Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2026 ; 9(2), 185-207
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Analyse de la variation spatio-temporelle des paramètres hydrologiques et physico-chimiques de la Rivière Nko dans le Territoire de Bulungu, Province du Kwilu (République Démocratique du Congo)

Moise Mulula Kinsambwadi[1,2], Willy Lusasi Swana*[2,3], Jean Mangamba Ziata[2,4], José Mbimbi Mayi Munene[2], John Tembeni Makiadi[2,3], Victor Pwema Kiamfu [2, 3]

[(1)]Institut Supérieur Pédagogique de Bulungu. Section Sciences Exactes. Département de Biologie-Chimie. BP 01 Bulungu (RDC). E-mail : willy.lusasi@unikin.ac.cd
[(2)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Sciences de la Vie. BP 190 Kinshasa XI (RDC)s
[(3)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Sciences de la Vie. Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture. BP 190 Kinshasa XI (RDC)
[(4)]Institut Supérieur Pédagogique de Masi-Manimba. Section Sciences Exactes. Département de Biologie-Chimie.

Reçu le 05 mai 2026, **accepté le** 17 juin 2026, **publié en ligne le** 27 juin 2026
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i2.17

RESUME

Description du sujet. La rivière Nko (Bulungu, RD Congo) joue un rôle socioéconomique majeur. Suivre ses variations environnementales est indispensable pour assurer une gestion durable et une exploitation rationnelle de ses ressources hydrobiologiques.
Objectif. L'étude a pour objectif d'analyser la variation spatio-temporelle des paramètres hydrologiques et physico-chimiques de la rivière Nko située dans le territoire de Bulungu, province du Kwilu en République Démocratique du Congo.
Méthodes. Des analyses *in situ* et *ex situ* ont été menées pendant seize mois, couvrant les saisons sèche et des pluies sur plusieurs stations d'échantillonnage.
Résultats. Les variables abiotiques dépendent fortement de la saison. La vitesse d'écoulement culmine en saison des pluies (Détente : 1,98±0,8 m/s) et s'affaiblit à Kinzamba (0,59±0,03 m/s). L'eau est peu minéralisée ; la conductivité maximale s'observe à Kabangu en saison des pluies (24,2±1,44 µS/cm). La transparence est supérieure en saison sèche (Kinzamba : 81,53±2,85 cm). Le pH est légèrement acide en saison sèche (Pont Kunga : 5,59±0,24) et neutre à tendance basique en saison des pluies (Kunga : 7,91±0,53). L'oxygène dissous augmente d'amont en aval, culminant au Pont Kunga en saison sèche (5,22±0,14 mg/L). Les orthophosphates et nitrates sont plus concentrés en saison sèche. Les analyses multivariées (ACP et CHA) confirment une divergence des caractéristiques abiotiques d'amont en aval.
Conclusion. La rivière Nko offre des habitats fonctionnels et viables. Ses caractéristiques couvrent les exigences écologiques de la faune aquatique, notamment des poissons, malgré l'enrichissement en nutriments en saison sèche.

Mots-clés : Rivière Nko, paramètres abiotiques, variation saisonnière, caractérisation, Bulungu-RDC.

ABSTRACT

Analysis of the spatio-temporal variation in the hydrological and physico-chemical parameters of the Nko River in the Bulungu Territory, Kwilu Province (Democratic Republic of the Congo)
Description of the subject. The Nko River (Bulungu, DR Congo) plays a major socio-economic role. Monitoring changes in its environment is essential to ensure the sustainable management and rational use of its hydrobiological resources.

Objective. The study aims to analyse the spatio-temporal variation in the hydrological and physico-chemical parameters of the Nko River, located in the territory of Bulungu, Kwilu Province, in the Democratic Republic of the Congo.
Methods. In situ and ex situ analyses were conducted over a period of sixteen months, covering the dry and wet seasons at several sampling stations.
Results. Abiotic variables are highly dependent on the season. Flow velocity peaks during the rainy season (Détente: 1.98±0.8 m/s) and decreases at Kinzamba (0.59±0.03 m/s). The water has low mineral content; maximum conductivity is observed at Kabangu during the rainy season (24.2±1.44 µS/cm). Transparency is higher during the dry season (Kinzamba: 81.53±2.85 cm). The pH is slightly acidic during the dry season (Kunga Bridge: 5.59±0.24) and neutral to slightly basic during the rainy season (Kunga: 7.91±0.53). Dissolved oxygen increases from upstream to downstream, peaking at Kunga Bridge during the dry season (5.22±0.14 mg/L). Orthophosphates and nitrates are more concentrated during the dry season. Multivariate analyses (PCA and CHA) confirm a divergence in abiotic characteristics from upstream to downstream.
Conclusion. The Nko River provides functional and viable habitats. Its characteristics meet the ecological requirements of aquatic fauna, particularly fish, despite nutrient enrichment during the dry season.

Keywords: Nko River, abiotic parameters, seasonal variation, characterisation, Bulungu-DRC.

1. INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource vitale au cœur des écosystèmes, essentielle au fonctionnement de la biosphère et à la régulation climatique globale (Egbolomo, 2022). Indispensables aux activités anthropiques, les milieux aquatiques requièrent une protection et une gouvernance rigoureuses afin d'en garantir l'usage durable (Bassakouahou *et al.*, 2024). Dès lors, la préservation et l'exploitation efficientes de ces ressources tributaires d'une caractérisation précise de l'état écologique des milieux (Roche, 2015).

Actuellement, sécuriser l'accès à une eau douce de qualité et en quantité suffisante demeure l'un des défis majeurs à l'échelle planétaire (Kawaya *et al.*, 2017). Cette problématique s'avère particulièrement critique en Afrique subsaharienne où la gestion de l'eau transcende les aspects purement techniques pour revêtir des dimensions sociales, géostratégiques, économiques et environnementales interconnectées (Mafuta *et al.*, 2018).

À l'échelle du continent, la République Démocratique du Congo (RDC) dispose des ressources hydriques les plus abondantes (Bashige *et al.*, 2026). Ses eaux de surface concentrent environ 52 % des réserves africaines, et le pays détient à lui seul 23 % des ressources en eau renouvelables du continent (Egbolomo, 2022). Ce potentiel repose sur un réseau hydrographique dense, composé de multiples lacs, zones humides et rivières, structuré autour du fleuve Congo comme artère principale (Lusasi *et al.*, 2022).

Parmi ces réseaux, la rivière Nko figure comme l'un des cours d'eau majeurs du territoire de Bulungu (Province du Kwilu). Elle soutient d'importantes fonctions socioéconomiques pour les populations riveraines, notamment à travers les usages domestiques, l'agriculture vivrière, le commerce et la pêche artisanale. Bien que ce sous-affluent de la rivière Kwilu (sous-bassin du Kasaï) subisse des pressions anthropiques, il demeure scientifiquement inexploré. Ce déficit de données fondamentales compromet l'élaboration de plans de gestion rationnelle de l'écosystème et de ses ressources.

Pourtant, la dynamique des ressources biologiques et la pérennité des services écosystémiques sont étroitement régulées par les variables environnementales, les conditions abiotiques (hydrologiques, physiques, chimiques et hydromorphologiques) dictant la structuration spatio-temporelle des communautés d'organismes (Houelome *et al.*, 2017). L'évaluation de la qualité des eaux par le suivi comparatif de ces descripteurs s'avère donc essentielle pour appréhender les fluctuations induites par les cycles saisonniers (Merlier, 2017).

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, dont l'objectif est d'analyser la variation spatio-temporelle des paramètres hydrologiques et physico-chimiques de la rivière Nko. Les données générées permettront de clarifier les mécanismes physico-chimiques qui régissent la distribution des communautés biologiques locales. À terme, ces résultats fourniront des

indicateurs de référence indispensables à la mise en œuvre de programmes de gestion intégrée des écosystèmes aquatiques et de leurs ressources halieutiques.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site d'étude

La présente étude a été menée sur la rivière Nko, un sous-affluent de la rivière Kwilu situé dans le territoire de Bulungu (Province du Kwilu, République Démocratique du Congo). Les sites d'étude se trouvent respectivement dans les secteurs de Luniungu et Nko. Quatre stations d'échantillonnage ont été sélectionnées d'amont en aval le long du gradient longitudinal (Figure 1) :
(i) Pont Kunga (Amont) : 18° 32' 780'' de longitude Est, 04° 41' 735'' de latitude Sud et 368 mètres d'altitude.
(ii) Kinzamba : 18° 32' 781'' de longitude Est, 04° 40' 678'' de latitude Sud et 361 mètres d'altitude.
(iii) Détente **:** 18° 35' 268'' de longitude Est, 04° 23' 963'' de latitude Sud et 322 mètres d'altitude.
(iv) Pont Kabangu (Aval) **:** 18° 49' 431'' de longitude Est, 05° 02' 170'' de latitude Sud et 357 mètres d'altitude.

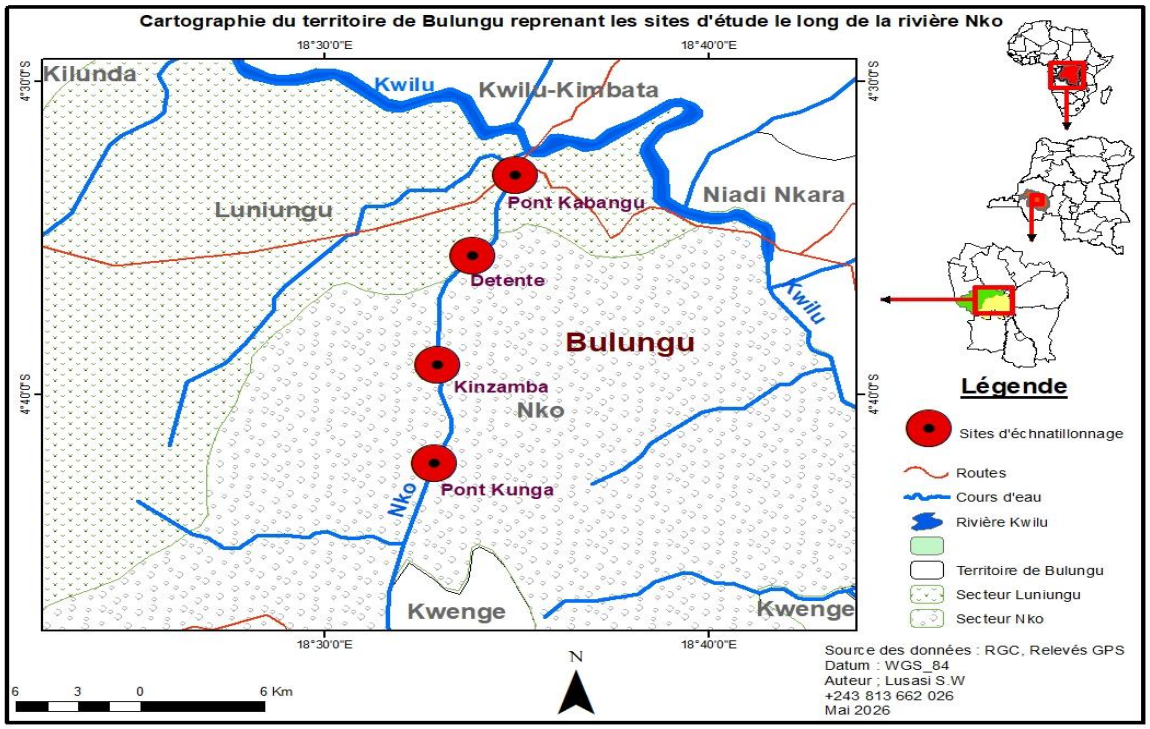


Figure 1. Cartographie du territoire de Bulungu reprenant les sites d'échantillonnage le long de la rivière Nko

Selon la classification de Köppen, le territoire de Bulungu qui est traversé par la rivière Nko, se caractérise par un climat tropical humide à tendance équatoriale du type AW_4 (Pwema *et al.*, 2023). Ce climat se distingue par deux principales saisons : la saison sèche et la saison humide, avec un petit intervalle de période sèche qui se glisse entre les mois de janvier et février. La période sèche s'étend sur trois mois, de mai à août. La saison des pluies dure neuf mois, débutant en théorie le 15 août et finissant approximativement le 15 mai et la température moyenne se situe autour de 25 °C avec une amplitude thermique quotidienne d'environ 10 à 15 °C (Kakedi e*t al.*, 2021).

