



Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits de SAVLO à Mbanza-Ngungu en République Démocratique du Congo

^{1,2}A. Dally Mabanza Nguala, ²Pascal Disa-Disa Maziana, ²Gracien Ekoko Bakambo, ²Crispin Mulaji Kyela.

¹Institut Supérieur Pédagogique de Mbanza-Ngungu. Section des Sciences et Technologies. Département de chimie (RDC)

²Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Département de chimie et industrie. Kinshasa (RDC).

Abstract: In the Democratic Republic of Congo, most regions are not served by piped drinking water networks. As a result, the populations living in these areas often rely on well water. This study aims to evaluate the physicochemical and microbiological quality of well water in the SAVLO area of Mbanza-Ngungu (Kongo Central Province, Democratic Republic of Congo). A total of four samples were collected from 15 wells, for a total of 60 samples. To assess the quality of this water, the physicochemical parameters analyzed included pH, temperature, conductivity, and total dissolved solids (TDS), as well as alkalinity and hardness, and the concentrations of calcium, magnesium, chloride, and bicarbonate ions. In parallel, certain microorganisms were identified and quantified to assess the level of pollution: *E. coli*, fecal coliforms, *Pseudomonas aeruginosa*, enterococci, and *Salmonella*.

The results obtained show that, from a physicochemical standpoint, the well water is acidic and has a low mineral content. Bacteriological analysis shows that this water is contaminated with fecal coliforms.

Therefore, the well water in SAVLO is not fit for human consumption without prior treatment.

Keywords: Drinking water, Water quality, water Wells, SAVLO.

Résumé : En République démocratique du Congo, la majeure partie des régions n'est pas desservie par les réseaux d'adduction d'eau potable. Ainsi, les populations qui vivent dans ces régions ont souvent recours à l'eau des puits. Cette étude vise à évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits exploités dans la cellule SAVLO, à Mbanza-Ngungu (Province du Kongo Central, République démocratique du Congo). Au total 4 échantillons ont été prélevés dans 15 puits, soit 60 prélèvements. Pour apprécier la qualité de ces eaux, les paramètres physico-

chimiques analysés incluent le pH, la température, la conductivité et les solides dissous totaux (TDS), ainsi que les titres alcalimétrique et hydrotimétrique, et les teneurs des ions calcium, magnésium, chlorure et bicarbonate. Parallèlement, certains microorganismes ont été recherchés et quantifiés afin d'évaluer le niveau de pollution : *E. coli*, les coliformes fécaux, *Pseudomonas aeruginosa*, les entérocoques et les salmonelles.

Les résultats obtenus montrent que, du point de vue physico-chimique, les eaux de puits ont un caractère acide et sont faiblement minéralisées. L'analyse bactériologique montre que ces eaux sont contaminées par les microorganismes.

De ce fait, les eaux des puits de SAVLO ne sont pas propres à la consommation humaine sans un traitement préalable.

Mots-clés: Eau potable, Qualité de l'eau, Puits d'eau, SAVLO

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.20814620>

1. Introduction

L'eau est à la fois source de vie et vecteur des maladies dont l'origine est de l'eau impropre à la consommation humaine. L'eau insalubre ou impropre à la consommation humaine favorise la propagation de certaines infections (Mampuya, 2020; Ben Osmane, 2022). Ces eaux sont souvent mal gérées et surexploitées, sous-évaluées, selon un rapport publié par l'UNESCO, à l'occasion de la Journée mondiale de l'eau.

A l'échelle mondiale, les eaux souterraines constituent la plus importante source d'approvisionnement en eau potable. La qualité de ces eaux demeure une préoccupation grandissante pour la communauté nationale et internationale. Elles sont souvent polluées par des activités anthropiques réalisées à la surface du sol par la population. Ainsi, les eaux de nappes phréatiques sont contaminées par des substances chimiques présentes dans les engrais et pesticides utilisés en agriculture et les excréments humains et animaux (Houemenou, 2020 ; Adjagodo et al, 2016).

Malgré le fait que la République démocratique du Congo regorge plus de 50 % des réserves d'eau en Afrique, l'accès en eau potable demeure difficile pour la population congolaise. Cette difficulté d'accès en eau potable est plus récurrente en milieux ruraux et péri-urbains (Kapembo, 2023, Disa-Disa et al., 2020). L'approvisionnement en eau potable en milieux ruraux et péri-urbains demeure un problème majeur et nécessite une attention particulière de la part des gouvernants puisque l'accès à l'eau potable est un droit fondamental et constitutionnel de chaque citoyen en République démocratique du Congo. L'approvisionnement en eau potable est indissociable de la qualité (CERADE, 2019; Salakiaku et al., 2022, OMS, 2017). Cette dernière est fonction des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau (Miloudi, 2023).

La cellule SAVLO du quartier LOMA à Mbanza-Ngungu est dépourvue d'un système moderne d'approvisionnement en eau potable suite à l'absence des installations de la société chargée d'approvisionner la population congolaise en eau potable. A cet effet, les habitants de cette nouvelle agglomération de la cité de Mbanza-Ngungu s'approvisionnent au moyen des puits traditionnels, généralement peu profonds. Etant donné la vulnérabilité des nappes peu profondes, la probabilité de la contamination anthropique est très élevée, ce qui justifie cette étude. Cependant, très peu de travaux ont été réalisés dans cette zone. L'objectif de cette étude est d'apprécier la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits consommées par la population de SAVLO Mbanza-Ngungu.

2. Milieu et Méthodes

2.1. Milieu d'étude

Cette étude a été réalisée à la cellule SAVLO à LOMA, l'un des six quartiers que compte la cité de Mbanza-Ngungu au Kongo Central. La cité de Mbanza-Ngungu est située à 154 km de la ville de Kinshasa, capitale de la République démocratique du Congo et à 234 km de la ville de Matadi, le chef-lieu de la province du Kongo Central. Cette cité est comprise entre 5°16' de latitude sud et 14°51' de longitude nord (Milau, 2022, PADCV-PTA, 2024). Sur le plan hydraulique, la cité est relativement dotée en eaux souterraines exploitées à partir des puits traditionnels ou hydrauliques et des forages. De plus, quelques ruisseaux sont présents dans la cité.

Le choix des sites d'échantillonnage est basé sur l'utilisation par une grande partie de la population des eaux de sources dont la qualité n'est pas connue. Les échantillonnages d'eau ont été réalisés dans 15 puits symbolisés par la lettre (P) respectivement: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 et P15. Les prélèvements ont été effectués pendant les deux saisons (saison pluvieuse et saison sèche). La saison de pluie correspond à la recharge de la nappe phréatique par les précipitations. Au niveau de chaque puits, un prélèvement de 1,5 L a été effectué à l'aide de bouteille en plastique en polyéthylène (PET), préalablement rincées à l'eau distillée puis avec l'eau du puits, soigneusement identifiée, hermétiquement fermée et conservées à 4 °C dans une glacière puis stockés au réfrigérateur à une température inférieure à 10°C dès le retour du terrain. Ensuite, les échantillons ont été analysés dans les 24 heures qui suivent pour les analyses des paramètres chimiques et microbiologiques. Au total 60 prélèvements pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été effectués pour chaque saison. Au niveau de chaque puits, 8 échantillons ont été prélevés en raison quatre échantillons par saison. La figure 1 présente les différents points de prélèvement.

