



ISSN: 0976-3376

Available Online at <http://www.journalajst.com>

ASIAN JOURNAL OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Asian Journal of Science and Technology
Vol. 16, Issue, 02, pp. 13509-13515, February, 2025

RESEARCH ARTICLE

CONTRÔLE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES SOURCES D'EAU (PUITS ET FORAGES) EN SAISON HIVERNALE D'UNE ZONE INONDABLE DANS LE DISTRICT DE LOME: CAS DE ZOGBEDJI

Nombamba Ouéda^{1*}, Koffi Essewata Bawa², Ibrahim Tchakala², Moctar Limam Bawa²

¹Institut Supérieur de Développement Durable (ISDD), Université Yembila Abdoulaye Toguyeni (UYAT), BP 54 Fada N'Gourma, Burkina Faso; ²Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement (LHAE), Université de Lomé (UL) P.O.Box: 1515 Lomé, Togo

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th December, 2024

Received in revised form

19th January, 2025

Accepted 23rd January 2025

Published online 27th February, 2025

Keywords:

Eaux usées, Puits, Forage, Contamination, Bactériologique, Physico-chimique.

ABSTRACT

Cette étude explore l'impact des eaux usées sur la pollution des nappes phréatiques susceptible à la contamination des sources d'eau de boisson. Une étude impliquant une enquête auprès des ménages et des analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux de puits, de forages et des eaux usées selon l'Association Française de Normalisation. Les résultats montrent que 68,01% des ménages s'approvisionnent en eau de forage et de puits. L'analyse des échantillons d'eaux de puits, de forage et des eaux usées révèle plusieurs anomalies dans la qualité de l'eau sur le plan physico-chimique en particulier la conductivité (>1000 µS/cm), le pH, la concentration de solides dissous (1500 mg/L), le manganèse et les chlorures (> 250 mg/L), comparés aux normes de l'OMS. Les rapports DCO/DBO des trois échantillons d'eau usées sont supérieurs à 0,5 indiquant que les eaux usées contiennent une proportion importante de composés difficilement biodégradables. Tous les échantillons sont non conformes aux normes pour les flores anaérobies mésophiles le forage F2, les coliformes totaux et thermotolérants et les streptocoques fécaux. Seuls les anaérobies sulfite-réducteurs et les *Escherichia coli* respectent les normes. Ces eaux sont alors non satisfaisantes pour la consommation et doivent être assujetties aux techniques appropriées de traitement de l'eau.

Citation: Nombamba Ouéda, Bawa Koffi Essewata, Ibrahim Tchakala, Moctar Limam Bawa. 2025. "Contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique des sources d'eau (puits et forages) en saison hivernale d'une zone inondable dans le district de Lomé: Cas de Zogbedji", *Asian Journal of Science and Technology*, 16, (02), 13509-13515.

Copyright©2025, Nombamba Ouéda et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource vitale et indispensable pour la vie humaine, au développement économique et la préservation des écosystèmes naturels. Selon les Directives sur la qualité de l'eau de boisson, un meilleur accès à une eau potable peut se traduire par des bénéfices tangibles pour la santé. Par conséquent, les efforts doivent être conjugués pour obtenir une eau de boisson aussi saine que possible (OMS, 2017). Sur le plan national, des efforts ont été réalisés aboutissant à des résultats probants. En exemple, selon le Plan Stratégique pour l'accès universel à l'eau et l'assainissement potable, le taux de desserte en eau potable à Lomé était de 60% en 2020 et l'accès à l'assainissement s'est stagné à 45% (PDAEPGL, 2022). Néanmoins, certaines parties de la population, toujours sous la menace d'une précarité en eau potable continuent de s'approvisionner à travers les puits, les forages et bien d'autres sources. Pourtant, la qualité de cette ressource précieuse est de plus en plus menacée par la pollution, notamment dans les zones inondables où les risques de contamination des eaux souterraines sont particulièrement élevés. Les inondations occasionnées par les changements climatiques et les activités anthropiques, facilitent l'infiltration des eaux usées, polluant les eaux de surface et les nappes phréatiques (Some et al., 2014). Les eaux usées, qu'elles proviennent des systèmes d'assainissement domestique, industriel ou agricole, véhiculent divers types de

polluants, parmi lesquels les menaces les plus courantes sont les métaux lourds, les nitrates, les sels, ainsi que les matériaux organiques et inorganiques toxiques (Blumenthal et al., 2001). Lorsque ces substances pénètrent dans les aquifères, elles peuvent altérer la qualité de l'eau souterraine, rendant son utilisation dangereuse pour la consommation humaine, l'irrigation agricole, et d'autres usages essentiels (Dougna et al., 2015). En sus d'un point de vue parasitologique, la qualité d'une eau peut être dégradée par la présence des éléments pathogènes tels que les *Ascaris lumbricoides*, les larves de *strongyloïdes* avec des teneurs supérieures à la norme de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Amougou et al., 2020). Des rapports indiquent que l'absence de l'eau potable combinée au manque d'assainissement est la première cause de mortalité au monde. Par exemple le rapport de l'Unicef à travers son programme WASH, a indiqué que le traitement de l'eau à la source faisait reculer le taux de morbidité due aux maladies diarrhéiques de 11% (Unicef, 2009). Des maladies liées à cette absence sont entre autres les intoxications des métaux lourds, les maladies infectieuses comme les infections diarrhéiques (Sy et al., 2017). Une étude antérieure réalisée dans un quartier situé dans un bassin versant de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso) a rapporté que 40% des dix principales causes étaient liées à l'eau (Some et al., 2014). Dans certains endroits, la qualité des eaux, le temps d'approvisionnement et les maladies hydriques ont amené la population à une prise de conscience sur la nécessité de l'eau potable (Zoungrana, 2021). Les zones inondables présentent des dynamiques hydrologiques complexes, où les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines sont amplifiées par les événements météorologiques extrêmes. Ces régions

*Corresponding author: Nombamba Ouéda

Institut Supérieur de Développement Durable (ISDD), Université Yembila Abdoulaye Toguyeni (UYAT), BP 54 Fada N'Gourma, Burkina Faso

sont souvent caractérisées par des sols perméables et des niveaux d'eau souterraine fluctuants, facilitant l'infiltration des eaux usées lors des périodes d'inondation. La contamination des nappes phréatiques dans ces contextes peut avoir des conséquences durables et difficiles à remédier, posant des défis importants pour la gestion des ressources en eau. Ainsi, cette étude s'est focalisée sur Zogbedji, un quartier périphérique de la ville de Lomé. Il s'agit d'une zone très singulière car elle est une zone inondable et traversée par le fleuve Zio, caractérisée par de petites ruelles impraticables pendant la saison des pluies. Au regard de la position géographique de la zone, notre étude vise à évaluer l'impact des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique des sources d'approvisionnement d'eau par la population.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cadre d'étude: L'étude s'est déroulée à Zogbedji dans le District de Lomé (Togo). Le Togo, un pays d'Afrique de l'Ouest, est limité au nord par le Burkina Faso, au sud par l'océan Atlantique, à l'est par le Bénin et à l'ouest par le Ghana.

