

Qualité Bactériologique De L'eau Du Réseau De Distribution De La REGIDESO, Centre De Boma, Et Incidence Sanitaire Durant La Saison Pluvieuse 2025 Dans La Province Du Kongo Central (R.D. Congo)

Live Loki Mavema¹, Edouard Mbungu Sisa², Philippine Makoso Buanga¹, Déogratias Schie'Nkung'Mutambel'Hity³, Yvonne Bomangwa Ibebeke⁴.

¹Laboratoire de Biologie et Chimie, Institut Supérieur Pédagogique de Boma (ISPB) B.P. 151 Kongo Central, RD Congo

²Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Pédagogique Nationale (UPN) B.P. 8815 Kinshasa I, DRC.

³Laboratoire De biologie moléculaire, Université Pédagogique Nationale (UPN) B.P. 8815 Kinshasa I, DRC

⁴Laboratoire de chimie, Université Pédagogique Nationale (UPN) B.P. 8815 Kinshasa I, DRC.

Auteur correspondant : Live Loki Mavema



Résumé : La qualité microbiologique de l'eau potable constitue un enjeu majeur de santé publique dans les villes secondaires d'Afrique subsaharienne, où les infrastructures de distribution sont souvent fragilisées par le vieillissement des réseaux et les contraintes opérationnelles. La ville de Boma, située dans la province du Kongo Central en République Démocratique du Congo, ne dispose que de données limitées sur la qualité bactériologique de son réseau d'eau potable. Évaluer la qualité bactériologique du réseau de distribution d'eau potable de la REGIDESO à Boma durant la saison pluvieuse 2024–2025 et explorer les associations écologiques potentielles entre contamination microbiologique et maladies hydriques rapportées dans le système DHIS2. Un total de 168 échantillons d'eau a été collecté à partir de 12 points du réseau entre octobre 2024 et mai 2025. Les analyses microbiologiques ont porté sur les coliformes totaux et *Escherichia coli*, conformément aux normes internationales. Les données ont été soumises à des analyses statistiques descriptives et multivariées (ACP et classification hiérarchique). Les données épidémiologiques agrégées relatives aux maladies hydriques ont été extraites du DHIS2 pour analyse comparative. Quarante et un virgule sept pour cent (41,7 %) des échantillons présentaient une non-conformité liée à la détection de *E. coli*, en contradiction avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2022) exigeant son absence dans 100 mL d'eau potable. Une hétérogénéité spatiale significative a été observée, certains points du réseau montrant une contamination récurrente. Une concomitance temporelle a été notée entre les pics de contamination et l'augmentation des cas déclarés de maladies diarrhéiques, sans possibilité d'inférer une relation causale directe. Les résultats mettent en évidence des vulnérabilités persistantes dans le réseau de distribution d'eau potable de Boma, particulièrement en saison pluvieuse. Le renforcement de la surveillance microbiologique, l'amélioration de la maintenance des infrastructures et l'intégration des données sanitaires dans les plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau apparaissent essentiels pour réduire les risques sanitaires.

Mots-clés : Eau potable, qualité microbiologique, maladies hydriques, saison pluvieuse, Afrique subsaharienne.

1. Introduction

L'accès à une eau potable salubre demeure un défi majeur de santé publique dans de nombreux pays à revenu faible et intermédiaire. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et l'UNICEF (2023), environ deux milliards de personnes dans

le monde consomment une eau contaminée par des matières fécales, ce qui accroît le risque de maladies hydriques telles que la diarrhée, le choléra, la fièvre typhoïde et l'hépatite A. En Afrique subsaharienne, la croissance démographique rapide, l'urbanisation non planifiée, le vieillissement des infrastructures et les insuffisances de maintenance des réseaux de distribution contribuent de manière significative à la dégradation microbiologique de l'eau potable (OMS & UNICEF, 2023 ; Bain *et al.*, 2021).

La qualité microbiologique constitue un critère fondamental de potabilité. La détection de bactéries indicatrices de contamination fécale, notamment *Escherichia coli* et les coliformes totaux, est largement utilisée pour évaluer la présence potentielle d'agents pathogènes entériques (Edberg *et al.*, 2000 ; OMS, 2022). Les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la Santé recommandent l'absence totale de *E. coli* dans 100 mL d'eau destinée à la consommation humaine (OMS, 2022). Toutefois, dans de nombreux systèmes urbains africains, le maintien de l'intégrité microbiologique du réseau reste problématique en raison des fuites, des branchements illicites, des fluctuations de pression et d'un résiduel chloré insuffisant (Wright *et al.*, 2004 ; Fisher *et al.*, 2015).

En République Démocratique du Congo, les systèmes d'alimentation en eau potable sont confrontés à des contraintes structurelles et opérationnelles importantes, particulièrement dans les villes secondaires. Bien que l'accès à des sources améliorées d'eau potable ait progressé au niveau national, les données publiées concernant la qualité microbiologique de l'eau distribuée demeurent limitées (OMS, 2023). Plusieurs études menées en Afrique centrale et occidentale ont signalé des taux élevés de contamination coliforme dans les réseaux urbains, notamment en saison pluvieuse, période durant laquelle les phénomènes de ruissellement et d'infiltration augmentent les charges microbiennes (Momba *et al.*, 2006 ; Machdar *et al.*, 2013).

La variabilité saisonnière constitue un facteur déterminant dans l'épidémiologie des maladies hydriques. L'augmentation des précipitations peut favoriser la contamination des ressources en eau brute, réduire l'efficacité de la désinfection et compromettre l'étanchéité des conduites (Cann *et al.*, 2013). Plusieurs travaux ont mis en évidence une association entre épisodes pluvieux intenses, détérioration de la qualité microbiologique de l'eau et hausse de l'incidence des maladies diarrhéiques (Carlton *et al.*, 2014 ; Levy *et al.*, 2016). Cependant, les données intégrées combinant surveillance microbiologique et systèmes d'information sanitaire restent rares en Afrique centrale.

La ville de Boma, située dans la province du Kongo Central, constitue un exemple représentatif de ville secondaire en expansion confrontée à des défis infrastructurels. Malgré l'importance sanitaire de la qualité de l'eau distribuée par la REGIDESO, peu d'études scientifiques ont documenté la situation microbiologique du réseau de distribution local ou exploré son lien potentiel avec les maladies hydriques déclarées.

Ainsi, la présente étude vise à : (i) évaluer la qualité bactériologique du réseau de distribution d'eau potable de la REGIDESO à Boma durant la saison pluvieuse 2024–2025 ; (ii) analyser la variabilité spatiale et temporelle à l'aide d'analyses statistiques multivariées ; (iii) explorer les associations écologiques potentielles entre indicateurs microbiologiques et cas de maladies hydriques rapportés dans le système national d'information sanitaire (DHIS2).

2. Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans la ville portuaire et historique de Boma, située dans la province du Kongo Central, au sud-ouest de la République Démocratique du Congo. La ville est implantée sur la rive droite du fleuve Congo et constitue un important pôle fluvio-maritime du pays. Elle est traversée par la Route Nationale n°1 (RN1), axe stratégique reliant l'intérieur du territoire national à la façade atlantique (Mavema, 2023).

Boma est localisée aux coordonnées 05°50'55" S et 13°03'22" E, à une altitude moyenne d'environ 47 m, et couvre une superficie estimée à 4 332 km² (Mavema, 2023). Le relief est globalement peu accidenté, constitué de plaines et de collines de faible altitude. La végétation dominante est une savane côtière entrecoupée de formations arbustives et de galeries forestières le long des cours d'eau.

Le climat est de type tropical humide, marqué par l’alternance de deux saisons principales : (i) une saison pluvieuse, de mi-octobre à mi-mai ; (ii) une saison sèche, de mai à mi-octobre.

La saison des pluies est caractérisée par une augmentation du ruissellement, de l’érosion et de la turbidité des eaux brutes, susceptibles d’accroître le risque de contamination microbiologique du réseau de distribution.

La ville est située à environ 125 km en aval de Matadi, chef-lieu provincial, et à 114 km en amont de la cité côtière de Muanda. Elle se trouve également à près de 470 km au sud-ouest de Kinshasa, capitale du pays.

Sur le plan administratif, Boma est limitée :

- au Nord par la province angolaise de Cabinda et le territoire de Lukula ;
- au Sud par le fleuve Congo (frontière naturelle avec l’Angola) ;
- à l’Est par la rivière Muba et le territoire de Seke-Banza ;
- à l’Ouest par l’océan Atlantique (Ordonnance n°71-178 du 23 juillet 1971).

