



Evaluation de la qualité des eaux de forage de la commune de Ouagadougou, Burkina Faso

Adama SAWADOGO^{1*}, Hama CISSE¹, François TAPSOBA¹,
Boureima KAGAMBEGA², Oumarou ZONGO³, Laurencia OUEDRAOGO¹,
Cheikna ZONGO¹ et Aly SAVADOGO¹

¹ Laboratoire de Biochimie et Immunologie Appliquées, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021
Ouagadougou 03, Burkina Faso.

² Centre Universitaire de Kaya, Burkina Faso.

³ Université Thomas SANKARA, 12 BP 417, Ouagadougou 12, Burkina Faso.

*Auteur correspondant ; E-mail : damuoss75@yahoo.fr; Tel : 00226 70242236.

Received: 07-08-2023

Accepted: 23-09-2023

Published: 31-10-2023

RESUME

L'eau est un élément vital pour tous les êtres vivants. Elle peut provenir de plusieurs sources dont les forages. Les eaux de forage sont souvent exposées à de nombreuses contaminations, elles peuvent donc présenter un risque pour la santé des consommateurs. Ainsi, cette étude s'était fixée pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de forage de la commune de Ouagadougou. Pour cela, des prélèvements ont été effectués au niveau de 14 forages. Les caractéristiques des échantillons prélevés ont été déterminées en utilisant des méthodes spectrophotométrique, titrimétrique, volumétrique, colorimétrique et microbiologique. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que tous les échantillons présentaient des valeurs conformes aux normes pour 11 des paramètres étudiés. Aucun échantillon ne présentait une température conforme. De plus, quelques échantillons présentaient des valeurs non conformes pour le pH et le taux de chlore libre. Les analyses microbiologiques ont révélé une absence de streptocoques fécaux dans tous les échantillons. Les coliformes étaient absents dans la plupart des échantillons sauf dans celui de Sandogo (SASE6) (4 UFC /100 ml et 2 UFC /100 ml respectivement pour les coliformes totaux et fécaux). Selon la norme OMS, les échantillons d'eaux étudiés sont de qualité microbiologique satisfaisante sauf l'échantillon SASE6.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Eau, forage, physico-chimie, microbiologie, qualité, Burkina Faso.

Assessment of the quality of borehole water in the municipality of Ouagadougou

ABSTRACT

Water is a vital element for all living beings. It can come from several sources including boreholes. Boreholes water is often exposed to many contaminations, so it can pose a health risk to consumers. Thus, this study aimed to evaluate the physico-chemical and biological quality of borehole water in the municipality of Ouagadougou. For this purpose, samples were taken from 14 boreholes. The characteristics of the samples taken were determined using spectrophotometric, titrimetric, volumetric, colorimetric and microbiological methods.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9475-IJBCS

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i6.32>

The results of the physico-chemical analyses showed that all the samples presented values in conformity with the standards for 11 of the studied parameters. None of the samples had a temperature value in conformity with the standards. In addition, some samples showed non-compliant values for the pH and the free chlorine level. Microbiological analyzes revealed an absence of faecal streptococci in all samples. Coliforms were absent in most of the samples except in that of Sandogo (SASE6) (4 CFU/100 ml and 2 CFU/100 ml respectively for total and faecal coliforms). According to the WHO standard, the water samples studied are of satisfactory microbiological quality except for the SASE6 sample.

© 2023 *International Formulae Group. All rights reserved.*

Keywords: Water, borehole, physico-chemistry, microbiology, quality, Burkina Faso.

INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel pour l'Homme et les êtres vivants en général. Ainsi, un approvisionnement adéquat en eau potable est important pour le développement socio-économique d'une localité (Mabrouki et al., 2016). L'urbanisation croissante dans les villes Africaines, la pression démographique liée au développement économique et les changements climatiques ont entraîné une insuffisance des eaux de surface habituellement traitées et distribuées (CAWST, 2013). Ainsi, les eaux souterraines constituent de plus en plus, la principale source d'approvisionnement (Mangoua et al., 2018). Elles sont dans certains cas, consommées par plus de 70% de la population et constituent une ressource naturelle très précieuse pour diverses activités humaines (Buhungu et al., 2018). La composition chimique d'une eau issue du milieu naturel est très variable. Elle dépend de la nature géologique du sol d'où elle provient et des substances réactives qu'elle a rencontré lors de l'écoulement. Cette composition peut généralement affecter sa qualité. L'eau potable destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni microorganismes nocifs pour la santé (UE, 2015). Aussi, L'implantation, la réalisation et la surveillance d'un système d'alimentation en eau doivent être de rigueur afin de minimiser tout risque de pollution (ARC Ingénieur, 2016).

Malheureusement les activités anthropiques réalisées aux abords des structures de captage des eaux souterraines (forages) peuvent être à l'origine de la pollution chimique et microbiologique de ces eaux. Selon Kahoul et Touhami (2014), les

ressources en eau sont confrontées à des menaces croissantes à savoir la pollution de l'environnement due à l'utilisation des pesticides, la contamination des sols par les déjections des animaux d'élevage et les rejets d'égouts par les industries de transformation. Par ailleurs, selon les estimations de l'UNICEF/OMS (2019), un tiers de la population mondiale n'a pas accès à une source d'eau potable dont la moitié se trouve en Afrique. Ainsi, l'utilisation de l'eau entraîne bien souvent des problèmes de santé au niveau des consommateurs. Selon l'OMS (2019), chaque année, 2,5 milliards de diarrhées surviennent chez les enfants de moins de cinq ans et 1,5 million d'enfants en meurent. Ce qui constitue un véritable problème de santé publique. Dans ces conditions, la nécessité de vérifier régulièrement la qualité des eaux de consommation s'impose. C'est ainsi que la présente étude a été initiée avec pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de 14 forages situés dans la commune de Ouagadougou.

MATERIEL ET METHODES

Echantillonnage

Le prélèvement des échantillons d'eau a été fait au mois de mars 2021 sur l'ensemble des sites concernés. Un seul prélèvement a été réalisé au niveau de chaque forage. Au total, quatorze (14) forages ont été visités et les eaux ont été prélevées dans des flacons en polyéthylène d'un (1) litre remplis et conditionnés dans une glacière. Certaines analyses ont été effectuées in situ et les autres au laboratoire. La Figure 1 représente la localisation des sites d'échantillonnage.

Détermination des caractéristiques physico-chimiques

Le pH a été mesuré grâce à un pH-mètre de marque WTW INOLAB pH 730. La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre de marque INOLAB 7310 qui a également permis de relever la température. La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de marque WTW 555 IR.

