

# *Evaluation De La Qualité Physico-Chimiques Et Bactériologiques Des Eaux Des Puits Et Des Forages Des Quartiers Batumona, Biyela, Luebo Dans La Commune De Kimbanseke A Kinshasa/RDC*

KYOWIRE KAMBALI Pascaline<sup>1</sup>, LUAMBA LUA NSEMBO Jean<sup>1</sup>, KAMB TSHIJK Jean-Claude<sup>2</sup>, SISA MBUNGU Edouard<sup>2\*</sup>, GIKUG MUNGANGA John<sup>3</sup> et BUNDA PATA MAYALA Norbert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de microbiologie et parasitologie, Université Nationale Pédagogique (UPN) B.P. 8815 Kinshasa I.

<sup>2</sup>Laboratoire d'hydrobiologie, Université Nationale Pédagogique (UPN) B.P. 8815 Kinshasa I, RDC.

<sup>3</sup>Laboratoire de biologie, Institut Supérieur Pédagogique de Milundu, Kwilu, RDC

\*Corresponding author : [edwrdsisam@gmail.com](mailto:edwrdsisam@gmail.com)



**Résumé** – L'étude actuelle sur l'évaluation de la qualité microbiologique des puits et forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo dans la commune de Kimbaseke à Kinshasa en République démocratique du Congo a été réalisée en saison sèche 2022. La ville de Kinshasa et la commune de Kiùmbaseke où l'insalubrité émerge de toutes les avenues, des analyses bactériologiques se sont concentrées sur la recherche Coliformes fécaux, Coliformes totaux, *C. perfringens* et *S. fécaux*. Le puits 2 du quartier Batumona a enregistré des nombres importants de colonies bactériennes soit 13 colonies de *S. fécaux*, 7 de *E. coli*, 6 de *C. perfringens* et 3 colonies de Coliformes totaux. Les *S. fécaux* ont compté un grand nombre de colonies dans les puits 1 et 2 du quartier Biyela soit respectivement 13 et 14 colonies. Ils ont été suivis par les coliformes fécaux avec 9 et 8,5 colonies dans les puits 2 et 1. Les puits 1 et 2 du quartier Luebo les *S. fécaux* ont compté un grand nombre de colonies dans soit respectivement 11 et 12 colonies. Aucune colonie de coliformes fécaux n'a été observée dans les eaux des forages de tous les quartiers. Les analyses de la qualité physique et chimique des eaux ont indiqué que les eaux de puits ne sont pas conformes aux exigences de l'OMS.

**Mot clés** – Evaluation Qualité Microbiologique, Puits Et Forages, Kimbaseke, Kinshasa, Coliformes Fécaux, Colonies Bactériennes, Normes OMS.

## I. INTRODUCTION

Selon Aubry et Gaüzère (2021), la population mondiale, qui augmentera de moitié au cours du demi-siècle prochain, passant de 6 à 9 milliards d'individus, sera de plus en plus concentrée dans les villes devenues des mégapoles. La survie de cette population dépend de l'essor d'une agriculture qui utilise déjà 70% de l'eau disponible. La lutte contre la pauvreté requiert l'accès à la consommation directe en eau, alors qu'à défaut d'infrastructures adéquates, une personne sur cinq est aujourd'hui privée d'eau potable et une sur deux de tout système d'assainissement (Hartemann, 2001).

Enfin l'élévation du niveau de vie et le désir universel de bien-être entraînent le développement des usages industriels de l'eau. Au total, les besoins en eau devraient donc s'accroître d'au moins 40% d'ici vingt ans. Aussi l'eau douce est-elle plus que jamais, au cœur des préoccupations mondiales. Or celle-ci ne représente que 2,5 % de l'eau disponible (OMS, 2022).

Septante- cinq pour cent (75%) de pertes en vies humaines par an sont dues à la consommation d'une eau non potable, au manque d'assainissement et la prévalence des comportements à risque en matière d'hygiène (OMS, 2009).

Marchou (2013) estime que beaucoup de cas de maladies sont en relation avec une alimentation souillée par les agents pathogènes.

L'OMS a fait paraître en 2019 un aide-mémoire intitulé « eau » dans lequel on apprend qu'en 2017 :

- 71% de la population mondiale (5,3 milliards de personnes) utilisaient un service d'alimentation en eau potable géré en toute sécurité, c'est-à-dire situé sur le lieu d'usage, disponible à tout moment et exempt de toute contamination ;
- Parmi les 2,2 milliards de personnes restantes n'ayant pas accès à des services d'alimentation en eau potable gérés en toute sécurité : 1,4 milliards disposaient de service de base, c'est-à-dire d'un point d'eau amélioré, situé à moins de 30 minutes aller-retour ;
- 206 millions avaient accès à des services limités, soit à un point d'eau amélioré nécessitant un aller-retour de plus de 30 minutes pour s'approvisionner en eau ;
- 435 millions utilisaient l'eau de puits ou des sources non protégés ;
- 144 millions collectaient des eaux de surface non traitées provenant des lacs, des étangs, des rivières et des ruisseaux.

Au total 90% de la population mondiale (6,8 milliards de personnes avaient accès au moins à un service de base, consistant en un point d'eau amélioré nécessitant un trajet de 30 minutes aller-retour au maximum pour chercher de l'eau.

785 millions de personnes ne disposaient pas d'un service de base d'alimentation en eau potable et 144 millions d'entre elles devraient utiliser des eaux de surface ; 2 milliards de personnes utilisaient des points d'eau contaminée par des matières fécales (Aubry et Gaüzère, 2021).

En effet, la RDC fait face aux déficits financiers et logistiques pour servir à sa population de l'eau potable malgré le fait qu'il possède un potentiel d'eau important pour fournir toute l'Afrique. À ce jour, de nombreuses villes sont confrontées à une pénurie d'eau potable. Selon les statistiques publiées par le ministère de l'Énergie et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), le taux de service national, qui était de 69% en 1990, a chuté à 22% en 2005, avant de s'élever à 26% en 2013. Une estimation bien en dessous de la moyenne de 60% pour l'Afrique subsaharienne dans son ensemble (Mavema *et al.*, 2022). À ce jour, la RDC en général et la ville de Kinshasa en particulier sont confrontées à cette difficulté d'insuffisance qualitative et quantitative de l'eau potable.

