

Évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits analysées au laboratoire national de la santé entre 2016 et 2019

Mody CISSE^{1,3*}, Mamou Rachel NIAKATE⁴, Boubacar TRAORE², Lotancho Delphine BERTHE², Seydou Moussa COULIBALY¹ et Tidiane DIALLO^{1,3}

¹ *Laboratoire National de la Santé de Bamako, BP 4559, Bamako, Mali*

² *Université des Sciences, Techniques et des Technologies, Institut des Sciences Appliquées, BP E 3206, Bamako, Mali*

³ *Université des Sciences, Techniques et des Technologies, Faculté de pharmacie, BP 1805 Bamako, Mali*

⁴ *Université des Sciences, Techniques et des Technologies, Faculté des Sciences et Techniques, BP 1805, Bamako, Mali*

(Reçu le 25 Décembre 2022 ; Accepté le 22 Février 2023)

* Correspondance, courriel : monoci89@gmail.com

Résumé

L'eau souterraine jugée la plus potable est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Elle peut être polluée par les activités humaines ou naturelles. Pour se rassurer de sa qualité, il est nécessaire de faire un contrôle régulier. Une analyse rétrospective des eaux de puits de Bamako et de certaines régions du Mali dont le thème porte sur « L'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits analysées au Laboratoire National de la Santé (LNS) de 2016 à 2019 ». Notre étude a porté sur 38 échantillons. Les analyses physico-chimiques obtenus ont montré que sur 38 échantillons analysés, 17 ont des pH inférieurs aux normes recommandées par le Mali et 11 ont des teneurs en Nitrites et Nitrates supérieures aux normes. Par contre un seul échantillon a des teneurs en conductivité et en phosphates supérieures aux normes. D'autres des paramètres analysés étaient conformes aux normes de la consommation. Quant aux analyses bactériologiques, sur 15 échantillons qui ont fait l'objet de recherche de Coliformes Totaux, 5 sont non conformes aux normes. Pour les Germes Aérobie Mésophile 6 échantillons ne répondent pas aux normes.

Mots-clés : *eaux de puits, physico-chimie, microbiologie, santé.*

Abstract

Evaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits analysées au laboratoire national de la santé entre 2016 et 2019

Groundwater deemed the most potable is the most commonly used resource of drinking water in developing countries. It can be polluted by human or natural activities. To be sure of its quality, it is necessary to carry out regular checks. We carried out a retrospective analysis of water samples from 38 wells in Bamako and in certain regions of Mali. We analyzed physico-chemical and microbiological parameters of these samples. On

one hand, the physico-chemical analyzes obtained showed that out of 38 samples analysed, 17 had pH values below the standards recommended by the Malian health authorities and 11 had nitrite and nitrate contents above the standards. On the other hand, a single sample had conductivity and phosphate contents higher than the standards. Other parameters analyzed were within required standards for consumable water. As for the bacteriological analyses, out of 15 samples, which were the subject of research for Total Coliforms, five (5) did not comply with the standards. For Mesophilic Aerobic Germs six (6) samples did not meet the standards.