Selon les rapports annuels de la Mairie de Boma (2023–2024), la population était estimée à 404 765 habitants en 2023 (404 060 nationaux et 705 étrangers), répartie dans trois communes : Kalamu (161 606 habitants), Kabondo (121 062 habitants) et Nzadi (122 097 habitants).

En 2024, la population totale a été évaluée à 414 391 habitants (413 680 nationaux et 711 étrangers), avec une répartition communale de 170 481 habitants pour Kalamu, 121 376 pour Kabondo et 122 534 pour Nzadi.

Cette dynamique démographique exerce une pression croissante sur les infrastructures urbaines d’approvisionnement en eau potable, notamment le réseau exploité par la REGIDESO, rendant indispensable une surveillance régulière de la qualité microbiologique de l’eau distribuée.

L’étude a porté sur douze (12) points d’échantillonnage sélectionnés au sein du réseau de distribution d’eau potable de la REGIDESO, Centre de Boma. Le choix des sites visait à assurer une représentativité spatiale des principales zones de desserte, en tenant compte de la distance par rapport à la sortie de l’usine de traitement (Nouvelle Usine) et des variations d’altitude.

Les coordonnées géospatiales (latitude, longitude et altitude) ont été déterminées à l’aide d’un GPS Garmin MAP 60 CSx. Les distances ont été calculées à partir du point de sortie de l’usine de traitement.

Les distances des points de prélèvement par rapport à la sortie de l’usine varient de 1,225 km (Ancienne Usine, point le plus proche) à 5,920 km (Samy – Entrée Lukandu, point le plus éloigné), avec une distance moyenne d’environ 3,98 km.

La distribution spatiale des sites montre (figure 1) :

- une concentration plus dense dans le secteur nord-ouest (AU, BIM, BRA),
- une extension vers l’est (GDO),
- une dispersion vers le sud et le sud-ouest (SAM, JM, KIK).

Cette configuration spatiale permet d’évaluer l’influence potentielle de la distance hydraulique, de l’altitude et de la configuration du réseau sur la qualité bactériologique de l’eau distribuée.

Le choix de la ville de Boma comme milieu d’étude se justifie par :

- Son importance stratégique en tant que ville portuaire soumise à une pression anthropique significative ;
- La forte dépendance de la population au réseau public d’approvisionnement en eau ;
- La vulnérabilité accrue du système durant la saison pluvieuse, période à haut risque de contamination microbiologique.

L'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau dans ce contexte urbain tropical contribue ainsi à la production de données scientifiques utiles à la gestion sanitaire, à l'amélioration des infrastructures hydrauliques et à la prise de décision en matière de santé publique.

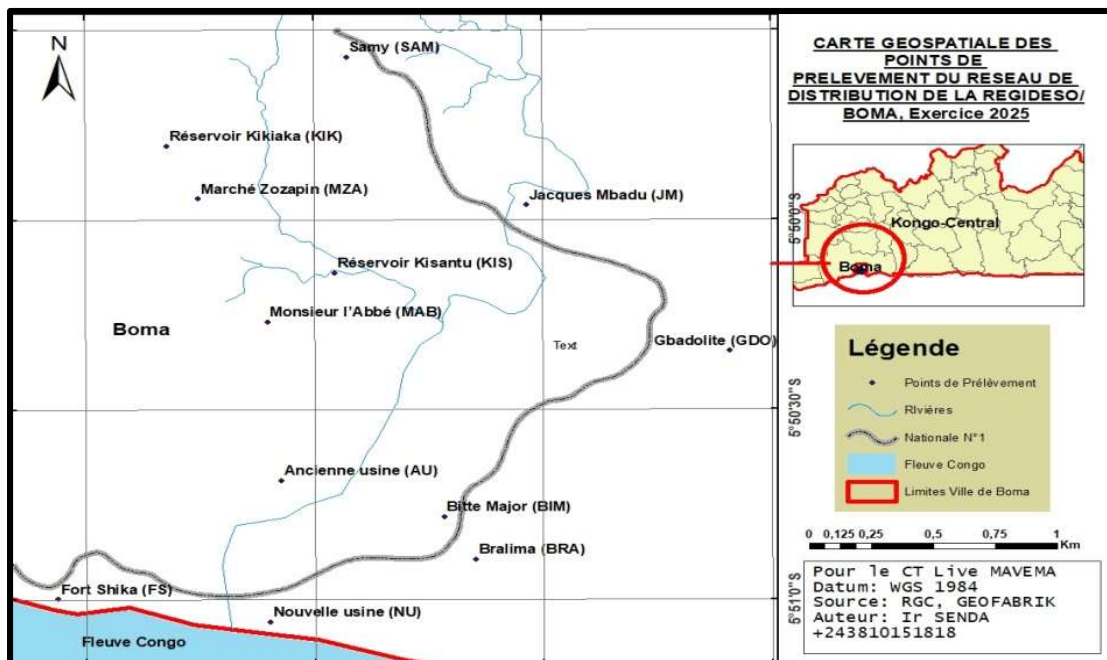


Figure 1: Géolocalisation des points de prélèvements du réseau de distribution de la REGIDESO/Boma, Exercice 2025

Tableau 1 : Coordonnées géospatiales des points d'échantillonnage des eaux dans le réseau de distribution d'eau de Boma

Points d'échantillonnage	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Distance par rapport à la sortie de l'usine (km)
Ancienne usine (AU)	S 05°50'56.5"	E 013°03'29.0"	47 m	1,225
Réservoir Kikiaka (KIK)	S 05°49'43.2"	E 013°02'55.3"	115 m	3,700
Réservoir Kisantu (KIS)	S 05°50'07.1"	E 013°03'14.5"	83 m	2,795
Nouvelle usine (NU)	S 05°51'34.3"	E 013°03'41.2"	7 m	0,000
Fort Shika (FS)	S 05°51'20.2"	E 013°01'58.2"	22 m	3,205
Gbadolite (GDO)	S 05°49'41.3"	E 013°04'07.1"	39 m	3,566
Samy (SAM)	S 05°48'28.6"	E 013°02'49.4"	22 m	5,920
Monsieur l'Abbé (MAB)	S 05°49'35.8"	E 013°03'10.2"	54 m	3,751
Bralima (BRA)	S 05°51'01.7"	E 013°04'21.9"	16 m	1,605
Marché Zozapin (MZA)	S 05°50'06.1"	E 013°03'08.6"	69 m	2,895
Jacques Mbadu (JM)	S 05°49'09.9"	E 013°03'18.9"	14 m	4,475
Bitte Major (BIM)	S 05°50'40.2"	E 013°03'59.0"	13 m	1,747

3. Méthodes

3.1. Conception de l'étude

Il s'agit d'une étude analytique et prospective portant sur la qualité bactériologique de l'eau du réseau de distribution exploité par la REGIDESO à Boma. Les campagnes de prélèvement ont été réalisées durant la saison pluvieuse (octobre 2024 – mai 2025) dans douze (12) points du réseau de distribution.

Deux séries de prélèvements par mois ont été effectuées par doublon pour chaque point, soit quatorze (14) campagnes au total et cent soixante-huit (168) échantillons destinés aux analyses bactériologiques.

3.2. Échantillonnage et techniques de prélèvement

3.2.1. Sélection des sites

La sélection des points d'échantillonnage a reposé sur trois critères : (1) Les ouvrages stratégiques du réseau (usines et réservoirs : NU, AU, KIS, KIK) ; (2) Une sélection aléatoire couvrant différentes zones de desserte (GDO, BIM, MAB, FS, MZA) ; (3) Les sites précédemment identifiés comme vulnérables à la contamination bactérienne (BRA, SAM), sur la base d'une étude antérieure (Mavema, 2023).

Cette stratégie visait à assurer une représentativité spatiale et fonctionnelle du réseau de distribution.

3.2.2. Procédure de prélèvement

Les prélèvements ont été réalisés conformément aux recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (2017) et aux normes ISO 5667-5 (2006), ISO 19458 (2006) et ISO 5667-3 (2018).

Avant prélèvement, 0,25 mL de solution de thiosulfate de sodium à 10 % a été introduit dans chaque flacon stérile (250 mL) afin de neutraliser les oxydants résiduels (chlore libre et chloramines) et prévenir toute inhibition bactérienne.

