

Impacts invisibles de l'utilisation des intrants chimiques sur la qualité des eaux de surface dans un bassin versant tropical en Guinée.

Résumé :

Cette étude évalue la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface dans les localités de Friguiagbé Gare et Fosekha, en Guinée, afin d'analyser les impacts diffus des activités agricoles et des intrants chimiques à l'échelle du bassin versant. Sept échantillons d'eau ont été analysés, correspondant à deux gradients amont-milieu-aval et à un point témoin. Les résultats montrent une dégradation nette de la qualité de l'eau vers les secteurs aval, marquée par l'augmentation des matières en suspension, de la turbidité, de la DCO, des nitrates et de plusieurs indicateurs bactériologiques. Les coliformes totaux culminent à 85 UFC/100 mL à Friguiagbé aval, les coliformes fécaux à 75 UFC/100 mL et la flore microbienne totale à 688 UFC/100 mL confirment une forte contamination sanitaire. Le point témoin présente les niveaux les plus faibles de contamination fécale, mais reste non conforme pour certains paramètres. L'analyse en composantes principales met en évidence axe expliquant 48,7 % de la variance, dominé par les nitrates, les matières en suspension, la turbidité, les nitrites et la DCO, traduisant un gradient global de dégradation physico-chimique. Ces résultats montrent que les pressions agricoles et les transferts diffus de bassin versant contribuent significativement à la dégradation des eaux de surface.

Mots-clés : Eau, intrants chimiques, microbiologie, ACP, Guinée.

1. Introduction

Dans les zones tropicales, l'agriculture intensive est associée à une utilisation de plus en plus fréquente d'intrants chimiques tels que les engrais minéraux et les herbicides. Ces intrants sont essentiels pour l'augmentation de la productivité agricole, cependant leur emploi non contrôlé reste une cause importante de détérioration de l'environnement et surtout des écosystèmes aquatiques. Selon Barbieri et al. (2020), l'augmentation des résidus de pesticides dans les eaux de surface reflète un mouvement constant des polluants depuis les régions agricoles vers les environnements aquatiques. Dans les bassins versants tropicaux, les eaux de surface constituent une ressource essentielle pour les usages domestiques, agricoles et pastoraux. Leur qualité dépend à la fois des caractéristiques naturelles du milieu et des pressions anthropiques, notamment l'agriculture, le ruissellement diffus, l'érosion des sols et les rejets domestiques (Allan, 2004 ; Carpenter et al., 1998). Des études récentes indiquent la présence des herbicides, en particulier le glyphosate, le métolachlore et les produits de dégradation de

l'atrazine, présentant des concentrations et des charges les plus élevées (Gutiérrez et al., 2026).

Dans les contextes tropicaux humides, les intrants chimiques utilisés sur les parcelles agricoles peuvent contribuer indirectement à la dégradation des eaux en favorisant la mobilisation des particules, des nutriments et des contaminants microbiologiques vers les cours d'eau (Withers Paul & Jarvie, 2008 ; Jamieson et al., 2004). En effet, de nombreuses recherches ont démontré que les produits phytosanitaires et les engrais utilisés sur les terres agricoles ne se limitent pas à l'exploitation. Des travaux effectués en Afrique de l'Ouest, notamment par Gomgnimbouet al. (2009), ont mis au jour des comportements inadéquats dans l'usage des pesticides, tels que la surutilisation, les usages détournés et le nettoyage de l'équipement à proximité des sources d'eau, augmentant de ce fait les dangers de pollution des ressources en eau. Ces contaminations peuvent entraîner des effets écotoxicologiques significatifs. Des recherches récentes montrent que les pesticides détectés dans les eaux ont le potentiel d'impacter la biodiversité aquatique, de perturber les chaînes alimentaires et de nuire à l'utilisation de l'eau potable (Créti et al., 2026 ; Saida, 2025).

Dans le contexte guinéen, marqué par un climat tropical humide, une agriculture prédominante et une pression grandissante sur les terres, il est crucial de saisir la relation entre les méthodes agricoles et la qualité des eaux superficielles. Ainsi, le bassin versant représente une dimension d'analyse appropriée pour comprendre les déplacements de polluants « de la parcelle au cours d'eau » et suggérer des approches globales de gestion des ressources naturelles. Cette problématique est particulièrement importante dans les localités de FriguiaGbé Gare et de Fosekhaà Kindia, où les eaux de surface sont directement exposées aux usages du bassin versant et aux pressions anthropiques locales. Dans ces contextes, la dégradation de la qualité de l'eau peut résulter davantage de processus diffus que de sources ponctuelles de pollution, ce qui rend son évaluation plus complexe mais essentielle pour la gestion durable des ressources hydriques (World Health Organization, 2017).

