

Evaluation comparée de la conformité de l'eau de boisson utilisée dans les casernes militaires du Nord avec l'eau du service public dans les casernes du Sud au Bénin

Comparative assessment of the compliance of drinking water used in military barracks in the North with public service water in barracks in the South in Benin

Idrissou OKE¹, Bernadin ELEGBEDE MANOU¹, Gaston OUIKOUN², Luc KOUMOLOU^{3,*},
Jaël AISSEKOU¹, Martin AINA¹

¹Laboratoire des Sciences et Technique de l'Eau (LSTE), Département de Génie de l'Eau et Assainissement, Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin

²Institut National de la Recherche Agronomique du Bénin, Abomey-Calavi, 01 BP 884, Benin

³Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire. Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Benin

*Auteur correspondant : heraluc@yahoo.fr

Soumission : 25/01/2025 / Révision : 18/11/2025 / Acceptation : 11/01/2026 / Publication : 07/02/2026

Résumé

L'étude analyse la qualité de l'eau de boisson utilisée dans les casernes militaires du Nord et du Sud du Bénin afin d'évaluer sa conformité aux normes nationales. Elle examine les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau pour identifier d'éventuelles non-conformités et déterminer les risques sanitaires encourus par le personnel militaire. Les prélèvements ont été réalisés selon des protocoles stricts dans les casernes de Parakou et Natitingou au Nord (une campagne), et dans celles de Cotonou, Porto-Novo et Ouidah au Sud (trois campagnes). Les casernes septentrionales sont alimentées par des forages, tandis que celles du Sud reçoivent l'eau de la SONEB. Les analyses physico-chimiques portent notamment sur la température, le pH, la conductivité, la turbidité, la dureté, les nitrates, les nitrites, l'ammonium, les chlorures, les sulfates, le fer, les fluorures et le chlore. Les tests bactériologiques concernent le dénombrement des germes et la recherche de coliformes totaux. Les résultats indiquent une conformité globale dans les casernes du Sud. Toutefois, plusieurs anomalies sont observées au Nord : pH très acide et forte concentration en nitrates à Natitingou, dureté élevée à Parakou et absence de chlore dans les deux sites. Malgré ces irrégularités, aucune contamination microbienne n'a été détectée, mais l'eau de Natitingou demeure préoccupante.

Mots clés : Eau de boisson ; Forages ; Eau de robinet ; Casernes militaires ; Risques sanitaires ; Nord et Sud Bénin.

Abstract

This study analyzes the quality of drinking water used in military barracks in northern and southern Benin to assess its compliance with national standards. It examines the physicochemical and bacteriological parameters of the water to identify any non-conformities and determine the health risks to military personnel. Samples were collected according to strict protocols in the barracks of Parakou and Natitingou in the north (one sampling campaign), and in those of Cotonou, Porto-Novo, and Ouidah in the south (three sampling campaigns). The northern barracks are supplied by boreholes, while those in the south receive water from SONEB (the national water utility). The physicochemical analyses focus on temperature, pH, conductivity, turbidity, hardness, nitrates, nitrites, ammonium, chlorides, sulfates, iron, fluorides, and chlorine. Bacteriological tests included counting germs and searching for total coliforms. The results indicated overall compliance in the southern barracks. However, several anomalies were observed in the north: a very acidic pH and high nitrate concentration in Natitingou, high hardness in Parakou, and an absence of chlorine at both sites. Despite these

irregularities, no microbial contamination was detected, but the water quality in Natitingou remains a concern.

Keys words: Drinking water; Boreholes; Tap water; Military barracks; Health risks; North and South Benin.

1. Introduction

L'eau constitue l'une des ressources naturelles les plus vitales et le composé le plus abondant à la surface terrestre, qu'elle recouvre à plus de 71 % (Garcia, 2024). Elle est la seule substance présente naturellement sous les trois états (solide, liquide et gazeuse) et demeure indispensable à l'ensemble des formes de vie (Hossain & Floryan, 2015). Chez l'être humain, elle représente en moyenne 70 % de la masse corporelle (Latham, 2021). Ressource omniprésente dans le quotidien, son rôle fondamental tend néanmoins à être banalisé et sa valeur sous-estimée (Garcia, 2024). Dans le contexte actuel de croissance démographique, l'humanité prend progressivement conscience de la dégradation et de l'insuffisance des ressources en eau, conséquence d'un prélèvement accru pour la consommation domestique ainsi que pour des usages industriels et agricoles, notamment l'irrigation (Bojer, 2025). Les ressources hydriques naturelles englobent à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines, mobilisées pour répondre aux besoins humains, agricoles et industriels (Garcia, 2024). La qualité de l'eau reste largement tributaire de son origine (Machona, 2025).