Zogbedji se situe dans la vallée du Zio, une zone déclarée inondable et inappropriée pour la construction. Les eaux usées domestiques, notamment celles des ménages et des douches, sont souvent déversées dans les ruelles, devant les maisons et dans les cours. Les coordonnées des sites prélèvement sont consignées dans le Tableau 1. Les températures à Lomé sont relativement stables tout au long de l'année, avec des moyennes mensuelles variant entre 25 °C et 30 °C. La pluviométrie annuelle moyenne se situe autour de 800 à 1200 mm, mais elle peut varier considérablement d'une année à l'autre.

Echantillonnage, analyses physico-chimiques et bactériologiques: Notre étude s'est déroulée lors de la saison hivernale 2024 entre le mois de juin et de septembre. Pour évaluer la qualité de l'eau consommée dans la zone d'étude, des échantillons d'eau provenant de puits, de forages et des eaux usées ont été soumis à des analyses en laboratoire. Au total, neuf (09) échantillons ont été prélevés, comprenant trois (03) échantillons d'eau de puits, trois (03) échantillons d'eau de forage et (03) échantillons d'eaux usées. La Codification des échantillons d'eaux de puits, de forages et des eaux usées est présentée par le tableau 1. Les méthodes d'analyse conformément à AFNOR ont été utilisées pour l'analyse physico-chimique.

Tableau 1. Les coordonnées géographiques des points de prélèvements des eaux de puits (P), forages (P) et eaux usées (EU)

Echantillons	Longitude (Est)	Latitude (Nord)
P1	1°14'30,12"	6°13'27"
P2	1°14'23,52"	6°13'28,58"
P3	1°13'22,83"	6°13'53"
F1	1°14'31,08"	6°13'25,59"
F2	1°14'20,23"	6°13'31,84"
F3	1°13'11,91"	6°14'6"
EU1	1°14'30,12"	6°13'27"
EU2	1°14'6,7"	6°13'27,53"
EU3	1°13'11,74"	6°14'0,67"

Tableau 2. Matériel et méthodes utilisés pour l'analyse des eaux usées

Paramètres recherchés	Références	Matériel	IFC (*)-Critères de l'OMS
pH	NF T 90-008	Multimètre "Type WTW Multi 3420"	6-9 (*)- 6,5 - 8,5
Conductivité	NF T 90-031		-
Température	NFT 90-100		<30
Turbidité	NF T 90-033	Turbidimètre "Type DRT100B model 20012"	-
DBO ₅ *	NF T 90-103	DBO-mètre "BSB-Mebgerat"	30(*), <30
DCO*	NF T 90-101	Bloc Digest 6	125(*), <90

Tableau 3. Matériel et méthodes utilisés pour le dosage des paramètres physico-chimiques des eaux de consommation avec les concentrations maximales requises par OMS et l'UE

Paramètres Physico-chimiques	Méthodes	Norme/référence	Matériel	O.M.S (*)- UE
Turbidité – NTU	Néphélométrie	NFT 90-033	Turbidimètre « type DRT 100B modèle 20012 »	5(*)
Température - °C	Thermomètre	NFT 90-100	Multimètre «type WTW Multi 3420 »	-
pH	Electrométrie	NFT 90-008		6.50 – 8.50
Conductivité électrique 20°C - µs/cm	Conductimétrie	NFT 90-031	Multimètre	400 (nombre guide)
Solides dissous – mg/L	Conductimètre/Salinomètre	-	-	1000 – 1500(*)
Alcalinité (TA) - °f	Acidimétrie	-	-	-
Alcalinité complète (TAC) - °f	Acidimétrie	-	-	-
Carbonates (CO ₃ ²⁻) – mg/L	Acidimétrie	-	-	-
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻) – mg/L	Acidimétrie	NFT 90-036	Verrerie de laboratoire	> 30 (nombre guide)
TH (Dureté totale) - °f	Complexométrie	-	-	50(*) - >15
TH calcique (Ca ²⁺) – mg/L	Complexométrie	NFT 90-016	Verrerie de laboratoire	100 (nombre guide)
TH magnésien (Mg ²⁺) – mg/L	Complexométrie			50
Sodium (Na ⁺) -mg/L	Absorption atomique	NFT 90-020	Photomètre à flamme « type JENWAY PFP7 »	150
Potassium (K ⁺) – mg/L				12
Fer total (Fe ²⁺ et Fe ³⁺) – mg/L	Spectrophotométrie	NF T 90-017	Spectromètre UV/Visible"Type JANWAY 6705"	0.3 (*) – 0.2
Manganèse (Mn ²⁺) – mg/L	Spectrophotométrie	NF T 90-024		0.5 (*) – 0.05
Ammonium (NH ₄ ⁺) – mg/L	Spectrophotométrie	NF T 90-015	Verrerie de laboratoire	1.5 (*) – 0.5
Nitrates (NO ₃ ⁻) – mg/L	Spectrophotométrie	NFT 90-015		50 (*) -50
Nitrites (NO ₂ ⁻) – mg/L	Spectrophotométrie	NFT 90-012		3 (*) – 0.1
Chlorures (Cl ⁻) – mg/L	Argentimétrie	NFT 90-014		250(*) – 200
Sulfates (SO ₄ ²⁻) – mg/L	Néphélométrie	NFT 90-009	Spectromètre UV/Visible"Type JANWAY 6705"	400(*) -250
Ortho phosphates (PO ₄ ³⁻) - mgP/L	Spectrophotométrie	EN ISO 6878		-
Fluorures (F ⁻) – mg/L	Spectrophotométrie	NF T 90-004		1.5(*)
Oxydabilité KMnO ₄ - mgO ₂ /L	Basique/Chaud	EN ISO 8467		Verrerie de laboratoire