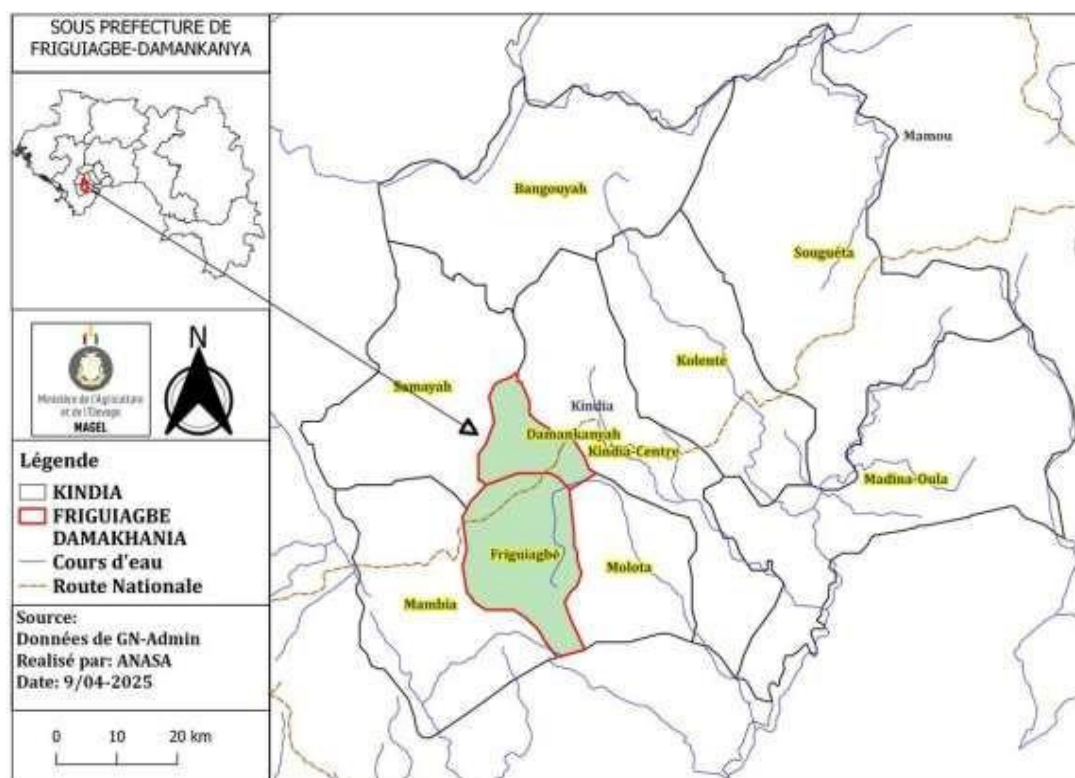
La présente étude a pour objectif de caractériser la qualité des eaux de surface dans ces deux localités afin d'identifier les principaux gradients spatiaux de dégradation et d'explorer les relations entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques au moyen d'analyses multivariées.

2. Matériel et méthodes

2.1 Zone d'étude

La recherche a été effectuée dans la Préfecture de Kindia (carte 1), localisée en Basse-Guinée, une zone reconnue pour son climat humide typiquement guinéen, avec une longue période de

pluie qui s'étend d'avril à novembre et une phase sèche dominée par l'harmattan. L'agriculture est l'activité socio-économique la plus pratiquée pendant que les systèmes d'exploitation agricole et d'élevage y sont extensifs. Les cultures vivrières comme le riz, le maïs et le manioc prospèrent grâce aux pluies annuelles qui varient de 2 000 à 3 500 mm (Mara et al. 2026). Les prélèvements ont été effectués dans les districts de Friguiagbé et Fosekha sont représentés dans la carte 2.



Carte 1 : Présentation des points d'échantillonnage (Mara et al., 2026).

2.2 Echantillonnage

Sept échantillons d'eau de surface ont été prélevés le 19 juillet 2025 et analysés selon un dispositif comprenant Friguiagbé Gare (amont, milieu et aval) et Fosekha (amont, milieu et aval) ainsi qu'un point témoin. Un total de sept (7) échantillons ont été prélevés avec trois répétitions pendant les analyses. Les deux zones sont sources d'utilisation des intrants chimiques et le point témoin est une zone indemne de l'emploi des intrants chimiques. Les échantillons ont été conservés au froid avant analyse.

2.3 Analyse des échantillons au laboratoire

Les paramètres mesurés incluent notamment le pH, le redox, la conductivité, les solides totaux dissous, les matières en suspension, la turbidité, les sulfates, phosphates, fer total, nitrates, nitrites, DCO, DBO₅, oxygène dissous, ainsi que les indicateurs microbiologiques : coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux, *Escherichia coli* et flore

microbienne totale. Les méthodes utilisées reposent sur la pH-métrie, la conductimétrie, la spectrophotométrie, la turbidimétrie, la manométrie et la filtration sur membrane.