2. Méthodes

2.1. Echantillonnage des données

La caractérisation de l'eau de la rivière Nko, concernant les aspects hydrologiques, physique et chimique, a été réalisée pendant une période de seize mois. Cette étude a été divisée en deux étapes qui englobaient les mois de la période

sèche et quelques mois de la période des pluies : (i) La première phase de quatre (4) mois couvre les mois de la saison sèche, plus précisément mai, juin, juillet et août de 2024 et 2025 ; (ii) La deuxième phase inclut aussi quatre (4) mois pendant la saison des pluies, à savoir : novembre, décembre, janvier et avril de 2024 et 2025.

Paramètres abiotiques de la rivière Nko

Pour caractériser les habitats étudiés dans les différents sites prospectés d'amont en aval de la rivière Nko et déterminer les conditions dans lesquelles se développent les ressources biologiques aquatiques qui peuplent la rivière Nko dans la partie prospectée, les paramètres hydrologiques, physiques et chimiques ont été analysés.

Paramètres hydrologiques

Sur les sites prospectés de la rivière Nko, trois paramètres hydrologiques ont été évalués notamment : le débit, la largeur du lit et la profondeur de la colonne d'eau. La largeur du lit a été mesurée à l'aide d'un fil nylon gradué en mètre, avec une exactitude de 0,1 mètre. La profondeur a été estimée en utilisant une tige flexible et maniable de 8 mètres de portée, sur laquelle des repères en mètre ont été tracés avec un stylo marqueur. La vitesse d'écoulent a été mesurée en faisant recours à la méthode empirique faisant participer deux observateurs munis d'un chronomètre, des flotteurs et un fil. Un tronçon de 20 mètres où la rivière ne présente pas des barrières physiques était choisi pour l'évaluation de la vitesse d'écoulement d'eau.

Paramètres physiques in situ

L'évaluation des paramètres physiques in situ dans la rivière Nko a porté sur quatre variables : la température (°C), la conductivité électrique (µS/cm), la turbidité (NTU) et la transparence (cm) de l'eau de surface sur l'ensemble des sites prospectés. Les trois premières mesures ont été déterminées à l'aide d'un multiparamètre de marque EZ-9909SP Water Quality Tester, immergé à une profondeur de 5 cm. La transparence de l'eau a été mesurée au moyen d'un disque de Secchi métallique, bicolore (noir et blanc), d'un diamètre de 20 à 25 cm.

Paramètres chimiques

Pour cette étude, sept paramètres chimiques ont été examinés dans l'eau de la rivière Nko, à la fois in situ et ex situ. Il s'agit du potentiel d'hydrogène (pH), de l'oxygène dissous (O_2), de la demande chimique en oxygène (DCO), de la demande biologique en oxygène (DBO), des matières en suspension (MES), ainsi que des ions phosphates ($PO4^{3-}$) et nitrates ($NO3^{-}$), tous exprimés en mg/L. Parmi ces variables, le pH et l'oxygène dissous ont été mesurés directement in situ à l'aide d'une sonde multiparamètre 6-en-1 de marque YK-100 Smart.

Afin de déterminer la composition chimique, notamment en ions majeurs, des échantillons d'eau ont été prélevés lors des campagnes de terrain. Ils ont été collectés dans des flacons en polyéthylène de 500 mL préalablement conditionnés, puis rincés trois fois avec l'eau du site correspondant avant le prélèvement définitif. Après collecte, les échantillons ont été immédiatement stockés au frais dans une glacière, conformément aux directives des normes ISO 5667-3, ISO 5667-12 et AFNOR NF T 90-023.

Ces référentiels fixent les critères de prélèvement, de conservation et de transport des échantillons d'eau destinés aux analyses physico-chimiques en laboratoire (AFNOR, 2009). Les analyses différées ont été réalisées au Laboratoire de Physique des sols et d'Hydrologie du Commissariat Général à l'Énergie Atomique / Centre Régional d'Études Nucléaires de Kinshasa (CGEA/CREN-K). La quantification des éléments chimiques ciblés a été effectuée au moyen d'un spectromètre de fluorescence X à dispersion d'énergie (ED-XRF Xepos III) informatisé et d'un spectrophotomètre UV-Visible HACH DR/2400, selon les protocoles standardisés du laboratoire.

2.2. Activités anthropiques

Lors de la recherche sur le terrain, les activités anthropiques menées au sein et à la périphérie du bassin versant de la rivière Nko ont été systématiquement recensées afin d'évaluer leur impact sur les milieux naturels. Pour chaque station prospectée, une attention particulière a été accordée à la nature et à l'intensité des pressions identifiées. L'inventaire de ces pressions anthropiques s'avère indispensable, car elles constituent une menace majeure pour l'équilibre des écosystèmes aquatiques et de leurs ressources biologiques, en modifiant de façon durable ou transitoire leurs caractéristiques abiotiques.

2.3. Analyses multivariées

Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

L'analyse par classification hiérarchique ascendante a pour but de regrouper les unités d'échantillonnage ou les composantes écologiques partageant des attributs similaires face à une caractéristique précise (Boika *et al.*, 2022 ; Luizi *et al.*, 2024). Elle se fonde sur le calcul des distances de similarité ou de dissimilarité entre les entités observées, le résultat étant structuré sous forme de dendrogramme (Piélou, 1984 ; Pwema, 2014).
Dans le cadre de cette étude, la CHA a permis de catégoriser les stations d'observation le long de la rivière Nko selon leurs affinités hydrologiques, physiques et chimiques. Cette classification a été opérée sur la base des valeurs moyennes des paramètres de l'eau mesurés durant les saisons sèches et pluvieuses, en utilisant le logiciel PAST (*Paleontological Statistics*).

Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode d'exploration multidimensionnelle conçue pour extraire et structurer l'information contenue dans une matrice de données complexes (Fangstrom et Willèn, 1987). Cette approche ordonne les variables et les stations le long d'axes factoriels en fonction de leur variance (Boika *et al.*, 2022). La matrice d'analyse est construite en positionnant les stations d'échantillonnage en lignes et les paramètres environnementaux examinés en colonnes.

Le but principal de l'ACP est de réduire la dimensionnalité de l'espace de données pour le projeter sur un plan factoriel (biplot) où chaque station est représentée par un point. Sur le graphique généré, la proximité spatiale entre deux points traduit une forte similarité de leurs attributs écologiques (Ter Braak et Smilauer, 1998). À l'inverse, des points éloignés indiquent des profils abiotiques distincts. Les variables environnementales sont projetées sous forme de vecteurs (flèches) ; leur contribution à l'inertie du nuage de points est définie par les valeurs propres des axes factoriels, exprimées en pourcentage de la variance totale expliquée (Ter Braak et Smilauer, 1998).

Dans cette étude, l'ACP a servi à caractériser la variabilité environnementale saisonnière et à identifier les facteurs abiotiques majeurs qui gouvernent la différenciation des stations ainsi que leur influence sur les habitats de cet écosystème aquatique. Cette analyse a également été réalisée à l'aide du logiciel PAST.

Analyse et traitement statistique des données

Les données issues des observations, prélèvements et manipulations ont été encodées dans une base de données sous le logiciel Microsoft Excel 2013, permettant le calcul des moyennes et des écarts-types pour chaque variable hydrologique, physique et chimique. Afin de mettre en évidence les variations des paramètres abiotiques entre la saison sèche et la saison des pluies, les données ont été soumises à une analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) (Scherrer, 1984). En cas de différence significative, celle-ci a été complétée par le test de Fisher et le test de Tukey HSD (Saville, 1990). Ces analyses ont été exécutées à l'aide du logiciel Statistix (version 8) avec un intervalle de confiance de 95 %.

Les fluctuations saisonnières et spatiales des caractéristiques physico-chimiques et hydrologiques ont été illustrées sous forme de diagrammes en bâtons à l'aide du logiciel Origin 6.1. Aussi, le logiciel QGIS a été utilisé pour cartographier la zone d'étude à partir des coordonnées géographiques (longitude et latitude) relevées *in situ* à l'aide d'un GPS GARMIN Etrex.

3. RÉSULTATS

3.1. Variables abiotiques

La caractérisation abiotique de la rivière Nko dans le cadre de cette étude s'est basée sur l'analyse des paramètres hydrologiques, physiques et chimiques durant la saison sèche comme pendant la saison des pluies tel que repris dans les sections ci-après.

Variation saisonnière des paramètres hydrologiques

Trois paramètres hydrologiques notamment la vitesse d'écoulement de l'eau, la largeur du lit ainsi que la profondeur de la colonne d'eau.

Vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement d'eau de la rivière Nko est variable en fonction de saison de l'année mais aussi d'amont en aval sur les sites d'étude (figure 2). L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) appliquée à ces données met en évidence une différence statistique significative (F = 0,99 ; p = 0,0481) entre les valeurs moyennes saisonnières de la vitesse d'écoulement de l'eau. La valeur critique du test de Tukey HSD (2,4306) montre que l'eau est plus rapide durant la saison des pluies que durant la saison sèche notamment sur le site Detente (soit 1,98±0,80 m/s) suivi du site Pont Kabangu (soit 0,71±0,02 m/s) et la faible vitesse d'écoulement a été relevée sur le site Kinzamba (soit 0,59±0,03 m/s). Durant la saison sèche, l'eau est plus rapide sur le site Pont Kabangu (soit 0,57±0,04 m/s) suivi du site Kinzamba (soit 0,49±0,02 m/s) et la faible vitesse d'écoulement a été observée au site Detente (soit 0,29±0,02 m/s).

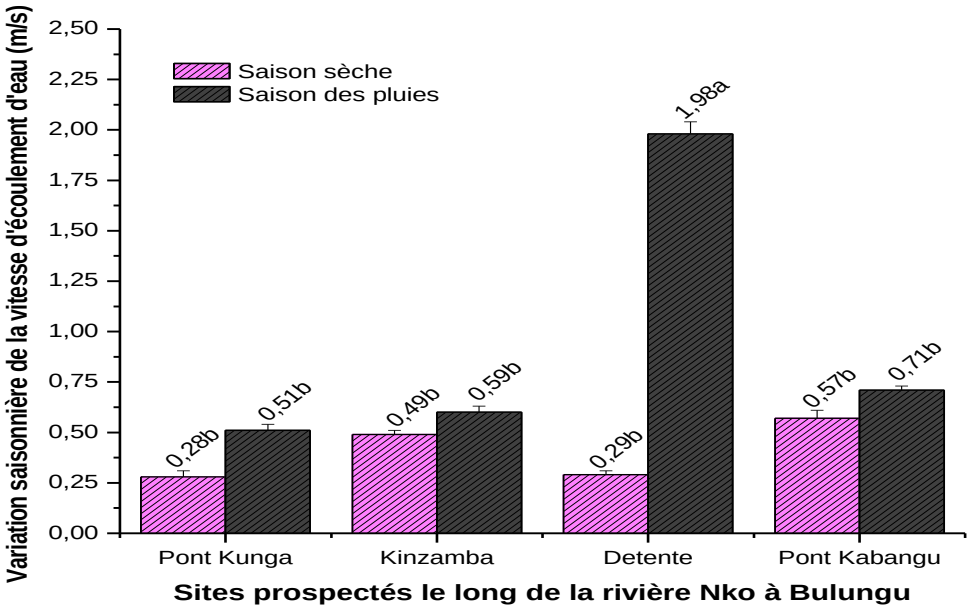


Figure 2. Variation saisonnière de la vitesse d'écoulement de l'eau (m/s) de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Largeur du lit

La saisonnalité influence la largeur du lit de la rivière Nko de manière très hautement significative (F = 85,7 ; p = 0,0000 ; Tukey HSD = 2,9916) d'amont en aval à travers les différentes stations d'échantillonnage (figure 3). De manière générale, les valeurs moyennes les plus élevées ont été enregistrées à la station Pont Kabangu, avec 31,5±0,9 m) en saison des pluies contre 28,1±2,1 m en saison sèche. Elle est suivie par la station Pont Kunga, qui affiche une largeur moyenne de 21,6±1,68 m en saison des pluies et de 16,8±1,44 m en saison sèche. En revanche, le lit de la rivière est significativement plus étroit à la station Kinzamba, tant en saison sèche (13,5±1,2 m) qu'en saison des pluies (16,1±0,9 m). Cette faible largeur s'explique par la présence d'une pente très prononcée sur cette section du cours d'eau.

