel ouvert. Alors que selon [31], les eaux usées des stations de lavage et de lessive contiendraient beaucoup de détergents qui sont les principales sources de phosphore dans les eaux usées domestiques. En revanche, les faibles concentrations de phosphore observées dans les canalisations Dioul C4 (Dioulakro), NZue C4 (Nzuessy) et Hab C19 (Habitat Est) seraient dues à une accumulation de déchets solides dans ces collecteurs, ce qui entraîne une adsorption sur ceux-ci, réduisant ainsi leurs concentrations.

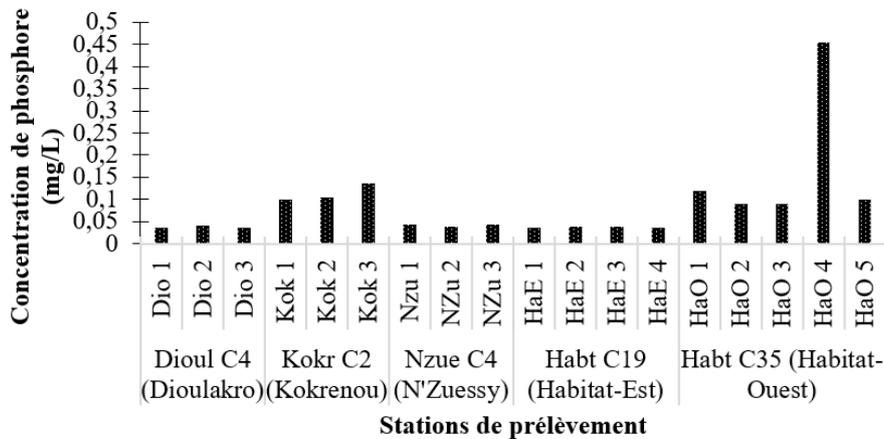


Figure 10 : Variation des concentrations de phosphore dans les collecteurs d'eau pluviale étudiés

3-2-3. Ammonium (NH₄⁺) et nitrate (NO₃⁻)

Quant aux concentrations de l'ammonium (NH₄⁺) et du nitrate (NO₃⁻) dans les collecteurs d'eau pluviale, les résultats ont montré dans l'ensemble, une légère diminution dans le sens Amont-Aval des collecteurs Kokr C2, Nzue C4 et Habt C35 avec les taux d'élimination qui varie de 0,31 à 3,03 % pour les nitrates et 1,2 à 7,03 % pour l'ammonium (Figure 11). Ces résultats pourraient s'expliquer par les effets combinés de la dilution des eaux de ruissellement pauvre en azote dans le réseau ainsi que l'oxydation de NH₄⁺ par nitrification ou de leurs volatilisations dans les situations de pH basique. En considérant les collecteurs, on a remarqué que les valeurs de concentration de NH₄⁺ et de NO₃⁻ enregistrées dans le collecteur Habt C35 (Habitat-Ouest) étaient plus élevées que celles obtenues dans les autres collecteurs. Les valeurs de NH₄⁺ et de NO₃⁻ dans le collecteur Habt C35 (Habitat-Ouest) sont comprises respectivement entre 34,54 à 38,25 mg/L

et entre 39,39 à 42,50 mg/L) alors que dans les autres collecteurs elles sont comprises entre 23,05 et 30,16 mg/L(NH_4^+) et entre 27,85 et 32,7 mg/L (NO_3^-). Les concentrations élevées de NH_4^+ et de NO_3^- dans le collecteur Habitat seraient liés au rejet d'eaux usées domestiques issues des toilettes et des WC. Selon [32], ces types de rejets dans les collecteurs pourraient contribuer à plus de 90 % de la charge en azote, car le NH_4^+ a pour source principale l'urine, alors que les nitrates sont issus des eaux vannes (WC). Ce résultat pourrait également résulter de la putréfaction des déchets organiques entreposés dans ce collecteur. Quant au collecteur DioulC4 (Dioulakro), on observe dans l'ensemble une augmentation de ces composés dans le sens amont aval. Cette augmentation en aval du collecteur serait due au rejet d'importants volumes d'eaux usées de marchés, des habitations des quartiers populaires et précaires traversés et du parc animalier. En effet, c'est à l'aval de ce collecteur qu'un nombre très important de raccordements illicites de population à celui-ci a été relevé.