2.4 Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS (version 24.0). La normalité de toutes les données a été vérifiée avant l'analyse statistique (ANOVA) et un seuil de signification de $P < 0,05$ a été appliqué pour examiner la différence entre les sites et les zones de prélèvement. Une analyse descriptive a été réalisée à partir des valeurs observées sur chaque station. Ensuite, deux ACP exploratoires ont été conduites : une première sur les variables physico-chimiques non constantes, une seconde sur les variables microbiologiques. La DBO_5 et *E. coli* n'ont pas été retenus dans l'interprétation factorielle car ils n'apportaient quasiment pas de variabilité entre stations. Cette approche permet d'identifier les principaux gradients de structuration de la qualité de l'eau. Les résultats d'ACP présentés ici sont utiles pour la rédaction scientifique, mais une CCA robuste demanderait idéalement plusieurs réplicats analytiques par station. Les moyennes longitudinales issues de votre texte initial restent cohérentes avec cette lecture.

3 Résultats

3.1 Caractérisation physico-chimique des eaux

3.1.1 Nutriments indicateurs d'eutrophisation

Les valeurs du coefficient de détermination (R^2) obtenues, oscillant entre 0,986 et 1,000 (tableau 1). Cela témoigne d'une grande fiabilité des résultats obtenus. Les valeurs du test de Fisher (F) sont également très importantes pour les différents nutriments, notamment pour les sulfates ($F = 81320,400$) et les nitrates ($F = 28097,207$), montrant une forte différence entre les zones ou sites étudiés. Les phosphates présentent aussi une valeur élevée ($F = 274,000$ pour les phosphates en eau et $F = 58,255$ pour les phosphates dans les matières sèches), traduisant une variabilité significative des concentrations. Les fortes teneurs en nitrates et phosphates, reconnues comme principaux nutriments responsables de l'eutrophisation, suggèrent un enrichissement important du milieu aquatique en éléments nutritifs. Ces résultats suggèrent une influence des pratiques agricoles et des apports diffus d'intrants chimiques sur la qualité des eaux. Ces concentrations peuvent favoriser les phénomènes d'eutrophisation et la prolifération des microorganismes aquatiques et des microorganismes aquatiques, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau et un déséquilibre écologique. Les concentrations de sulfates, phosphates en eau, nitrates et phosphates dans les matières sèches présents dans les sédiments fluctuent considérablement de l'amont à l'aval, comme le démontrent les valeurs de $Pr > F$ qui sont inférieures à 0,05 (tableau 2). Par contre, il n'y a pas

de différence notable concernant les nitrites entre les différents sites. Concernant les sulfates, on note une concentration maximale en Aval (9,500 mg/l), qui est suivie par le Milieu (5,500 mg/l), alors que les valeurs les plus faibles se trouvent en Amont (2,500 mg/l) et au Témoin (2,000 mg/l). Les différences sont extrêmement significatives ($Pr > F = 0,000$). Cependant, toutes les valeurs des nutriments indicateurs d'eutrophisation demeurent largement en dessous de la norme. Cette hausse en aval pourrait être associée aux actions humaines et à l'apport des intrants chimiques.

Tableau 1 : Analyse de variance appliquée aux nutriments indicateurs d'eutrophisation

	Sulfate (mg/l)	Phosphate (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Nitrite (mg/l)	Phosphates (mg/Kg MS)
R ²	1,000	0,997	1,000	1,000	0,986
F	81320,400	274,000	28097,207		58,255
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001		0,001

Tableau 2 : Comparaison des moyennes des nutriments indicateurs d'eutrophisation suivant les sites d'échantillonnage

	Sulfate (mg/l)	Phosphate (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Nitrite (mg/l)	Phosphates (mg/Kg MS)
Norme	200,000 a	5,000 a	50,000 a	0,200 a	50,000 a
Aval	9,500 b	1,750 b	2,720 b	0,020 a	14,500 b
Milieu	5,500 c	1,550 b	2,085 bc	0,010 a	12,000 b
Amont	2,500 d	1,550 b	1,995 c	0,010 a	13,000 b
Témoin	2,000 d	1,600 b	2,010 bc	0,010 a	12,000 b
Pr > F	0,000	0,000	0,000		0,001
Significatif	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

3.1.2 Analyse des polluants physico-chimiques

Le pH varie de 6,4 à 6,9, ce qui traduit des eaux faiblement acides à neutres. La conductivité varie entre 20 μ S/cm au témoin et 80 μ S/cm à Fosekha amont et milieu. Les matières en suspension atteignent 11 mg/L à Fosekha aval, tandis que la turbidité varie de 5,0 NTU au témoin à 14,0 NTU à Fosekha aval. Le fer total reste élevé sur l'ensemble des stations, entre 0,8 et 0,9 mg/L, soit au-dessus de la norme OMS de 0,3 mg/L (tableau 3). Les nitrates restent faibles en valeur absolue, mais augmentent jusqu'à 2,72 mg/L à Friguiagbé aval et Fosekha aval. La DCO varie de 14 à 19 mg/L O₂, avec les valeurs les plus fortes dans les secteurs aval. L'oxygène dissous reste relativement faible, entre 4,2 et 4,4 mg/L, donc sous l'intervalle recommandé de 5 à 7 mg/L. Ces résultats montrent une dégradation physique et chimique plus marquée dans les stations aval, notamment à Friguiagbé aval et Fosekha aval, où

l'accumulation des matières en suspension, de la turbidité, des nitrates et de la DCO suggère des transferts diffus depuis l'amont du bassin versant.