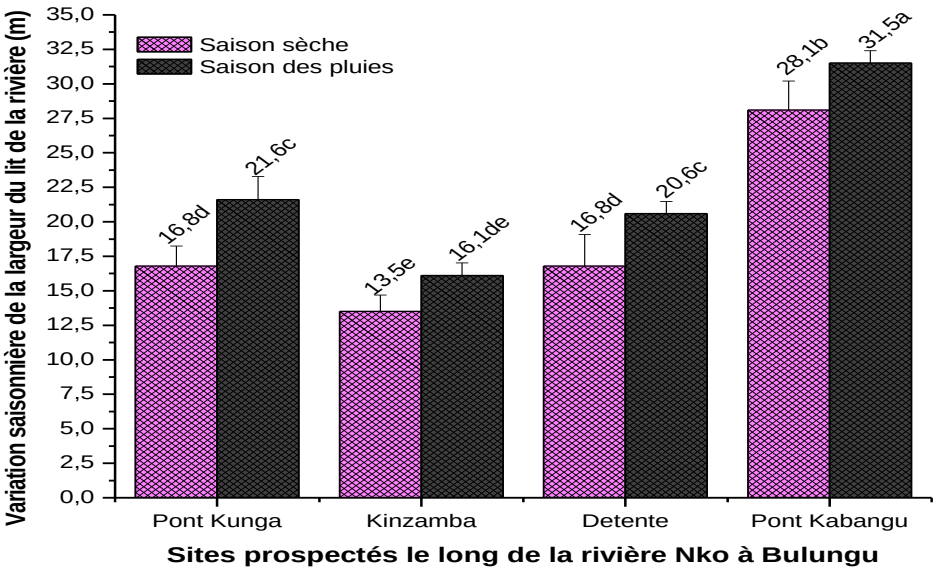


Figure 3. Variation saisonnière de la largeur du lit de l'eau (m) de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Profondeur de la colonne d'eau

Il ressort des résultats visualisés sur la figure 4 ci-dessous que la profondeur de la colonne d'eau de la rivière Nko est fonction de la variation saisonnière et, se diffère d'un site à l'autre avec une différence statistique très hautement significative (F = 16,1 ; p = 0,0000) dont les valeurs moyennes les plus élevées de profondeur sont relevées durant la saison des pluies (figure 4). Le test de Tukey HSD (1,3271) montre que la rivière Nko est plus profonde d'aval vers l'amont notamment sur le site Pont Kabangu (soit 7,8± m) suivi du site Detente (soit 7,4±0,6 m) puis Kinzamba (soit 6±0,4 m) et Pont Kunga (soit 5,8±0,84 m). Durant la saison sèche, la profondeur de la colonne d'eau augmente de de l'amont vers l'aval.

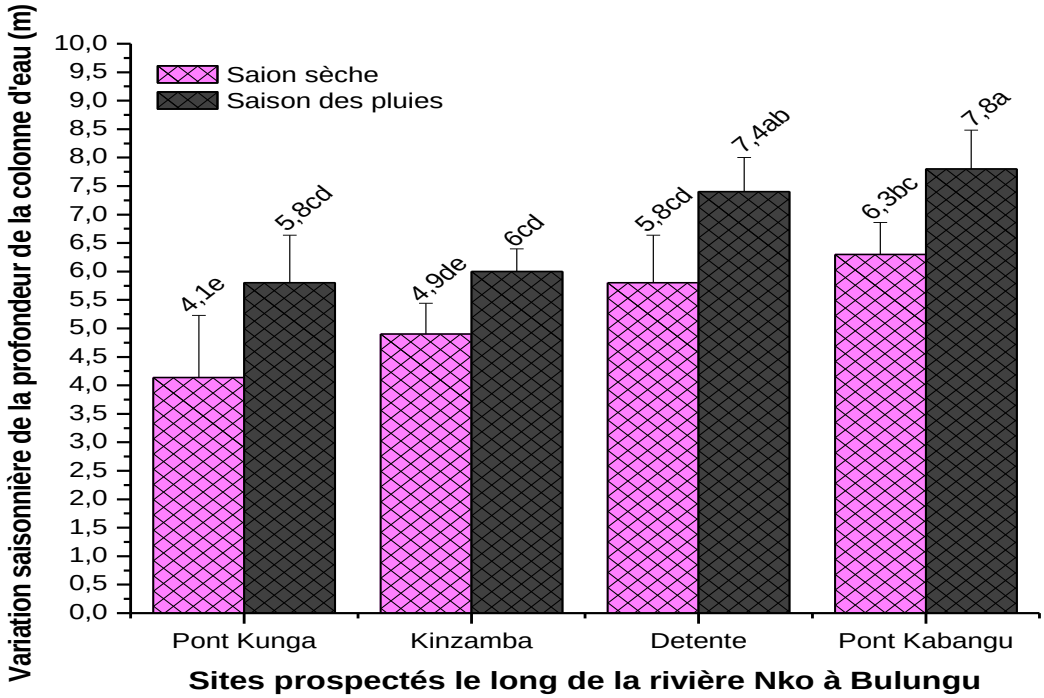


Figure 4. Variation saisonnière de la profondeur de l'eau (m) de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

3.2. Variation saisonnière des paramètres physiques

La caractérisation physique des eaux de la rivière Nko, située dans le territoire de Bulungu en République Démocratique du Congo, a porté sur l'évaluation de quatre paramètres : la température, la conductivité, la turbidité et la transparence.

Température

De manière générale, les eaux de la rivière Nko se caractérisent par des températures élevées tout au long de l'année. Les valeurs moyennes fluctuent entre 23,89±0,35 °C en saison sèche à la station Pont Kunga et 26,48±0,36 °C en saison des pluies à la station Kinzamba (figure 5). L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) appliquée aux valeurs moyennes de température révèle une différence spatio-temporelle très hautement significative (F = 19,7 ; p < 0,00 ; Tukey HSD = 0,7758) à travers les différentes stations prospectées. Globalement, la température de l'eau est significativement plus élevée durant la saison des pluies par rapport à la saison sèche.

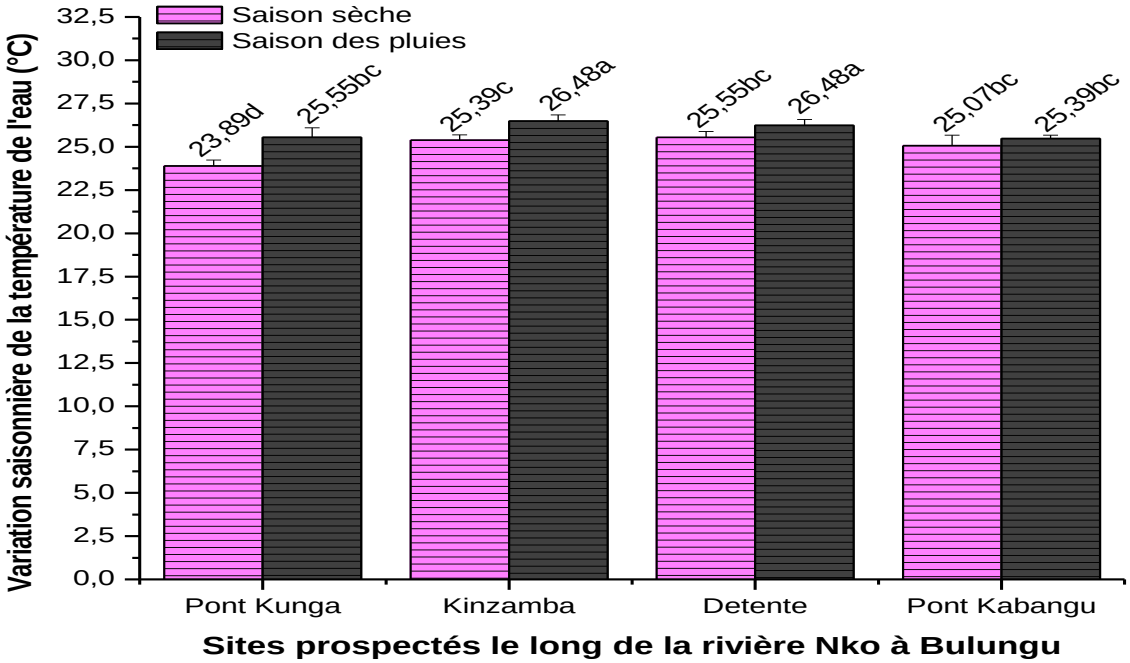


Figure 5. Variation saisonnière de la température de l'eau (°C) de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Conductivité

Les eaux de la rivière Nko présentent une minéralisation plus importante en saison des pluies qu'en saison sèche. Cette tendance est confirmée par une augmentation statistiquement très hautement significative de la conductivité électrique (F = 128 ; p < 0,001 ; Tukey HSD = 1,5871) durant la période pluvieuse. Les résultats indiquent que la conductivité la plus élevée est enregistrée à la station Kabangu (24,2±1,44 µS/cm) en saison des pluies contre 15,9±0,54 µS/cm en saison sèche, suivie de la station Détente (19,8±1,08 µS/cm) en saison des pluies et 13,6±0,48 µS/cm en saison sèche. À l'inverse, les valeurs les plus faibles sont observées à la station Pont Kunga, avec respectivement 17,8±1,08 µS/cm et 12,7±0,62 µS/cm (figure 6).

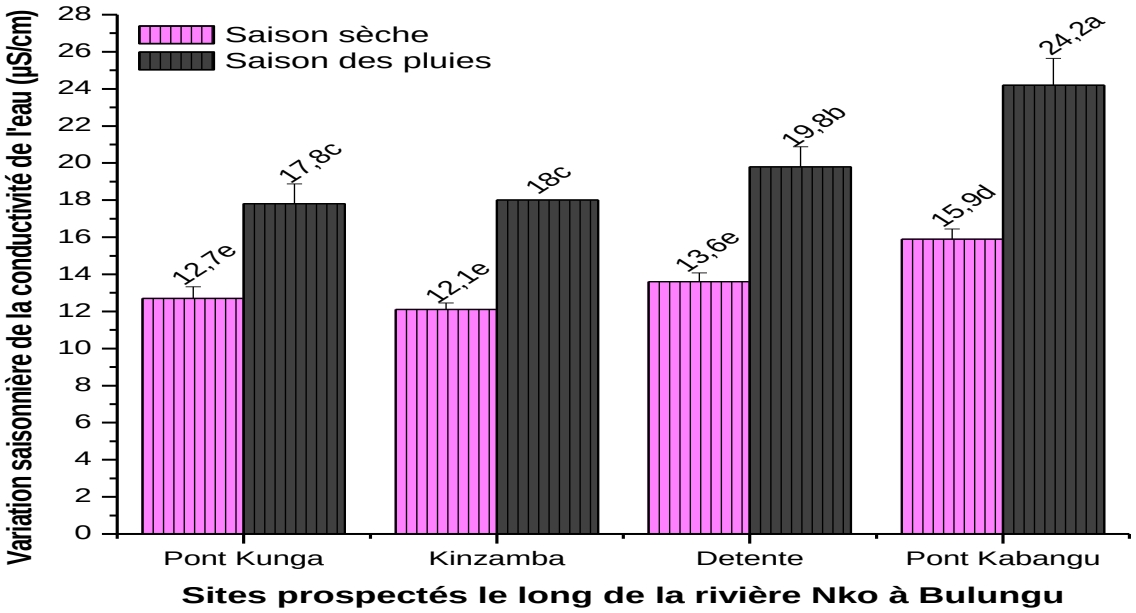


Figure 6. Variation saisonnière de la conductivité de l'eau (µS/cm) de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Turbidité

La charge en particules solides, organiques et inorganiques, des eaux de la rivière Nko augmente significativement en saison des pluies. L'analyse de la variance (ANOVA 1) révèle une différence spatio-temporelle très hautement significative ($F = 103$; $p < 0,001$) d'une saison à l'autre et entre les différentes stations (figure 7). La comparaison des moyennes par le test de Tukey HSD (0,8766) indique qu'en saison des pluies, la turbidité la plus élevée est enregistrée à la station Pont Kabangu (11,8±0,72 NTU), suivie des stations Détente (9,8±0,32 NTU), Pont Kunga (9,10±0,54 NTU) et enfin Kinzamba (8,60 ±0,60 NTU). Durant la saison sèche, une tendance similaire est observée : la turbidité décroît d'aval en amont, la valeur la plus forte étant également relevée à la station Pont Kabangu (8,00±0,20 NTU).