Le dosage des ions Fe^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} et NH_4^+ a été fait par spectrophotométrie d'absorption atomique à l'aide d'un spectrophotomètre de marque DR/3800. La valeur de la concentration en ions en milligramme/litre (mg/L) de chaque échantillon a été immédiatement lue après celle du "blanc" (échantillon sans réactif) en insérant à chaque fois les tubes dans l'appareil. Les réactifs spécifiques à chaque ion et les longueurs d'onde de mesure sont présentés dans le Tableau 1.

Les ions Na^+ et K^+ ont été dosés par photométrie de flamme à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission de flamme de marque BWB-XP. Les dosages ont été fait aux longueurs d'onde de 589 et 768 nm respectivement pour le sodium et le potassium.

Le dosage des ions chlorures a été fait par titrimétrie. Le titre hydrométrique été déterminé par dosage volumétrique avec l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA). Le dosage du chlore libre a été fait par

colorimétrie en utilisant le diéthyl_N, N-paraphénylène-diamine (DPD) comme réactif.

Analyses microbiologiques

Les coliformes totaux et les germes indicateurs de pollution fécale (coliformes et streptocoques fécaux) ont été recherchés au cours de cette étude dans les eaux de forage.

Préparation des milieux de culture

Les milieux de culture Chromocult coliforme Agar et m-Entéroccoccus Agar ont été préparés en fonction des germes recherchés (coliformes ou streptocoques respectivement) en suivant les recommandations des fournisseurs. Les milieux ainsi préparés ont été chauffés dans un bain-marie jusqu'à dissolution totale puis refroidis à 45°C et coulés dans des boites de Pétri.

Préparation de l'inoculum et ensemencement

Une quantité d'eau de forage (100 ml) a été prélevée de façon aseptique puis filtrée à travers une membrane (de maille 0,45 µm). Pour ce faire, les entonnoirs de filtration, les pinces et les supports filtres ont été flambés l'aide d'un chalumeau. Ensuite, 25 ml de solution de Ringer ont été utilisés pour refroidir les supports filtres et les entonnoirs. Après la filtration de l'échantillon, la membrane a été retirée à l'aide d'une pince stérile et déposée sur le milieu de culture en boite de Pétri. Les milieux ensemencés ont été incubés dans différentes conditions (température et temps) qui sont consignées dans le Tableau 2.

Tableau 1 : Longueurs d'onde et réactifs utilisés pour le dosage des ions.

Ion	Réactif utilisé	Longueur d'onde
Nitrite	Nitriver3	371 nm
Sulfate	Sulfaver4	680 nm
Phosphates	Phosphover3	490 nm
Fer	Ferover	265 nm
Ammonium	Ammonia	325 nm
Nitrates	Nitrate	355 nm

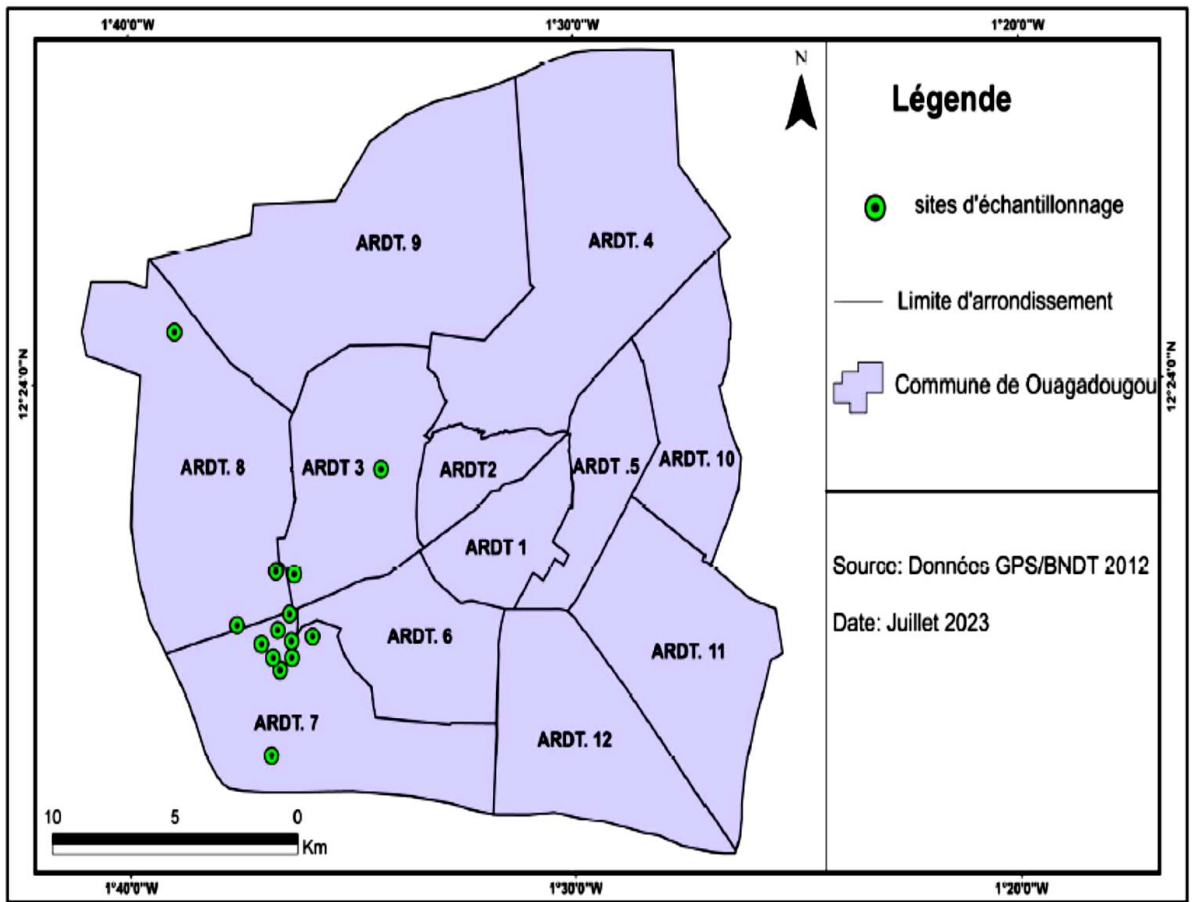


Figure 1 : Localisation des sites des forages échantillonnés.

Tableau 2 : Milieux de culture et conditions d’incubation des germes recherchés.

Germes recherchés	Milieux de cultures	Température	Temps d’incubation
Coliformes Totaux	Chromocult coliforme Agar	37°C	24 h
Coliformes Féaux	Chromocult coliforme Agar	44°C	24 h
Streptocoques fécaux	m-Entérocooccus Agar	37°C	48 h

RESULTATS

Caractéristiques physico-chimiques

pH

Les pH des échantillons d'eaux de forage, mesurés au niveau des sites d'échantillonnage sont présentés dans le Tableau 3. Ces pH variaient de 5,95 (BOSE4) à 7,45 (ZASE5) avec une moyenne de $6,88 \pm 0,53$. Ainsi, la variation de pH était relativement faible et la plupart des eaux étaient neutres à relativement acides.

