

**Revue Congolaise des Sciences & Technologies**

ISSN: 2959-202X (Online); 2960-2629 (Print)

<https://www.csnrdc.net/>**OPEN ACCESS****REVUE
CONGOLAISE
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES****Caractérisation physicochimique des eaux du bassin versant de N'djili destinées à l'irrigation : cas du périmètre rizicole de Masina Rail 1 et du site agricole de la Tshangu en République Démocratique du Congo****[Physicochemical characterization of irrigation water in the N'djili watershed: the case of the Masina rail 1 rice-growing perimeter and the Tshangu agricultural site in the Democratic Republic of Congo]****Zelia Tshiala Ntata^{1,2*}, Génie-Spirou Kiala Lutonadio², Fiston Kayembe Kayembe² & Raphael Tshimanga Muamba²**¹*Faculté des sciences agronomiques et environnement, Département de Gestion des Ressources Naturelles, BP 127 Université de Kinshasa, RD Congo*²*Ecole Régionale de l'Eau (ERE) & Centre de Recherche en Ressources en Eau du Bassin du Congo (CRREBaC), BP 117 Université de Kinshasa (UNIKIN), RD Congo***Résumé**

Cette étude a examiné les caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'irrigation dans le bassin versant de la rivière N'djili. Les analyses ont évalué des paramètres tels que la conductivité électrique, la matière en suspension, la dureté, les ions et le pH, en les comparant aux normes de la FAO. Les résultats des sites de Masina Rail 1 (Site 1) et de Tshangu (Site 2) ont révélé des niveaux élevés de matière en suspension et de conductivité électrique, dépassant largement les limites recommandées. En revanche, d'autres paramètres, comme la température et les ions ammonium, nitrate et phosphate, étaient conformes aux normes d'irrigation, bien que des variations aient été constatées entre les deux sites. Il est donc essentiel de mettre en place des mesures de gestion pour réduire les contaminants, afin d'optimiser l'utilisation de l'eau pour l'irrigation. Une surveillance intégrée de tous les paramètres de l'eau, y compris les aspects microbiologiques, est recommandée pour une évaluation globale de sa qualité. De plus, il est important de former les agriculteurs et décideurs sur les bonnes pratiques de gestion de l'eau et les risques sanitaires associés à une mauvaise qualité de l'eau. Avec une approche intégrée de surveillance, de gestion et d'éducation, il sera possible de garantir des conditions optimales pour les cultures et d'assurer la durabilité des ressources en eau dans le bassin versant de N'djili.

Mots-clés : Irrigation, Qualité de l'eau, Gestion intégrée, Bassin versant de N'djili, Stratégies de gestion.**Abstract**

This study examined the physico-chemical characteristics of irrigation water in the N'djili river watershed. Analyses assessed parameters such as electrical conductivity, suspended solids, hardness, ions and pH, comparing them with FAO standards. Results from the Masina Rail 1 (Site 1) and Tshangu (Site 2) sites revealed high levels of suspended solids and electrical conductivity, well in excess of recommended limits. On the other hand, other parameters, such as temperature and ammonium, nitrate and phosphate ions, were within irrigation standards, although variations were noted between the two sites. It is therefore essential to implement management measures to reduce contaminants, in order to optimize the use of water for irrigation. Integrated monitoring of all water parameters, for an overall assessment of water quality. Specific action plans need to be developed for each parameter, taking into account seasonal variations and environmental changes. In addition, it is crucial to educate farmers and decision-makers about good water management practices and the health risks associated with poor water quality. With an integrated approach to monitoring, management and education, it will be possible to guarantee optimal conditions for crops and ensure the sustainability of water resources in the N'djili watershed.

Keywords: Irrigation, Water quality, Integrated management, N'djili watershed, Management strategies.

*Auteur correspondant : Zelia Tshiala Ntata, (zeliatshiala@gmail.com). Tél. : (+243) 831 336 543

 <https://orcid.org/0009-0003-7150-1574> ; Reçu le 08/05/2026 ; Révisé le 01/06/2026 ; Accepté le 24/06/2026

DOI : <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i3.302>

Copyright: ©2026 Ntata et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

Le bassin versant de N'djili couvre une superficie de 2053,58 km² et englobe une partie importante de la ville de Kinshasa ainsi que du Kongo Central. La rivière N'djili, qui serpente sur près de 30 Km dans l'Est de la plaine de Kinshasa avec un débit moyen de 22,3 m³/s, offre divers services liés aux ressources en eau tels que l'agriculture irriguée, la production d'hydroélectricité et le transport par voie navigable (Mufingizi et al., 2023). Le réseau hydrographique dense et les eaux souterraines du bassin versant de N'djili représentent une opportunité socioéconomique pour la population urbaine et péri-urbaine de la ville de Kinshasa et de la province du Kongo Central (Falasi, 2018 ; Luboya, 2002 ; Mufingizi et al., 2023).

En dépit de son potentiel hydrologique important qui pourrait favoriser divers services socioéconomiques associés à l'utilisation des ressources en eau, notamment dans l'élaboration de systèmes d'irrigation efficaces (Kakundika et al., 2019), les communautés résidant dans ce bassin versant font face à une grave insécurité alimentaire. L'agriculture, qui représente l'activité prédominante dans cette zone de drainage, demeure élémentaire et susceptible d'être affectée par les impacts du changement climatique, ce qui influence sensiblement la productivité agricole par hectare (Baï et al., 2019).

Pourtant cette agriculture urbaine et péri-urbaine peut occuper une place importante dans la lutte contre l'insécurité alimentaire, à cause de la croissance démographique galopante dans la ville de Kinshasa et ses périphéries, et peut contribuer sans nul doute à la résilience alimentaire. Pour atteindre cette résilience alimentaire, les approches de l'agriculture intelligente face au climat (Climate-Smart-Agriculture, CSA en sigle) peuvent être envisagées. Cela inclut l'utilisation des spéculations résilientes au climat, la maîtrise de l'eau pour l'irrigation, etc.

