

Caractérisation physico-chimique et organique des effluents drainés par le réseau d'Assainissement de la ville d'Abidjan de 2020-2023

[Physicochemical and organic characterisation of effluents drained by the Abidjan city sewerage network from 2020 to 2023]

Zié Anicet Ouattara¹, Gbombele Soro², Bernard Ossey Yapo³, and Solange Marie Yéi Oga²

¹Formation doctorale Sciences Technologies et Agricultures Dures (FD-STAD), UFHB, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Département de Géologie Appliquée, U.F.R. des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR STRM), Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

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

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study is to assess the pollutant load of effluents drained into the sewerage system of the city of Abidjan. Between 2020 and 2023, three sampling campaigns per year were carried out to monitor these waters. A total of 144 wastewater samples were collected and analysed in the laboratory in accordance with the standards in force at the Sub-Directorate for the Inspection of Classified Installations (SDIIC). Parameters such as BOD₅, COD, MES, NH₄⁺, NTK, PO₄³⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, T°C and pH were measured. A multivariate statistical analysis identified the origin of these effluents in the network. The pH varied greatly from very acidic 3.1 to strongly alkaline 13.6. The average values obtained were 292.0 mg/L; 60.9 mg/L and 82.0 mg/L respectively for MES, NH₄⁺ and NTK, with limit values of 150 mg/L, 15 mg/L and 50 mg/L. The COD and BOD₅ concentrations were 1232.1 mgO₂/L and 374.9 mgO₂/L respectively. The limit values for these parameters are 500 mgO₂/L and 150 mgO₂/L. The COD/BOD₅ ratio varies from 2.6 to 4.8, while the BOD₅/COD ratio is between 0.30 and 0.46. These values indicate non-biodegradable effluents. Multivariate analysis indicates that the effluents drained by the network are of industrial origin or predominantly industrial. The non-biodegradability of these effluents, which are often discharged into the Ebrié lagoon without any pre-treatment, poses an environmental risk to this natural receptacle.

KEYWORDS: industrial effluents, biodegradable, pollution, network, Abidjan.

RESUME: Cette étude a pour objectif d'évaluer la charge polluante des effluents drainés dans le réseau d'assainissement de la ville d'Abidjan entre 2020 et 2023. Pour ce faire, trois campagnes de prélèvement par an ont été effectuées pour suivre la qualité ces effluents. Au total, 144 échantillons d'eau usées ont été collectés et ont fait l'objet d'analyse au laboratoire selon les normes en vigueur de la Sous-Direction des Inspections des Installations Classées (SDIIC). Les paramètres tels que : DBO₅, DCO, MES, NH₄⁺, NTK, PO₄³⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, T°C et pH ont été mesurés. Une analyse statistique multivariée a permis d'identifier l'origine de ces effluents dans le réseau. Le pH varié extrêmement de très acide 3,1 à fortement basique 13,6. Les valeurs moyennes obtenues sont de 292,0 mg/L; 60,9 mg/L et 82,0 mg/L respectivement pour les MES, NH₄⁺ et NTK pour des valeurs limites de 150 mg/L, 15 mg/L et 50 mg/L. Les concentrations en DCO et DBO₅ sont respectivement de 1232,1 mgO₂/L et 374,9 mgO₂/L. Les valeurs limites de ces paramètres sont 500 mgO₂/L et 150 mgO₂/L. Le rapport DCO/DBO₅ varie de 2,6 à 4,8 alors celui de DBO₅/DCO est compris entre 0,30 à 0,46. Ces valeurs indiquent des effluents non biodégradables. L'analyse multivariée indique que les effluents drainés par le réseau sont d'origine industrielle ou à dominance industrielle. La non biodégradabilité

de ces effluents qui sont rejetés dans la lagune Ebrié souvent sans aucun prétraitement constitué un risque environnemental pour ce réceptacle naturel.

MOTS-CLEFS: effluents industriels, biodégradable, pollution, réseau, Abidjan.

1 INTRODUCTION

Les pays africains connaissent un développement démographique rapide et incontrôlé depuis leur indépendance. Cette croissance démographique s'est accompagnée d'une intensification des activités industrielles, ce qui n'est pas corrélé avec la mise en place des structures d'assainissement efficaces et adéquates de traitement des eaux usées [1]. L'essor des unités industrielles conjugué à la croissance démographique rapide et incontrôlée de ces villes rendent complexe la gestion des eaux usées car les autorités ne disposent pas d'installations de traitement appropriés pour une bonne épuration des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel [2]. Les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées sont généralement bien adaptés au traitement des rejets domestiques. Toutefois, les procédés et la capacité des stations d'épuration ainsi que le réseau de collecte ne sont généralement pas compatibles avec certains effluents industriels [3]. Cela représente un risque pour le personnel exploitant, les équipements du réseau ainsi que le milieu récepteur. En effet, ces rejets peuvent contenir de nombreuses substances dangereuses, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menaçant la qualité des hydrosystèmes dans son ensemble [4]. La Côte d'Ivoire, après le succès de son agriculture pilier de son économie a fondé sa politique industrielle sur la transformation et la valorisation des matières premières agricoles [5]. Le projet d'industrialisation du pays depuis son indépendance a atteint un taux de croissance de 22% en 2022 [6]. Les entreprises ivoiriennes exercent dans divers secteurs à savoir : l'agro-industrie, le textile, l'industrie chimique et dérivé, le secteur minier et énergétique, le secteur mécanique, électrique et électronique et la transformation du bois [5]. Ces unités industrielles pour leur fonctionnement utilisent des quantités importantes d'eau, non seulement dans le processus de transformation mais aussi pour le nettoyage des installations et des outils après production. Les effluents issus de ces processus sont généralement rejetés dans la lagune Ebrié ou dans les réseaux d'assainissement de la ville [5], [7]. Les effluents industriels rejetés dans le réseau d'eau usée sans traitement préalable peuvent engendrer des risques sanitaires et environnementaux. Cette étude a pour objectif d'évaluer la charge polluante des effluents drainés dans le réseau d'assainissement de la ville d'Abidjan entre 2020 et 2023 afin d'alerter le gestionnaire sur les risques sanitaires et environnementaux encourus par les exploitants ainsi que le milieu récepteur.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

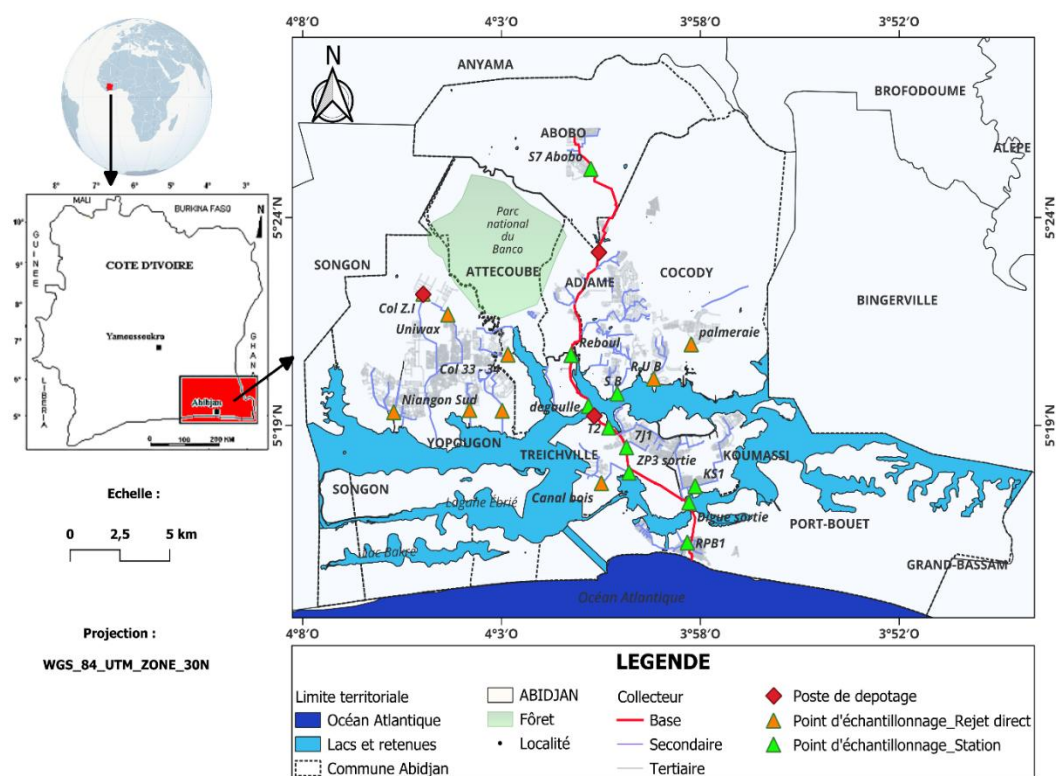


Fig. 1. . 1. Localisation du réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

Le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan qui fait l'objet de cette étude est long de 2416 km. Ce réseau se présente majoritairement sous forme d'un système séparatif : un réseau d'eaux usées (EU) long de 780 km et un réseau d'eaux pluviales long de 1636 km.

Cependant, dans les communes d'Adjamé, du Plateau et de Treichville, il se présente sous forme unitaire sur une longueur de 140 km. Plus vingt (20) collecteurs desservent la ville d'Abidjan. Ils collectent les eaux usées provenant des différents quartiers qui leurs sont raccordés. Ces collecteurs sont raccordés au collecteur de base ou collecteur principal, excepté ceux de la zone Ouest (Yopougon) et quelques-uns de la zone Est (Cocody). Ces collecteurs non-raccordés au collecteur de base conduisent les effluents directement dans la lagune Ébrié et dans la nature sans traitement préalable (Fig 1). Long d'environ 25 km, le collecteur de base part de la commune d'Abobo (Abobo Soghefiha) jusqu'à celle de Port-Bouët où il aboutit dans l'océan Atlantique sur 1,2 km par un émissaire. Il collecte et transporte les eaux usées des communes d'Adjamé, Williamsville, Cocody, Il Plateaux, Plateau, Treichville, Marcory, Koumassi et Port-Bouët. Le transport des eaux usées par ce collecteur est facilité par la disposition de quarante-huit (48) stations de pompage et de relevage et de quatre (04) stations de dessablage-dégrillage sur son itinéraire. La station de prétraitement de Koumassi-Digue située au bout de la chaîne effectue un dégrillage, un dessablage et le déshuilage des eaux usées. Après ce prétraitement, les eaux transitent par une station de désodorisation qui débarrasse ces eaux des odeurs et des gaz avant de les acheminer dans l'océan Atlantique. En plus de la station de prétraitement Koumassi-Digue, le réseau dispose d'une station de traitement dans la commune de Marcory (station ZP3). Cette station recueille les eaux usées de la commune de Treichville, Vridi et principalement celle d'Ivoire Sépulture (IVOSEP) où un traitement biotechnologie (digestion anaérobie) est effectué avant de les refouler dans le collecteur de base. Ce traitement est un processus où les micro-organismes décomposent la matière organique en absence d'oxygène, produisant du biogaz comme sous-produits.