Keywords : *well water, physico-chemistry, microbiology, health.*

1. Introduction

« L'eau est source de vie », a-t-on coutume de le dire. Elle est aussi importante dans la vie que dans l'économie humaine. Sous la pression des besoins considérables et en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie [1]. L'eau est la boisson de base de l'être humain, malheureusement, cette eau si chère à la vie n'est pas toujours propre à la consommation. De par sa qualité, elle peut nuire à la santé et même à la vie de l'homme [2]. L'ONG Solidarité Internationale indique qu'en 2018, un tiers de la population mondiale buvait de l'eau insalubre et 2,6 millions de personnes mouraient chaque année de maladies hydriques. Elle estime que d'ici 2050, 40 % de la population mondiale sera confrontée à des pénuries d'eau [3]. Au Mali, comme dans la plupart des pays en développement, la gestion des ressources en eau devient de plus en plus problématique. En 2011, près de la moitié de la population malienne n'avait pas accès à l'eau potable [4]. Cette faible couverture en eau potable fait qu'au Mali presque chaque concession dispose d'un puits. Cependant l'insuffisance des ouvrages d'assainissement et la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène favorisent la propagation des maladies (la fièvre typhoïde, la dysenterie amibienne, etc.) suite à l'usage de ces puits [5]. Effet, la consommation des eaux de mauvaise qualité peuvent véhiculer plusieurs microorganismes et substances toxiques organiques et inorganiques appelés « polluants de l'eau »- Ces polluants surtout microbiologiques (*Escherichia Coli*, *Salmonelles*, *Légionnelles*, etc.) sont responsables d'épidémies qui menacent la santé des populations. Dans nos pays ces microorganismes ne sont pas que bactériens, peuvent aussi être viraux (Poliomyélite, Coxsackie A, etc.) mais très souvent parasitaires (nématodes, cestodes, trématodes, etc.) [6]. Le milieu rural est plus exposé avec 56 % de ménage utilisant des puits traditionnels [5]. Les puits publics à ciel ouvert représentent 38 % et 14 % individuels non protégés [5]. La consommation d'une eau potable, facteur essentiel dans la prévention des maladies hydriques, doit bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé. Au Niger, les populations font largement recours aux eaux de puits et de forage. Ces ouvrages sont souvent mal protégés et les eaux souterraines fortement contaminées. La nécessité de s'intéresser à la qualité des eaux souterraines s'est imposée après le creusement des cent vingt forages du programme d'urgence suite à la sécheresse des années 1984, 1985 et 1986, suivie d'un sévère étiage du fleuve Niger [7]. Toutefois, l'atteinte de l'objectif numéro VI, du développement durable 2016-2030 (OMS, entité eau potable et assainissement) : « *garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion des ressources en eau* », nécessite des évaluations continues de la qualité de l'eau de consommation au Mali [6]. C'est pour cette raison que nous nous sommes intéressés à la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits venant de plusieurs localités du territoire national. D'où la nécessité de réaliser une étude qui a porté sur « L'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits analysées au Laboratoire National de la Santé (LNS) de 2016 à 2019 ». L'objectif général était d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits analysées au service des eaux du Laboratoire National de la Santé de 2016 à 2019.

2. Matériel et méthodes

2-1. Cadre et période d'étude

L'étude s'est déroulée au Service de Contrôle de Qualité des Eaux et Boissons du Laboratoire National de la Santé. L'étude analytique rétrospective réalisée sur des échantillons d'eaux de puits reçus et analysés entre 2016-2019.

2-2. Échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés et transportés au laboratoire. Ils proviennent des différents quartiers des communes du District de Bamako et de certaines Régions du Mali. Nous avons recensé 38 échantillons reçus au Laboratoire National de la Santé entre 2016 à 2019.

2-3. Réception et enregistrement

Les échantillons sont réceptionnés dans la salle d'enregistrement. Les différentes informations sont fournies sur l'échantillon à savoir : les dates (de prélèvement et de réception), le lieu de prélèvement (commune, cercle et région), le demandeur d'analyse (particulier ou société), le type d'analyse (physico-chimique simple, analyse complète et analyse bactériologique), le type de point d'eau (de surface, souterraine, usée, brute, traitée et filtrée, puits à grand diamètre, ou ordinaire, forage équipé ou non équipé). Enfin, un numéro de laboratoire est attribué à chaque échantillon. Après l'enregistrement les échantillons sont transportés dans la salle d'analyse et déposés sur la paillasse du laboratoire. Ils sont conservés au frais après l'analyse.

2-4. Matériel utilisé

Un multimètre (INOLAB 740) a été utilisé pour la détermination du pH et de la conductivité, un titrimètre de marque 645 MULTI-DOSIMAT, un Spectrophotomètre UV visible type DR 5000 (Hach), Bain de surfusion (45 à 47 °C), des boîtes de pétri, des étuves (MEMMERT : EL — 09. 204), une hotte à flux laminaire de marque IEL-04-008.

2-5. Méthodes

2-5-1. Techniques d'analyses des paramètres physico-chimiques des eaux

2-5-1-1. Mesure du pH et de la conductivité

Pour la détermination du pH, une quantité de chaque échantillon a été prélevée dans un bécher dans lequel l'électrode est plongé après rinçage avec de l'eau distillée. Enfin nous avons appuyé sur la touche (M) pour choisir le mode de la mesure puis sur (AR) pour valider. Les valeurs du pH et de la température s'affichent sur l'écran du multimètre Inolab après un signal sonore. La méthode de détermination est analogue à celle du pH, la différence se trouve au niveau de l'électrode utilisée [6].

2-5-1-2. Mesure de la dureté

Une quantité de 50 mL d'échantillon d'eau à analyser dans un bécher auquel nous avons ajouté environ 2,5 mL de la solution tampon ammoniacal et quelques gouttes de solution alcoolique de Noir Eriochrome. Ensuite un titrage avec l'EDTA 0,01 mol/L a été effectué jusqu'au virage au bleu qui indique la fin du titrage [6].