Tableau 3 : Comparaison des moyennes des polluants chimiques suivant les sites prélevés

	Fer total (mg/l)	Salinité (mg/l)	Cuivre	Zinc	Chrome (mg/Kg MS)	Cadmium (mg/Kg MS)	Plomb (mg/Kg MS)	Nikel (mg/Kg MS)	Cuivre (mg/Kg MS)
Norme	0,300 b	200,000 a	2,000 a	5,000 a	50,000 a	5,000 a	40,000 a	50,000 a	30,000 a
Amont	0,850 a	0,00 b	0,000 b	0,500 b	0,000 b	0,005 b	0,700 b	0,000 b	0,035 b
Milieu	0,900 a	0,000 b	0,000 b	0,500 b	0,000 b	0,005 b	0,500 b	0,000 b	0,025 b
Témoin	0,900 a	0,000 b	0,000 b	0,500 b	0,000 b	0,010 b	0,200 b	0,000 b	0,020 b
Aval	0,900 a	0,000 b	0,000 b	0,500 b	0,000 b	0,005 b	0,450 b	0,000 b	0,020 b
Pr > F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Significatif	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

3.1.3 Analyse en composantes principales des paramètres physico-chimiques

L'ACP exploratoire réalisée sur les variables physico-chimiques montre que le premier axe explique 48,7 % de la variance totale, et le second axe 28,0 %, soit 76,7 % de variance cumulée sur les deux premiers axes. L'axe 1 est principalement porté par les nitrates, les matières en suspension, la turbidité, les nitrites, la DCO et les sulfates. Il traduit un gradient de dégradation physico-chimique croissant. Les stations les plus fortement projetées sur cet axe sont Fosekha aval et Friguiagbé aval, tandis que Fosekha amont, Fosekha milieu et le témoin occupent la partie opposée de l'espace factoriel. Cette structuration confirme que la dégradation physico-chimique s'accroît dans les secteurs recevant les apports cumulés du bassin versant. Les rapports initiaux montraient déjà des augmentations longitudinales comparables sur les moyennes amont–milieu–aval. Le second axe sépare surtout le témoin des autres stations, en lien avec un redox beaucoup plus élevé et une conductivité plus faible. Il traduit davantage une opposition entre conditions de référence et eaux soumises aux pressions locales.

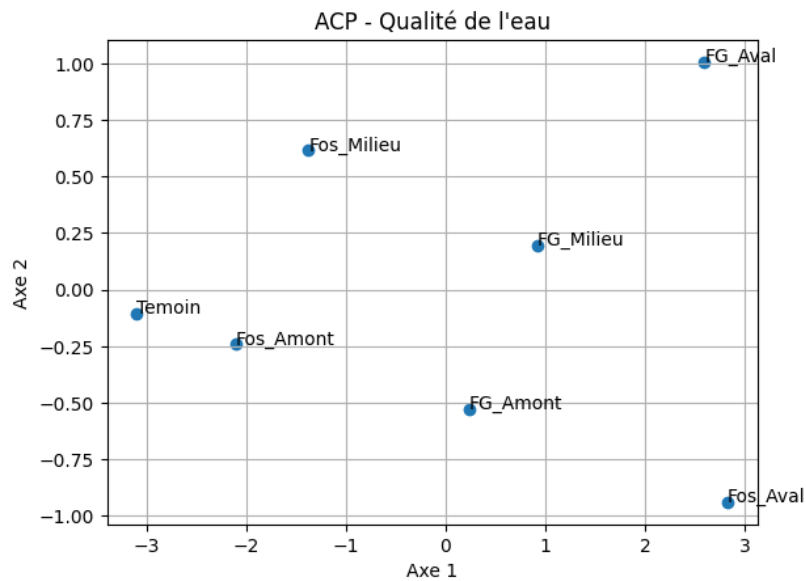


Figure 1 : Analyse en composantes principales (ACP) des paramètres physico-chimiques des eaux de surface dans la zone d'étude.

3.2 Caractérisation microbiologique des eaux

3.2.1 Variabilité microbiologique

L'analyse microbiologique des eaux indique que Friguiagbé gare présente une contamination plus importante que celle de Fosekha. Les niveaux de coliformes totaux (37,600 UFC/100 ml) et de coliformes fécaux (23,600 UFC/100 ml) sont nettement plus élevés que ceux relevés à Fosekha, avec des différences statistiques significatives ($Pr > F = 0,026$ et $0,021$). Cette situation indique un important niveau de pollution organique et fécale dans la région de Friguiagbé gare (tableau 4). Ces résultats indiquent une qualité microbiologique de l'eau plus dégradée caractérisée par une influence des activités anthropiques ou des contaminations environnementales.