Température

Les températures des eaux mesurées au niveau des sites d'échantillonnage sont présentées dans le Tableau 3. L'étude a révélé une faible variation au niveau des températures des eaux (de 31,2 à 33,8°C) avec une moyenne de $32,77 \pm 0,53$ °C.

Conductivité électrique

La conductivité électrique mesurée au niveau des sites d'échantillonnage est présentée dans le Tableau 3. La conductivité des différents échantillons d'eau variait entre 217 et 669 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité moyenne de l'ensemble des échantillons était de $301,81 \pm 114,84$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'écart-type élevé, indique une minéralisation très hétérogène et relativement élevée au niveau de l'échantillon SASE8. En effet, plus la conductivité est élevée, plus l'eau est fortement minéralisée.

Turbidité

Les turbidités mesurées dans les échantillons d'eaux étudiés sont présentées au niveau du Tableau 3. Les résultats ont montré une hétérogénéité au niveau de la turbidité des eaux avec une moyenne de $1,27 \pm 1,25$ NTU.

Ammonium

Les concentrations en ions ammonium des échantillons d'eau de forage sont présentées dans le Tableau 3. Les concentrations en ions ammonium, obtenues lors de cette étude variaient de 0,005 à 0,12 mg/l avec une moyenne de $0,072 \pm 0,027$ mg/l.

Phosphates

Les concentrations en ions phosphates des eaux de forages sont présentées dans le Tableau 3. Les teneurs en ions phosphates des différents échantillons étaient relativement hétérogènes et variaient de 0,24 à 0,72 mg/l avec une moyenne de $0,47 \pm 0,17$ mg/l.

Les sulfates

Les teneurs en sulfates mesurées au cours de la présente étude sont présentées dans le Tableau 3. La teneur en sulfates était faible (2 mg/l) dans la plupart des échantillons et relativement importante au niveau des échantillons SASE8 et ZASE3 avec respectivement 15 et 11 mg/l de sulfates.

Nitrates

Les concentrations en nitrates mesurées dans les eaux de forages sont présentées dans le Tableau 3. Les teneurs en nitrates étaient relativement faibles dans la plupart des échantillons. Ces teneurs différaient sensiblement d'un échantillon à l'autre avec une moyenne de $0,85 \pm 0,71$ mg/l.

Nitrites

Les teneurs en nitrates mesurées au niveau des échantillons d'eaux étaient assez hétérogènes et relativement très faibles avec une moyenne de $0,005 \pm 0,006$ mg/l (Tableau 3).

Fer

Les teneurs en ions ferreux mesurées dans les eaux de forages échantillonnées sont présentées dans le Tableau 3. Les concentrations des ions ferreux des différents échantillons de cette étude étaient identiques, de l'ordre de 0,02 mg/l sauf l'échantillon RISE6 dont la teneur en fer était de 0,01 mg/l.

Chlorures

Les teneurs en chlorures variaient beaucoup d'un échantillon à l'autre et étaient relativement faibles (Tableau 3). Les échantillons RISE7 et ZOSE9 présentaient des teneurs en chlorures relativement élevées de 23,7 et 10,5 mg/l respectivement.

Potassium

Les teneurs en potassium des échantillons d'eaux analysés variaient de 2,77 à 5,76 mg/l avec une moyenne de $3,79 \pm 0,98$ mg/l (Tableau 3).

Sodium

Les teneurs en sodium des eaux de cette étude variaient énormément d'un échantillon à l'autre avec une teneur moyenne de $14,14 \pm 5,00$ mg/l (Tableau 3). Les échantillons SASE8 et RISE7 présentaient une teneur en sodium particulièrement élevée (26,63 et 21,20 mg/l respectivement).

Titre hydrométrique ou dureté totale

Les titres hydrométriques (TH), mesurés au cours de cette étude montraient des valeurs relativement basses avec une moyenne de $1,39 \pm 0,65^\circ F$ (Tableau 3).

Chlore libre

Les teneurs en chlore libre mesurées lors de cette étude sont présentées dans le Tableau 3. Ce paramètre a été mesuré dans certains échantillons et montrait des teneurs très hétérogènes avec une moyenne de $1,02 \pm 1,08$ mg/l.

Caractéristiques microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont montré que la plupart des échantillons étudiés étaient exempts des germes recherchés. Les streptocoques fécaux étaient absents de tous les échantillons d’eaux analysés lors de cette étude. Les coliformes totaux et fécaux étaient également absents dans 13 des échantillons d’eaux de forage. Toutefois, l’échantillon d’eau du forage SE6 de Sandogo contenait des

coliformes totaux et fécaux (4 UFC/100 ml et 2 UFC/100 ml respectivement).

Taux de conformité

Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les eaux de forage de Ouagadougou présentaient des caractéristiques conformes aux normes de qualité de l’OMS en général. Ainsi, pour les caractéristiques suivantes : conductivité, turbidité, chlorures, fer, sodium, potassium, sulfates, nitrates, nitrites, phosphates et ammonium, 100% des échantillons étaient de qualité satisfaisante car conformes aux normes (Figure 2). Les cas d’échantillons non-conformes concernaient la température (100%), le pH (21,43%) et le chlore libre (20%).

Caractéristiques microbiologiques

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que 100%, 92,85% et 92,85% des échantillons d’eaux de forage étudiés étaient conformes selon la norme OMS (2017) respectivement pour les streptocoques fécaux, les coliformes totaux et fécaux (Figure 3).