Au Bénin, la fourniture d'eau potable en milieu urbain et périurbain est assurée par la SONEB tandis qu'en milieu rural c'est l'ANAEPMR (Agence Nationale d'Approvisionnement en Eau Potable en Milieu Rural) qui assure cette responsabilité. Le gouvernement béninois fournit des efforts pour assurer l'accès à l'eau potable à l'ensemble de la population d'ici 2030 (ANAEPMR, 2024). En milieu rural, grâce aux activités de l'ANAEPMR le taux de desserte avoisine les 80 % (ANAEPMR, 2024). Cependant, force est de se demander si l'eau fournie par la SONEB en milieu urbain et périurbain et celle fournie par l'ANAEPMR en milieu rural sont toutes les deux au même niveau de conformité par rapport aux normes en vigueur pour l'obtention d'une eau potable. C'est dans ce contexte que cette étude se propose de faire l'évaluation comparée de la conformité de l'eau de boisson utilisée dans les casernes du Nord avec l'eau du service public (SONEB) dans les casernes du Sud ". Pour réaliser notre étude, l'objectifs fixé est de Comparer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux consommées dans les casernes du sud et celles consommées dans les casernes du nord pour voir si tous deux sont conformes aux normes de conformité.

2. Matériel et méthode

2.1. Cadre d'étude

Le Bénin, situé dans le golfe du Bénin, s'étend sur une superficie de 114 763 kilomètres carrés. Il est limité au nord par le Burkina-Faso et le Niger, à l'est par le Nigéria, à l'ouest par le Togo et au sud par l'Océan Atlantique avec une façade maritime de 120 kilomètres. Son relief, peu accidenté, est constitué d'une bande côtière sablonneuse suivie de deux zones de plateau massif de l'Atacora au nord où tous les fleuves prennent leur source. Le plus long des trois fleuves qui irriguent le pays est l'Ouémé. Le Bénin connaît deux types de climat : Au sud, un climat subéquatorial caractérisé par deux saisons des pluies (avril à juillet et octobre à novembre) et par deux saisons sèches (août à septembre et décembre à mars), et au nord, un climat tropical,

peu humide, avec une saison des pluies (mai à octobre) et une saison sèche (novembre à avril). Le nord du pays est principalement constitué de savanes et de montagnes semi-arides, telles que la chaîne de l'Atacora, qui se prolonge au Togo et au Ghana d'une part et au Niger d'autre part. Le point culminant du pays est le mont Sokbaro (ou Sagbarao) (800 mètres). Le sud du pays est constitué d'une plaine côtière basse parsemée de marécages, lacs et lagunes, notamment la basse vallée de l'Ouémé, la lagune de Porto-Novo et le lac Nokoué, une vaste zone humide de 91 600 ha reconnue d'importance internationale par la convention de Ramsar. Il tombe entre 900 et 1 400 millimètres d'eau par an, les régions les plus arrosées sont situées au sud-est, de Cotonou à Porto-Novo, l'Atacora entre Natitingou et Djougou, les régions de Dassa-Zoumè et de N'Dali au nord de Parakou. Les maximums des précipitations sont au sud (climat équatorial), de la mi-mars à la mi-juillet, et plus faiblement en novembre et décembre. Notre étude a été réalisée à partir de prélèvements effectués dans certaines casernes militaires du pays, en particulier celles situées dans les communes de Parakou et Natitingou, au nord, ainsi que dans les communes de Porto-Novo, Cotonou et Ouidah, au sud. La figure 1 ci-dessous, présente la carte administrative du Bénin montrant les casernes militaires, au nombre d'une vingtaine.