Connaissant une pénurie d'eau depuis plusieurs années, les habitants de la commune de Kimbaseke font recours à de puits et forages érigés dans les différents quartiers. Alors que tous les points d'eau ne sont pas protégés pour empêcher l'introduction dans l'eau des germes fécaux (*Faecal Indicator Bacteria* : FIB) (Aubry et Gaüzère, 2021). La survie de l'homme exige une eau saine et en qualité suffisante ; l'eau contribue au bon fonctionnement et à l'équilibre de la physiologie humaine.

Cette étude vise à isoler les bactéries (FIB) caractéristiques de la pollution telles que : Coliformes totaux (CT), Coliformes fécaux (CF), Streptocoques fécaux (SF) *Clostridium perfringens* (CP) et la qualité bactériologiques des eaux des puits et forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo dans la commune de Kimbaseke avec les normes de l'OMS.

## II. MILIEU D'ETUDE ET METHODES

### 2.1 Milieu d'étude

La commune de Kimbanseke est limitée au Nord par la Commune de Masina, au Nord-Ouest par la Commune de N'djili, au Nord-Sud par la commune de Mont-Ngafula et au Nord- Est par la Commune de la N'sele. Elle couvre une superficie de 237,78Km<sup>2</sup>, c'est la troisième commune la plus étendue de la ville province de Kinshasa après Maluku et N'Sele. Les quartiers Batumona, Biyela et Luebo sont situés dans la Commune de Kimbanseke dans la ville province de Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo (Figure 1).

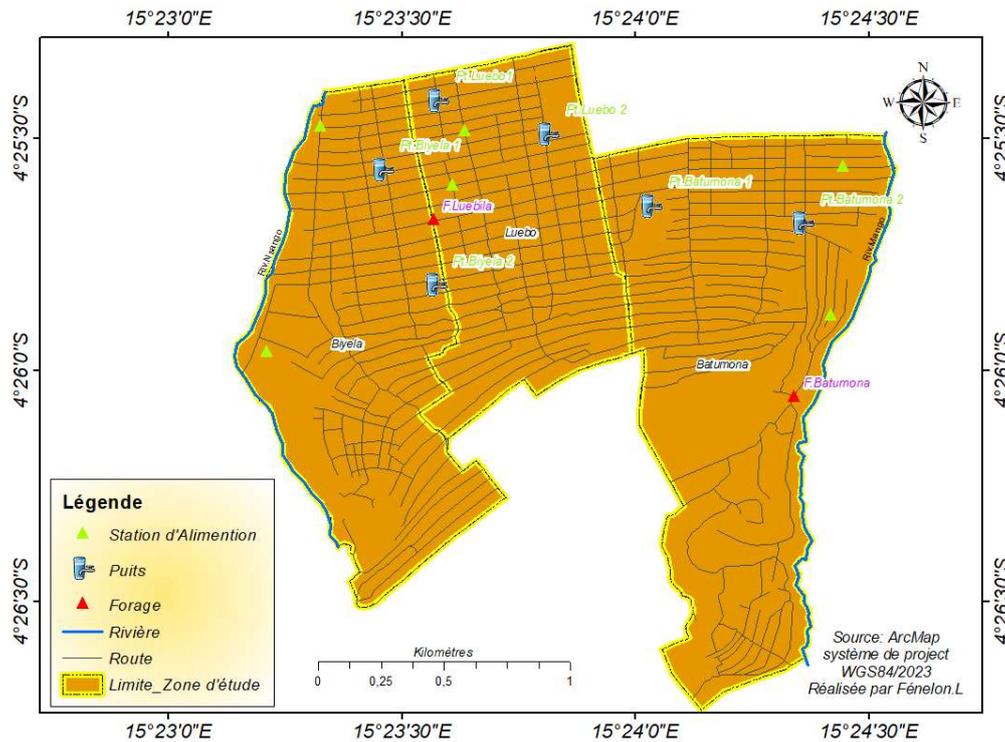


Figure 1 : Localisation des puits et forages dans les trois quartiers étudiés de la Commune de Kimbanseke.

Les caractéristiques des sols de la ville de Kinshasa varient en fonction de la structure géomorphologique des plaines, des plateaux, des collines et des marécages. Les sols de Kinshasa appartiennent à l'ordre des *hydro-xérokaolisis* et au grand groupe d'arénoféralisols (Sys *et al.*, 1961).

### 2.2 Méthodes

#### 2.2.1 Analyse des paramètres physico-chimiques

L'échantillonnage a été réalisé pendant les deux saisons à raison de 3 prélèvements par mois. Six puits et six stations de deux forages ont été retenus au cours de cette étude. Leurs codes ont été représentés de la manière suivante :

- Puits 1 et Puits 2 représentant respectivement les 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> puits de Batumona, Biyela et Luebo ;
- Station 1 et station 2 correspondant respectivement à la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> station de Batumona, Biyela et Luebo.

L'eau des puits a été prélevée manuellement en plongeant un récipient en plastique attaché à un support. Les flacons, pour éviter toute contamination externe, ont été rincés deux fois avant de les remplir d'eau (Who, 2011).

L'eau des stations de forage était prélevée à la sortie de la pompe nettoyée à l'aide de l'alcool pour éviter toute éventuelle contamination. Les flacons qui ont recueilli les échantillons ont été étiquetés avec tous les renseignements nécessaires : date, lieu et prélèvement, code du site.

Le transport et le conditionnement des échantillons ont été réalisés en les gardant au frais dans une glacière à la température de 4°C pour les analyses à effectuer au laboratoire. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire le jour du prélèvement afin d'éviter la modification de certains paramètres liés à la durée de leur présence dans les flacons.

Les paramètres ci-après ont été prélevés *in situ* : le pH, la conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), la température ( $^{\circ}\text{C}$ ) et l'oxygène dissous ( $\text{mg}/\text{L}$ ). L'analyseur multiparamètre de marque WTW340i a servi pour mesurer le pH, la conductivité et la température. L'oxymètre de marque ProDO (YSI) a été utilisé pour déterminer l'oxygène dissous.