Tableau 4. Matériel utilisé pour l'analyse microbiologique

N°	Designation	Source
01	Etuvesbactériologiques	Culture des microorganismes
02	Etuvebactériologique muni d'agitateur	Culture des microorganismes
03	Autoclave	Stérilisation des milieux de culture
04	Autoclave	Destruction des milieux déjà utilisés
05	Four Pasteur	Stérilisation de la verrerie
06	Balance	Pesée des milieux de culture
07	Balance	Pesée des échantillons pour analyse
08	Hotte à flux laminaire	Manipulation aseptique
09	Congélateur -80°C	Conservation des souchesmicrobiennes
10	Réfrigérateur 4°C	Stockage des réactifs et milieux de culture déjà préparés
11	Congélateur/réfrigérateur	Stockage des échantillons déjà analysés
12	Agitateur	Homogénéisation des échantillons avant ensemencement
13	Pompe à vide + rampe de filtration	Analyse de l'eau par méthode de filtration
14	Bain Marie	Maintien des milieux de culture à 44°C avant le coulage
15	Stomacher	Préparation des solutions mères
16	pH-mètre	Mesure des pH des milieux de culture et réactifs

Tableau 5. Germes recherchés et critères utilisés

N°	Germes recherchés	Milieu de culture	Condition d'incubation	Critères UE
1	Flora aérobie mésophile (NF EN ISO 4833-1)	PCA	30°C/24h-72h	100/ml
2	Coliformes totaux (NF EN ISO 4832)	VRBL	30°C/ 24h	0/100ml
3	Coliformes thermotolérants (NF V08060)	VRBL	44°C/24h	0/100ml
4	<i>Escherichia coli</i> (NF EN ISO 166492)	Brillance E. Coli	44°C/ 24h	0/250 ml
5	Streptocoques fécaux (NF EN ISO 7899-2)	Slanetz et Bartley	37°C/24h-48h	0/100ml
6	Anaérobies sulfito-réducteurs (NF EN ISO 15213)	TSN	44°C/24h-48h	2/20ml

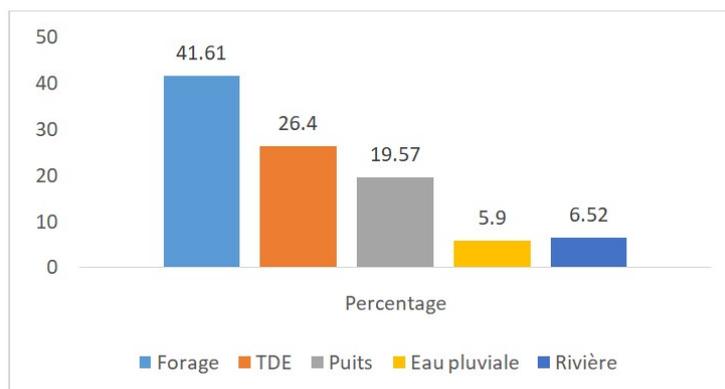


Figure 1. Les principales sources d'approvisionnements en eau potable

Le matériel et les méthodes utilisés pour l'analyse des eaux usées sont consignés dans le tableau 2. Quant à celle des échantillons d'eau de puits et de forage, le tableau 3 présente le matériel et les méthodes nécessaires. En ce qui concerne les analyses bactériologiques, les prélèvements ont été effectués le même jour dans le respect strict des conditions d'asepsie. Les échantillons d'eau ont été collectés dans des flacons d'un litre préalablement stérilisés, puis conservés dans une glacière équipée d'accumulateurs de froid pour assurer leur intégrité jusqu'au laboratoire, où ils ont été acheminés dans les plus brefs délais. Les différents paramètres ont été évalués dans les échantillons d'eau de consommation en utilisant les méthodes normalisées de routine de l'Association Française de Normalisation (AFNOR), adoptées par les États membres de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) (Tableau 4). Les germes recherchés, les milieux de culture, les températures d'incubation, les critères, ainsi que les colonies caractéristiques observées sont récapitulés dans le Tableau 5.

RÉSULTATS

Résultats préliminaires issus des enquêtes: Les résultats représentés sur la figure 1 indiquent une diversité de sources d'approvisionnement en eau potable parmi les personnes interrogées. En effet, les résultats montrent que 41,61% ; 26,4% et 19,57% utilisent les forages, de puits

et la TDE. Une minorité de ces personnes enquêtées s'approvisionne dans d'autres sources comme l'eau pluviale et de rivière. Les lieux d'évacuation des déchets solides jouent un rôle crucial dans la gestion environnementale. Lorsqu'ils sont mal situés ou mal entretenus, ils peuvent devenir des sources importantes de pollution et de risques pour la santé publique. A travers les données sur la figure 2, environ 46% des enquêtés déversent les ordures dans la rue et les caniveaux, alors que 28,57% font recours à des décharges sauvages.

Analyse bactériologique: Le tableau 6 présente les résultats des analyses microbiologiques des échantillons d'eau prélevés dans les différentes sources. Il ressort de ce tableau que la flore aérobie mésophile est présente dans la majorité des échantillons avec un pic qui atteint 1300 UFC 100/mL dans le puits P3 et l'échantillon F2 montre une valeur inférieure (70 UFC 100/mL) à la limite de l'UE. Les coliformes totaux et thermotolérants (fécaux) sont présents dans toutes les eaux étudiées mais avec des teneurs critiques respectives de 100 UFC et 58 UFC/250 mL observées au niveau du puits P1. La contamination des forages par ces germes reste faible par rapport à celle des puits. Nous notons qu'en dehors de F1, les streptocoques fécaux sont présents dans tous les échantillons à des teneurs supérieures aux normes indiquées, avec un pic au niveau de P3. Les anaérobies sulfito-réducteurs et *Escherichia coli* n'ont pas été détectés dans toutes les sources d'eau.

