

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

Yogback Gertrude Estelle, Chercheur, Chargée de Recherche, PhD

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

Laboratoire de Géodésie, Direction de la Recherche, Institut National de Cartographie, Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation, Yaoundé, Cameroun

Njoya Mfokou Abdou Nasser, Chercheur, Attaché de Recherche, 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

Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Département de Biologie et Physiologie Animale, Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Yaoundé, Cameroun

Ajeegah Gidéon, Enseignant-chercheur, Professeur, PhD

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

Djiéto Lordon-Champlain, Enseignant-chercheur, Professeur, PhD

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

Approved: 17 June 2026

Posted: 19 June 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., Ajeegah, G., & Djiéto, L.-C. (2026). *Evaluation de l'état écologique : Qualité physicochimique et l'indice de pollution organique du Nyong (fleuve côtier sud forestier Cameroun)*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.6.2026.p616>

Résumé

Les ressources en eau au Cameroun sont confrontées à des problèmes de qualité pourtant la quantité y est. 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 il est utilisé pour la production l'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, agricoles surtout dans les zones urbaines et périurbaine 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 compromettant. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'état physicochimique et le niveau de pollution organique de Nyong pour une gestion durable. L'étude s'est déroulée de janvier 2017 à Février 2018 dans 5 cinq stations, les analyses d'eau se sont faites selon les méthodes standards. Il y ressort des analyses physicochimiques que les eaux du Nyong sont de qualité bonne à moyenne avec une faible minéralisation ($6 \mu\text{s/cm}$ <conductivité <math>50 \mu\text{s/cm}), des eaux légèrement acides ($3,72 \text{ UC}$ <pH <math>8,04 \text{ UC}), moyennement oxygénée ($52,70 \% < \text{O}^2 < 68,20 \%$), fortement colorées (couleur <math>380 \text{ Pt.co}). Les résultats ont permis de mettre en évidence une charge organique forte à modéré au niveau du cours supérieure 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 la potamon du Nyong pourraient être dû d'une part au phénomène d'auto-épuration et au dynamisme de la marée que subit cette zone de confluence avec l'océan d'autre part. Au vu de nos résultats en rapport avec un début de dégradation Nyong nous recommandons 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, écologique, polluant

Evaluation of the Ecological State: Physicochemical Quality and the Organic Pollution Index of the Nyong River (Coastal Southern Forest Region, Cameroon)

Yogback Gertrude Estelle, Chercheur, Chargée de Recherche, PhD

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

Laboratoire de Géodésie, Direction de la Recherche, Institut National de Cartographie, Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation, Yaoundé, Cameroun

Njoya Mfokou Abdou Nasser, Chercheur, Attaché de Recherche, 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

Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Département de Biologie et Physiologie Animale, Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Yaoundé, Cameroun

Ajeagah Gidéon, Enseignant-chercheur, Professeur, PhD

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

Djiéto Lordon-Champlain, Enseignant-chercheur, Professeur, PhD

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

Abstract

Water resources in Cameroon are facing quality problems, yet the quantity is there. These resources suffer a deterioration in their quality due to the various polluting discharges. The Nyong watershed is one of the largest in Cameroon and is used for the production of drinking water in the southern part of Cameroon. Over the years, its catchment area has seen a considerable increase in the population, a continuous development of industrial and agricultural activities, especially in urban and peri-urban areas. There is also poor sanitation and poor management of solid and liquid waste. This river is subject to the effects of these pressures, which could make its use compromised. The objective of this study is to assess the ecological status

and level of organic pollution of Nyong for sustainable water resources management. The study took place from January 2017 to February 2018 in 5 five stations, the water analyses were done according to standard methods. Physicochemical analyses show that the waters of the Nyong are of good to average quality with low mineralization ($6 \mu\text{s/cm} < \text{conductivity} < 50 \mu\text{s/cm}$), slightly acidic waters ($3.72 \text{ CU} < \text{pH} < 8.04 \text{ CU}$), moderately oxygenated ($52.70\% < \text{O}_2 < 68.20\%$), strongly colored (color $< 380 \text{ Pt.co}$). The results showed a high to moderate organic load in the upper Nyong River ($\text{IPO} = 2.75\text{-}3.75$) and a zero to moderate organic load in its downstream course ($3.25 \leq \text{IPO} \leq 5$). The mitigation of pollution in the Nyong Potamom could be due on the one hand to the phenomenon of self-purification and the dynamism of the tide that this confluence zone with the ocean undergoes on the other hand. In view of our results, we recommend that the authorities take measures for the proper management of this water resource, which plays a very important socio-economic role for all the sectors that depend on it.

Keywords: Nyong, Physical chemistry, IPO, ecological, pollutant

I. Introduction

L'eau est une ressource naturelle indispensable à toutes formes de vie sur la planète. C'est une denrée vitale, elle 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 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 dégradée et leur diversité biologique tournée à la dérive du fait de certaines activités anthropiques (Fouillet, 2019). A cet effet, la forte urbanisation, l'industrialisation, l'agriculture intensive, les extractions des sols 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 qui constituent 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 à 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 ; Wangs et al., 2012; Davies et al., 2010 ; Aplin et al., 1999 ; Leveque, 1998 ;).