Les autres paramètres chimiques tels que nitrite, nitrate, phosphates, chlorure, Cadmium, Plomb et mercure de l'eau des puits et des forages étudiés ont été analysés au laboratoire du Commissariat Général à l'Énergie Atomique (CGEA/CREN-K).

Les dosages des nitrates, des nitrites, des phosphates ont été réalisés au spectrophotomètre (UV) de marque HACH.DR/2400.

### 2.2.2 Analyses bactériologiques

Elles consistent à isoler et dénombrer les bactéries (*Coliformes totaux*, *Coliformes fécaux (E. Coli)*, *Clostridium perfringens*, *streptocoques fécaux*) qui sont des germes indicateurs des pollutions des eaux par les matières fécales humaines ou animales.

La chaleur sèche au four Pasteur Précision a servi à stériliser les boîtes de pétri et la verrerie ( $180^{\circ}\text{C}$  pendant 20 minutes) alors que la chaleur humide sous pression en autoclave (marque All American model n°28X) a été nécessaire pour stériliser les milieux de culture, les flacons d'échantillonnage et les embouts ( $121^{\circ}\text{C}$  à la pression 2 bar pendant 15 minutes).

Trois milieux de culture ont été utilisés, ce sont des milieux solides (gélifiés) qui permettent à obtenir des colonies isolées des bactéries contenues dans un échantillon donné. Il s'agit de :

- **Endo-agar** : milieu sélectif pour la mise en évidence des coliformes totaux et fécaux ;
- **Gélose nutritive (GN)** : milieu d'isolement non sélectif de toutes les bactéries non exigeantes présentes dans un échantillon quelconque (germes totaux) ;
- **Tryptone Sulfite Néomycine (TSN)** : c'est un milieu nutritif sélectif pour la mise en évidence de *Clostridium perfringens* dans l'eau

L'ensemencement a été réalisé en inoculant 100 mL d'échantillon d'eau dans la gélose en super fusion (refroidie à  $40^{\circ}\text{C}$  au bain marie coulée dans les boîtes de pétri, selon le procédé suivant :

- Désinfecter la paillasse avec de l'alcool éthylique et allumer la hotte sous Ultra-violet une heure avant la manipulation ;
- Placer les échantillons d'eau sur la paillasse (température ambiante) 30 à 60 minutes avant l'inoculation (ensemencement) ;
- Liquefier les flacons de milieu de culture au bain marie à  $55^{\circ}\text{C}$  ;
- Disposer 4 boîtes de pétri pour chaque échantillon et les numéroter ;
- Prélever 100 ml d'échantillon d'eau et les mettre dans chaque boîte de pétri à côté d'une lampe à l'alcool (bec bunsen) ;
- Couler le milieu dans des boîtes de pétri, agiter légèrement de la main par un mouvement circulaire pour permettre à homogénéiser le mélange échantillon- milieu de culture ;
- Laisser solidifier les boîtes de pétri contenant le milieu de culture.

Après solidification de milieux de culture, toutes les boîtes de pétri ont été placées dans l'incubateur (marque Memmert) pendant 48 heures.

Pour la croissance de *Clostridium perfringens*, germes totaux et les coliformes totaux, les milieux de culture ont été incubés à 37°C alors que pour les coliformes fécaux, la température d'incubation a été de 44 °C.

Le comptage est intervenu 48 heures après l'incubation et a été réalisé à l'aide d'un compteur de colonies (marque Denver APX-100).

- a) Pour le dénombrement des coliformes totaux, les boîtes de pétri de suspension mère (SM) et coliformes totaux (CT) sont placées à l'étuve à 37°C pendant 24 heures ; les colonies apparaissent rouge violette d'un diamètre d'environ 0,5mm.
- b) Pour le dénombrement des coliformes fécaux, après toutes les opérations, sans oublier de placer les boîtes de pétri de suspension mère (SM) et CT à l'étuve à 44°C (pendant 24 heures, les colonies apparaissent rouge violette d'un diamètre d'au moins 1 mm.

L'identification est faite par la coloration Gram (cf.MO-CG-01)

- c) Le nombre de coliformes par gramme d'échantillon est égal au nombre obtenu au comptage multiplié par 50 et 500 respectivement pour les coliformes totaux et les coliformes fécaux.

### 2.2.3 Analyse en Composantes Principales (ACP)

Plusieurs méthodes d'analyses multivariées ont été développées pour le traitement des données écologiques (Legendre & Legendre, 1984 ; Ter Braak et Smilauer, 1998 ; Legendre & Legendre 1998. L'Analyse en Composantes Principale (ACP) est l'une de techniques les plus classiques de la statistique multivariée (Lebart *et al.*, 1997 ; Kamb, 2018).

Dans le cadre de cette étude, l'Analyse en Composantes Principales a été utilisée pour étudier l'influence des variables environnementales sur la distribution des bactéries et le degré de rapprochement des puits et forages.

L'ACP permet un arrangement des entités écologiques (sites, espèces ou autres variables) le long des axes bi ou pluridimensionnels sur la base des données relatives à la composition spécifique ou aux variables environnementales.

Selon Kamb (2018), l'utilisation de l'ACP passe par les étapes suivantes :

- (1). Constituer une matrice de données à deux dimensions, abondance des espèces-stations ou variables environnementales-stations ;
- (2). Transformer les données brutes quantifiables (abondance en  $\log(x+1)$ , variables environnementales en  $\ln(x+1)$ ), données en pourcentage en arc sin racine carrée  $x$  ;
- (3). Soumettre les données à l'analyse proprement dite.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour déterminer les relations existant entre les bactéries et les variables environnementales et entre les puits et les forages dans les quartiers Batumona, Biyela et Luebo. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel PaSt version 6.1.

### III. RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Résultats

##### 3.1.1 Paramètres physico-chimiques de l'eau

##### 3.1.1.1 Paramètres physico-chimiques des puits et forages du quartier Batumona

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques des puits et forages du quartier Batumona

Paramètres	Puits		Forages	
	Puits 1	Puits 2	Forage 1	Forage 2
pH	6,45	6,55	6,43	6,53
Temp (°C)	27,3	27,4	27,7	27,9
Cond (µS/cm)	95	90	84	82
Oxydess (mg/L)	2,79	2,89	2,84	2,92
NO <sub>2</sub> - (mg/L)	0,015	0,036	0,001	0,015
NO <sub>3</sub> - (mg/L)	8,5	9,1	9,14	8,37
PO <sub>4</sub> -3 (mg/L)	1,4	1,2	0,08	0,06
Cl- (mg/L)	18,18	60,4	6,42	7,84

Dans le quartier Batumona, le pH le plus important a été prélevé au puits 2 (6,55) et le pH faible a été observé au forage 1 (6,43).

