

Évaluation de l'état écologique : qualité physicochimique et indice de pollution organique du Nyong (fleuve côtier sud forestier, Cameroun)

Yogback Gertrude Estelle, PhD, Chercheur (se)

Laboratoire de Recherche sur les Risques Naturels, Direction de la Recherche, Institut National de Cartographie, Ministère de la recherche Scientifique et de l'Innovation, Yaoundé, Cameroun

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

Nyembe Etame Ghislain, Chercheur, Master

Laboratoire de Traitement d'Image Satellitaire, Direction de la Production Cartographique, Institut National de Cartographie, Ministère de la recherche Scientifique et de l'Innovation, Yaoundé, Cameroun

Njoya Mfokou Abdou Nasser, Chercheur, Master

Laboratoire de Recherche sur les Risques Naturels, Direction de la Recherche, Institut National de Cartographie, Ministère de la recherche Scientifique et de l'Innovation, Yaoundé, Cameroun

Mbassi Mvogo Alfred, Doctorant PhD

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
Département de Biologie et Physiologie Animal,
Faculté de Sciences, Université de Yaoundé 1, Cameroun

Ajeagah Gidéon, Enseignant-Chercheur, Doctorat

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

Djieta Lordon-Champlain, Enseignant-Chercheur, Doctorat

Laboratoire de Zoologie, Faculté de Sciences,
Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n21p209](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n21p209)

Submitted: 12 February 2026

Accepted: 26 July 2026

Published: 31 July 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Yogback, G.E., Nyembe Etame, G., Njoya Mfokou, A.N., Mbassi Mvogo, A., Ajeagah, G., & Djieta, L-C. (2026). *Évaluation de l'état écologique : qualité physicochimique et indice de pollution organique du Nyong (fleuve côtier sud forestier, Cameroun)*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (21), 209. <https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n21p209>

Résumé

Les ressources en eau au Cameroun sont confrontées à des problèmes de qualité**, ** pourtant la quantité y est. En outre, ces ressources subissent une détérioration de leur qualité par les différents rejets polluants. Le bassin versant du Nyong est l'un des plus grands au Cameroun et son cours principal, le Nyong, est la source de production d'eau potable dans la partie Sud camerounaise. Son bassin versant voit au fil des années un accroissement considérable de la population, un développement continu des activités industrielles et agricoles, surtout dans les zones urbaines et périurbaines, et un début d'eutrophisation dans sa partie amont. On y observe aussi une mauvaise gestion des déchets solides et liquides. Ce fleuve subit les effets de ces pressions, ce qui pourrait rendre son usage compromis. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux du Nyong à travers la caractérisation physico-chimique et l'indice de pollution organique de ses eaux. L'étude s'est déroulée de janvier 2017 à février 2018 dans cinq stations, et les analyses d'eau se sont faites selon les méthodes standards. Il ressort des analyses physico-chimiques que les eaux du Nyong sont de qualité bonne à moyenne avec une faible minéralisation ($6 \mu\text{S/cm} < \text{conductivité} < 50 \mu\text{S/cm}$), des eaux légèrement acides ($3,72 < \text{pH} < 8,04$), moyennement oxygénées ($52,70 \% < \text{O}_2 < 68,20 \%$) et fortement colorées (couleur $> 380 \text{ Pt-Co}$). Les résultats ont permis de mettre en évidence une charge organique forte à modérée au niveau du cours supérieur du Nyong ($\text{IPO} = 2,5 - 3,5$) et une charge organique nulle à modérée dans son cours aval ($3,5 \leq \text{IPO} \leq 5$). L'atténuation de la pollution dans le potamon du Nyong pourrait être due, d'une part, au phénomène d'autoépuration et, d'autre part, au dynamisme de la marée qui subit cette zone de confluence avec l'océan. Au vu de ces résultats en rapport avec un début de dégradation du Nyong, nous recommandons aux autorités de prendre des mesures pour la bonne gestion de cette ressource en eau qui joue un très grand rôle socio-économique pour toutes les filières qui en dépendent.

Mots-clés: Nyong, Physicochimie, IPO, Ecologique, Polluant

Ecological Status Assessment : Physicochemical Quality and Organic Pollution Index of the Nyong (A Coastal River in the Southern Forest of Cameroon)

Yogback Gertrude Estelle, PhD, Researcher

Natural Hazards Research Laboratory, Research Directorate, National
Institute of Cartography, Ministry of Scientific Research and Innovation,
Yaoundé, Cameroon

Hydrobiology and Environment Laboratory,

Faculty of Science, University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

Nyembe Etame Ghislain, Researcher, MSc

Satellite Image Processing Laboratory, Cartographic Production Directorate,
National Institute of Cartography, Ministry of Scientific Research and
Innovation, Yaoundé, Cameroon

Njoya Mfokou Abdou Nasser, Researcher, MSc

Natural Hazards Research Laboratory, Research Directorate, National
Institute of Cartography, Ministry of Scientific Research and Innovation,
Yaoundé, Cameroon

Mbassi Mvogo Alfred, PhD student

Laboratory of Hydrobiology and Environment,

Department of Animal Biology and Physiology,

Faculty of Science, University of Yaoundé I, Cameroon

Ajeagah Gidéon, Lecturer and Researcher, PhD candidate

Laboratory of Hydrobiology and the Environment,

Faculty of Science, University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

Djipto Lordon-Champlain, Lecturer and Researcher, PhD candidate

Zoology Laboratory, Faculty of Science,

University of Yaoundé I, Yaoundé, Cameroon

Abstract

Water resources in Cameroon face quality issues despite their abundance. Furthermore, these resources are undergoing a deterioration in quality due to various pollutant discharges. The Nyong catchment is one of the largest in Cameroon, and its main river, the Nyong, is the primary source for drinking water production in the southern part of the country. Over the years, its catchment area has experienced considerable population growth, continuous development of industrial and agricultural activities—especially in urban and peri-urban areas—and the onset of eutrophication in its upstream section. Poor management of solid and liquid waste is also observed. The river is suffering from the impacts of these pressures, which could compromise its

uses. The objective of this study is to assess the impact of these anthropogenic activities on the water quality of the Nyong River through physicochemical characterisation and the Organic Pollution Index (OPI). The study was conducted from January 2017 to February 2018 across five sampling stations, with water analyses performed according to standard methods.

The physicochemical analyses reveal that the waters of the Nyong are of good to medium quality. They are characterized by low mineralisation ($6 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{conductivity} < 50 \mu\text{S}/\text{cm}$), slightly acidic waters ($3.72 < \text{pH} < 8.04$), moderately oxygenated ($52.70\% < \text{O}_2 < 68.20\%$), and strongly coloured (colour $< 380 \text{ Pt-Co}$). The results highlighted a high to moderate organic load in the upper reaches of the Nyong ($\text{OPI} = 2.5\text{--}3.5$) and a zero to moderate organic load in its downstream course ($3.5 \leq \text{OPI} \leq 5$). The mitigation of pollution in the potamon of the Nyong could be attributed, on the one hand, to the phenomenon of self-purification and, on the other hand, to the tidal dynamics experienced in this confluence zone with the ocean.

In light of our results regarding the early stages of degradation of the Nyong River, we recommend that authorities take immediate measures for the proper management of this water resource, which plays a major socio-economic role for all sectors depending on it.

Keywords: Nyong, Physicochemistry, OPI, Ecological, Pollutant

Introduction

L'eau est une ressource naturelle indispensable à toutes les formes de vie sur la planète. C'est une denrée vitale qui constitue également l'habitat d'une partie de la faune et de la flore (Fatme *et al.*, 2019). L'eau est ainsi placée au centre de toutes les préoccupations et a été consacrée ressource limitée, vulnérable et essentielle à la vie (Zebaze Togouet *et al.*, 2011). Pour les êtres humains, l'avoir en quantité suffisante et en qualité optimale contribue au maintien de la santé.

Les milieux aquatiques, composante du patrimoine naturel essentiel pour le bien-être des générations actuelles et futures (Point, 1999 ; UICN, 2012), voient leur qualité se dégrader et leur diversité biologique tourner à la dérive du fait de certaines activités anthropiques (Fouillet, 2019). À cet effet, la forte urbanisation, l'industrialisation, l'agriculture intensive, les extractions de sol et de minerais, l'utilisation des sols et le remblaiement induisent, avec les changements climatiques, des perturbations diverses qui altèrent considérablement l'environnement et les écosystèmes aquatiques, ces derniers constituant le réceptacle majeur de tous les polluants (Colas *et al.*, 2014 ; Borics *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2012). Ces polluants entraînent la dégradation écologique des hydrosystèmes en les mettant dans l'incapacité d'assurer certains biens et services attendus (déclin de la qualité et de la disponibilité en

eau, disparition d'espèces, changement de la structure des communautés) (Colas *et al.*, 2014 ; Mounjid *et al.*, 2014 ; Davies *et al.*, 2010 ; Lévêque, 1998).