Au Cameroun, les milieux aquatiques sont en plein 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. Pour ce faire, quand est-il de l'état écologique du Nyong ? Fleuve jouant 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 est une source d'approvisionnement en produit halieutique (Poisson), le développement des activités touristiques (baignade, balade en pirogue...) et des sites touristiques (site d'Ebogo). A ce jour, fleuve voit son lit se réduire par l'envahissement des 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 les années 1970 et 2000 selon les statistiques disponibles au Bureau Central de Recensement de la population (BUCREP). Dans ce Bassin versant on y observe un développement du secteur agro-industriel, avec l'implantation de nombreuses sociétés agro-industriel (Société Camerounaise de Palmeraies (SOCAPALM), la société des plantations du Haut Penja (PHP) et Hevecam). La population riveraine pratique de plus en plus l'agriculture intensive et diversifiées (maïs, riz, tomate, concombre, cultures maraichères, pisciculture), de nombreuses scieries voit le jour, 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 des activités périlleuses sur la qualité des eaux du Nyong à travers la caractérisation physico-chimique de ses eaux. Pour mettre en exergue la qualité globale des eaux et son évolution spatio-temporelle de l'amont vers l'aval du régime de qualité des eaux le long du Nyong et de déterminer son niveau de pollution organique

II- Matériel et Méthodes

II.1. Milieu d'étude

A. Cadre géographique du bassin versant du Nyong

Le Nyong est le deuxième fleuve du plateau sud-camerounais en terme de longueur et entièrement inclus dans le territoire de la République du Cameroun (Olivry, 1986). La superficie de son bassin versant est de 27 800 km² et les limites de ce dernier sont comprises entre 2°48' N et 4°32' N d'altitude Nord et entre 9°54' E et 13°30' E de longitudes Est. (Figure 1). Le Nyong prend sa source dans la partie orientale du pays à environ 690 m d'altitude dans la région de Lomié (à l'Est d'Abong Mbang, à une longitude de 13°30'), d'une longueur d'environ 400 km, il est orienté entre les

directions EO et ENE-OSO où il suit son court jusqu'à l'Océan atlantique. La largeur moyenne du bassin versant est d'environ 70 km mais peut tomber à 40 km au niveau de Makak et aller jusqu'à 120 km à la longitude de Yaoundé (Olivry, 1979). Ce bassin versant englobe 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 dans l'année par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses d'inégales importances : la grande saison sèche (mi-novembre à mi-mars), la petite de pluies (mi-mars à fin juin), la petite saison sèche (juillet-août) et la grande saison de pluies (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 1500 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 géologique, les sols se présentent sous trois types dont les sols ferrallitiques rouges rencontrés sur le sommet des interfluves et en bas des pentes, les sols hydromorphes et les sols peu évolués jaune rencontrés respectivement dans les vallées marécageuses et 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 & Segalen, 1966). Le substratum dans le bassin est constitué essentiellement par des 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 *Fescuca arundinaca* et *Echinochloa stagnina* (Gansop Kouemegne & Lima Mahop, 2012). La partie inférieure du bassin versant qui s'étend sur 233 km, de Kaya à l'embouchure du fleuve, est constituée d'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 de la zone urbanisée (Yaoundé, Mbalmayo et Akonolinga) les activités anthropiques sont réduites à cause d'une faible densité de population (4 à 10 habitant/km²). Dans la zone rurale, les grandes exploitations agricoles, avec le développement des palmeraies dans les zones de Edéa, Zoetélé et Sangmelima, ou des cultures maraîchères en zones périurbaines. De Dehane à d'Edéa dans la partie inférieure du bassin, les grandes plantations industrielles et villageoises de palmeraies (SOCAPALM), de bananeraies (PHP) avec l'exploitation de la Banane et Hevecam (Hévéa Cameroun SA) avec l'exploitation du Caoutchouc bien que

n'étant pas encore opérationnel ont pratiquement remplacé la forêt (Letouzey, 1958). L'exploitation forestière est la principale activité industrielle qui provoque une déforestation intensive dont les effets sont aggravés quand les parcelles ne sont pas rapidement replantées. Dans le bassin versant du Nyong, le défrichage systématique des étendues de forêt par des agriculteurs qui, en pratiquant le brûlis, perturbent irréversiblement les écosystèmes. En milieu urbain, le développement anarchique des grandes villes entraîne les problèmes de gestion des déchets et des eaux usées qui sont souvent déversées directement dans les drains. Il en est de même des rejets de certaines PME (garages, scieries, fabriques de sachets), dont la prolifération entraîne des pollutions diffuses en métaux et matières plastiques. L'exploitation minière, l'extraction de sable et/ou de pierres en carrières, bien que généralement artisanale, ne sont pas sans conséquence sur l'environnement. Ces activités accélèrent l'érosion, engendrant d'importantes turbidités dans les cours d'eaux, et laissant des excavations dans le paysage.

B. Caractérisation des stations d'étude

Cinq stations ont été sélectionnées et choisies selon les critères bien précis (accessibilité, source de pollution, compartimentation du fleuve). Leurs localisations sont représentées dans la figure 1.