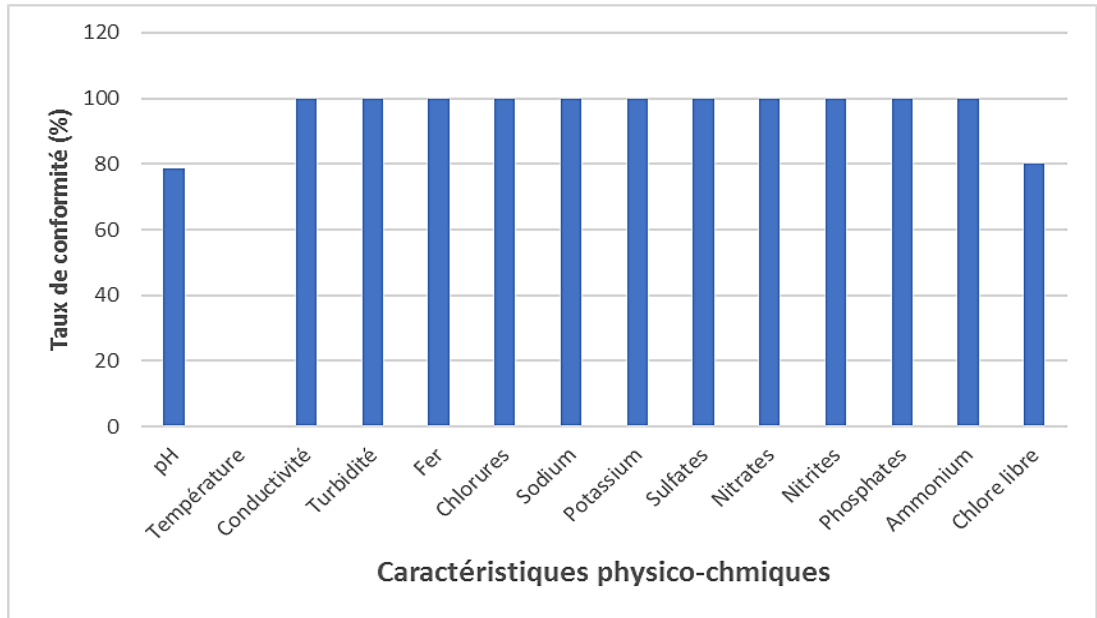


Figure 2 : Taux de conformité des caractéristiques physico-chimiques des eaux de forage.

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de forage de la commune de Ouagadougou.

Forage	pH	Tem (°C)	Cond (µS/cm)	Turb (NTU)	Fe ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	TH (°F)	ChL (mg/l)
BOSE7	6,05	31,2	327	0,4	0,02	2,1	12,87	3,98	2,0	0,5	0,002	0,72	0,06	2,82	0,3
BOSE4	5,95	32,5	225	2,6	0,02	1,4	12,49	2,88	2,0	1,8	0,002	0,69	0,07	1,51	nd
BASE9	6,55	31,5	229	3,5	0,02	2,0	16,49	2,95	2,0	1,3	0,004	0,32	0,09	0,78	3,7
RISE7	6,05	31,6	349	3,0	0,01	23,7	21,20	5,67	2,0	1,7	0,013	0,55	0,08	1,19	nd
SASE6	7,25	33,2	290	1,5	0,02	1,7	11,68	3,10	2,0	0,6	0,003	0,28	0,07	1,38	2,9
SASE4	7,25	33,2	293	0,01	0,02	0,7	11,26	4,51	2,0	0,3	0,006	0,48	0,005	1,30	nd
SASE1	7,35	33,7	226	0,1	0,02	1,5	14,29	2,87	2,0	0,1	0,011	0,27	0,10	1,18	nd
SASE8	6,70	32,7	669	2,4	0,02	5,8	27,63	5,61	15	0,1	0,002	0,25	0,07	2,87	nd
ZASE1	7,25	33,4	330	0,3	0,02	3,9	15,96	2,77	2,0	0,8	0,002	0,33	0,12	1,34	nd
ZASE3	6,75	33,8	217	1,0	0,02	2,8	9,08	3,37	2,0	0,2	0,002	0,61	0,10	0,87	nd
ZASE5	7,45	33,2	305	2,4	0,02	2,1	10,61	3,82	11	0,1	0,002	0,33	0,06	1,36	1,0
ZASE6	7,25	33,6	218	0,01	0,02	7,8	9,81	3,00	2,0	2,1	0,026	0,71	0,06	0,76	nd
ZOSE8	7,35	32,0	279	0,4	0,02	5,5	13,34	4,41	2,0	0,7	0,002	0,33	0,05	1,12	0,6
ZOSE9	7,15	33,3	269	0,2	0,02	10,5	11,27	4,12	2,0	1,6	0,002	0,36	0,08	1,08	nd
Moyenne	6,88	32,77	301,85	1,27	0,019	5,10	14,14	3,79	3,57	0,85	0,005	0,47	0,072	1,397	1,020
Ecart-type	0,53	0,87	114,84	1,25	0,002	6,04	05,00	0,98	4,07	0,71	0,006	0,17	0,027	0,653	1,089
Norme (OMS)	6,5-8,5	25	2500	5	0,3	250	200	12	250	50	2	≤ 1	0,5	-	0,5-5

Temp : température, cond : Conductivité, Turb : turbidité, TH : titre hydrométrique, Chl : chlore libre, BA : Bassinko, BO : Bouassa, SA : Sandogo, RI : Rimkieta, ZA : Zagtoui, ZO : Zongo, SE : sample ou échantillon, nd : non déterminé.

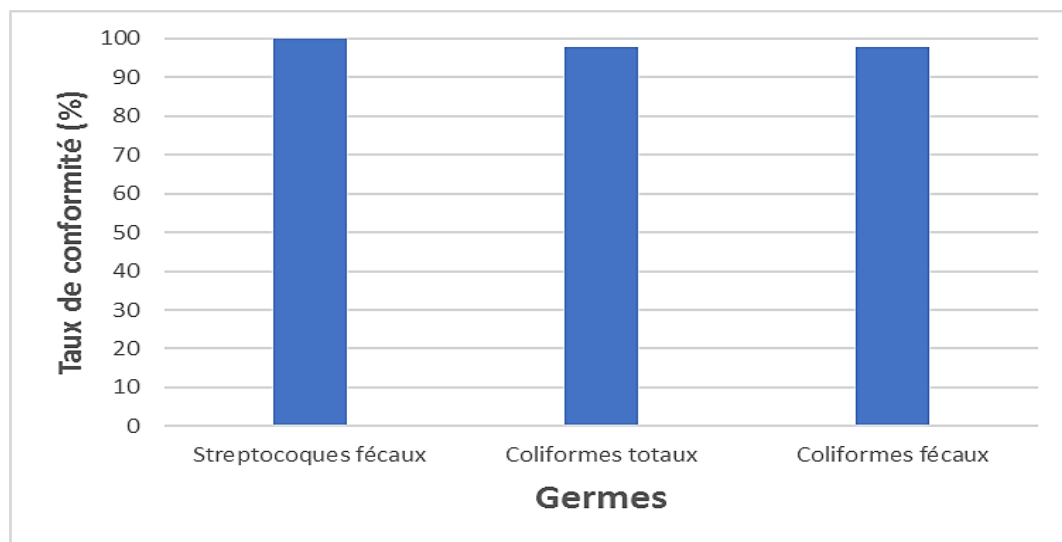


Figure 3 : Taux de conformité des eaux de forage par rapport aux germes étudiés.