Les approches CSA, notamment la promotion de l'irrigation à petite et moyenne échelles, représentent une chance d'appuyer les initiatives de sécurité alimentaire dans le bassin agricole de la rivière N'djili (Baï et al 2019).

Selon les recherches, la mise en œuvre de systèmes d'irrigation dans l'aménagement des terres agricoles entraîne une augmentation significative de la productivité agricole et une amélioration de la résilience alimentaire (Kambire et al., 2022).

Toutefois, l'urbanisation rapide, alimentée notamment par une croissance démographique effrénée dans le bassin versant de N'djili, exerce une influence majeure sur la qualité de l'eau prévue pour l'usage d'irrigation. C'est une tendance significative spécifique aux régions urbaines, qui met une pression considérable sur les ressources naturelles en général et spécifiquement sur les ressources hydriques en ce qui concerne la contamination de l'eau due à l'évacuation de déchets et de résidus variés (déchets industriels, débris ménagers, pesticides et fertilisants agricoles, etc.). Cela entraîne principalement une pollution des ressources en eau accessibles et une intoxication des cultures irriguées (Arsini & D'ostuni, 2022).

Face à défi de promouvoir l'agriculture irriguée dans le bassin versant de N'djili, dans le contexte de l'urbanisation accélérée et de la pollution hydrique subséquente, il s'avère important d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau destinée pour l'irrigation conformément aux normes définies par la FAO en vue de proposer des mesures de gestion efficaces (FAO, 2022). L'analyse préliminaire de la qualité d'eau dans un bassin versant pour des fins d'irrigation est essentielle afin de déterminer les éléments nutritifs et nuisibles dissouts dans l'eau, et d'établir le degré de pollution.

Cette recherche a été lancée pour définir les propriétés des eaux utilisées pour l'irrigation du périmètre rizicole de Masina Rail 1 et du site agricole de la Tshangu situés dans le bassin versant de N'djili. L'étude met en lumière leurs caractéristiques physiques et chimiques en référence aux normes et standards limites de la FAO relatifs à la qualité de l'eau d'irrigation.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation du milieu d'études

Cette étude s'est déroulée dans le bassin versant de la rivière N'djili plus précisément sur le site Masina Rail 1 et le site Agricole de la Tshangu dans la ville de Kinshasa en RDC. Le site Masina Rail 1 est compris entre les limites de 4°21'15,23844'' de latitude Sud et de 4°22'31,72068'' de latitude Sud, et les limites de 15°22'7,7520'' de longitude Est et 15°22'5,14704'' de longitude Est à 274, 4 m d'altitude. Tandis que le Site Agricole de la Tshangu est compris aux intervalles de 4°25'17,1714'' et 4°22'18,37818'' de latitude Sud, et dans les intervalles de 15°23' 25,22472'' de longitude Est et 15°23'27,078'' de longitude Est à 270,5 m

d'altitude. La [figure 1](#) présente la localisation géographique de la zone d'étude.

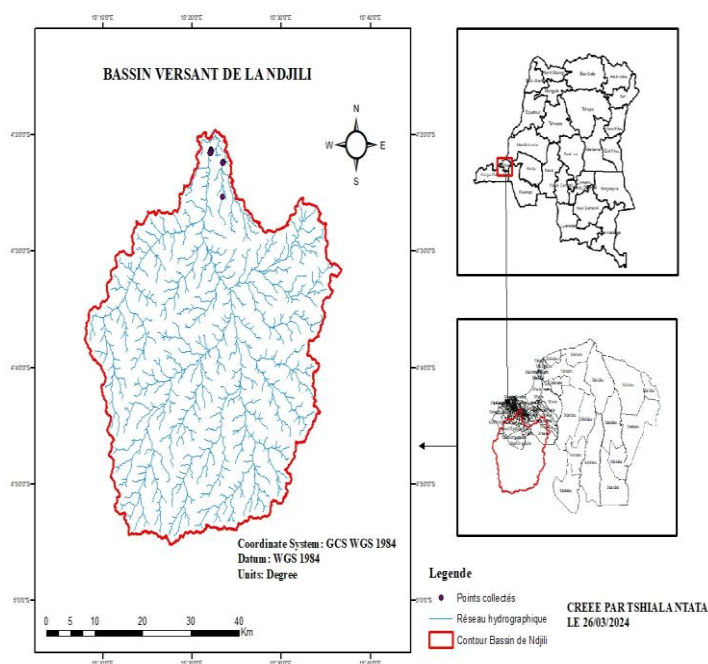


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude

Le bassin versant de la rivière N'djili tire sa source au Kongo Central dans les collines ([Luboya, 2002](#)) et s'étend de manière générale sur une superficie d'environ 2097 km², et compris entre 15°9' et 15°39' de longitude Est et 4°22' et 4°59' de latitude Sud ([Luboya, 2002](#) ; [UNEP, 2010](#) ; [Ndolo, 2015](#)). Le bassin versant de la rivière N'djili est délimitée géographiquement :

- Au nord : la rivière Lukunga (entre les communes de Selembao et de Ngaba) ;
- A l'est : la rivière Tshangu (entre les communes de Kimbanseke et de Maluku) ;
- Au sud : la rivière Nsele (entre les communes de Maluku et de Mont-Amba) ;
- A l'ouest : le Fleuve Congo.

2.2. Collecte des données

Hormis les échantillons d'eau qui ont été prélevés dans la rivière N'djili pour le Site Agricole de Masina Rail 1 et dans les puits dans le Site Agricole de la Tshangu qui ont fait l'objet du matériel principal.