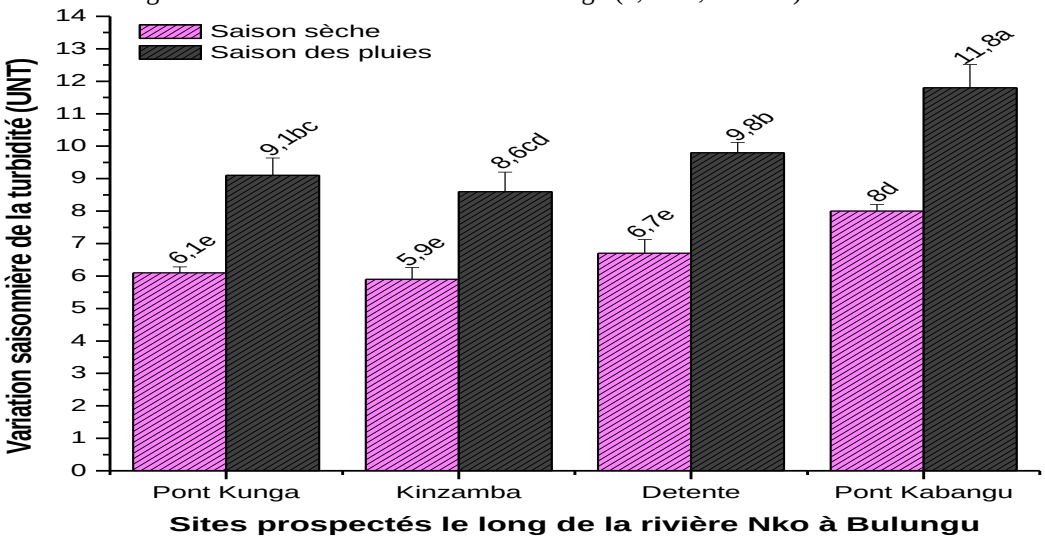


Figure 7. Variation saisonnière de la turbidité de l'eau (UNT) de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Transparence

La rivière Nko est plus transparente durant la saison sèche avec une différence statistique très hautement significative ($F = 105$; $p = 0,0000$; Tukey HSD = 7,3442) par rapport à la saison des pluies et les sites

prospectés. Les résultats visualisés surs la figure 8 ci-dessous montrent que la rivière est plus transparente sur le site Kinzamba (soit 81,53±2,85 cm durant la saison sèche et 75,68± cm durant la saison des pluies) suivi du site Pont Kunga (soit 68,28±4,66 cm durant la saison sèche et 59,23±4,74 cm durant la saison des pluies) et la faible transparence a été relevée sur la site Pont Kabangu vers l'aval et l'exutoire de la rivière (soit 45,22±3,58 cm durant la saison des sèche et 32,39±3,53 cm durant la saison des pluies).

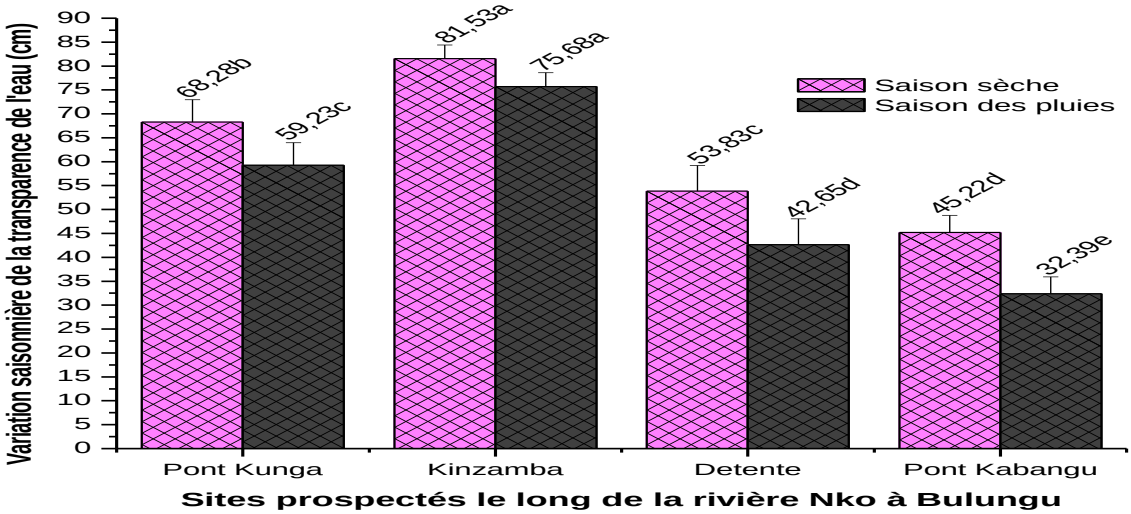


Figure 8. Variation saisonnière de la transparence de l'eau (cm) de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

3.3. Variation saisonnière des paramètres chimiques

Sept paramètres chimiques ont été suivis pour caractériser la qualité des eaux de la rivière Nko : le potentiel d'hydrogène (pH), l'oxygène dissous, la demande chimique en oxygène, la demande biochimique en oxygène, les matières en suspension, ainsi que les ions phosphates et nitrates.

Potentiel d'hydrogène

Les résultats visualisés sur la figure 9 ci-dessous montrent une variation statistique très hautement significative ($F = 34,3$; $p = 0,0000$) de l'alcalinité de l'eau de la rivière Nko entre les saisons de l'année et les sites prospectés. Le test de Tukey HSD (0,6468) montre que l'eau est acide durant la saison sèche (soit 5,59±0,24 sur le site Pont Kunga) et neutre à tendance basique durant la saison des pluies respectivement sur les sites Kunga (7,91±0,53), Pont Kabangu (7,86±0,54) et Kinzamba (7,52±0,25).

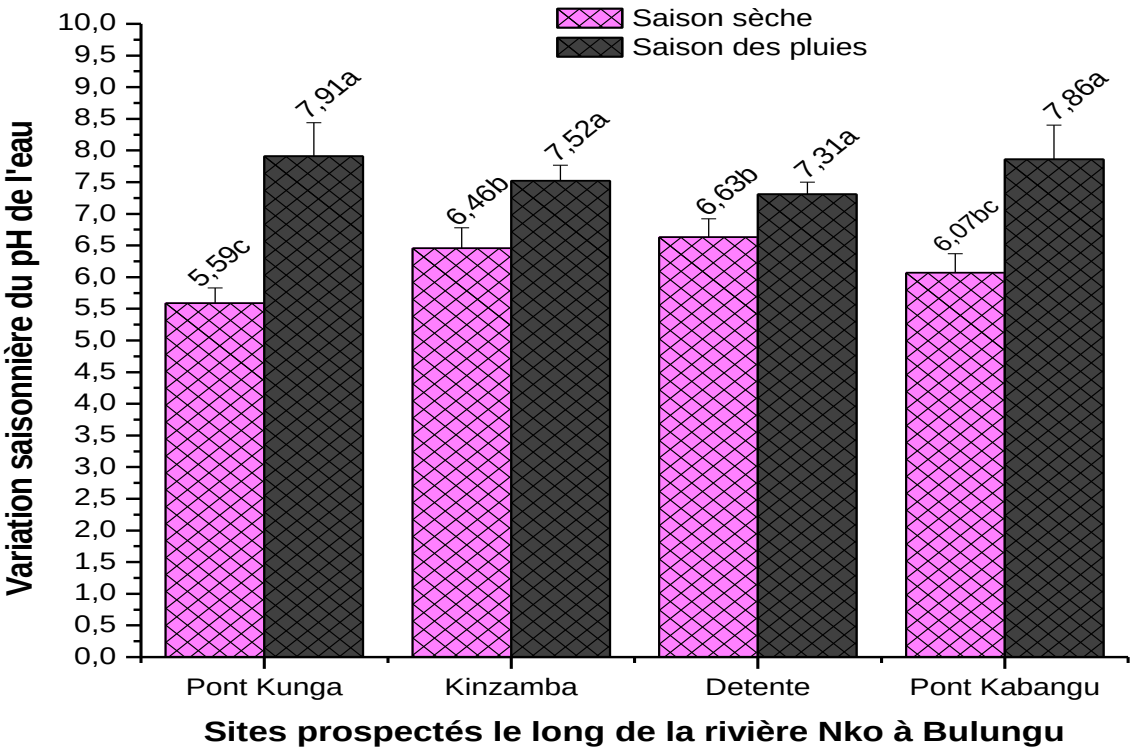


Figure 9. Variation saisonnière du potentiel d'hydrogène de l'eau de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Oxygène dissous

D'après les résultats consignés sur la figure 10 associés aux analyses de la variance à un facteur (ANOVA1), la rivière Nko est plus oxygénée avec une différence statistique très hautement significative (F = 314 ; p = 0,0000 ; LSD = 0,1832) durant la saison sèche par rapport à la saison des pluies. La rivière étant plus oxygénée de l'amont vers l'aval notamment sur le site Pont Kunga (soit 5,22±0,14 mg/L durant la saison sèche et 4,2±0,15 mg/L durant la saison des pluies) suivi du site Kinzamba (soit 4,64± mg/L durant la saison sèche et 3,73±0,13 mg/L durant la saison des pluies) et la faible teneur en oxygène dissous a été observée relevée sur le site Pont Kabangu (soit 3,71±0,06 mg/L durant la saison sèche et 3,05±0,04 mg/L durant la saison des pluies).

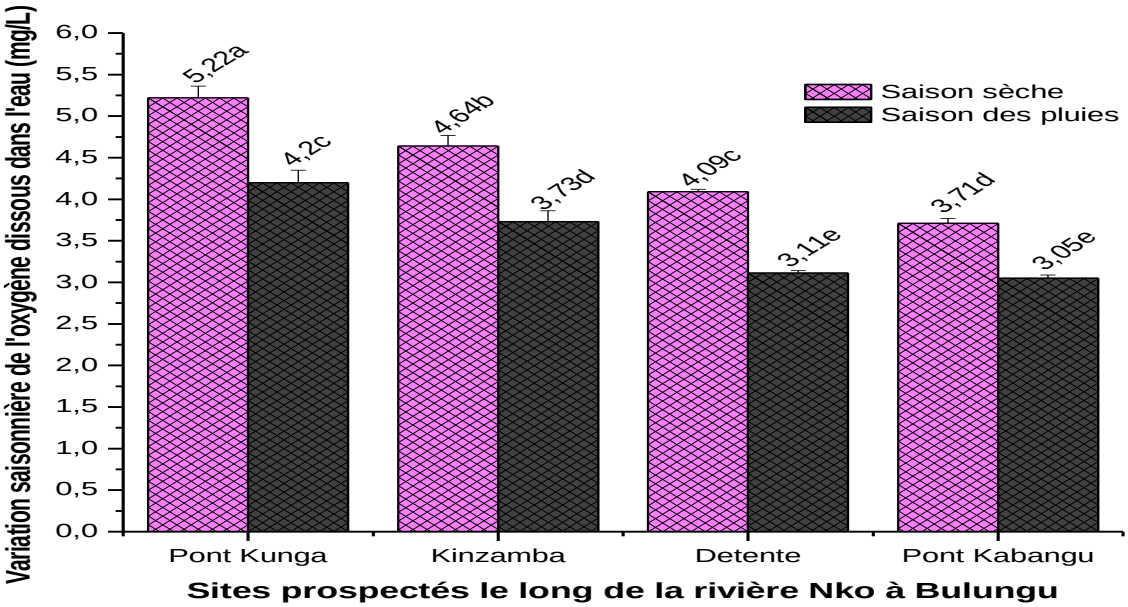


Figure 10. Variation saisonnière de l'oxygène dissous (mg/L) dans l'eau de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Demande chimique en oxygène

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) au sein de la rivière Nko est plus élevée en saison sèche qu'en saison des pluies, affichant une différence statistique très hautement significative (F = 76,6\) ; p < 0,001 ; Tukey HSD = 0,7031) (figure 11). Spatialement, on observe un gradient croissant d'amont en aval. Les valeurs moyennes les plus importantes sont enregistrées à la station Pont Kabangu (10,04±0,48 mg/L) en saison sèche et 9,01 ±0,08 mg/L en saison des pluies. À l'inverse, les concentrations les plus faibles sont obtenues à la station Pont Kunga (8,34 ± 0,31 mg/L) en saison sèche et 6,44±0,07 mg/L en saison des pluies.