DISCUSSION

Au regard des valeurs obtenues pour le pH, la plupart des eaux étaient conformes à la norme de l'OMS (2017) qui préconise un pH compris entre 6,5 et 8,5. La différence de pH entre les échantillons pourrait être expliquée par la nature géologique des terrains. Les pH rapportés par cette étude sont semblables à ceux obtenus par Bouchemal et Achour (2015) dans des eaux souterraines de la région de Biskra en Algérie (6,50 à 8,30). Toutefois, ces pH sont supérieurs à ceux de Bedi Ngalanza et al. (2023) obtenus dans les eaux de rivière en RDC qui variaient entre 3,1 et 4,0. Trois échantillons d'eaux de forage (BOSE4, BOSE7 et RISE7) ont un pH acide qui pourrait être dû au profil latérique et alumino-ferrugineux de la cuirasse du sol de Ouagadougou (Yaméogo, 2008). Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau (Toumi et al., 2016). Un pH bas altère la croissance et la reproduction des microorganismes présents dans une eau. Il altère aussi la minéralisation et les teneurs en métaux (Bakouan et al., 2017).

Les températures relevées au cours de cette étude montrent que les échantillons n'étaient pas conformes à la norme OMS (2017) sur la qualité de l'eau de boisson qui

préconise une température inférieure à 25°C. Les températures relativement élevées pourraient résulter de l'effet du rayonnement solaire journalier sur la nappe et de la période de prélèvement (mars qui est l'un des mois les plus chauds à Ouagadougou). Les températures relevées au cours de l'étude étaient semblables à celles rapportées par Maoudombaye et al. (2015) et Bakouan et al. (2017) dans des eaux de forages du Tchad et du Burkina Faso avec des moyennes respectives de $31,95 \pm 2,24$ et $31,3 \pm 1,6$ °C. Une température élevée des eaux peut avoir des conséquences sur certains paramètres de l'eau notamment le chlore libre résiduel qui a tendance à se dissiper dans ces conditions (Ghazali et Zaid, 2013) et une diminution de la solubilité des gaz. La réduction de la teneur en chlore libre peut représenter un danger en cas de contamination des eaux par des microorganismes. La température de l'eau régit presque la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Derwich et al., 2010). Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et conditionne les équilibres de dissociation (Tfeila et al., 2016).

Les conductivités relevées au cours de cette étude montrent que tous les échantillons d'eau étaient conformes à la recommandation

de l'OMS (2017) qui préconise une conductivité de l'eau de consommation ≤ 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces conductivités sont semblables à celles de Traore et al. (2022) qui ont obtenus des conductivités électriques allant de 113,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 391,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de $219,511 \pm 90,362$ $\mu\text{S}/\text{cm}$. D'autres travaux comme ceux de Dougna et al. (2015), Mahamane et Guel (2015) et Fambi et al. (2021), faits sur les eaux de forage du Burkina et du Togo ont révélé des conductivités électriques très variables de 118 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 40 à 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 305 à 1714 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement.

Cette étude révèle que toutes les eaux de forage étudiées avaient des turbidités conformes à la norme OMS (2017) qui préconise une valeur de turbidité ≤ 5 NTU. Les turbidités relevées au cours de cette étude étaient inférieures à celles rapportées par Fambi et al. (2021) dans les eaux de forage au Togo (0,3 à 8,8 NTU) et celles de M'Baye et al. (2019) dans les eaux de forage en Mauritanie (0,3 et 36,4 NTU). D'autres auteurs comme Gboko et al. (2022) et Bedi Ngalanza et al. (2023) ont rapporté des Turbidités bien plus élevées allant de 5,19 à 15,35 NTU et de 63,4 à 109,8 NTU dans des eaux de fleuve et de rivière respectivement. Ainsi, les faibles turbidités des eaux de forage pourraient être expliquées par la filtration régulière de ces eaux à travers les roches, ce qui permet d'éliminer aux maximum les matières en suspension. La faible turbidité des eaux de forage est un avantage dans la mesure où l'OMS recommande, pour une désinfection efficace, des turbidités inférieures à 5 NTU (ACF, 2006).

Les teneurs en ammonium mesurées au cours de cette étude montrent que tous les échantillons d'eau étaient de bonne qualité selon la norme OMS (2017) qui recommande une teneur en ammonium inférieure à 1,5 mg/l. Les teneurs en ammonium révélées au cours de cette étude étaient relativement plus élevées que celles obtenues par Traore et al. (2022) dans des eaux de forage de Côte d'Ivoire qui variaient entre 0,020 et 0,030 mg/l avec une moyenne de $0,021 \pm 0,002$ mg/l. Elles étaient toutefois, inférieures à celles rapportées par Bedi Ngalanza et al. (2023) dans des eaux de

rivière (0,150 à 1,103 mg/l). Les résultats de ces auteurs confirment que la présence de cette forme toxique de l'azote dans l'eau traduit une contamination d'origine superficielle (Blé et al., 2021).

Cette étude montre que, pour les phosphates, tous les échantillons d'eaux étaient conformes selon la norme OMS (2017) qui préconise une teneur ≤ 1 mg/l. Les résultats obtenus montrent que ces forages seraient situés dans une zone à dominance de roches sédimentaires, ce qui pourrait expliquer la faible concentration en ions phosphates de ces eaux. Les teneurs en ions phosphates obtenues au cours de l'étude étaient inférieures à celles de Hane et al. (2020) qui ont rapporté une moyenne de $0,76 \pm 0,56$ mg/l de phosphates dans des eaux de forages. Les phosphates sont naturellement présents dans le sol mais leur principale source dans les eaux souterraines sont les activités agricoles (lessivage et infiltration) (Azanga et al., 2016). Des teneurs élevées en phosphates peuvent contribuer aux problèmes de turbidité liés au verdissement des eaux (eutrophisation).

Selon cette étude, tous les échantillons présentaient une teneur en sulfates conformes à la norme OMS (2017) qui recommande une teneur ≤ 250 mg/l. Les teneurs en ions sulfates obtenues lors de cette étude étaient inférieures à celles rapportées par Hane et al. (2020) qui indiquent une moyenne de $30,50 \pm 15,18$ mg/l. De nombreux auteurs ont également rapporté des teneurs très variables en ions sulfates dans les eaux. Ainsi Mahamane et Guel (2015) ont rapporté des teneurs en sulfates allant de 0 à 9 mg/l dans les eaux souterraines de Yamtenga au Burkina Faso. De même, Fambi et al. (2021) et Traore et al. (2022) ont rapporté respectivement des teneurs en sulfates allant de 3,8 à 26,6 mg/l et de 2 à 15 mg/l dans les eaux de forages du Togo et de la Côte d'Ivoire. Les ions sulfates sont peu toxiques à des doses comprises entre 100 mg/l et 200 mg/l et ont un léger effet purgatif chez l'adulte.