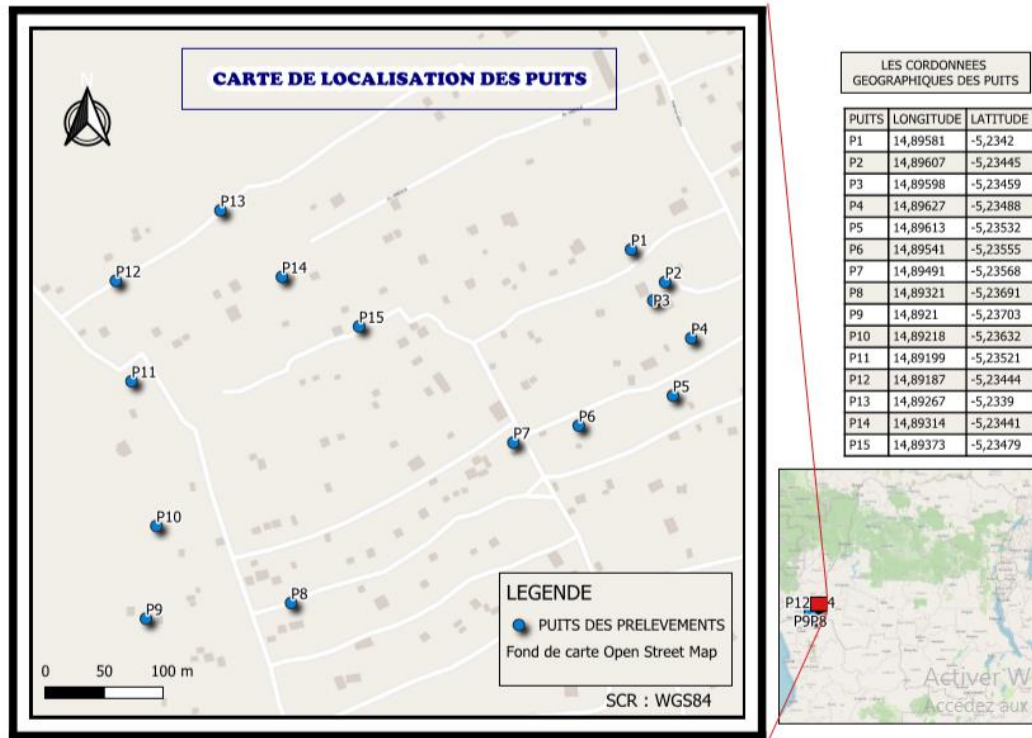


Figure 1. Carte des sites de prélèvement

2.3. Méthodes

Les échantillons d’eau de sources ont été soumis d’une part à une analyse physico-chimique comportant la température (T), le potentiel d’hydrogène (pH), la conductivité (CE), le total des sels dissous (TDS), le titre alcalimétrique complet (TAC), le titre hydrotimétrique (TH), les ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), bicarbonate (HCO_3^-) et chlorures (Cl^-) et d’autre part à une caractérisation bactériologique (les coliformes fécaux (CF), *Escherichia coli* (EC), les entérocoques intestinaux (EI), *Pseudomonas aeruginosa* (PA) et les salmonelles (S)). Les paramètres physico-chimiques tels que la température, le pH, la conductivité et le total des sels dissous ont été mesurés sur le terrain (*in situ*) à l’aide d’un stylo multiparamètres et les autres paramètres ont été analysés au laboratoire par dosage colorimétrique selon les méthodes normalisées (Rodier et al., 2009). La filtration sur membrane a été utilisée pour les analyses bactériologiques. Un volume de 100 mL de l’échantillon d’eau est filtré et la membrane est incubée sur un milieu gélosé spécifique. La gélose chromogène a été employé pour le dénombrement des coliformes fécaux et d’*Escherichia coli* (méthode ISO 9308-1: 2014). Par contre, la gélose Bile-Escaline-Azide pour les Entérocoques intestinaux (méthode : ISO 7899 : 2000), la gélose au Cétrimide Agar pour le dénombrement des *Pseudomonas aeruginosa* (méthode : ISO16266 : 2006), la gélose XLD (Xylose lysine désoxycholate) pour le dénombrement des *Salmonella* spp. (Méthode: ISO 19250 : 2010). L’incubation de ces milieux à 37 °C pendant 24 à 44 heures permet le dénombrement des coliformes fécaux, d’*E. coli*, d’*Enterococcus* et *Salmonella*. Le résultat est exprimé en unité formant colonie (UFC) par unité de volume.

Le logiciel SPSS statistique a été utilisé pour faire les corrections et le test-student.

3. Résultats

3.1. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques des eaux des puits de SAVLO mesurés durant la saison sèche sont détaillés dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau durant à la saison sèche

Puits	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (ppm)	TAC (mg/L)	TH (mg/L)
P1	25,60 ± 0,10	5,92 ± 0,02	22,00 ± 2,00	10,00 ± 0,20	2,00 ± 0,10	10,17 ± 1,08
P2	26,00 ± 0,10	5,80 ± 0,10	53,00 ± 2,00	26,00 ± 0,30	10,00 ± 1,00	20,32 ± 2,09
P3	26,10 ± 0,10	5,23 ± 0,17	12,00 ± 1,00	6,00 ± 0,10	4,00 ± 0,10	80,18 ± 0,96
P4	25,70 ± 0,10	5,67 ± 0,03	33,00 ± 1,00	16,00 ± 0,10	10,00 ± 0,30	34,41 ± 0,02
P5	26,00 ± 0,20	7,11 ± 0,09	16,00 ± 2,00	8,00 ± 0,10	6,00 ± 0,20	8,32 ± 0,04
P6	26,00 ± 0,20	6,41 ± 0,09	20,00 ± 1,00	10,00 ± 0,10	4,00 ± 0,05	12,43 ± 0,09
P7	25,60 ± 0,20	6,21 ± 0,09	18,00 ± 1,00	9,00 ± 0,10	9,00 ± 0,30	10,11 ± 0,12
P8	26,20 ± 0,10	7,08 ± 0,18	185,00 ± 3,00	93,00 ± 0,50	16,00 ± 0,10	28,12 ± 0,23
P9	25,70 ± 0,10	6,35 ± 0,15	12,00 ± 1,00	6,00 ± 0,10	4,00 ± 0,05	10,24 ± 0,60
P10	25,60 ± 0,10	7,10 ± 0,20	16,00 ± 1,00	29,00 ± 0,40	20,50 ± 0,10	28,37 ± 0,20
P11	25,70 ± 0,20	6,59 ± 0,20	64,00 ± 2,00	33,00 ± 0,20	7,00 ± 0,40	12,19 ± 1,67
P12	25,70 ± 0,10	6,90 ± 0,10	16,00 ± 2,00	8,00 ± 0,10	7,00 ± 0,30	10,13 ± 0,95
P13	24,20 ± 0,20	5,15 ± 0,15	41,00 ± 1,00	34,00 ± 0,20	13,00 ± 0,10	36,49 ± 0,22
P14	24,80 ± 0,10	4,62 ± 0,12	62,00 ± 1,00	51,00 ± 0,60	6,00 ± 0,30	12,66 ± 0,67
P15	24,85 ± 0,05	4,61 ± 0,09	10,00 ± 1,00	8,00 ± 0,20	8,50 ± 0,14	8,42 ± 0,06
Moyenne	25,58 ± 0,14	6,05 ± 0,22	38,67 ± 11,481	23,13 ± 6,09	8,47 ± 1,282	21,50 ± 4,90
Normes	25	6,5-8,5	400 - 1250	< 1000	-	-