Tableau 4 : Analyse de variance appliquée aux indicateurs biologiques suivant les zones

	Coliformes totaux (UFC/100ml)	Coliformes fécaux (UFC/100ml)	Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	<i>Escherichia</i> <i>Coli</i>	BHAA (flore microbienne totale)
Friguiagbé_gare	37,600 a	23,600 a	25,200 a	0,000 a	587,200 a
Fosekha	22,600 b	14,200 b	12,800 a	0,000 a	553,800 b
Pr > F	0,026	0,021	0,053		0,014
Significatif	Oui	Oui	Non	Non	Oui

La contamination microbiologique est généralisée. Les coliformes totaux varient de 12 UFC/100 mL au témoin et à Fosekha amont à 85 UFC/100 mL à Friguiagbé aval. Les coliformes fécaux atteignent 75 UFC/100 mL à Friguiagbé aval et 42 UFC/100 mL à Fosekha

aval. Les streptocoques fécaux culminent à 45 UFC/100 mL à Friguiagbé aval. La flore microbienne totale varie entre 500 UFC/100 mL au témoin et 688 UFC/100 mL à Friguiagbé aval. *E. coli* est nul sur toutes les stations mesurées dans les rapports. Les concentrations en coliformes totaux et fécaux, en streptocoques fécaux et en BHAA (flore microbienne totale) augmentent progressivement de l'amont à l'aval. Ces taux sont supérieurs à ceux du Témoin et sont au-delà de la Norme (figure 2). Ceci indique une plus grande présence de bactéries dans les zones directement soumises aux activités anthropiques et une accumulation des pathogènes de l'amont à l'aval. *Escherichia coli* n'a pas été détecté dans les échantillons analysés, ce qui indique soit l'absence d'une récente contamination fécale, soit une faible persistance de cette bactérie dans le milieu aquatique d'étude.

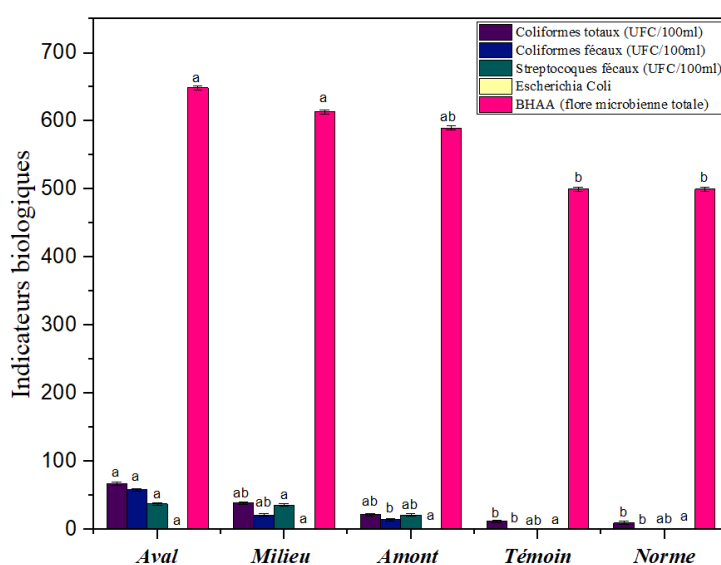
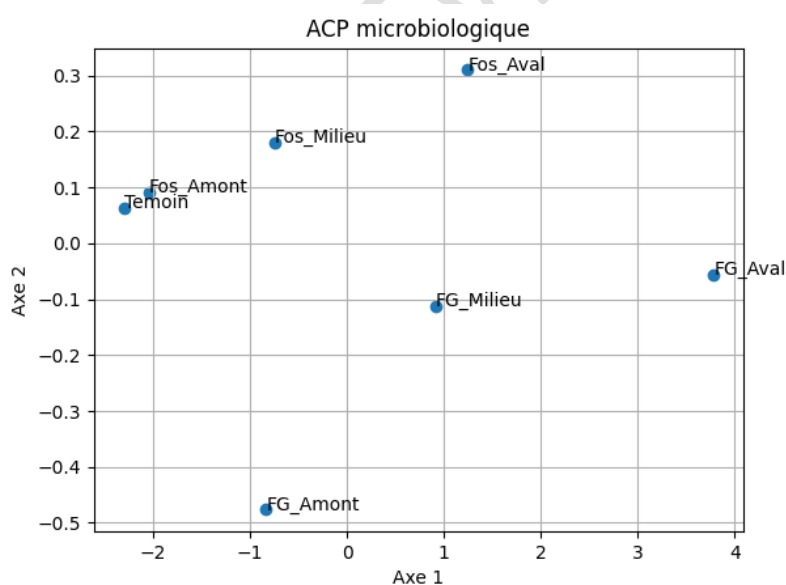


Figure 2 : Comparaison des paramètres microbiologiques en fonctions des sites. **a** et **b** indiquent les classes. Les moyennes portant les mêmes lettres sont statistiquement identiques et les moyennes portant les lettres différentes sont statistiquement distinctes.