La température et la quantité d'oxygène dissous les plus élevées ont été enregistrées au forage 2 soit respectivement 27,9°C et 2,92mg/L. Les valeurs les plus faibles ont été observées au puits 1 soit 27,3°C pour la température et 2,79 mg/L pour l'oxygène dissous.

Le puits 1 a présenté les valeurs de conductivité (95µS/cm) et de phosphates (1,4mg/L) les plus élevées alors que les valeurs les plus basses ont été observées dans les eaux du forage 2 soit 82µS.cm) pour la conductivité et 0,06mg/L pour les phosphates.

Les teneurs en nitrite et en chlorure les plus élevées ont été dosées au puits 2 soit respectivement 0,036g/L et 60,4mg/L tandis que le forage 1 a indiqué des teneurs faibles : 0,001mg/L pour le nitrite et 6,42mg/L pour le chlorure.

##### 3.1.1.2 Paramètres physico-chimiques des puits et forages du quartier Biyela

Tableau 2. Paramètres physico-chimiques des puits et forages du quartier Biyela

Paramètres	Puits		Forages	
	Puits 1	Puits 2	Forage 1	Forage 2
pH	6,73	6,82	7,19	7,28
Temp (°C)	26,8	26,7	27,8	27,9
Cond (µS/cm)	89	88	287	291
Oxydess (mg/L)	2,9	2,86	2,1	2,13
NO <sub>2</sub> - (mg/L)	0,034	0,04	0,031	0,0135

<b>NO3- (mg/L)</b>	11,5	10,3	13,5	14,2
<b>PO4-3 (mg/L)</b>	1,3	1,1	0,76	0,88
<b>Cl- (mg/L)</b>	39,3	28,5	9,52	8,99

Les valeurs du pH, de la température, de la conductivité et du nitrate les plus importants ont été prélevés au forage 2 au quartier Biyela soit respectivement 7,28 ; 27,9°C ; 291µS/cm et 14,2mg/L et les plus faibles valeurs ont été observées au puits 1 pour le pH (6,35), au puits 2 pour la température (26,7°C), la conductivité (90µS/cm) et le nitrate (10,3 mg/L).

Le puits 1 a présenté les teneurs d'oxygène dissous et de chlorure les plus élevées soit respectivement 2,9mg/L et 39,3 mg/L et les valeurs les plus basses ont été observées dans les eaux de forage 1 soit 2,1 mg/L pour l'oxygène dissous et de forage 2 soit 8,99 mg/L pour le Chlorure.

Les teneurs les plus élevées en phosphates et le nitrite ont été observées respectivement au puits 1 et puits 1 et les teneurs les plus faibles ont été enregistrées au forage 1 soit 0,76mg/L et forage 2 soit 1,3 mg/L.

### 3.1.1.3 Paramètres physico-chimiques des puits et forages du quartier Luebo

Tableau 3. Paramètres physico-chimiques des puits et forages du quartier Luebo

Paramètres	Puits		Forages	
	Puits 1	Puits 2	Forage 1	Forage 2
<b>pH</b>	6,35	6,62	7,23	7,32
<b>Temp (°C)</b>	27,2	27,1	27,9	28
<b>Cond (µS/cm)</b>	91	90	289	293
<b>Oxydess (mg/L)</b>	2,88	2,86	1,97	2,05
<b>NO2- (mg/L)</b>	0,03	0,038	0,0122	0,0127
<b>NO3- (mg/L)</b>	10,8	10,5	14,1	13,8
<b>PO4-3 (mg/L)</b>	1	0,9	0,75	0,81
<b>Cl- (mg/L)</b>	19,8	25,6	8,81	9,25

Le pH, la température et la conductivité les plus importants ont été prélevés au forage 2 au quartier Luebo soit respectivement 7,32 ; 28°C et 293 µS/cm et les plus faible ont été observé au puits 1 pour le pH (6,35), au puits 2 pour la température (27,1°C) et pour la conductivité (90µS/cm).

Le puits 1 a enregistré les teneurs les plus élevées en oxygène dissous (2,88mg/L) et en phosphates (1mg/L) et le forage 1 en a enregistré de faible teneur soit 1,97mg/L pour l'oxygène dissous et 0,75mg/L pour les phosphates.

Les teneurs en nitrite et en chlorure les plus élevées ont été dosées au puits 2 soit respectivement 0,038g/L et 25,6mg/L tandis que le forage 1 a indiqué des teneurs faibles : 0,0122 mg/L pour le nitrite et 8,81 mg/L pour le chlorure.

Le forage 1 a présenté de teneur la plus élevée 14,1 mg/L et la teneur la plus faible a été dosée au puits 2 (10,5mg/L).