Les robinets métalliques ont été flambés pendant une minute à l'aide d'un brûleur à alcool (70 %), tandis que les robinets en plastique ont été désinfectés à l'hypochlorite de sodium. L'eau a ensuite été laissée couler pendant 2 à 5 minutes afin d'éliminer l'eau stagnante.

Les échantillons ont été collectés dans des conditions aseptiques, sans contact manuel avec l'intérieur du flacon. Après remplissage jusqu'au trait de jauge, les flacons ont été immédiatement fermés, étiquetés (code, site, date, heure, température), puis placés dans une glacière à 4 ± 2 °C et transportés au laboratoire pour analyse dans les délais prescrits.

3.3. Analyses bactériologiques

Les analyses microbiologiques ont ciblé : *Escherichia coli* ; les coliformes fécaux et les coliformes totaux.

Deux méthodes complémentaires ont été utilisées dans deux laboratoires distincts afin de comparer les performances analytiques.

3.3.1. Méthode 1 : Ensemencement en boîtes de Pétri (M1)

Cette méthode a été réalisée au laboratoire de la REGIDESO/Boma, selon les prescriptions de Rodier *et al.* (2009). Elle consiste à ensemencer un volume connu d'échantillon directement sur un milieu de culture solide afin de permettre la croissance et le dénombrement des bactéries viables.

Un volume de 1 mL d'échantillon a été inoculé aseptiquement dans des boîtes de Pétri stériles, suivi de l'ajout de 10 mL de milieu fondu (maintenu à 44 ± 1 °C). Après homogénéisation, les boîtes ont été incubées en position inversée à 37 ± 2 °C pendant 24 à 48 heures.

Les milieux utilisés ont été : MacConkey agar (coliformes totaux et *E. coli*) ; Citrate de Simmons (tests d'identification complémentaire, notamment pour *Klebsiella* spp.). Les colonies ont été dénombrées manuellement ou à l'aide d'un compteur de colonies (Bioblock Colony Counter). Les résultats ont été exprimés en unités formant colonies par millilitre (UFC/mL), conformément à la norme ISO 9308-1 (2014).

3.3.2. Méthode 2 : Filtration sur membrane (M2)

La méthode de filtration sur membrane a été réalisée au laboratoire provincial de la REGIDESO/Matadi, conformément à la norme ISO 9308-1 (2014), aux recommandations OMS (2017) et aux standards APHA (2017).

Un volume de 100 mL d'échantillon a été filtré sous vide modéré à travers une membrane stérile de porosité 0,45 µm. La membrane, retenant les micro-organismes, a été déposée sur un milieu sélectif et incubée à : 37 ± 2 °C (coliformes totaux et *E. coli*) ; $44 \pm 0,5$ °C (coliformes fécaux). Les milieux utilisés comprenaient : m-Endo agar (dénombrement des coliformes totaux et *E. coli*) et Citrate de Simmons (tests d'identification complémentaire). Après 24 à 48 heures d'incubation, les colonies caractéristiques ont été comptées et exprimées en UFC/100 mL, selon les standards internationaux.

3.4. Expression et validation des résultats

Les résultats ont été interprétés selon les recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé, qui exigent l'absence d'*E. coli* dans 100 mL d'eau destinée à la consommation humaine. Les analyses ont été réalisées en doublon afin d'assurer la reproductibilité et la fiabilité des résultats.

3.5. Analyses statistiques

Le traitement statistique des données a été effectué à l'aide du logiciel PAST (Paleontological Statistics), version 4.03 (Hammer *et al.*, 2001). Trois approches analytiques ont été adoptées :

- Statistiques descriptives : calcul des moyennes, médianes et écarts-types pour caractériser la distribution et la variabilité des paramètres bactériologiques et épidémiologiques.
- Analyses inférentielles : le test non paramétrique de Kruskal–Wallis a été utilisé pour comparer les médianes des paramètres entre les points de prélèvement et entre les méthodes d'étude, en raison de la distribution non normale des données microbiologiques (Ter Braak, 1987 ; Palmer, 1993).
- l'analyse multivariée : a été exploitée pour explorer simultanément les interactions entre plusieurs variables environnementales et sanitaires. Deux méthodes complémentaires ont été choisies (Saporta, 2011) : Analyse en Composantes Principales (ACP), pour dégager les corrélations entre les paramètres bactériologiques et épidémiologiques, et pour identifier les principaux gradients justifiant la structuration des points de prélèvement (Ter Braak, 1988 ; Ter Braak & Šmilauer, 1998) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), elle a permis de mettre en évidence les degrés de similarité ou de dissimilarité entre les points de prélèvement en fonction de leurs caractéristiques bactériologiques et épidémiologiques, facilitant ainsi l'identification de groupes homogènes de stations (Lebart *et al.*, 2006).

Les données épidémiologiques ont été extraites du système national d'information sanitaire via la plateforme DHIS2, utilisée par le Ministère de la Santé Publique, Hygiène et Prévention pour la collecte et la centralisation des données des formations sanitaires de la zone de santé de Boma.

4 Résultats et Interprétation

4.1 Paramètres bactériologiques

4.1.1 *Escherichia coli*

1° Méthode d'ensemencement en boîtes de pétri simples

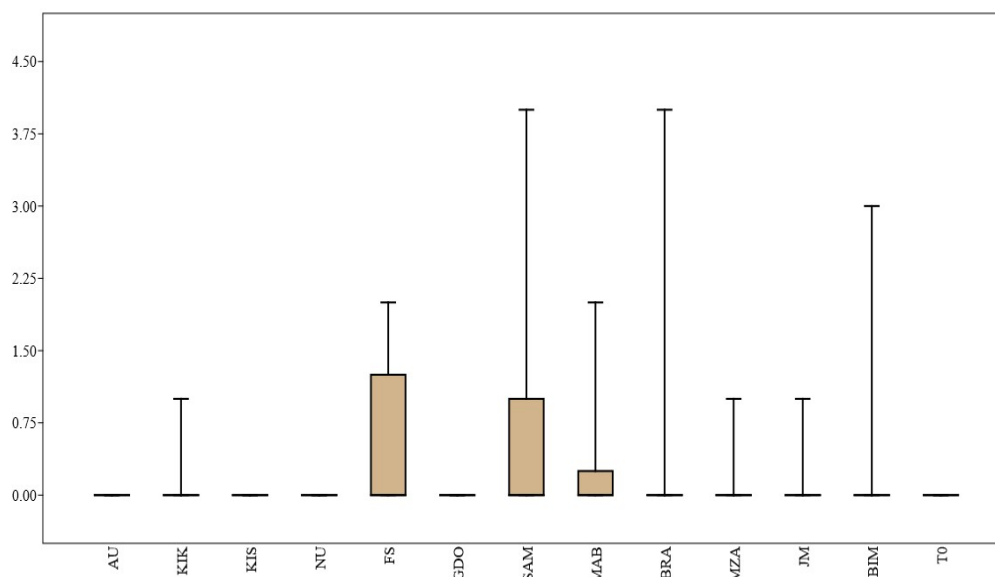


Figure 1 : Évolution de colonies d'*Escherichia coli* (UFC/100 mL) par méthode en boîtes de Pétri (M1) dans les eaux du réseau de distribution de la REGIDESO centre de Boma (Saison pluvieuse 2025)

Les valeurs minimales ont été nulles (0 UFC/100 mL) pour l'ensemble des points de prélèvement (AU, KIK, KIS, NU, FS, GDO, SAM, MAB, BRA, MZA, JM et BIM). Les valeurs maximales ont varié entre 0 et 4 UFC/100 mL, avec les maxima les plus élevés observés à SAM (4), BRA (4) et BIM (3), tandis que plusieurs sites ont présenté un maximum nul (AU, KIS, NU, GDO). Les moyennes fluctuent entre 0 et 0,57 UFC/100 mL, la moyenne la plus élevée étant enregistrée à SAM (0,57), suivie de FS et BRA (0,5). Les médianes sont nulles (0 UFC/100 mL) pour tous les points de prélèvement. Les écarts-types ont varié de 0 à 1,29 UFC/100 mL, avec les valeurs les plus élevées observées à BRA (1,29), SAM (1,16) et FS (0,85), tandis que plusieurs sites ont présenté un écart-type nul.