Pour les nitrates, tous les échantillons d'eau de forages étaient conformes selon la norme OMS (2017) qui préconise une valeur ≤ 50 mg/l. Les teneurs en nitrates de cette étude sont similaires à celles obtenues par Mahamane et Guel (2015) dans des eaux souterraines.

Elles sont cependant inférieures à celles rapportées par M'Baye et al. (2019), de l'ordre de 0,1 à 78 mg/l dans les eaux de forages de Mauritanie. En effet, les nitrates et leurs précurseurs, les nitrites sont toxiques pour les êtres vivants surtout pour les nourrissons (Makhoukh et al., 2011 ; Ouedghiri et al., 2014).

Pour les nitrites, toutes les eaux étudiées étaient conformes selon la norme OMS (2017) qui fixe une teneur ≤ 3 mg/l pour ce polluant dans les eaux de consommation. Les teneurs en nitrites obtenues au cours de cette étude sont en général inférieures à celles de Hane et al. (2020) qui ont obtenu une teneur moyenne en nitrites égale à $0,06 \pm 0,07$ mg/l. Ces teneurs sont toutefois similaires à celles rapportées par Traore et al. (2022) dans eaux de forages de Côte d'Ivoire. En effet, les teneurs en nitrites de ces eaux variaient de 0,002 à 0,021 mg/l avec une valeur moyenne de $0,007 \pm 0,006$ mg/l.

Pour ce qui concerne le fer, tous les échantillons d'eaux étaient conformes à la norme OMS (2017) qui exige que la teneur en fer dans l'eau ne dépasse pas 0,3 mg/l. Les concentrations en ions ferreux révélées au cours de cette étude étaient supérieures à celles de Fambi et al. (2021). En effet, ces auteurs ont rapporté des teneurs en ions ferreux qui variaient de 0,05 à 4 mg/l. Les teneurs en fer de l'étude sont toutefois similaires à celles de Hane et al. (2020) qui étaient en moyenne de $0,16 \pm 0,11$ mg/l. La présence du fer dans l'eau de boisson ne constitue pas un danger. Cependant cette présence peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui le précipitent, corrodant ainsi les canalisations ou tâchant le linge (Belghiti et al., 2013). De plus, sa forte teneur dans une eau donne un aspect de rouille.

Pour les ions chlorures, les échantillons d'eau analysés étaient conformes à la norme OMS (2017) qui fixe une valeur limite de 250 mg/l. Les teneurs en ions chlorures des eaux étudiées sont en général supérieures à celles rapportées par Traore et al. (2022) qui allaient de 0,010 à 4,350 mg/l avec une moyenne de $0,938 \pm 1,287$ mg/l et inférieures à celles de Fambi et al. (2021) qui oscillaient entre 38,0 et 480,4 mg/l. Elles sont toutefois semblables à

celle de Gboko et al. (2022) qui allaient de 1,6 à 18 mg/l. Les chlorures n'ont pas d'effet sur la santé du consommateur car leurs concentrations dans le corps sont régulées au moyen d'un système complexe faisant intervenir à la fois les système nerveux et hormonal. Même après l'absorption de quantités importantes de chlorures par l'intermédiaire de l'eau et des aliments, l'équilibre du chlorure se maintient surtout par l'excrétion de l'excès dans l'urine. Selon les travaux de Belghiti et al. (2013) et ceux de Ghazali et Zaid (2013), les différences observées entre les teneurs en chlorures des différentes localités pourraient être liées à la nature des sous-sols de ces localités.

En se basant sur la norme OMS (2017), selon laquelle la concentration en ions potassium ne doit pas excéder 12 mg/l dans les eaux de consommation, on peut en conclure que les eaux analysées au cours de cette étude étaient toutes de bonne qualité. Les teneurs en ions potassium des eaux analysées étaient similaires à celles obtenues par plusieurs auteurs (Mahamane et Guel, 2015 ; Fambi et al., 2021 ; Gboko et al., 2022). Elles étaient toutefois en général inférieures à celles rapportées par M'Baye et al. (2019) dont certaines atteignent 40 mg/l de potassium.

Par rapport à la teneur en sodium, tous les échantillons d'eau étaient de bonne qualité si l'on se réfère à la norme OMS (2017) qui stipule que pour une eau destinée à la consommation, la concentration en sodium doit être ≤ 200 mg/l. Les faibles teneurs en sodium de cette étude pourraient s'expliquer par le fait que la grande majorité des sols à Ouagadougou soit constituée de roches latéritiques aluminoferrugineuses (Yaméogo, 2008). Les teneurs en sodium obtenues lors de cette étude étaient très variables et inférieures à celles obtenues par GBOKO et al. (2022) qui ont noté des teneurs variant de 1,77 à 8,26 mg/l. La variabilité importante de la teneur en sodium dans les eaux de forage a été rapportée par d'autres auteurs (M'baye et al., 2019 ; Fambi et al., 2021).

La dureté de l'eau ou titre hydrométrique est un indicateur du niveau de calcaire dans l'eau. Elle correspond à sa teneur en calcium et en magnésium (Ghazali et Zaid,

2012). Plus une eau en contient, plus elle est « dure ». En se référant aux résultats de la présente étude (Tableau 3), on peut noter que tous les échantillons d'eau étudiés présentaient des duretés faibles et peuvent être classés parmi les eaux douces. Les titres hydrométriques obtenus lors de cette étude étaient inférieurs à ceux obtenus par Hane et al. (2020) qui ont rapporté une valeur moyenne de $5,89 \pm 1,34^\circ\text{F}$. En général, la prise de l'eau calcaire ou dure n'est pas contre-indiquée. Toutefois, la dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des canalisations et des appareils de chauffage, et sur le lavage du linge.

Selon la norme OMS (2017) qui préconise des valeurs comprises entre 0,5 et 5 mg/l pour le chlore libre, seul l'échantillon BOSE7 n'était pas conforme car ayant une teneur en chlore libre égale à 0,3 mg/l. Cette non-conformité pourrait être dû à un problème de suivi du système de désinfection de l'eau du forage.