### 3.1.2 Paramètres bactériologiques

#### 3.1.2.1 Paramètres bactériologiques des puits et forages du quartier Batumona

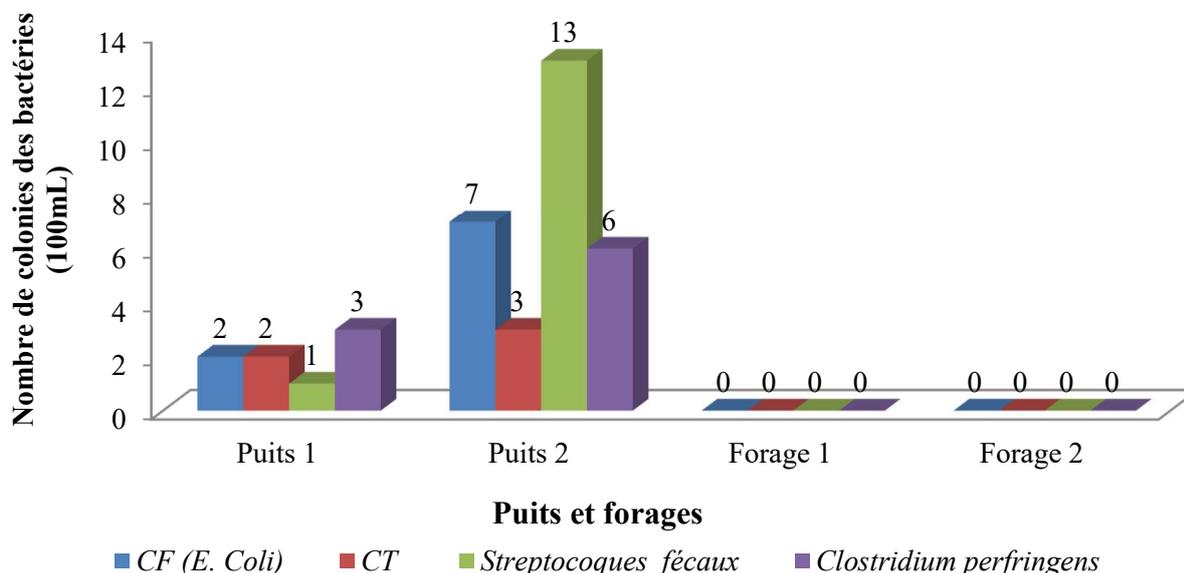


Figure III.2. Variation stationnelle de colonies de bactéries (100 ml) des eaux de puits et forages du quartier Batumona en 2022

Le puits 2 du quartier Batumona a enregistré des nombres importants de colonies bactériennes soit 13 colonies de *S. fécaux*, 7 de *E. coli*, 6 de *C. perfringens* et 3 colonies de Coliformes totaux. Les colonies de *Clostridium perfringens* ont compté 3 colonies dans le puits 1, les *E. coli* et coliformes totaux en ont compté 2 chacune et les *Streptocoques fécaux* n'a présenté qu'une colonie.

Aucune colonie de coliformes fécaux n'a été observée dans les eaux des forages des quartiers Batumona.

### 3.1.2.2 Paramètres bactériologiques des puits et forages du quartier Biyela

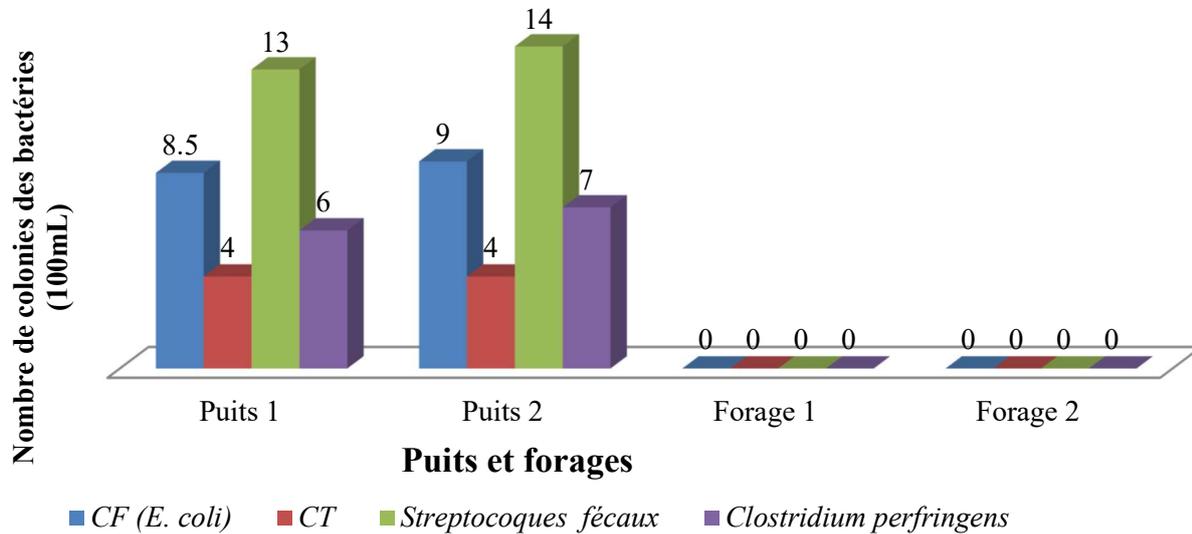


Figure III.23. Variation stationnelle de colonies de bactéries (100 ml) des eaux de puits et forages du quartier Biyela en 2022

Les *S. fécaux* ont compté un grand nombre de colonies dans les puits 1 et 2 du quartier Biyela soit respectivement 13 et 14 colonies. Ils ont été suivis par les coliformes fécaux avec 9 et 8,5 colonies dans les puits 2 et 1. Les puits 1 et 2 ont compté respectivement 7 et 6 colonies de *Clostridium perfringens* et 4 colonies de Coliformes Totaux dans chacun.

Aucune colonie de coliformes fécaux n'a été observée dans les eaux des forages des quartiers Biyela.