L'analyse du tableau 1 montre que la température présente une variabilité notable d'un puits à l'autre, avec des valeurs comprises entre 24,20 ± 0,20 °C (P13) et 26,20 ± 0,10 °C (P8). La température moyenne enregistrée durant la saison sèche est de 25,58 ± 0,14 °C.

Concernant le pH, les valeurs observées au cours de cette même saison s'étendent de $4,61 \pm 0,09$ (P15) à $7,11 \pm 0,09$ (P5) avec une valeur moyenne de $6,05 \pm 0,22$ sur l'ensemble des puits. Le pH de la majorité des eaux de puits analysées ne satisfait pas à la norme de potabilité de l'OMS (6,5–8,5). Seuls les puits P5, P8, P10, P11 et P12 présentent des valeurs de pH conformes à cette recommandation (OMS, 1993). Une variation de la conductivité est également observée d'un puits à l'autre, avec des valeurs comprises entre $10,00 \pm 1,00 \mu\text{S/cm}$ (P15) et $185,00 \pm 3,00 \mu\text{S/cm}$ (P8), pour une valeur moyenne de $38,67 \pm 11,48 \mu\text{S/cm}$. Les TDS présentent des fluctuations importantes variant de $12,00 \pm 1,00 \text{ ppm}$ (P3 et P9) à $93,00 \pm 0,50 \text{ ppm}$ (P8), avec une moyenne globale de $23,13 \pm 6,09 \text{ ppm}$. Les valeurs du TAC s'étendent de $2,00 \pm 0,10 \text{ mg/L}$ (P1) à $20,50 \pm 0,10 \text{ mg/L}$ (P10), pour une moyenne de $8,47 \pm 1,28 \text{ mg/L}$. Enfin, la dureté totale (TH) varie entre $8,32 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ et $80,18 \pm 0,96 \text{ mg/L}$, avec une moyenne de $21,50 \pm 4,90 \text{ mg/L}$.

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de puits durant la saison des pluies sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau durant la saison pluvieuse

Puits	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (ppm)	TAC (mg/L)	TH (mg/L)
P1	$25,95 \pm 0,05$	$6,06 \pm 0,14$	$16,20 \pm 0,10$	$8,00 \pm 0,10$	$0,35 \pm 0,01$	$4,71 \pm 0,00$
P2	$26,10 \pm 0,10$	$5,55 \pm 0,05$	$26,40 \pm 0,20$	$14,00 \pm 0,20$	$0,35 \pm 0,02$	$5,32 \pm 0,33$
P3	$26,10 \pm 0,20$	$5,03 \pm 0,17$	$10,80 \pm 0,20$	$6,00 \pm 0,10$	$0,95 \pm 0,01$	$5,36 \pm 0,02$
P4	$26,25 \pm 0,05$	$4,87 \pm 0,03$	$23,40 \pm 0,10$	$12,00 \pm 0,20$	$0,35 \pm 0,00$	$5,28 \pm 0,30$
P5	$25,55 \pm 0,05$	$5,41 \pm 0,09$	$11,80 \pm 0,40$	$6,00 \pm 0,20$	$0,65 \pm 0,02$	$5,81 \pm 0,15$
P6	$25,80 \pm 0,10$	$4,52 \pm 0,18$	$19,20 \pm 0,10$	$9,50 \pm 0,10$	$0,60 \pm 0,01$	$4,93 \pm 0,18$
P7	$25,80 \pm 0,20$	$5,21 \pm 0,11$	$12,80 \pm 0,10$	$6,50 \pm 0,30$	$0,65 \pm 0,00$	$5,30 \pm 0,30$
P8	$25,45 \pm 0,05$	$5,91 \pm 0,01$	$143,10 \pm 0,20$	$72,00 \pm 0,60$	$1,80 \pm 0,08$	$7,55 \pm 0,74$
P9	$25,75 \pm 0,15$	$4,85 \pm 0,05$	$10,30 \pm 0,10$	$5,00 \pm 0,10$	$0,50 \pm 0,01$	$4,87 \pm 0,01$
P10	$25,50 \pm 0,10$	$4,78 \pm 0,03$	$10,90 \pm 0,10$	$5,50 \pm 0,10$	$0,45 \pm 0,01$	$5,12 \pm 0,02$
P11	$25,90 \pm 0,10$	$4,66 \pm 0,04$	$49,50 \pm 0,30$	$25,00 \pm 0,10$	$2,25 \pm 0,01$	$8,69 \pm 0,09$
P12	$26,15 \pm 0,25$	$4,67 \pm 0,17$	$10,20 \pm 0,10$	$5,00 \pm 0,20$	$0,65 \pm 0,01$	$5,97 \pm 0,27$
P13	$26,15 \pm 0,15$	$4,76 \pm 0,06$	$25,80 \pm 0,10$	$11,50 \pm 0,20$	$0,35 \pm 0,02$	$5,32 \pm 0,06$
P14	$26,25 \pm 0,05$	$4,90 \pm 0,10$	$28,70 \pm 0,10$	$15,00 \pm 0,20$	$1,15 \pm 0,05$	$7,09 \pm 0,18$
P15	$26,35 \pm 0,05$	$5,06 \pm 0,16$	$10,20 \pm 0,10$	$5,00 \pm 0,60$	$0,35 \pm 0,01$	$5,06 \pm 0,07$
Moyenne	$25,94 \pm 0,74$	$5,08 \pm 0,12$	$27,29 \pm 8,72$	$13,73 \pm 4,39$	$0,76 \pm 0,15$	$5,76 \pm 0,29$
Normes	25	6,5-8,5	400 - 1250	< 1000	-	-

À la lecture des résultats présentés dans le tableau 2, une faible variation de la température est observée entre les différents puits durant la saison des pluies. Les valeurs enregistrées s'étendent de $25,45 \pm 0,05$ °C (P8) à $26,35 \pm 0,05$ °C (P15) avec une valeur moyenne de $25,94 \pm 0,74$ °C.