La ville d'Abidjan dispose également de trois postes de dépotage raccordés au réseau d'eau usée (Fig 1). Ces postes recueillent les effluents issus de l'assainissement autonome. Selon [8], le taux de raccordement au réseau est de 40 % alors que l'assainissement autonome représente 60%.

2.2 ECHANTILLONNAGE

Le matériel de prélèvement est composé d'un préleveur automatique (AS950) et d'un multi-paramètre (CH025714). Des flacons plastiques en polyéthylène de capacité 01 litre destiné aux analyses physiques et chimiques. Une glacière contenant de la glace pour la conservation des échantillons.

Quant au matériel de protection individuel, il est composé des masques à gaz, de gants à usage multiples, de cache-nez et des chaussures de sécurité.

Deux types de sites ont été choisis pour le prélèvement. Il s'agit des stations des pompes et des regards dans les zones du réseau dépourvues de station de pompage.

Le choix de ces stations est basé sur plusieurs critères. Elles sont facilement accessibles, car situées à proximité des routes. Elles sont également la confluence de plusieurs autres stations situées en amont recevant les eaux des zones potentielles de pollution (industries, zones résidentielles...). Au total, neuf (09) stations de pompage ont été retenues pour mener l'étude. Au niveau des zones du réseau dépourvu de station, les effluents sont directement rejetés dans la lagune Ebrié ou dans la nature (rejets directs). Dans ce contexte, le dernier regard accessible contigu à l'exutoire est choisi pour le prélèvement. Au total, les prélèvements ont été effectués dans neuf regards (09).

Des campagnes de prélèvement semestrielle entre 2020 et 2023 ont été effectuées sur l'ensemble des sites retenus (Fig. 1). Ces campagnes ont été effectuées en deux (02) saisons différentes: la première campagne de février à mars en grande saison sèche et la deuxième campagne de juin à juillet en grande saison de pluie. Au total cent quarante-quatre (144) échantillons ont été collectés dans le cadre de cette étude. Dans le cas d'une station de pompage, un préleveur automatique est installé avant l'arrivée des eaux usées dans la bache sur une période de 24 h et programmé à prélever 300 ml d'eau usée chaque 20 min. Le raccord du préleveur automatique est plongé dans la bache d'eau usée, assez loin des bords en évitant de mettre en suspension les dépôts. Après 24 h de prélèvement, l'échantillon mixte est recueilli dans les flacons. En ce qui concerne les rejets directs, des prélèvements ponctuels ont été effectués dans les derniers regards contigus à l'exutoire des collecteurs. Après l'ouverture du regard, un seau attaché à une corde est introduit pour récupérer les eaux usées.

2.3 MÉTHODES D'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS D'EAU USÉE

Le pH et la température ont été déterminés *in situ* avec le multi-paramètre muni des différentes sondes et les autres paramètres au laboratoire. La détermination des concentrations en matières en suspension (MES) a été faite par filtration sur membrane en fibre de verre, séchage à 105°C et pesage du résidu retenu, conformément à la norme NF EN 872: juin 2005. La DBO₅ a été déterminée après dilution de l'échantillon et incubation pendant cinq jours à l'obscurité à 20°C. La mesure de la quantité d'oxygène consommée est effectuée conformément à la norme NF EN ISO 9408 octobre 1999. Les polluants tels que: NH₄⁺, NTK, PO₄³⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ et la DCO, ont été dosés à l'aide d'un spectrophotomètre (DR 3900) en utilisant des méthodes HACH par le principe de la photométrie.

2.4 MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA POLLUTION

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour évaluer la charge polluante des effluents drainés par le réseau d'eau usée. Les données physiques et chimiques collectées ont d'abord été comparées aux normes de rejets des effluents dans le milieu naturel recommandées par la Sous-Direction des Inspections des Installations Classées (SDIIC) du Centre Ivoirien d'Antipollution (CIAPOL). Les indices de biodégradabilité des effluents (DCO/DBO₅, DBO₅/DCO), et l'indice de pollution organique (IPO) ont également été calculés. Les analyses statistiques univariées et multivariées par analyse en composante principale ont été appliquées. Les analyses univariées à travers le test de Wilcoxon des rangs signés et celui de Kruskal-Wallis ont permis d'évaluer respectivement les variations saisonnières et spatiales. Quant à l'ACP, elle a permis d'identifier les origines des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 VARIATION SPATIALE DES CONCENTRATIONS

Les fig. 2 à 11 représentent l'évolution spatiale des concentrations des paramètres analysés le long du réseau d'eau usée.

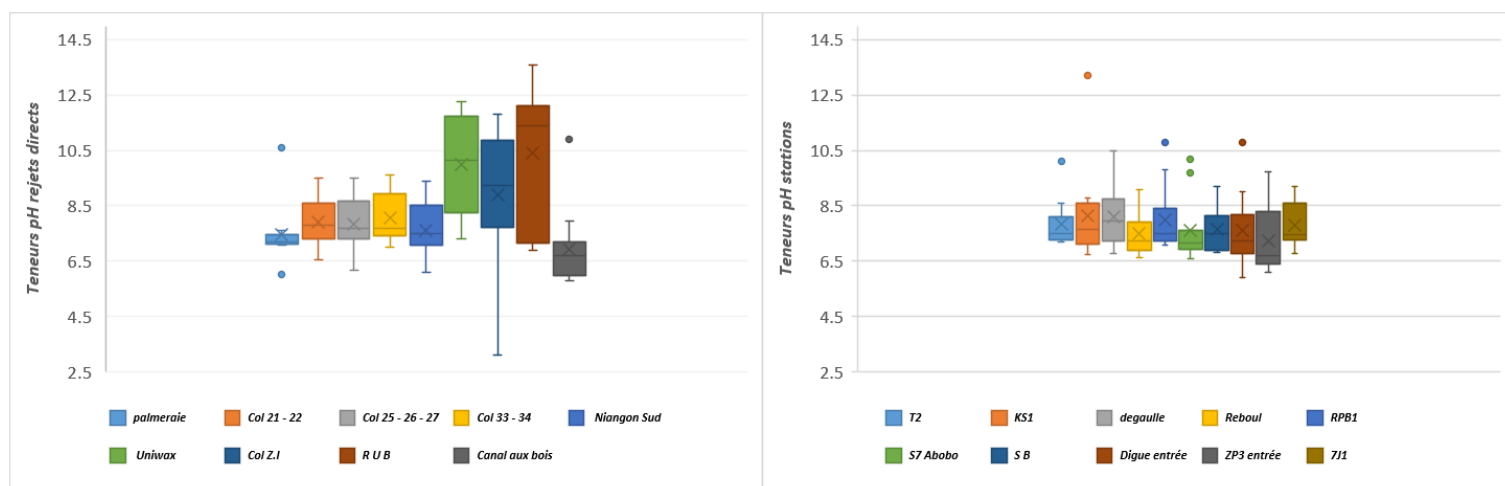


Fig. 2. Variation spatiale des teneurs en pH des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

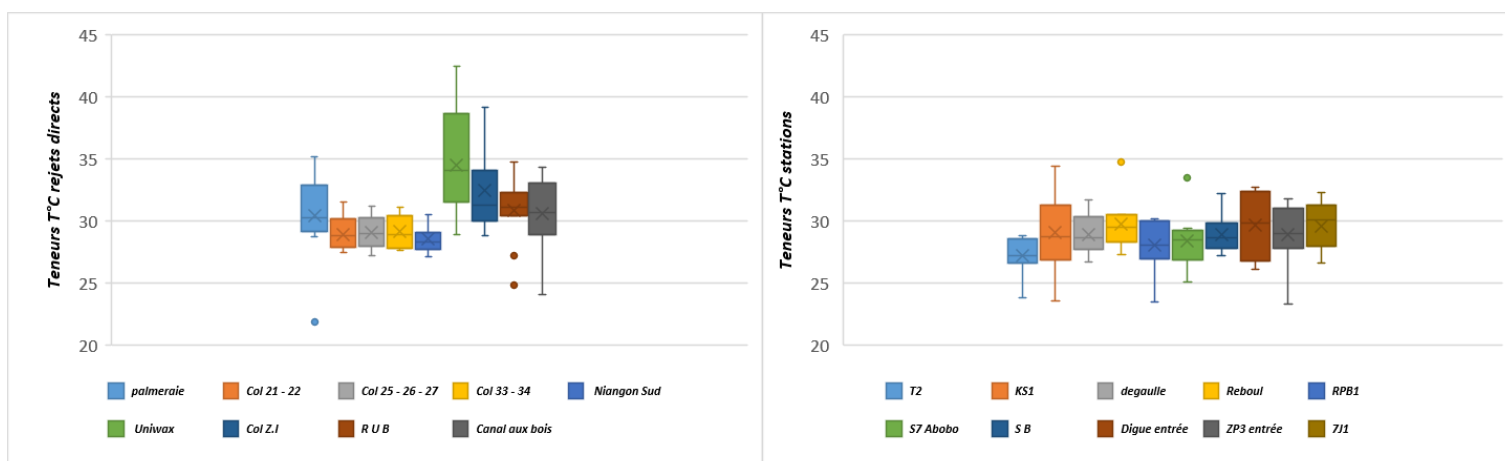


Fig. 3. Variation spatiale des teneurs en température des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