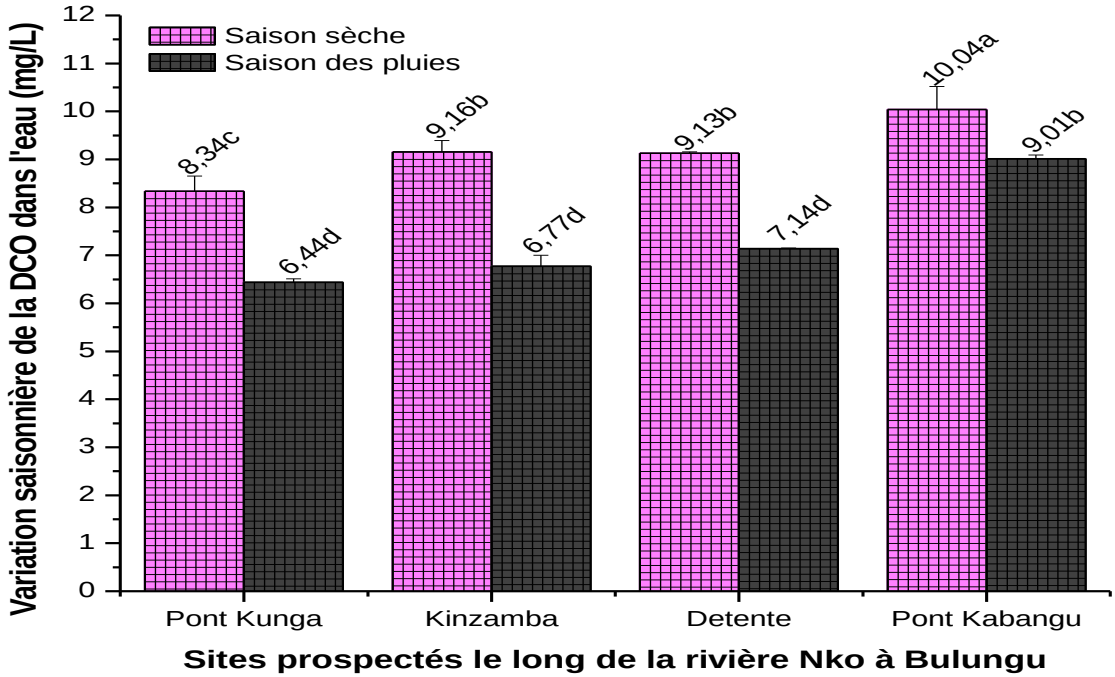


Figure 11. Variation saisonnière de la demande chimique en oxygène dissous (mg/L) dans l'eau de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Demande biochimique en oxygène

La Demande Biochimique en Oxygène (\(DBO_5) au sein de la rivière Nko est plus élevée en saison sèche qu'en saison des pluies, affichant une différence statistique très hautement significative (F = 382 ; p < 0,001 ; Tukey HSD = 0,2090) (figure 12). Les résultats indiquent que les valeurs moyennes les plus importantes sont enregistrées à la station Kinzamba (6,02±0,03 mg/L) en saison sèche contre 4,41±0,03 mg/L en saison des pluies. Elle est suivie par la station Pont Kabangu (5,51±0,07 mg/L) en saison sèche et 4,34±0,10 mg/L en saison des pluies. À l'inverse, la valeur moyenne la plus faible a été obtenue à la station Pont Kunga (4,76±0,08 mg/L) en saison sèche et 3,42±0,03 mg/L en saison des pluies.

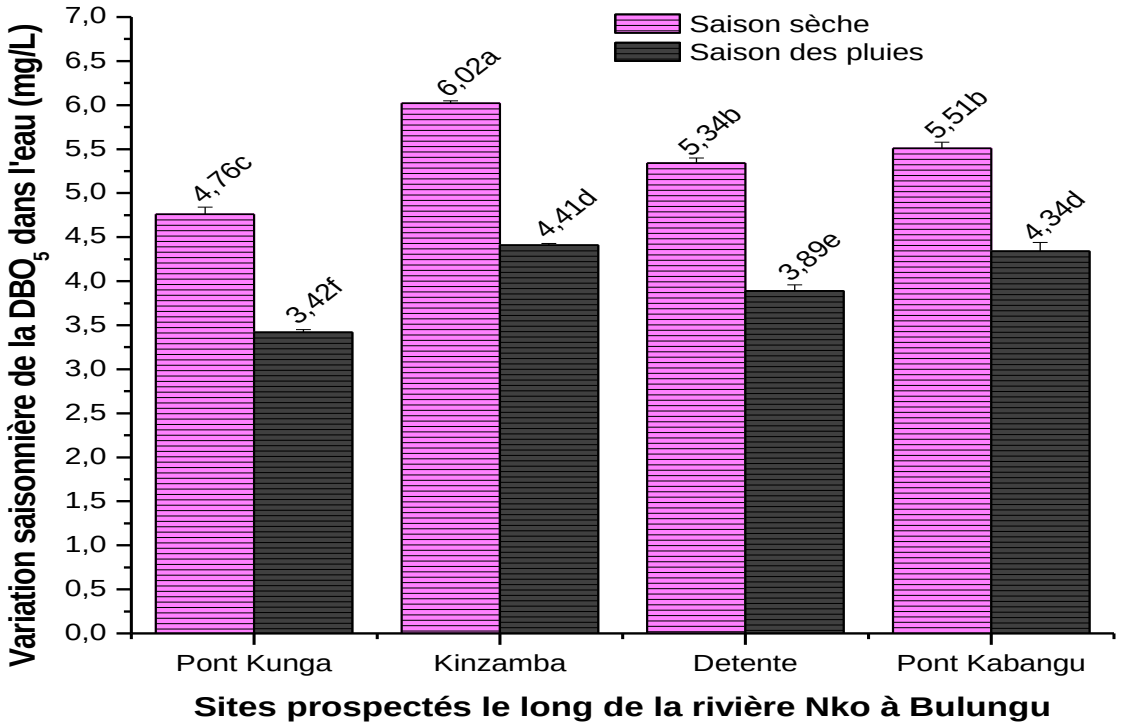


Figure 12. Variation saisonnière de la demande biochimique en oxygène dissous (mg/L) dans l'eau de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Matières en suspension

La concentration des matières en suspension dans l'eau de la rivière Nko est dépendante de la saison de l'année (figure 13). Les résultats obtenus indiquent que la rivière est plus chargée en MES durant la saison sèche avec une différence statistique très hautement significative (F = 209 ; p = 0,0000 ; Tukey HSD = 0,8137) par rapport à la saison des pluies. Les concentrations les plus élevées ont été obtenues sur les sites Pont Kabangu (soit 10,06±0,06 mg/L) suivies du site Detenete (soit 5,85±0,46 mg/L), et la faible concentration a été relevée sur le site Pont Kunga (soit 3,44±0,39 mg/L). Durant la saison des pluies, le même constat de l'augmentation des MES dans la rivière de l'aval (site Pont Kabangu) vers l'amont (Site Pont Kunga) de celle-ci.

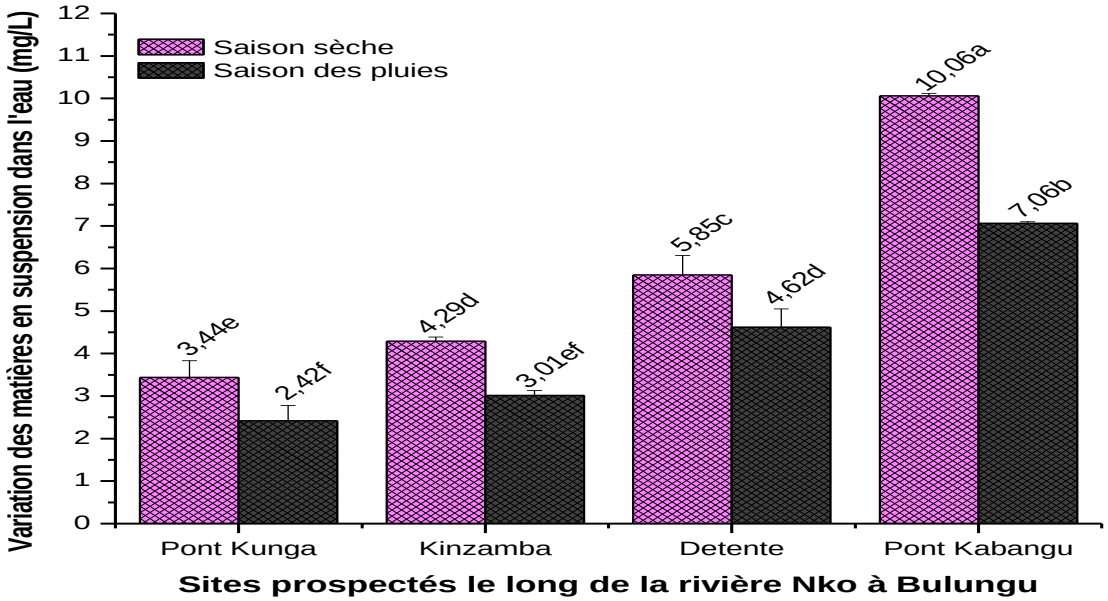


Figure 13. Variation saisonnière des matières en suspension (mg/L) dans l'eau de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Phosphates

La concentration des ions phosphates suit l'influence de la saison et augmente d'amont en aval de la rivière Nko (figure 14). L'analyse de la variance à un facteur aux concentrations moyennes des ions phosphates met en évidence une différence statistique très hautement significative (F = 143 ; p = 0,0000) entre les saisons et les sites prospectés. Avec une valeur critique de comparaison de 0,4507 ; le test de Tukey HSD révèle que les concentrations les plus élevées de ces ions ont été obtenues durant la saison sèche notamment dans le site Pont Kabangu (soit 4,08±0,03 mg/L durant la saison sèche et 2,88±0,03 mg/L durant la saison des pluies) suivi du site Detente (soit 3,22±0,05 mg/L durant la saison sèche et 2,27±0,02 mg/L durant la saison des pluies) et la faible concentration est relevée sur le site Pont Kunga (soit 1,31±0,33 mg/L durant la saison sèche et 0,54±0,23 mg/L durant la saison des pluies).

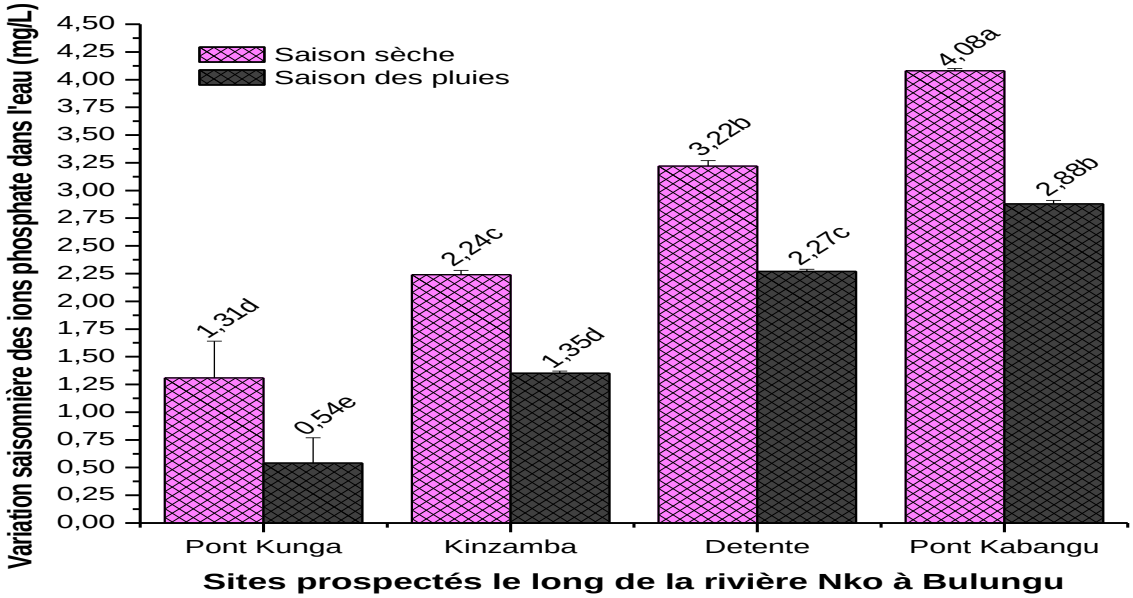


Figure 14. Variation saisonnière des ions phosphate (mg/L) dans l'eau de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

Nitrates

C'est durant sèche que la rivière Nko accumule des grandes concentrations en ions nitrates par rapport à la saison des pluies (figure 15). L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) appliquée aux concentrations moyennes des ions nitrates sur chaque site dégage une différence statistique très hautement significative (F = 8192 ; p = 0,0000 ; Tukey HSD = 0,4039) ; les concentrations les plus élevées étant relevées durant la saison sèche notamment sur le site Pont Kabangu (soit 33,54±0,26 mg/L) suivi du site Detente (soit 28,83±0,15 mg/L) puis Kinzamba (soit 21,33±0,06 mg/L) et enfin Pont Kunga (soit 14,15±0,09 mg/L). Durant la saison des pluies, la tendance se dégage où on observe les fortes concentrations des ions sur le site Pont Kabangu en aval et une faible concentration en amont sur le site Pont Kunga.