2-5-1-3. Détermination des sulfates

Une quantité (25 mL) a été prélevée et introduit dans un bécher de 50 mL, puis un sachet de réactif SulfaVer 4 a été ajouté. Le mélange a été agité et laissé pendant une période de 5 minutes. Une coloration blanche, s'est développée en présence de sulfate. Le mélange réactionnel a été introduit dans la cuve pour lecture ; le zéro étant préalablement fait. Le sulfate en mg/L de sulfates (SO_4^{2-}) s'est affiché sur l'écran. Le programme est mémorisé pour les sulfates est 680 ; la longueur d'onde est de 450 nm [8, 9].

2-5-1-4. Détermination des nitrites

Une quantité de 25 mL a été prélevé dans un bécher, puis un sachet de réactif NitriVer 3, a été agité pour le dissoudre. La solution a été laissée au repos pendant 20 minutes. Une coloration rose s'est développe en présence des nitrites. Après le zéro, la lecture a été faite et le résultat s'exprime en mg/L NO_2^- . Le programme a été mémorisé pour les nitrites est 371 ; la longueur d'onde est de 507 nm [8, 9].

2-5-1-5. Détermination des nitrates

Une quantité de (25 mL) a été prélevée et introduit dans un bécher de 50 mL, puis un sachet de réactif NitraVer 5 a été ajouté. Le mélange a été agité et laissé pendant une période de 5 minutes. Une coloration ambre se développe en présence de nitrate, Après le zéro, la lecture a été faite et le résultat s'exprime en mg/L NO_3^- . Le programme mémorisé pour les nitrates est 355 ; la longueur d'onde est de 500 nm [8, 9].

2-5-1-6. Détermination des phosphates

Une quantité d'un Un mélange de 25 mL de l'échantillon et le contenu d'un sachet de réactif PhosVer 3 dans un bécher de 50 mL. Après agitation, le mélange a été ensuite laissé au repos pendant 5 minutes., Une coloration bleue se forme en présence de phosphate. Après le blanc, la solution bleue a été lue et le résultat en mg/L de phosphate s'est affiché affiche sur l'écran. Le programme est mémorisé pour les phosphates est 490 ; la longueur d'onde est de 890 nm [8, 9].

2-5-2. Techniques d'analyses des paramètres bactériologiques des eaux

Les analyses bactériologiques ont été réalisée sous la hotte à flux laminaire et un ensemencement en profondeur des échantillons d'eau. Les boîtes ont été numérotées.

2-5-2-1. Ensemencement des échantillons pour les Germes Aérobie Mésophiles (GAM)

Cette analyse a été réalisée selon la méthode NF EN ISO 4833-1 à l'aide d'une pipette stérile, une quantité 1 mL a été transféré au centre des boîtes de Pétri pour essai. Le milieu PCA en surfusion a été versé, environ 15 mL dans chaque boîte de Pétri puis a été bien homogénéisé par des mouvements de rotation et a été laissé solidifier pendant 10 à 15 min. Après la solidification complète du milieu, une quantité de 5 mL de la gélose blanche en surfusion à la surface du milieu ensemencé a constitué une deuxième couche et a été laissée refroidir pendant 10 minutes. Les cultures ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures [6, 8].

2-5-2-2. Ensemencement des échantillons pour les Coliformes Totaux

Cette analyse a été réalisée selon la méthode 08-050. Une quantité de 1 mL a été prélevée à l'aide d'une pipette stérile. Elle a été transférée au centre des boîtes de Pétri pour essai. Le milieu VRBL en surfusion a été versé, environ 15 mL dans chaque boîte de Pétri puis bien homogénéisé par des mouvements de rotation

et a été laissé solidifier pendant 10 à 15 min. Après la solidification complète du milieu, une quantité de 5 mL de la gélose VRBL en surfusion à la surface du milieuensemencé a été coulé constituant une deuxième couche et a été laissé refroidir pendant 10 minutes. Les cultures ont été incubées à 30 °C pendant 24 heures [6, 8].