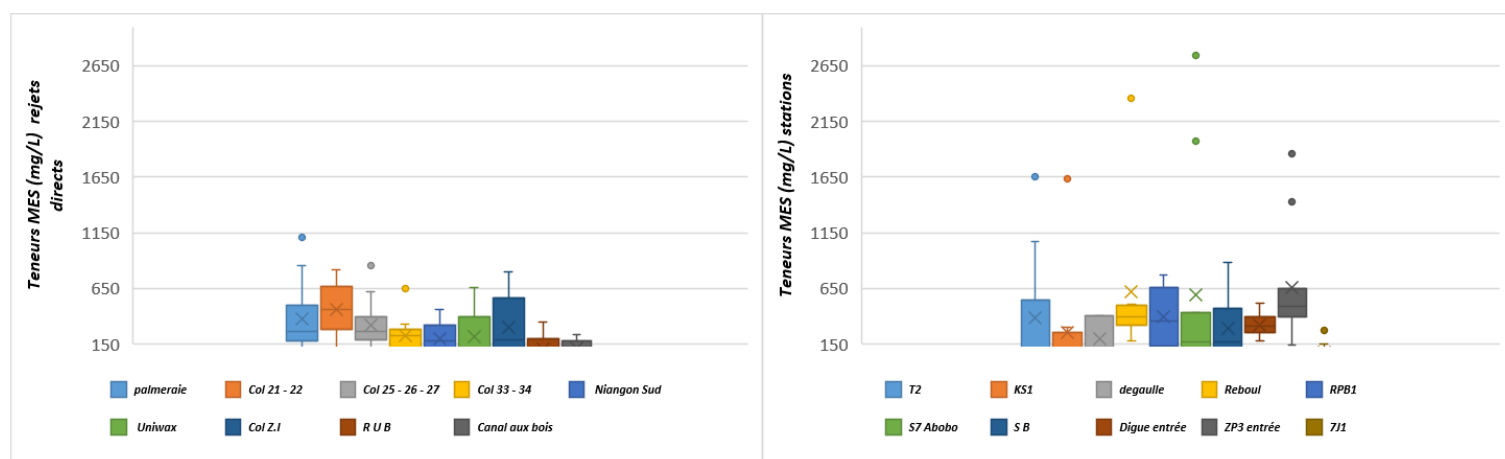


Fig. 4. Variation spatiale des teneurs en MES des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

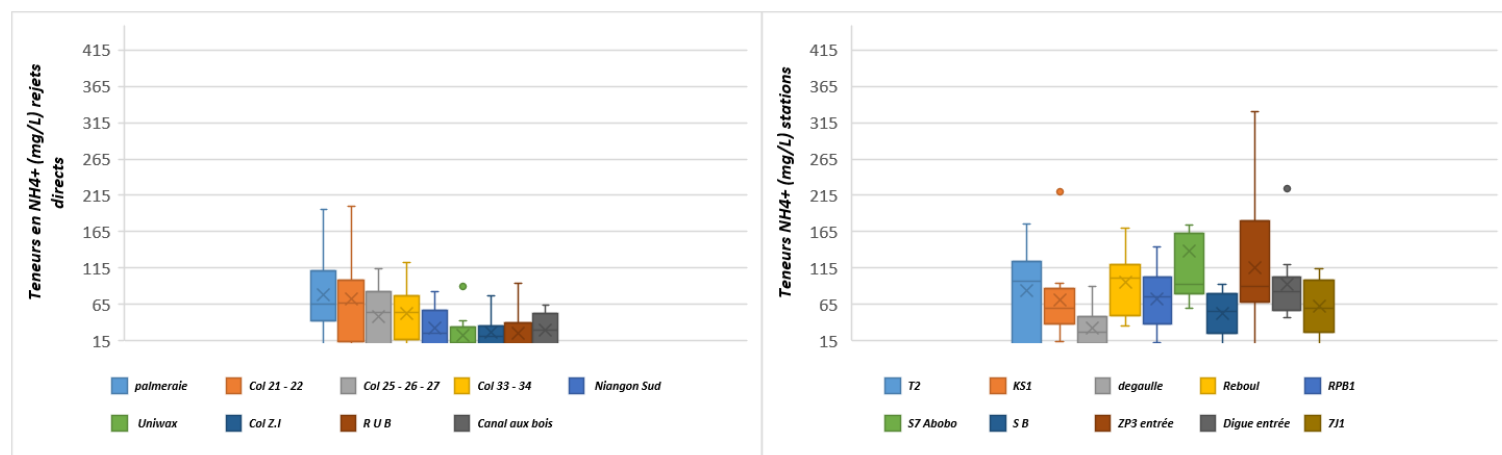


Fig. 5. Variation spatiale des teneurs en PO_4^{3-} des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

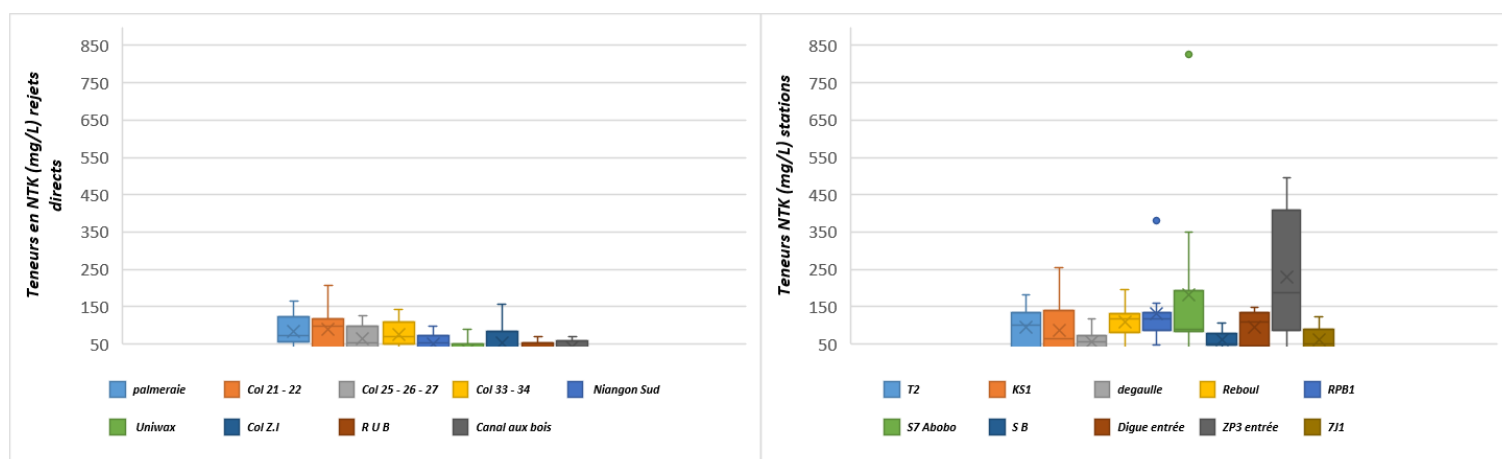


Fig. 6. Variation spatiale des teneurs en azote total des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

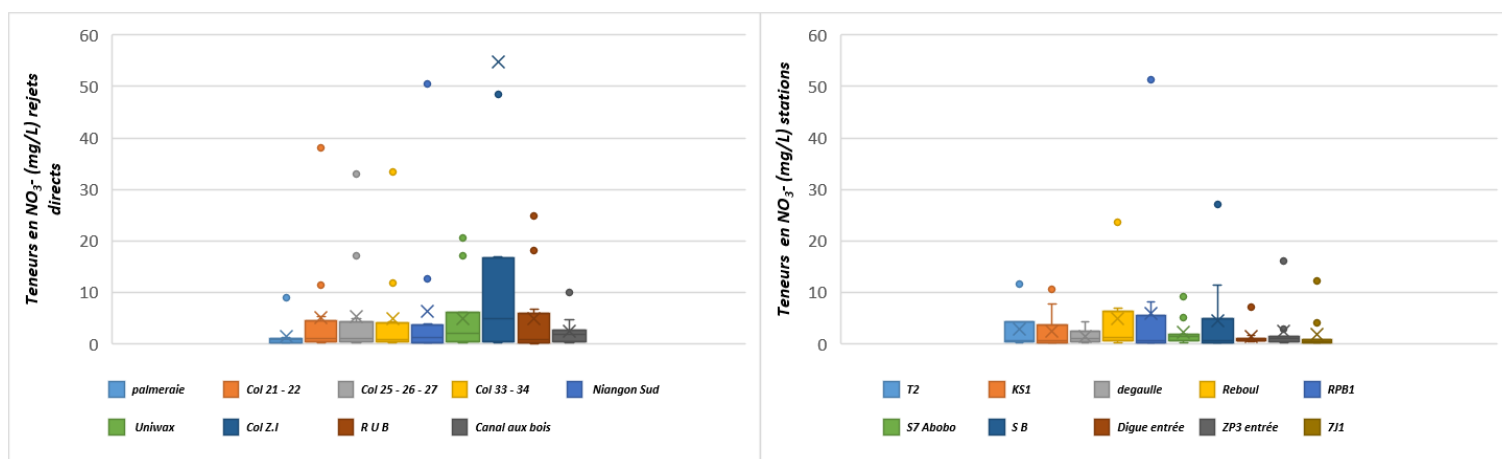


Fig. 7. Variation spatiale des teneurs en nitrates des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

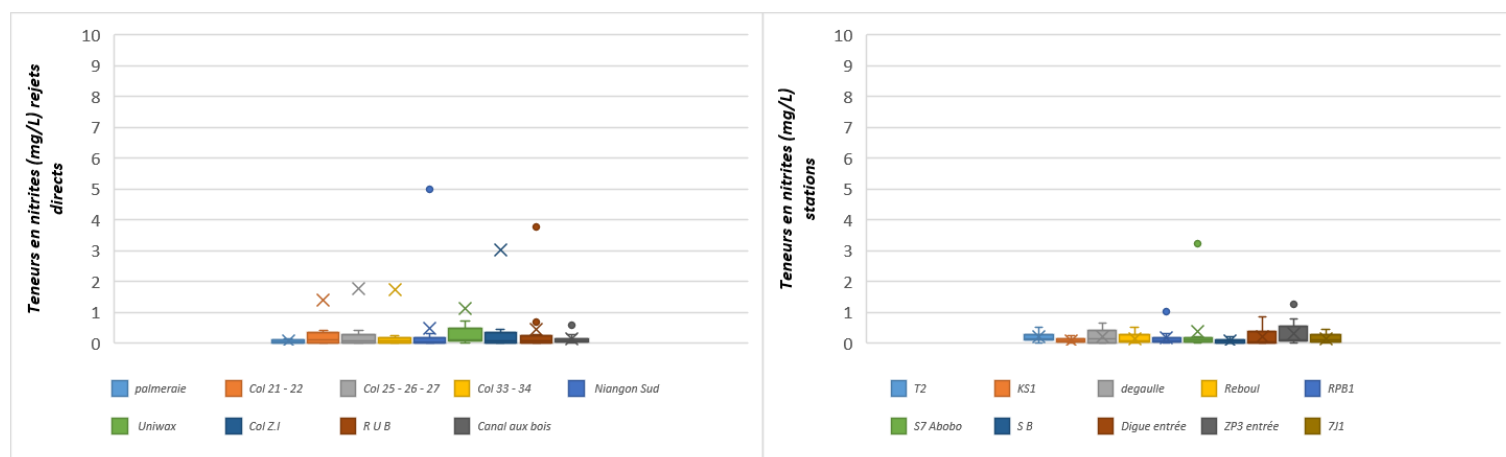


Fig. 8. Variation spatiale des teneurs en nitrites des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