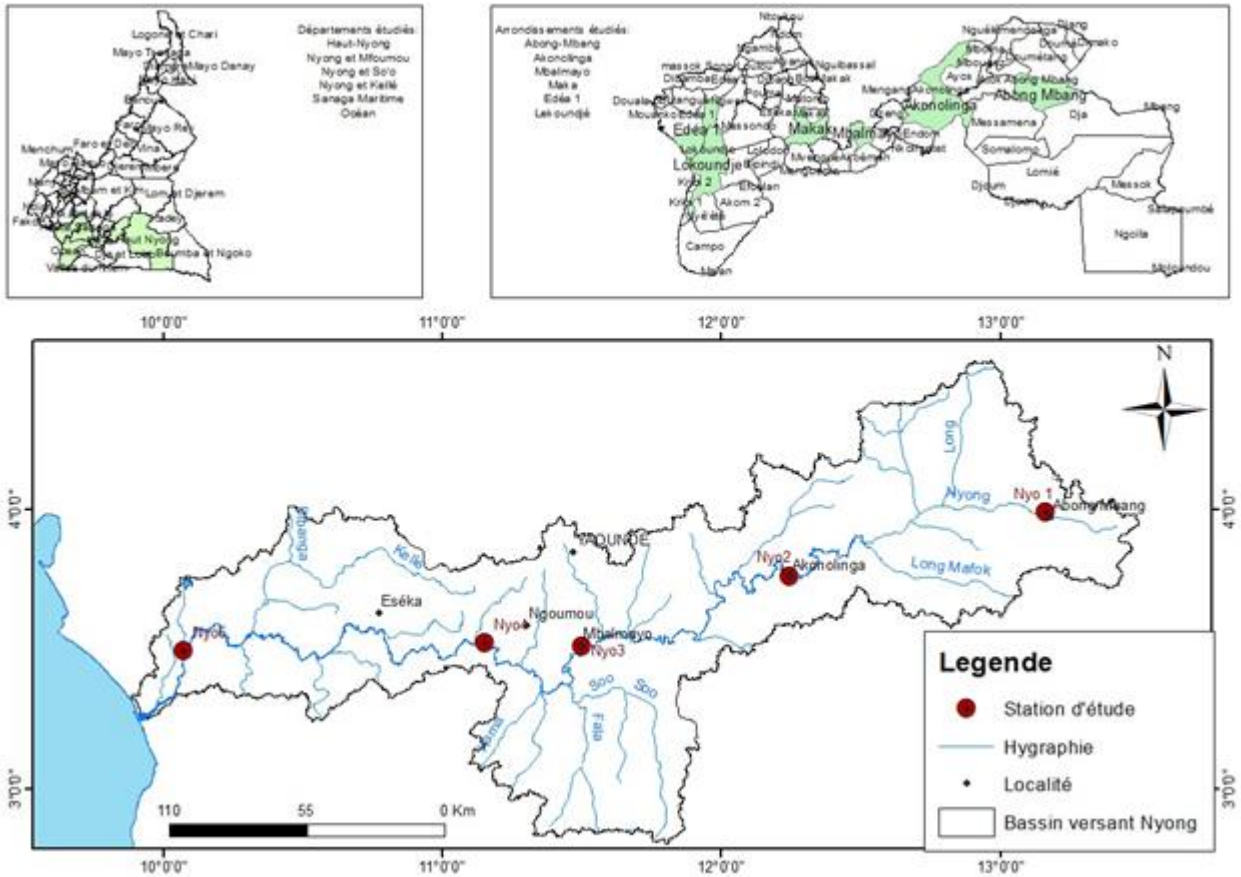


Figure 1: Localisation du le bassin versant du Nyong

C. 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 ($03^{\circ}59'36,8''$, $013^{\circ}09'50,6'$; altitude 662) est située au crenon 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 étaient dominée par *Panicum maximum* ; la canopée était plus ou moins présente ; le substrat était sableux 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 ($03^{\circ}45'52,045''$, $013^{\circ}09'50,6''$, 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 était

absente. (Figure 2b). La station se trouve non loin du centre urbain d'Akonolinga.

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

La station Nyo3 ($03^{\circ}30'44,484''$, $011^{\circ}30'1,702''$; 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 absente (Figure 2c). Il y'a extraction du sable dans le lit du fleuve dans cette station pendant la saison sèche.

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

La station Nyo4 ($03^{\circ}30'2,362''$, $011^{\circ}09'16,318''$; 640m) est située dans le village Lep-Libong. La ripisylve est plus ou moins abondante, la canopée plus ou moins présente (Figure 2d) et le substrat est sableux caillouteux. La station se trouve en milieu rural.

- **Station Nyong 5 (Nyo5)**

La station Nyo5 ($03^{\circ}29'42,189''$, $010^{\circ}04'29,686''$; 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 lave les motos. La station se trouve entre la palmerais (SOCOPALM) et de bananerais (PHP) en milieux rurale.



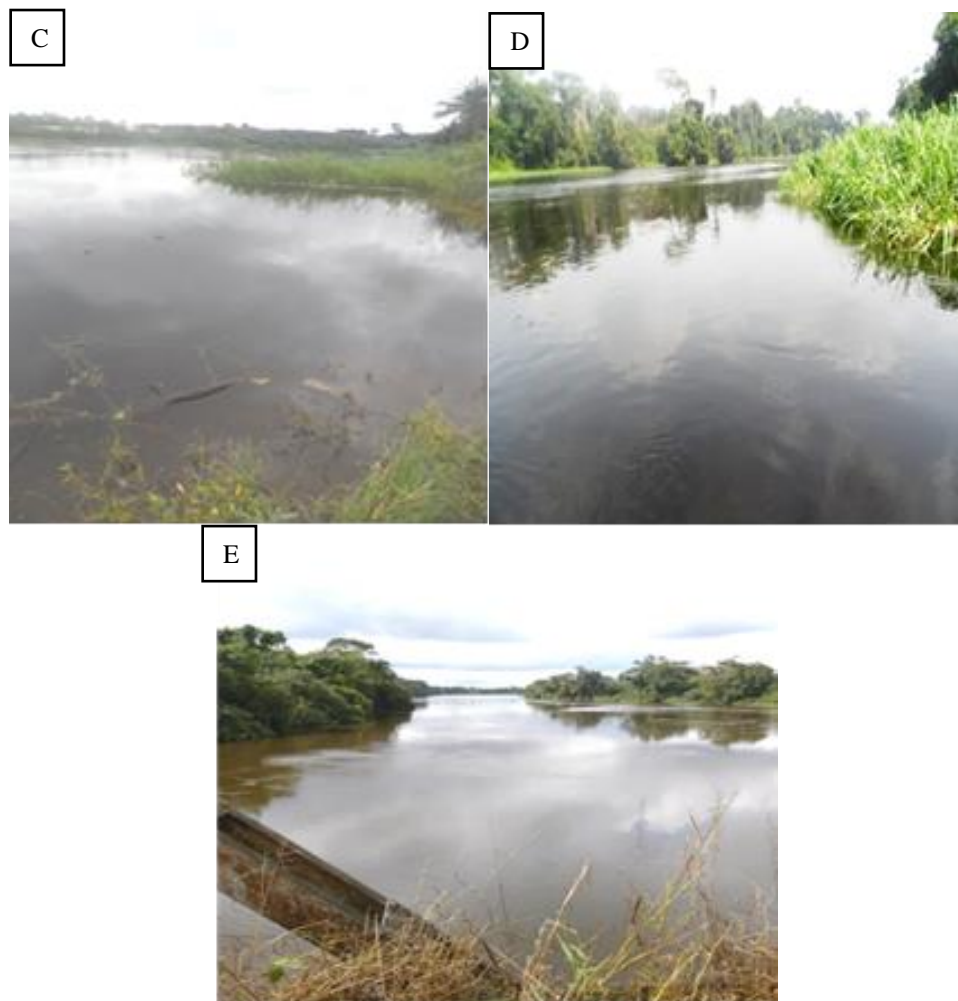


Figure 2 : Vue partielle des stations d'échantillonnage: Nyo 1 (a), Nyo 2 (b), Nyo 3, Nyo4 (c) et Nyo5 (d).