Durant la saison des pluies, le pH demeure inférieur à la valeur minimale recommandée par l'OMS (6,5) pour l'ensemble des puits, avec une valeur moyenne de $5,08 \pm 0,12$. Les valeurs extrêmes varient de $4,52 \pm 0,18$ (P6) à $6,06 \pm 0,14$. La conductivité électrique est comprise entre $10,20 \pm 0,10$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ et $143,10 \pm 0,20$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une valeur moyenne de $27,29 \pm 8,72$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. On note que la valeur de la conductivité pour l'ensemble des puits est largement en dessous de la limite inférieure (180 $\mu\text{S}/\text{cm}$) recommandée par l'OMS relative à l'eau potable (OMS, 1993). Les eaux de ces puits sont faiblement minéralisées. Le tableau 2 met également en évidence une forte dispersion des TDS, avec un minimum de $5,00 \pm 0,10$ ppm et un maximum de $72,00 \pm 0,60$ ppm, la moyenne étant de $13,73 \pm 4,39$ ppm. Les valeurs du TAC varient de $0,35 \pm 0,01$ mg/L à $2,25 \pm 0,01$ mg/L, pour une moyenne de $0,76 \pm 0,15$ mg/L. Enfin, la dureté totale (TH) présente une moyenne de $5,76 \pm 0,29$ mg/L, avec des valeurs comprises entre $4,71 \pm 0,00$ mg/L et $8,69 \pm 0,09$ mg/L.

3.2. Paramètres chimiques

Les valeurs moyennes des teneurs en calcium, magnésium, bicarbonate, et chlorure, relevées dans les échantillons d'eaux de puits pendant la saison sèche, sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques chimiques de l'eau durant la saison sèche

Puits	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
P1	$8,88 \pm 0,03$	$1,29 \pm 0,05$	$3,42 \pm 0,31$	$35,51 \pm 0,62$
P2	$17,74 \pm 0,28$	$2,58 \pm 0,59$	$15,72 \pm 0,10$	$47,33 \pm 0,06$
P3	$71,09 \pm 0,53$	$9,16 \pm 0,04$	$1,37 \pm 0,05$	$33,43 \pm 0,01$
P4	$29,84 \pm 0,18$	$4,57 \pm 0,15$	$28,27 \pm 0,47$	$34,71 \pm 0,05$
P5	$7,17 \pm 0,07$	$1,15 \pm 0,04$	$1,52 \pm 0,08$	$23,67 \pm 0,10$
P6	$10,94 \pm 0,15$	$1,49 \pm 0,10$	$5,51 \pm 0,00$	$24,58 \pm 0,32$
P7	$8,83 \pm 0,08$	$1,28 \pm 0,01$	$4,37 \pm 0,07$	$23,76 \pm 0,15$
P8	$24,17 \pm 0,18$	$4,00 \pm 0,01$	$21,10 \pm 0,29$	$153,67 \pm 2,44$
P9	$8,93 \pm 0,15$	$1,32 \pm 0,01$	$3,61 \pm 0,62$	$25,71 \pm 0,00$
P10	$24,72 \pm 0,20$	$3,65 \pm 0,66$	$17,32 \pm 0,10$	$47,35 \pm 0,16$
P11	$10,65 \pm 0,13$	$1,54 \pm 0,01$	$5,32 \pm 0,02$	$71,00 \pm 0,41$

P12	8,87 ± 0,03	1,26 ± 0,02	3,43 ± 0,31	23,81 ± 0,21
P13	31,58 ± 1,25	4,91 ± 0,02	10,89 ± 0,03	57,25 ± 0,06
P14	11,08 ± 0,21	1,58 ± 0,01	1,10 ± 0,01	70,99 ± 0,09
P15	7,35 ± 0,06	1,07 ± 0,05	4,75 ± 0,07	35,33 ± 0,44
Moyenne	18,79 ± 4,33	2,72 ± 0,58	8,51 ± 2,14	47,207 ± 8,68
Normes				

L'analyse du tableau 3 indique que la concentration en ions calcium varie entre 7,17 ± 0,07 mg/L et 71,09 ± 0,53 mg/L avec une valeur moyenne de 18,79 ± 4,33 mg/L. La teneur en ions magnésium est comprise entre 1,07 ± 0,05 mg/L et 9,16 ± 0,04 mg/ avec une valeur moyenne de 2,72 ± 0,58 mg/L. Les concentrations moyennes en ions bicarbonates et ions chlorures sont respectivement de 8,51 ± 2,14 mg/L et 47,21 ± 8,68 mg/L. Les ions chlorure présentent une variation importante, avec des valeurs comprises entre 23,67 ± 0,10 mg/L et 153,67 ± 2,44 mg/L.

Le tableau 4 présente les valeurs moyennes des teneurs en calcium, magnésium, bicarbonate et chlorure mesurées dans les échantillons d'eau de puits durant la saison de pluie.

Tableau 4. Caractéristiques chimiques de l'eau durant la saison pluvieuse

Puits	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
P1	4,23 ± 0,25	0,48 ± 0,10	1,31 ± 0,01	32,80 ± 0,22
P2	4,77 ± 0,04	0,55 ± 0,03	4,24 ± 0,01	29,58 ± 0,01
P3	4,82 ± 0,26	0,54 ± 0,00	1,22 ± 0,00	23,77 ± 0,77
P4	4,74 ± 0,02	0,55 ± 0,00	1,79 ± 0,04	28,99 ± 0,67
P5	5,21 ± 0,09	0,60 ± 0,01	1,28 ± 0,00	17,75 ± 0,12
P6	4,42 ± 0,04	0,48 ± 0,08	2,02 ± 0,02	35,53 ± 0,08
P7	4,76 ± 0,19	0,54 ± 0,00	1,36 ± 0,00	22,57 ± 0,02
P8	6,79 ± 0,10	0,76 ± 0,05	3,13 ± 0,16	124,25 ± 0,36
P9	4,40 ± 0,01	0,47 ± 0,01	1,07 ± 0,01	24,03 ± 0,12
P10	4,60 ± 0,12	0,52 ± 0,00	2,01 ± 0,01	29,58 ± 0,02
P11	7,81 ± 0,14	0,88 ± 0,01	5,72 ± 0,01	47,33 ± 0,50
P12	5,46 ± 0,06	0,51 ± 0,00	2,12 ± 0,05	18,57 ± 0,18
P13	4,72 ± 0,02	0,60 ± 0,02	1,78 ± 0,04	35,50 ± 0,17
P14	6,25 ± 0,76	0,85 ± 0,06	2,09 ± 0,02	29,58 ± 0,04
P15	4,54 ± 0,63	0,52 ± 0,00	1,68 ± 0,05	23,67 ± 0,03
Moyenne	5,17 ± 0,26	0,59 ± 0,03	2,19 ± 0,33	34,90 ± 6,67
Normes	75	-	-	250