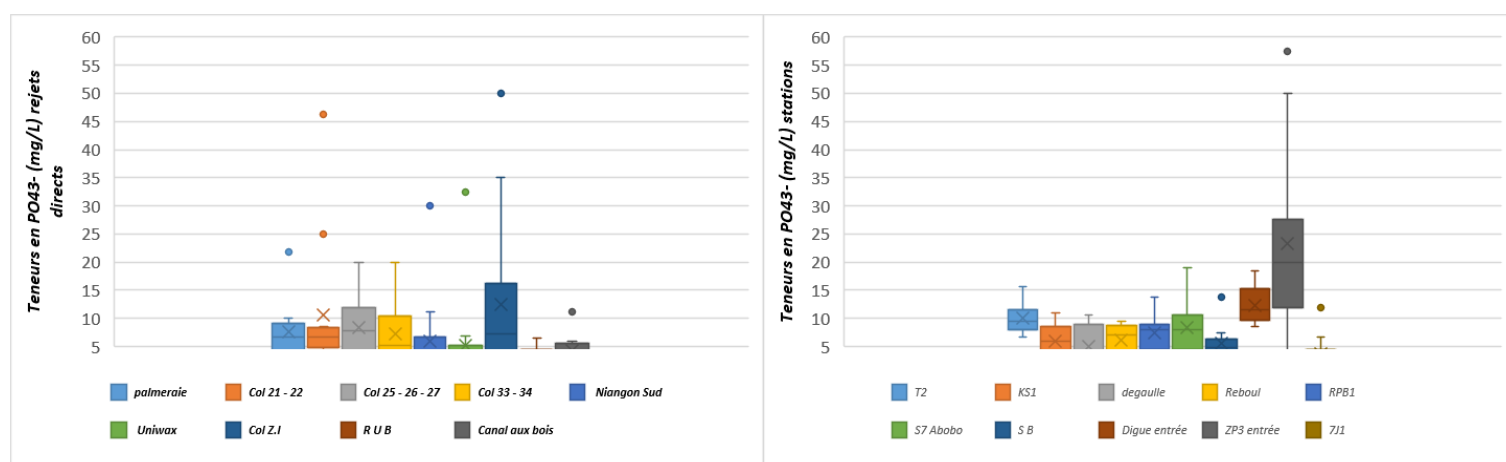


Fig. 9. Variation spatiale des teneurs en phosphore total des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

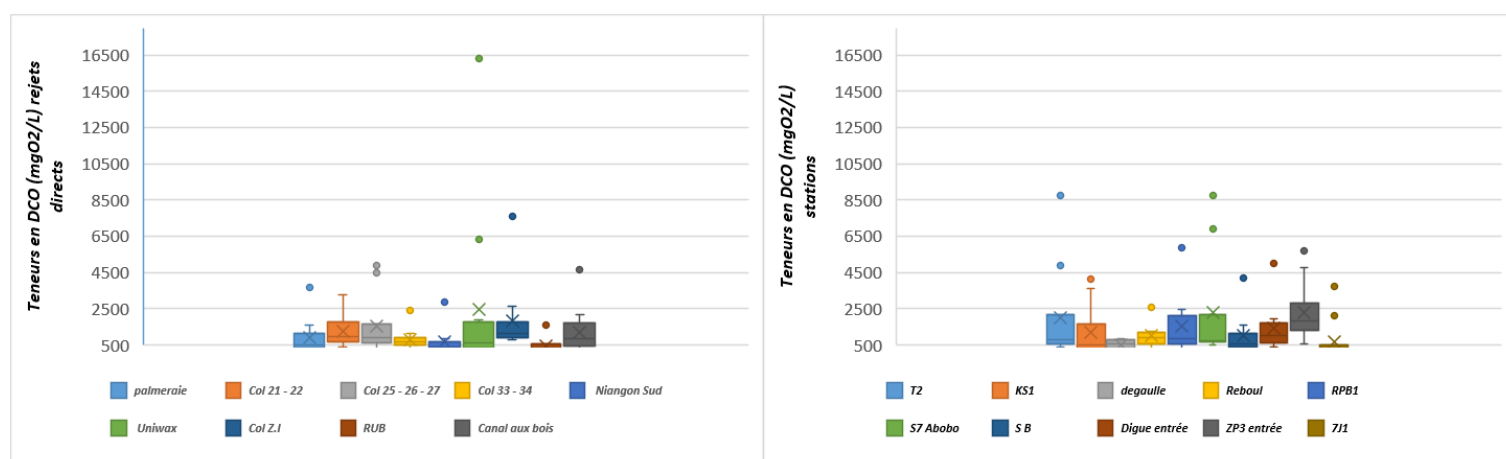


Fig. 10. Variation spatiale des teneurs en DCO des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

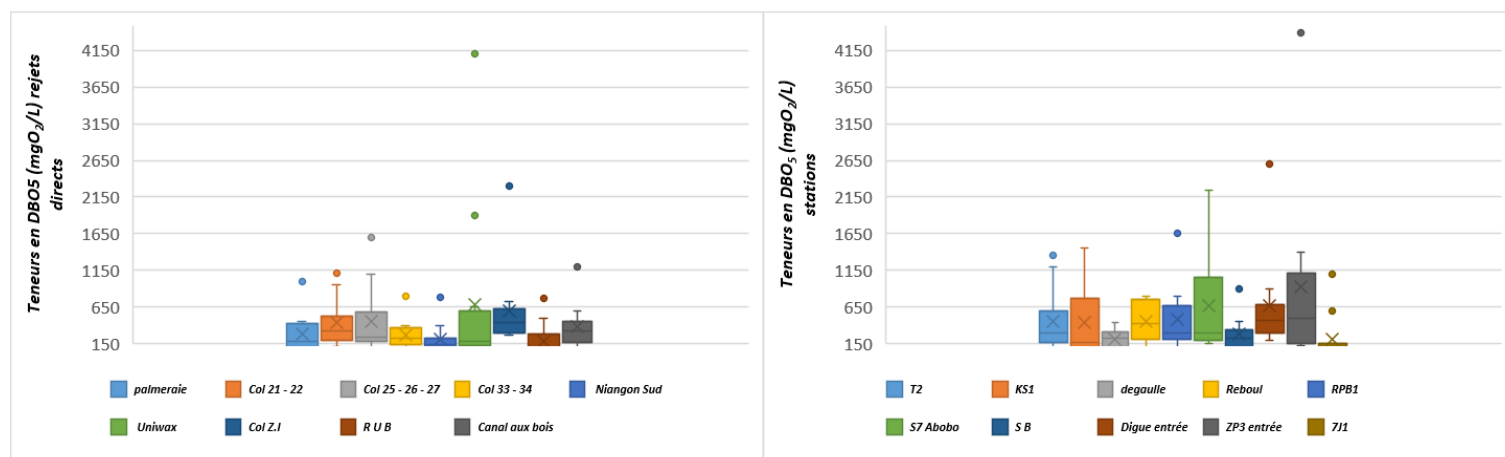


Fig. 11. Variation spatiale des teneurs en nitrates des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan

POTENTIEL D'HYDROGÈNE (PH)

Les valeurs du pH des eaux usées drainées par le réseau sont extrêmement variables, de très acide (3,1) au niveau du collecteur zone industrielle de Yopougon (ZI) à fortement basique (13,6) collecteur RUB. La valeur moyenne enregistrée est de $8,1 \pm 1,6$. La valeur minimale est en dessous de la valeur limite inférieure recommandée par la SDIIC (5,5). La fig. 2 indique que les variations extrêmes du pH proviennent des collecteurs Univax, ZI et RUB. Au niveau du collecteur Univax, cette variation du pH peut être due à l'ajustement du pH du bain de colorant. En effet, selon [9], l'application des colorants sur les matières textiles évolue principalement en fonction de la concentration du colorant, du pH du milieu, et de la température. [10] fixe ces pH entre 4 et 13,2. Des pH similaires (4 à 10) ont été enregistrés par [11] à Madagascar dans des effluents de textile. Au niveau des collecteurs ZI et RUB, les valeurs élevées du pH pourraient s'expliquer par l'utilisation de la soude dans les sociétés industrielles branchées au réseau au niveau de ces collecteurs [7]. Les valeurs de pH du réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan sont différentes de celles obtenues par [12] dans les eaux usées du réseau d'égout de la ville de Ouagadougou au Burkina Faso et par [13] au Maroc. En effet, [12] a obtenu des valeurs oscillant entre 6,2 et 7,2. Quant à [13], ils ont enregistré des valeurs comprises entre 7,05 et 8,2 dans les effluents de cinq villes de la région de Chaouia-Ouadigha. Les effluents de ces villes sont voisins de la neutralité. Cette différence pourrait s'expliquer par le déversement d'eau usée industrielle dans le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan. En effet, des pH basiques similaires à notre étude ont été enregistrés dans les effluents des sociétés industrielles ENITEX (11,8) et UNILEVER (11,35) au Niger par [14].

TEMPÉRATURE

Les valeurs de la température des effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan ont oscillé entre 21,9 (collecteur palmeraie) et 42,5°C (collecteur Univax) avec une moyenne de $29,5 \pm 2,9$. La valeur maximale est supérieure à la norme de rejet recommandée par la SDIIC (40°C). Les collecteurs Univax et zone industrielle de Yopougon qui rejettent directement leurs effluents dans la lagune Ebrié reçoivent les effluents les plus chauds avec des valeurs moyennes respectivement de 34,5°C et 32,5°C (Fig.3). Selon [7], les valeurs élevées de la température au niveau de ces collecteurs s'expliquent par le déversement d'eau usée chaude dans le réseau provenant des unités industrielles branchées au réseau. Ces déversement d'eaux usées chaudes dans la lagune influence la dissolution des sels ainsi que les gaz particulièrement l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique [15].

MATIÈRES EN SUSPENSION (MES)

Les valeurs enregistrées par les MES sont comprises entre 6,2 (station Digue entrée) et 2740,0 mg/L (S7 Abobo) avec une moyenne de $292,0 \pm 377,2$. La valeur maximale et la moyenne sont largement supérieures à la norme du SDIIC (150 mg/L). Au niveau des rejets directs, seul RUB (102,5 mg/L) et canal aux bois (113,8 mg/L) présentent des valeurs moyennes inférieures à la norme de la SDIIC. En revanche, parmi les stations, seule la station 7J1 a enregistré une valeur moyenne (77,9 mg/L) en dessous de cette norme. Cela témoigne que les effluents drainés par le réseau ont une charge importante en matière organique et minérale [16]. La présence importante en MES peut impacter le bon fonctionnement du réseau à travers le phénomène de colmatage [17]. Ces MES drainés dans la lagune (rejets directs) s'opposent à la pénétration de la lumière dans l'écosystème

lagunaire et s'accompagne d'une diminution de la photosynthèse du milieu. Cela provoque la diminution de l'oxygène dissous et a pour conséquence la mortalité faunisque et floristique aquatique par asphyxie [5]. La p-value spatiale de 0,0001 enregistrée témoigne que ces teneurs varient significativement selon les collecteurs.