2-5-2-3. Ensemencement des échantillons pour les Coliformes Thermo-Tolérants ou fécaux

Cette analyse a été réalisée selon la méthode 08 - 051. Une quantité de 1 mL a été prélevée à l'aide d'une pipette stérile. Elle a été transférée au centre des boîtes de Pétri pour essai. Le milieu VRBL en surfusion a été versé, environ 15 mL dans chaque boîte de Pétri puis bien homogénéisé par des mouvements de rotation et a été laissé solidifier pendant 10 à 15 min. Après la solidification complète du milieu, une quantité de 5 mL de la gélose VRBL en surfusion à la surface du milieuensemencé a été coulé constituant une deuxième couche et laissé refroidir pendant 10 minutes. Les cultures ont été incubées à 44 °C pendant 24 heures [6, 9, 10].

2-5-2-4. Ensemencement des échantillons pour les Streptocoques fécaux

Un prélèvement de 1 mL a été effectué et a été analysée. Elle a été mise dans un tube contenant 10 mL de bouillon de Rothe. Le mélange a été bien homogénéisé à l'aide d'un vortex. Les cultures ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures. L'échantillon positif présentait un trouble au fond du tube. L'échantillon positif a été soumis au test confirmatif sur le bouillon de Litsky. Une quantité de 1 mL a été prélevée de culture positive de bouillon de Rothe (milieu de présomption) a été transféré dans un tube contenant 10 mL du bouillon de Litsky (milieu de confirmation) et a été incubé à 37 °C pendant 24 à 48 heures. Un témoin négatif de bouillon de Litsky a été utilisé dans les conditions d'incubation [6, 10].

2-5-2-5. Ensemencement des E. coli

Une quantité de 1 mL a été transférée au centre des boîtes de Pétri pour essai. Le milieu TBX (Tryptone-Bile-X glucuronide agar) en surfusion a été versé, environ 15 mL dans chaque boîte de Pétri puis a été bien homogénéisé par des mouvements de rotation et a été laissé solidifier pendant 10 à 15 min. Après la solidification complète du milieu, une quantité de 5 mL a été coulé du milieu et a été laissé refroidir pendant 10 minutes. Les cultures ont été incubées à 44 °C pendant 24 heures [9, 10].

2-5-2-6. Ensemencement des Streptocoques fécaux

La recherche consiste à observer la turbidité des cultures par rapport au témoin négatif qui devrait rester clair. L'absence de turbidité du bouillon de Rothe désigne l'absence de *streptocoques* fécaux dans l'échantillon. La présence de la turbidité désigne une présomption de *Streptocoques* fécaux dans l'échantillon et nécessite une confirmation avec le bouillon de Litsky [6, 9, 10].

2-5-3. Dénombrement des colonies et expression des résultats (GAM, CT, CTT et E. coli)

Après l'incubation, la lecture des colonies a été faite. Nous avons dénombré les colonies de GAM (blanchâtres en fuseau ou rondes) sur les milieux PCA à l'aide d'un compteur de colonies muni d'une loupe. Les colonies des Coliformes Totaux (CT) ou Thermo-Tolérants (CTT) (roses ou rougeâtres) sur les milieux VRBL et les *E.coli* ont été aussi dénombrées par la même technique. Le résultat du dénombrement a été exprimé en Unité Formant Colonie (UFC/mL) [6, 9, 10].

3. Résultats et discussion

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits sont présentés et discutés.

3-1. Provenance des échantillons

Les échantillons provenaient de différentes localités du Mali pour être analysés et contrôlés afin de vérifier certains d'éléments chimiques et microbiologiques.

Tableau 1 : Répartition des échantillons selon leurs provenances

Régions	Nombres	Pourcentage (%)
Bamako	20	52,63
Kayes	03	7,89
Koulikoro	08	21,05
Sikasso	07	18,42
Total	38	100

Le District de Bamako a le plus grand nombre d'échantillons avec un pourcentage de 52,63 %, suivi de Koulikoro (21,05 %). Cela s'explique par le fait que le LNS se situe à Bamako donc la population peut facilement y accéder