Au Cameroun, les milieux aquatiques sont en pleine dégradation et ce problème devient de plus en plus préoccupant, surtout pour les cours d'eau traversant les zones urbaines, à cause des quantités importantes de rejets polluants non traités qui y sont déversés. Dès lors, quel est l'état écologique du Nyong ? Ce fleuve joue un très grand rôle socio-économique, écologique et sanitaire pour la population qui en dépend. En effet, il est utilisé par la CAMWATER pour la production de l'eau potable dans la partie Sud du Cameroun. Il constitue également une source d'approvisionnement en produits halieutiques (poissons), un levier pour le développement des activités touristiques (baignade, balade en pirogue) et abrite des sites d'intérêt (site d'Ebogo). À ce jour, le fleuve voit son lit se réduire par l'envahissement d'espèces végétales, surtout dans sa partie supérieure. Son bassin versant connaît également une démographie croissante, car la population des départements arrosés par le Nyong aurait doublé entre 1970 et 2000 selon les statistiques disponibles au Bureau Central de Recensement de la Population (BUCREP). Dans ce bassin versant, on observe un développement du secteur agro-industriel, avec l'implantation de nombreuses sociétés (Société Camerounaise de Palmeraies (SOCAPALM). La population riveraine pratique de plus en plus une agriculture intensive et diversifiée (maïs, riz, tomate, concombre, cultures maraîchères, pisciculture), de nombreuses scieries voient le jour et la déforestation est de plus en plus prononcée au profit de l'agriculture intensive.

Au regard des activités anthropiques dans le bassin du Nyong, quels seraient leurs impacts sur la qualité de ses eaux ? L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de ces activités anthropiques sur la qualité des eaux du Nyong à travers la caractérisation physico-chimique et le calcul de l'indice de pollution organique de ses eaux, afin de mettre en exergue la qualité globale des eaux du Nyong, son évolution spatio-temporelle de l'amont vers l'aval, et de déterminer son niveau de pollution organique.

II- Matériel et Méthodes

II.1. Milieu D'étude

Cadre géographique du bassin versant du Nyong

Le Nyong est le deuxième fleuve du plateau sud-camerounais en termes de longueur et est entièrement inclus dans le territoire de la République du Cameroun (Olivry, 1986). La superficie de son bassin versant est de 27 800 km² et ses limites sont comprises entre 2°48' N et 4°32' N de latitude Nord, et entre 9°54' E et 13°30' E de longitude Est (Figure 1). Le Nyong prend sa source dans la partie orientale du pays, à environ 690 m d'altitude dans la région de l'Est (à l'Est d'Abong-Mbang, à une longitude de 13°30'). D'une

longueur d'environ 400 km, il est orienté selon les directions E-O et ENE-OSO, où il suit son cours jusqu'à l'Océan Atlantique. La largeur moyenne du bassin versant est d'environ 70 km, mais elle peut descendre à 40 km au niveau de Makak et atteindre 120 km à la longitude de Yaoundé (Olivry, 1979). Ce bassin versant couvre les départements du Haut-Nyong, du Nyong-et-Mfoumou, du Nyong-et-So'o, du Nyong-et-Kellé, de la Sanaga-Maritime et de l'Océan.

Le bassin versant du Nyong est soumis à un climat équatorial de transition, marqué au cours de l'année par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses d'inégales importances : la grande saison sèche (GSS) (mi-novembre à mi-mars), la petite saison de pluies (PSP) (mi-mars à fin juin), la petite saison sèche (PSS) (juillet-août) et la grande saison de pluies (GSP) (septembre à mi-novembre) (Lienou et al., 2005 ; Kuete, 1987). De l'ouest vers l'est, la quantité de précipitations diminue régulièrement, passant de 3 000 mm à l'embouchure du Nyong à 1 500 mm sur le haut-bassin ; les températures moyennes varient de 23,4 °C à Abong-Mbang à 26,4 °C à Edéa (Lienou *et al.*, 2005). Dans le bassin amont du Nyong, les débits sont directement reliés aux précipitations, l'évapotranspiration étant relativement constante au cours du cycle hydrologique.

Sur le plan pédologique, les sols se présentent sous trois types : les sols ferrallitiques rouges rencontrés sur le sommet des interfluvés et en bas des pentes, les sols hydromorphes dans les vallées marécageuses, et les sols peu évolués jaunes sur les reliefs montagneux à forte pente (Onguene, 1993). Le pH du sol dans ce bassin est acide, mais croît avec la profondeur de 2 à 6 % (Martin et Segalen, 1966). Le substratum dans le bassin est constitué essentiellement de roches métamorphiques et plutoniques (Shang *et al.*, 2004). Dans son cours supérieur, qui s'étend de la source à Kaya (Olivry, 1979), le Nyong est envahi uniquement sur les berges par une prairie inondée constituée de graminées, représentées essentiellement par les espèces *Festuca arundinacea* et *Echinochloa stagnina* (Gansop Kouemegne et Lima Mahop, 2012). La partie inférieure du bassin versant, qui s'étend sur 233 km de Kaya à l'embouchure du fleuve, est occupée par une forêt ombrophile de basse altitude, dite forêt littorale, qui s'étend de la zone côtière jusqu'à la latitude de Yaoundé (Letouzey, 1958).

Sur le bassin versant du Nyong, à l'exception des zones urbanisées (Yaoundé, Mbalmayo et Akonolinga), les activités anthropiques sont réduites à cause d'une faible densité de population (4 à 10 habitants/km²). Dans la zone rurale, on observe de grandes exploitations agricoles avec le développement des palmeraies dans les secteurs de Edéa, Zoétélé et Sangmélina, ainsi que des cultures maraîchères en zones périurbaines. De Déhane à Edéa, dans la partie inférieure du bassin, les grandes plantations industrielles et villageoises de palmeraies (SOCAPALM) et de bananeraies (PHP), ainsi que l'exploitation

Caractérisation des stations d'étude

[illegible]

www.eujournal.org

Description des stations d'échantillonnage

Ces stations se caractérisent dans l'ensemble par un couvert forestier peu dense, émanant de la forêt secondaire, mais elles présentent certaines spécificités.

- **Station Nyong 1 (Nyo1)**

La station Nyo1 (03°59'36,8'', 013°09'50,6'' ; altitude 662) est située au crénon du Nyong, elle est localisée entre les villages Abong- Doum et Abong –Mbang centre, en aval de la route Yaoundé – Abong -Mbang et d'un petit abattoir de bovins. La ripisylve abondante, est dominée par *Panicum maximum* et la canopée est plus ou moins présente ; le substrat est sablo-caillouteux (Figure 2a). La station se trouve non loin d'un petit abattoir périodique du centre urbain d'Abong- Mbang.

- **Station Nyong 2 (Nyo 2)**

La station du Nyo2 (03°45'52,045'', 013°09'50,6'', altitude 646m) est située à la sortie de la ville d'Akonolinga sous le pont d'Akonolinga. La ripisylve abondante est dominée par *Panicum maximum* et la canopée est absente. (Figure 2b). La station se trouve non loin du centre urbain d'Akonolinga.

- **Station Nyong 3 (Nyo 3)**

La station Nyo3 (03°30'44,484'', 011°30'1,702'' ; altitude 641m) est située en aval du marché "Japon" et de l'ancien pont joignant Mbalmayo - Sangmélina en plein centre urbain de Mbalmayo. La ripisylve est plus ou moins abondante et la canopée est absente (Figure 2c). On y observe une extraction du sable dans le lit du fleuve dans cette station pendant la saison sèche.

- **Station Nyong 4 (Nyo 4)**

La station Nyo4 (03°30'2,362'', 011°09'16,318'' ; 640m) est située dans la localité de Lep-Libong. La ripisylve est plus ou moins abondante, la canopée plus ou moins présente (Figure 2d) et le substrat est sablo-caillouteux. La station se trouve en milieu rural.

- **Station Nyong 5 (Nyo5)**

La station Nyo5 (03°29'42,189'', 010°04'29,686'' ; 41m) est située dans le canton Dehané. La ripisylve est plus ou moins abondante, canopée absente (Figure 2e) et le substrat est sableux. En amont de cette station, les riverains y font la vaisselle, la lessive et y lavent les motos. La station se trouve entre la palmeraie de la SOCOPALM et les bananeraies de la PHP en milieu rural.