II.2. Mesure des Variables Environnementales

Les prélèvements d'échantillons d'eaux ont été effectués sur les cinq stations d'étude suivant une fréquence saisonnière (5 campagnes) soit un total de 25 échantillons durant la période allant de janvier 2017 à février 2018. Les échantillonnages se faisaient à une profondeur de 50 cm conformément aux protocoles de Rodier et al. (2009, 2016) et la norme APHA (1998). Ainsi, in situ les paramètres physicochimiques tels que la température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous et la turbidité ont été mesurés à l'aide des appareils adéquats. L'échantillonnage des eaux s'est fait par la suite dans des flacons stériles en polyéthylène de 500 et 1000 ml, puis le transport des échantillons a été effectué en enceinte réfrigérée pour maintenir une température de 4°C pour le Laboratoire d'Hydrobiologie et

Environnement où la mesure d'autres paramètres a été réalisé. Le tableau I récapitule les paramètres mesurés au laboratoire à partir des échantillons d'eau non filtrées conformément aux normes.

Tableau I : Paramètres physico-chimiques réalisés et référence de 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 (s'exprime en NH_4^+), nitrite (NO_2^-))	
Orthophosphates (PO_4^{3-})	
Alcalinité (s'exprime en HCO_3^-)	
DBO5	DB0 mètre

II.3. Analyse des Données

Les données ont été analysées grâce au Logiciel SPSS 20.0 et XLSTAT. Ainsi certains tests statistiques ont été faits pour comparer les variables physico-chimiques sur les plans spatial et temporel à savoir : la normalité des distributions des échantillons a été vérifiée par les tests de Kolmogoroff (1965) et de Kruskal-Wallis au seuil de 5%, pour relever la différence de plus de deux échantillons. Le test de Mann-Whitney a été appliqué pour relever les différences entre 2 deux échantillons. L'Analyse en Composante Principale (ACP) a été utilisée pour établir une typologie des stations échantillonnées sur la base des paramètres environnementaux ; l'analyse de Classification Hiérarchique (ACH) a été utilisée pour regrouper en fonction de leurs similarités les stations, les paramètres abiotiques et la distance euclidienne a été utilisée dans cette analyse de classification ascendante (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 Leclercq & Maquet, 1987 et Leclercq, 2001. Cet indice permet d'apprécier la qualité chimique des eaux impactées par la pollution organique réelle à partir des paramètres suivants : orthophosphates (PO_4^{3-}), ammonium (NH_4^+), nitrite (NO_2^-) et demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5). Les valeurs de ces paramètres sont réparties en 5 classes ayant chacune une signification écologique liée aux modifications induites dans les peuplements benthiques (Tableau III). L'indice IPO représente la moyenne des numéros des classes pour chaque paramètre et les valeurs de cet indice sont réparties en cinq classes représentant des niveaux de pollution s'étendant du moins pollué (classe 5) au plus pollué (classe 1) (Tableau II).

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

Classes	DBO5 mgO ₂ /l	NH ₄ ⁺ mg/l	NO ₂ ⁻ μg/l	PO ₄ ³⁻ μg/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

A. Caractérisation des paramètres climatiques

- Température ambiante «

Dans le bassin versant du Nyong, pendant la période d'étude, les plus forte so valeurs de température ambiante ont été observées pendant la PSP toute zones confondues (Tableau V). Ainsi dans la zone d'Abong-Mbang, la température ambiante a varié de 24,7±0,0 °C (GSS 2018) à 33,8± 0,0°C (PSP). Dans la zone d'Akonolinga, la plus forte température (33,2±7,67E-15 °C) a été enregistrée pendant la PSP et la plus faible température (25,7±3,84E-15°C) a été observée pendant la GSS 2018. Dans la zone de Mbalmayo, la température a fluctué de 25,8±3,83E-15°C (PSP) à 32,08±0,56°C (PSP). La température ambiante dans ola zone de Makak a été comprise entre 25,78±0,04°C GSS 2018) à 31,47±0,07°C (PSP). Dans la zone littorale, la température a varié de 26,06±0,08°C (PSS) à 29,84±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'ya 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.

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

1. 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± 2,77°C et une amplitude thermique de 9,2 °C. Ce paramètre a significativement varié entre la PSP et la GSP, de même 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 Nyo1 pendant la GSS 2018. La moyenne de ce paramètre est de 162,94 ± 87,24 Pt.co. Ce paramètre a varié sur le plan spatial.

Les valeurs de MES ont varié entre 0 mg/l (Nyo3- PSP, Nyo5- GSS 2017) avec une moyenne se situant autour de $12,70 \pm 12,30$ mg/l. Les valeurs de la turbidité ont fluctué entre 0 et 96 FTU ($20,48 \pm 27,17$ FTU). Ces valeurs ont significativement varié sur le plan saisonnier ($P < 0,05$).

2. Variation spatio-temporelle des paramètres chimiques

Les valeurs des paramètres sont dans l'ensemble faibles (Tableau V). 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, ce paramètre 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 observé ($P > 0,05$).

Les valeurs de la conductivité enregistrées oscillent entre 6 et 50 $\mu\text{s/cm}$ autour d'une moyenne de $27,16 \pm 10,96$ $\mu\text{s/cm}$. 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. Les valeurs minimales (0,03 mg/l) ont été observées 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. Les teneurs de l'oxygène dissous oscillent entre 52,7 % (Nyo3 – PSS) et 68,3 % (Nyo4 – GSS 2018) avec une de moyenne $62,73 \pm 3,58$ %. Ce paramètre n'a pas significativement varié sur le plan spatio-temporel ($P > 0,05$).