AZOTE TOTAL (NTK)

Les concentrations en NTK ont oscillé entre 0,4 (RUB) et 825,3 mg/L (S7 Abobo) avec une valeur moyenne de 82,0 mg/L. La valeur maximale obtenue est supérieure à celle enregistré par [18]. Cependant, ces valeurs moyennes de 236 mg/L et 363 mg/L sont largement supérieures à la nôtre. L'analyse statistique montre que ces concentrations varient selon les collecteurs (p-value est de 0,005).

AMMONIUM (NH₄⁺)

L'ammonium est présent dans les eaux usées urbaines par un processus de dégradation incomplète de la matière organique. En présence d'oxygène, il se transforme rapidement en nitrate et nitrite. Les teneurs d'ammonium enregistrées dans cette étude sont comprises entre 0,1 (collecteur Uniwax) et 470 mg/L (ZP3 entrée) pour une valeur moyenne de 60,9 mg/L. La valeur moyenne et la valeur maximale sont supérieures à la valeur limite recommandation par la SDIIC (15 mg/L). La valeur moyenne de 60,9 mg/L enregistrée est similaire à celle obtenue par [19] (64,40 mg/L) dans les effluents de la ville de Batna en Algérie. Cependant cette valeur est nettement inférieure à celle obtenue par [20] dans les effluents du canal de Hann (108,33 mg/L) au Sénégal. Les teneurs en ammonium varient selon les collecteurs.

NITRATES ET NITRITES

Les effluents du réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan sont moins chargés en nitrites et nitrates. En effet, quel que soit le collecteur, les valeurs moyennes de ces effluents sont largement en-dessous des valeurs limites recommandées par la SDIIC. Les valeurs de nitrites ont oscillé entre 0 et 20 mg/L avec une moyenne de $0,6 \pm 3,3$. La valeur limite recommandée par la SDIIC est de 30 mg/L. Les variant spatiales (p-value = 0,18) montrent que les concentrations en NO₂⁻ restent globalement stables le long du réseau.

Au niveau des nitrates, les teneurs ont varié entre 0,1 et 51,4 mg/L avec une moyenne de $6,4 \pm 38$. La valeur maximale enregistrée au niveau de la station RPB1 est légèrement supérieure à la valeur limite recommandée par la SDIIC (50 mg/L). Contrairement des nitrites, la p-value de 0,03, indique que les teneurs en nitrates varient différemment selon les collecteurs.

PHOSPHORE TOTAL

Le phosphore total a varié entre 0 (7J1) et 57,5 mg/L (ZP3 entrée) avec une moyenne de 7,5 mg/L. La valeur moyenne est inférieure à celle de 11 mg/L obtenue par [19] dans les effluents de la ville de Batna. La station ZP3 entrée et le collecteur zone industrielle Yopougon ont enregistré les teneurs les plus importantes. Au niveau du collecteur zone industrielle Yopougon, ces valeurs élevées peuvent être expliquées par le déversement d'effluent industrielle provenant des usines de savonnerie. Quant à la station ZP3, la valeur moyenne de 23,2 mg/L enregistrée à l'entrée est au-delà de la valeur limite de la SDIIC (15 mg/L). Cette valeur moyenne est également supérieure à celle de 11 mg/L trouvée par [19] à Batna en Algérie. Cette différence s'explique par la présence de détergents dans les produits de nettoyage associés aux activités funéraires. En fait, la station ZP3 reçoit principalement les effluents d'IVOSEP.

DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGÈNE (DCO) ET DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGÈNE (DBO₅)

Les concentrations en DCO et DBO₅ enregistrées sont largement au-dessus des valeurs limites recommandées par la SDIIC qui sont respectivement de 500 mgO₂/L et 150 mgO₂/L. En effet, les concentrations en DCO ont varié entre 29 (RUB) et 16326,5 mgO₂/L (collecteur Uniwax) avec une valeur moyenne de 1232,1 mgO₂/L. Quant aux concentrations en DBO₅, elles ont oscillé entre 2 (7J1) et 4100 mgO₂/L (collecteur Uniwax) avec une valeur moyenne de 374 mgO₂/L. Les valeurs de DCO obtenues s'inscrivent dans la gamme de valeurs (369 à 16250 mg/L) enregistrées par [21] à Touggourt en Algérie. Cependant, la valeur moyenne de DCO enregistrée est nettement supérieure à celles de 338 mg/L et de 680 mg/L trouvées par [22] et par [23] respectivement en Angola et en Inde. Ces différences peuvent s'expliquer par le déversement d'eau usée industrielle dans le réseau d'égout de la ville d'Abidjan. Au niveau de la DBO₅, des teneurs moyennes similaires aux nôtres (374 mgO₂/L) ont été observées dans la ville de Boumerdès (309,60 mg/L) en Algérie par [24] et en France (433 mg/L) par [25]. L'analyse statistique (p-value spatiale de 0,0001) montre que les concentrations de ces paramètres fluctuent selon les collecteurs.

Tableau 1. Indices de biodégradabilité et de pollution organique

Stations/Collecteurs prélevés	Observation	DCO/DBO ₅	DBO ₅ /DCO	IPO
Palmeraie*	6	3,4	0,32	1,25
Col 21 – 22*	8	3,2	0,35	1,0
Col 25 - 26 – 27*	8	3,4	0,30	1,0
Col 33 – 34*	8	3,2	0,33	1,0
Niangon Sud*	8	3,4	0,31	1,0
Uniwax*	8	3,5	0,30	1,0
Col Z.I*	8	3,1	0,35	1,0
T2	6	4,1	0,30	1,0
KS1	8	3,1	0,36	1,0
ZP3 entrée	8	4,8	0,33	1,0
De gaulle	7	2,9	0,38	1,0
Reboul	7	2,6	0,46	1,25
R U B*	8	3,8	0,32	1,0
Digue entrée	8	2,9	0,38	1,0
RPB1	8	3,2	0,34	1,0
S7 Abobo	8	3,3	0,31	1,25
S B	7	3,6	0,31	1,0
7J1	7	3,1	0,35	1,0
Canal aux bois*	8	3,1	0,35	1,25

(*) indique les collecteurs rejetant leurs effluents directement dans le milieu naturel sans traitement préalable.

L'analyse du Tableau 1 montre que le rapport DCO/DBO₅ a oscillé entre 2,6 et 4,8. Les rapports DCO/DBO₅ enregistrés sont différents de ceux obtenus par [7] sur le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan en 2015. En effet, [7] avaient montré qu'en dehors des effluents issus du collecteur Uniwax, les autres collecteurs drainaient des effluents biodégradable (DCO/DBO₅>3) et étaient sous dominance des eaux usées domestiques. Contrairement à ces travaux, les résultats de cette étude montrent que les eaux usées du réseau sont difficilement biodégradables à l'exception des stations Reboul, Pont De Gaulle et Digue entrée (DCO/DBO₅<3). Le réseau draine donc des effluents essentiellement industriels. Selon [26], le rapport DBO₅/DCO varie entre 0 et 1. Il détermine la possibilité et le rendement de dégradation par un traitement d'oxydation biologique. Un traitement biologique est réalisable, lorsque les valeurs du rapport sont proches de 1. Dans le cadre de cette étude, ce rapport varie de 0,30 à 0,46. Selon [26], les effluents drainés par le réseau de la ville d'Abidjan peuvent être repartir en deux groupes à savoir:

Les stations 7J1, S7 Abobo, dégrilleur T2, ZP3 entrée, RPB1, SB et l'ensemble des collecteurs rejetant leurs effluents directement dans le milieu naturel sans traitement préalable ont enregistré des rapport DBO₅/DCO compris entre 0,25 et 0,35. Selon [20], les matières oxydables contenues dans ces effluents peuvent être dégradables avec des souches sélectionnées, dans ce cas un traitement biologique est possible.

Les autres stations tels que: Reboul, pont De gaulle, KS1 et Digue entrée ont enregistré des rapports DBO₅/DCO supérieur à 0,35. Ces effluents sont biodégradables par les micro-organismes, donc le traitement biologique est réalisable voir efficace [26].

Les effluents drainés par le réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan sont chargés en matières organique. En effet l'IPO calculé est comprise entre 1 et 1,25 situant ces effluents dans la classe de la pollution organique forte [27].

3.2 VARIATION SAISONNIÈRE DES CONCENTRATIONS

Tableau 2. Evolution saisonnière des concentrations des paramètres analysés

Paramètres	Grande saison sèche				Grande saison pluvieuse				
	Obs	Min	Max	Moyenne	Obs	Min	Max	Moyenne	Norme SDIIC
pH	76	5,8	11,5	7,6 ^a ±1,3	76	3,1	13,2	8,5 ^b ±1,8	5,5-8,5
T°C	68	21,9	37,8	30,0 ^a ±2,9	76	22,4	42,5	28,8 ^b ±2,9	40
MES (mg/L)	76	6,2	1860,0	273,1 ^a ±294,7	76	17,1	1423,3	240,5 ^a ±243,1	150
DCO (mgO ₂ /L)	76	76,4	16326,5	1813,4 ^a ±2293,7	76	29,0	4890,0	687,2 ^b ±670,9	500
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	76	22,0	4100,0	562,1 ^a ±613,4	76	2,0	1600,0	215,5 ^b ±222,4	150
NTK (mg/L)	75	3,5	825,3	105,1 ^a ±120,3	76	1,4	815,3	69,5 ^b ±105,7	50
NH ₄ ⁺ (mg/L)	76	0,1	330,0	62,7 ^a ±61,8	76	0,1	200,0	52,2 ^a ±41,9	15
NO ₃ ⁻ (mg/L)	76	0,0	3,2	0,2 ^a ±0,4	76	0,1	51,4	7,2 ^a ±11,9	50
NO ₂ ⁻ (mg/L)	76	0,2	23,7	2,8 ^a ±4,6	76	0,0	20,0	1,3 ^a ±3,9	30
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	76	0,0	22,5	7,2 ^a ±4,7	76	0,0	20,0	5,7 ^b ±4,6	15

Il existe des différences significatives entre l'évolution d'un paramètre dont les moyennes ne portent pas une même lettre de l'alphabet grec (a ou b). Deux lettres similaires indiquent que la variation saisonnière n'est pas significative.