Analyse physico-chimique: Le Tableau 7 présente les résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées. Nous observons que les valeurs de la majorité des paramètres recherchés sont supérieures à celle préconisée par l'OMS. Les potentiels hydrogènes compris entre [6,92-7,95] sont dans l'intervalle recommandé par l'OMS. Avec des conductivités respectives de 10380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 30870 $\mu\text{S}/\text{cm}$, EU1 et EU2 présentent des valeurs très élevées par rapport à la valeur limite (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Par ailleurs elle reste inférieure à la norme dans le cas de EU3. La température oscillant autour de la température moyenne de Lomé, reste inférieure à 30 °C, respectant alors le critère de l'OMS pour les eaux usées. La demande chimique et biologique en oxygène est élevée dans les deux premiers échantillons avec des fortes teneurs dans l'échantillon EU1 de 181 et 48 mgO_2/L respectivement. Nous observons une faible mobilisation de nitrates dans les eaux usées, hormis EU2 qui enregistre une concentration de 41,2 mgN/L en deçà de la valeur seuil. Les matières en suspension sont observées dans les eaux usées EU1 et EU3 avec des teneurs respectives de 77,4 et 46,6 mg/L supérieures aux normes.

Par ailleurs, la conductivité de toutes les sources d'eaux assujetties à notre analyse dépasse la limite recommandée (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les fortes conductivités synonymes de forte minéralisation des eaux sont observées dans les puits P1, P2 et dans le forage F2 avec des teneurs de 4040 5350, 5720 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement. Les solides dissous varient dans le même sens que la conductivité. Ainsi, la forte concentration est alors enregistrée dans le puits P2 avec une valeur de 4335,8 mg/L et la faible teneur dans le forage F1 d'une teneur de 1427,3 légèrement inférieure la valeur seuil fixée par l'OMS (1500 mg/L). L'analyse de tous les échantillons a révélé des teneurs en ions bicarbonates supérieures à 30 mg/L excepté le forage F2 (18,3 mg/L). Les plus fortes teneurs sont notées dans les forages F1 et F2 avec des doses de 359,9 et 317,2 mg/L respectivement. De traces des ions carbonates n'ont pas été détectées lors de l'analyse de tous les échantillons. Quant à la dureté totale, le TH calcique et le TH magnésien, les analyses ont montré des valeurs supérieures aux seuils sauf dans le forage F3. Dans cette source d'eau, les teneurs sont de 43 °f, 76 mg/L et 57,6 mg/L respectivement.

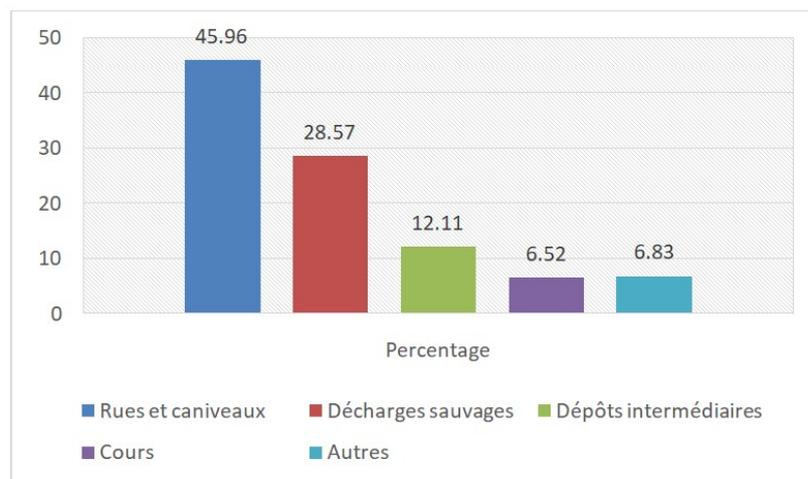


Figure 1. Lieux d'évacuations des déchets solides

Tableau 6. Résultats d'analyses microbiologiques des échantillons

Germes	P1	P2	P3	F1	F2	F3	Critère UE (2007)
Flore aérobie mésophile (30 °C)	860	600	1300	470	70	160	100/ml
Coliformes totaux (30 °C)	100	28	99	8	4	3	<1/250ml
Coliformes thermotolérants (44 °C)	58	44	38	7	2	2	<1/250ml
<i>Escherichia coli</i> (44 °C)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1/250ml
Streptocoques fécaux (37°C)	7	3	28	<1	2	4	<1/250ml
Anaérobies sulfito-réducteurs (44 °C)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1/50ml

Tableau 7. Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux usées

Paramètres recherchés	EU1	EU2	EU3	Critères OMS
pH	6,92	7,34	7,95	6,5 - 8,5
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	10380	30870	1982	2800
Température (°C)	28	28,2	28,2	<30
DBO ₅ (mgO_2/l)	48	42	9	<30
DCO (mgO_2/l)	181	101	80	<90
DCO/DBO	3,70	2,40	8,88	<0,5
MES (mg/L)	77,4	15	46,6	<35
Nitrates (mgN/L)	22,37s	41,2	20,98	<50

Les paramètres physiques et chimiques des eaux de consommations sont présentés dans le tableau 8.

La température moyenne oscille autour de 28,21 °C, avec une faible variation au dixième près dans tous les échantillons tout en restant inférieure à la valeur seuil de l'OMS. Contrairement à la température, le pH connaît une variation significative de 5,50 à 7,31. Il peut être remarqué que la majorité des eaux de consommations sont acides. Seuls les pH du forage F1 et du puits P3 obéissent à la norme standard. Toutes les eaux analysées ont montré une bonne turbidité inférieure à 5 NTU (OMS).

La présence de manganèse à des proportions très inquiétantes a été observée dans tous les échantillons avec des teneurs allant de 188 à 300 mg/L , des concentrations qui sont largement supérieures à la norme (0,5 mg/L) hormis P3. Aucune trace de manganèse n'a été signalée dans l'échantillon P3. L'analyse du fer total (II et III) montre que seul l'échantillon P2 présente des traces de fer avec une concentration légèrement supérieure à la valeur limite de l'OMS (0,3 mg/L). La présence des ions NH_4^+ , NO_3^- et NO_2^- n'est observée que dans quelques échantillons étudiés. Par ailleurs, des teneurs très significatives dépassant les normes OMS sont notées dans quelques sources d'eau. Il s'agit des ions ammoniums NH_4^+ dans le puits P3 (3

mg/L), les ions nitrates NO_3^- dans le forage F3 (212,5 mg/L) et le puits P3 (199,5 mg/L). Les ions nitrites NO_2^- ont été détectés dans certains échantillons mais à des teneurs inférieures à la limite tolérée (3 mg/L). Certains anions majeurs que sont Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} ont été analysés. Les puits et les forages sont contaminés par les ions chlorures avec des valeurs oscillant entre 360 et 1902 mg/L, dépassant la norme OMS (250 mg/L). Dans le lot des puits, la contamination est très élevée dans P2 avec une valeur de 1902 mg/L, alors que F2 est le forage le plus contaminé avec une teneur de 1141 mg/L. Les ions sulfates sont présents dans toutes les sources d'eau avec des teneurs inférieures à la valeur seuil (400 mg/L) hormis dans l'échantillon P2 (449,8 mg/L). Les ions phosphates PO_4^{3-} sont signalés sous forme de traces ou sont absents. Les ions fluorures F^- n'excèdent pas la valeur limite de l'OMS (1,5 mg/L) dans tous les échantillons.