Les concentrations des nitrates enregistrées lors de cette étude 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-temporelle n'a été observée pour ce paramètre.

La plus forte valeur d'orthophosphate (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 ($P < 0,05$), pourtant il a significativement varié entre les stations Nyo1 et Nyo5.

Les concentrations du calcium 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 et dureté ont significativement fluctuée sur le plan saisonnier.

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

Sta	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
		6,40	19,60	63,17	7,00	41,20	2,23	0,34	1,12	0,67	0,01	55810,00
	Moy	\pm 1,10	\pm 4,93	\pm 2,43	\pm 3,16	\pm 41,84	\pm 1,55	\pm 0,25	\pm 1,29	\pm 0,57	\pm 0,00	\pm 0,00
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
		6,45	16,60	63,34	13,60	31,80	0,74	0,22	0,54	0,58	0,01	55660,00
	Moy	\pm 1,66	\pm 6,15	\pm 2,26	\pm 5,90	\pm 36,87	\pm 0,98	\pm 0,10	\pm 0,66	\pm 0,35	\pm 0,00	\pm 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
		6,73	37,20	60,75	11,20	7,80	1,26	0,22	0,42	0,96	0,01	30260,00
	moy	\pm 0,87	\pm 11,71	\pm 5,66	\pm 6,10	\pm 6,57	\pm 1,43	\pm 0,08	\pm 0,79	\pm 0,87	\pm 0,00	\pm 0,00
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
		6,83	31,40	63,33	6,00	9,40	1,63	0,23	0,44	0,22	0,01	30324,00
	moy	\pm 0,38	\pm 8,35	\pm 3,96	\pm 4,90	\pm 6,95	\pm 1,28	\pm 0,18	\pm 0,74	\pm 0,13	\pm 0,00	\pm 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
		6,20	31	63,04	17,60	12,20	0,73	0,28	0,08	0,87	0,01	32180,00
	moy	\pm 1,19	\pm 8,66	\pm 3,44	\pm 13,52	\pm 9,60	\pm 0,91	\pm 0,16	\pm 0,09	\pm 0,76	\pm 0,01	\pm 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			

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; PO₄³⁻ = orthophosphates; ca²⁺ = dureté calcique, Alc = alcalinité; Oxy = oxydabilité; Res = résistivité, Sal = salinité, GSS 2017 = grande saison sèche de l'année 2017, PSP = petite saison de pluies, PSS = petite saison sèche, GSP = grande saison de pluie, GSS 2018 = grande saison sèche de l'année 2018 ; Sta : stations, para : paramètre, min : minimal, max : maximal, moy : moyenne.

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

Dans les stations Nyo1 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 charge polluante forte à modéré, la station Nyong4 a une pollution organique qui varie de 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.

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

Le profil général d'amont-aval des valeurs indicelles 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 aux stations Nyo1 et Nyo3, par contre, aux stations Nyo2, Nyo4 et Nyo5 la pollution organique est modéré (Figure 3).

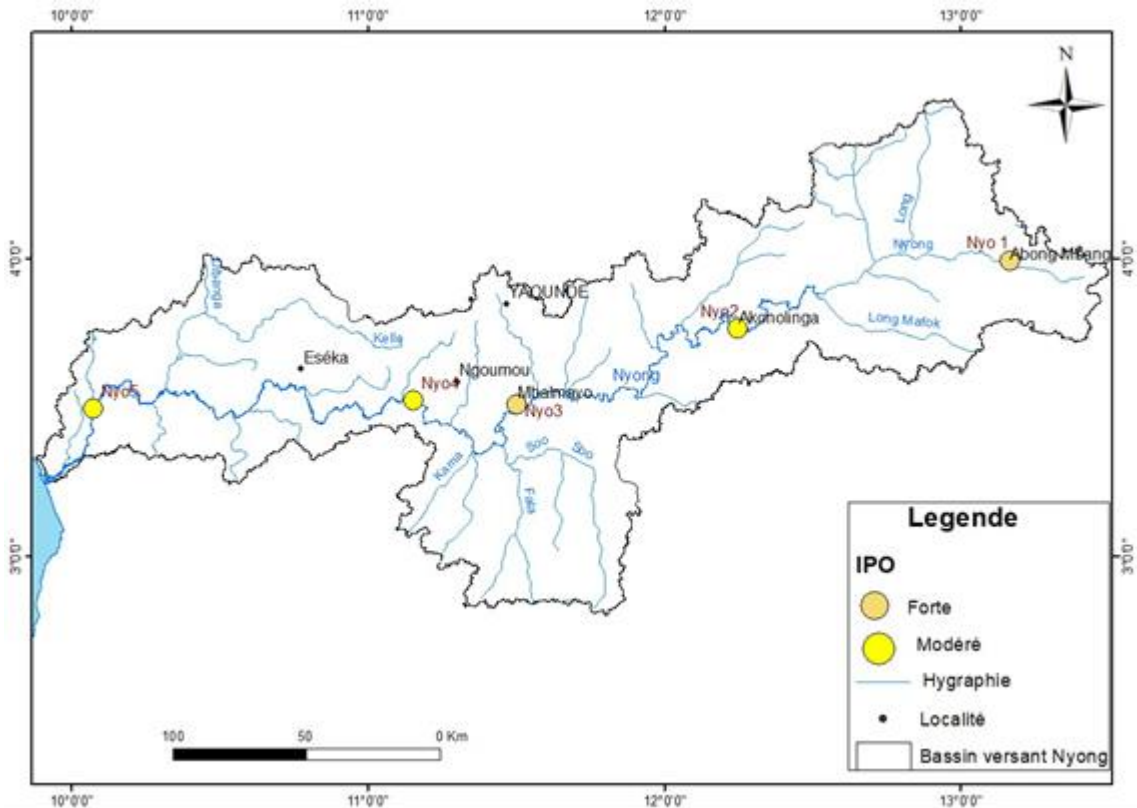


Figure 3 : Carte du niveau de pollution organique dans le Nyong

3. Traitement statistique des données

Une Analyse en Composante Principale (ACP) dans le bassin versant du Nyong montre que les valeurs propres (Figure 4a) indiquent que l'axe F1 explique près de la moitié (soit 46,76%) de la variance totale des données. L'axe F2 indique 36,32 % de la variabilité totale des données. Ainsi, 83,08% de la variabilité du tableau de données est extraite par le plan factoriel F1 X F2. De ce fait, l'analyse des résultats de l'ACP sera faite en se limitant à ces deux premiers axes (Figure 4a).