3-2. Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons

Les analyses physico-chimiques des échantillons ont été effectuées. Les différents résultats sont consignés dans les **Tableaux** ci-dessous. Au regard du **Tableau 2**, les besoins des clients ne sont pas les mêmes en ce qui concerne les paramètres à analyser. Une conformité de la teneur de tous les échantillons est observée au niveau de 2 paramètres (TH, SO_4^{2-}). Quant au STD, il a été effectué sur 16 échantillons qui sont tous conformes aux normes. Le pH varie entre 4,29 et 6,98. Parmi les échantillons analysés, près de la moitié n'est pas conforme aux normes. Cette non-conformité observée au niveau des échantillons ($E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_7, E_9, E_{19}, E_{20}, E_{21}, E_{24}, E_{26}, E_{27}, E_{28}$), montre leur caractère acide. Cependant l'autre moitié est légèrement acide car leur pH est inférieur à 7. Les résultats de cette étude réalisée au Togo en 2015, ont montré que 23,07 % des puits analysés ont un pH acide [11]. Les valeurs de la conductivité varient entre 14,1 et 2980 $\mu S/cm$, elles sont conformes aux normes maliennes excepté E_{26} qui possède le plus fort taux de minéralisation. Les teneurs du nitrate varient entre 2,2 et 951,1 mg/L. Parmi ces teneurs, 9 échantillons sont nettement supérieurs aux normes maliennes. Un des échantillons ($E_4, E_6, E_7, E_{11}, E_{22}, E_{23}, E_{24}, E_{25}, E_{26}, E_{27}, E_{28}$) contient des ions nitrites supérieures aux normes. Dans l'ensemble les teneurs en nitrite varient entre 0 et 2 mg/L. Selon une étude réalisée en Côte d'Ivoire [12]. Elle avait trouvé que les concentrations des nitrates sont supérieures à 50 mg/L dans plus de 80 % des puits. En effet, ce résultat concernait 21 puits sur 24 échantillonnés analysés. Selon le même auteur Les valeurs du Titre Hydrotimétrique (TH ou dureté exprimée en mg/L de $CaCO_3$) n'excédant pas 500 mg/L sont jugées acceptables pour l'eau de boisson [12]. La présence de ces ions dans les eaux de consommation n'est pas souhaitée car ils peuvent provoquer une méthémoglobinémie, c'est-à-dire une diminution du pouvoir d'absorption de l'oxygène dans le sang entraînant une asphyxie interne. Chez les animaux, la consommation de concentrations importantes d'azote peut poser des problèmes au niveau de la glande thyroïde, entraînant des carences en vitamine A. Les ions phosphates ont été effectués sur 19 échantillons répondant tous aux normes, excepté E_6 .

Tableau 2 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de 2016

Paramètres Échantillon	pH	TH	Cond µs/cm	STD mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L
E ₁	5,04	11	350,0	7,05	5,8	0,01	0	0,46
E ₂	4,94	4	14,1	9,25	3,8	0,02	0	0,57
E ₃	5,29	5	18,5	59,8	52,1	0,02	0	0,55
E ₄	4,91	42	119,6	21,65	18,5	0,07	1	3,96
E ₅	5,20	3	43,3	45,15	3,6	0,01	0	0,44
E ₆	6,03	19	90,30	26,55	5	0,03	2	6,9
E ₇	5,38	7	53,1	238	74,1	2	13	0,40
E ₈	5,5	26	476	8,05	2,2	0,006	0	0,77
E ₉	5,19	51	16,1	16,1	5,1	0,01	0	0,57
E ₁₀	6,98	7	32,2	29,55	3,7	0,01	1	0,27
E ₁₁	6,24	8	59,1	38,40	18,8	0,03	0	0,59
E ₁₂	5,73	11	76,8	17,85	4,3	0,01	0	0,49
E ₁₃	5,52	7	35,7	38,05	19	0,008	0	0,62
E ₁₄	6,01	11	76,1	0	6,4	0,007	11	
E ₁₅	6,46	10	83,8	355,5	59,4	0	26	0,22
E ₁₆	6,30	110	711	112,5	1,23	0	0	0,59
E ₁₇	6,75	48	225	24,9	3,7	0,01	0	0,05
E ₁₈	6,16	10	49,8	-	6	0,02	0	0,96
E ₁₉	4,8	18	33	-	0	0,003	0	0,22
E ₂₀	4,63	6	23	-	6,7	0,01	0	0,08
E ₂₁	4,98	13	51,5	-	3,9	0,008	0	0,11
E ₂₂	6,71	81	541	-	23,5	1,65	18	0
E ₂₃	6,29	21	1522	-	307,9	1,73	30	0
E ₂₄	4,56	22	402	-	133,8	0,08	0	0
E ₂₅	6,67	25	1485	-	156,4	1,72	61	0
E ₂₆	5,09	270	2980	-	951,1	0,34	54	0
E ₂₇	4,29	24	413	-	123,2	0,03	0	0
E ₂₈	4,55	35	571	-	132,9	0,12	0	0
Normes maliennes	5,5-9	≤500	≤ 1500	≤ 1200	≤ 50	≤ 0,2	≤ 500	≤ 5