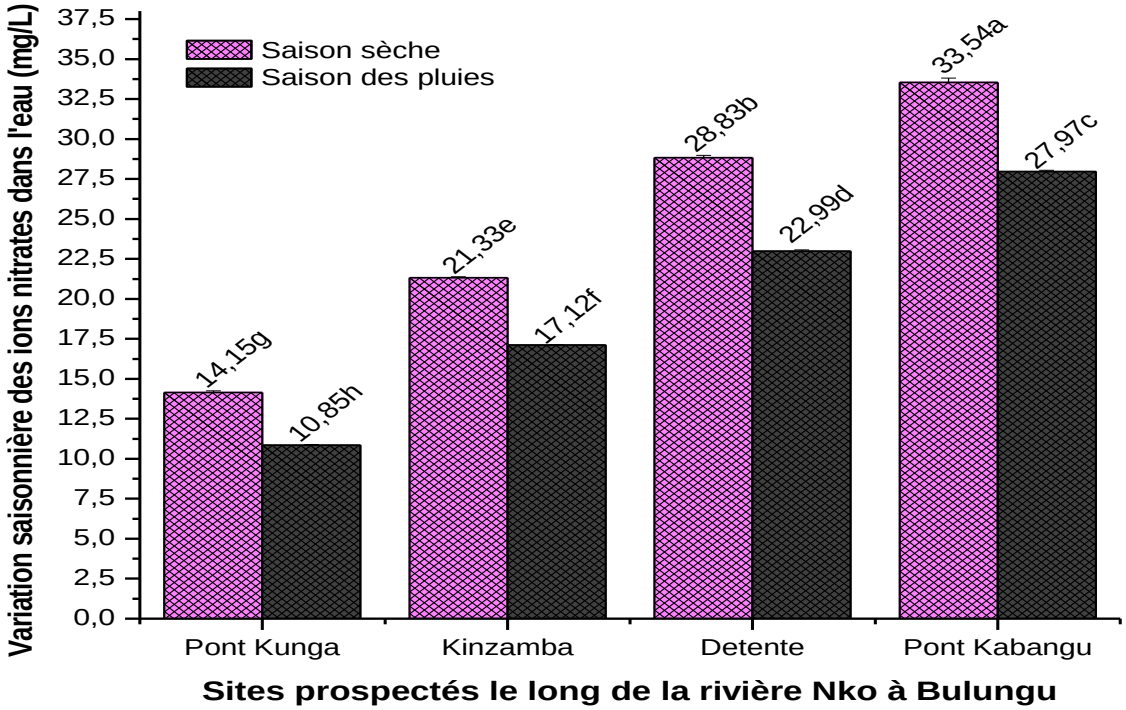


Figure 15. Variation saisonnière des ions nitrates (mg/L) dans l'eau de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

3.4. Activités anthropiques

Les activités anthropiques recensées le long de la rivière Nko sur les sites d'échantillonnage établis le long de cette rivière sont consignées au tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Différentes activités anthropiques recensées le long de la rivière Nko au cours de cette étude

Activités	**Sites d'échantillonnage**			
	Pont Kunga	**Kinzamba**	**Détente**	**Pont Kabangu**
Baignade	X	X	X	X
Lessive	X	X	X	X
Pisciculture	X	X	X	X
Peche artisanale	X	X	X	X
Huilerie à palme	-	X	X	-
Lavage automobile	-	-	X	-
Ruissage de manioc	X	X	X	X
Agriculture et maraichage	-	X	X	X
8	**X5**	**X7**	**X8**	**X6**

Globalement, le long du tronçon étudié de la rivière Nko, la station Détente présente la plus forte concentration d'activités anthropiques, enregistrant la totalité des pressions recensées (8 sur 8, soit 100 %). Elle est suivie par la station Kinzamba, où 7 des 8 activités sont représentées (87,5 %). La station Pont Kabangu occupe la troisième position avec 6 activités identifiées (75 %), tandis que la station Pont Kunga affiche l'impact le plus faible avec un total de 5 activités sur 8 (62,5 %). Cette moindre anthropisation à la station Pont Kunga pourrait s'expliquer par les caractéristiques morphométriques et hydrodynamiques du cours d'eau à cet endroit, notamment la faible largeur du lit, la profondeur réduite, la vitesse d'écoulement élevée ainsi que la configuration abrupte du bassin versant adjacent.

3.5. Analyses multivariées

Les analyses multivariées ont été effectuées à deux niveaux notamment : la classification hiérarchique ascendante ainsi que les analyses en composantes principales tels que repris ci-dessous.

Classification hiérarchique ascendante

La matrice de corrélation basée sur la classification hiérarchique ascendante des sites Pont Kunga, Kinzamba, Detente et Pont Kabangu prospectés le long de la rivière Nko dans le territoire de Bulungu montre une légère variation entre la saison sèche et la saison des pluies (figure 16). Durant la saison sèche (coefficient de corrélation de Person R^2 = 0,7685) comme des pluies (coefficient de corrélation de Person R^2 = 0,712), les sites Detente et Pont Kabangu forment une entité écologique différente de la deuxième entité, constituée par les sites Kinzamba et Pont Kunga. Ces résultats témoignent d'avantage que les sites qui se rapprochent présentent des caractéristiques abiotiques similaires.

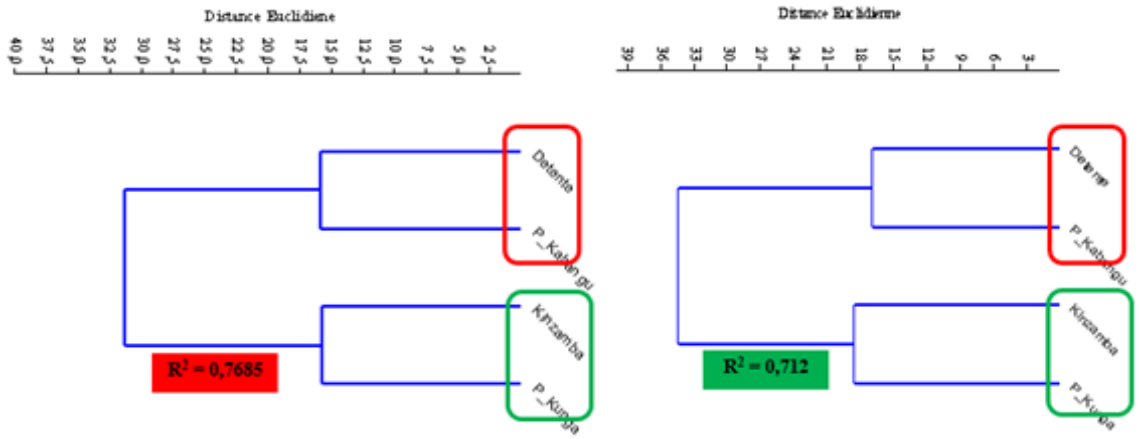


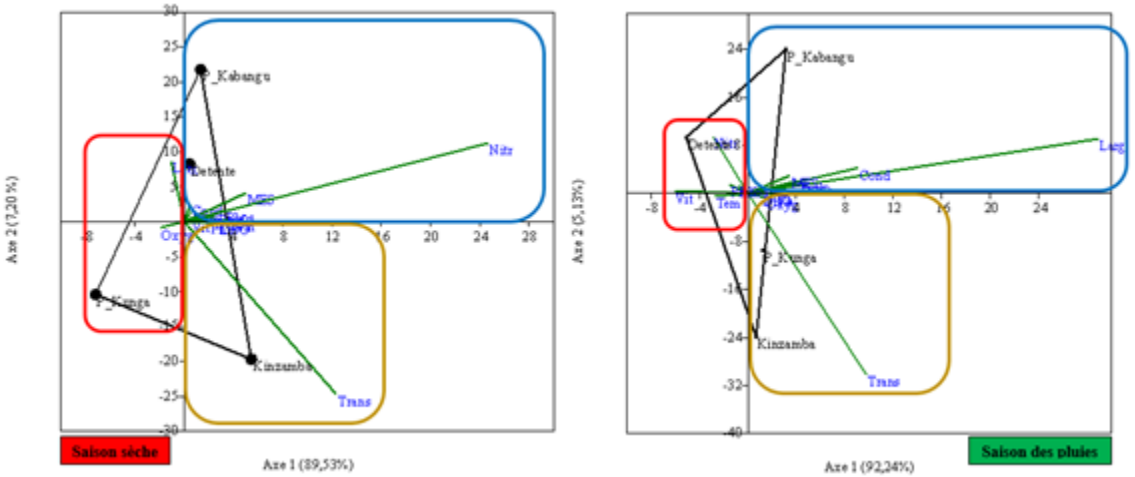
Figure 16. Regroupement des sites d'études en fonction de la similarité basée sur les caractéristiques hydrologiques, physiques et chimiques de l'eau de la rivière Nko à Bulungu

Analyses en composantes principales

Les paramètres hydrologiques, physiques et chimiques analysés régissent fortement le fonctionnement abiotique de la rivière Nko, avec des dynamiques distinctes entre la saison sèche et la saison des pluies (figure 17).

En saison sèche, les deux premiers axes factoriels expriment l'essentiel de la variance. Les stations Pont Kabangu, Détente et Kinzamba sont positivement corrélées à l'axe 1, qui s'approprie à lui seul 89,53 % de l'inertie totale (valeurs propres). Cet axe est défini par la majorité des variables environnementales, à savoir : les concentrations en ions nitrates (NO_3^-), les matières en suspension (MES), la transparence, la conductivité électrique, la turbidité, le potentiel d'hydrogène (pH), la DCO, la DBO_5, la profondeur de la colonne d'eau ainsi que la vitesse du courant. Ces descripteurs constituent les principaux facteurs structurant le milieu abiotique de ces trois stations durant cette période. À l'inverse, la station Pont Kunga est positivement corrélée à l'axe 2 (7,20 % de la variance), où la teneur en oxygène dissous (O_2) émerge comme la variable explicative majeure.

En saison des pluies, la structuration des données se modifie. Les stations Pont Kabangu, Pont Kunga et Kinzamba se corrèlent positivement à l'axe 1, qui explique 92,24 % de la variance totale. Les caractéristiques abiotiques de ces stations sont alors principalement gouvernées par la largeur du lit, la transparence, la conductivité, les MES, les ions nitrates (NO_3^-) et phosphates (PO_4^{3-}), la turbidité, la DCO et la DBO_5. Par ailleurs, la station Détente s'isole sur l'axe 2, où la vitesse d'écoulement, la température de l'eau et le pH s'avèrent être les facteurs clés impactant la nature de l'habitat.



Légende : Trans = Transparence, Nitr = Nitrates, MES = Matières en suspension, Larg = Largeur du lit, Cond = Conductivité, Oxy = Oxygène dissous, Temp = Température et Vit = Vitesse d'écoulement d'eau

Figure 17 : Matrice de corrélation d'Analyses en Composantes Principales (ACP) basée sur les variables abiotiques relevées durant la saison sèche et saison des pluies dans la rivière Nko dans le territoire de Bulungu

4. DISCUSSION

Dans la structuration des écosystèmes aquatiques, il existe un lien étroit entre la saisonnalité et la dynamique des facteurs abiotiques (Luizi *et al.*, 2024). Ces variables fluctuent au gré des cycles saisonniers, affectant directement la survie, le développement et la reproduction des organismes vivants (Munganga *et al.*, 2026). Les résultats de la présente étude démontrent que les variations hydrologiques, physiques et chimiques de la rivière Nko dépendent étroitement du rythme des saisons.

Pendant la période pluvieuse, le débit atteint son maximum sous l'effet de précipitations intenses qui saturent les bassins versants (Pfaundler, 2011). Cet apport engendre une augmentation de la lame d'eau, ce qui accélère la vitesse du courant et accroît le débit hydrosphérique (Kamagaté, 2006). À l'inverse, en saison sèche, le débit subit une baisse drastique consécutive au déficit pluviométrique et à une évapotranspiration intense, induisant un fort ralentissement de l'écoulement. Par ailleurs, à volume de précipitations égal, les pluies de fin de saison génèrent un ruissellement plus rapide et volumineux que celles de début de saison, le bassin versant étant déjà saturé (Pfaundler, 2011).

Au cours de cette étude, la vitesse du courant de la rivière Nko s'est révélée plus élevée en saison des pluies qu'en saison sèche. Le maximum a été enregistré à la station Détente (1,98+0,8 m/s) et le minimum à la station Kinzamba (0,59±0,03 m/s). En saison sèche, le flux le plus rapide a été observé à la station Pont Kabangu (0,57± 0,04 m/s) et le plus lent à la station Détente (0,29±0,02 m/s}). Ces valeurs s'avèrent supérieures à celles rapportées par Soro *et al.* (2021), dont les vitesses moyennes oscillaient entre 0,03 m/s (saison sèche) et 0,21 m/s (saison des pluies). Des dynamiques saisonnières similaires ont toutefois été documentées par N'da *et al.* (2015) sur le fleuve Bandama et Aboua (2012) sur la rivière Bagoé en Côte d'Ivoire.