Sur le Biplot de corrélation des paramètres physicochimiques du Nyong, nous observons que les teneurs en orthophosphate, azote ammoniacale, en oxygène dissous, et la turbidité sont positivement corrélés entre eux d'une part et négativement corrélés à la conductivité et à la salinité sur l'axe F1 d'autre part. Sur l'axe F2, d'une part, le pH, la dureté calcique et le nitrate sont positivement corrélés entre eux et les paramètres tels que la température, l'alcalinité et les MES sont négativement corrélés d'autre part. Nos stations peuvent être regroupées en trois groupes selon leurs caractéristiques physicochimiques, ainsi, les stations Nyo3 et Nyo4 formant le groupe 1 sont caractérisées par un pH légèrement basique, les valeurs

élevées de conductivité, de salinité, de nitrate et de dureté calcique. Le groupe II, formé des stations Nyo1 et Nyo2 sont caractérisées par les valeurs élevées d'orthophosphate, turbidité, de couleur et de MES et les faibles valeurs d'oxygène dissous et d'azote ammoniacale. Le groupe II formé de la station Nyo5 est caractérisé par les valeurs élevées de température, d'alcalinité et salinité (Figure 4b).

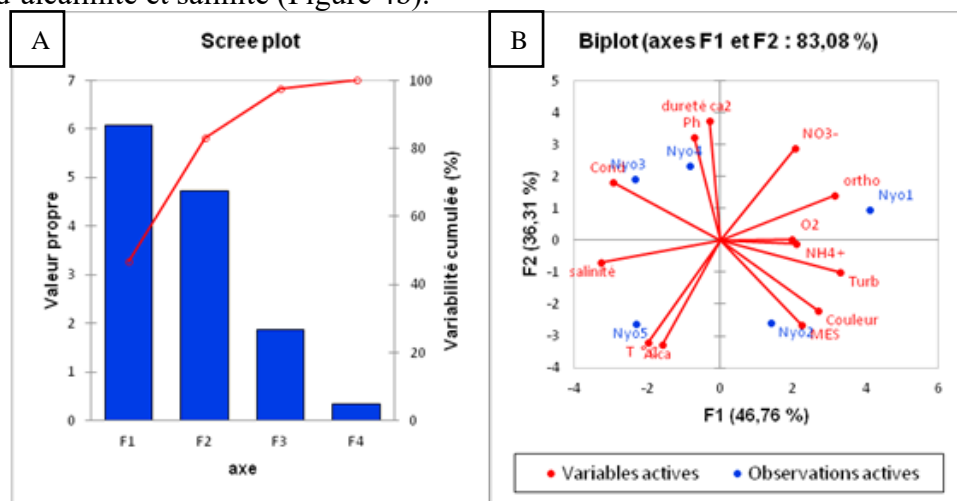


Figure 4 : Résultat de l'Analyse en Composante Principale (ACP) effectuée sur les variables environnementales mesurées dans les différentes stations pendant la période d'étude : Histogramme des valeurs propres dans le bassin du Nyong (a) ; biplot des stations dans le bassin du Nyong (b)

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 au MES ($r = 0,38$; $P > 0,05$). La turbidité est corrélée positivement 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 ($r = 0,42$; $P > 0,05$) et négativement la salinité ($r = -0,47$; $P > 0,05$). Les MES sont corrélés positivement avec l'oxygène dissous ($r = 0,50$; $P > 0,01$) et négativement avec la conductivité ($r = -0,55$; $P > 0,01$) et la salinité ($r = -0,53$; $P > 0,05$). La couleur est corrélée positivement 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 avec la dureté ($r = 0,46$; $P > 0,05$), 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 ($r = -0,65$; $P > 0,01$). L'azote ammoniacal est corrélé positivement avec le nitrate ($r = 0,46$; $P > 0,01$), l'oxydabilité ($r = 0,46$; $P > 0,05$) (Tableau VII).

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

		T	pH	Cond	% O ₂	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
	% O ₂	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
	NO ₃ ⁻	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
	NH ₄ ⁺	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
	Ca ²⁺	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	-
	Mg ²⁺	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	-	-	

Légende : T°C = température. pH = potentiel d'hydrogène. Cond = conductivité électrique. % O₂ = pourcentage de saturation en oxygène dissous. CO₂ = gaz carbonique dissous. NH₄⁺ = ammonium. NO₃⁻ = nitrate. PO₃⁴⁻ = orthophosphates. Ca²⁺ = dureté calcique, Alc = alcalinité. Oxy = oxydabilité. Res= résistivité. Sal= salinité. TH = dureté totale. R= coefficient de corrélation, P = valeur significative.

IV. Discussion

IV. 1. Caractérisation physico-chimique

Les fortes valeurs de température enregistrées (19,5 – 29°C) dans le Nyong pourraient s'expliquer d'une part 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 celle des autres stations. Ces résultats pourraient s'expliquer d'une part 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 agro-écologique forestière contre 25,9 °C (23°C- 29,5°C) dans la zone agroforestière côtière. Nos 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 – 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 matière en suspension est liée aux apports exogènes provenant parfois de l'érosion et au transport des particules non solubles dans les eaux de ruissellement. Ce constat a été contraire pendant la grande saison de pluie d'où les faibles valeurs de turbidité ceci seraient due la rareté des précipitations pendant cette saison lors du temps de collecte des échantillons d'eau probablement une conséquence des variations climatiques. En se référant au Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-EAU), notre plan d'eaux est de très bonne (très faiblement altéré) à bonne qualité (faiblement altéré) pendant la période d'étude (MEDD et AE, 2003).