exempt de ce problème peut être assujéti à un contrôle régulier ou un traitement plus efficace. L'hypothèse probante est le traitement, au regard de la concentration des ions chlorures de 1902 mg/L déterminée dans ce puits P2. Selon Sokegbe *et al.*, 2017, la contamination des eaux de puits et de forages par la flore aérobie mésophile totale (FAMT) et les germes est due à une absence des règles d'hygiène. Ils rajoutent que la présence de FAMT dans les eaux de consommation constitue un risque de gastro-entérites. La présence de coliformes totaux est un indicateur de contamination environnementale, notamment par des matières organiques ou des sols. La contamination des eaux est supérieure au seuil de l'OMS dans tous les puits avec un pic de 100 UFC/100 mL. Nos résultats sont différents de El Hammioui *et al.*, 2022 qui avaient trouvé 300 UFC/100 mL dans une eau souterraine et ils avaient lié cette contamination des eaux aux activités anthropiques.

Tableau 8. Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux de consommations

Paramètres recherchés	F1	F2	F3	P1	P2	P3	Norme OMS
Température (°C)	28,2	28,2	28,2	28,1	28,2	28,4	<30
pH	7,31	6,22	5,50	5,89	6,13	6,60	6,5 - 8,5
Turbidité (NTU)	0,42	0,66	0,19	0,40	1,84	0,32	5
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1883	4040	2380	5350	5720	3230	1000
Solides dissous (mg/L)	1427,3	3062	1788,8	4055,3	4335,8	2448,3	1500
Alcalinité (TA °f)	0	0	0	0	0	0	-
Alcalinité complète (TAC °f)	29,5	8,5	1,5	8,0	12	26	-
Carbonate CO_3^{2-} (mg/L)	0	0	0	0	0	0	-
Bicarbonates (HCO_3^-) mg/L	359,9	103,7	18,3	97,6	146,4	317,2	>30
TH (Dureté total) °f	51	121	43	137	143	71	50
TH calcique (Ca^{2+}) mg/L	112	288	76	304	336	184	100
TH magnésien (Mg^{2+}) mg/L	55,2	117,6	57,6	146,4	141,6	60	100
Manganèse (Mn^{2+}) mg/L	188	360	320	585	800	0	0,5
Fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}) mg/L	0	00	0	0	0,35	0	0,3
Ammonium (NH_4^+) mg/L	0,49	0,07	0,12	0,09	0,01	3,00	1,5
Nitrates NO_3^- (mg/L)	00	00	212,50	00	00	199,50	50
Nitrites NO_2^- (mg/L)	0,04	00	0,06	00	00	2,14	3
Chlorures Cl^- (mg/L)	360	1141	560,6	1552	1902	550,6	250
Sulfate (SO_4^{2-}) mg/L	135,1	285,9	159,3	377,7	449,8	197,1	400
O. Phosphates (PO_4^{3-}) mgP/L	0	0	0,193	0	0	0,18	-
Oxy-KMnO ₄ (mgO ₂ /L)	0	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	2
Fluorures (F ⁻) mg/L	1,4	1,5	1,2	1,4	1,4	1,2	1,5

DISCUSSION

Caractéristiques des eaux usées: L'analyse des paramètres chimiques montre que le rejet des eaux usées ne respecte les normes internationales. La forte conductivité des eaux usées traduit une charge minérale très élevée. La teneur de l'échantillon EU2 est 11 fois supérieure à celle de la norme préconisée (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les rapports DCO/DBO des trois échantillons d'eaux usées compris entre 2,4 et 8,88, sont supérieurs à 0,5 indiquant que les eaux usées contiennent une proportion importante de composés difficilement biodégradables. Selon (Boutayeb *et al.*, 2012), les eaux usées sont difficilement biodégradables lorsque le rapport DCO/DBO est compris entre 3 et 7. La présence des agents pathogènes est accentuée par la concentration élevée en MES (Mangoua-Allaliet *al.*, 2021). A travers ces données, il apparaît clairement que ces eaux pourraient contribuer à la pollution des sources d'eau de consommation.

Caractéristiques bactériologiques des échantillons d'eau de puits et de forage: La flore aérobie mésophile représente l'ensemble des bactéries qui se développent en présence d'oxygène à des températures modérées (20 à 45 °C). Avec une température moyenne de 28 °C des eaux analysées, la condition du milieu est donc propice au développement de la flore aérobie. Force est de constater que la majorité des échantillons d'eaux analysées ont des teneurs supérieures à 100 UFC/mL, norme recommandée par l'OMS pour l'eau potable. Dans une certaine mesure rigoureuse, l'eau peut en contenir peu ou pas de bactéries aérobies mésophiles. Cela suggère une contamination de l'eau, probablement liée à une mauvaise gestion des sources d'eau, un manque de traitement ou une pollution environnementale (infiltration de surface, déchets organiques, etc.). Le forage 2 étant