À partir des données du tableau 4, il apparaît que les teneurs en calcium présentent une faible dispersion durant la saison des pluies. Elles varient entre $4,23 \pm 0,25$ mg/L et $7,81 \pm 0,14$ mg/L, pour une moyenne de $5,17 \pm 0,26$ mg/L. Les concentrations en ions magnésium (Mg^{2+}) s'étendent de $0,47 \pm 0,01$ mg/L (P9) à $0,88 \pm 0,018$ mg/L (P11), avec une moyenne de $0,59 \pm 0,03$ mg/L. Par ailleurs, les teneurs en ions bicarbonate présentent une moyenne de $2,19 \pm 0,33$ mg/L, avec comme valeurs extrêmes $1,07 \pm 0,01$ mg/L et $5,72 \pm 0,01$ mg/L. Les concentrations en ions chlorure affichent une moyenne de $34,90 \pm 6,67$ mg/L, pour des valeurs extrêmes de $17,75 \pm 0,12$ mg/L et $124,25 \pm 0,36$ mg/L.

3.3 Paramètres microbiologiques

Les analyses bactériologiques montrent la présence des bactéries de types coliformes fécaux (CF), Escherichia coli, Entérocoques., Salmonella et Pseudomonas aeruginosa dans les eaux de puits étudiées (tableau 5 et 6) respectivement pendant la saison sèche et pluvieuse.

Tableau 5. Caractéristiques microbiologiques de l'eau durant la saison sèche

Puits	Coliformes fécaux (UFC/mL)	E. Coli (UFC/mL)	Entérocoques intestinaux (UFC/mL)	Pseudomonas aeruginosa (UFC/mL)	Salmonella (UFC/mL)
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	$6,00 \pm 0,33$	0,00	0,00	0,00
P3	$13,00 \pm 0,50$	0,00	0,00	$2,00 \pm 0,18$	0,00
P4	$23,00 \pm 0,10$	0,00	0,00	0,00	0,00
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P7	0,00	0,00	$2,00 \pm 0,02$	0,00	$31,00 \pm 0,88$
P8	0,00	0,00	0,00	0,00	$6,00 \pm 0,11$
P9	0,00	0,00	$2,00 \pm 0,22$	0,00	$33,00 \pm 0,30$
P10	$45,00 \pm 0,20$	$10,00 \pm 0,11$	$60,00 \pm 0,89$	$5,00 \pm 0,06$	0,00
P11	0,00	0,00	$10,00 \pm 0,12$	0,00	$50,00 \pm 0,22$
P12	$35,00 \pm 0,40$	0,00	0,00	0,00	0,00
P13	$20,00 \pm 0,87$	$1,00 \pm 0,01$	$64,00 \pm 0,02$	0,00	$47,00 \pm 0,20$
P14	$50,00 \pm 0,01$	$4,00 \pm 0,12$	$1,00 \pm 0,01$	0,00	$45,00 \pm 0,04$
P15	$15,00 \pm 0,50$	0,00	0,00	0,00	$16,00 \pm 0,12$
Moyenne	$13,40 \pm 4,57$	$1,40 \pm 0,77$	$9,27 \pm 5,57$	$0,47 \pm 0,35$	$15,20 \pm 5,17$
Norme	0,00 UFC/mL				

L'analyse du tableau 5 montre qu'à la saison sèche, aucun germe n'a été détecté dans les puits P1, P5 et P6. Le puits P14 présente la concentration la plus élevée en coliformes, soit $50,00 \pm 0,01$ UFC/mL. Le puits P10 affiche quant à lui les concentrations les plus élevées en *Escherichia coli* ($10,00 \pm 0,11$ UFC/mL) et en *Pseudomonas aeruginosa* ($5,00 \pm 0,06$ UFC/mL). La concentration maximale en entérocoques est observée dans le puits P13, avec $64,00 \pm 0,02$ UFC/mL, tandis que la teneur la plus élevée en salmonelles, soit $50,00 \pm 0,22$ UFC/mL, est enregistrée dans le puits P11.

Tableau 6. Caractéristiques microbiologiques de l'eau durant la saison pluvieuse

	Coliformes fécaux (UFC/mL)	E. Coli (UFC/mL)	Entérocoques intestinaux (UFC/mL)	Pseudomonas aeruginosa (UFC/mL)	Salmonella (UFC/mL)
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	$20,00 \pm 0,19$	0,00	0,00	0,00	0,00
P4	$15,00 \pm 0,30$	$6,00 \pm 0,10$	$1,00 \pm 0,09$	0,00	0,00
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	$3,00 \pm 0,03$	0,00	0,00	0,00
P7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P8	$10,00 \pm 0,03$	$2,00 \pm 0,19$	0,00	0,00	$20,00 \pm 0,14$
P9	0,00	0,00	$5,00 \pm 0,11$	0,00	$50,00 \pm 1,01$
P10	$15,00 \pm 0,05$	$8,00 \pm 0,09$	$70,00 \pm 0,88$	$10,00 \pm 0,35$	$6,00 \pm 0,12$
P11	0,00	0,00	$5,00 \pm 0,12$	0,00	$50,00 \pm 0,20$
P12	$35,00 \pm 0,18$	$2,00 \pm 0,22$	0,00	0,00	0,00
P13	$15,00 \pm 0,15$	$6,00 \pm 0,01$	$52,00 \pm 0,08$	0,00	$50,00 \pm 0,50$
P14	$50,00 \pm 0,17$	$6,00 \pm 0,13$	$2,00 \pm 0,06$	0,00	$51,00 \pm 0,08$
P15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Moyenne	$10,67 \pm 3,90$	$2,20 \pm 0,75$	$9,00 \pm 5,54$	$0,67 \pm 0,67$	$15,13 \pm 5,82$
Norme	0,00 UFC/mL				

Le tableau 6 révèle l'absence de germes, en saison pluvieuse, dans les puits P1, P2, P5, P7 et P15. En revanche, le puits P10 présente la présence simultanée de l'ensemble des

microorganismes recherchés, avec les concentrations les plus élevées en *E. coli* (8,00 ±0,09 UFC/mL), en entérocoques (70,00 ±0,88 UFC/mL) et en *Pseudomonas aeruginosa* (10,00 ±0,35 UFC/mL). Le puits P14 présente quant à lui la concentration la plus élevée en salmonelles, soit 51,00 ±0,08 UFC/mL.