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis ($H_c=14,07$; $p\text{-value} = 0,296 > 0,05$) indiquant l'absence de différence significative entre les différents points de prélèvement et la nouvelle usine. Par conséquent, l'eau est de bonne qualité microbiologique.

2° Méthode d'ensemencement par filtration sur membrane

Les valeurs minimales ont été nulles (0 UFC/100 mL) pour tous les points. Les valeurs maximales varient entre 0 et 5 UFC/100 mL. Le maximum le plus élevé est observé à FS et JM (5), suivi de BRA (4) et SAM/MAB (3). Les moyennes se sont étendue de 0 à 1,21 UFC/100 mL, la moyenne la plus élevée étant enregistrée à JM (1,21), suivie de FS (0,79) et SAM/BRA/MZA (0,64). Les médianes ont été nulles pour la majorité des points, excepté JM (0,5 UFC/100 mL). Les écarts-types ont varié entre 0 et 1,53 UFC/100 mL, avec les valeurs les plus élevées à JM (1,53), FS (1,42) et BRA (1,22).

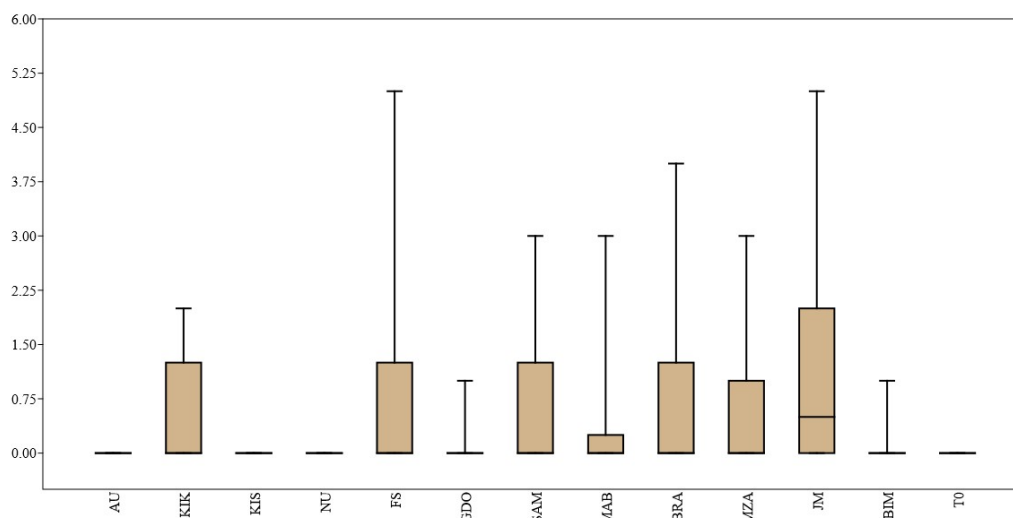


Figure 2 : Évolution de colonies d'*Escherichia coli* (UFC/100 mL) par Filtration sur membrane (M2) dans les eaux du réseau de distribution de la REGIDESO centre de Boma (Saison pluvieuse 2025)

Le test statistique de Kruskal-Wallis ($H_c = 34,08$; $p\text{-value} = 0,0006562 < 0,05$) signalent une différence significative d'*Escherichia coli* entre les points de prélèvement. La légère détection de colonies observée exige un suivi particulier et permanent en vue de sécuriser le réseau de distribution contre toute pollution microbienne.

4.2 Coliformes fécaux

1° Méthode d'ensemencement en boîtes de pétri simples

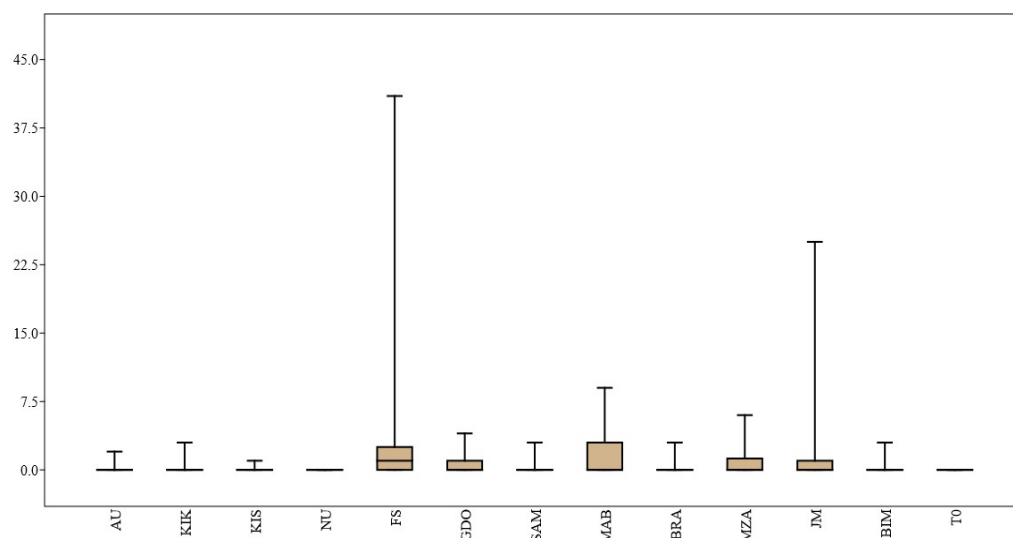


Figure 3 : Evolution de colonies *Coliformes fécaux* (UFC/100 mL) par méthode en boîtes de Pétri (M1) dans les eaux du réseau de distribution de la REGIDESO centre de Boma (Saison pluvieuse 2025)

Les valeurs minimales ont été nulles (0 UFC/100 mL) pour tous les points de prélèvement. Les valeurs maximales varient entre 1 et 32 UFC/100 mL. Le maximum le plus élevé a été observé à MAB (32), suivi de BRA (19), JM (16) et FS (14). Les moyennes

varient entre 0,1 et 5,57 UFC/100 mL. La moyenne la plus élevée est enregistrée à FS (5,57), suivie de BRA (5,07) et MAB (3,36). Les médianes (50%) ont été nulles pour la majorité des points, sauf FS (4,5), SAM (2), MZA (1,5), BRA (1) et JM (1). Les écarts-types varient de 0,3 à 8,44 UFC/100 mL, la valeur la plus élevée étant observée à MAB (8,44), suivie de BRA (7,59) et JM (4,2).

Le test de Kruskal-Wallis ($H_c=33,47$; $p\text{-value}=0,0008159<0,05$) a indiqué une différence significative des coliformes fécaux entre les points de prélèvements et la nouvelle usine. Les coliformes fécaux ont présenté une tendance à faible contamination fécale.

2° Méthode d'ensemencement par filtration sur membrane

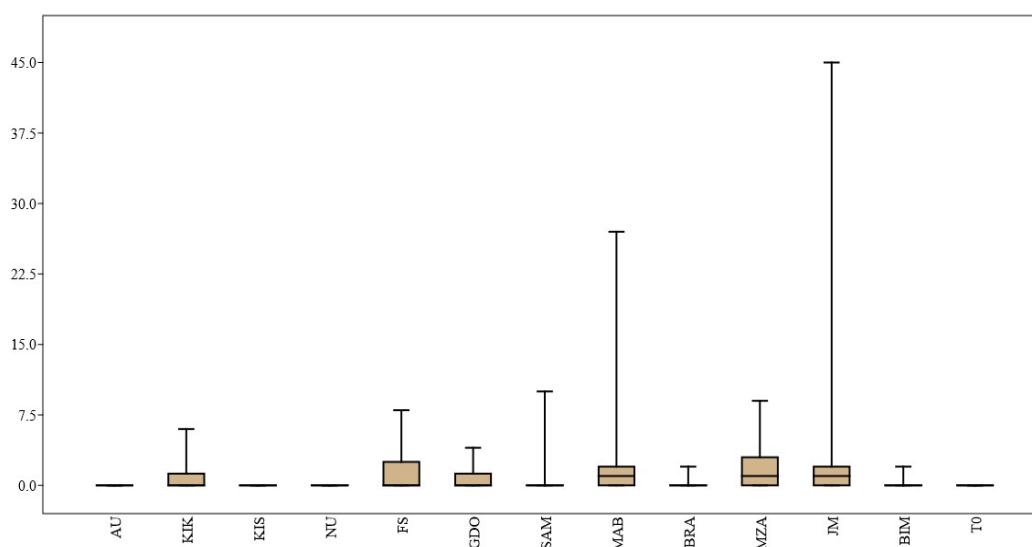


Figure 3 : Évolution de colonies **Coliformes fécaux** (UFC/100 mL) par Filtration sur membrane (M2) dans les eaux du réseau de distribution de la REGIDESO centre de Boma (**Saison pluvieuse 2025**)

Les valeurs minimales sont nulles (0 UFC/100 mL) dans tous les points. Les valeurs maximales varient entre 2 et 141 UFC/100 mL. Le maximum le plus élevé est observé à JM (141), suivi de SAM (131), FS (30), BRA (36) et MAB (27). Les moyennes se sont échelonnées entre 0,2 et 17,1 UFC/100 mL. La moyenne la plus élevée est enregistrée à JM (17,1), suivie de SAM (11,93) et FS (8,1). Les médianes ont été nulles pour plusieurs points, tandis que les valeurs médianes les plus élevées ont été observées à JM (8), FS (7,5) et KIK (3). Les écarts-types varient de 0,8 à 36,5 UFC/100 mL, les plus élevés étant enregistrés à JM (36,5), SAM (34,42) et BRA (9,6).