Les valeurs 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 ; Ajeegah et al. (2017) dans le cours d'eau Matourou, Biram A Ngon (2018) dans le Nga, Abouda, Nkoumou et Fam et Yogback et al. (2018) dans le cours d'eau Ondoamedza et Lepmassoun tous situés en zone périurbaine ;

par contre, elles sont inférieures de celles obtenues en zone urbaine de Yaoundé par Ajeegah et al. (2013), dans l'Olezoa par Kapsu (2019).

Les fortes valeurs de la couleur de l'eau observées dans nos stations s'expliqueraient par la présence des ions colloïdaux issus d'une part de la décomposition de la matière organique dans l'eau et d'autant de la nature du sol traversé par le Nyong d'eau d'autre part. Ateba, 2012 souligne à ce propos que la couleur noire d'une eau est une caractéristique des terres des alluvions 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 (Yogback et al., 2018) et dans le cours d'eau Matourou (Ajeegah et al., 2017) situées dans le bassin versant du Nyong.

Les valeurs du pourcentage de saturation en oxygène dissous dans les stations étudiées (soit 50 à 70%) (Figure 16) résulteraient du caractère des cours d'eau forestiers, où une forte activité photosynthétique s'exerce, une ventilation naturelle est induite par le feuillage, 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 teneur en oxygène dissous enregistrées dans le Nyong permettent de considérer ces eaux de qualité moyenne à bonne du point de vue d'aptitude biologique (MEDD et AE, 2003). Nos résultats sont supérieurs à ceux des Marais Tanoé-Ehy en Côte d'Ivoire (<50%) (Djirieuou et al., 2017). Ils se rapprochent par contre de ceux obtenus dans le cours d'eau Makon en périphérie de Bamenda (Mbouombo et al., 2019) et dans le site de Lugohwa de la rivière Kahuwa et celui d'Usine Murhesa de la rivière Mpungwe en forêt en République Démocratique du Congo (Zirirane et al., 2020) également situés en forêt.

Dans le bassin versant du Nyong, les valeurs de pH moyen enregistrées dans le Nyong pendant la période d'étude traduiraient la nature faiblement acide des eaux. Cette acidité des eaux serait due à la nature acide des sols du bassin versant du Nyong 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 Ajeegah et al., 2017 dans le cours d'eau Matourou située dans le même bassin versant que le nôtre. Mais les valeurs basiques que nous avons obtenues seraient dus d'une part par la nature basique des apports endogènes et exogènes dans les cours d'eau par l'intermédiaire de tributaires et des eaux de ruissèlement et par la présence de l'humus résultant de la décomposition de la matière organique (feuilles mortes) dans nos le Nyong d'autre part. Welcome (1985) affirme que les cours d'eau forestiers, avec les eaux à caractéristiques riches en substances humiques, sont légèrement à fortement acide 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 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 Ajeegah 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 ($>102 \mu\text{S}/\text{cm}$) et en particulier en aval de l'effluent mixte ($426 - 3690 \mu\text{S}/\text{cm}$) 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 matière 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 (IPO=4,5 et 5), traduisant une pollution organique faible à nulle due aux faibles débits d'eaux usées des différentes agglomérations dans le milieu récepteur. Ces valeurs élevées de l'IPO montrent d'une part que l'impact anthropique est peu prononcé de ce bassin versant, bien que le Nyong traverse certains centres urbains et cette faible charge polluant pourrait également être attribué au phénomène d'autoépuration caractéristique des rivières forestières d'autre part. Ce résultat se rapproche de ceux obtenus dans d'autres cours d'eau en zone périurbaine tel que le Gabon (Mbega, 2004 ; Liwouwou, 2016 ; Foto Menbohan et al., 2017), le Cameroun (Biram A Ngon et al., 2018 ; Ajeegah et al., 2017 ; Tchakonte et al., 2014), la Côte-d'Ivoire (Diomandé et al., 2009) et la 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 avec comme étude de cas le Nyong. Il nous a permis d'évaluer le degré de pollution du Nyong. 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 des eaux, une oxygénation moyenne, ces eaux seraient par conséquent de qualité écologique bonne à moyenne. Dans le Nyong, l'indice « IPO » a mis en relief une image classique de l'évolution de la pollution au niveau des différentes stations étudiées où il y a une faible charge organique tout au long du fleuve. Cette pollution organique diminue de l'amont en aval (sous l'effet auto-épuratoire et aboutit à une légère amélioration des eaux). Ces résultats doivent être mis en profit par des actions visant à préserver ce cours d'eau qui se situe dans une zone connaissant des activités touristique, industrielle et agricole importantes. Ainsi, il faut préserver le Nyong qui voit ces eaux en début de dégradation en amont et qui se trouve influencé par les activités anthropiques car elle c'est une grande source d'approvisionnement en eau potable et beaucoup d'autres secteurs en dépendent.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de l'Université de Yaoundé, plus précisément au laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement pour son aide dans la réalisation des analyses physico-chimiques. Nous remercions la bourse de Mobilité Exceed- Swindon, la DAAD pour le financement apporté dans la réalisation de ce projet. Sincères remerciements au Laboratoire de recherche de chimie de Jaramogi Oginga Odinga University of Sciences and Technology (JOUST) au Kenya. L'occasion nous est donnée de remercier le professeur Ajeegah Gideon et le professeur Djieto Lordon- Champlain, pour leurs encadrements dans la réalisation de ce travail de recherche. Des remerciements sincères au professeur Charles Felix BILONG BILONG du Département de Biologie Animal de l'Université de Yaoundé et le prof Silas Lagat, Chef de département de Chimie Physique de Jaramogi Oginga Odinga University of Sciences and Technology (JOUST) pour son soutien technique et scientifique.