Une étude analogique réalisée en Côte d'Ivoire a indiqué que la présence des coliformes totaux avec une teneur moyenne de 11600 UFC/100 mL, largement supérieure à nos résultats (Kanohin *et al.*, 2018). Ce résultat indique que plusieurs des échantillons d'eau ne respectent pas les normes d'hygiène, ce qui soulève des préoccupations pour la consommation. Les coliformes thermotolérants présents indiquent une contamination fécale récente de l'eau. Des études menées dans d'autres pays ont rapporté des valeurs nettement supérieures à celle de notre étude (Orou *et al.*, 2016). Ces bactéries proviennent généralement d'excréments humains ou animaux, ce qui constitue un risque important pour la santé, car elles sont souvent associées à des agents pathogènes capables de causer des maladies gastro-intestinales (Jagals *et al.*, 1995). La présence de coliformes thermotolérants dans tous les échantillons, sauf dans le forage 1, révèle une contamination directe de l'eau par des matières fécales, indiquant un mauvais assainissement ou un manque de traitement efficace. Une étude similaire a rapporté que la présence des coliformes fécaux dans les eaux des puits s'expliquerait par une infiltration des eaux superficielles (Yapo *et al.*, 2016). Les streptocoques fécaux (ou entérocoques) sont également des indicateurs de pollution fécale, plus significatifs que les coliformes thermotolérants. Bien qu'en faible quantité dans les échantillons, leur présence constitue une preuve de contamination fécale dans l'eau. La forte contamination est notée dans le puits P3, qui induit la présence des autres germes. Le rapport de conformité est de 1/6 soit un taux de non-conformité de 83%. Nos résultats restent en deçà de ceux de Sokegbe *et al.*, 2017 qui avaient notifié une non-conformité de 100%. L'exception du forage F1 sur cette contamination atteste que cette source d'eau est mieux protégée contre les infiltrations fécales. Quant à l'origine de la contamination fécale, les rapports des coliformes fécaux (CF) sur les streptocoques fécaux (SF) des puits P1 et P2 de

l'ordre de 8 et 15 (> 4) respectivement indiquent que la contamination fécale de ces sources d'eau sont d'origine humaine selon les résultats des travaux antérieurs (Gnazou et al., 2015). La pollution de la nappe superficielle ou phréatique peut provenir des matières fécales des latrines au regard des conditions dégradantes d'assainissement. L'absence d'*Escherichia coli* est un point positif dans cette analyse, car cette bactérie est un indicateur direct de contamination fécale récente, et certaines souches peuvent provoquer des infections graves. Bien que l'absence d'E. Coli soit encourageante, la présence d'autres indicateurs fécaux (coliformes thermotolérants et streptocoques fécaux) suggère néanmoins un risque potentiel. Tout comme *Escherichia coli*, la présence des anaérobies sulfito-réducteurs n'a pas été signalée dans les échantillons ni dans les puits comme dans les forages. Les résultats de l'analyse microbiologique révèlent de contaminants microbiens dans plusieurs échantillons d'eau, ce qui soulève des préoccupations concernant la qualité sanitaire de l'eau.

Caractéristiques physico chimiques des eaux usées: La température moyenne des eaux usées oscille autour de 28 °C, une valeur qui dépasse la température limite de l'OMS (25 °C). Cette valeur de température est propice au développement des germes. Des résultats similaires ont été trouvés dans les eaux usées de Yaoundé par Mbog Mbog, 2012. La conductivité est un indicateur de la concentration en sels dissous dans l'eau, tels que les chlorures, sulfates, sodium et autres ions. Conformément aux normes OMS qui fixent la conductivité à 2800 µS/cm pour les eaux usées, les échantillons d'eaux usées EU1 et EU2 sont très chargés d'éléments minéraux provenant des rejets d'eaux usées domestiques non traitées. Nos résultats sont nettement supérieurs à ceux de certains travaux rapportés dans la littérature dont la valeur maximale de conductivité était de 6410 µS/cm (Gbekley et al., 2023). Une valeur supérieure à 30 mgO₂/L (seuil OMS) indique une forte charge organique dans les échantillons EU1 et EU2, ce qui traduit une pollution organique importante. Cette pollution peut provenir des eaux usées domestiques, industrielles ou agricoles. La même observation est notée pour le DCO dans EU1 et EU2, avec des valeurs supérieures aux normes recommandées (90 mgO₂/L). Le rapport DCO/DBO permet de mesurer la biodégradabilité des eaux usées. Un rapport supérieur à 0,5; comme observé dans les trois échantillons, indique que les eaux usées contiennent une proportion importante de composés difficilement biodégradables. Les matières en suspension (MES) représentent les particules solides qui restent en suspension dans l'eau. Des concentrations supérieures à 35 mg/L pour EU1 et EU3 montrent une forte présence de particules solides non dissoutes, ce qui peut être dû à des débris organiques, des boues ou des résidus de traitement insuffisant. Au regard des paramètres physiques et chimiques, ces eaux ne peuvent pas être directement utilisées pour d'autres activités telles que l'agriculture, sans un préalable traitement.

Caractéristiques physico chimiques des échantillons d'eau de puits et de forage: Les analyses des échantillons d'eaux de puits et de forage ont concerné plusieurs paramètres indispensables pour le contrôle de la qualité d'une eau de boisson. Ce sont le pH, la température, la conductivité, l'alcalinité, le TDS, les cations (Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, ...), les anions (CO₃²⁻, HCO₃⁻, F⁻, Cl⁻, ...) et autres. Le potentiel hydrogène des eaux analysées varie de 7,13 à 5,50 avec des valeurs moyennes de 6,28 et 6,21 pour les forages et les puits respectivement. Au regard de la marge acceptable du pH selon l'OMS pour l'eau potable (6,5 et 8,5), ces eaux possèdent des caractères acides. Des résultats similaires ont été rapportés par Amougou et al., 2020, qui avaient trouvé de pH de 5,23 pendant la saison pluvieuse. Une eau trop acide peut avoir des effets corrosifs sur les canalisations et les infrastructures, ce qui peut libérer des métaux lourds dans l'eau, tels que le plomb et le cuivre, augmentant ainsi les risques pour la santé. L'acidité de l'eau, sauf dans le forage 1, révèle une possible contamination par des substances acides, comme des résidus de pesticides azotés, industriels ou due aux pluies acides. Une conductivité élevée dans l'eau est un indicateur d'une concentration importante d'ions dissous. Dans le cadre de notre étude, elle varie de 5720 à 1883 µS/cm avec des moyennes respectives de 4767 et 2767 µS/cm pour les puits et les forages. Ces valeurs sont nettement supérieures à la limite de l'OMS (1000 µS/cm). Ceci témoigne d'une