La lecture des résultats du test de Kruskal-Wallis ($H_c=46,23$; $p\text{-value}=6,34E-06<0,05$) indique une différence hautement significative des coliformes fécaux entre les différents points de prélèvements et la nouvelle usine. Des variations plus significatives à certains points de prélèvement, justifiées par l'écoulement d'eau, par une infiltration d'origine fécale, ont été observées exigeant une surveillance permanente du réseau.

4.1.3 Coliformes totaux

1° Méthode d'ensemencement en boîtes de pétri simples

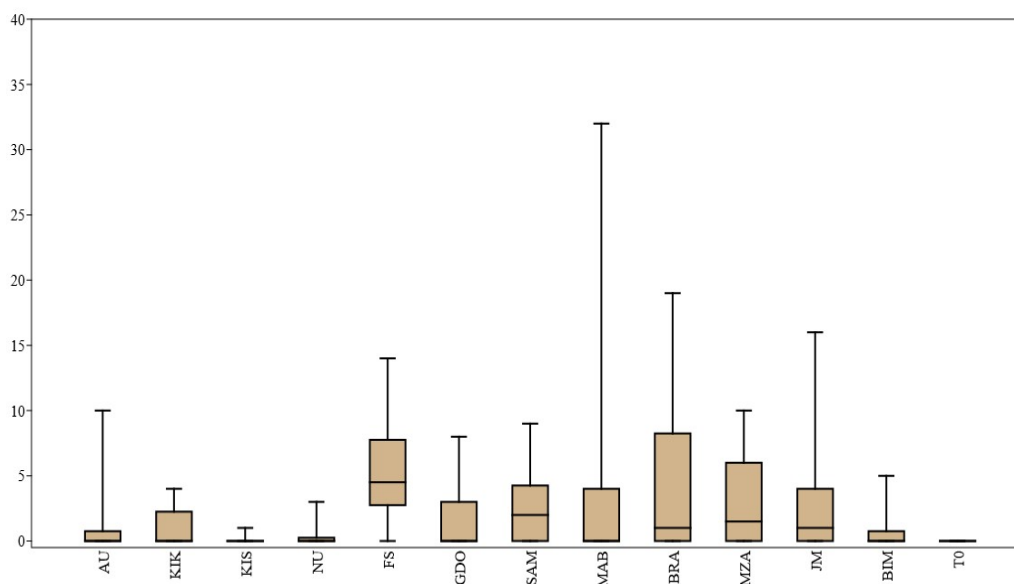


Figure 5 : Évolution de colonies *Coliformes totaux* (UFC/100 mL) par méthode en boîtes de Pétri (M1) dans les eaux du réseau de distribution de la REGIDESO centre de Boma (Saison pluvieuse 2025)

Les valeurs minimales sont nulles (0 UFC/100 mL) pour tous les points. Les valeurs maximales varient entre 0 et 41 UFC/100 mL. Le maximum le plus élevé est observé à FS (41), suivi de JM (25) et MAB (9). Les moyennes varient entre 0 et 4,2 UFC/100 mL. La moyenne la plus élevée est observée à FS (4,2), suivie de JM (2,2) et MAB (1,71). Les médianes sont nulles pour la majorité des points, excepté FS (1). Les écarts-types varient entre 0 et 11 UFC/100 mL, avec les valeurs les plus élevées à FS (11), JM (6,6) et MAB (2,76). Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis ($H_c=47,96$; p -value $<0,05$) signale une différence statistiquement significative avec rejet de l'hypothèse nulle entre les points de prélèvements, mais aussi, une tendance avec hétérogénéité significative à certains points (FS, SAM et MZA) causée apparemment par l'effet de ruissellement et de diverses sources de contamination.

2° Méthode d'ensemencement par filtration sur membrane

Les valeurs minimales ont été nulles (0UFC/100 mL) pour l'ensemble des points. Les valeurs maximales varient entre 0 et 45 UFC/100 mL. Le maximum le plus élevé a été observé à JM (45), suivi de MAB (27), FS (8) et SAM (10). Les moyennes se sont étendue de 0 à 5,14 UFC/100 mL, la moyenne la plus élevée étant enregistrée à JM (5,14), suivie de MAB (2,71) et MZA (1,79). Les médianes ont été nulles pour la majorité des points, avec des valeurs médianes de 1 observées à MAB, MZA et JM. Les écarts-types varient entre 0 et 12,4 UFC/100 mL, les plus élevés étant observés à JM (12,4), MAB (7,04) et SAM (2,8).

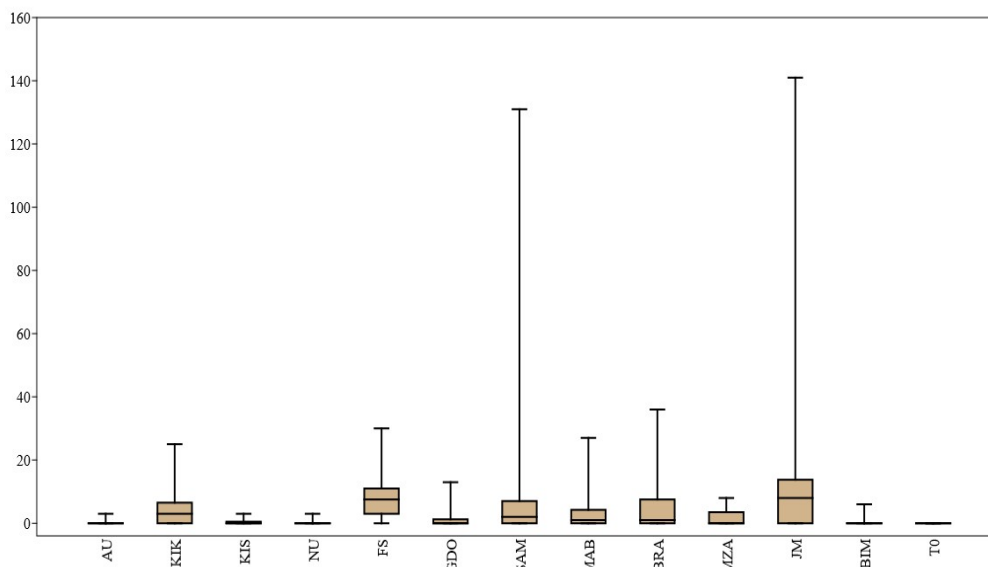


Figure 6 : Évolution de colonies **Coliformes totaux** (UFC/100 mL) par Filtration sur membrane (M2) dans les eaux du réseau de distribution de la REGIDESO centre de Boma (**Saison pluvieuse : octobre 2024 – mai 2025**)

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis ($H_c=54,91$; $p\text{-value} < 0,5$) indiquant une différence hautement significative des coliformes totaux entre les points de prélèvements. Cette saison note une tendance générale diversifiée et significative, caractérisée par un nombre élevé des coliformes totaux sur certains points (JM, FS et SAM). Nécessité d'un suivi strict et régulier sur tout le réseau de distribution le risque sanitaire.

4.3 Corrélations entre les paramètres bactériologiques et épidémiologiques

La figure 7 renseigne que deux axes principaux (1 et 2) ou composantes principales ont été retenues puisqu'ils sont responsables de 93,78% de la variance totale ; l'axe 1 ayant exprimé le maximum de la variabilité (55,14%) et l'axe 2, une variance résiduelle (38,64%).