3.4. Analyse statistique des résultats

3.4.1. Etude des corrélations

L'analyse des corrélations linéaires de Pearson (IBM SPSS Statistics version 23) entre les paramètres physico-chimiques mesurés durant la saison sèche et à la saison de pluie sont présentées dans les tableaux 7 et 8.

Tableau 7. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques durant la saison sèche

	T	pH	CE	TDS	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
T	1									
pH	0,638	1								
CE	0,172	0,201	1							
TDS	-0,037	0,114	0,946	1						
TAC	-0,127	0,264	0,409	0,552	1					
TH	0,119	-0,247	0,049	0,067	0,151	1				
Ca ²⁺	0,122	-0,249	0,040	0,058	0,140	1,000	1			
Mg ²⁺	0,093	-0,226	0,115	0,138	0,228	0,994	0,992	1		
HCO ₃ ⁻	0,137	0,166	0,448	0,441	0,690	0,222	0,210	0,307	1	
Cl ⁻	0,040	0,126	0,969	0,974	0,492	0,116	0,107	0,181	0,416	1

L'étude de la corrélation de Pearson entre les paramètres physico-chimiques mesurés durant la saison sèche indique une corrélation parfaite, au seuil de signification de 0,01, entre le calcium (Ca²⁺) et la dureté totale (TH). À ce même seuil, la corrélation est significative entre les solides dissous totaux (TDS) et la conductivité électrique (CE) (r = 0,946), entre le magnésium (Mg²⁺) et la TH (r = 0,994), entre le Mg²⁺ et le Ca²⁺ (r = 0,992), entre les bicarbonates (HCO₃⁻) et le titre alcalimétrique complet (TAC (r = 0,690), ainsi qu'entre les chlorures (Cl⁻) et la CE (r = 0,969) et entre le Cl⁻ et les TDS (r = 0,974). De plus, une corrélation significative est observée au seuil de 0,05 entre le pH et la température (T) (r = 0,638), de même qu'entre le TAC et les TDS.

Tableau 8. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques durant la saison de pluie

	T	pH	CE	TDS	TAC	TH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
T	1									
pH	-0,224	1								
CE	-0,449	0,418	1							
TDS	-0,448	0,423	1,000	1						
TAC	-0,314	0,018	0,685	0,690	1					
TH	-0,137	-0,029	0,636	0,641	0,939	1				
Ca ²⁺	-0,147	-0,030	0,638	0,643	0,942	0,999	1			
Mg ²⁺	-0,021	-0,006	0,576	0,580	0,840	0,937	0,921	1		
HCO ₃ ⁻	-0,081	-0,034	0,453	0,459	0,651	0,721	0,725	0,626	1	
Cl ⁻	-0,521	0,422	0,985	0,982	0,627	0,541	0,544	0,478	0,386	1

Le tableau 8 met en évidence, au seuil de signification de 0,01, une corrélation parfaite entre la conductivité électrique (CE) et les solides dissous totaux (TDS). À ce même seuil, des corrélations significatives sont observées entre le titre alcalimétrique complet (TAC) et la CE ($r = 0,685$), le TAC et les TDS ($r = 0,690$), la dureté totale (TH) et les TDS ($r = 0,643$), la TH et le TAC ($r = 0,939$), le calcium (Ca²⁺) et les TDS ($r = 0,643$), le Ca²⁺ et le TAC ($r = 0,942$), ainsi qu'entre le Ca²⁺ et la TH ($r = 0,999$). Des corrélations hautement significatives lient également le magnésium (Mg²⁺) au TAC ($r = 0,840$), à la TH ($r = 0,937$) et au Ca²⁺ ($r = 0,921$). Des relations similaires sont signalées à ce même niveau entre les bicarbonates (HCO₃⁻) et le TAC, la TH et le Ca²⁺, de même qu'entre les chlorures (Cl⁻) et la CE ainsi que les TDS.

Par ailleurs, au seuil de signification de 0,05, les corrélations se révèlent significatives entre la TH et la CE ($r = 0,636$), le Ca²⁺ et la CE ($r = 0,638$), le Mg²⁺ et la CE ($r = 0,576$), et enfin entre le Mg et les TDS ($r = 0,580$). Le tableau 8 indique que les couples HCO₃⁻-Mg²⁺, Cl⁻-TAC, Cl⁻-TH et Cl⁻-Ca²⁺ affichent également des corrélations significatives à ce même niveau.

3.4.2. Comparaisons des résultats

Le test t de Student pour échantillons appariés a permis de comparer les résultats de la saison sèche à ceux de la saison des pluies, comme l'illustre le tableau 9.

Tableau 9. Comparaison de résultats de l'analyse physico-chimiques de deux saisons

Paires	t	ddl	Signification (bilatéral)
T saison sèche – T saison pluvieuse	-1,983	14	0,067
pH saison sèche – pH saison pluvieuse	3,994	14	0,001
CE saison sèche – CE saison pluvieuse	3,434	14	0,004
TDS saison sèche – TDS saison pluvieuse	3,277	14	0,006
TAC saison sèche – TAC saison pluvieuse	6,007	14	0,000
TH saison sèche – TH saison pluvieuse	3,193	14	0,007
Ca saison sèche – Ca saison pluvieuse	3,124	14	0,007
Mg saison sèche – Mg saison pluvieuse	3,688	14	0,002
HCO ₃ saison sèche - HCO ₃ saison pluvieuse	3,026	14	0,009
Cl saison sèche – Cl saison pluvieuse	3,619	14	0,003

Il ressort des résultats du test t de Student qu'au seuil de signification de 0,05 (probabilité de 95 %), la différence est significative entre la saison sèche et la saison des pluies pour la majorité des paramètres étudiés la valeur absolue du t expérimental étant supérieure au t critique ($|t_{\text{exp}}| > t_{\text{critique}} = 2,144$). La température fait exception à cette règle ($|t_{\text{exp}}| = 1,983 < t_{\text{critique}} = 2,144$), ne montrant aucune variation saisonnière significative.

En revanche, l'application du test aux analyses microbiologiques (tableau 10) indique l'absence de différence statistiquement significative ($t_{\text{exp}} < t_{\text{critique}} = 2,144$). Les résultats microbiologiques obtenus à la saison sèche sont donc statistiquement similaires à ceux de la saison des pluies, ce qui traduit une stabilité des concentrations bactériennes sur les deux saisons.