Les autres matériels qui ont été utilisés sont les suivants : la sonde multi-paramètre, les bouteilles en plastique, la pirogue, un kit de marque MARCHERY-NAGEL, la pompe à vide, l'étuve et le dessiccateur, les logiciels statistiques R, Excel, Statistix 10.0.

2.3. Analyse des données

La méthodologie utilisée dans cette étude a consisté à la collecte des données notamment les échantillons d'eau sur les deux sites d'étude pour les analyses physiques et chimiques in situ (sur le terrain d'étude) et in vitro (au laboratoire). Les données résultant des analyses physicochimiques ont été ensuite encodées sur Excel et analysées statistiquement pour établir les tendances nécessaires. De plus, la revue documentaire a permis d'établir les comparaisons d'identifier les normes en termes d'extrêmes limites fixées par la FAO pour les eaux destinées à l'irrigation.

2.3.1. Identification des normes de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation

L'étude a recouru aux normes de la FAO. En effet, la FAO fournit des directives et des normes internationales pour la qualité de l'eau destinée à l'irrigation. Ces normes sont importantes car la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation peut avoir un impact significatif sur la santé des sols, des cultures et des écosystèmes. La Base de données FAOLEX fournit une documentation spéciale sur les normes de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation.

2.3.2. Collecte et analyse des échantillons in situ

La collecte des échantillons a été réalisée dans les deux sites d'étude pendant la petite saison sèche soit le 15 janvier et 28 février :

- Dans le site Agricole de Masina Rail 1 a consisté au prélèvement des échantillons d'eau dans les 4 sections transversales délimitées dans la rivière N'djili soit 2 sections transversales avant le point de captage du périmètre rizicole et 2 après le point de captage, aux équidistances au moins de 100 m. A la suite, 3 échantillons ont été prélevés par section transversale, soit 1 échantillon au milieu de la section et les 2 autres aux abords gauche et droite de la section transversale dans le but d'accroître la représentativité des échantillons et la précision de la mesure. Au total, 12 échantillons ont été prélevés dans le site Agricole de Masina 1.

- Dans le site agricole de la Tshangu : l'eau utilisée pour l'irrigation n'est pas surfacique (celle de la rivière), mais plutôt souterraine. Il s'agit en fait des puits qui ont été conçus pour répondre à ce besoin d'irrigation. Les mêmes principes d'échantillonnage appliqués dans le premier ont été également appliqués dans le second site. Les sections transversales sont remplacées ici par des puits.

L'analyse in situ avec la sonde multi-paramètres est une méthode pratique et efficace pour évaluer la qualité de l'eau sur le terrain. Les paramètres suivants

ont été immédiatement analysés in situ avec la sonde pour chaque échantillon : la Conductivité électrique, pH, la Résistivité, la Température de l'eau et le Total Dissolved Solid.

Pour garantir un bon état de conservation, les échantillons destinés aux analyses au laboratoire ont été placés à l'abri de la lumière et placés dans les glacières. Ils ont ensuite été transportés au laboratoire des Aliments de la Faculté des Sciences Agronomiques et de l'Environnement de l'Université de Kinshasa pour leur conservation dans un réfrigérateur à une température de 4°C avant de réaliser les diverses analyses au laboratoire.

2.3.3. Collecte et analyse des échantillons in vitro

Les analyses d'autres paramètres clés de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation, qui n'étaient pas réalisables avec la sonde, ont été réalisées au laboratoire des Aliments de la Faculté des Sciences Agronomiques et de l'Environnement de l'Université de Kinshasa. Il s'agit du niveau de l'ion ammonium, l'ion nitrite, l'ion nitrate, l'ion phosphate, la dureté de l'eau et la Matière en suspension.

2.3.4. Analyses statistiques des données issues des analyses physicochimiques des échantillons d'eau

Au-delà des analyses in situ et au laboratoire des échantillons d'eau prélevés dans la rivière et dans les puits, l'analyse statistique des données issues des analyses physicochimiques des échantillons d'eau est nécessaire pour évaluer la significativité des résultats obtenus dans les deux sites pour chaque paramètre et identifier les différences significatives entre différents sites d'échantillons en comparaison avec les normes fixées par la FAO pour chaque paramètre et les correspondances (composantes ou dimensions) entre les paramètres analysés. Ces analyses statistiques effectuées sont brièvement décrites ci-dessous.

a. Analyse de la Variance (ANOVA)

L'ANOVA est une méthode statistique utilisée pour comparer les moyennes de trois groupes (Site 1, Site 2 et Norme FAO) afin de déterminer s'il existe des différences significatives entre eux. Elle teste l'hypothèse nulle selon laquelle toutes les moyennes des groupes sont égales contre l'hypothèse alternative selon laquelle au moins une moyenne de groupe est différente. L'ANOVA décompose la variabilité totale des données en variabilité entre les groupes et au sein des groupes, et elle calcule une statistique F pour déterminer la signification des résultats.

b. Test Honestly Significant Difference de Tukey (HSD-T)

Le test HSD de Tukey est une analyse post-hoc réalisée après l'ANOVA si les résultats de l'ANOVA indiquent des différences significatives entre les moyennes des groupes. Il a été utilisé pour déterminer quelles paires spécifiques de moyennes de chaque paramètre de groupe sont différentes les unes des autres. Le test HSD de Tukey compare toutes les paires possibles de moyennes de groupe et fournit un intervalle de confiance pour la différence entre chaque paire. Si l'intervalle n'inclut pas zéro, la différence entre ces moyennes de groupe est considérée comme statistiquement significative.

c. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP est une technique de réduction de dimensionnalité utilisée pour transformer un grand ensemble de variables en un ensemble plus petit de variables non corrélées appelées composantes principales. Cette méthode a été particulièrement utile dans l'analyse exploratoire des données et pour la création de modèles prédictifs des différents paramètres. L'ACP fonctionne en identifiant les directions (composantes principales) le long desquelles la variance des données est maximisée. La première composante principale rend compte de la plus grande variance possible, et chaque composante suivante rend compte de la variance restante sous la contrainte d'être orthogonale (non corrélée) aux composantes précédentes. L'ACP aide à simplifier les données, à réduire le bruit et à mettre en évidence la structure sous-jacente.