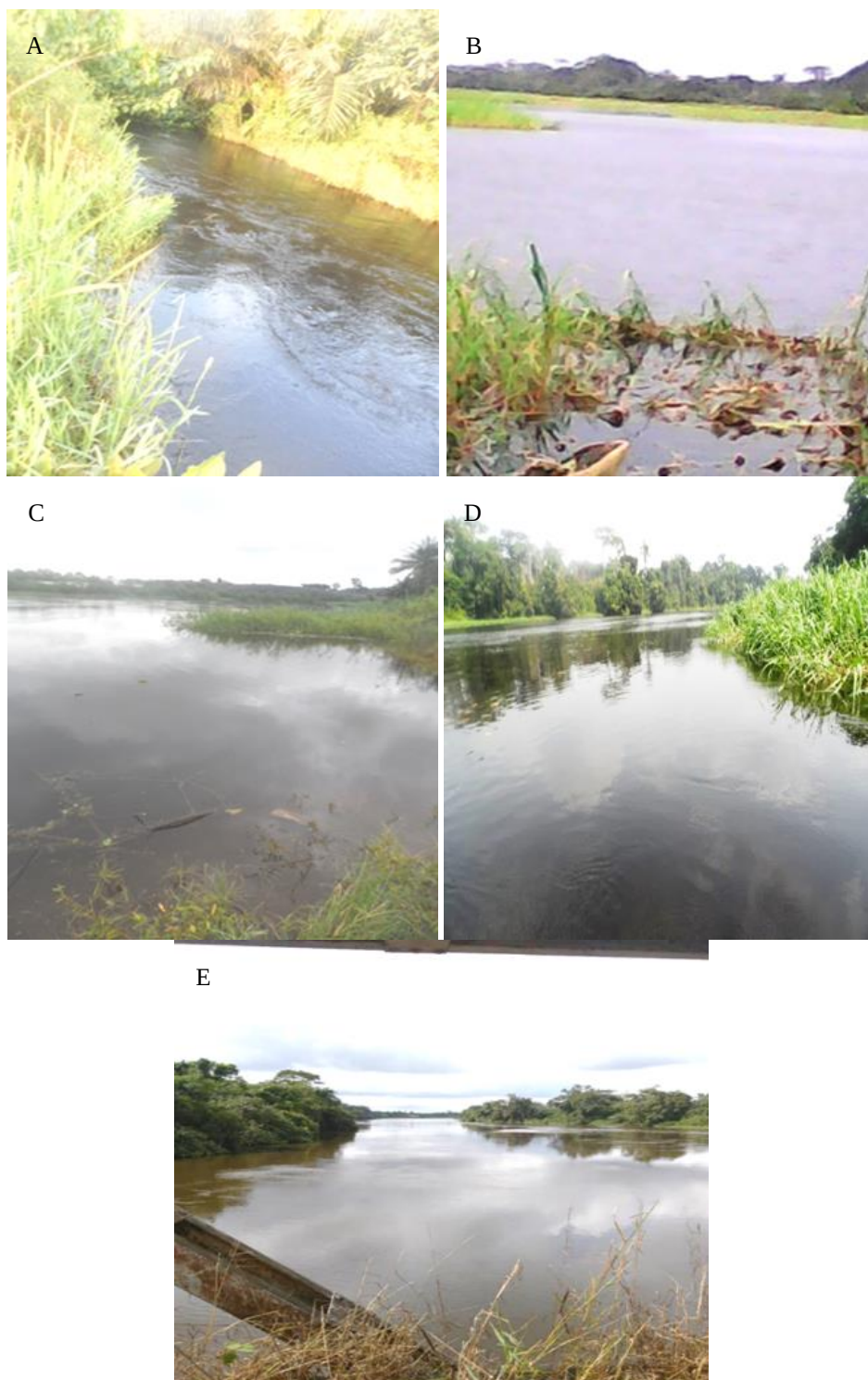


Figure 2 : Vue partielle des stations d'échantillonnage: Nyo 1 (a), Nyo 2 (b), Nyo 3 (c), Nyo4 (d) et Nyo5 (e)

II.2. Mesure des Variables Environnementales

Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués sur les cinq stations d'étude suivant une fréquence saisonnière (cinq campagnes), à savoir : la grande saison sèche 2017 (GSS 2017), la petite saison de pluies 2017 (PSP 2017), la petite saison sèche 2017 (PSS 2017), la grande saison de pluies 2017 (GSP 2017) et la grande saison sèche 2018 (GSS 2018), soit un total de 25 échantillons durant la période allant de janvier 2017 à février 2018. Les échantillonnages se sont faits à une profondeur de 50 cm, conformément aux protocoles de Rodier *et al.* (2009) et à la norme APHA (1998). Ainsi, *in situ*, les paramètres physico-chimiques tels que la température, le pH, la conductivité électrique, l'oxygène dissous et la turbidité ont été mesurés à l'aide d'appareils appropriés. L'échantillonnage des eaux s'est fait par la suite dans des flacons stériles en polyéthylène de 500 et 1 000 mL, puis le transport des échantillons a été effectué en enceinte réfrigérée pour maintenir une température de 4 °C jusqu'au Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, où la mesure d'autres paramètres a été réalisée. Le tableau I récapitule les paramètres mesurés au laboratoire à partir d'échantillons d'eau non filtrée, conformément aux normes en vigueur.

Tableau I : Paramètres physico-chimiques réalisés et la méthode d'analyse utilisée

Paramètres	Méthodes
Couleur	Colorimétrie au spectrophotomètre d'absorption moléculaire DR/2000
MES	
Formes d'azote (nitrate (NO_3^-), azote ammoniacale (NH_4^+), nitrite (NO_2^-)	
Orthophosphates (PO_4^{3-})	
Alcalinité (HCO_3^-)	Volumétrie
DBO_5	DBO mètre

II.3. Analyse des Données

Les données ont été analysées grâce au Logiciel SPSS 20.0 et XLSTAT. Des analyses statistiques ont été réalisées pour comparer les variables physico-chimiques sur les plans spatial et temporel. Dans un premier temps, la normalité des distributions a été vérifiée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Ensuite, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis au seuil de 5 % a été appliqué pour relever les différences significatives entre plus de deux échantillons. Le test de Mann-Whitney a également été appliqué pour identifier les différences entre deux échantillons. Par ailleurs, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour établir une typologie des stations échantillonnées sur la base des paramètres environnementaux. Enfin, l'Analyse de Classification Hiérarchique Ascendante (CHA), basée sur la distance euclidienne, a été mise en œuvre pour regrouper les stations en fonction de la similarité de leurs paramètres abiotiques (Williams *et al.*, 1971).

II.4. Evaluation de la Pollution Organique

- Indice de Pollution Organique « IPO »

L'Indice de Pollution Organique (IPO) a été proposé pour la première fois par L'Indice de Pollution Organique (IPO) a été proposé pour la première fois par Leclercq et Maquet (1987), puis révisé par Leclercq (2001). Le calcul de cet indice permet d'apprécier la qualité chimique des eaux soumises à une pollution organique à partir des valeurs des paramètres suivants : les orthophosphates (PO_4^{3-}), l'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-) et la demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO_5). Les valeurs de ces paramètres sont réparties en cinq classes ayant chacune une signification écologique liée aux modifications induites dans les peuplements benthiques (Tableau II). L'IPO représente la moyenne des numéros de classes obtenus pour chaque paramètre. Les valeurs de cet indice sont à leur tour réparties en cinq classes représentant des niveaux de pollution s'étendant du niveau nul ou très faible (classe 5) au niveau très fort (classe 1) (Tableau II).

Tableau II : Grille des classes de l'indice de pollution organique
(Leclercq et Maquet, 1987 ; Bekri *et al.*, 2020)

Classes	DBO_5 mgO_2/L	NH_4^+ mg/L	NO_2^- $\mu\text{g/L}$	PO_4^{3-} $\mu\text{g/L}$	IPO	Niveau de la pollution organique et couleur
5	<2	< 0,1	< 5	< 15	4,6 – 5,0	Nulle
4	2 – 5	0,1 - 0,9	6- 10	16 – 75	4,0 - 4,5	Faible
3	5,1 – 10	1 - 2,4	11 – 50	76 – 250	3,0 – 3,9	Modérée
2	10,1 -15	2,5 – 6	51 – 150	251 – 900	2,0 – 2,9	Forte
1	>15	> 6	> 150	> 900	1,0 – 1,9	Très forte

III. Résultats

III. 1. Caractérisation abiotique pendant la période d'étude

III .1.1. Caractérisation des paramètres climatiques

• Température ambiante «

Dans le bassin versant du Nyong, pendant la période d'étude, les plus fortes valeurs de la température ambiante ont été observées pendant la PSP toutes zones confondues (Tableau III). Ainsi dans la zone d'Abong-Mbang, la température ambiante a varié de $24,7 \pm 0,0$ °C pendant Grande Saison Sèche 2018(GSS2018) à $33,8 \pm 0,0$ °C (Petite Saison de Pluies (PSP)). Dans la zone d'Akonolinga, la plus forte température ($33,2 \pm 7,67$ E-15 °C) a été enregistrée pendant la PSP et la plus faible température ($25,7 \pm 3,84$ E-15°C) a été observée pendant la GSS 2018. Dans la zone de Mbalmayo, la température a fluctué de $25,8 \pm 3,83$ E-15°C (PSP) à $32,08 \pm 0,56$ °C (PSP). La température ambiante dans la zone de Makak a été comprise entre $25,78 \pm 0,04$ °C GSS 2018) à $31,47 \pm 0,07$ °C (PSP). Dans la zone littorale, la température a varié de $26,06 \pm 0,08$ °C (PSS) à $29,84 \pm 0,13$ °C (PSP). Dans les différentes zones, il n'y a pas de différence significative entre les saisons d'après le Test de Kruskal-Wallis. D'après ce même test, il n'y a pas de différence significative

sur le plan spatial, pourtant, sur le plan saisonnier, il y'a une différence significative dans l'ensemble du bassin versant du Nyong.