### 3.1.2.3 Paramètres bactériologiques des puits et forages du quartier Luebo

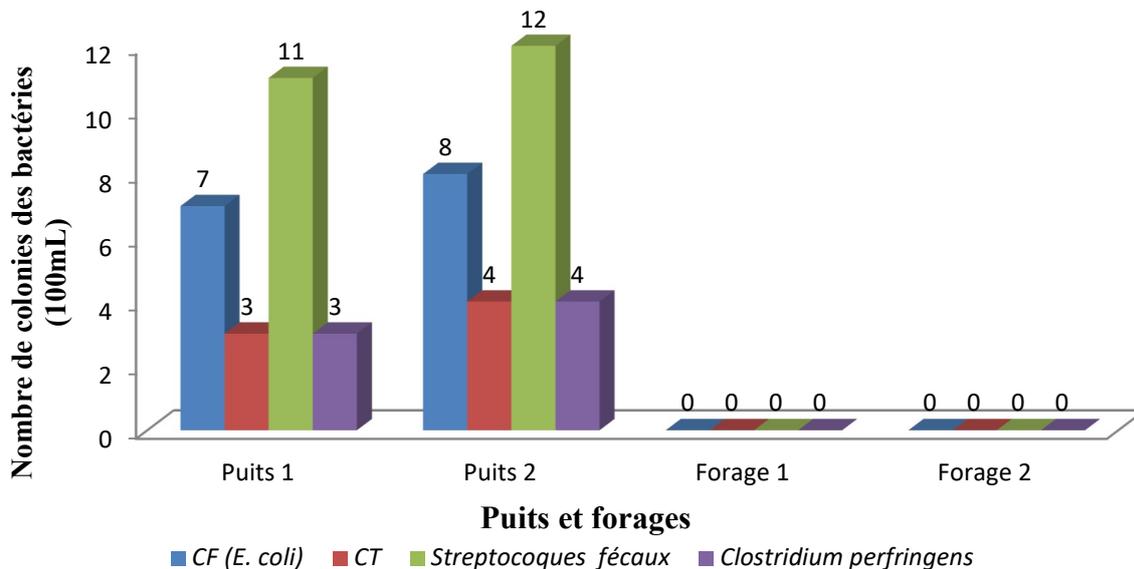


Figure III.23. Variation stationnelle de colonies de bactéries (100 ml) des eaux de puits et forages du quartier Luebo en 2022

Les puits 1 et 2 du quartier Luebo les *S. fécaux* ont compté un grand nombre de colonies dans soit respectivement 11 et 12 colonies. Ils ont été suivis par les coliformes fécaux avec 8 et 7 colonies dans respectivement dans les puits 2 et 1. Les puits 1 et 2 ont compté respectivement 4 et 3 colonies de *Clostridium perfringens* et 4 colonies de Coliformes Totaux dans le puits 2 et 3 dans le puits 1.

Aucune colonie de coliformes fécaux n'a été observée dans les eaux des forages du quartier Luebo.

### 3.1.3 Corrélations entre les bactéries et les paramètres physico-chimiques

L'Analyse en Composantes Principales a été réalisée pour établir une corrélation entre les paramètres physico-chimiques et les paramètres bactériologiques de puits et de forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

#### 3.1.3.1 Corrélations entre les bactéries et les paramètres physico-chimiques dans les puits et forages du quartier Batumona

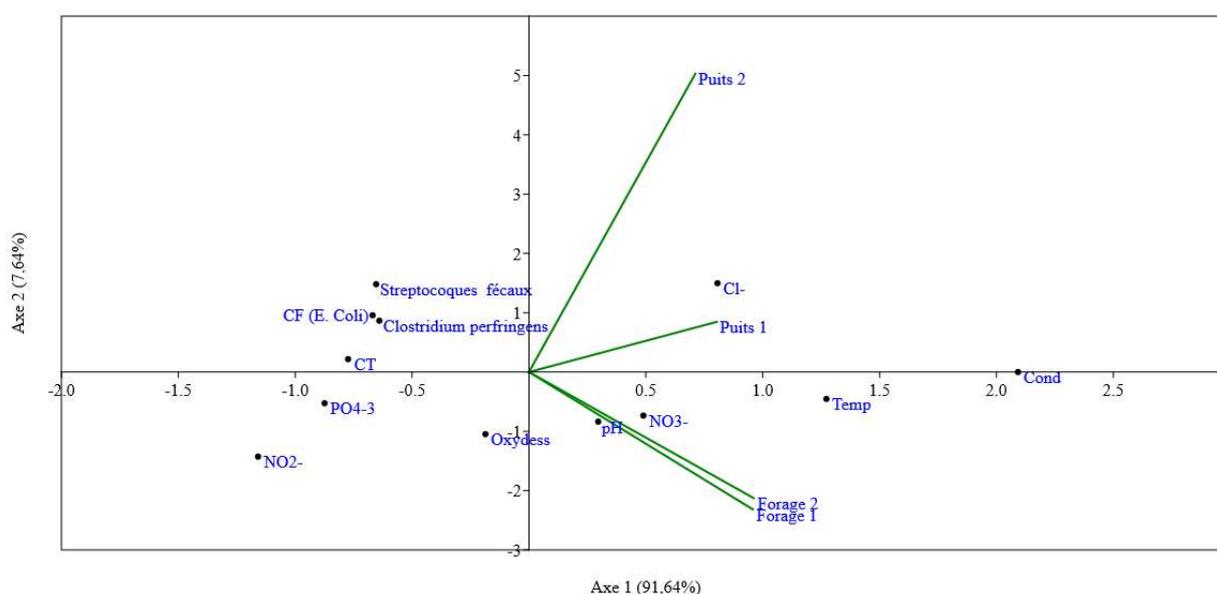


Figure 4. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les bactéries des eaux des puits et forages du quartier Batumona en 2022

La figure 4 renseigne que 2 axes principaux (axe 1 et axe 2) ou Composantes Principales ont été retenus puisqu'ils sont responsables de 99,28% de la variance totale ; l'axe 1 ayant exprimé le maximum de la variabilité (91,64%) et l'axe 2, une variance résiduelle (7,64%).

Les affinités positives ont été affichées entre les paramètres bactériologiques suivants : *Coliformes fécaux*, *Coliformes totaux*, *C. perfringens* et *S. fécaux* et les paramètres physico-chimiques ci-après : phosphates, oxygène dissous et nitrite.

### 3.1.3.2 Corrélations entre les bactéries et les paramètres physico-chimiques dans les puits et forages du quartier Biyela