3. Résultats

3.1. Significativité des paramètres physiques de l'eau entre les sites étudiées et les normes de la FAO

3.1.1. Caractéristiques physiques

Le [tableau II](#) présente les résultats de l'analyse de la variance des paramètres physiques réalisée pour les sites d'étude en comparaison avec la norme de la FAO.

Tableau I. Résultats de l'analyse de la variance des paramètres physiques de l'eau réalisée pour les sites d'étude en comparaison avec la norme de la FAO

Paramètres physiques	Site / Norme	Seuil de signification	F	P-Value	Significativité
T°C	Site 1	0,05	3,11	0,0939	**
	Site 2				
	Norme FAO				
Résistivité	Site 1	0,05	1542,26	0,0000	***
	Site 2				
	Norme FAO				
M.E. S	Site 1	0,05	16,21	0,0010	***
	Site 2				
	Norme FAO				
CE	Site 1	0,05	21440,7	0,0000	***
	Site 2				
	Norme FAO				
TDS	Site 1	0,05	5568760	0,0000	***
	Site 2				
	Norme FAO				

* : Significatif, ** : Très significatif, *** : Très hautement significatif

De ce tableau, Il ressort les traits essentiels suivants :

a. Température de l'eau :

- La valeur de F est relativement faible ($F = 3,11$), ce qui suggère qu'il y a peu de variation entre les moyennes des groupes par rapport à la variation à l'intérieur des groupes. La valeur p associée est élevée ($p = 0,0939$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est élevée.

- Ainsi, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. Les résultats de cette analyse de variance indiquent qu'il n'y a pas de différence significative dans les températures de l'eau d'irrigation entre les sites étudiés, ce qui suggère une uniformité dans la température de l'eau d'irrigation entre ces sites.

b. Résistivité :

- La valeur de F est très élevée ($F = 1542,26$), ce qui suggère qu'il y a une très grande variation entre les moyennes des groupes par rapport à la variation à l'intérieur des groupes. La valeur p associée est très proche de zéro ($p < 0,0001$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est extrêmement faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. Ces résultats suggèrent que les niveaux de résistivité dans l'eau d'irrigation varient considérablement en fonction de la source d'eau ou de la localisation du site d'irrigation

c. MES :

- La valeur de F est modérée ($F = 16,21$), ce qui suggère qu'il y a une variation significative entre les moyennes des groupes par rapport à la variation à l'intérieur des groupes. La valeur p associée est faible ($p = 0,0010$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. Ces résultats suggèrent que les niveaux de matière en suspension dans l'eau d'irrigation varient considérablement en fonction de la source d'eau ou de la localisation du site d'irrigation.

d. Conductivité électrique

- La valeur de F est très élevée ($F = 21440,7$), ce qui suggère qu'il y a une grande variation entre les moyennes des groupes par rapport à la variation à l'intérieur des groupes. La valeur p associée est très proche de zéro ($p < 0,0001$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est extrêmement faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les

moyennes des groupes. Les résultats de cette analyse de variance indiquent que les niveaux de conductivité dans l'eau d'irrigation varient significativement entre les sites étudiés.

e. TDS :

- La valeur de F est très élevée ($F = 5568759,96$), ce qui suggère qu'il y a une très grande variation entre les moyennes des groupes. La valeur p associée est très proche de zéro ($p < 0,0001$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est extrêmement faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. Les valeurs élevées de F et de la p-value proche de zéro indiquent qu'il existe des différences significatives dans les niveaux de TDS entre les différents sites étudiés.

3.1.2. Caractéristiques chimiques de l'eau

Le **tableau II** présente les résultats de l'analyse de la variance des paramètres chimiques réalisée pour les sites d'étude en comparaison avec la norme de la FAO.

*** : Très hautement significatif.

Il résulte de ce tableau ce qui suit :

a. Ammonium :

- La valeur de F est très élevée ($F = 470,68$), ce qui indique une grande variation entre les moyennes. La valeur p associée est très proche de zéro ($p < 0,0001$), ce qui signifie que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est extrêmement faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. La valeur élevée de F et de la p-value proche de zéro indiquent que les variations observées dans les niveaux d'ammonium entre les différents sites sont très probablement dues à des facteurs réels et non au hasard.

a. Nitrate :

- La valeur de F est élevée ($F = 183,00$), ce qui suggère qu'il existe une grande variation entre les moyennes des groupes. La valeur p associée est très proche de zéro ($p < 0,0001$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est extrêmement faible.