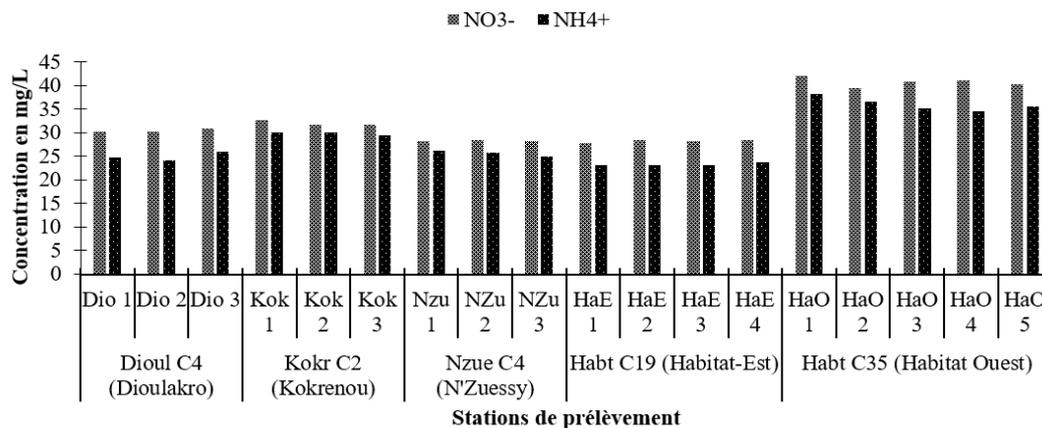


Figure 11 : Variation des flux de NH_4^+ et NO_3^- dans les collecteurs d'eau pluviale étudiés

3-2-4. Demande chimique en oxygène (DCO)

Quant à la concentration de la DCO dans les collecteurs d'eau pluviale, les résultats ont montré des concentrations élevées dans les eaux des collecteurs Kokr C2 (Kokrénou) et Habt C35 (Habitat-Ouest) alors qu'elle est faible dans les autres collecteurs. Ces concentrations varient dans le sens amont aval dans l'ensemble des collecteurs. Par ailleurs la DCO dans les collecteurs Dioul C4 (Dioulakro) et Kokr C2 (Kokrénou) a été faiblement éliminée respectivement à hauteur de 5,83 % et 0,33 % (Figure 12). Étant donné que le collecteur Nzue C4 et Dioul C4, détiennent le plus grand nombre de points de solide et d'ensablement, la rétention de la matière particulaire sur les déchets et l'oxydation biologique des matières organiques dissoutes dans les eaux usées seraient à la base de la baisse de la concentration de DCO constatée dans le collecteur Nzuessy. Quant au collecteur kokr C2, la faible élimination de la DCO s'expliquerait par le temps de séjour de l'eau dans le collecteur qui augmente avec la distance. En effet, le collecteur Krok C2 est le plus long des cinq collecteurs étudiés avec une longueur de 1440 m suivis des collecteurs Habt C35 (866 m), Nzue C4 (780 m), Habt C19 (422 m) et enfin le collecteur Dioul C4. Les eaux mettent 2 H 21 min 11 s pour le traverser le collecteur Kokr C2 à kokrenou. Ce temps aurait permis d'une part, aux microorganismes de décomposer ou de transformer la pollution organique de l'eau et d'autre part, à la sédimentation d'une partie de la charge polluante [33-34-15]. Les concentrations élevées de DCO à l'aval des autres collecteurs seraient liées au rejet d'eau usée domestique riche en polysaccharides et protéines qui composent l'essentiel de la DCO des eaux usées domestiques [34].