L'espèce bactérienne *Escherichia coli* a présenté des fortes affinités positives avec la fièvre typhoïde, diarrhée avec déshydratation et diarrhée simple et les points de prélèvement SAM et JM.

D'autres corrélations positives ont été décelées entre *E. coli* et la dysentérie amibienne et les points de prélèvement GDO, BRA, AU, NU et BIM.

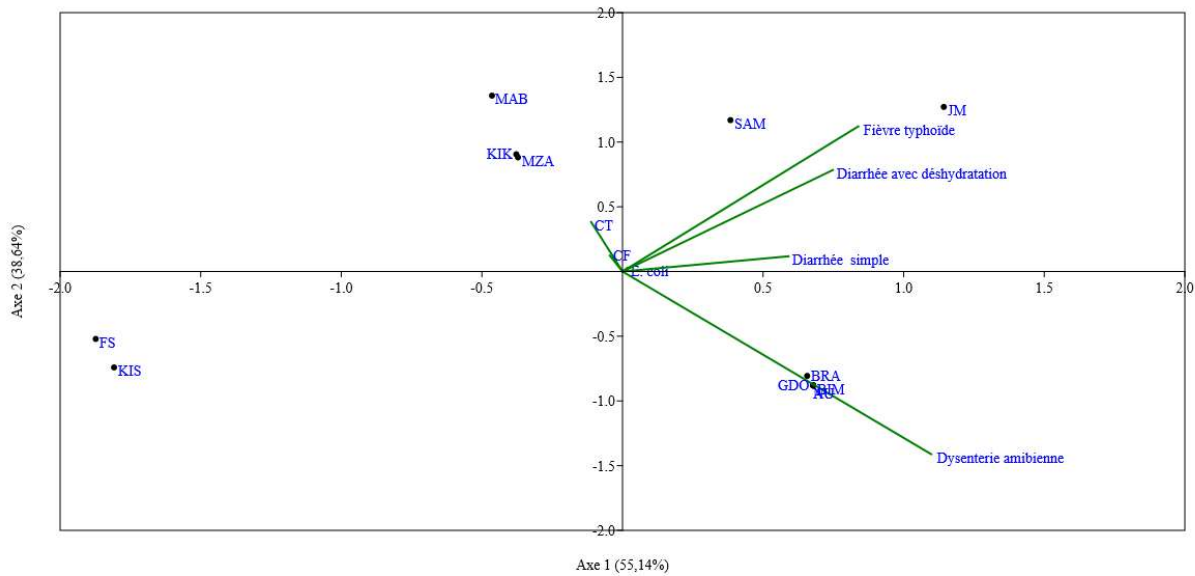


Figure 7. Corrélations entre les paramètres bactériologiques et épidémiologiques dans le réseau de distribution d'eau de la REGIDESO Centre de Boma (Saison pluvieuse 2025)

4.4 Classification Hiérarchique Ascendante

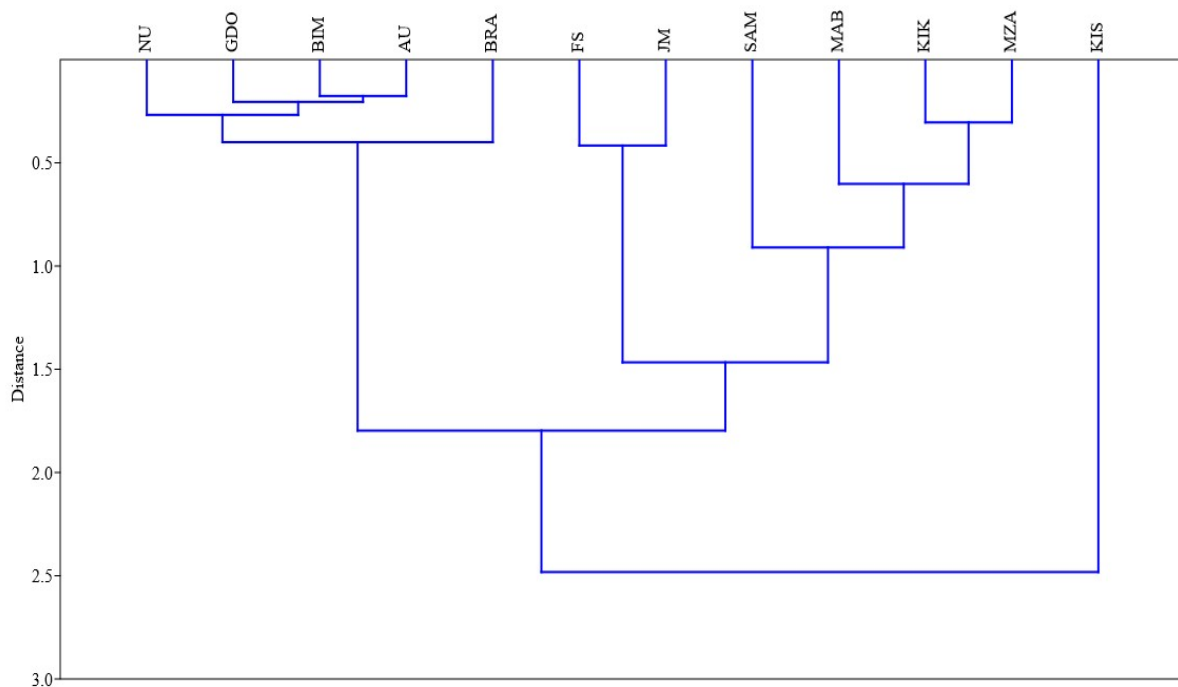


Figure 8. Classification Ascendante Hiérarchique des points de prélèvement du réseau de distribution de la REGIDESO Centre de Boma en fonction de la présence des bactéries indicatrices et des maladies hydriques (Saison pluvieuse 2025)

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) met en évidence une structuration nette des points de prélèvement en deux groupes principaux, sur la base de la similarité de leur profil bactériologique et de l'occurrence des maladies hydriques associées.

Premier groupe : ensemble majoritaire et homogène. Ce groupe rassemble les points présentant des caractéristiques relativement similaires quant à la qualité microbiologique de l'eau distribuée : NU, GDO, BIM, AU, BRA, FS, JM, SAM, MAB, KIK et MZA.

Au sein de cet ensemble, deux sous-groupes distincts sont observés :

- Sous-groupe 1 (NU, GDO, BIM, AU, BRA) : ces points se caractérisent par une faible contamination bactérienne, principalement associée à la dysenterie amibienne, traduisant une relative stabilité sanitaire du réseau dans ces zones.
- Sous-groupe 2 (FS, JM, SAM, MAB, KIK, MZA) : ces points présentent une association plus marquée avec la présence d'indicateurs bactériologiques (*Escherichia coli*, coliformes totaux et coliformes fécaux) ainsi qu'avec des pathologies hydriques telles que la fièvre typhoïde et les diarrhées (simples ou avec déshydratation). Ce regroupement suggère une vulnérabilité plus élevée à la contamination microbiologique et un risque sanitaire accru.

Deuxième groupe : point isolé. Un point de prélèvement apparaît nettement isolé dans le dendrogramme, indiquant un profil significativement différent de l'ensemble des autres sites. Cette singularité pourrait refléter soit une situation sanitaire particulièrement stable, soit au contraire un niveau de contamination ou d'incidence pathologique atypique nécessitant une investigation complémentaire.

Dans l'ensemble, la CAH met en évidence une corrélation structurelle entre la qualité bactériologique de l'eau distribuée par la REGIDESO (Centre de Boma) et la distribution spatiale des maladies hydriques enregistrées durant la saison pluvieuse.