III.1.2. Caractérisation physicochimique des eaux des cours d'eau étudiés pendant la période d'étude

- **Variation spatio-temporelle des paramètres physiques**

Les valeurs de la température ont varié de 19,8 °C (Nyo2, GSS 2018) à 29°C (Nyo5, GSS2018) avec une moyenne de $24,86 \pm 2,77$ °C et une amplitude thermique de 9,2 °C. Ce paramètre a présenté des variations significatives entre la PSP et la GSP, ainsi qu'entre les stations Nyo4 et Nyo5.

La plus petite valeur de la couleur (43 Pt.Co) a été enregistrée à Nyo3 pendant la GSS 2017 et les plus grandes valeurs (380 Pt.co) ont été observées à la station Nyo1 pendant la GSS 2018. La moyenne de ce paramètre est de $162,94 \pm 87,24$ Pt.Co. Des variations spatiales significatives ont également été notées pour ce descripteur.

Les valeurs de MES ont varié autour d'une moyenne de $12,70 \pm 12,30$ mg/L. Parallèlement, les valeurs de la turbidité ont fluctué entre 0 et 96 FTU pour une moyenne de $20,48 \pm 27,17$ FTU). Ces valeurs ont significativement varié sur le plan saisonnier ($P < 0,05$).

- **Variation spatio-temporelle des paramètres chimiques**

Les valeurs des paramètres chimiques sont dans l'ensemble faibles (Tableau III). Le pH varie dans une fourchette de 3,72 UC (Nyo2, PSS) et 8,4 UC (Nyo3, PSP) avec une moyenne de $6,52 \pm 1,05$ UC. Ce paramètre n'a pas significativement varié sur le plan spatial ($P > 0,05$), pourtant, il a varié entre la PSP et la GSP ($P < 0,05$). Les valeurs de l'alcalinité sont comprises entre 2 mg/L (Nyo4, GSS 2017 et PSS) et 34mg/L (Nyo5, GSP), avec une moyenne fluctuant autour de $11,08 \pm 8,20$ mg/L. Aucune différence significative sur le plan spatio-temporel n'a été observée ($P > 0,05$).

Les valeurs de la conductivité enregistrées oscillent entre 6 et 50 μ S/cm autour d'une moyenne de $27,16 \pm 10,96$ μ S/cm. Les valeurs minimales sont enregistrées au niveau de la Nyo2 (GSS 2017) et la valeur importante enregistrée, pour Nyo3 a été observée à la PSP. La conductivité a significativement varié entre les stations ($P < 0,05$).

Les plus fortes valeurs de calcium ont été enregistrée à la GSS 2017 (1,2 - 1,4 mg/L) excepté aux stations Nyo2 et Nyo5. La valeur minimale (0,03 mg/L) a été observée aux stations Nyo3 et Nyo4 pendant la PSS. Ces valeurs tournent autour d'une moyenne de $0,38 \pm 0,40$ mg/L. Ce paramètre a varié significativement sur le plan saisonnier ($P < 0,05$). Les teneurs de l'oxygène dissous oscillent entre 52,7 % (Nyo3, PSS) et 68,3 % (Nyo4, GSS 2018) avec une moyenne de $62,73 \pm 3,58$ %. Ce paramètre n'a pas significativement varié sur le plan spatio-temporel ($P > 0,05$).

Les concentrations des nitrates enregistrées sont faibles et oscillent entre 0 et 3,9 mg/L ($1,32 \pm 1,28$ mg/L). Les valeurs minimales sont observées à la GSS 2018 pour les stations Nyo3 et Nyo5 et les valeurs maximales sont enregistrées à la PSP pour Nyo1. Pour toutes les stations, les teneurs les plus élevées sont enregistrées en période des crues. D'une saison à une autre, ce paramètre a varié significativement ($P < 0,05$).

Pour les teneurs en azote ammoniacal, la station Nyo1 a eu la plus forte valeur (0,78 mg/L) pendant la GSS 2017 et la plus petite valeur (0,09 mg/L) a été enregistrée à la station Nyo5 pendant la GSS 2017, avec une valeur moyenne de $0,26 \pm 0,16$ mg/L. Aucune différence significative sur le plan spatio-temporel n'a été observée pour ce paramètre.

La plus forte valeur en orthophosphates (3,5 mg/L) a été enregistrée à la station Nyo1 pendant la GSS 2017, les plus petites valeurs ont été enregistrées aux stations Nyo2 (PSS), Nyo3 (GSS 2018), Nyo4 (PSP et PSS) et Nyo5 (GSP et GSS 2018). Ces valeurs d'orthophosphates tournent autour d'une moyenne de $0,59 \pm 0,98$ mg/L. Ce paramètre n'a pas significativement varié sur le plan temporel ($P < 0,05$ ainsi qu'entre les stations Nyo1 et Nyo5).

Les concentrations du calcium qui décrivent également la dureté calcique ont varié entre 0,03 mg/L (Nyo3 et Nyo4, PSS) et 1,4 mg/L (Nyo 3, GSS 2017) autour d'une moyenne de $0,3 \pm 0,40$ mg/L. Les valeurs de la dureté calcique ont significativement fluctué sur le plan saisonnier ($P < 0,05$).

Légende : T°C = Température; pH = potentiel d'Hydrogène ; Cond = Conductivité électrique; % O₂ = pourcentage de saturation en oxygène dissous; Turb = Turbidité; NH₄⁺ = Azote ammoniacal; NO₃⁻ = nitrates; PO₃⁴⁻ = orthophosphates; ca²⁺ = Dureté calcique, Alc = alcalinité; Oxy = Oxydabilité; Res= résistivité, Sal= salinité, GSS 2017= grande saison sèche 2017, PSP= Petite Saison de Pluies 2017, PSS= Petite Saison Sèche 2017, GSP= Grande Saison de Pluies, GSS 2018= grande saison sèche de l'année 2018 ; Sta : stations, para : paramètre, Min : minimal, Max : maximal, Moy : moyenne.

Tableau III : Variations des différents paramètres chimiques dans la Nyong pendant la période d'étude

Stations	Para	PH (UC)	Cond	O ² (%)	Alc	Turb	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	DBO5	Sal	Res
Nyo1	Min	4,81	12,00	59,70	4,00	7,00	0,05	0,19	0,10	0,20	0,00	39350,00
	Max	7,62	24,00	65,60	12,00	96,00	3,90	0,78	3,30	1,45	0,01	91000,00
	Moy	6,40	19,60	63,17	7,00	41,20	2,23	0,34	1,12	0,67	0,01	55810,00
		± 1,10	± 4,93	± 2,43	± 3,16	± 41,84	± 1,55	± 0,25	± 1,29	± 0,57	± 0,00	± 20502,51
Nyo 2	Min	3,72	6,00	61,00	6,00	8,00	0,04	0,15	0,00	0,20	0,01	43500,00
	Max	7,80	22,00	66,70	22,00	96,00	2,30	0,38	1,60	1,15	0,01	77000,00
	Moy	6,45	16,60	63,34	13,60	31,80	0,74	0,22	0,54	0,58	0,01	55660,00
		± 1,66	± 6,15	± 2,26	± 5,90	± 36,87	± 0,98	± 0,10	± 0,66	± 0,35	± 0,00	± 12563,36
Nyo 3	Min	5,86	20,00	52,70	4,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,15	0,01	20000,00
	Max	8,04	50,00	68,00	20,00	16,00	2,80	0,36	1,83	2,25	0,02	52600,00
	Moy	6,73	37,20	60,75	11,20	7,80	1,26	0,22	0,42	0,96	0,01	30260,00
		± 0,87	± 11,71	± 5,66	± 6,10	± 6,57	± 1,43	± 0,08	± 0,79	± 0,87	± 0,00	± 13090,38
Nyo4	Min	6,36	21,00	58,00	2,00	0,00	0,04	0,11	0,00	0,05	0,01	22220,00
	Max	7,39	44,00	68,30	14,00	19,00	3,40	0,54	1,71	0,40	0,02	34500,00
	Moy	6,83	31,40	63,33	6,00	9,40	1,63	0,23	0,44	0,22	0,01	30324,00
		± 0,38	± 8,35	± 3,96	± 4,90	± 6,95	± 1,28	± 0,18	± 0,74	± 0,13	± 0,00	± 4819,84
Nyo5	Min	4,20	19,00	59,10	4,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,05	0,01	27000,00
	Max	7,25	40,00	68,20	34,00	22,00	2,00	0,51	0,19	1,75	0,02	38500,00
	Moy	6,20	31	63,04	17,60	12,20	0,73	0,28	0,08	0,87	0,01	32180,00
		± 1,19	± 8,66	± 3,44	± 13,52	± 9,60	± 0,91	± 0,16	± 0,09	± 0,76	± 0,01	± 4609,45
Norme (MEDD et AE, 2003 ; MEDD <i>et al.</i> , 2013)		6,5-8,2	180-2500	50-90		1-35	2-10	0,5-4	0,1-1			

- **Appréciation de la qualité chimique des eaux par l'Indice de Pollution Organique (IPO)**

Dans les stations Nyo1, l'IPO a fluctué de 3,5 à 2,5 ($2,5 \pm 3,33$) traduisant une pollution organique forte à modérée, dans la station Nyo2, il a varié de 4,5 à 2,5 ($3 \pm 1,5$) avec une charge polluante faible à forte, à la station Nyo3 cet indice a varié de 4,5 à 2,5 ($2,75 \pm 3$) avec une charge polluante forte à modérée, la station Nyong4 a une pollution organique qui varie de faible à forte ($4,5 < IPO > 2,5$) et la station Nyong 5 située dans le potamon a une charge polluante nulle à modérée ($5 < IPO > 3,5$) (Tableau IV). Dans l'ensemble du Nyong, l'indice de pollution organique moyenne indique une pollution organique forte en amont et modérée en aval Nyong.