3.2.2 ACP des paramètres microbiologiques

L'ACP effectuée sur les coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux et flore totale montre que l'axe 1 explique 89,3 % de la variance totale, ce qui indique une structuration très forte et très cohérente des données microbiologiques. Cet axe oppose nettement les stations les moins contaminées, comme le témoin et Fosekha amont, aux stations les plus contaminées, en particulier Friguiagbé aval. Les quatre indicateurs microbiologiques évoluent globalement dans le même sens, ce qui confirme l'existence d'un véritable gradient de contamination sanitaire. Cette lecture est cohérente avec les moyennes longitudinales déjà établies dans votre texte de base, où les valeurs les plus faibles sont observées à l'amont et les plus fortes à l'aval.

L'analyse en composantes principales réalisée sur les paramètres microbiologiques met en évidence une structuration très marquée des stations selon un gradient de contamination sanitaire. L'axe 1, expliquant la majeure partie de la variance ($\approx 89\%$), oppose clairement les stations les moins contaminées, notamment le témoin et Fosekha amont, aux stations fortement dégradées, en particulier Friguiagbé aval et Fosekha aval. Cette structuration traduit un gradient croissant de contamination microbiologique le long du bassin versant (figure 3). Les variables microbiologiques (coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux et flore totale) évoluent dans le même sens, ce qui indique une forte corrélation entre ces indicateurs et confirme l'existence d'une source commune de pollution, probablement liée aux apports diffus d'origine anthropique et au ruissellement. Les stations intermédiaires, telles que Friguiagbé milieu et Fosekha milieu, occupent des positions intermédiaires dans l'espace factoriel, traduisant une transition progressive entre les zones peu impactées et les zones fortement contaminées. Cette organisation spatiale est cohérente avec les observations descriptives et confirme l'existence d'un gradient longitudinal de dégradation microbiologique des eaux de surface.



Axe 1 = gradient principal de contamination ; Axe 2 = variations secondaires entre stations

Figure 3 : Analyse en composantes principales (ACP) des paramètres microbiologiques des eaux de surface dans la zone d'étude.

3.3 Relations entre variables physico-chimiques et microbiologiques

Même si une CCA complète demanderait davantage de répliquats indépendants, la lecture conjointe des résultats et des ACP montre que les stations les plus chargées en matières en

suspension, turbidité, nitrates et DCO sont aussi celles qui présentent les plus fortes concentrations en coliformes et en flore totale. Cela suggère que les particules, la charge organique et les apports diffus issus du ruissellement jouent un rôle central dans la contamination microbiologique des eaux.

La figure 4 montre une relation positive entre l'indice physico-chimique et l'indice microbiologique. Les stations les plus dégradées sur le plan physico-chimique, notamment Friguiagbé aval et Fosekha aval, présentent également les niveaux les plus élevés de contamination microbiologique. À l'inverse, le témoin et Fosekha amont se distinguent par de faibles valeurs sur les deux axes. Cette tendance suggère que l'augmentation des matières en suspension, de la turbidité, des nitrates et de la DCO est associée à une hausse des coliformes et de la flore totale, ce qui souligne le rôle des apports diffus et du ruissellement dans la dégradation de la qualité des eaux.

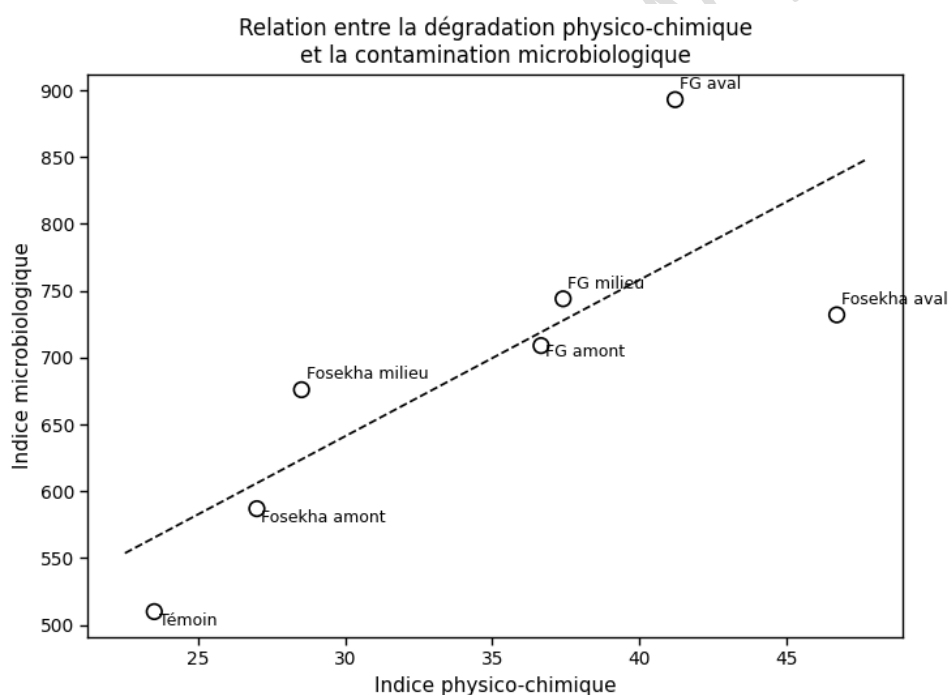


Figure 4. Relation entre la dégradation physico-chimique et la contamination microbiologique des eaux de surface dans les stations étudiées.