Le **Tableau 3** présente, les résultats des six échantillons de puits analysés au cours de l'année 2017. Une conformité aux normes est observée au niveau de tous les paramètres sauf ceux du pH et du NO₃⁻. Les échantillons sont acides, leur pH varie entre 4,6 et 6,65. Quant aux nitrates, seule la teneur en ion nitrate de E₅ est supérieure aux normes. Cet échantillon est conforme aux normes

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de 2017

Paramètres Échantillon	pH	TH mg/L	Cond µs/cm	STD mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L
E ₁	6,65	93	509	254,5	21,4	0,15	0	0,32
E ₂	5,82	13	121,7	60,85	5,9	0,006	-	-
E ₃	4,6	1	9,5	4,75	1,6	0,006	-	-
E ₄	4,81	9	214,0	107	2,7	0,093	-	-
E ₅	4,90	4	52,0	175	92,1	0,02	-	-
Normes maliennes	5,5-9	≤500	≤ 1500	<1200	≤ 50	≤ 0,2	≤ 500	≤ 5

Ce **Tableau** montre une conformité des paramètres aux normes maliennes des trois échantillons analysés en 2018. Sur les trois échantillons analysés, tous les paramètres sont conformes aux normes maliennes sauf le nitrate au niveau de E₁ qui contient une forte quantité en ion nitrate. En comparant le pH des échantillons analysés des années précédentes, seul celui de E₁ de 2018 est légèrement basique. En quantité élevée, les nitrates peuvent provoquer chez l'homme, d'après des estimations faites aux États-Unis l'existence d'une relation entre l'ingestion de nitrates et l'apparition de cancer colorectal, environ 1 à 8 % de tous les cas de cancers diagnostiqués dans ce pays [13].

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de 2018

Paramètres Échantillon	pH	TH mg/L	Cond µs/cm	STD mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L
E ₁	7,78	60	724		60	0,003	12	0,15
E ₂	6,26	11	73,4	36,7	4,3	0,007	0	
E ₃	5,90	45	385		14	0,20	6	0,02
Normes. Maliennes	5,5-9	≤ 500	≤ 1500	< 1200	≤ 50	≤ 0,2	≤ 500	≤ 5

Le **Tableau 5** présente une conformité des paramètres aux normes maliennes des deux échantillons analysés en 2019.

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de 2019

Paramètres Échantillon	pH	TH (mg/L)	Cond (µs/cm)	STD mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁺ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L
E ₁	6,61	88	454		13,1	0,012	13	0,49
E ₂	7,94	400	699	349,5	5,5	0,016	1	0,17
Normes maliennes	5,5-9	≤ 500	≤ 1500	<1200	≤ 50	≤ 0,2	≤ 500	≤ 5

3-3. Résultats des analyses microbiologiques des échantillons

Des analyses microbiologiques ont été effectuées sur certains échantillons, pour se rassurer de l'innocuité. Les échantillons de 2016, sur 28 échantillons seuls 6 ont fait l'objet d'une analyse microbiologique. Tous ces échantillons contiennent des Coliformes Totaux (CT) qui ne répondent pas aux normes exceptés E₁₄ et E₁₈. Le nombre de CT varie entre 0 et 150 UFC. La valeur maximale (150) est observée aux niveaux de E₁₆ et E₁₉. Le même phénomène est observé au niveau des Coliformes Fécaux, seuls E₁₄ et E₁₈ ne présentent pas de contamination fécale. La valeur maximale est observée au niveau de l'échantillon 19. Quant aux streptocoques fécaux, leur présence a été déterminée sur 4 échantillons. Le dénombrement des E. coli, a fait l'objet d'un seul échantillon (E16), le résultat nous atteste sa présence. Nous pouvons ainsi dire que l'échantillon 16 ne répond pas aux normes.