Tableau II. Résultats de l'analyse de la variance des paramètres chimiques de l'eau réalisée pour les sites d'étude en comparaison avec la norme de la FAO

Paramètres chimiques	Site / Norme	Seuil de signification	F	P-Value	Significativité
NH₄	Site1	0,05	470,68	0,0000	***
	Site2				
	Norme FAO				
NO₃⁺	Site1	0,05	183	0,0000	***
	Site2				
	Norme FAO				
NO₂	Site1	0,05	50,86	0,0001	***
	Site2				
	Norme FAO				
PO₄	Site1	0,05	0,17	0,84	-
	Site2				
	Norme FAO				
Ph	Site1	0,05	10,91	0,0039	***
	Site2				
	Norme FAO				
Dureté	Site1	0,05	38,64	0,0000	***
	Site 2				
	Norme FAO				

- : Pas de différence significative, * : Significatif, ** : Très significatif,

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les

moyennes des groupes. Les valeurs élevées de F et de la p-value proche de zéro indiquent que les variations observées dans les niveaux de nitrate entre les différents sites sont très probablement dues à des facteurs réels et non au hasard.

b. Nitrite :

- La valeur de F est élevée ($F = 50,86$), ce qui suggère qu'il existe une grande variation entre les moyennes des groupes. La valeur p associée est très proche de zéro ($p < 0,0001$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est extrêmement faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. Les valeurs élevées de F et de la p-value proche de zéro indiquent que les variations observées dans les niveaux de nitrite entre les différents sites sont très probablement dues à des facteurs réels et non au hasard.

c. Phosphate :

- La valeur de F est relativement faible ($F = 0,17$), ce qui suggère qu'il y a peu de variation entre les moyennes des groupes par rapport à la variation à l'intérieur des groupes. La valeur p associée est élevée ($p = 0,8436$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est élevée.

- Ainsi, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes des phosphates.

d. pH :

- La valeur de F est modérément élevée ($F = 10,91$), ce qui suggère qu'il y a une certaine variation entre les moyennes des groupes par rapport à la variation à l'intérieur des groupes. La valeur p associée est relativement faible ($p = 0,0039$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. Les résultats de cette analyse de variance indiquent qu'il existe des différences significatives dans les niveaux de pH dans l'eau d'irrigation entre les sites étudiés, soulignant l'importance de surveiller et de gérer attentivement la qualité de l'eau pour l'irrigation dans ces sites spécifiques.

e. Dureté :- La valeur de F est élevée ($F = 38,64$), ce qui suggère qu'il y a une très grande variation entre

les moyennes des groupes. La valeur p associée est très proche de zéro ($p < 0,0001$), indiquant que la probabilité d'obtenir une telle différence entre les moyennes des groupes par simple fluctuation aléatoire est extrêmement faible.

- Ainsi, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des groupes. Les valeurs élevées de F et de la p-value proche de zéro indiquent qu'il existe des différences significatives dans les niveaux de la dureté entre les différents sites étudiés.

3.1.3. Comparaison des moyennes des paramètres physiques entre les sites étudiés et la norme de la FAO

Le **tableau III** présente la comparaison des moyennes des paramètres physiques entre les sites étudiés et la norme de la FAO.

Tableau III. Résultats de la comparaison des moyennes des paramètres physiques pour les sites d'étude en comparaison avec la norme de la FAO

Paramètres physiques	Site 1	Site 2	Norme de la FAO	Valeur critique de comparaison
Température	27,308 A	22,045 A	35 A	14,581
Résistivité	28,34 A	2,6975 B	1 C	1,5400
MES	68,333 A	28,25 B	45 B	19,742
Conductivité électrique	32,883 B	15,103 C	3000 A	4,6335
TDS	16,523 B	8,0275 C	2000 A	1,9200

Il ressort de ce tableau les interprétations suivantes :

a. Température :

- Les températures dans le Site 1 (27,308) sont légèrement plus élevées que dans le Site 2 (22,045), mais les deux sont inférieures à la norme de la FAO. Bien que le Site 1 présente des températures légèrement plus élevées que le Site 2, les deux sites semblent convenir à l'irrigation en termes de température de l'eau.

- Pour la résistivité, les niveaux dans les deux sites sont tous deux supérieurs à la norme de la FAO. Cela indique que, du point de vue de la résistivité, les niveaux dans les deux sites dépassent le seuil recommandé par la FAO pour l'irrigation.

- De plus, le Site 1 présente des niveaux significativement plus élevés que le Site 2. Cela souligne l'importance de prendre des mesures pour réduire les niveaux de résistivité dans l'eau d'irrigation afin de respecter les normes recommandées pour une irrigation efficace.

b. MES :

- Les niveaux de M.E.S dans le Site 1 (68,333) sont significativement plus élevés que dans le Site 2 (28,250). Cependant, les niveaux dans les deux sites sont tous deux supérieurs ou dépassent le seuil recommandé par la FAO pour l'irrigation.

- Aussi, comme le Site 1 présente des niveaux significativement plus élevés que le Site 2 et la norme. Cela souligne l'importance de prendre des mesures pour réduire les niveaux de M.E.S dans l'eau d'irrigation afin de respecter les normes recommandées.

norme de la FAO est classée dans le groupe homogène A.

- En outre, le Site 1 présente des niveaux significativement plus élevés que le Site 2. Mais les deux sites sont significativement inférieurs la norme de la FAO.

d. TDS :

Les niveaux de TDS dans le Site 1 (16,523) sont significativement plus élevés que dans le Site 2 (8,0275). Ces résultats confirment que les niveaux de TDS dans les deux sites sont très inférieurs à la norme de la FAO pour ce paramètre.

3.1.4. Comparaison des moyennes des paramètres chimiques entre les sites étudiés et la norme de la FAO

Tableau IV. Résultats de la comparaison des moyennes des paramètres chimiques réalisée pour les sites d'étude en comparaison avec la norme de la FAO

Paramètres chimiques	Site 1	Site 2	Norme de la FAO	Valeur critique de comparaison
NH ₄ (mg/l)	0,425 B	0,11 B	5 A	0,4980
NO ₃ ⁻ (mg/l)	1 B	2 B	15 A	2,2794
NO ₄ (mg/l)	0,2 B	0,185 B	1 A	28,32
PO ₄ (mg/l)	0,835 A	1 A	0,94 A	0,7920
pH	6,775 B	7,027 B	7,5 A	0,4506
Dureté (mg/l de CaCO ₃)	17,3 C	224,9 A	100 B	66,377

Il résulte de ce tableau ce qui suit :

a. Ammonium

-Les niveaux d'ammonium dans le Site 1 (0,1100) et le Site 2 (0,4250) sont tous deux significativement inférieurs à la norme de la FAO.