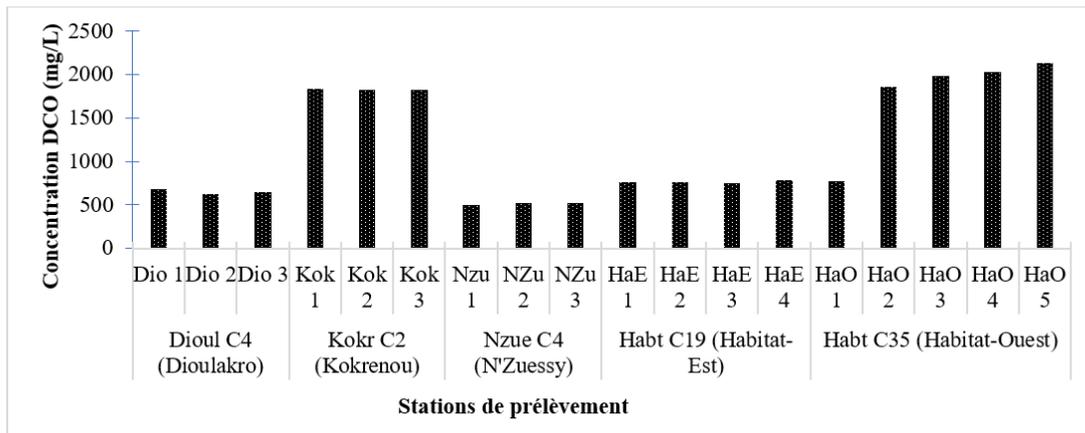


Figure 12 : *Variation de la concentration de la demande chimique en oxygène (DCO) dans les collecteurs d'eau pluviale étudiés*

4. Conclusion

L'étude des collecteurs d'eau pluviale dans les quartiers de Yamoussoukro a permis de connaître les dysfonctionnements entravant leur fonctionnement et d'étudier la dynamique comparée des nutriments et de la pollution organique dans ceux-ci. Ces collecteurs, initialement conçus pour drainer les eaux pluviales vers les lacs sont transformés en dépotoir sauvage d'ordures de tous genres et le réceptacle des eaux usées domestiques via des branchements illicites. Les fréquentes introductions de ces déchets liquides et solides dans les collecteurs ont été observées dans les quartiers N'Zuessy, Habitat et Dioulakro. Ces dysfonctionnements sont essentiellement causés d'une part par les populations riveraines dans ces quartiers (populaires et précaires) dont le niveau de formation environnementale est faible et d'autre part par l'absence d'entretien et de curage par la mairie et le district autonome de Yamoussoukro, mais aussi par l'insuffisance des réseaux de canalisation des eaux usées. Quant à l'étude de la dynamique comparée des nutriments, les mesures des paramètres physico-chimiques des eaux usées prélevées dans les 5 collecteurs choisis ont montré qu'il se produit une réduction du pH, une élimination progressive des polluants de l'amont vers l'aval dans l'ensemble des collecteurs. Ce sont les collecteurs N'Zue C4, Dioul C4 et Habt C19 qui avaient les concentrations de polluants les plus élevées. Vu les conséquences liées aux dysfonctionnements des collecteurs et l'intérêt que ceux-ci présentent dans le traitement des eaux, une attention particulière doit être accordée à l'état de fonctionnement des collecteurs à ciel ouvert, les déchets doivent être fréquemment enlevés et les communautés doivent être éduquées sur le bien-fondé des collecteurs.

Références

- [1] - B. COLLIGNON et M. VÉZINA, les opérateurs indépendants des services de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement en milieu urbain africain. Programme pour l'Eau et l'Assainissement, (2000) 92 p., <https://www.wsp.org>
- [2] - M. STEINER, Évaluation des réseaux d'égout à faible diamètre dans les quartiers défavorisés de Bamako (Mali). Travail pratique de diplôme Université Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse, (2002) 70 p.
- [3] - E. MORELLA et V. FOSTER, Diagnostics des infrastructures nationales en Afrique, L'état de l'assainissement en Afrique subsaharienne. Banque mondiale, Rapport d'activité, (2008) 3 p.