Les variations saisonnières des paramètres mesurés sont présentées dans le Tableau 2. Les valeurs des températures des effluents du réseau d'eau usée de la grande saison sèche varient entre 21,9 et 37,8°C avec une valeur moyenne de 30°C ±2,9. Celles de la grande saison pluvieuse varient entre 22,4 et 42,5°C avec une valeur moyenne de 28,8°C ±2,9. La valeur maximale de la saison pluvieuse est supérieure à la valeur limite de la SDIIC (40°C). Cependant, la valeur moyenne de la saison sèche est supérieure à celle de la saison pluvieuse. Cela pourrait s'expliquer par l'effet de la température atmosphérique ambiante sur les effluents du réseau [28], [29].

Les valeurs de pH varient entre 5,8 et 11,5 pendant la saison sèche avec une valeur moyenne de 7,6±1,3. Elles vont de 3,1 à 13,2 au cours de la saison pluvieuse avec une moyenne de 8,5±1,8. La valeur moyenne de la saison pluvieuse est supérieure à celle de la saison sèche.

Les teneurs enregistrées au niveau des MES oscillent entre 6,2 et 1860,0 mg/L pendant la saison sèche avec une valeur moyenne de 273,1 mg/L ±294,7. Elles sont comprises entre 17,1 et 1423,3 mg/L avec une moyenne de 240,5 mg/L ±243,1 au cours de la saison des pluies. Les valeurs maximales et moyennes saisonnières sont largement supérieures à la valeur limite recommandée par la SDIIC (150 mg/L). La p-value de 0,45 obtenue indique que les variations saisonnières n'influencent pas les teneurs en MES du réseau malgré qu'une grande partie du réseau est unitaire. Cela pourrait s'expliquer par l'efficacité des dégrilleurs installés en amont des collecteurs.

Les valeurs en Azote total (NTK) varient de 3,5 à 825,3 mg/L avec une valeur moyenne de 105,1 mg/L ±120,3 pendant la saison sèche. A la saison pluvieuse, ces valeurs ont oscillé entre 1,4 et 815,3 mg/L avec une valeur moyenne de 69,5 mg/L ±105,7. La valeur moyenne de la saison sèche est largement supérieure à celle de la saison pluvieuse. Les valeurs maximales et moyennes saisonnières sont au-delà de la valeur limite recommandée par la SDIIC (50 mg/L).

Les teneurs en ammonium (NH₄⁺) sont comprises entre 0,1 et 330,0 mg/L pendant la sèche avec une moyenne de 62,7 mg/L ±61,8. Pendant la saison, elles partent de 0,1 à 200,0 mg/L avec une moyenne 52,2 mg/L ±41,9. La valeur moyenne de la saison sèche est aussi supérieure à celle de la saison pluvieuse. Les valeurs moyennes et maximales sont largement supérieures à la valeur limite recommandée par la SDIIC (15 mg/L).

Les teneurs en nitrites et nitrates sont largement en dessous des valeurs guides recommandées par la SDIIC. Seul la valeur maximale (51,4 mg/L) de nitrate enregistrée pendant la saison pluvieuse est légèrement supérieure à la valeur limite de 50 mg/L recommandée par la SDIIC.

Les résultats indiquent que les teneurs en phosphores (PO₄³⁻) sont comprises entre 0,0 et 22,5 mg/L pendant la saison sèche. La valeur moyenne enregistrée au cours de cette saison est de 7,2 mg/L ±4,7. Ces valeurs varient de 0,0 à 20,0 mg/L à la saison pluvieuse avec une moyenne de 5,7 mg/L ±4,6. Les valeurs moyennes saisonnières sont en dessous de la valeur limite recommandée par la SDIIC (15 mg/L). Cependant, les valeurs maximales sont supérieures à ladite norme.

Les teneurs en DCO oscillent entre 74,4 à 16326,5 mgO₂/L avec une moyenne de 1813,4 mgO₂/L ± 2293,7 pendant la saison sèche. Au cours de la saison pluvieuse, ces valeurs sont comprises entre 29 et 4890,0 mgO₂/L. La valeur moyenne obtenue à cette saison est de 687,2 mgO₂/L ± 670,9. Les valeurs maximale et moyenne de la saison sèche sont largement supérieures à celles enregistrées en saison pluvieuse. Ces valeurs moyennes et maximales sont également supérieures à la valeur limite de la SDIIC (500 mgO₂/L).

Les concentrations en DBO₅ varient de 22,0 à 4100,0 mgO₂/L pendant la saison sèche. La moyenne de 562,1 mgO₂/L ± 613,4 enregistrée au cours de cette saison est largement supérieure à celle de 215,5 mgO₂/L ± 222,4 obtenue pendant la saison pluvieuse dont les valeurs varient de 2,0 à 1600 mgO₂/L.

3.3 ANALYSE STATISTIQUE (ACP)

3.3.1 MATRICES DE CORRÉLATION

Tableau 3. Matrice de corrélation de Pearson des paramètres physico-chimique en saison sèche

Variables	pH	T(°C)	MES	DCO	DBO ₅	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	DCO/DBO ₅
pH	1										
T(°C)	0,42	1									
MES	-0,28	0,03	1								
DCO	0,37	0,24	0,18	1							
DBO ₅	0,46	0,23	-0,01	0,94	1						
NTK	-0,08	-0,36	0,27	-0,06	-0,03	1					
NH ₄ ⁺	-0,28	-0,25	0,30	-0,24	-0,21	0,66	1				
NO ₂ ⁻	0,20	0,19	0,56	0,56	0,40	0,39	0,29	1			
NO ₃ ⁻	0,21	0,60	0,29	0,09	0,11	0,04	0,27	0,37	1		
PO ₄ ³⁻	-0,17	-0,26	0,57	-0,06	-0,14	0,80	0,73	0,58	0,17	1	
DCO/DBO ₅	-0,23	-0,01	0,60	0,36	0,05	0,08	0,04	0,58	0,10	0,33	1

Tableau 4. Matrice de corrélation de Pearson des paramètres physico-chimique en saison pluvieuse

Variables	pH	T(°C)	MES	DCO	DBO ₅	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	DCO/DBO ₅
pH	1										
T(°C)	0,63	1									
MES	-0,39	-0,26	1								
DCO	-0,41	-0,17	0,64	1							
DBO ₅	-0,42	-0,12	0,61	0,99	1						
NTK	-0,24	-0,48	0,47	0,29	0,23	1					
NH ₄ ⁺	-0,47	-0,58	0,43	0,21	0,16	0,71	1				
NO ₂ ⁻	0,07	0,36	0,27	0,48	0,47	-0,30	-0,35	1			
NO ₃ ⁻	-0,20	0,29	0,33	0,44	0,43	-0,22	-0,29	0,77	1		
PO ₄ ³⁻	-0,49	-0,45	0,60	0,53	0,50	0,44	0,55	-0,04	0,04	1	
DCO/DBO ₅	-0,13	-0,30	0,22	0,20	0,05	0,38	0,38	0,13	0,10	0,30	1

Le Tableau 3 présente les résultats de l'analyse corrélative entre les paramètres physico-chimiques au cours de la saison sèche. La corrélation la plus significative est celle réalisée entre la DCO et la DBO₅ (0,94) indiquant une pollution organique typique des eaux usées [17]. Les NTK sont bien corrélés avec le PO₄³⁻ (0,80). Aussi, une corrélation moyenne est observée entre NH₄⁺ et PO₄³⁻ (0,73). Enfin, des corrélations faibles sont observées entre NTK-NH₄⁺ (0,66); T°C-NO₂⁻ (0,60); NO₂⁻-DCO/DBO₅ (0,58); NO₂⁻-PO₄³⁻ (0,58); PO₄³⁻-MES (0,57); MES-NO₂⁻ (0,56) et DCO-NO₂⁻ (0,56). Ces corrélations entre PO₄³⁻ et les éléments azotés (NTK, NH₄⁺, NO₂⁻) témoignent d'une origine commune de ces éléments, probablement due aux apports de matières organiques d'origine domestique ou industrielle. En effet, les composés phosphorés et azotés sont généralement associés dans les effluents riches en matières organiques [17].

En saison pluvieuse, la corrélation entre DCO et DBO₅ est de 0,99, indiquant un apport important de matières organiques dans le réseau par les eaux pluviales. Les corrélations moyennes observées au cours de cette saison pluvieuse entre les MES et les matières oxydables MES-DCO (0,64) et MES-DBO₅ (0,61) témoignent toujours de l'apport de matières organiques dans le réseau par les eaux de ruissellement. Aussi, il existe une corrélation moyenne entre pH-T°C (0,63) et entre MES-PO₄³⁻ (0,60). Des corrélations faibles sont également observées entre T°C et NH₄⁺ (-0,58); NH₄⁺ et PO₄³⁻ (0,55); DCO et PO₄³⁻ (0,53).