Tableau 10. Comparaison de résultats de l'analyse microbiologique de deux saisons

Paires	t	ddl	Significatio n (bilatéral)
CF saison sèche – CF saison de pluie	1,120	14	0,282
EC saison sèche – EC saison de pluie	-1,093	14	0,293
EI saison sèche – EI saison de pluie	0,230	14	0,822
PA saison sèche – PA saison de pluie	-0,544	14	0,595
S saison sèche – S saison de pluie	0,023	14	0,982

3.4.3. Discussion

Cette étude a consisté à l'évaluation de la qualité des eaux destinées à l'alimentation humaine à SAVLO dont l'unique moyen d'approvisionnement en eau est le puits traditionnel. La qualité d'une eau fait référence à ses caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques ou bactériologiques (Ibolobolo et al., 2024). Les paramètres physico-chimiques analysés dans cette étude incluaient la température, le pH, la conductivité électrique, les solides totaux dissous (TDS), l'alcalinité totale (TAC), la dureté totale (TH), ainsi que les concentrations en calcium, magnésium, bicarbonates et chlorures. Les paramètres microbiologiques comprenaient la quantification des coliformes fécaux, d'*Escherichia coli*, des entérocoques intestinaux, de *Pseudomonas aeruginosa* et des salmonelles.

La température de l'eau est un paramètre esthétique et n'a pas d'effet direct sur la santé humaine. Toutefois, une température supérieure à 20°C permet le développement de microorganismes et leur prolifération dans l'eau. De même, elle pourrait favoriser l'intensification des mauvaises odeurs et de saveurs de l'eau (Ibolobolo et al., 2024; Rodier et al., 2009). Pour les eaux analysées, la température est de $25,59 \pm 0,14$ °C à la saison sèche et $25,96 \pm 0,74$ °C à la saison pluvieuse. Ces températures sont très rapprochées de la norme de température, 25°C, fixée par l'OMS. Les températures dans les deux saisons ne diffèrent pas d'une manière significative.

Le pH, par contre, détermine l'état acido-basique de l'eau. Il est l'un des paramètres importants pour déterminer la qualité d'une eau potable, pour laquelle l'OMS fixe la norme dans l'intervalle de 6,5 à 8,5 (INH., 2019). Les eaux du site étudié présentent les valeurs moyennes de pH de $6,05 \pm 0,22$ durant la saison sèche et $5,08 \pm 0,12$ durant la saison de pluie. Ces valeurs sont inférieures à la norme de pH fixée par l'OMS, ces eaux sont donc de nature acide. La différence des valeurs de pH entre les deux saisons étant significative (Cf. Tableau 1 et 2), les eaux sont plus acides à la saison pluvieuse. Le pH est fonction de la température du fait que les valeurs sont

corrélées au niveau 0,01 (cf. tableaux 7 et 8). De plus, La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations du pH (Le chevalier et al., 1981; DISA-DISA et al., 2020).

La conductivité sert à apprécier, de manière approximative, la quantité des sels dissous dans l'eau et donne une appréciation sur sa minéralisation. Une conductivité élevée témoigne d'une quantité de sels dissous très important (Rodier et al., 2009). Elle est associée au total des sels dissous dans l'eau (cf. Tableaux 7 et 8) au degré de signification très élevé. Les eaux analysées présentent une très faible minéralisation par le fait que leurs valeurs de la conductivité sont inférieures à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Rodier et al., 2009), soit $38,67 \pm 11,48 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $27,29 \pm 8,72 \mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement à la saison sèche et à la saison de pluie. La minéralisation est plus faible à la saison pluvieuse. Certains puits isolés présentent une minéralisation faible, la conductivité est comprise entre 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces eaux sont donc pauvres en sels minéraux avec le total des sels dissous, dépendant de différents ions présents dans l'eau (Sekakolo et al., 2020), de $23,13 \pm 6,09$ ppm à la saison sèche et $13,73 \pm 4,39$ ppm en saison pluvieuse.

L'alcalinité totale d'une eau est relative à la présence des ions carbonates et hydroxydes dans l'eau. Elle est exprimée par le titre alcalimétrique complet (TAC) dont les valeurs permettent d'estimer les quantités d'hydrogénocarbonate, d'hydroxyde et carbonate alcalins et/ou alcalino-terreux dans l'eau (INH, 2019). Les valeurs trouvées pour les eaux du site étudié, $8,47 \pm 1,28$ mg/L à la saison sèche et $0,76 \pm 0,15$ mg/L, montrent non seulement une très faible alcalinisation de l'eau, mais aussi une grande variabilité de ce paramètre entre les deux saisons.

Le titre hydrotimétrique de l'eau exprime la dureté totale de l'eau correspondant à la dureté calcique et la dureté magnésien (Rodier et al., 2009), cela est confirmé par l'étude des associations entre ces paramètres (cf. Tableaux 7 et 8). Des associations quasi-parfaite au seuil de confiance de 0,01. Les valeurs trouvées pour les eaux du site de SAVLO, $21,50 \pm 0,49$ mg/L à la saison sèche et $5,76 \pm 0,29$ mg/L à la saison de pluie ; les eaux de ce site sont donc douces. Ces eaux sont plus douces à la saison pluvieuse qu'à la saison sèche (cf. Tableau 7). La teneur de calcium pour les eaux de bonne qualité est située entre 100 mg/L et 140 mg/L. Les eaux du site SAVLO renferment des teneurs très inférieures, respectivement $18,79 \pm 4,33$ mg/L et $5,17 \pm 0,26$ mg/L à la saison sèche et la saison de pluie. La teneur en calcium durant la saison de pluie est donc très basse. Les teneurs en magnésium des eaux étudiées, $2,72 \pm 0,58$ mg/L et $0,59 \pm 0,03$ mg/L respectivement à la saison sèche et la saison de pluie, sont inférieures à 15 mg/L, souhaitable pour l'eau potable.

Aux pH < 8,3, la valeur du titre alcalimétrique simple est nulle et par conséquent, la teneur en carbonate est égale à 0. Dans ce cas, la concentration des ions bicarbonate est presque exclusivement proportionnelle uniquement au titre alcalimétrique complet (TAC) (Rodier et al., 2009). Pour les eaux analysées, les valeurs de pH sont inférieures à 8,3 ce qui signifie qu'il y a absence quasi-totale des ions carbonates et justifie l'association entre le TAC et les ions

bicarbonate au niveau 0,01 (cf. Tableaux 7 et 8). Les valeurs obtenues de la teneur en hydrogénocarbonate sont $8,51 \pm 2,14$ mg/L à la saison sèche et $2,19 \pm 0,33$ mg/L à la saison pluvieuse sont très basses.

Les teneurs en chlorures des eaux du site étudié ($47,21 \pm 8,68$ mg/L à la saison sèche et $34,90 \pm 6,67$ mg/L à la saison de pluie) sont largement inférieures à la valeur guide de 250 mg/L recommandée par l’OMS.