Par ailleurs, la profondeur de la rivière Nko n'a que faiblement fluctué entre les saisons, avec des moyennes s'étendant de 16,8±1,44 (station Pont Kunga en saison sèche) à 31,5±0,9 m (station Pont Kabangu en saison des pluies). Cette faible amplitude de variation verticale s'explique par le profil topographique encaissé du lit de la rivière

Nko, dont les berges abruptes limitent l'étalement latéral des eaux lors des crues.

Les températures moyennes de l'eau de la rivière Nko concordent avec les observations d'Iltis et Lévêque (1982) dans les cours d'eau de Côte d'Ivoire, de Boika *et al.* (2021) dans la forêt inondée du Lac Tumba en RD Congo, et de Luizi *et al.* (2024). Durant notre suivi, la température moyenne a oscillé entre 23,89±0,35 °C (station Pont Kunga en saison sèche) et 26,48±0,36 °C (station Kinzamba en saison des pluies). Cette hausse thermique durant la saison des pluies s'explique par le fait que cette période coïncide avec le maximum de rayonnement solaire global et de température de l'air en zone intertropicale. De plus, l'absence ou la dégradation de la couverture de la canopée au niveau de la plupart des stations favorise une exposition directe du film d'eau au rayonnement incident. Conformément aux conclusions d'Iltis et Lévêque (1982), la température moyenne annuelle des cours d'eau africains se maintient autour de 28 °C et descend rarement sous le seuil de 25 °C. Ces similitudes s'expliquent par l'appartenance de tous ces milieux d'étude à la même zone climatique intertropicale africaine.

La saisonnalité exerce une influence majeure sur la conductivité électrique et la turbidité de l'eau, qui fluctuent en réponse directe aux forçages hydroclimatiques (Ille, 1997). En hydrochimie, ces deux variables manifestent souvent des comportements opposés : la dilution par les eaux de pluie tend à abaisser la conductivité tout en augmentant la turbidité par apport de sédiments (Kamagaté, 2006). Pourtant, dans la rivière Nko, la conductivité la plus élevée a été enregistrée en saison des pluies à la station Kabangu (24,2±1,44 µS/cm) contre 15,9±0,54 µS/cm en saison sèche), tandis que le minimum a été observé à la station Pont Kunga (17,8±1,08 µS/cm) en saison des pluies et 12,7±0,62 µS/cm en saison sèche. Ces conductivités élevées en période pluvieuse s'expliquent par l'intensité du ruissellement qui lessive les agrosystèmes périphériques, chargeant le cours d'eau en ions issus des intrants ou de la décomposition de la matière organique.

Parallèlement, la turbidité maximale a été atteinte en saison des pluies à la station Pont Kabangu (11,80±0,72 NTU) et la plus faible à Kinzamba (8,60±0,60 NTU). En saison sèche, une tendance identique se dessine avec un gradient décroissant d'aval en amont, culminant à la station Pont Kabangu (8,00±0,20 NTU). Ces valeurs globales indiquent que les eaux de la rivière Nko sont faiblement minéralisées (pauvres en ions majeurs) et peu turbides, des caractéristiques proches de celles obtenues par Gouin *et al.* (2016) et Soro *et al.* (2021). Soro *et al.* (2021) ont rapporté des conductivités variant de 26 µS/cm à 91 µS/cm dans le bassin du Haut-Bandama. En saison des pluies, la hausse conjointe de la turbidité et de la conductivité résulte de l'érosion pluviale qui entraîne les sédiments, les débris organiques et les sels minéraux des zones d'interfluve vers le réseau hydrographique (DGCSCEAEQ, 2023). En saison sèche, la baisse de la turbidité découle de la chute de l'énergie hydrodynamique du ruissellement ; le transport particulaire faiblit, ce qui favorise les processus de sédimentation et de décantation (Gouin *et al.*, 2016).

La visibilité ou la transparence de de l'eau, généralement évaluée par le degré de profondeur de Secchi, constitue un indice crucial de la qualité de l'eau (eutrophisation, bien-être des écosystèmes) et peut fluctuer considérablement en fonction des saisons (Tormos *et al.*, 2024). Elle est conditionnée par la quantité de particules en suspension (comme le phytoplancton et les sédiments) qui entravent l'infiltration de la lumière (MELCC, 2016). L'évaluation de la transparence de l'eau dépend du nombre de particules qui colorent ou entraînent les eaux turbides, notamment : le phytoplancton en suspension, les zooplanctons et autres micro-organismes, les particules du sol et les résidus organiques (matières en suspension), ainsi que les composants humiques dissoutes colorées (carbone organique dissous, etc. (Lévêque *et al.*, 1983 ; MELCC, 2016). L'eau transparente est un critère qui influence les organismes aquatiques tout comme la majorité des autres paramètres ; une réduction de sa transparence provoque multiples impacts tels que : (1) la réduction de la visibilité pour les poissons, ce qui compromet leur capacité à se nourrir et échapper aux prédateurs, (2) la hausse du température de l'eau en surface, favorisant l'expansion des plantes aquatiques et des cyanobactéries, et (3) une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau due à une augmentation de la matière organique, modifiant ainsi l'habitat pour les espèces existantes (MELCC, 2016).

Au cours de cette étude, la transparence de l'eau de la rivière a suivi la variation de la saison. Elle a été plus transparente sur le site Kinzamba (soit 81,53±2,85 cm durant la saison sèche et 75,68± cm durant la saison des pluies) et la faible

transparence a été relevée sur la site Pont Kabangu vers l'aval et l'exutoire de la rivière (soit 45,22±3,58 cm durant la saison sèche et 32,39±3,53 cm durant la saison des pluies). Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Menga *et al. (*2025) où, les valeurs moyennes de transparence ont été fortement influencées par la variation saisonnière. Dans leur étude, ces derniers ont relevé des valeurs moyennes de transparence comprise entre 0,72±0,03 mètre durant la saison sèche et 0,87±003 mètre durant la saison des pluies.

Du point de vue chimique, l'eau de la rivière Nko a été acide durant la saison sèche (soit 5,59±0,24 sur le site Pont Kunga) et neutre à tendance basique durant la saison des pluies respectivement sur les sites Kunga (7,91±0,53), Pont Kabangu (7,86±0,54) et Kinzamba (7,52±0,25). Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Gouin *et al.* (2016) en Côte d'Ivoire (pH compris entre 6,5 et 7,9 avec une moyenne de 7,2±0,4 en saison de crue et 7,6 et 9,1 avec une moyenne de 8±0,3 en saison sèche) ; Pwema *et al.* (2023) dans la rivière Kwilu en RD Congo (alcalinité de l'eau compris entre 6,09±0,26 et 6,12±0,08) ; Menga *et al.* (2025) dans les rivières Inzia et Lukula en RD Congo (pH compris entre 7,78±0,24 et 8,59±0,3). Selon les observations faites par Gouin *et al.* (2016), ces niveaux de pH reflètent un milieu propice à la croissance de la vie aquatique, et l'acidité modérée des eaux met en évidence l'impact des eaux intérieures, généralement alcalines, comparées à celles d'origine continentale. La variation du potentiel d'hydrogène telle qu'observée dans la présente étude se justifie par l'apport des matières organiques dans l'eau ainsi que des processus biologiques divers. En effet, le pH est affecté par les processus biologiques et géologiques qui se déroulent dans un milieu hydrique, ainsi que par la composition des terrains qu'il traverse (N'Douba, 2000). De plus, les activités humaines menées dans le bassin versant et la température de l'eau ont un impact significatif sur les processus biologiques (Soro *et al.,* 2021). Au cours de cette étude, quelques activités anthropiques ont été recensées d'amont en aval de la rivière Nko bien que réalisées à des faibles intensités et, ne constitueraient pas un danger pour le fonctionnement de l'hydrosystème étudié.

Quant à la concentration d'oxygène dissous dans l'eau, elle a fluctué en fonction des saisons de l'année avec une teneur élevée obtenues durant la saison sèche par rapport à la saison des pluies. La rivière a été plus oxygénée d'amont en aval avec une valeur élevée dans le site Pont Kunga (soit 5,22±0,14 mg/L durant la saison sèche et 4,2±0,15 mg/L durant la saison des pluies) et la faible teneur en oxygène dissous a été relevée sur le site Pont Kabangu (soit 3,71±0,06 mg/L durant la saison sèche et 3,05±0,04 mg/L durant la saison des pluies). Ces résultats restent légèrement inférieurs de ceux obtenus par Menga *et al.* (2025) (teneur oxygène dissous comprise entre (8,2±0,17 et 8,96±0,05 mg/L) et proches de ceux relevés par Gouin *et al.* (2016) qui ont relevé varient entre 3,5 $mg.L^{-1}$ et 7,8 $mg.L^{-1}$ avec une moyenne de 5,9±1,2 $mg.L^{-1}$ en saison de crue et en saison sèche, elles ont varié entre 1,1 $mg.L^{-1}$ et 6,5 $mg.L^{-1}$ avec une moyenne de 5,2±1,1 $mg.L^{-1}$. La faible teneur d'oxygène dissous relevée durant la saison des pluies au cours de cette étude peut s'expliquer par le fait que les eaux de ruissellement qui arrivent dans la rivière Nko durant la saison des pluies sont plus chargées en matières organiques, une fois en décomposition, contribuent à la consommation d'oxygène dissous dans l'eau et, ces observations ont été faites par Soro *et al.* (2021) qui ont fait le même constat. En effet, la dégradation de ces substances organiques, liée à l'utilisation d'oxygène, va provoquer une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau (Laane *et al.,* 1985). Selon Galvez-Cloutier *et al.* (2002), l'appauvrissement en oxygène d'un environnement peut également être attribué à une prolifération excessive d'algues et de macrophytes, ce qui aggrave les problèmes d'eutrophisation. De plus, la capacité de l'eau à se charger en oxygène dissous est également influencée par la température, car une hausse de celle-ci entraîne une diminution subséquente de l'oxygène dissous (Villeneuve *et al.,* 2006) dans les eaux les plus exposées. Par ailleurs, la fraicheur et faible température de l'air atmosphérique conduisant ainsi au faible évaporation de l'oxygène à la surface de l'eau contribuent à la stabilité de la teneur en oxygène dissous dans l'eau. De manière générale, les teneurs d'oxygène dissous relevée au cours de cette étude sont favorables au maintien de la vie des organiques aquatiques.

Les sels nutritifs (orthophosphates et nitrates) dosés dans les eaux de la rivière Nko ont présenté des concentrations plus importantes en saison sèche par rapport à la saison des pluies. Les valeurs moyennes des ions phosphates sont passées de 4,08±0,03 mg/L au site Pont Kabangu

durant la saison sèche à 0,54±0,23 mg/L au site Pont Kunga durant la saison des pluies. Quant aux ions nitrates ils ont été plus concentrés au site Pont Kabangu durant la saison sèche et très faibles au site Detente durant la saison des pluies. Orou *et al.* (2016) ont noté des niveaux de sels nutritifs assez élevés pendant la saison sèche comparativement à la saison pluvieuse. Les concentrations élevées de ces ions vers l'aval de la rivière Nko traduit le caractère anthropique relevé dans ces sites de l'aval de la rivière Nko, sous influence permanente de la population de la cité de Bulungu pour diverses raisons notamment la lessive, la baignade, l'agriculture vivrière, etc. Ces concentrations traduisent aussi un enrichissement de la rivière par la libération des nutriments à travers la décomposition de la matière organique notamment d'origine végétale (Orou *et al.,* 2016). De plus, le potassium constituant un composant libre dans les tissus végétaux et indispensable pour leur composition, la décomposition de ces derniers peut élever la concentration de potassium dans les eaux stagnantes pendant la saison sèche (Leroy, 1968). En plus de cet apport nutritif, on dénombre parmi les réserves organiques des sites non déboisés, les recharges occasionnelles provenant du sédiment (déstratification, etc.), ainsi que des contributions d'origine allochtone (excréments) associées à la visite des troupeaux d'animaux aux abords des rivières (Soro *et al.,* 2021). Selon Maurice (1993), la réduction du niveau de phosphore serait attribuée à une intense activité dans l'environnement, entraînant une absorption du phytoplancton. Les fortes concentrations de sels nutritifs peuvent également être dues à des causes naturelles, comme la décomposition de matières vivantes ou mortes, ou être liées au type de substrat ou à la géomorphologie de la région que traverse la rivière (Laurent, 2012). Du fait du rapport d'infiltration étroit entre les eaux superficielles et souterraines, la teneur en potassium des eaux de surface peut être affectée par celle des eaux souterraines via la roche mère (Bouanani, 2000).