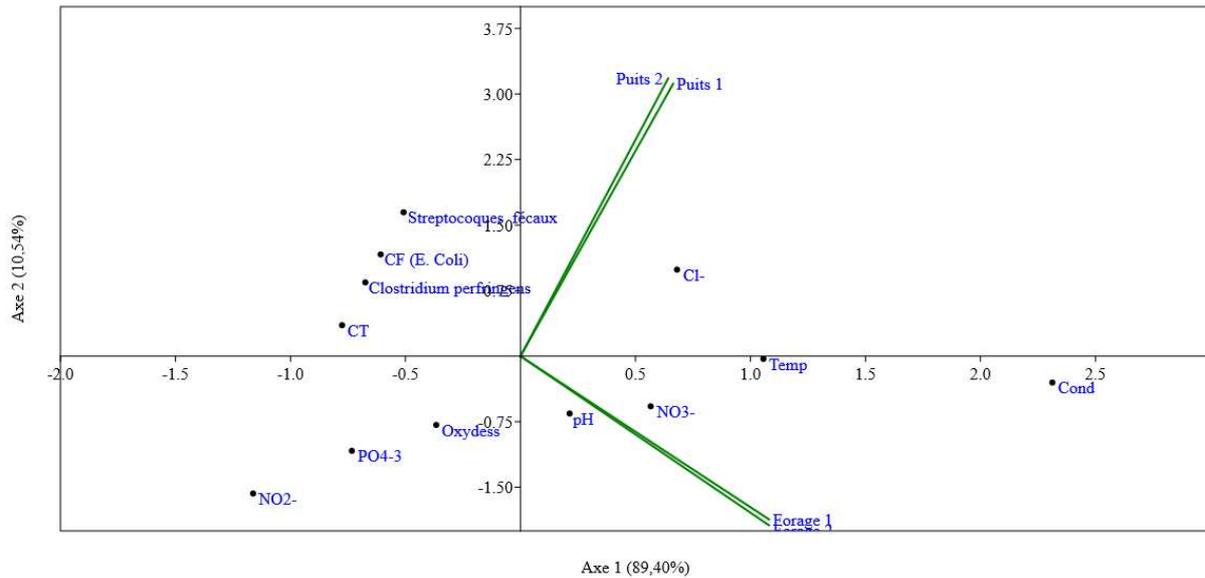


Figure 6. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les bactéries des eaux des puits et forages du quartier Biyela en 2022

Les 2 axes principaux (axe 1 et axe 2) ou Composantes Principales ont été retenus puisqu'ils sont responsables de 99,94% de la variance totale ; l'axe 1 ayant exprimé le maximum de la variabilité (89,40%) et l'axe 2, une variance résiduelle (10,54%).

Les colonies bactériennes de *Coliformes Fécaux*, *Coliformes Totaux*, *Streptocoques fécaux* et *C. perfringens* ont affiché des affinités positives avec les paramètres physico-chimiques ci-après : phosphates et nitrite.

### 3.1.3.3 Corrélations entre les bactéries et les paramètres physico-chimiques dans les puits et forages du quartier Luebo

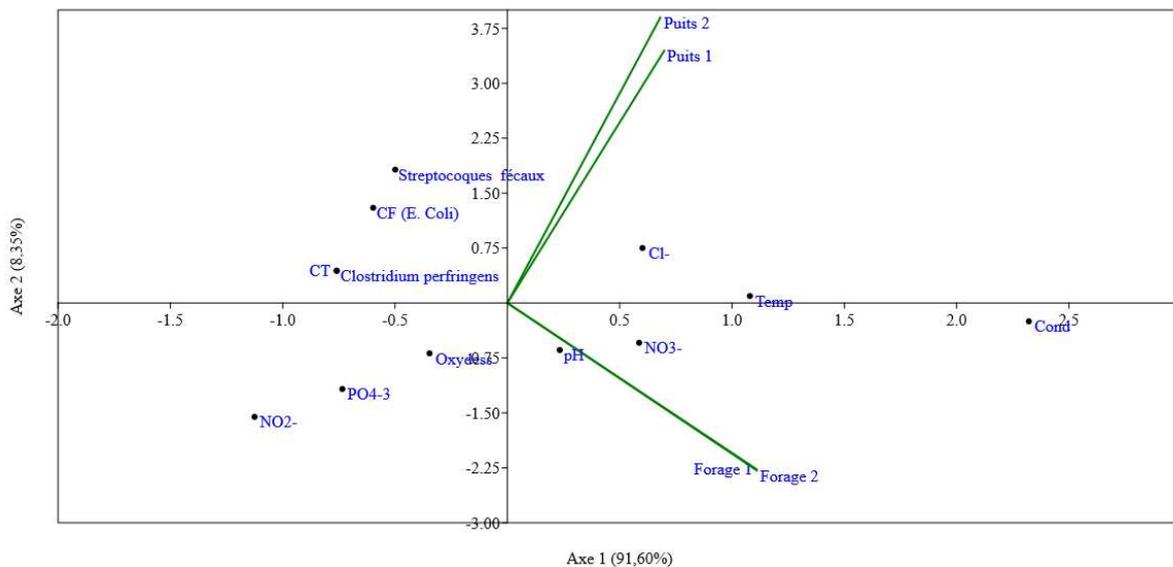


Figure 7. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les bactéries des eaux des puits et forages du quartier Luebo en 2022

La figure 7 renseigne que les deux premières Composantes Principales (axe 1 et axe 2) ont été retenues puisqu'ils sont responsables de 99,95% de la variance totale ; l'axe 1 ayant exprimé le maximum de la variabilité (91,60%) et l'axe 2, une variance résiduelle (8,35%).

Les colonies bactériennes de *Coliformes Fécaux*, *Coliformes Totaux*, *Streptocoques fécaux* et *C. perfringens* ont affectonné les paramètres physico-chimiques ci-après : phosphates, oxygène dissous et nitrite.

### 3.2 Discussion

Le pH a présenté des valeurs légèrement acides dans les puits et forages de quartiers Batumona, Biyela et Luebo. Ce pH est conforme aux recommandations de l'OMS 2011. Ces résultats sont similaires à ceux présentés par (Mahamat *et al.*, 2015) au Tchad (pH  $6,848 \pm 0,82$ ) pour l'eau traitée dans le réseau de distribution.

Étant donné que l'OMS n'a pas défini les recommandations de la température de l'eau traitée dans le réseau de distribution, l'Union européenne s'est établie en 1998 un intervalle entre 15 et 25 ° C. Ainsi, les températures moyennes enregistrées dans tous les échantillons ne sont pas conformes à ces normes susmentionnées. Ces valeurs peuvent être expliquées par le fait que les puits et forages étudiés sont dans une zone tropicale où la température ambiante peut influencer celle de l'eau.

Les nombres des colonies de *coliformes fécaux*, de *coliformes totaux*, de *Clostridium perfringens* et de *streptocoques fécaux* ont été élevés dans les puits de tous les trois quartiers alors que dans les forages, ils ont été quasiment nulle pour tous les forages étudiés. Ces résultats sont proches de ceux de Soncy *et al.*, 2015.