Le profil général d'amont-aval des valeurs indicielles pour les stations d'étude ont varié. Ainsi, l'analyse des eaux du Nyong donne des valeurs de l'IPO variant entre 2,75 et 5 soit un niveau de pollution de nulle à forte. Nous avons obtenu une pollution forte à la station Nyo1, par contre, aux stations Nyo2, Nyo3, Nyo4 et Nyo5 la pollution organique est modérée.

Tableau IV : Caractérisation du niveau de pollution organique

Stations		IPO	Pollution organique
Nyo1	Min	3,5	Modéré
	Max	2,5	Forte
	Moy	2,5	Forte
Nyo 2	Min	4,5	Faible
	Max	2,5	Forte
	Moy	3	Modéré
Nyo 3	Min	4,5	Faible
	Max	2,5	Forte
	Moy	3	Modérée
Nyo4	Min	4,5	Faible
	Max	2,5	Forte
	Moy	3	Modéré
Nyo5	Min	5	Null
	Max	3,5	Modéré
	Moy	3,5	Modéré

- **Traitement statistique des données**

L'analyse des valeurs propres (Figure 3a) indique que l'axe F1 explique près de la moitié (soit 46,76 %) de la variance totale des données, tandis que l'axe F2 en explique 36,32 %. Ainsi, 83,08 % de la variabilité du tableau de données sont extraits par le plan factoriel F1 × F2. De ce fait, l'analyse des résultats de l'ACP sera menée en se limitant à ces deux premiers axes (Figure 3a).

Sur le biplot de corrélation des paramètres physico-chimiques du Nyong, nous observons que les teneurs en orthophosphates, en azote

ammoniacal, en oxygène dissous et la turbidité sont positivement corrélées entre elles d'une part, et négativement corrélées à la conductivité et à la salinité sur l'axe F1 d'autre part. Sur l'axe F2, le pH, la dureté calcique et les nitrates sont positivement corrélés entre eux, tandis que des paramètres tels que la température, l'alcalinité et les MES sont négativement corrélés. Nos stations peuvent être classées en trois grands groupes selon leurs caractéristiques physico-chimiques. Ainsi, les stations Nyo3 et Nyo4, formant le groupe I, sont caractérisées par un pH légèrement basique et par des valeurs élevées de conductivité, de salinité, de nitrates et de dureté calcique. Le groupe II, formé des stations Nyo1 et Nyo2, est caractérisé par des valeurs élevées d'orthophosphates, de turbidité, de couleur et de MES, ainsi que par de faibles valeurs d'oxygène dissous et d'azote ammoniacal. Enfin, le groupe III, formé de la seule station Nyo5, est caractérisé par des valeurs élevées de température, d'alcalinité et de salinité (Figure 3b).

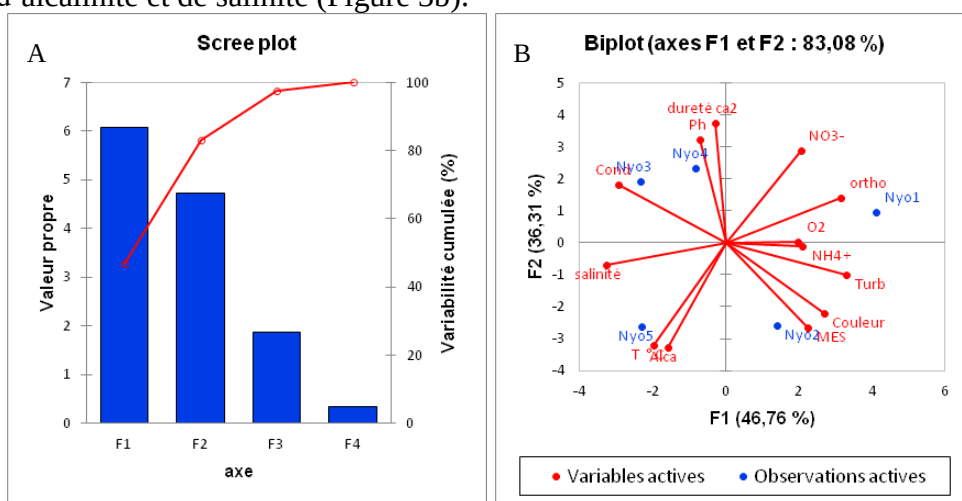


Figure 3 : Résultat de l'Analyse en Composante Principale (ACP) effectuée sur les variables environnementales mesurées dans les différentes stations pendant la période d'étude : Histogramme des valeurs propres dans le bassin du Nyong (a) ; biplot des stations dans le bassin du Nyong (b)

Les corrélations de Spearman entre les variables physicochimiques montrent que le pH est positivement corrélé à l'oxygène dissous ($r = 0,40$; $P > 0,05$) et aux MES ($r = 0,38$; $P > 0,05$). La turbidité est positivement corrélée à la résistivité ($r = 0,46$; $P > 0,05$), à la conductivité ($r = 0,59$; $P > 0,01$), aux MES ($r = 0,60$; $P > 0,01$) et à l'oxygène dissous ($r = 0,42$; $P > 0,05$) tandis qu'elle l'est négativement à la salinité ($r = -0,47$; $P > 0,05$). Les MES sont positivement corrélées à l'oxygène dissous ($r = 0,50$; $P > 0,01$) et négativement à la conductivité ($r = -0,55$; $P > 0,01$) ainsi qu'à la salinité ($r = -0,53$; $P > 0,05$). La couleur est positivement corrélée à l'azote ammoniacal ($r = 0,54$; $P > 0,01$) et négativement à la conductivité ($r = -0,59$; $P > 0,01$).

La conductivité est corrélée positivement à la dureté calcique ($r = 0,46$; $P > 0,05$), la dureté totale ($r = 0,42$; $P > 0,05$) et négativement à la salinité ($r = -0,65$; $P > 0,01$) et à la résistivité ($r = -0,95$; $P > 0,01$). L'oxygène dissous est négativement corrélé à la salinité ($r = -0,51$; $P > 0,01$) à l'oxydabilité ($r = -0,43$; $P > 0,05$). La salinité est négativement corrélée à la dureté totale ($r = -0,42$; $P > 0,05$), à la dureté magnésienne ($r = -0,46$; $P > 0,05$) et à la résistivité ($r = -0,65$; $P > 0,01$). Enfin L'azote ammoniacal est corrélé positivement aux nitrates ($r = 0,46$; $P > 0,01$), à l'oxydabilité ($r = 0,46$; $P > 0,05$) (Tableau V).

Légende : $T^{\circ}\text{C}$ = température. pH = potentiel d'hydrogène. Cond = conductivité électrique. $\% \text{O}_2$ = pourcentage de saturation en oxygène dissous. CO_2 = Dioxyde de carbone. NH_4^+ = ammonium. NO_3^- = nitrate. PO_3^{4-} = orthophosphates. Ca^{2+} = dureté calcique, Alc = alcalinité. Oxy = oxydabilité. Res = résistivité. Sal = salinité. TH = dureté totale. R = coefficient de corrélation, P = valeur significative.