Tableau 6 : Résultats des analyses microbiologiques des échantillons de 2016

Paramètres Échantillon	Coliformes Totaux en UFC	Coliformes Thermo-Tolérant en UFC	Streptocoques fécaux	Escherichia Coli en UFC
E ₁₄	0	0	Négatif	
E ₁₅	40	39	Négatif	
E ₁₆	150	130	Positif	3
E ₁₇	12	4	Positif	
E ₁₈	0	0	Positif	
E ₁₉	150	150	Positif	
Normes. Maliennes	≤ 100	0	Absence	0

Les échantillons de 2017, sur les six échantillons analysés cinq ont fait l'objet d'une analyse bactériologique sur des paramètres consignés dans ce **Tableau**. Une absence de Streptocoques fécaux est observée dans tous les échantillons. Pour les Germes Aérobie Mésophiles (GAM), seul E₅ répond aux normes. Le nombre de GAM varie entre 84 et 600 UFC. La valeur maximale est observée au niveau de E₆. Le dénombrement des CT révèle que 2 échantillons ont un nombre de colonie supérieur aux normes. Quant aux résultats des Coliformes Thermo-Tolérants (CTT), un seul E₂ ne respecte pas les normes. Selon l'étude au Maroc en 2012 et à Abidjan en 2021, les auteurs rapportaient dans leurs résultats que le taux des germes totaux est généralement élevé au niveau des eaux de puits étudiés sauf un seul puits, qui a enregistré une valeur assez faible [14]. Cette présence d'E. coli dans les eaux échantillonnées indiquerait une pollution fécale de ces eaux par des sources diverses (proximité des latrines et défécation à l'air libre). Par ailleurs, ces E. coli peuvent être à l'origine de maladies gastro-intestinales, diarrhée et vomissement [15 - 17]

Tableau 7 : Résultats des analyses microbiologiques des échantillons de 2017

Paramètres Échantillon	Germes Aérobie Mésophiles en UFC	Coliformes Totaux en UFC	Coliformes Thermo-Tolérant en UFC	Streptocoques fécaux
E ₂	300	300	10	Négatif
E ₃	300	150		Négatif
E ₄	300	0	0	Négatif
E ₅	84	0	0	Négatif
E ₆	600	0	0	Négatif
Normes maliennes	≤ 100	≤ 100	0	Absence

Une non-conformité de tous les paramètres analysés est observée dans un seul échantillon (E₃) excepté les streptocoques fécaux.

Tableau 8 : Résultats des analyses microbiologiques des échantillons de 2018

Paramètres Échantillon	Germes Aérobie Mésophiles en UFC	Coliformes Totaux en UFC	Coliformes Thermo-Tolérant en UFC	Streptocoques fécaux
E ₁		0	0	
E ₂	5	0	0	Négatif
E ₃	300	150	150	Négatif
Normes maliennes	≤ 100	≤ 100	0	Absence

Dans le **Tableau 9**, le seul échantillon analysé présente une non-conformité au niveau de tous les paramètres (GAM, CTT, Streptocoques) excepté le CT. Une étude réalisée en RDC en 2019 avait rapporté que les résultats de l'analyse bactériologique réalisée sur les eaux de puits la présence importante de coliformes fécaux et de coliformes totaux dénotant une forte charge bactérienne laquelle indique que ces eaux sont impropres à la consommation et aux besoins ménagers. [12] On note que parmi ces trois espèces microbiologiques, par ordre croissant d'importance, les *Clostridium*, les coliformes et les streptocoques dans les eaux des quatre communes étudiées. La qualité microbiologique des eaux montre qu'elles sont impropres à toute consommation avant traitement [11, 18]

Tableau 9 : Résultats des analyses microbiologiques des échantillons de 2019

Paramètres Échantillon	Germes Aérobie mésophiles	Coliformes Totaux	Coliformes Thermo- Tolerant	Streptocoques fécaux
E ₂	300	10	08	Positif
Normes maliennes	≤ 100	≤ 100	0	Absence

4. Conclusion

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. D'un point de vue physico-chimique et bactériologique, les résultats obtenus, contrôlé la qualité de 38 échantillons d'eau de puits analysés par rapport à certains paramètres. Elle a permis de conclure que :

- La moitié des échantillons est acide de 2016 à 2017 et le reste est conforme aux normes ;
- Moins de la moitié des eaux analysées en 2016 et un seul en 2017 et 2018 contiennent des composés organiques azotés indicateurs de pollution à des teneurs souvent élevées en ions nitrites ; en ions nitrates ;
- La présence des ions nitrites dans certains de nos échantillons présente une non-conformité. Cette présence n'est pas souhaitée car elle peut provoquer une méthémoglobinémie, c'est-à-dire une diminution du pouvoir d'absorption de l'oxygène dans le sang entraînant ainsi une asphyxie interne.

Aussi la présence des ions nitrates dans les échantillons indique une non-conformité.

Les eaux analysées contiennent des coliformes fécaux, des streptocoques fécaux, et les coliformes totaux témoins d'une pollution fécale.