4 Discussion

Les résultats montrent que la qualité chimique des eaux reste modérément altérée pour certains paramètres classiques comme la conductivité ou les nitrates, mais que la qualité physique et sanitaire est fortement dégradée. La turbidité dépasse largement la norme sur plusieurs stations, le fer total est constamment supérieur à la norme recommandée par l'OMS,

et la contamination bactériologique est généralisée. Ce profil suggère un système hydrique moins marqué par une pollution chimique massive que par une dégradation diffuse, liée à l'érosion, au ruissellement, aux usages riverains et à la circulation des matières organiques et des micro-organismes dans le bassin versant (World Health Organization, 2017 ; Allan, 2004). La forte contamination observée à Friguiagbé aval montre que ce secteur reçoit vraisemblablement les apports cumulés provenant des parties amont et milieu. À Fosekha, la situation est plus contrastée, mais Fosekha aval présente également une dégradation nette par rapport à l'amont. Le site témoin reste moins contaminé, ce qui renforce l'idée que les activités du bassin versant contribuent effectivement à la dégradation de la ressource, notamment à travers les apports diffus et les activités anthropiques (McCormick et al., 2010). La diversité et la concentration des pesticides dans les cours d'eau sont influencées par les variations saisonnières, les types de cultures et les précipitations (Fernández Nion et Isasa, 2024).

Une augmentation marquée des concentrations de sulfates de l'amont (2,500 mg/l) à l'aval (9,500 mg/l) a été observée. Cette hausse peut être associée aux apports d'intrants chimiques, à l'écoulement des eaux agricoles et à la dégradation de substances organiques. Des recherches récentes révèlent que les bassins versants exposés à de vives pressions humaines accumulent un nombre considérable d'ions dissous, en particulier des sulfates, issus des opérations rurales et urbaines (Postigo et al., 2021). Les taux en nitrates et en phosphates révèlent également des concentrations plus élevées en aval, respectivement de 2,720 mg/l et 1,750 mg/l. Bien que ces valeurs restent inférieures aux normes internationales, leur augmentation progressive traduit un enrichissement nutritif du milieu aquatique. Selon des recherches récentes, les nitrates et phosphates constituent les principaux nutriments responsables de l'eutrophisation des eaux de surface. Les apports d'engrais agricoles, les effluents domestiques et le lessivage des sols agricoles augmentent les concentrations de ces éléments dans les écosystèmes aquatiques (Préau, 2022).

Les coliformes totaux présentent des valeurs très élevées en aval (67,500 UFC/100 ml), comparativement au témoin et à la norme (10,000 à 12,000 UFC/100 ml). Les récents travaux indiquent une forte association entre les coliformes totaux et les rejets domestiques, le ruissellement agricole ainsi que la pollution organique des rivières. Selon Sherchan et al. (2022), des niveaux élevés de coliformes dans les eaux superficielles sont un signe direct de pollution associée aux actions humaines et au manque d'infrastructures d'assainissement. L'absence d'*Escherichia coli* dans tous les sites pourrait être liée à des conditions environnementales défavorables à sa survie ou à une faible contamination récente.

Cependant, de récentes recherches indiquent que l'absence d'*E. coli* ne garantit pas une absence de contamination fécale lorsque d'autres indicateurs microbiologiques sont détectés en grandes quantités. Selon Zhang et al. (2023), certains microorganismes fécaux persistent plus longtemps dans l'eau que *E. coli*, ce qui explique parfois sa non-détection dans les eaux contaminées.

L'analyse en composantes principales confirme que les variables physico-chimiques les plus informatives sont celles liées aux particules, à la matière organique oxydable et aux nutriments. Sur le plan microbiologique, l'axe principal unique observé indique que la contamination suit un schéma spatial simple mais puissant, dominé par l'intensification des charges bactériennes vers l'aval. Cette cohérence appuie l'hypothèse d'un transfert diffus de contaminants depuis les parcelles agricoles et les zones de fréquentation humaine vers les eaux de surface, en lien avec les processus de ruissellement et d'érosion (Hudak, 2000). Les sites en aval, caractérisés par des concentrations élevées en nitrates, turbidité, matières en suspension, DCO et microorganismes, se distinguent nettement des sites en amont et du témoin. Cette structuration spatiale met en évidence un gradient de dégradation compatible avec les processus d'eutrophisation progressive du milieu aquatique. La relation observée entre la dégradation physico-chimique et la contamination microbiologique indique que les sources de pollution diffuse contribuent simultanément à l'accroissement des risques pour la santé. Les sites en aval, qui reçoivent les contributions cumulées du bassin versant, sont perçues comme étant les plus exposées aux risques.