forte contamination des échantillons d'eaux par des sels minéraux indiquant une mauvaise qualité de l'eau. Nos résultats sont dans la fourchette d'une étude antérieure réalisée dans la Région Maritime du Togo, plus précisément dans le District de Lomé qui avait rapporté des valeurs de conductivité comprise entre 334 – 8680 µS/cm (Alfa-Sika et al., 2017). Des études également de la région des Plateaux ont présenté des valeurs comprises entre 200-4720 µS/cm pour les forages et 310-1470 µS/cm pour les puits (Akpataku et al., 2019). Dougna et al., (2014) ont investigué sur les propriétés physico-chimiques des eaux de la Région Centrale et il ressort que la conductivité variait de 40 à 1600 µS/cm. Des teneurs de la Région de Kara ont été rapportées et sont comprises entre 300 et 1170 µS/cm (Akpataku et al., 2024). Enfin, la Région des Savanes a enregistré une conductivité qui oscille entre 54 µS/cm et 1670 µS/cm (Boguido et al., 2024). Il apparaît clairement de cette brève synthèse, que la charge des eaux souterraines en minéraux diminue lorsqu'on quitte la zone maritime vers la Région des Savanes. Les solides totaux dissous des eaux de forage sont inférieurs à ceux des puits, avec des valeurs moyennes respectives de 2093 mg/L et 3613 mg/L. Ces teneurs dépassent la limite conforme aux normes de l'OMS (1500 mg/L). Etroitement liés à la conductivité, les solides totaux dissous viennent confirmer l'excessivité des charges minérales dans les eaux analysées. Ce résultat a été confirmé par une étude similaire réalisée sur des échantillons d'eau Akporkloe au Ghana (Addo et al., 2013). Toujours au Ghana, des résultats ont été rapportés par Norvivor Forgive Awoet al., 2017 avec de TDS de 2096 mg/L dans la zone sud de Keta.

Les eaux analysées ont enregistré une dureté totale très élevée (51-143 °f) dont la majorité des échantillons excèdent la valeur seuil (50 °f). Cette dureté est intrinsèquement liée aux teneurs des ions caractéristiques tels que Ca²⁺, Mg²⁺ avec des valeurs maximales respectives de 336 mg/L (P2) et (146 mg/L) (P1). La dureté excessive de l'eau est due à de fortes teneurs en calcium et en magnésium (OMS, 2017). L'alcalinité d'une eau est liée à la teneur des ions carbonates et bicarbonates. Elle est relativement stable dans le cas de notre étude et aucune présence de carbonates n'a été signalée et des bicarbonates bien que présents sont conformes à la norme de l'OMS (> 30 mg/L). D'une manière générale, la contamination en ions NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻ et SO₄²⁻ est relativement faible hormis les puits P3 et F3. En effet, conformément aux normes de l'OMS, la concentration des ions ammoniums est critique dans P3 et les nitrates dans F3 et P3. L'ion nitrate existe naturellement dans l'eau et /ou peut y se retrouver grâce aux activités agricoles dues à l'utilisation des engrais chimiques (OMS, 2017). Une revue de littérature sur la contamination des eaux souterraines par les nitrates soutient cette voie de pollution (Almasri, 2007). La teneur en ions phosphates reste faible dans toutes les eaux étudiées. Quant aux halogènes, les ions chlorures sont présents dans toutes les eaux étudiées avec une teneur oscillant entre 360 et 1902 mg/L et très élevée comparativement à celle préconisée par l'OMS (250 mg/L). Des niveaux élevés de chlorure dans une eau peuvent provenir de diverses sources: intrusion d'eau salée, lessivage des sols contaminés par des sels, ou rejet d'eaux usées. Selon les directives de l'OMS, la concentration maximale de manganèse dans l'eau potable est de 0,1 mg/L. La forte proportion de manganèse observée sauf dans le puits 3, pourrait provenir de sources géologiques naturelles. En somme, l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux étudiées a révélé que de nombreuses teneurs ne sont pas conformes aux recommandations de l'OMS et par conséquent, nécessiteront des traitements préalables avant la consommation humaine.

CONCLUSION

Les analyses ont montré que la majorité des échantillons d'eaux usées dépassent les normes de l'OMS pour plusieurs indicateurs clés, notamment la conductivité, la demande biologique et chimique en oxygène, ainsi que la présence de coliformes thermotolérants. Les résultats ont mis en évidence une dégradation significative de la qualité de l'eau dans les puits et forages, en particulier en ce qui concerne la conductivité, les matières organiques et les paramètres microbiologiques. Ces résultats soulignent l'urgence de mettre en place des systèmes de gestion des eaux usées plus efficaces, afin de

protéger les ressources en eau et la santé des populations. En outre, la relation entre les pratiques de gestion des déchets solides et la qualité des eaux souterraines a été clairement établie. La mauvaise gestion des déchets, combinée à l'absence de systèmes d'assainissement adéquats, contribue à une pollution accrue, affectant non seulement l'environnement, mais également la santé publique. Il est crucial que des actions soient entreprises pour améliorer le traitement des eaux usées et des déchets solides, tout en sensibilisant la communauté sur l'importance de la préservation des ressources en eau. En somme, ce travail met en lumière la nécessité d'une approche intégrée et durable dans la gestion de l'eau et des déchets, afin de préserver la santé des écosystèmes aquatiques et de garantir la sécurité hydrique pour les générations futures.