Références

- [1] - CENTRE RÉGIONAL POUR L'EAU POTABLE ET L'ASSAINISSEMENT À FAIBLE COÛT, *Centre collaborant de l'OMS, 1987 - 2005 : CAPITALISATION DE L'ÉVOLUTION GÉNÉRAL DU CREPA*, (Janvier 2007) 52 p.
- [2] - Livre bleu de Belgaqua (1998), 1^{ère} édition, premier prix mondial de Berlin, (octobre 2001) 27 - 48 p.
- [3] - SOLIDATES, ONG Solidarité Internationale, journée mondiale de l'eau, 30 % de la population mondiale n'a pas accès à l'eau potable, le 21 mars 2018, disponible sur www.Environment.Magazine.Fr, (2018)
- [4] - OMS (Organisation Mondiale de la santé), Water Quality and Water borne disease in the Niger River Inland Delta, Mali : A study of local knowledge and response, dans *Health and Place*, Vol. 2, (2011) 449 - 457 p.

- [5] - K. COULIBALY, Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de forages à Bamako ; Thèse de Doctorat en Pharmacie, (2005) 69 p.
- [6] - K. COUMARE, T. DIALLO, L. SIBY, A. HAIDARA, M. TRAORE, M. COULIBALY, D. SANGARE, I. T. TRAORE 1, D. TANGARA, S. M. COULIBALY, KOUMARE BY, La qualité bactériologique des eaux de consommation (forages et puits) dans trois cercles de la région de Koulikoro, Mali, *Rev Mali Infect Microbiol*, Tome 1, (2018) 25 p.
- [7] - H. AMADOU, M. S. LAOUAL, A. MANZOLA, analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabery : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N°20 (Décembre 2014) 25 - 41 p.
- [8] - S. HAWA, Analyse physico-chimique et Bactériologique au L.N.S des Eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001 : Thèse de Doctorat d'état en pharmacie, FMPOS
- [9] - M. AMINATA, contrôle qualité physico-chimique des échantillons d'eau de consommation analysés au Laboratoire National de la Santé durant le troisième trimestre, (2019)
- [10] - A. N'DAIYE, Etude bactériologique des eaux de boisson vendus en sachet dans quatre communes d'Abidjan ; Universités de Bamako, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie, Thèse de Doctorat en Pharmacie, page 25/39
- [11] - H. AHOUDI, K. GNANDI, G. TANOYAYI, K. OURO-SAMA, Caractérisation physico-chimique et état de pollution par les éléments traces métalliques des eaux souterraines de Lomé (sud Togo) : cas du quartier agoe zongo, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N°24 (Décembre 2015) 41 - 56 p.
- [12] - O. B. YAPO, M. VERONIQUE, S. ARSENE, M. J. A. OHOU, F. KONAN, G. VALERIE, A. S. TIDOU, K. K. VICTOR et H. PASCAL, Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4 (2) (April 2010) 289 - 307, ISSN 1991-8631
- [13] - S. ROHRMANN, D. BISIG-INANIR, A. DEHLER, BJ. BRÜSCHWEILER, La teneur en nitrate de l'eau potable a-t-elle une influence sur le risque de cancer colorectal ? Bulletin nutritionnel suisse, (2021) 62 - 75 p. DOI : 10.24444/blv-2021-0211
- [14] - H. A. BEN, M. MERZOUKI, A. ABOULKACEM et M. MOUMNI, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de certains puits de la ville de meknès, Maroc, *Revue Agrobiologia*, 2 (2012) 57 - 66
- [15] - L. C. MANGOUA-ALLALI AMENAN, ND. A. CHANTAL KOUAME et L. COULIBALY, 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*, 19 (3) (2021) 16 - 27 16 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
- [16] - WHO, "Guidelines for drinking water quality, 4 th ed.", Ed. WHO, Geneva, (2011)
- [17] - K. SONCY, B. DJERI, K. ANANI, M. EKLOU-LAWSON, Y. ADJRAH, D.S. KAROU, Y. AMEYAPOH et C. DE SOUZA, Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo, *Journal of Applied Biosciences*, 91 : 8464 - 8469 ISSN 1997 - 5902, Published online at www.m.elewa.org on 31st July 2015 <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v91i1.6>
- [18] - M. P. BALLOY, J. P. KATOND & P. HANOCQ, Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwoshi (RDCongo), *Tropicultura* 2295-8010, Vol. 37, N°2 (2019) 627