Tableau V : Coefficients de corrélation de Spearman entre les paramètres physico-chimiques

			T	pH	Cond	% O2	Tur	MES	Cou	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₃ ⁴⁻	Oxy	Sal	Res	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Dur tot
Rho de Spearman	T	R	1,00	0,34	-0,04	0,31	0,14	0,30	0,08	-0,09	-0,16	-0,14	-0,12	0,02	-0,03	-0,05	0,23	0,14
		p		0,09	0,85	0,13	0,51	0,14	0,69	0,68	0,46	0,51	0,57	0,93	0,87	0,81	0,28	0,49
	pH	R	0,34	1,00	-0,18	0,31	0,20	,397*	0,25	0,12	-0,04	0,05	-0,06	-0,03	0,09	-0,14	0,27	0,18
		p	0,09		0,39	0,14	0,33	0,05	0,23	0,59	0,83	0,83	0,77	0,89	0,68	0,50	0,19	0,39
	Cond	R	-0,04	-0,18	1,00	-0,23	-,558**	-,547**	-,509**	0,27	0,08	-0,11	0,12	,647**	-,951**	0,17	,464*	,423*
		p	0,85	0,39		0,26	0,00	0,01	0,01	0,20	0,72	0,60	0,58	-	-	0,41	0,02	0,04
	% O2	R	0,31	0,31	-0,23	1,00	,425*	,502*	0,30	-0,07	-0,01	0,07	-0,09	-,519**	0,21	0,09	0,05	0,13
		p	0,13	0,14	0,26		0,03	0,01	0,15	0,73	0,95	0,75	0,66	0,01	0,31	0,67	0,80	0,54
	Tur	R	0,14	0,20	-,558**	,425*	1,00	,603**	,630**	0,01	0,31	-0,10	-0,10	-,466*	,609**	-0,31	-0,29	-0,38
		p	0,51	0,33	0,00	0,03		0,00	0,00	0,96	0,13	0,65	0,63	0,02	0,00	0,14	0,16	0,06
	MES	R	0,30	,397*	-,547**	,502*	,603**	1,00	,512**	-0,05	0,05	-0,04	-0,34	-,533**	,497*	0,02	-0,17	-0,05
		p	0,14	0,05	0,01	0,01	0,00		0,01	0,83	0,81	0,83	0,09	0,01	0,01	0,91	0,41	0,83
	Cou	R	0,08	0,25	-,509**	0,30	,630**	,512**	1,00	0,20	,542**	-0,14	0,27	-0,39	,509**	-0,22	-0,08	-0,16
		p	0,69	0,23	0,01	0,15	0,00	0,01		0,34	0,01	0,50	0,19	0,06	0,01	0,28	0,71	0,46
	NO3-	R	-0,09	0,12	0,27	-0,07	0,01	-0,05	0,20	1,00	,416*	0,32	0,19	0,07	-0,11	0,14	,457*	0,38
		p	0,68	0,59	0,20	0,73	0,96	0,83	0,34		0,04	0,12	0,36	0,73	0,59	0,51	0,02	0,06
	NH4 +	R	-0,16	-0,04	0,08	-0,01	0,31	0,05	,542**	,416*	1,00	-0,07	,465*	-0,03	0,03	-0,19	0,05	-0,08
		P	0,46	0,83	0,72	0,95	0,13	0,81	0,01	0,04		0,74	0,02	0,88	0,87	0,36	0,83	0,72
		P	0,51	0,83	0,60	0,75	0,65	0,83	0,50	0,12	0,74		0,29	0,94	0,33	0,05	0,84	0,32
	Oxy	R	-0,12	-0,06	0,12	-0,09	-0,10	-0,34	0,27	0,19	,465*	0,22	1,00	0,27	-0,04	-0,11	-0,05	-0,15
		P	0,57	0,77	0,58	0,66	0,63	0,09	0,19	0,36	0,02	0,29		0,20	0,86	0,62	0,83	0,47
	Sal	R	0,02	-0,03	,647**	-,519**	-,466*	-,533**	-0,39	0,07	-0,03	-0,02	0,27	1,00	-,648**	0,06	,427*	0,28
		P	0,93	0,89	-	0,01	0,02	0,01	0,06	0,73	0,88	0,94	0,20		-	0,80	0,03	0,18
	Res	R	-0,03	0,09	-,951**	0,21	,609**	,497*	,509**	-0,11	0,03	0,20	-0,04	-,648**	1,00	-0,14	-,457*	-,417*
		P	0,87	0,68	-	0,31	0,00	0,01	0,01	0,59	0,87	0,33	0,86	-		0,51	0,02	0,04
	Ca2+	R	-0,05	-0,14	0,17	0,09	-0,31	0,02	-0,22	0,14	-0,19	0,39	-0,11	0,06	-0,14	1,00	0,24	,696**
		P	0,81	0,50	0,41	0,67	0,14	0,91	0,28	0,51	0,36	0,05	0,62	0,80	0,51		0,25	-
	Mg2+	R	0,23	0,27	,464*	0,05	-0,29	-0,17	-0,08	,457*	0,05	-0,04	-0,05	,427*	-,457*	0,24	1,00	,830**
		P	0,28	0,19	0,02	0,80	0,16	0,41	0,71	0,02	0,83	0,84	0,83	0,03	0,02	0,25		-
	TH	R	0,14	0,18	,423*	0,13	-0,38	-0,05	-0,16	0,38	-0,08	0,21	-0,15	0,28	-,417*	,696**	,830**	1,00
		P	0,49	0,39	0,03	0,53	0,06	0,83	0,46	0,06	0,72	0,32	0,47	0,18	0,04	-	-	

IV. Discussion

IV. 1. Caractérisation physico-chimique

Les fortes valeurs de température enregistrées (19,5 °C – 29 °C) dans le Nyong pourraient s'expliquer par la température ambiante de cette zone écologique. Ces stations s'expliqueraient par l'absence du couvert végétal dans nos différentes stations qui seraient, par conséquent plus influencées par le rayonnement solaire. En effet, selon Merhabi *et al.* (2019), la température de l'eau d'une rivière est affectée par la température ambiante et le changement de saison. Malgré la différence non significative observée ($P \leq 0,05$) entre les stations, il s'avère tout de même que les valeurs de la température de la station Nyo5 sont plus ou moins supérieures à celles des autres stations. Ces résultats pourraient s'expliquer par la température ambiante de cette zone qui serait relativement plus élevée par rapport à celle des régions du Centre et de l'Est. Nos résultats corroborent ceux de Tchindjang (2015) qui a noté que la température moyenne ambiante est de 24,4 °C (23,5 °C - 25,0 °C) dans la zone agroécologique forestière contre 25,9 °C (23 °C - 29,5 °C) dans la zone agroforestière côtière. Les résultats de la station Nyo5 située dans la région du Littoral se rapprochent de ceux obtenus, par Liwouwou *et al.* (2018) dans les cours d'eau Rembo-Bongo, Ogooué et Nyanga qui coulent dans la zone côtière du Gabon (25,6 °C – 26,6 °C).

Les valeurs de la turbidité ont été plus faibles pendant la grande saison sèche 2017 par rapport à la petite saison pluvieuse ; elles seraient liées à l'apport des eaux de ruissellement qui charrient les particules dans le Nyong, augmentant la turbidité de l'eau pendant la saison pluvieuse (Ahonon, 2011). En effet, selon Wethe *et al.* (2003), la quantité de matières en suspension est liée aux apports exogènes provenant parfois de l'érosion et au transport des particules non solubles dans les eaux de ruissellement. Par contre, pendant la grande saison de pluies nous avons observés les faibles valeurs de turbidité Ceci pourrait s'expliquer par un déficit pluviométrique pendant cette période d'étude, probablement une conséquence des variations climatiques. En se référant au Système probablement lié aux variations climatiques. En se référant au Système d'Évaluation de la Qualité des cours d'eau (SEQ-EAU), notre plan d'eau est de très bonne qualité (très faiblement altéré) à bonne qualité (faiblement altéré) pendant la période d'étude (MEDD et AE, 2003).

La valeur de MES et de la turbidité enregistrée dans la plupart des stations se rapprochent de celles obtenues par : Ngakomo *et al.* (2020) dans les sources et certains cours d'eau de Ngoumou, Akono, Obala et Monatélé ; Ajeagah *et al.* (2017) dans le cours d'eau Matourou ; Biram A Ngon (2018) dans le Nga, l'Abouda, le Nkoumou et le Fam ; et Yogback *et al.* (2018) dans les cours d'eau Ondoamedza et Lepmassoun, tous situés en zone périurbaine. Par contre, elles sont inférieures à celles obtenues en zone urbaine de Yaoundé par Ajeagah *et al.* (2013), dans l'Olezoa par Kapso (2019). Cette différence

avec les milieux aquatiques situés en zone urbaine serait due à l'imperméabilisation des sols en milieu urbain, qui favorise le ruissellement chargé de polluants, et à l'érosion accrue liée aux chantiers.

Les fortes valeurs de la couleur de l'eau observées dans nos stations s'expliqueraient, d'une part, par la présence d'ions colloïdaux issus de la décomposition de la matière organique dans l'eau et, d'autre part, par la nature du sol et de la roche traversés par le Nyong. À ce propos, Ateba (2012) souligne que la couleur noire d'une eau est une caractéristique des terres alluvionnaires ayant une couche superficielle riche en humus que le cours d'eau traverse. Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus dans les cours d'eau Ondoamedza et Lepmassoun par Yogback *et al.* (2018) et dans le cours d'eau Matourou par Ajeagah *et al.* (2017), tous deux situés dans le bassin versant du Nyong.