Tableau 2. Taux de conformité des échantillons d'eau aux normes de l'Organisation mondiale de la Santé (2012) pour les paramètres bactériologiques (2025)

Points de prélèvement	Espèces bactériennes						Taux de contamination (%)
	<i>Escherichia coli</i>		Coliformes fécaux		Coliformes totaux		
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	
AU	0	0	0	0	0	0	0
KIK	0	0	0	0	0	3	16,7
KIS	0	0	0	0	0	0	0
NU	0	0	0	0	0	0	0
FS	0	0	1	0	4,5	7,5	50
GDO	0	0	0	0	0	0	0
SAM	0	0	0	0	2	2	33,3
MAB	0	0	0	1	0	1	33,3
BRA	0	0	0	0	1	1	33,3
MZA	0	0	0	1	1,5	0	33,3
JM	0	0,5	0	1	1	8	66,7
BIM	0	0	0	0	0	0	0
Taux de conformité (%)	100	91,7	91,7	75	58,3	50	

L'analyse comparative des deux méthodes d'ensemencement (M1 : en boîtes de Pétri ; M2 : filtration sur membrane) met en évidence des variations notables de conformité selon le paramètre microbiologique étudié. Analyse par groupe bactérien

- *Escherichia coli* : la conformité a été totale (100 %) avec la méthode M1, traduisant l'absence de détection dans l'ensemble des échantillons. En revanche, la méthode M2 indique un taux de conformité légèrement inférieur (91,7 %), révélant une sensibilité analytique plus élevée de la filtration sur membrane pour ce paramètre.
- Coliformes fécaux : le taux de conformité atteint 91,7 % avec M1 contre 75,0 % avec M2. Cette différence confirme une meilleure capacité de détection de la méthode par filtration, suggérant que certaines contaminations de faible intensité peuvent ne pas être détectées par l'ensemencement direct.
- Coliformes totaux : les taux de conformité sont plus faibles pour ce groupe bactérien : 58,3 % (M1) et 50,0 % (M2). Ces résultats ont indiqué que les coliformes totaux ont constitué le principal indicateur de non-conformité microbiologique du réseau de distribution d'eau de Boma.

Globalement, la méthode M2 a apparu plus sensible, mettant en évidence une proportion plus importante d'échantillons non conformes.

Analyse par point de prélèvement, sur l'ensemble des sites :

- 41,7 % des points (AU, KIS, NU, GDO, BIM) ont présenté une conformité totale aux normes de l'OMS, traduisant une mauvaise qualité microbiologique de l'eau distribuée.
- 58,3 % des points ont présenté au moins un épisode de contamination bactérienne.

Les niveaux de contamination observés ont varié selon les points de prélèvement :

- Faible contamination : KIK (16,7 %) ;
- Contamination intermédiaire : SAM, MAB, BRA et MZA (33,3 %) ;
- Contamination élevée : FS (50,0 %) ;
- Contamination très élevée : JM (66,7 %).

Ces résultats ont indiqué une hétérogénéité spatiale significative de la qualité bactériologique du réseau, avec certains points particulièrement vulnérables.

4.2 Relevé épidémiologique des maladies hydriques de la zone de santé de Boma en saison pluvieuse 2025

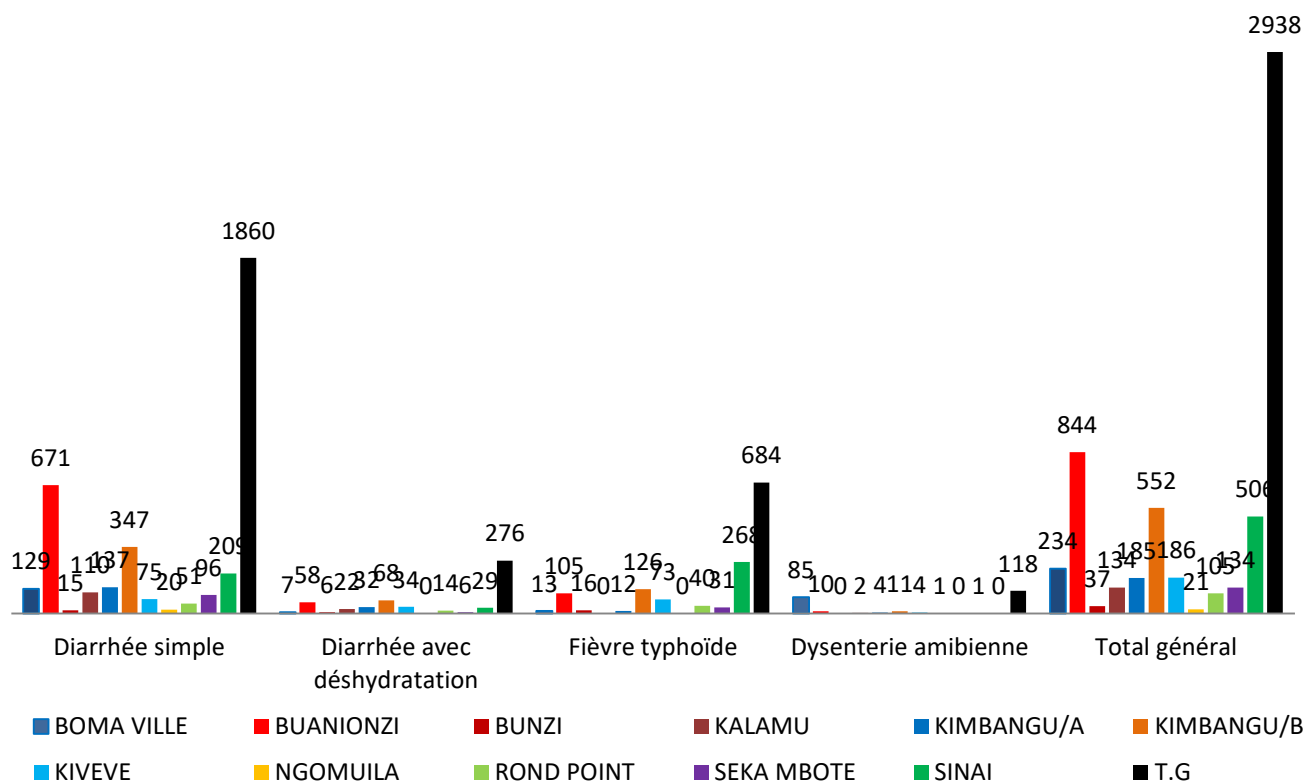


Figure 9. Fréquence des maladies hydriques dans les aires de santé de la ville de Boma (Saison pluvieuse 2025)

Les données épidémiologiques extraites de la plateforme DHIS2 mettent en évidence une distribution inégale des pathologies hydriques au sein des aires de santé de la zone de Boma.

Sur un total de 2 938 cas enregistrés : BUANIONZI a été l'aire de santé la plus touchée (28,7 %) ; suivie de KIMBANGU/B (18,8 %) et de SINAI (17,2 %).

Cependant, l'aire de NGOMUILA présente la plus faible proportion de cas (0,71 %), suggérant soit une meilleure situation sanitaire locale, soit une possible sous-notification.

Parmi les maladies hydriques recensées : la diarrhée simple a été largement prédominante (63,3 %), constituant la principale cause de morbidité hydrique durant la période étudiée ; la fièvre typhoïde a représenté 23,3 % des cas ; la dysenterie amibienne a atteint 14,2 %.

Aucun cas de shigellose, de choléra ou de paralysie flasque aiguë n'a été enregistré durant la période considérée.

Ces résultats traduisent une prédominance des syndromes diarrhéiques non spécifiques, souvent liés à des contaminations microbiologiques diffuses de l'eau ou des aliments, et confirment l'importance de la surveillance conjointe de la qualité de l'eau et des indicateurs épidémiologiques.

5 Discussion

Les résultats ont montré que 41,7 % des échantillons analysés n'ont pas respecté les recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé en raison de la détection de *Escherichia coli*. Conformément aux lignes directrices internationales, la présence de *E. coli* dans 100 mL d'eau potable indique une contamination fécale récente et constitue un risque potentiel pour la santé publique (OMS, 2022). Ces observations suggèrent l'existence de vulnérabilités persistantes au sein du réseau de distribution étudié.

La proportion d'échantillons non conformes observée dans cette étude est comparable à celles rapportées dans d'autres contextes urbains d'Afrique subsaharienne. Momba *et al.* (2006) et Mavema (2023) ont mis en évidence une contamination coliforme fréquente dans des réseaux sud-africains, tandis que Fisher *et al.* (2015) ont documenté une contamination significative des systèmes d'eau en milieu urbain à faible revenu. Ces résultats corroborent l'hypothèse selon laquelle l'intégrité des réseaux de distribution constitue un maillon critique de la chaîne de sécurité sanitaire de l'eau.

L'hétérogénéité spatiale mise en évidence par l'analyse en composantes principales et la classification hiérarchique indique des zones spécifiques de vulnérabilité. Ces différences peuvent s'expliquer par l'état des conduites, la corrosion, les variations de pression ou la discontinuité du service. L'alimentation intermittente en eau est fortement associée à un risque accru de contamination en raison des phénomènes de pression négative favorisant l'intrusion de contaminants (Kumpel & Nelson, 2016).