3.3.2 VALEURS PROPRES ET VARIANCES EXPRIMÉES AU COURS DES SAISONS

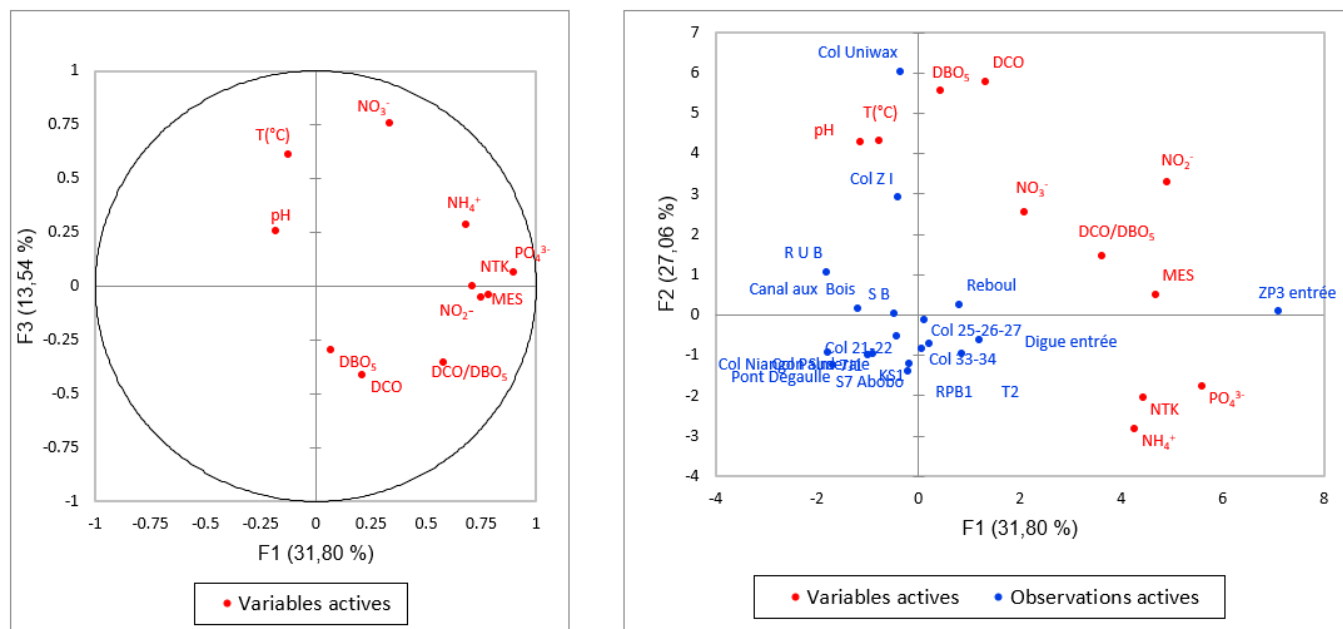


Fig. 12. Cercles de communauté et unités statistiques des plans factoriels F1-F2 en saison sèche

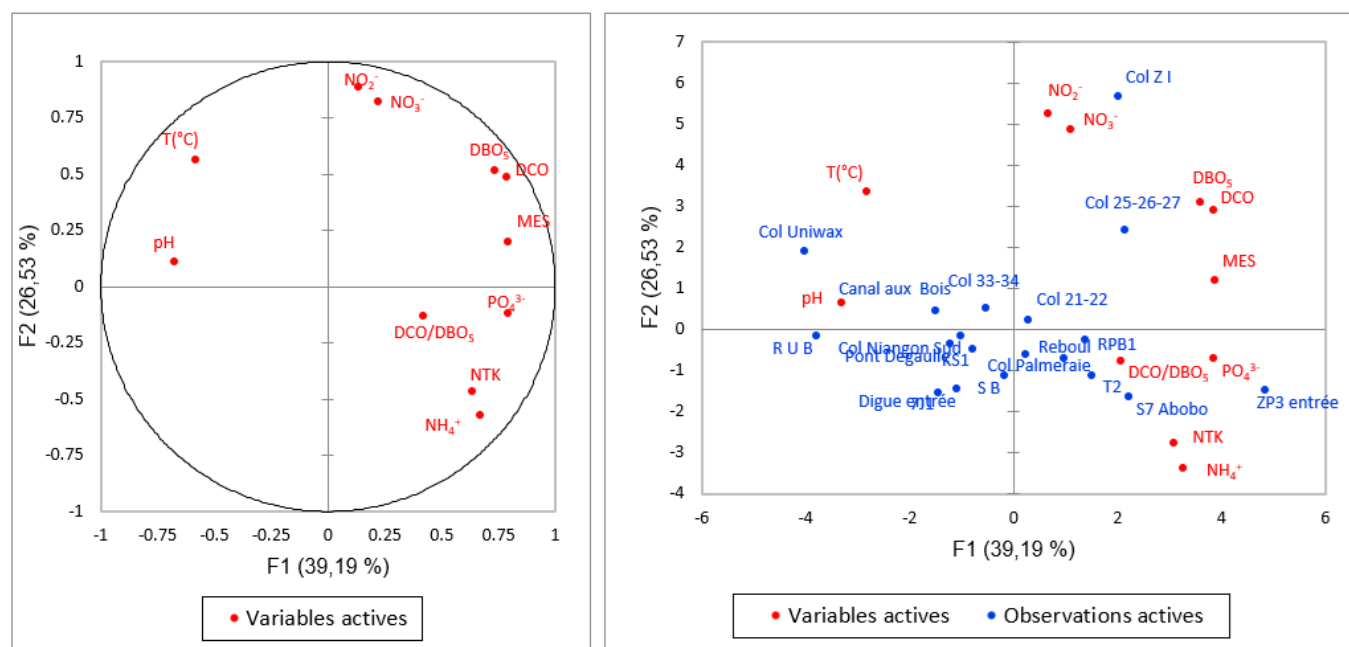


Fig. 13. Cercles de communauté et unités statistiques des plans factoriels F1-F2 en saison pluvieuse

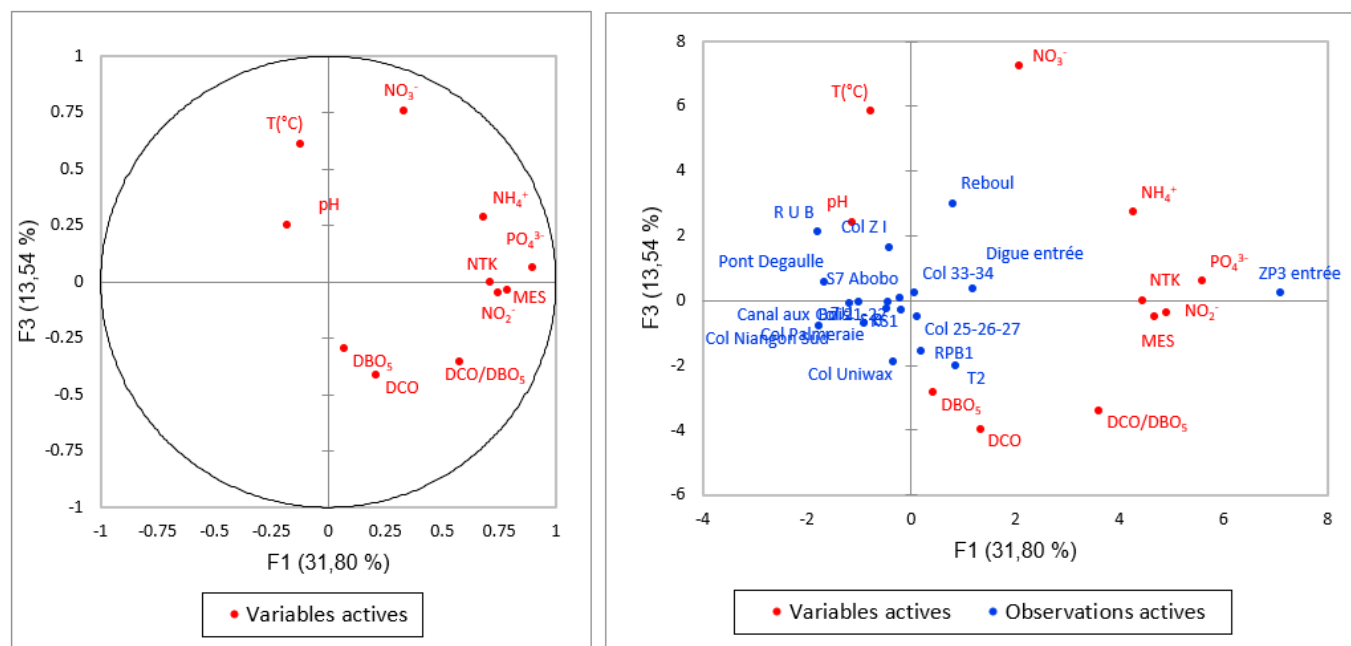


Fig. 14. Cercles de communauté et unités statistiques des plans factoriels F1-F3 en saison sèche

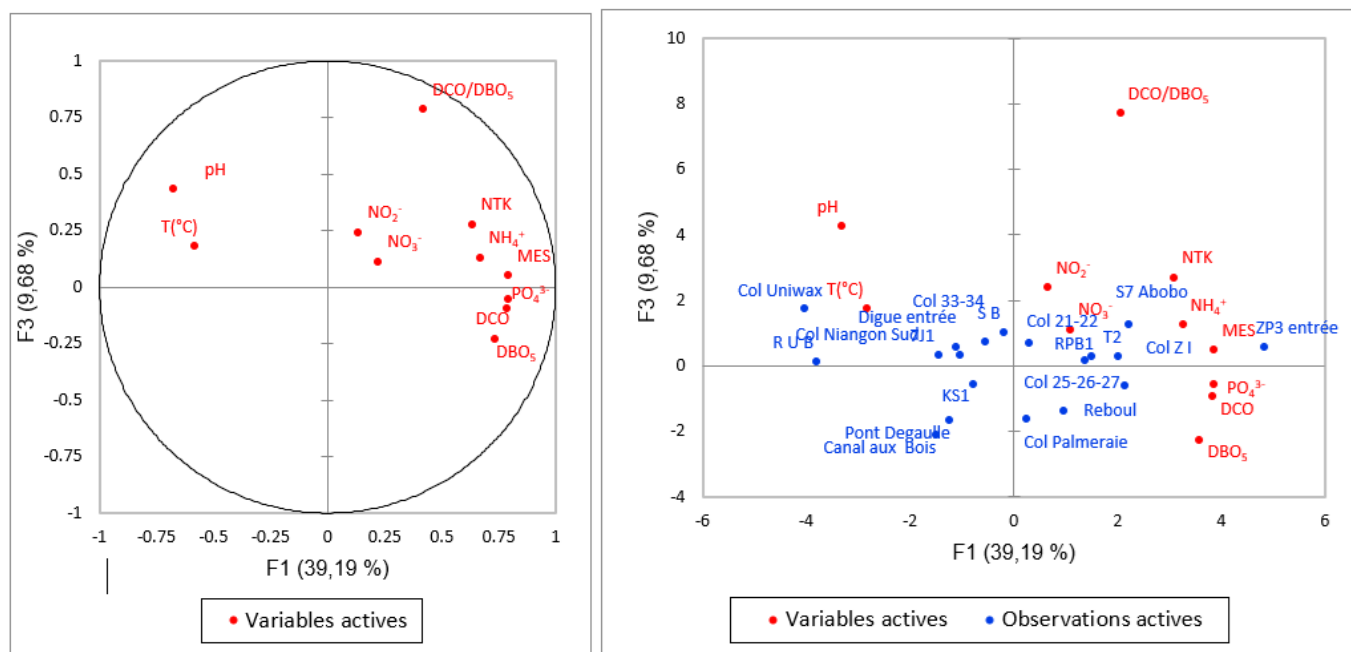


Fig. 15. Cercles de communauté et unités statistiques des plans factoriels F1-F3 en saison pluvieuse

L'Analyse en Composante Principale (ACP), indique que les plans factoriels (F1-F3; F1-F3) représentent 72,4 et 75,4 de la variance expliquée respectivement pour la saison sèche et pluvieuse. Ils dégagent donc la majorité des informations attendus.