Selon Traore et al. (2022), 100% des eaux de forages étudiés en Côte d'Ivoire étaient conformes aux normes OMS pour les sulfates, les nitrates, les nitrites et l'ammonium comme pour la présente étude. Cependant, selon ces mêmes auteurs, seulement 57,89% des eaux avaient des valeurs de pH situées dans l'intervalle de la norme OMS ($6,5 < \text{pH} < 8,5$). Selon Blé et al. (2021), des taux de conformité suivants ont été révélés lors d'une étude, dans des eaux d'une station de traitement : pH (48%), turbidité (80,3%), chlore résiduel (61,5%), Nitrates (97,5%), nitrites (98,3%), ammonium (98,6%), chlorures (98,8%) et fer (95,4%). Les taux de conformité du chlore libre et de la turbidité présentés ici étaient faibles par rapport à ceux de la présente étude, cela pourrait s'expliquer par le fait qu'en surface, l'évaporation du chlore est plus importante qu'en profondeur. De plus en profondeur, les eaux qui s'infiltrèrent à travers les roches se débarrassent progressivement de leurs matières en suspension, d'où une faible turbidité des eaux de forage par rapport celle des eaux de surface. De même, les taux de conformité des polluants environnementaux comme les nitrates, les nitrites et l'ammonium sont également légèrement moins élevés dans les eaux de forage de cette étude car celles-ci sont

moins affectées que les eaux de surface par ce type de polluant.

Les résultats des analyses microbiologiques ont montré que les eaux étudiées étaient toutes conformes à la norme OMS (2017) pour les streptocoques fécaux. Elles étaient également conformes à la norme OMS (2017) pour les coliformes sauf celle du forage de Sandogo (SE6). En général, les résultats obtenus au cours de cette étude pour les trois types de germes étaient semblables à ceux obtenus par Soncy et al. (2015) et Ballloy et al. (2019). En effet, ces auteurs ont montré que certains échantillons contenaient les germes étudiés et d'autres non. Toutefois, les charges microbiennes obtenues par ces auteurs étaient en général, supérieures à celles de cette étude. Ainsi, Ballloy et al. (2019) ont obtenu des charges maximales de 58, 12 et 512 UFC pour 100 ml respectivement pour les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les entérocoques intestinaux. De même, Soncy et al. (2015) ont obtenu des charges maximales de 1720, 20 et 20 UFC pour 100 ml respectivement pour les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. La proportion d'échantillons conformes pour les streptocoques fécaux obtenue lors de cette étude (100%) était légèrement supérieure à celle obtenue par Soncy et al. (2015) (97,97%) lors de leur étude sur la qualité microbiologique des eaux de forage à Lomé. Ces auteurs ont obtenu 100% d'échantillons conformes pour les coliformes fécaux alors que la présente étude a révélé un taux de conformité de 92,85% pour ce type de germe. Pour les coliformes totaux, les proportions d'échantillons conformes rapportées par Soncy et al. (2015) (63%) et Benaïssa et al. (2023) (29,41%) respectivement dans des eaux de forage et souterraines du Togo et du Maroc étaient largement inférieures à celle obtenue au cours de cette étude (92,85%).

Ainsi, de façon globale en tenant compte des trois types de germes, le taux de conformité global obtenu au cours de cette étude était supérieur à celui obtenu au niveau des eaux de forage du Togo (Fambi et al., 2021). En effet, ces auteurs ont rapporté une contamination bactériologique d'origine fécale de la majorité de eaux de forages qu'ils ont

étudiées (soit plus de 75%) surtout pour les coliformes totaux témoignant d'un manquement aux règles d'hygiène autour de ces forages. Selon ces auteurs, la faible fréquence de l'entretien des forages (3 à 6 mois), pourrait être une source de contamination périodique des eaux de forage. Ainsi, les faibles taux de non conformités rapportés au cours de la présente étude pourraient être expliqués par l'utilisation du chlore pour la désinfection de la plupart des eaux de forages de Ouagadougou. L'étude de Coumare et al. (2018) donne des résultats semblables à ceux de cette étude avec 5,3% de non-conformité pour les eaux de forage. Ces mêmes auteurs ont noté 94,7% de non-conformité pour les eaux de puits. Ce résultat montre que les eaux de forages qui ne sont généralement pas en contact direct avec l'environnement sont donc moins exposées à la contamination d'origine fécale par rapport aux eaux de puits et les eaux de surface.

Conclusion

La présente étude a porté sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des échantillons d'eau de 14 forages de la commune de Ouagadougou. Sur le plan physico-chimique, la plupart des caractéristiques étudiés ont présenté des valeurs qui sont conformes aux normes de l'OMS. Quelques échantillons ont montré des valeurs non conformes pour le pH et le taux de chlore libre alors qu'aucun échantillon n'a montré une température conforme aux normes. Sur le plan microbiologique, aucun échantillon ne contenait des streptocoques fécaux. Seul un échantillon contenait des coliformes. Ainsi, l'étude montre qu'en général, les eaux de forages de Ouagadougou sont de bonne qualité. Toutefois, la présence des coliformes dans un des échantillons montre qu'il faut redoubler d'effort et sensibiliser les populations pour continuer à leur offrir une eau de bonne qualité.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts lié à cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Ce travail est le fruit d'une collaboration entre les auteurs. AS a initié le projet de recherche, a participé aux analyses et a écrit la version initiale de l'article. HC a traité les données et a participé à la rédaction de l'article. FT, BK et OZ ont lu l'article et apporté des corrections. OL a participé à l'échantillonnage et aux analyses. CZ et AS ont supervisé ce projet de recherche.

REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient remercier le Laboratoire de Biochimie et Immunologie Appliquée (LABIA) de l'Université Joseph KIZERBO et L'office Nationale de L'Eau et de l'Assainissement (ONEA) pour leur aide technique.

REFERENCES

- ACF. 2006. Eau – Assainissement – Hygiène pour les populations à risque. Hermann, ACF
- ARC Ingénieur. 2016. Projet de Renforcement de l'Alimentation en eau potable en milieu Urbain : Etude d'Avant-Projet Détaillé (APD), volume 1-mémoire descriptif technique du projet, 109 p.
- Azanga E, Majaliwa M, Kansime F, Mushagalusa N, Korume K, Tenywa MM. 2016. Land-use and land-cover, sediment and nutrient hotspot areas changes in Lake Tanganyika basin. *African Journal of Rural Development*, **1**(1): 75-90.
- Bakouan C, Guel B, Hantson AL. 2017. Caractérisation physico-chimique des eaux des forages des villages de Tanlili et Lilgomdé dans la région Nord du Burkina Faso - Corrélation entre les paramètres physico-chimiques. *Afr. Sci.*, **13**(6): 325-337. <http://www.afriquescience.net>
- Balloy Mwanza P, Katond JP, Hanocq P. 2019. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwoshi (RD Congo). *Tropicicultura*, **37**(2): 1-15. DOI: 10.25518/2295-8010.627
- Bedi NB, Nyongombe U, Monzambe MP, Kitambala KA, Inkoto LC, Koto-Te-