RÉFÉRENCES

- Addo MA., Darko EO, Gordon C et Nyarko, BJB 2013. Water quality analysis and human health risk assessment of ground water from open-wells in the vicinity of a cement factory at Akporkloe, Southeastern Ghana. *e-Journal of Science & Technology*, vol 8 n°4, pp. 15-30. http://ejst.uniwa.gr/issues/issue_32/Addo_32.pdf
- Akpataku KV, Dougna AA, Sodomon AK, Ani M, Mande S-LA-S, Bawa LM et Faye S (2024). Ground water Quality Assessment Using Pollution Indices and Human Health Risks Through Exposure to Trace Elements in the City of Kara, Togo. *American Journal of Environmental Protection*, vol 13 n°5, pp. 163-174. Article 5. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.20241305.15>
- Akpataku KV, Rai SP, Gnazou MD-T, Tampo L, Bawa LM, Djaneye-Boundjou G et Faye S (2019). Hydrochemical and isotopic characterization of groundwater in the southeastern part of the Plateaux Region, Togo. *Hydrological Sciences Journal*, vol 64 n°8, pp. 983–1000. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1615067>
- Alfa-Sika MSL, Tchakala I et Chen H, Boundjou GD et Bawa LM 2017. Hydrochemical control of groundwater quality in an urban area of Lome Aquifer, Togo. *International Journal of Chemical Sciences*, vol 15 n°4, pp. 203.
- Almasri, MN 2007. Nitrate contamination of groundwater: A conceptual management framework. *Environmental Impact Assessment Review*, vol 27 n°3, pp. 220–242. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.11.002>
- Amougou TNO, Aghaïndum, GA, Quiggle ASI, Kouam ALF, Tchouapi YL et Edouard FDO, 2020. Bioévaluation des formes de résistance des helminthes intestinaux dans les puits et les sources dans une zone rurale de la région du Centre, Mbalmayo, Cameroun. *Afrique SCIENCE*, vol 17 n°5, pp. 210–219.
- Blumenthal UJ, Cifuentes E, Bennett S, Quigley M et Ruiz-Palacios G. 2001. The risk of enteric infections associated with waste water reuse: The effect of season and degree of storage of wastewater. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, vol 95 n°2, pp. 131–137.
- Boguido G, Gnazou MDT, Tampo L, Trabelsi R, Zouari K et Araguan AL 2024. The use of hydrogeochemistry and stable isotopes to characterize water resources in Savannah region in Northern Togo. *Journal of Material and Environmental Science*, vol 15 n°5, pp. 648-673.
- Boutayeb M, Bouzidi A et Fekhaoui M 2012. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de cinq villes de la région de la Chaouïa-Ouarghga (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, n° 34 (2), pp. 145–150.
- Dougna AA, Gnazou MD-T, Kodom T, Djaneye-Boundjou G et Bawa ML 2014. Physico-chimie et qualité des eaux des forages d'hydraulique villageoise dans la région centrale au Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 9 n°4, pp. 2249-2262. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.42>
- El Hammioui Y, Anarghou H, Belghiti ML, Hachi T, Elhamdouni D, Laiboud C, Essabiri H, Boumalkha O, Khaffou M et Abba EH 2022. Evaluation of the metallic and bacteriological quality of well water in Khenifra province (Morocco). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1090(1), 012031. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1090/1/012031/meta>
- Plan Directeur de l'Alimentation en Eau Potable (PDAEP) du Grand Lomé Conception des solutions. *Tome 1 Infrastructures* (2022).
- Awo FN, Chris G, Kwasi A-A 2017. Physico-Chemical Quality of Groundwater in Keta South, Ghana. *Journal of Health and Environmental Research*, vol 3 n°3, pp. 51-56. <https://doi.org/10.11648/j.jher.20170303.12>
- Gbekley EH, Komi K, Houedakor KZ, Poli S, Kpoezou K, Adjalo DK, Zinsou-Klassou K, Tchacondo T, Ameyapoh Y et Adjoussi P (2023). The Physico-Chemical and Bacteriological Characterization of Domestic Wastewater in Adetikopé (Togo, West Africa). *Sustainability*, vol 15 n°18, 13787. <https://doi.org/10.3390/su151813787>
- Gnazou MDT, Assogb K., Sabi BE et Bawa LM 2015. Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux utilisées dans les écoles de la préfecture de Zio (Togo). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 9 n°1, pp. 504–516.
- Jagals P, Grabow WOK et Villiers JC 1995. Evaluation of indicators for assessment of human and animal faecal pollution of surface run-off. *Water Science and Technology*, vol 31N°(5-6), pp. 235-241. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00272-0](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00272-0)
- Kanohin F, Otchoumou E, Yapou OB, Dibi B et Bonny AC 2018. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 11 n°5, pp. 2495-2509. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.43>
- Mangoua-Allali ALC, Kouamé NAC et Coulibaly L 2021. Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et du marigot de la ville de Bocanda, Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, vol 19 n°3, pp. 16–27.
- Mbog Mbog S. 2012. *Evaluation de la gestion des déchets liquides hospitaliers: cas des eaux usées du centre hospitalier universitaire de Yaoundé*. https://www.anyl4psd.org/wp-content/uploads/2018/03/10.-tmp_16105-Memoire-Mbog-Severin-1554911127.pdf
- Organisation mondiale de la Santé. 2017. *Directives sur la qualité de l'eau de boisson* (4e éd., intégrant le premier additif). Organisation mondiale de la Santé. <https://iris.who.int/handle/10665/258887>
- Orou RK, Coulibaly KJ, Tanoh GA, Ahoussi EK, Kissiedou PE, Soro DT et Soro N 2016. Qualité et vulnérabilité des eaux d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de Grand-Morié et d'Azaguié dans le département d'Agboville au sud-est de la Côte d'Ivoire. *Revue. Ivoire Science Technologie*, vol 28, pp. 243–272.
- Sokegbe OY, Djeri B, Kogno E, Kangnidossou M, Mensah RT, Soncy K et Ameyapoh Y 2017. Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n°2 de Lomé-commune: Cas du quartier d'Adakpamé. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 11 n°5, pp. 2341–2351.
- Some YSC, Soro TD et Ouedraogo S (2014). Étude de la prévalence des maladies liées à l'eau et influences des facteurs environnementaux dans l'arrondissement de Nomgr-Masson: Cas du quartier Tanghin (Ouagadougou-Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 8 n°1, pp. 289–303.
- Sy I, Traoré D, Diène AN, Koné B, Lô B, Faye O, Utzinger J, Cissé G et Tanner M 2017. Eau potable, assainissement et risque de maladies diarrhéiques dans la Communauté Urbaine de Nouakchott, Mauritanie. *Santé Publique*, vol 29 n°5, pp. 741–750.
- Unicef 2009. *Savon, toilettes et robinets*. p. 6. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unicef_savon_toilettes_robinets_fr.pdf
- Yapo RI, Mambo V, Alder AC, Ohou-Yao MJ, Ligban R, Dao D, Stamm C et Bonfoh B (2016). Caractérisation saisonnière des eaux de puits à usage maraîchère et domestique de Korhogo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 10 n°3, pp. 1433–1449.
- Zougrana TD 2021. Les déterminants du choix d'approvisionnement en eau potable des ménages ruraux de la commune de Koudougou au Burkina Faso. *Économie Rurale. Agricultures, Alimentations, Territoires*, n°377, pp. 65–81.