L'approche de classification hiérarchique ascendante combinée, appliquée en période sèche et pendant la période des pluies, sur les sites explorés a permis : (1) d'illustrer que les paramètres hydrologiques, physiques et chimiques des eaux de la rivière Nko varient d'une saison à l'autre ; (2) d'identifier deux entités écologiques distinctes présentant des caractéristiques physico-chimiques divergentes. Le groupe intégrant les sites en amont (Pont Kunga et Kinzamba) présente une dégradation moins importante comparée au groupe qui englobe les sites en aval tels que Detente et Pont Kabangu, ceci étant dû à des concentrations plus élevés de divers paramètres physiques et chimiques. En effet, lors de la saison des pluies, la plupart des eaux de ruissellement provenant de la ville de Bulungu et des systèmes agroproductifs de la région atteignent principalement le secteur du Pont Kabangu. C'est notamment la saison des pluies qui entraîne la dégradation physico-chimique des eaux de la rivière Nko, phénomène attribué à tous ces facteurs.

5. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'analyser les variations spatio-temporelles des paramètres hydrologiques et physico-chimiques de la rivière Nko, située dans le territoire de Bulungu (Province du Kwilu, République Démocratique du Congo). Les résultats obtenus démontrent que la dynamique des variables hydrologiques, physiques et chimiques de ce cours d'eau est étroitement tributaire du rythme des saisons. De manière générale, les caractéristiques abiotiques enregistrées répondent favorablement aux exigences écologiques de la majorité des organismes aquatiques, notamment de l'ichtyofaune, en dépit d'une tendance à l'enrichissement en nutriments observée durant la saison sèche.

Les valeurs moyennes du débit, de la profondeur, de la transparence, du potentiel d'hydrogène (pH) ainsi que de la teneur en oxygène dissous attestent de la présence de niches écologiques et d'habitats fonctionnels viables pour le biotope aquatique. En tant que première étude d'envergure menée sur la rivière Nko, et au regard de l'importance socio-économique et écologique de cet écosystème, plusieurs perspectives de recherche se dégagent. Des travaux ultérieurs axés sur l'inventaire de la diversité biologique, et plus particulièrement sur l'ichtyofaune, s'avèrent indispensables. Ils permettront d'apporter des données complémentaires inédites sur la structure, la santé et le fonctionnement global de cet écosystème aquatique.

Références

Aboua B.R.D., 2012. *Développement d'un indice d'intégrité biotique piscicole pour la préservation de la biodiversité du fleuve Bandama*. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 227 p.

AFNOR (Agence Française de Normalisation)., 2009. *Qualité de l'eau-prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes*. PT 90-333, 15 p.

Bashige E., Sisa M.E., Mutambel'hity S.N.D. & Kamb T.J.-C., 2026. Diagnostic intégré de la qualité des eaux de la rivière Bumbu (Kinshasa, RD Congo) à Partir d'indices physico-chimiques, bactériologiques et trophiques. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 55(2), 652 – 667.

Bassakouahou G., Ngouala M.M. & Mbilou G.U., 2024. Variations saisonnières des paramètres physico-chimiques des eaux de surface du bassin versant de la Loutété et ses environs, Sud-est du Congo. *Afrique SCIENCE*, 25(1), 61-74.

Boika M.N.A., Lusasi S.W., Nsimanda I.C., Pwema, K.V. & Musibono E.D., 2022. Influence of environmental variables on fish distribution in the flooded swamp forest of the lake Tumba Micro-basin on the Mbandaka-Research Center in Ecology and Forestry of Mabali (CREF Mabali) Road Axis in Bikoro, Equateur Province (DR Congo). *Annual Research & Review in Biology*, 37(7), 25-43. *DOI: 10.9734/ARRB/2022/v37i730520.*

Boika M.N.A., Pwema K.V., Lusasi S.W., Musibono E.D. & Ifuta N.B.S., 2021. Diversité ichtyologique de la forêt marécageuse inondée du réseau hydrographique du Lac Tumba sur l'axe routier Mbandaka-CREF Mabali à Bikoro, Province de l'Equateur (RD Congo). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 25(2), 156-168.

Bouanani A., 2000. *Hydrologie, transport solide et modélisation. Étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie).* Thèse de Doctorat d'État, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie, 255 p.

DGCSCEAEQ (Direction Générale de la Coordination Scientifique et du Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec), 2023. *Méthode d'analyse : Détermination du pH, de la conductivité et de la turbidité dans l'eau : méthode par titrateur robotisé.* Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les Changements Climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), 14 p. www.environnement.gouv.qc.ca.

Egbolomo L.R., 2022. Caractérisation physico-chimique de l'eau de la rivière Botema Bofala Nkele à Mbandaka. *Mouvements et Enjeux Sociaux - Revue Internationale des Dynamiques Sociales*, 115(2), 93-97.

Fangstrom I. & Willen E., 1987. Clustering and canonical correspondance analyns of phytoplankton and environnemental variables in Sweedish lakes. *Vegetation*, 71, 87-95.

Galvez-Cloutier R., Ize S. & Arsenault S., 2002. La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyen de lutte contre l'eutrophisation, Gestion de l'eau. *Vecteur Environnement*, 35(6), 18-37.

Gouin C.A., Adiaffi B., Aka N., Bamba S.V. & Soro N., 2016. Bathymétrie et évolution saisonnière des sels nutritifs (NO_{3-}, NO_{2-}, NH^{4+} et $PO^{4}{}_{3-}$) de la lagune de Mondoukou dans l'estuaire du fleuve Comoé, Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 12(2), 82- 93.

Houelome A.M.T., Adandedjan D., Chikou A., Imorou T.I., Youssao I. & Laleye P., 2017. Caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *Afrique SCIENCE*, 13(4), 35(49.

Ille A., 1997. *Suivie de la variation saisonnière de quelques paramètres biologique et physico-chimique et de l'évolution de la superficie d'eau des lacs de Bagre*. Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural en Eau et Foret, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 100 p.

Iltis A. & Lévêque C., 1982. Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 15, 115-130.

Kakedi J., Kidikwadi E., Ntalakwa M., Belesi H. & Lubini C., 2021. Etude préliminaire sur la flore et la végétation de la vallée de la rivière Lukula/territoire de Masi-manimba/Kwilu-RD-Congo. *IJLRHSS*, 04, 63-70.

Kamagaté B., 2006. *Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin : Bassin versant de la Donga (Haute*

Vallée de l'Ouémé). Thèse de Doctorat en Sciences de l'Eau dans l'Environnement Continental, Université Montpellier II, France, 320 p.

Kawaya J.M., Otamonga J.P., Ngelinkoto P., Kabatusuila P. & Mubedi I.J., 2017. Caractérisation physico-chimique de l'eau de la rivière Lukunga dans la ville de Kinshasa (R.D. du Congo). *Larhyss Journal*, 29, 121-136.

Laane D.J., Pace B., Olsen G.J., Stahl D.A., Sogin M.L. & Pace N.R., 1985. Rapid determination of 16S ribosomal RNA sequences for phylogenetic analyses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 82, 6955-6959.

Laurent F., 2012. *Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales*. Thèse de doctorat, Sciences de l'environnement. Université du Maine, 185 p.

Leroy P., 1968. Variation saisonnières des teneurs en eau en éléments minéraux des feuilles de chêne (*Quercus pedunculata*). *Annales des Sciences Forestières*, 25(2), 83 - 117.

Lévêque C., Dejoux C. & Iltis A., 1983.- Limnologie du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire). *Hydrobilogia*, 100, 113 - 141.

Luizi B.A., Lusasi S.W., Kamb T.J.C., Pwema K.V. & Nyongombe U.N.F., 2024. Caractérisation physico-chimique des eaux de quelques écosystèmes aquatiques du bassin versant côtier de la République Démocratique du Congo dans la province du Kongo Central, territoire de Muanda. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 47(1), 335 - 366.

Lusasi S.W., Mayoni M.A., Munganga K.C., Lundika N.T., Mogbaka B.Y., Manikisa I., Kavumbu M.S. & Pwema K.V.., 2022. Synthèse sur l'Etat de lieu de la Pisciculture en République Démocratique du Congo : Enjeux et perspectives. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 32(1), 73-91.

Mafuta M.C., Woto E.L., Ngesevua L.D., Silulundi M.V., Siluakibanza N.J.J., Binzunga-Di-Nseka A., Munzemba M.B. & Kunsi N.I., 2018. Détermination de quelques paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux des rivières Kwilu et Ngongo en République Démocratique du Congo. *Afrique SCIENCE*, 14(3), 391-398.

Maurice L., 1993. La qualité des eaux dans l'estuaire de la gironde : 2-synthese. *Rev. Int. Deu.*, 17 Tfoulon, 52 p.

MELCC (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques/Canada)., 2016. *Protocole de mesure de la transparence de l'eau*. Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides), 3e édition, Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 9 p.

Menga K.D., Nzau M.B., Wamuini L.S., Kasiama G., Kosi Z.D., Bwazani B.J., Micha J.-C. & Ovidio M., 2025. Diversity and assemblage of ichtyofauna in an unexplored tropical aquatic ecosystem: Inzia River, Congo basin, *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 9(3), 404-435. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17390370.

Merlier F., 2017. L'état de conservation des habitats et espèces aquatiques d'eau douce d'intérêt communautaire : Les synthèses, Eau France. *Service public d'information sur l'eau,* N° 14, 16 p.

Munganga K.C., Lusasi S.W., Kavumbu M.S., Tembeni M.T., Mbimbi M.M.J. & Pwema K.V., 2026. Structure spatio-temporelle des populations de macroinvertébrés benthiques de la rivière Bibwa à Kinshasa, RD Congo. Rev. Cong. *Sci. Technol.*, 5(2), 519-536. DOI: https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i2.263.

N'Da S.A., Etilé R.N., N'zi K.G., Berté S. & N'douba V., 2015. Composition and distribution of zooplankton relationship to environmental factor in a tropical river: (Bagoe, Côte d'Ivoire). *International Research Journal of Biological Sciences*, 4(11), 1-11.

N'Douba V., 2000. *Biodiversité des monogènes parasites des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire : cas des poissons des rivières Bia et Agnébi.* Thèse de Doctorat d'État, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 250 p.

Orou R.K., Soro G., Soro D.T., Fossou R.M.N., Onetie O.Z., Ahoussi E.K. & Soro N., 2016. Variation saisonnière de la qualité physico chimique des eaux souterraines des aquifères d'altérites du Département d'Agboville (Sud-Est De La Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12(17), 213 - 240.

Pfaundler M., Dübendorfer C. & Zysset A., 2011. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Hydrologie – régime d'écoulement niveau R (Région). Office fédéral de l'environnement, Berne. *L'environnement pratique*, n° 1107, 113 p.

Piélou EC., 1984. *The interpretation of ecological data*. Wiley. New York, ISBN. 0-471-88950-4, 263 p.

Pwema K.V., Madianganu M.V., Manikisa I., Yaga N.C., Munganga K.C., Kavumbu M.S. & Lusasi S.W., 2023. Faune ichtyologique exploitée dans la rivière Kwilu dans la ville de Kikwit : Tronçon compris entre le Port Louise et le Pont Kwilu (R.D Congo). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 40(1), 269-288.

Pwema KV., 2014. *Ecologie alimentaire, reproduction et modes d'adaptation de cinq espèces de Labeo Cuvier, 1987 dans les milieux lentiques et lotiques du Pool Malebo dans le fleuve Congo*. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Université de Kinshasa, R.D Congo, 163 p.

Roche P., 2015. Evaluation : L'état des eaux de surface et des eaux souterraines. *Les synthèses*, N° 12, 12 p.

Saville D.J., 1990. Multiple comparaison procedures : the pratical solution. *American Statistician*, 44 (2), 174-180.

Scherrer B., 1984. Présentation des données. *Biostatique. Morin, G (Eds)*, 850 p.

Soro A.T., Silué K.D., Gogbé Z.M., Coulibaly L. & Gooré B.G., 2021. Paramètres physico-chimiques des eaux du bassin du Haut-Bandama (Côte d'Ivoire). *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27(1), 33-48.

Ter Braak C.J.F. & Smilauer P., 1998. *CANOCO Reference manual and user's guide to Canoco for Windows (version 4)*. Centre for Biometry, Ageningen, Pays Bas, 351 p.

Tormos T., Reynaud N., Morin G.P., Harmel T., Coqué A. & Manchon P., 2024. *Suivi par télédétection de la qualité de l'eau : Bilan & Perspectives*. Pôle R&D ECLA (OFB, Inrae, USMB), ⟨hal-05530416⟩, 131 p.

Villeneuve V., Légaré S., Painchaud J. & Warwick V., 2006. Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Revue des Sciences de l'Eau,* 19(4), 259-274.