La saison pluvieuse a semblé avoir joué un rôle déterminant. Les précipitations ont pu accroître la turbidité des eaux brutes, diminuer l'efficacité de la chloration et favoriser l'infiltration dans les réseaux endommagés (Cann *et al.*, 2013). Plusieurs études ont montré que les épisodes pluvieux sont associés à une augmentation des cas de maladies diarrhéiques dans les environnements tropicaux (Carlton *et al.*, 2014 ; Levy *et al.*, 2016).

L'analyse écologique croisant données microbiologiques et données issues du DHIS2 suggère une concomitance temporelle entre pics de contamination et augmentation des cas rapportés de maladies hydriques. Toutefois, aucune relation causale directe ne peut être établie à partir de ce type d'analyse agrégée. Les maladies hydriques sont multifactorielles et influencées par les conditions d'assainissement, les pratiques d'hygiène et d'autres voies d'exposition environnementales (Prüss-Ustün *et al.*, 2019).

Néanmoins, l'intégration de la surveillance microbiologique et des données sanitaires constitue une approche pertinente pour le renforcement des plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau. L'Organisation mondiale de la Santé recommande la mise en œuvre de Plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau (Water Safety Plans) fondés sur l'analyse des risques (OMS, 2022). Les résultats de cette étude soulignent la nécessité d'améliorer la surveillance du chlore résiduel, la maintenance des infrastructures et l'évaluation continue des risques au niveau local.

Du point de vue de la santé publique, le renforcement de l'intégrité du réseau et l'assurance d'une désinfection continue pourraient contribuer à réduire l'exposition aux agents pathogènes entériques. À l'échelle mondiale, l'amélioration de la qualité de l'eau potable est associée à une réduction significative de la morbidité diarrhéique (Prüss-Ustün *et al.*, 2019). Dans cette perspective, les villes secondaires telles que Boma jouent un rôle stratégique dans l'atteinte de l'Objectif de Développement Durable 6 relatif à l'accès universel à une eau potable sûre.

Conclusion

Cette étude met en évidence une proportion préoccupante d'échantillons non conformes aux recommandations internationales en matière de qualité microbiologique de l'eau potable dans le réseau de distribution de Boma. La détection de *Escherichia coli* dans près de la moitié des échantillons analysés révèle l'existence de points de vulnérabilité persistants, susceptibles d'être exacerbés par les conditions saisonnières et les contraintes structurelles du réseau.

L'hétérogénéité spatiale observée suggère que les défaillances ne sont pas uniformément réparties mais localisées, ce qui plaide en faveur d'interventions ciblées basées sur une cartographie des risques. La concomitance temporelle entre contamination microbiologique et augmentation des cas de maladies hydriques souligne l'importance d'une approche intégrée combinant surveillance environnementale et données sanitaires, tout en reconnaissant les limites inhérentes aux analyses écologiques.

Dans une perspective de santé publique, ces résultats appuient la nécessité de renforcer les Plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé, d'améliorer la continuité de service, de maintenir un résiduel chloré adéquat et de moderniser les infrastructures vieillissantes. L'amélioration durable de la qualité de l'eau potable dans les villes secondaires de la République Démocratique du Congo constitue un levier essentiel pour la réduction de la morbidité liée aux maladies hydriques et pour l'atteinte des objectifs de développement durable relatifs à l'accès universel à une eau sûre.

Références

- [1]. APHA, AWWA, WEF (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed. Washington DC.
- [2]. Bain, R., Johnston, R., Mitis, F., Chatterley, C., Slaymaker, T., & Bartram, J. (2021). Establishing sustainable development goal baselines for household drinking water, sanitation and hygiene services. *Environmental Science & Technology*, 55(4), 2433–2442. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05263>
- [3]. Cann, K. F., Thomas, D. R., Salmon, R. L., Wyn-Jones, A. P., & Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology and Infection*, 141(4), 671–686. <https://doi.org/10.1017/S0950268812001653>
- [4]. Carlton, E. J., Woster, A. P., DeWitt, P., Goldstein, R. S., & Levy, K. (2014). A systematic review and meta-analysis of ambient temperature and diarrhoeal diseases. *International Journal of Epidemiology*, 43(1), 117–128. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt250>
- [5]. Edberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J., & Allen, M. J. (2000). *Escherichia coli*: The best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88(S1), 106S–116S. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.01036.x>
- [6]. Fisher, M. B., Williams, A. R., Jalloh, M. F., Saquee, G., Bain, R. E. S., & Bartram, J. K. (2015). Microbiological and chemical quality of packaged sachet water and household stored drinking water in Freetown, Sierra Leone. *PLoS ONE*, 10(7), e0131772. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131772>
- [7]. Hammer, Harper, D.A.T., et Ryan, P.D. (2001). *PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Paleontologia Electronica?* 4(1), 1-9
- [8]. Kumpel, E., & Nelson, K. L. (2016). Intermittent water supply: Prevalence, practice, and microbial water quality. *Environmental Science & Technology*, 50(2), 542–553. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03973>
- [9]. Lebart, L., Morineau, A., et Piron, M., 2006, *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Dunod, Paris.
- [10]. Levy, K., Woster, A. P., Goldstein, R. S., & Carlton, E. J. (2016). Untangling the impacts of climate change on waterborne diseases: A systematic review of relationships between diarrheal diseases and temperature, rainfall, flooding, and drought. *Environmental Science & Technology*, 50(10), 4905–4922. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06186>
- [11]. Machdar, E., van der Steen, N. P., Raschid-Sally, L., & Lens, P. N. L. (2013). Application of Quantitative Microbial Risk Assessment to analyze the public health risk from poor drinking water quality in a low income area in Accra, Ghana. *Science of the Total Environment*, 449, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.048>
- [12]. Mavema L.L., (2023). *Evaluation de la qualité de l'eau du réseau de distribution d'eau de la Régideso Centre de Boma au Kongo Central en RD Congo*, Mémoire de DEA, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Orientation : Microbiologie, Université Pédagogique Nationale, RDC, 118 pages.
- [13]. Momba, M. N. B., Tyafa, Z., & Makala, N. (2006). Rural water treatment plants fail to provide potable water to their consumers: The Alice water treatment plant in the Eastern Cape Province of South Africa. *South African Journal of Science*, 102(7–8), 307–310.
- [14]. Organisation mondiale de la Santé. (2022). *Guidelines for drinking-water quality* (4e éd., mise à jour). Genève : OMS.

- [15]. Palmer, Michael W. (1993). Putting things in even better order: The advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology*, 74(8), 2215–2230.
- [16]. Prüss-Ustün, Annette, Wolf, Jennyfer, Bartram, Jamie, Clasen, Thomas, Cumming, Oliver, Freeman, Matthew C., Gordon, Bruce, Hunter, Paul R., Medlicott, Kate, & Johnston, Richard. (2019). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765–777.
- [17]. Rodier, Jean, Legube, Bernard, & Merlet, Nicole. (2009). *L'analyse de l'eau* (9e éd.). Dunod.
- [18]. Saporta, Gilbert. (2011). *Probabilités, analyse des données et statistique*. Technip.
- [19]. Ter Braak, Cajo J. F. (1987). The analysis of vegetation–environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, 69, 69–77.
- [20]. Ter Braak, Cajo J. F. (1988). *CANOCO — A FORTRAN program for canonical community ordination*. Wageningen: Agricultural Mathematics Group.
- [21]. Ter Braak, Cajo J. F., & Šmilauer, Petr. (1998). *CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows*. Microcomputer Power.
- [22]. UNICEF & World Health Organization (WHO). (2023). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: Special focus on gender*. New York & Geneva: UNICEF & WHO. ISBN 978-92-806-5476-9 (UNICEF) ; ISBN 978-92-4-007692-1
- [23]. World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality : Fourth Edition Incorporating the First Addendum*. Geneva : World Health Organization. ISBN : 978-92-4-154995-0. 541p.
- [24]. Wright, Jim, Gundry, Stephen, & Conroy, Ronan. (2004). Household drinking water in developing countries: A systematic review of microbiological contamination between source and point-of-use. *Tropical Medicine & International Health*, 9(1), 106–117.