- Les niveaux d'ammonium dans les deux sites sont classés dans le même groupe homogène (groupe B), ce qui signifie qu'ils ne diffèrent pas de manière significative les uns des autres mais sont significativement inférieurs à la norme de la FAO.

- Bien que les niveaux d'ammonium dans les deux sites soient bien inférieurs à la norme de la FAO pour ce paramètre, il existe une légère différence entre les sites, le Site 2 ayant des niveaux légèrement plus élevés que le Site 1. Cependant, dans l'ensemble, l'eau dans les deux sites semble convenir à l'irrigation en

c. Conductivité électrique :

- Les niveaux de conductivité dans le Site 1 (32,883) sont significativement plus inférieures que dans le Site 2 (15,103). Les niveaux de conductivité dans le Site 1 appartiennent au groupe homogène B, ceux du Site 2 au groupe homogène C, tandis que la

termes de niveaux d'ammonium, conformément aux recommandations de la FAO.

b. Nitrate :

- Il semble y avoir une différence entre les deux sites, avec des niveaux de nitrate légèrement plus élevés observés dans le Site 2 par rapport au Site 1.

- Les niveaux de nitrate dans les deux sites sont classés dans le même groupe homogène (groupe B), ce qui signifie qu'ils ne diffèrent pas de manière significative les uns des autres mais sont significativement inférieurs à la norme de la FAO.

c. Nitrite :

- Les niveaux de nitrite obtenu dans les deux sites sont tous deux significativement inférieurs à la norme de la FAO. L'eau dans les deux sites semble convenir à l'irrigation en termes de niveaux de nitrite, conformément aux recommandations de la FAO

- Aussi, il est déduit qu'il n'y a pas de différence significative entre les niveaux de nitrite observés dans les deux sites, car ils appartiennent tous deux au même groupe homogène (groupe B).

d. Phosphate :

- Tous les sites (Site 1 et Site 2) appartiennent au même groupe homogène (groupe A), ce qui signifie qu'ils ne diffèrent pas de manière significative les uns des autres mais sont tous deux inférieurs à la norme de la FAO.

- Bien que les niveaux de phosphate dans les deux sites soient tous deux inférieurs à la norme de la FAO pour ce paramètre, le Site 2 a une moyenne légèrement plus élevée que le Site 1. Cependant, dans l'ensemble, l'eau dans les deux sites semble convenir à l'irrigation en termes de niveaux de phosphate, bien qu'une surveillance continue soit nécessaire pour maintenir les niveaux de phosphate dans les limites acceptables.

e. pH :

- Les niveaux de pH dans le Site 1 (6,7550) sont légèrement plus bas que dans le Site 2 (7,0275), mais les deux sont inférieurs à la norme de la FAO.

- Les résultats indiquent que les niveaux de pH dans les deux sites sont inférieurs à la norme de la FAO pour ce paramètre. Bien que le Site 1 présente des niveaux légèrement plus bas que le Site 2, les deux sites semblent ne pas être conformes à la norme de la FAO en termes de pH de l'eau d'irrigation.

f. Dureté :

- Les niveaux de la dureté dans le Site 2 (224,9) sont significativement plus élevés que dans le Site 1 (17,3). Ces résultats confirment que les niveaux de la dureté dans le site 2 sont supérieurs à la norme de la FAO et les résultats dans le site 1 sont très inférieurs à la norme pour ce paramètre.

- Cela souligne l'importance de prendre des mesures pour réduire les niveaux de dureté dans le site 2 de l'eau d'irrigation afin de respecter les normes recommandées.

3.1.5. Interdépendance entre les paramètres et entre les sites : Analyse par Composante Principale

Le **tableau V** présente l'inertie expliquée des jeux des données c'est-à-dire la dimensionnalité des jeux des données ou encore les composantes les plus influentes considérées comme principales. La Figure 1 présente le graphe des individus et des variables générées à partir de l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

Tableau V. Valeurs propres ou catégorisation en composantes ou dimensions

Dimension ou composante	%	Cum. %
1	50.7	50.7
2	25.4	76.1
3	16.4	92.5
4	6.0	98.5
5	1.2	99.7
6	0.3	100.0
7	0.0	100.0

Il résulte de ce tableau que les deux premières dimensions de l'ACP expliquent 76,1% de l'inertie totale du jeu de données. Cela signifie que ces deux dimensions capturent une grande partie de la variabilité des données et fournissent une représentation significative de la structure des données.

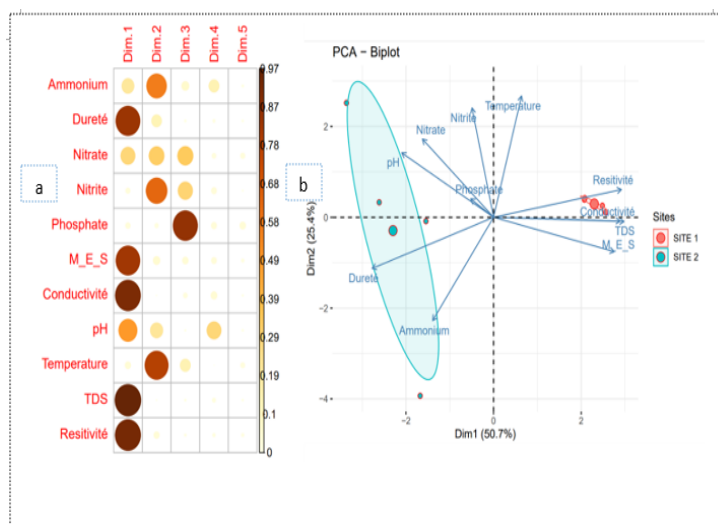


Figure 2. Graphe des individus et des variables (ACP)
A : les corrélations des variables aux dimensions. B : Les individus libellés sont ceux ayant la plus grande contribution à la construction du plan. Les individus sont colorés selon leur appartenance aux modalités de la variable Site.