Les valeurs du pourcentage de saturation en oxygène dissous dans les stations étudiées (comprises entre 50 et 70 %) résulteraient du caractère des cours d'eau forestiers, où une forte activité photosynthétique s'exerce. De plus, une ventilation naturelle est induite par le feuillage, tandis que la présence de radiers et de méandres crée des conditions de turbulence et de recirculation des eaux, favorisant leur réoxygénation à l'interface eau/air (Fernandes *et al.*, 2014). D'une manière générale, les valeurs moyennes de la teneur en oxygène dissous enregistrées dans le Nyong permettent de considérer ces eaux comme étant de qualité moyenne à bonne du point de vue de l'aptitude biologique (MEDD et AE, 2003). Nos résultats sont supérieurs à ceux des marais Tanoé-Ehy en Côte d'Ivoire (< 50 %) (Djirieoulou *et al.*, 2017). Ils se rapprochent, par contre, de ceux obtenus dans le cours d'eau Makon à la périphérie de Bamenda (Mbouombo *et al.*, 2019) et dans le site de Lugohwa de la rivière Kahuwa, ainsi que celui de l'usine de Murhesa de la rivière Mpungwe en forêt, en République Démocratique du Congo (Zirirane *et al.*, 2020).

Dans le bassin versant du Nyong, les valeurs de pH moyen enregistrées pendant la période d'étude traduiraient la nature faiblement acide des eaux. Cette acidité serait due à la nature des sols du bassin, car les sols ferrallitiques à texture sableuse à sablo-argileuse du bassin versant du Nyong ont un pH acide (Olivry, 1986). Ces résultats corroborent ceux observés par Ajeagah *et al.* (2017) dans le cours d'eau Matourou, situé dans le même bassin versant. En revanche, les valeurs basiques obtenues par endroits seraient dues, d'une part, à la nature des apports endogènes et exogènes dans les cours d'eau par l'intermédiaire des tributaires et des eaux de ruissellement et, d'autre part, à la présence de composés humiques résultant de la décomposition de la matière organique (feuilles mortes). Welcomme (1985) affirme à ce propos que les cours d'eau forestiers, riches en substances humiques, sont légèrement à fortement acides avec un pH qui fluctue entre 4 et 7 UC. Les très faibles

valeurs de la conductivité électrique ($\leq 50 \mu\text{S/cm}$) enregistrées dans notre cours d'eau forestier traduisent la faible minéralisation des eaux. Ceci serait lié d'une part au fait que nos cours d'eau sont localisés en zone forestière où les pollutions urbaines sont réduites bien que traversant de petites villes et d'autre part à la nature des sols et des roches d'autre part. Lecerf (2005) et MOSS (2007) affirment que la faible minéralisation des rivières de forêt est due en partie, au cycle très rapide des éléments biogènes de l'écosystème forestier surtout dans un milieu très pauvre en nutriments. Nos résultats sont inférieurs de ceux relevés par Ajeagah *et al.*, (2017) dans l'Olezoa située en milieu urbain de Yaoundé. Les fortes valeurs de conductivité électrique ont également été observées en milieu urbain ($>102 \mu\text{S/cm}$) et en particulier en aval de l'effluent mixte ($426 - 3690 \mu\text{S/cm}$) par Tchakonte (2016) dans la ville de Douala au Cameroun.

Les teneurs de l'eau en azote minéral (azote ammoniacal (NH_4^+) et nitrate (NO_3^-)) et en orthophosphates (PO_4^{3-}) le long du Nyong reflèteraient d'une très bonne à bonne qualité des eaux (MEDD et AE, 2003). Toutefois, les valeurs de nitrate $\geq 1,5 \text{ mg/L}$ que nous avons enregistrées dans nos différentes stations pourraient s'expliquer par le lessivage des sols forestiers et des terres agricoles. Liechti (2010) souligne à ce propos que si les teneurs en nitrate dépassent $1,5 \text{ mg/L}$, il y a probablement eu lessivage de terres agricoles ou déversement d'eaux usées communales.

Les faibles valeurs de l'oxydabilité ($0,05 - 1,75 \text{ mg/L}$) enregistrées dans le Nyong seraient liées à la faible charge de ces eaux en matières organique et inorganique oxydables, et renseigneraient par conséquent sur la faible activité métabolique des groupes décomposeurs. Ces observations corroborent avec celles de Williams *et al.*, (2012). Nos données s'éloignent de celles acquises par Mbouombo *et al.* (2019) dans un cours d'eau au centre urbain de Bamenda ($0,19 - 6,5 \text{ mg/L}$).

IV.2. Indice de pollution organique (IPO)

Tout le long du Nyong, on remarque des valeurs élevées de l'indice de pollution organique ($\text{IPO} = 4,5 \text{ et } 5$), traduisant une pollution organique faible à nulle due aux faibles débits d'eaux usées des différentes agglomérations déversées dans le milieu récepteur. Ces valeurs élevées de l'IPO montrent, d'une part, que l'impact anthropique est peu prononcé dans ce bassin versant, bien que le Nyong traverse certains centres urbains ; d'autre part, cette faible charge polluante pourrait être attribuée au phénomène d'autoépuration caractéristique des rivières forestières. Ce résultat se rapproche de ceux obtenus dans d'autres cours d'eau en zone périurbaine au Gabon (Mbega, 2004 ; Liwouwou, 2016 ; Foto Menbohan *et al.*, 2017), au Cameroun (Biram A Ngon *et al.*, 2018 ; Ajeagah *et al.*, 2017 ; Tchakonté *et al.*, 2014), en Côte

d'Ivoire (Diomandé *et al.*, 2009) et en République Démocratique du Congo (Ndakala Mukungilwa *et al.*, 2015).

Conclusion

Le présent travail représente une contribution à l'étude de l'écologie des milieux aquatiques, en prenant pour étude de cas le fleuve Nyong. Il a permis d'évaluer le degré de pollution de ce cours d'eau. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que, sur le plan qualitatif, les eaux du Nyong sont caractérisées par une forte couleur, une faible minéralisation et une oxygénation moyenne ; ces eaux présentent par conséquent une qualité écologique bonne à moyenne. L'Indice de Pollution Organique (IPO) a mis en relief une dynamique spatiale classique de l'évolution de la pollution au niveau des différentes stations étudiées, caractérisée par une faible charge organique tout au long du fleuve. Cette pollution organique diminue d'amont en aval sous l'effet du pouvoir auto-épuration du cours d'eau, aboutissant à une légère amélioration de la qualité des eaux. Ces résultats doivent être mis à profit pour mener des actions visant à préserver ce cours d'eau, qui se situe dans une zone connaissant des activités touristiques, industrielles et agricoles importantes. Ainsi, il est impératif de préserver le Nyong, qui montre des signes de dégradation de ses eaux en amont sous l'influence des activités anthropiques, d'autant plus qu'il constitue une source majeure d'approvisionnement en eau potable et que de nombreux autres secteurs socio-économiques en dépendent.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'Université de Yaoundé 1, plus particulièrement au Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, ainsi qu'au Laboratoire de chimie de la Jaramogi Oginga Odinga University of Science and Technology (JOUST) au Kenya, où les analyses physico-chimiques de ce travail ont été réalisées.

Nous exprimons notre gratitude au programme Exceed-Swindon et au DAAD pour le financement accordé sous forme de bourse de mobilité.

Nous tenons également à remercier chaleureusement le Professeur Ajeagah Gideon et le Professeur Djieto-Lordon Champlain pour leur encadrement tout au long de ce projet de recherche.

Enfin, nos sincères remerciements s'adressent au Professeur Charles Félix Bilong Bilong, du Département de Biologie et Physiologie Animales de l'Université de Yaoundé 1, ainsi qu'au Professeur Silas Lagat, Chef du Département de Chimie Physique à JOUST, pour leur précieux soutien technique et scientifique.

Déclaration des contributions de l'auteur

Tous les auteurs ont contribué de manière significative à la conception de l'étude, à l'analyse et à l'interprétation des données. La conception, la préparation du matériel ainsi que la collecte des données ont été réalisées par Yogback Gertrude Estelle. La première mouture du manuscrit a été rédigée par Yogback Gertrude Estelle. Tous les auteurs ont participé à la révision critique du manuscrit, puis ont lu et approuvé sa version finale. Enfin, tous les auteurs acceptent d'être garants de l'ensemble du travail et de veiller à ce que toute question relative à l'exactitude ou à l'intégrité d'une partie quelconque de l'œuvre soit examinée et résolue de manière appropriée.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Agadjihouede, H. (2006). *Diversité et exploitation des crevettes d'eau douce dans la lagune de Grand-Popo (Bas-Mono)* [Thèse pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome, Université d'Abomey-Calavi].
2. Agence de l'Eau. (1999). *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau : Grilles de seuils par usage et fonction* (version 1).
3. Ahonon, A. (2011). *Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du Sud-Ouest du Togo : Cas du canton de Lavie* [Mémoire de Master international, Université de Lomé].
4. Ajeagah, G. A., Bikitbe, J. F., & Longo, F. (2013). Qualité bioécologique d'un milieu lacustre hyper-eutrophisé en zone équatoriale (Afrique Centrale) : Peuplement de protozoaires ciliés et macroinvertébrés benthos-aquatiques. *Afrique Science*, 9(2), 50–66.
5. Ajeagah, G. A., Enah, D. A., & Foto Menbohan, S. (2016). Chironomid bio-ecology in an anthropized aquatic ecosystem in Yaoundé (Cameroon): Community diversity and relationship with the environmental variables of the water system. *Entomology and Applied Science Letters*, 3(5), 196–203.
6. Ajeagah, G. A., Enah, D. A., & Foto Menbohan, S. (2017). A study of the morphological structure of Chironomidae (Diptera) in a tropical urban water system. *International Journal of Sciences*, 6, 1–9.