- [4] - A. MOREL et M. BABIN, Nitrogen and irradiance dependent variation of maximum quantum yield of carbon fixation in eutrophic mesotrophic and oligotrophic marine systems, *Deep-sea res. J.*, 43 (8) (1996) 41 - 72 p.
- [5] - H. FRANS, M. REDWOOD et R.-S. LIQA, « Discuter les approches conventionnelles de gestion de l'utilisation des eaux usées en agriculture » in Drechsel, Pay; Scott, C. A.; Raschid-Sally, Liqa; Redwood, M.; Bahri, Akissa : *irrigation avec les eaux usées et la santé : évaluer et atténuer les risques dans les pays à faible revenu*, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI); Ottawa, Canada: International Development Research Centre (IDRC); Québec, Canada : University of Quebec, (2011) 310 - 325
- [6] - J. WETHE, M. RADOUX et E. TANAWA, Assainissement des eaux usées et risques socio – sanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). in *VertigO*, 4 (1) (2003) 23 p.
- [7] - Recensement général de la Population et de l'Habitat (RGPH). Résultats du Recensement général de la Population et de l'Habitat, Rapport d'étude statistique sur la population en Côte d'Ivoire, (2014) 17 p.
- [8] - Ministère du Logement du Cadre de Vie et de l'Environnement (MLCVE), Ville de Yamoussoukro, plan d'urbanisme directeur, rapport de synthèse, Abidjan, BNETD, (1997) 90 p.
- [9] - Ministère de la Construction du Logement de l'Assainissement et de l'Urbanisme (MCLAU), Phase I Diagnostic stratégique de Yamoussoukro Schéma Directeur d'Urbanisme (SDU) de Yamoussoukro 2030 », Lausanne, Suisse, (2014) 175 p.
- [10] - K. G. KOUAM, Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un pays en développement : Cas du bassin versant de l'Abiergue (Yaoundé-Cameroun). Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences. Faculté des sciences, département des sciences et gestion de l'environnement. Université de Liège, (2013) 272 p.
- [11] - P. J.-M. OUATTARA, T. KONÉ, A. MESSOU, A. B. AMA et L. COULIBALY, Urban communities' impacts upon stormwater open channels in a developing country: litter build-up and wastewater self-purification. *J. Chem. Bio. Phy. Sci.*, 5 (1) (2015) 960 - 970
- [12] - B. KAMBIRÉ, G. A. YASSI, K. J. LAMA, Dégradation du cadre de vie et risques sanitaires à Bingerville (Côte d'Ivoire). *RETSSA*, 4 (7) (2021) 75 - 94
- [13] - M. SEIDL, Enjeux et pratiques de l'assainissement en Afrique Sub-Saharienne. 17èmes Journées Scientifiques de l'Environnement : le Citoyen, la Ville et l'Environnement. Collection HAL Archives Ouvertes, (2006) 1 - 9
- [14] - A. TINI, La gestion des déchets solides ménagers à Niamey au Niger : essai pour une stratégie de gestion durable, thèse de doctorat, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, (2003) 302 p.
- [15] - M. G. MPAKAM, K. B. V. KAMGANG, K. G. R. KOUM, T. TAMO et E. E. GEORGES, L'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans les villes des pays en développement : Cas de Bafoussam (Cameroun). *VertigO*, 7 (2) (2006) 1 - 17
- [16] - E. N'GNIKAM, Eau, assainissement et impact sur la santé, étude de cas d'un écosystème urbain à Yaoundé, in Laboratoire environnemental et science de l'eau, école nationale polytechnique Yaoundé, (2007) 13 p.
- [17] - B. DIARRASSOUBA, K. N. VEI, K. S.-E. KOUAKOU, Assainissement liquide et pluvial en milieu urbain : État des lieux et perspectives à M'Bahiakro (Côte d'Ivoire). *Rev. Ivoir. Géogr. Savanes*, (4) (2018) 229 - 245
- [18] - A. B. AMA, L. COULIBALY et I. SAVANÉ, Dynamique comparée des nutriments (N, P) et des solides dans deux collecteurs d'Eaux pluviales anthropisés par les rejets Industriels et domestiques à Abidjan, Côte D'Ivoire. *Eur. J. Sci. Res.*, 25 (2) (2009) 280 - 289
- [19] - G. M. YODE, Urbanisation et dégradation de l'environnement : le cas de Daloa, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, (2017) 350 p.