Il ressort de cette figure qui suit :

- Variables et dimensions : Dans les graphes a et c, les corrélations des variables aux dimensions sont représentées. Les variables telles que la Dureté, la M.E.S, la Conductivité, le TDS et la Résistivité sont fortement associées à la première dimension (Dimension 1 ou Composante 1), tandis que les variables comme l'Ammonium, le Nitrite et la Température sont associées à la deuxième dimension (Dimension 2 ou Composante 2). Cette association suggère que la dimension ou la composante 1 capture principalement la variation liée aux paramètres de la qualité de l'eau tels que la conductivité électrique et la

concentration en solides dissous, tandis que la dimension ou la composante 2 capture la variation liée à d'autres paramètres comme le nitrite, l'ammonium et la température.

- Interprétation par rapport aux sites : le graphe b montre que selon la dimension ou composante 1, l'eau du premier site se distingue par une forte résistivité, une conductivité élevée, une concentration élevée en TDS et en M.E.S, tandis que l'eau du Site 2 est caractérisée par une dureté élevée, un pH élevé et une concentration élevée en Nitrate. En ce qui concerne la dimension ou composante 2, la température de l'eau et la concentration en Nitrite sont plus élevées dans le Site 1 par rapport au Site 2, où la teneur en Ammonium est plus élevée.

4. Discussion

En prenant en compte les hypothèses spécifiques formulées pour cette étude et les résultats obtenus, les points suivants peuvent être discutés :

Les résultats de l'étude montrent que les valeurs moyennes de TDS (matières dissoutes totales) et de CE (conductivité électrique) ont suivi une tendance similaire au cours de l'étude, avec des valeurs plus faibles en saison sèche. Les valeurs moyennes de TDS (>2000 mg/L) et de CE (>3000 μ S/cm) indiquent que ces eaux sont faiblement chargées en sels et minéraux, et donc faiblement salines. Ces résultats contredisent l'hypothèse selon laquelle les eaux du bassin versant de N'djili auraient une conductivité électrique élevée. Les faibles valeurs en matière en suspension et la faible salinité observées suggèrent que, contrairement aux attentes, les eaux de ce bassin ne présentent pas de teneur élevée en matière en suspension ni de forte résistivité.

Les valeurs de pH trouvées dans les eaux du bassin versant de N'djili sont relativement conformes aux normes fixées pour l'irrigation, ce qui confirme partiellement l'hypothèse d'un pH proche de la neutralité. Cependant, les résultats montrent une faible salinité, contrairement à l'hypothèse initiale de forte salinité. La faible dureté de l'eau de la rivière N'djili, combinée à la présence de carbonates, maintient un pH neutre, ce qui est favorable pour l'irrigation. En revanche, la faible teneur en éléments minéraux dissous est confirmée, indiquant une faible minéralisation de l'eau, ce qui est cohérent avec l'hypothèse formulée.

Bien que les résultats montrent que les eaux des deux sites sont faiblement salines et adaptées à

l'irrigation pendant la saison sèche, l'élévation des concentrations de nitrate et de phosphore dans le site 2 pose des préoccupations. Les résultats indiquent que l'azote et le phosphore dissous, provenant probablement de l'utilisation de fertilisants NPK et d'urée, peuvent être consommés par les organismes aquatiques ou adsorbés par les particules du sol. Cette contamination pourrait nécessiter des mesures de traitement pour optimiser l'usage de l'eau et assurer une irrigation sécurisée. Par conséquent, l'hypothèse selon laquelle les eaux du bassin versant de N'djili nécessitent des mesures de traitement avant d'être utilisées pour l'irrigation est partiellement confirmée. En effet, bien que la salinité et la minéralisation soient faibles, la présence de nitrates et de phosphates en concentrations élevées dans certaines zones souligne la nécessité de surveiller et de traiter ces eaux pour éviter les risques de pollution agricole et d'assurer une irrigation sûre et efficace.

Cette analyse suggère des différences significatives dans les profils physicochimiques de l'eau entre les deux sites d'irrigation, avec des caractéristiques distinctes pour chacun en fonction des paramètres étudiés. Cela se justifie par le fait le Site 1 concerne ou utilise les eaux surfaciques pour l'irrigation tandis que le Site 2 utilise les eaux souterraines (puits) pour l'irrigation (Baï et al., 2019 ; Mufungi et al., 2024 ; Ohou et al., 2022 ; FAO, 1999 ; Ahoussi et al., 2012 ; Baï et al., 2019).

Les mesures de traitement spécifiques et la gestion adéquate des pratiques agricoles autour des zones de captage d'eau sont essentielles pour maintenir la qualité de l'eau et protéger la santé des cultures et des consommateurs. Ainsi, cette étude soutient l'importance d'une gestion intégrée des ressources en eau et de la mise en œuvre de stratégies de traitement pour optimiser l'utilisation des eaux du bassin versant de N'djili pour l'irrigation.