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 déclarent avoir reçu un financement dans le cadre de la bourse de mobilité Exceed–Swindon et du DAAD pour la réalisation de 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 (AE) (1999). Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau: grilles de seuils par usage et fonction, version 1, 23p.
3. Ahonon, A (2011). Evaluation 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 présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master international en Environnement Eau et Santé, Université de Lomé.
4. Ajeegah, GA, Bikitbe, JF, & 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* 09 (2) 50-66.
5. Ajeegah, GA, Enah, DA, & 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. Ajeegah, GA, Enah, DA, & Foto Menboham, 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. Ajeegah, GA, Yogback, GE, 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*, 6, 181-196.
8. American Public Health Association (APHA), (1998). Standard method for examination of water and wastewater, American Public Health Association, 20th edition, Washington, DC, 1150.
9. Ateba, (2012). Le fleuve Nyong face aux menaces ecologies naturelles et industrielles. Collection Harmathan, Cameroun, 84.
10. Biram À Ngon, EB, Foto Menbohan, S., Ndjama, J., Nyame, MD, Mboye, & B R, Ajeegah 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., Varbiro, & G., Padisak, J. (2013). Disturbance and stress: different meanings in ecological dynamics. *Hydrobiologia*, 711, 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, PJ, Wright, IA, Findlay, SJ, Jonasson, OJ, & 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, 685-700.
 14. Diomandé, D., Kotchi Bony, Y., Edia, E., Konan, KF, & 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, KC (2017). Peuplements Des Crevettes Des Hydrosystemes De Marais Et Fluvio-Lagunaires Du Sud-Est De La Cote D'Ivoire : Diversite, Structure Et Croissance Des Populations. Thèse de Doctorat/Ph.D en Hydrobiologie à l'Université Félix Houphouët-Boigny.
 16. Ebang, M D (2004) Evaluation 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, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé au Cameroun.
 17. Foto Menbohan, S., Mboye, BR, Mbega, JD, & Ajeegah, GA (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 (OIEau), Paris.
 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 amoebidés dans les milieux aquatiques à Yaoundé (Cameroun), Thèse de doctorat PHD, Université de Yaoundé 1, Cameroun.
 21. Kuete, M. (1987), Etude géomorphologique du massif de Yaoundé, Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, Université de Bordeaux, 279.

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.
23. Letouzey, R. (1958). Phytogéographie camerounaise. in : Atlas du Cameroun. IRCAM, Yaoundé.
24. Leveque, C. (1998). Biodiversité et gestion des systèmes aquatiques continentaux. *Revue des sciences de l'eau*, 11, 211–221.
25. Liwouwou, J F (2016). Biologie, Ecologie 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-Calavy (UAC).
26. Liwouwou, JF, Adandedjan, D., Mbega, JD, & 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, Paris.
28. Mbega, JD, (2004). Biodiversité des poissons du bassin inférieur de l'Ogooué (Gabon), Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Namur (Belgique).
29. Mbouombo, M., Ajeegah, G., Ndjama, J., Tchakala, L., Gnon, B., Enah, D., & Yogback, G. (2019). Dynamique d'abondance des charges oocystique dans le bassin du Mezam à Bamenda (Region du Nord-Ouest, Cameroun. *Bull. Soc. Pathol.,Exot.*, 112, 62-70.
30. MEDD, 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*, 58, 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 Hmairi, A., Jaddi, H., Ousmana, H., Kasse, Z., El Mati, El Faleh, Essahlaoui, A., & El Ouali, A. (2020). Utilisation Des Indices De Qualité Et De Pollution Organique Dans L'évaluation De La Qualité PhysicoChimique 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). Etude de la macrofaune

- aquatique de la rivière Kalengo, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 13 (2) 88-397.
35. Ngakomo Ananga, RP, Ajeegah Aghaindum, G., Zeinab, AE, & 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., & Tailler, R. (1999). Approche calorimétrique des eaux des nappes de la nappe phréatique superficielle de la ville de Yaoundé (Cameroun). *Microbiologie et Hygiène Alimentaire*, 31, 9-13.
 37. Olivry, JC (1979). Monographie du Nyong et des fleuves côtiers, Institut de Recherches sur les techniques, l'industrie et le sous-sol, 1ère Partie Facteurs conditionnels des Régimes Hydrologiques, TOME 1.
 38. Olivry, JC (1986). Monographie hydrologique : Fleuves et Rivières du Cameroun, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement, Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique au Cameroun.
 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 modèle, Thèse de Doctorat d'état, Université de Paris VI.
 40. Rodier, J., Legube, B., Marlet, N., & Brunet, R. (2009). L'analyse de l'eau. 9e édition, Dunod, Paris, France.
 41. Rodier, J., Legube, B., Marlet, N., Claire A., & Les Anges B. (2016). L'analyse de l'eau, contrôle et interpretation. 10e édition, Dunod, Paris, France.
 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/PhD, Université de Yaoundé I.
 43. Tchakonte, S., Ajeegah, GA, Diomande, D., Camara, AI, & Ngassam, P. (2014), Diversity, dynamic and ecology of freshwater snails related to environmental factors in urban and suburban streams in Douala–Cameroon (Central Africa). *Aquat Ecol*, 48, 379–395.
 44. Tchakonte, S., Ajeegah, G., Diomandé, D., Camara, AI, 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*,.183-196.

45. Wethe, J., Radoux, & M., Tanawa, E. (2003). Assainissement des eaux usées et risques socio - sanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *VertigO*, 5, 4, (1) 257-345.
46. Williams, W. T., Lance, GN, Dale, MB, & Clifford, HT (1971). Controversy concerning the criteria for taxonomic strategies. *Computer Journal*, 14, 1-162.
47. Yogback, GE, Ajeegah, GA, Djieto, LC, Lagat, CS, Enah, DA, Mbouobo, M., Kowenje, & C. (2018). Biodiversity of freshwater shrimp of the genus *Macrobrachium* (Décapoda, Paleamonidea) in the Nyong basin of Cameroon. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology* , 3 (6), 2067-2082.
48. Zébazé, H., Tuekam, P., Boutin, C., Nola, M., & Foto, S. (2011). Impact de la pression anthropique sur l'eau et la faune aquatique des puits et sources de la région de Yaoundé (Cameroun, Afrique Centrale). *Bulletin de la société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 147, 27- 41.