La mauvaise qualité de ces eaux de puits pourrait s'expliquer non seulement par le manque d'hygiène mais également par un mauvais assainissement dans les quartiers de la commune de Kimbaseke (Davis et Hirji, 2003), à laquelle on peut ajouter la distribution intermittente de l'eau. La plupart de ces puits pollués sont situés dans des endroits où la pollution est élevée des latrines endommagées, des poubelles. Cela implique qu'ils subissent une infiltration de micro-organismes. De même, on pense que le ruissellement est responsable de la présence de bactéries dans ces eaux (Geldreich, 1998). Corrélations positives entre *coliformes fécaux*, de *coliformes totaux*, de *Clostridium perfringens* et de *streptocoques fécaux* indiquent les origines communes de ces microbes et avec les paramètres phosphates, oxygène dissous et nitrite par le fait que ces paramètres sont produits de la décomposition de la matière organique et besoin que présente ces microorganismes pour y parvenir.

## IV. CONCLUSION

Des colonies des coliformes fécaux, des coliformes totaux et de clostridium perfringens ont été observées dans les eaux des puits étudiées alors que leurs valeurs ont été nulles pour tous les forages.

Nous estimons que l'étude des paramètres physico-chimique a permis de constater que les eaux des puits sont polluées et leurs valeurs pour la plupart des paramètres ne correspondent pas aux normes de l'OMS.

Pour les eaux des forages, certains paramètres ne correspondent pas aux normes de la potabilité de l'eau, le cas du pH.

L'évaluation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques a permis d'indiquer que, les eaux des puits sont polluées et leurs valeurs ne correspondent pas aux normes de l'OMS. Les eaux des forages posent également problème car certains paramètres ne correspondent pas aux normes de la potabilité de l'eau.

### REFERENCES

- [1]. Mahamat S.A., Maoudombaye M., Tidjani A., Ndoumtamia A.G. and Bichara L., 2015, Evaluation of the physicochemical quality of public supply water of the Chadian Water Company in N'djamena, Chad, Faculty of Science and Technology of the University of Doba in Journal of Applied Biosciences 95:8973 – 8980 ISSN 1997–5902.
- [2]. Geldreich EE., 1998. The Bacteriology of Water. Tosaley and Wilson's Microbiology and Microbial Infection (9th edn). Arnold Pub.: London.

- [3]. Davis R. and Hirji R., 2003. Water Quality: Assessment and Protection. Water Resources and Environment Technical Note D.1. The World Bank: Washington, D.C, Washington, United States of America.
- [4]. Durand, J., 2016. Continuous monitoring of water quality in distribution networks: laboratory validation and multiparametric continuous measurement probe field, Master in ecology and mining, école polytechnique de montréal, department of civil engineering, université de montréal, quebec. 24p.
- [5]. Aubry, P., et Gaüzère, B-A., 2021. Les maladies liées à l'eau, Centre René Labusquière, Institut de Médecine Tropicale, Université de Bordeaux, 33076 Bordeaux (France), 10p.
- [6]. Davis R. and Hirji R., 2003. Water Quality: Assessment and Protection. Water Resources and Environment Technical Note D.1. The World Bank: Washington, D.C, Washington, United States of America.
- [7]. Durand, J., 2016. Continuous monitoring of water quality in distribution networks: laboratory validation and multiparametric continuous measurement probe field, Master in ecology and mining, école polytechnique de montréal, department of civil engineering, université de montréal, quebec. 24p.
- [8]. Geldreich EE., 1998. The Bacteriology of Water. Tosalety and Wilson's Microbiology and Microbial Infection (9th edn). Arnold Pub.: London.
- [9]. Geldreich EE., 1998. The Bacteriology of Water. Tosalety and Wilson's Microbiology and Microbial Infection (9th edn). Arnold Pub.: London.
- [10]. Hartemann P., Approvisionnement en eau et assainissement en milieu tropical. Méd. Trop., 2001, 61, 210-213.
- [11]. Kamb T.J-C, 2018 : structure des peuplements des Macroinvertébrés benthiques et évaluation de la qualité biologique et écologique des rivières Gombe, kinkusa et Mangenge à Kinshasa / RD Congo, Thèse de doctorat en hydrobiologie, UPN 201p.
- [12]. Lebart L., Piron M. et Morineau A 1995, Statistique exploration multidimensionnelle, Paris : Dunod, 439 p.
- [13]. Legendre L. & P. Legendre, 1984. Ecologie numérique. Tome 1 : le traitement multiple des données écologiques. 2ème édition, Masson, Paris et Presses de l'université du Québec. 260 p.
- [14]. Mahamat S.A., Maoudombaye M., Tidjani A., Ndoumtamia A.G. and Bichara L., 2015, Evaluation of the physicochemical quality of public supply water of the Chadian Water Company in N'djamena, Chad, Faculty of Science and Technology of the University of Doba in Journal of Applied Biosciences 95:8973 – 8980 ISSN 1997–5902.
- [15]. Marchou B., 2013. Diarrhées du voyageur : épidémiologie, prévention et conduite à tenir. Presse Med; 42 : 76-81.
- [16]. Mavema LL, Mutambel'hity D.S.K., Ibebeke Y.B., Kamb T. J-C and E.M Sisa, 2022. Evaluation of the microbiological quality of the water distribution network of the Boma center in Kongo Central/DR Congo, International Journal of Science and Research Archive, 2022, 07(02), 050–060.
- [17]. Soncy K., B. Djeri, K. Anani, M. Eklou-Lawson, Y., Adjrah, D.S. Karou, Y. Amaeyapoh et C. de Souza, 2015. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo, Journal of Applied Biosciences 91 : 8464-8469.
- [18]. Sys C., Van Wambeke A. et Frankart J., 1961. Cartographie des sols au Congo. Ses principes, ses méthodes. Publ. INEAC, Sér. Scient.n° 66, Bruxelles, 349p.
- [19]. Ter Braak C.J.F. Canoco: a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (dendreded) (canonical) correlation analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1). Wageningen. 95 p. 1988.

- [20]. Ter Braak C.J.F. ter and Smilauer P. CANOCO Reference manual and user's guide to Canoco for Windows (version 4). Centre for Biometry, ageningen, Netherlands, 351. 1998.
- [21]. Ter Braak C.J.F. The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, 69: 69-77. 147. 1987.
- [22]. WHO, 2011. Drinking Water Quality Guidelines, 4th edition, Integrating the first additive, 539p.