5. Conclusion

Cette étude met en évidence une dégradation progressive des eaux de surface dans les localités de Friguiagbé Gare et de Fosekha. Les principaux signaux d'alerte sont l'augmentation de la turbidité, des matières en suspension, de la DCO, des nitrates et de la contamination microbiologique, particulièrement dans les stations aval. L'analyse multivariée confirme l'existence d'un gradient physico-chimique et sanitaire net, opposant les stations de référence ou faiblement exposées aux stations recevant les apports cumulés du bassin versant. Les résultats montrent ainsi que les impacts des intrants chimiques et des usages agricoles sur l'eau sont en grande partie indirects, à travers les mécanismes de ruissellement, de transfert particulaire et de contamination diffuse. Une gestion durable du bassin versant, incluant la protection des berges, la réduction des transferts depuis les parcelles et l'amélioration de l'assainissement local, apparaît indispensable.

Références

1. Barbieri M. V., Peris A., Postigo C., Moya-Garces A., Monllor-Alcaraz L. S., Rambla-Alegre M., Eljarrat E., Alda M. L. (2020). Evaluation of the occurrence and fate of pesticides in a typical Mediterranean delta ecosystem (Ebro River Delta) and risk assessment for aquatic organisms. *Environmental Pollution*.<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115813>
2. Allan J. D. (2004). *Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
3. Carpenter S. R., Caraco N. F., Correll D. L., Howarth R. W., Sharples A. N. et Smith V. H. (1998). *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)
4. GutiérrezJ. M., Pérez-Parada A., Rodríguez-Bolaña C., Barboza N., Barrios M., Cesio M. V., Díaz I., Fernández C., Fontes E., Gelós M., Hastings F., Heber E., Heinzen H., Kroger A., Mangarelli A., Niell S., Pacheco M., Pequeño F., Soñez D., Souza R. and Teixeira de MelloF.(2026). Agricultural intensification and pesticide pollution on water: cross-scale insights from a subtropical watershed. *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2026.181487>
5. Withers P. J. A. et Jarvie H. P. (2008). Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. *Science of the Total Environment*, 400(1–3), 379–395. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.002>
6. Jamieson R. C., Gordon R. J., Sharples K. E., Stratton G. W. et Madani A. (2004). Movement and persistence of fecal bacteria in agricultural soils and subsurface drainage water: A review. *Canadian Biosystems Engineering*, 46, 1.1–1.9.
7. Gomgnimbou A. P.K., Savadogo P. W., Nianogo A. J. et Millogo-Rasolodimby J. (2009). Usage des intrants chimiques dans un agrosystème tropical : diagnostic du risque de pollution environnementale dans la région cotonnière de l’est du Burkina Faso.*Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2009 13(4), 499-507.
8. Créti I., DusseuxP. et RobinetN. (2026). Trajectoires paysagères contemporaines et sources de contaminants potentiels dans deux bassins versants à usages mixtes : un regard spatialisé de la qualité de l’eau. *Sciences Eaux & Territoires – Numéro 50–2026*.<https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2026.50.9649>

9. Saida S. (2025). La contamination des eaux de surface par les polluants agricoles (pesticides). Master, Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila, p92.
10. World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Press.
11. Mara M., Sangare L., Akueson A. H. G. et DialloD.(2026). Impacts socio-économiques et environnementaux de l'utilisation desintrants chimiques dans l'amélioration de la production agricole dans la Préfecture de Kindia, République de Guinée. African Journal of Biological Sciences. 8(3) (2026).<https://doi.org/10.48047/AFJBS.8.3.2026.93-107>
12. Fernández Nion C. et Isasa I. D. (2024). Spatial distribution of pesticide use based on crop rotation data in La Plata River basin: a case study from an agricultural region of Uruguay
13. Hudak P. F. (2000). *Principles of hydrogeology* (2nd ed.). CRC Press.
14. McCormick P. V., Shuford R. B., Rawlik P. S., & Backus J. G. (2010). *Changes in macroinvertebrate community structure and function along a phosphorus gradient in the Florida Everglades*. Hydrobiologia, 656, 65–79. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0436-6>
15. Postigo C., Ginebreda A., Barbieri M. V., Barceló D., Martin J., de la Cal A., Boleda M. R., Otero N., Carrey R., Solá V., Queralt E., Isla E., Casanovas A., Frances G., de Alda M. L. (2021). Investigative monitoring of pesticide and nitrogen pollutionsources in a complex multi-stressed catchment: the LowerLlobregat River basin case study (Barcelona, Spain). Science of The Total Environment Volume 755. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.01117>
16. PréauC., TournebizeJ., LenormandM., Alleaume S., Boussada V. G., LuqueS. (2022). Habitat connectivity in agricultural landscapes improving multi-functionality of constructed wetlands as nature-based solutions. Ecological Engineering 182. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.03826>
17. Sherchan S., Shahin S. A., Alarcon J., Brosky H., Potter C., & Dada A. C. (2022). Microbial source tracking of fecal contamination in stormwater runoff. Journal of Water and Health, 20(9), 1271–1283. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.286>
18. Zhang N., Liang C., Kan P., Yangyao J., Lu D., Yao Z., Gan H., & Zhu D. Z. (2023). *Indigenous microbial community governs the survival of Escherichia coli O157:H7 in constructed wetlands*. Environmental Pollution, 318, 120875. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120875>