Au cours de la saison sèche, le facteur 1 (F1), qui exprime 31,80 % de la variance expliquée est déterminée par la DCO, la DBO5, la température (T°C) et le pH. Ce facteur témoigne d'une pollution physique et organique d'origine industrielle. En effet, ce facteur est essentiellement contrôlé par les effluents des collecteurs Uniwax et zone industrielle de Yopougon. Quant au facteur 2 (F2), il est déterminé par les NO_2^- , le rapport DCO/DBO5, les MES, le PO_4^{3-} , les NTK et le NH_4^+ . Ce facteur traduit une pollution nutritive et minérale d'origine mixte. En effet, les effluents de plusieurs collecteurs contrôlent cette pollution. D'abord, les effluents de la station ZP3 qui sont des effluents principalement hospitaliers. Ensuite, les effluents à dominance

domestique de la station Reboul et les collecteurs 33-34, 25-26-27 de Yopougon. Par la suite, les effluents de l'abattoir de Port-Bouët (RPB1) et ceux issus de l'assainissement dépotés au poste de dépotage de Biafra et refoulés directement vers la station dégrilleur T2. Enfin, l'ensemble des effluents de la ville d'Abidjan drainés par le collecteur principale (Digue). Le facteur 3 (F3) qui représente 13,54 % de la variance est déterminé par les mêmes paramètres que le facteur 2 (F2).

Pendant la sèche pluvieuse, l'effet de dilution est observé sur les facteurs 1 et 2 (F1; F2). Le facteur 1 qui représente 39,19 de la variance exprimée est déterminé par les éléments azotés (NO_2^- et NO_3^-) et le pH. Ce facteur est toujours contrôlé par les effluents industriels des collecteurs Uniwax et zone industrielle de Yopougon. En ce qui concerne le facteur 2, il est positivement corrélé avec les paramètres tels que: MES, DCO, DBO_5 , PO_4^{3-} , NTK et NH_4^+ et négativement avec le pH et la $^{\circ}\text{C}$. L'axe négative de ce facteur exprimer donc une pollution physique d'origine industrielle. Quant à l'axe positive, il indique une pollution à la fois nutritive, organique et minérale. Les pollutions organiques et minérales de cet axe pourraient provenir essentiellement des eaux de ruissèlements des saisons pluvieuses qui lessivent les surfaces terrestres vers les réseaux d'assainissement. Quant à la pollution nutritive, elle pourrait provenir de la décomposition de la matière organique qui a provoqué la pollution organique. Le facteur 3 (F3) est aussi déterminé par les mêmes paramètres que le facteur 2 (F2).

4 CONCLUSION

Au terme de cette étude dont le but était d'évaluer la charge polluante des effluents du réseau d'eau usée de la ville d'Abidjan, il convient de retenir que sur les dix (10) paramètres suivis entre 2020 et 2023, seuls les teneurs en nitrites sont restés conformes aux valeurs limites de la SDIIC. Les paramètres tels que: DCO, DBO_5 , MES, pH, NH_4^+ et NTK ont enregistré des teneurs similaires aux teneurs d'effluents industriels au niveau de certains collecteurs. Les indices de biodégradabilités ont également montré que tous les collecteurs rejetant leurs effluents directement dans le milieu naturel sans traitement préalable sont sous l'influence des eaux usées industrielles. Les ACP saisonnières ont montré que les paramètres suivant: $T^{\circ}\text{C}$, pH, DBO_5 et DCO sont d'origine industrielle. Il devient impératif de prendre des mesures afin de protéger les agents exploitants du réseau ainsi que les milieux récepteurs de ces effluents. Ces mesures peuvent être l'identification des industriels rejetant directement leurs effluents dans le réseau sans traitement préalable. La connaissance de ces industries permettra à la SODECI (gestionnaire du réseau) d'imposer des mesures de traitement aux industriels concernés ou de leur faire signer des conversions de déversement.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Société de Distribution d'Eau Potable de Côte d'Ivoire (SODECI) pour sa contribution dans la collecte et le financement de l'intégralité des analyses effectuées. Nous remercions également les relecteurs anonymes dont leurs critique et suggestions ont permis d'améliorer cet article.

REFERENCES

- [1] A. A. Adingra et A. M. Kouassi, «Pollution en lagune Ebrié et ses impacts sur l'environnement et les populations riveraines» *F. Tech. & Doc. Vulg.*, pp.48-53, 2011.
- [2] B. Gouba, B. Sawadogo, «Caractérisation du processus de traitement des eaux usées des unités industrielles dans la station de traitement de Kossodo mise en place par l'Office Nationale des Eaux et l'Assainissement (ONEA) au BURKINA FASO», *Revue Internationale du Chercheur*, vol. 3, no. 2, pp. 19-38, 2022.
- [3] V. Kostyantyn, «Problématique de la gestion des eaux usées industrielles au niveau municipal dans les régions de l'Estrie et de la Montérégie» Mémoire de Maîtrise, Université de Sherbrooke, Canada, 116p, 2014.
- [4] Degremont, Memento technique de l'eau. Lavoisier ed, isbn: 978-2-7430-0717-1 27430-0717-6, 2005.
- [5] K. R. Dongo, B. F. Niamke, A. F. Adje, B. G. H. Britton, L. A. Nama, Anoh K.P., A. A. Adima and K. Atta, «Impacts des effluents liquides industriels sur l'environnement urbain d'Abidjan - Côte d'Ivoire», *Int. J. Biol. Chem. Sci* vol.7, no.1, pp404-420, 2013.
- [6] Direction Générale de l'Economie, «Profil-Environnement de la Côte d'Ivoire, 2021. Rapport environnement», 12p, 2023.
- [7] Y. A. Gnagne, O. B. Yapo, L. Meite, K. Kouame, 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.* vol.9, no.2, pp.1082-1093, 2015.
- [8] MSUA et ONAD. «Programme de structuration du marché des boues de vidange. République de Côte d'Ivoire. Abidjan, Côte d'Ivoire», 2016.
- [9] L. Van der Schueren, and K. De Clerck, «Textile materials with a pH-sensitive function» *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 23, no. 4, pp. 269-274, 2011.

- [10] P. Danel, Procédé de teinture ou apprêt par foulardage avec fixation à la continue de matières textiles, Ciba Geigy AG, Office européen des brevets, Bulletin (50), 13p, 1988.
- [11] T. L. Randrianantoandro, «Caractérisation Physico-Chimique Et Traitement Des Effluents Textiles» *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, vol. 33 (1), pp.93-108 2022.
- [12] A. D. Khamis, Caractérisation physicochimique et microbiologique des eaux usées de la station de pompage n° 4 (sp4) du réseau d'égout de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso), Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Burkina Faso, 42p., 2015.
- [13] M. Boutayeba, A. Bouzidia, «Epuration des eaux usées domestiques par lagunage naturel dans cinq stations d'épuration de la région de la Chaouia Ouardigha-Maroc», *Nature & Technologie ». C- Sciences de l'Environnement*, no.8, pp.49-53, 2012.
- [14] H. Amadou, M. S. Laouali Et A. S. Manzola, «Évaluation des rejets d'eaux usées de la ville de Niamey dans le fleuve Niger». *Afrique Sciences* vol.7, no.2 pp43 – 55, 2011.
- [15] A. Aassiri, «Impact des eaux usées déversées par Oued Sebou sur le littoral de l'océan atlantique: évaluation de la contamination par les métaux toxiques», Mémoire de DESA, INRH/Université Mohammed V, 231p, 2001.
- [16] Y. A. Yobouet, «Contribution à l'évaluation du système d'assainissement de la ville d'Abidjan». Mémoire de DEA, Université de Cocody Abidjan, 52p, 2007.
- [17] N. Morin-Crini and C. Grégorio, Eaux industrielles contaminées, nature/conservation et protection environnementale, p.512, 2020.
- [18] H.Elaouani, H. Haffad, K. Jaafari, N. Elbada, S. Mailainine, K.Benkhoulja, «Evaluation de la qualité physico-chimique des rejets liquides industriels de la zone industrielle d'elmarssa laayoune». *Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation*, vol.2, no.7, pp.1-14, 2019.
- [19] A. Laabassi, «L'épuration des eaux usées par le système de lagunage à macrophytes». Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, 174p., 2016.
- [20] I. Diagne, V. Drame M. Ndiaye B. Ndiaye et A. Diop, Caractérisation physico-chimique et contamination métallique des eaux usées déversées au niveau de la baie de Hann (Dakar/Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* vol.11, no.1, pp.462-472, 2017.
- [21] K. Amiri, N. Bekkari, A. Débbakh, A. Benmalek, A. & N. Bouchahm, «Caractérisation des eaux usées des rejets domestiques de la ville de Touggourt (Algérie) ». *J. Algér. Rég. Arid*, 14, pp.104-108, 2017.
- [22] M. K. Fidele, «Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes: « Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge/Angla » » Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur, Angola, 231p., 2020.
- [23] P. Saravanakumar, P. Gopalakrishnan, M. Sivakamidevi, & E. S. Archana, «Domestic wastewater treatment using flyash as adsorbent», *Int. J. Eng. Adv. Technol*, vol.8, no.5, pp.7503-7506, 2019.
- [24] D. Ait Baziz, A. Maazouzi, & S. Lachache, «Physical-chemical characterisation of the urban wastewater case study of the Boumerdes region, North–Algeria». *Journal of Water and Land Development*, vol.54, no.1, pp.243-250, 2022.
- [25] S. Prigent, «Optimisation du traitement de l'azote et du phosphore des eaux usées domestiques adapté aux Ecole des Mines de Nantes», France, 276p. 2012.
- [26] WWAP, «Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Les eaux usées – Une ressource inexploitée». Paris, UNESCO, 2017.
- [27] L. Leclercq. & B. Maquet, «Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante: Application au Samson et à ses affluents (Bassin de la Meuse belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénétiques et diatomiques», *Inst. roy. Sc. Nat. Belg.*, 113 p., 1987.
- [28] A. DIABAGATE, T. A. GOULA et G. E. SORO, « Hydrochimie des eaux Souterraines de la Région du Poro (Côte d'Ivoire) ». *European Scientific Journal edition*, vol. 15, no.9, pp.247 – 262, 2019.
- [29] H. Obami-Ondon, M. Ngouala, U. G. Mbilou and B. Mabiala, «Etude de la variabilité saisonnière des précipitations sur le plateau de Mbé au Pool-Nord (Congo-Brazzaville): impacts sur les eaux de surface et souterraines», *Proc. IAHS*, 384, pp. 233 - 239, 2021.