Etant donné que les matières fécales des hommes et des animaux contaminent les eaux, on définit le niveau de contamination d’une eau naturelle à l’aide des germes de la flore fécale : E. coli et entérocoques fécaux. La présence de coliformes fécaux $13,40 \pm 4,57$ UFC/mL à la saison sèche et $10,67 \pm 3,90$ UFC/mL à la saison de pluie, de E. coli $1,40 \pm 0,77$ UFC/mL à la saison sèche et $2,20 \pm 0,75$ UFC/mL à la saison de pluie, d’entérocoques intestinaux $9,27 \pm 5,57$ UFC/mL à la saison sèche et $9,00 \pm 5,54$ UFC/mL à la saison de pluie indique la contamination fécale des eaux du site étudié. L’OMS recommande l’absence totale de ces germes. La présence de E. coli indique une contamination fécale récente. On y trouve également le Pseudomonas aeruginosa, soit $0,47 \pm 0,35$ UFC/mL et les salmonelles $15,20 \pm 5,17$ UFC/mL à la saison sèche, puis $0,67 \pm 0,66$ UFC/mL d’eau de Pseudomonas aeruginosa et $15,13 \pm 5,82$ UFC/mL d’eau des salmonelles à la saison de pluie qui ne sont pas forcément d’origine fécale. Ce qui traduit le défaut d’assainissement du milieu qui expose les ressources en eaux à de fortes contaminations de bactéries d’origine fécale (Robertson et al., 1998) .

Conclusion

Les résultats de cette étude fournissent une première description de la qualité des eaux des puits dans la cellule SAVLO (quartier Loma) de la cité de Mbanza-Ngungu (Province de Kongo Central) en République Démocratique du Congo. Ces eaux sont utilisées par la population pour la consommation et pour les usages domestiques. Les analyses ont révélé que la mauvaise qualité de la majorité des eaux de puits de la zone d’étude est due à la présence des microorganismes (coliformes fécaux, E. coli, Entérocoques intestinaux, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella). La consommation de ces eaux présente un risque sanitaire à court terme pour les populations. Néanmoins, la surveillance et la chloration régulières des eaux de sources pourraient significativement réduire le degré de contamination bactériologique des eaux de sources de la région étudiée. Nous recommandons aux autorités compétentes qu’à court terme l’alimentation des quartiers de la zone d’étude pourrait être assurée par des forages captant les eaux des nappes profondes et à l’accès de la population au système adéquat d’assainissement

Références

1. BEN OSMANE Yasmine, 2022. Traitement électrochimique des eaux usées chargées en polluants émergents utilisant des anodes innovantes à coût maîtrisé. Université de haute Alsace. Ecole doctorale ED 182, 175p.
2. CERADE, 2019. Etude de la capacité des communautés rurales et péri-urbains à adhérer au paiement des services d'eau potable pour les usagers pour assurer le maintien du bon fonctionnement des points d'eau réalisés dans le cadre du programme national école et village assainis, Kinshasa, RD Congo, 68p.
3. Fils Milau Empwal, Jules Aloni Komanda, 2022. Inventaires des communautés lombriciennes de la région de Mbanza -Ngungu dans la province du Kongo Central (RDCongo). *Int. J. biol Chem. Sci* 16(3) : 1019 – 1030.
4. Funasa, 2013. Manuel pratique de l'analyse de l'eau, 4^{ème} édition, Ministère de la santé, Brésil, 150p.
5. Honoré Houemenou, 2020. Qualité des eaux souterraines et de surface dans la métropole de Cotonou au sud du Bénin: Implications pour la leptospirose. *Sciences agricoles*. Université d'Avignon. Français. NNT : 2020 AVG0058. tel-03116650, 147p
6. Ibolobolo Kayiba, Camille Nsimanda, Disa-Disa Maziana, Tolérant Lubalega, Lucie Mwamba Nkongolo, Bari Ndoy, Muyaya Iyuna Christian, 2024. Analyse physico – chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraines consommées par la population rurale de Matende, Secteur de Lukamba en République Démocratique du Congo. *Revue – IRS*. Vol 2, N°5, 2720 – 2734.
7. INH, 2019. Guide des analyses physico – chimiques des eaux destinées à la consommation humaine. Royaume du Maroc, 66p.
8. Jean Rodier, Bernard Legube, Nicole Merlet et coll., 2009. *Analyse de l'eau*. 9^{ème} édition. Dunod, Paris. 1579p.
9. Le Chevallier M.W, Evans J.M, Selder R.J. Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*. 1981; 42 (1): 159-167.
10. Michel Kapembo Lufuluabo, 2023. Mise en œuvre d'un procédé de traitement par électrolyse de chlorure de sodium des eaux consommées dans certains quartiers des villes de Kinshasa et Tshikapa en RD Congo. Université de Kinshasa, Faculté des sciences et technologie, Département de chimie et industrie.
11. Mampuya Kinda Fidèle, 2020. Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes. « Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uige/Angola ». Université côte d'Azur. Ecole doctorale, sciences et technologies de l'information et de la communication, 305p.
12. Miloudi Boutheyna, 2023. Caractérisation et évaluation des eaux de quelques hydrosystèmes dans le Nord – Est algérien. Université des frères Mentouri Constantine 1, Faculté des sciences de la nature et de la vie. République Algérienne Démocratique, RADP, 90p.
13. OMS. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Recommandations. Vol. 1, 2e édition, Genève, SW. 1993; 188p.

14. OMS, 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4^{ème} éd. Intégrant le premier additif. Genève. Licence : ccBy-NC-SA 3.0 IGO, 564p.
15. PADCV – PTA, 2024. Plan d'action de réinstallation de populations affectées par le projet d'aménagement hydroagricole des bas – fonds dans les six pôles nodaux du Kongo Central. Pôle de Mbanza – Ngungu (Vallées de Kibanga, de Lubudi, de Gombe Lutete, de Mandadi, de Mawunzi et de Zamba), Fonds social de RDCongo, rapport, 126p.
16. Robertson W. D, Schiff S. L, Ptacek C. J. Reviews of Phosphate Mobility and Persistence in 10 Septic System Plumes. Groundwater. 1998; 36(6): 1000-1010.
17. Salakiaku Luntadila D., Ndompetozulu R.V., Lesa Luseku A., Mbumba Bandi M., 2022. Pollution des eaux de surface et ses conséquences sur les écosystèmes aquatiques et les humains : Cas des rivières en Kinshasa en République Démocratique du Congo. Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture 5(4), 160 – 167.
18. Pascal Disa Disa, Luc Ludemi, Fabrice Nduku, Gracien Ekoko, Ruben Koy Kasngo, Crispin, 2020. Evaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des sources dans la ville de Kikwit en République Démocratique du Congo. EWASH & TI Journal, 2020 Volume 4 Issue 3, Pages 451-459.