7. Ajeagah, G. A., Yogback, G. E., Foto Menbohan, S., Tchakonte, S., & Djieto-Lordon, C. (2017). Facteurs environnementaux et répartition spatiale des crustacés dans un cours d'eau peu anthropisé à Makak (Région du Centre Cameroun). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 11, 181–196.
8. American Public Health Association. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20^e éd.). American Public Health Association.
9. Ateba, A. (2012). *Le fleuve Nyong face aux menaces écologiques naturelles et industrielles*. L'Harmattan.
10. Biram À Ngon, E. B., Foto Menbohan, S., Ndjama, J., Nyame, M. D., Mboye, B. R., & Ajeagah, G. A. (2018). Ecological factors and Dictyoptera (Blaberidae) association benthic macroinvertebrates, in some forest streams in the Centre region of Cameroon. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 5(7), 235–246.
11. Borics, G., Várбірó, G., & Padisák, J. (2013). Disturbance and stress : Different meanings in ecological dynamics. *Hydrobiologia*, 711(1), 1–7.
12. Colas, F., Vigneron, A., Felten, V., & Devin, S. (2014). The contribution of a niche-based approach to ecological risk assessment: Using macroinvertebrate species under multiple stressors. *Environmental Pollution*, 185, 24–34.
13. Davies, P. J., Wright, I. A., Findlay, S. J., Jonasson, O. J., & Burgin, S. (2010). Impact of urban development on aquatic macroinvertebrates in South Eastern Australia: Degradation of in-stream habitats and comparison with non-urban streams. *Aquatic Ecology*, 44(4), 685–700.
14. Diomandé, D., Kotchi Bony, Y., Edia, E., Konan, K. F., & Gourène, G. (2009). Diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Agnéby (Côte d'Ivoire ; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*, 35(3), 368–377.
15. Djirieuoulou, K. C. (2017). *Peuplements des crevettes des hydrosystèmes de marais et fluvio-lagunaires du sud-est de la Côte d'Ivoire : Diversité, structure et croissance des populations* [Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny].
16. Ebang, M. D. (2004). *Évaluation de la charge polluante organique et ses effets écologiques sur l'Ewoué, affluent de la rive gauche de la rivière Mfoundi à Yaoundé* [Mémoire de DEA, Université de Yaoundé I].
17. Foto Menbohan, S., Mboye, B. R., Mbega, J. D., & Ajeagah, G. A. (2017). Santé écologique de quelques cours d'eau du bassin hydrographique de la Mabounié au Gabon : Essai de typologie par les

- variables physicochimiques et hydromorphologiques. *European Journal of Scientific Research*, 148(1), 93–105.
18. Fouillet, M. (2019). *La biodiversité aquatique* (Dossier pédagogique). Office International de l'Eau.
 19. Gansop Kouemegne, A., & Lima Mahop, M. (2012). *Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR) - version 2006-2008*.
 20. Kapso Tchouankep, M. (2019). *Dynamique d'abondance des amœbides dans les milieux aquatiques à Yaoundé (Cameroun)* [Thèse de doctorat Ph.D., Université de Yaoundé I].
 21. Kuete, M. (1987). *Étude géomorphologique du massif de Yaoundé* [Thèse de doctorat de 3^e cycle, Université de Bordeaux III].
 22. Lecerf, A. (2005). *Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin : Étude du processus de décomposition des litières* [Thèse de doctorat, Université de Toulouse III - Paul Sabatier].
 23. Letouzey, R. (1958). Phytogéographie camerounaise. Dans *Atlas du Cameroun*. IRCAM.
 24. Lévêque, C. (1998). Biodiversité et gestion des systèmes aquatiques continentaux. *Revue des sciences de l'eau*, 11, 211–221.
 25. Liwouwou, J. F. (2016). *Biologie, écologie et exploitation de deux espèces de Schilbe (Poissons siluriformes, Schilbeidae) des cours d'eau Rembo-Bongo, Ogooué et Nyanga au Gabon* [Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi].
 26. Liwouwou, J. F., Adandedjan, D., Mbega, J. D., & Lalèyè, P. (2018). Comparative characterization of some physicochemical and hydromorphological parameters from three rivers of Gabon : Rembo Bongo, Ogooué and Nyanga. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 5(4), 186–201.
 27. Martin, D., & Segalen, P. (1966). *Carte pédologique du Cameroun oriental au 1/1 000 000*. ORSTOM.
 28. Mbega, J. D. (2004). *Biodiversité des poissons du bassin inférieur de l'Ogooué (Gabon)* [Thèse de doctorat, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix].
 29. Mbouombo, M., Ajeagah, G., Ndjama, J., Tchakala, L., Gnon, B., Enah, D., & Yogback, G. (2019). Dynamique d'abondance des charges oocystiques dans le bassin du Mezam à Bamenda (Région du Nord-Ouest, Cameroun). *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 112(1), 62–70.
 30. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, & Agences de l'Eau. (2003). *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) : Grilles d'évaluation* (version 2).

31. Moss, B. (2007). The art and science of lake restoration. *Hydrobiologia*, 581(1), 15–28.
32. Mounjid, J., Cohen, N., Fadlaoui, S., Belhouari, A., & Oubraim, S. (2014). Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique du cours d'eau Merzeg (périurbain de Casablanca, Maroc). *Larhyss Journal*, 18, 31–51.
33. My Hachem, B., El Hmaidi, A., Jaddi, H., Ousmana, H., Kasse, Z., El Mati, El Faleh, A., Essahlaoui, A., & El Ouali, A. (2020). Utilisation des indices de qualité et de pollution organique dans l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux superficielles des oueds Moulouya et Ansegmir (Haute Moulouya, NE du Maroc). *European Scientific Journal*, 16(27), 55–75.
34. Ndakala Mukungilwa, P., Bisimwa Mubwebwe, A., Masilya Mulungula, P., & Ngera Mwangi, F. (2015). Étude de la macrofaune aquatique de la rivière Kalengo, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 13(2), 388–397.
35. Ngakomo Ananga, R. P., Ajeagah Aghaindum, G., Zeinab, A. E., & Ngassam, P. (2019). An ecological assessment of the physico-chemical and biological water quality in a sub-urban area in Cameroon: Case of the Ngoumou rural council. *International Journal of Natural Resource Ecology and Management*, 4(6), 198–204.
36. Nola, M., Njiné, T., & Tailliez, R. (1999). Approche calorimétrique des eaux de la nappe phréatique superficielle de la ville de Yaoundé (Cameroun). *Microbiologie et Hygiène Alimentaire*, 31, 9–13.
37. Olivry, J. C. (1979). *Monographie du Nyong et des fleuves côtiers : Partie 1. Facteurs conditionnels des régimes hydrologiques* (Tome 1). Institut de Recherches Scientifiques et Techniques.
38. Olivry, J. C. (1986). *Fleuves et rivières du Cameroun* (Monographies hydrologiques ORSTOM, n° 9). ORSTOM / MESRES.
39. Onguene, M. (1993). *Différenciation pédologique dans la région de Yaoundé (Cameroun) : Transformation d'un sol rouge ferrallitique en sol à horizon jaune en relation avec l'évolution du modelé* [Thèse de doctorat d'État, Université Paris VI - Pierre et Marie Curie].
40. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2009). *L'analyse de l'eau* (9^e éd.). Dunod.
41. Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2016). *L'analyse de l'eau : Contrôle et interprétation* (10^e éd.). Dunod.
42. Tchakonte, S. (2016). *Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun)* [Thèse de doctorat, Université de Yaoundé I].

43. Tchakonte, S., Ajeagah, G. A., Diomandé, D., Camara, A. I., & Ngassam, P. (2014). Diversity, dynamic and ecology of freshwater snails related to environmental factors in urban and suburban streams in Douala–Cameroon (Central Africa). *Aquatic Ecology*, 48(3), 379–395.
44. Tchakonte, S., Ajeagah, G. A., Diomandé, D., Camara, A. I., Konan Koffi, M., & Ngassam, P. (2014). Impact of anthropogenic activities on water quality and freshwater shrimps diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(2), 183–196.
45. Wethe, J., Radoux, M., & Tanawa, E. (2004). Assainissement des eaux usées et risques socio-sanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *VertigO*, 5(1), 1–13.
46. Williams, W. T., Lance, G. N., Dale, M. B., & Clifford, H. T. (1971). Controversy concerning the criteria for taxonomic strategies. *The Computer Journal*, 14(2), 162–165.
47. Yogback, G. E., Ajeagah, G. A., Djieto-Lordon, C., Lagat, C. S., Enah, D. A., Mbouombo, M., & Kowenje, C. (2018). Biodiversity of freshwater shrimp of the genus *Macrobrachium* (Decapoda, Palaemonidae) in the Nyong basin of Cameroon. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(6), 2067–2082.