- Nyiwa N. 2023. Physico-chemical Characterization of the Waters of Balobo, Tributary of the Ngiri River, Middle Basin of the Congo River, Democratic Republic of the Congo. *Bp. Int. Res. Exact Sci.*, **5**(1): 29-38. DOI : <https://doi.org/10.33258/birex.v5i1.7392>
- Belguiti ML, Chahlaoui A, Bengoumi D, EL Moustaine R. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss J.*, **14**: 21-36.
- Benaïssa C, Bouhmedi B, Rossi A. 2023. An assessment of the physicochemical, bacteriological quality of groundwater and the water quality index (WQI) used GIS in Ghis Nekor, Northern Morocco. *Scientific African*, **20**: e01623. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01623>
- Blé LO, Degny SG, Douampo A, Soro TD. 2021. Qualité physico-chimique des eaux d'adduction publique issues d'une station de traitement d'Abidjan (cas de la station zone Nord d'Adjamé). *Afr. Sci.*, **18**(2): 81-93. <http://www.afriquescience.net>
- Bouchemal F, Achour S. 2015. Qualité physico-chimique et paramètres de pollution des eaux souterraines de la région de Biskra. *Larhyss J.*, **22** : 197-212.
- Buhungu S, Montchowui E, Barankanira E, Sibomana C, Ntakimazi G, Bonou CA. 2018. Caractérisation spatio-temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Kinyankonge, affluent du Lac Tanganyika, Burundi. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(1): 576-595. DOI: [10.4314/ijbcs.v12i1.44](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.44)
- CAWST. 2013. Introduction à l'analyse de la qualité de l'eau de boisson. Edition manuel 2 : 1-2
- Coumare K, Diallo T, Siby L, Haidara A, Traore M, Coulibaly M, Sangare D, Traore IT, Tangara D, Coulibaly SM, Koumare BY. 2018. La qualité bactériologique des eaux de consommation (forages et puits) dans trois cercles de la région de Koulikoro. *Mali Rev. Mali Infect. Microbiol.*, **11**: 25-32.
- Derwich E, Benaabidate L, Zian A, Sadki O, Belghity D. 2010. Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. *Larhyss J.*, **8** : 101-112.
- Dougna AA, Gnazou MDT, Kodom T, Gbandi Djaneye-Boundjou G, Bawa ML. 2015. Physico-chimie et qualité des eaux des forages d'hydraulique villageoise dans la région centrale au Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(4): 2249-2262. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.42>
- Fambi K, Ayah M, Sossou KS, Boguido G, Bawa LM, Djaneye-Boundjou G. 2021. Qualité et essais de traitement des eaux en milieu périurbain : cas des eaux de forage des cantons Légbassito et Vakpossito (Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15** (1): 317-337. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.28>
- Gboko YDA, Aka N, Keumean KN, Soro N. 2022. Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Sassandra à la station hydrométrique de Gaoulou, Sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *Afr. Sci.*, **21**(3): 127-141. <http://www.afriquescience.net>
- Ghazali D, Zaid A. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ainsalama-jeri (région de maknès) au Maroc. *Larhyss J.*, **12** : 25-36.
- Ghazali D, Zaid AN. 2012. Caractérisation physicochimique des eaux de la source ain salma-jerri région de Meknès. Science Lib. Editions: Mersenne, 4, 120106, 2111-4706.
- Hane M, Diagne I, Ndiaye M, Ndiaye B, Dione CT, Cissé D, Diop A. 2020. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **14**(9): 3400-3412. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.34>
- M'Baye BK, Chbih A, Ahmedouwa VM, Bollahi MA. 2019. Étude de la qualité physico-chimique de l'eau du réseau de

- Nouakchott et, les eaux des puits et des forages dans les régions (Brakna, Tagant, Hodh El Gharbi et Hodh El Chargi), en Mauritanie. *Afr. Sci.*, **15**(6): 286-296.
- Mahamane AA, Guel B. 2015. Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(1): 517-533. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.44>
- Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A, Clooster MV. 2011. Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss J.*, **09** : 149-169.
- Mangoua OMJ, Konan KS, Kouamé KI, Zougrou NN, Kouassi KL, Savané I, Biémi J. 2018. Evaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du département de Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire). *Environmental and Water Science, Public Health & Territorial Intelligence Journal*, **2**(2): 46- 54.
- Maoudombaye T, Ndoutamia G, Seid Ali M, Ngakou A. 2015. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad. *Larhyss J.*, **24** : 193-208.
- OMS 2017. *Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson* : 4ème éd. Intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality : 4th ed. incorporating first addendum]. Genève : CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 564 p.
- OMS. 2019. Systèmes nationaux d'appui à l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène : rapport sur la situation mondiale en 2019 analyse et évaluation mondiales de ONU-eau sur l'assainissement et l'eau potable rapport GLAAS 2019, 144p.
- Ouedghiri KE, Oualti AE, Ouchy ME, Zerrouq F, Ouazzani CF, El Ouali Lalami A. 2014. Risques sanitaires liés aux composés chimiques contenus dans l'eau de boisson dans la ville de Fès : Cas des ions nitrates et nitrites. *J. Mater. Environ. Sci.*, **5** : 2284-2292. <http://www.jmaterenvirosnci.com>
- Soney K, Djeri B, Anani K, Eklou-Lawson M, Adjrah Y, Karou DS, Ameyapoh Y, De Souza C. 2015. Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo. *J. Appl. Biosci.*, **91** : 8464-8469. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v91i1.6>
- Tfeila MM, Ouled Kankou MOSA, Souabi S, Aboulhassan MA, Taleb A, Bouezmarni M. 2016. Suivi de la qualité physicochimique de l'eau du fleuve Sénégal: Cas du captage du Beni Nadjji alimentant en eau potable les wilayas de Nouakchott. *J. Mater. Environ. Sci.*, **7**(1): 148-160. <http://www.jmaterenvirosnci.com>
- Toumi A, Reggag A, Alayat H, Houhamdi M. 2016. Caractérisation physico-chimique des eaux de l'écosystème lacustre : cas du Lac des Oiseaux (Extrême NE- Algérien). *J. Mater. Environ. Sci.*, **7**(1): 139-147. <http://www.jmaterenvirosnci.com>
- Traore A, Soro TD, Dibi B, Yao LYA. 2022. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du département de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **16**(1): 498-514. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i1.40>
- UE. 2015. Directive (UE) n° 2015/1787 du 06/10/15 modifiant les annexes II et III de la directive 98/83/CE du Conseil relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- UNICEF/OMS. 2019. Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène des ménages 2000-2017 : gros plan sur les inégalités. UNICEF/OMS, Suisse, 140 p.
- Yaméogo S. 2008. Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso, qualité et vulnérabilité. PhD thesis, Avignon University, Avignon, p. 254.