- [20] - K. A. KOUAKOU, S. AW, M. M. ADAMOU, S. SIAKA et I. SAVANE, Characterization of sediments of Yamoussoukro lake system (Côte d'Ivoire) and their phosphorus speciation. *J. Mater. Envi. Sci.*, 5 (4) (2014) 1 - 8
- [21] - M. ÇALISKAN, Factors affecting the environmental awareness of adults. Thesis, Ankara Univ. Educational Science Institute Dept. Ms. Ankara, (2002) 164 p.
- [22] - C. L. LEBOYER, M. BONNES, J. CHASE, J. FERREIRA-MARQUES and K. PAWLIK, Determinants of Pro-Environmental Behaviours : A Five-Country Comparison. *Eur. Psychol.*, 1 (2) (1996) 123 - 129
- [23] - A. B. AMA, L. COULIBALY et I. SAVANE, Dynamique comparée des nutriments (N, P) et des solides dans deux collecteurs d'Eaux pluviales anthropisés par les rejets Industriels et domestiques à Abidjan, Côte D'Ivoire. *Eur. J. Sci. Res.*, 25 (2) (2009) 280 - 289
- [24] - B. S. DANSOU et L. ODOULAMIN, Enjeux environnementaux des stratégies de gestion des déchets dans la ville de Porto-Novo au sud du Bénin. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 30 (2017) 138 - 159
- [25] - A. R. ABDOULAYE, Gestion des eaux pluviales en milieu urbain pour un développement durable : Cas de la ville de Parakou, mémoire de DEA, Université d'Abomey-calavi en République du Bénin, (2006) 156 p.
- [26] - P. J. M OUATTARA, Fonctionnement des grands collecteurs d'eaux pluviales dans cinq communes d'Abidjan-Nord (Abobo-Attécoubé-Adjamé-Cocody et Yopougon. DEA en science et gestion de l'environnement, Université d'Abobo Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2005) 66 p.
- [27] - B. HOUNTONDI, F. P. CODO, S. V. H. DAHOUNTO, T. B. GBAGUIDI, Gestion des inondations en milieu urbain : cas de la ville Cotonou au Bénin. *Larhyss J.*, (39) (2019) 333 - 347
- [28] - M. C. DURAND, Caractérisation physicochimique des produits de l'assainissement pluvial. Origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques". Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France, (2003) 268 p.
- [29] - R. SALGHI, Différentes filières de traitement des eaux Université IBN ZOHR. ENSA, (2007) 8 p.
- [30] - J. NEMERY et J. GARNIER, Dynamique du phosphore dans le bassin de la Seine et son estuaire. *TSM*, (4) (2007) 33 - 45
- [31] - O. JEN, The perceived Environmental Impact of Car Washing". Ramsey-Washington Metro Watershed District, (2002) 9 p.
- [32] - P. A. CHAMBERS, M. N. R. KENT, M. CHARLTON, C. GUY, E. GAGNON, E. ROBERTS, N. et F. GROVE, Les éléments nutritifs et leurs effets sur l'environnement au Canada. Environnement Canada, (2001) 271 p.
- [33] - J. VOLLERTSEN et T. HVITVED JACOBSEN, Sewer qualifier modelling a dry weather approach. *Urban Wat.*, 2 (2001) 295 - 303
- [34] - L. COULIBALY, Bioconversion de macromolécules dans un réacteur simulant un écoulement piston en régime transitoire. Thèse de Doctorat en Ingénierie Biologique, Agronomie et Environnementale, Université Catholique de Louvain, Louvain, Belgique, (2002) 174 p.