5. Conclusion

L'étude a porté sur les propriétés physico-chimiques de l'eau destinée à l'irrigation dans le bassin versant de la rivière N'djili, en mettant l'accent sur deux exploitations agricoles. Les analyses ont montré que les niveaux de matières en suspension (M.E.S) et de conductivité électrique excédaient les seuils établis par la FAO, ce qui nécessite des actions de gestion pour garantir une irrigation sécurisée. Malgré une conformité des températures de l'eau, des disparités

marquées ont été notées en termes de résistivité et de solides dissous (TDS) entre les deux emplacements. Les valeurs chimiques, telles que celles des ions ammonium et nitrate, étaient inférieures aux normes, bien que le site 2 ait montré des niveaux un peu plus élevés. Le site 1 se distingue par des niveaux élevés de M.E.S et de conductivité, tandis que le site 2 est caractérisé par une dureté et un pH plus élevé.

Recommandations

Ainsi, pour améliorer la gestion de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation, il faut la mise en place d'un système de surveillance intégré et l'analyse microbiologique afin d'identifier les problèmes potentiels. Il est également recommandé d'élaborer des stratégies de gestion adaptées et de sensibiliser les parties prenantes sur les bonnes pratiques agricoles pour garantir la durabilité des ressources en eau et la santé des écosystèmes agricoles.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements au Centre de Recherche en Ressources en Eau du Bassin du Congo et Ecole Régionale de l'Eau.

Financement

Cette recherche a été financé en entièreté par le programme NBCBN-Foundation Research Fund RD102-23.

Conflit d'Intérêt

Le présent travail a été réalisé en toute impartialité et toute indépendance d'esprit. Aucun conflit d'intérêt n'a été signalé.

Considérations éthiques

Une conduite responsable qui tient compte des principes et normes morales a été suivie pour mener à bien cette étude.

Contribution des auteurs

Z.T.N. a conçu et rédigé le manuscrit principal et validé la version finale, et a contribué à la discussion.

G.S.L.K. a participé à la collecte des données et à l'analyse statistique, a contribué à l'interprétation des résultats et à la relecture critique du manuscrit.

F.K.K. a participé l'analyse statistique, à la collecte des données et à la discussion des résultats.

R. M. T. a supervisé l'étude, a validé les données, contribué à la discussion et donné l'approbation finale de la version à soumettre.

ORCID des Auteurs

Ntata T.Z. : <https://orcid.org/0009-0003-7150-1574>;

Kayembe K.F.: <https://orcid.org/0009-0003-5618-2472>;

Lutonadio K.G.-S. : <https://orcid.org/0000-0003-1132-2462>;

Muamba T.R.: <https://orcid.org/0000-0002-4726-3495>.

Références bibliographiques

- Ahoussi, K. E., Yao, B. K., Amani, M., Gbombélé, S., Nagnin, S., & Jean, B. (2012). Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin du N'Zi : Cas de la commune de N'Zianouan, sud de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(4). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.40>
- Arsini, F., & D'Ostuni, M. (2022). *Les rôles importants de l'agriculture urbaine*. Département des sciences agricoles et alimentaires, Université de Bologne.
- Baï, R., Kouamé, K. I., Kouassi, K. L., Konan, S. K., & N'Cho, H. A. (2019). Évaluation de la qualité physicochimique des eaux d'irrigation et des sols pour un développement durable de la culture du riz irrigué : Cas du périmètre irrigué de M'Bahiakro, Centre-Est de la Côte d'Ivoire. *Journal de la protection de l'environnement*, 1536–1552.
- Falasi, N. J. R. (2018). *Pollution de la rivière N'Djili et contraintes des sols autour du Pool Malebo : Cas du site agricole Masina Rail 1, Kinshasa* [Mémoire de master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement].
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (1999). *L'irrigation en Asie en chiffres* (Rapport de la FAO sur l'eau no 18).
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2022). *Évaluation de la contribution de la FAO à l'objectif de développement durable 6 : Garantir l'accès de tous à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés de façon durable*.
- Kakundika, J. M., Musibono, D. E., Saila, Y. I., & Tangou, T. T. (2019). Facteurs environnementaux dégradants des cours d'eau urbains : Cas de la rivière N'Djili à Kinshasa, République démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 1–13.
- Kambiré, O., Konan, M. Y., Aka, N., Bamba, K. E., & Koné, R. (2022). Caractérisation microbiologique et physicochimique des eaux d'irrigation utilisées dans les cultures maraîchères à Korhogo. *Université Peleforo Gon Coulibaly*, 1–10.
- Luboya, J.-D. K. M. (2002). *Étude systématique du bassin versant de la rivière N'Djili à Kinshasa* [Mémoire de diplôme d'études supérieures, École régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux].
- Mufingizi, I., Kawaya, H., Bongeli, R., & Loketo, R. (2023). Contribution à l'étude hydroclimatique, morphologique et hydrographique du bassin versant de la N'Djili, sud-ouest de la République

-
- démocratique du Congo. *International Journal of Scientific Research and Management*, 262–285.
- Mufungizi, M., Hina, S., & Ali, H. (2019). Impact de l'urbanisation sur les ressources en eau du Pakistan : Un examen. *NUST Journal of Engineering Sciences*, 12, 1–9.
- Mufungizi, I., Loketo, R., & Kabulo, J. (2024). Évaluation des interactions entre l'eau brute de la rivière N'Djili, les eaux souterraines et les eaux traitées par l'administration de distribution des eaux de Kinshasa, République démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 41(4), 1–11.
- Ndolo, P. G. (2015). *GIS-based soil erosion modeling and sediment yield of the N'Djili River Basin, Democratic Republic of the Congo* [Master's thesis, Colorado State University].
- Ohou, Y. M., Bamba, M. I., Koné, O., & Sorho, S. (2022). Caractérisation physicochimique de la qualité de l'eau d'irrigation utilisée en agriculture urbaine à proximité d'une usine textile à Bouaké, Côte d'Ivoire. *Journal of Materials and Environmental Science*, 13(1), 115–128.
- United Nations Environment Programme. (2010). *Water issues in the Democratic Republic of the Congo: Challenges and opportunities* [Technical report].