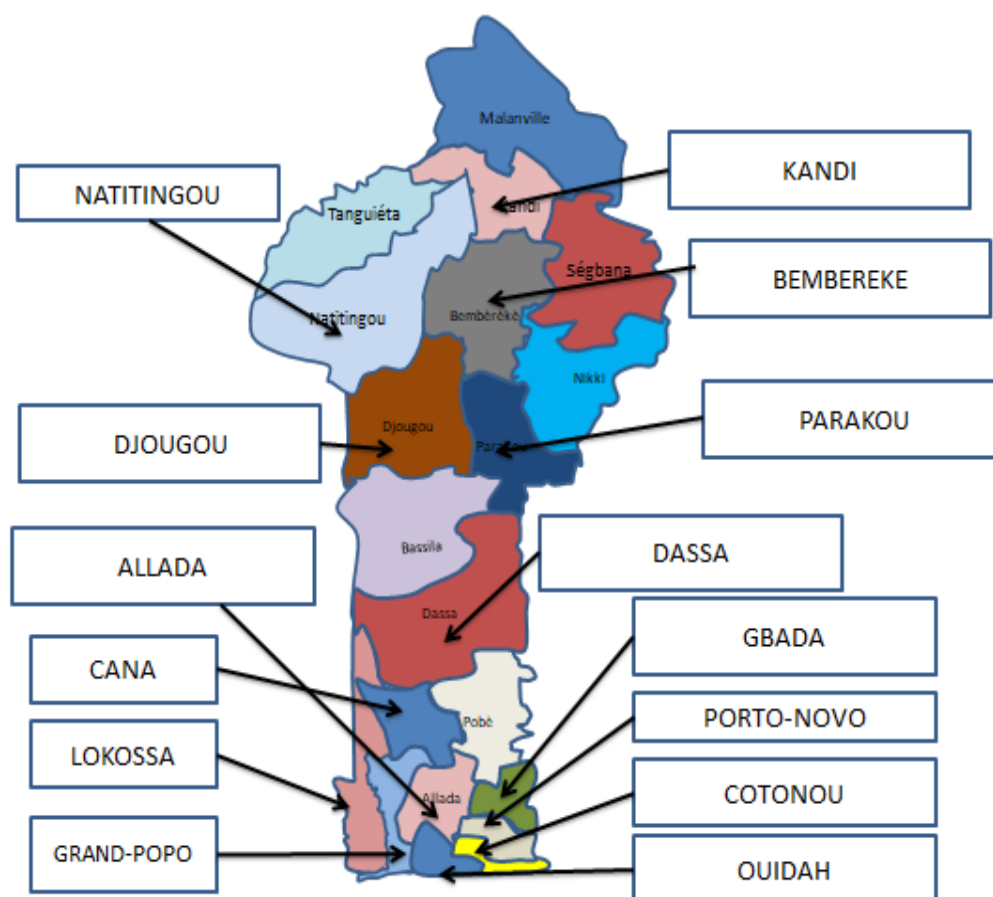


Figure 1 : Situation géographique des casernes militaires du Bénin

2.2. Matériel

Avant l'échantillonnage, tous les matériels pour la collecte des échantillons d'eau (flacons et bouteilles) sont soigneusement rincés à l'eau de robinet au laboratoire et stérilisés. Sur le

terrain, nous avons pris soin de stériliser le robinet à utiliser pour le prélèvement en utilisant l'alcool et le coton puis les matériels sont rincés deux à trois fois au moins avec l'eau à prélever et après, le prélèvement en lui-même est effectué en veillant à ce que des bulles d'air ne se forment pas. La même opération est reprise pour tous les prélèvements sauf pour le prélèvement des analyses bactériologiques où les flacons ne sont pas remplis à ras bord (SONEB, 2017). Trois campagnes d'échantillonnage ont été réalisées pour les analyses dans les zones Sud et une campagne d'échantillonnage dans les zones Nord en raison de certaines contraintes techniques.

Tableau 1 : Répartition des casernes échantillonnées

	Casernes	Nombre échantillonné
Casernes du Nord	Natitingou	1
	Parakou	1
Casernes du Sud	Porto Novo	3
	Cotonou	3
	Ouidah	3
Total		11

2.3. Méthode

2.3.1. Analyses physico-chimiques

Pour réaliser ces prélèvements, des flacons en plastique de 1 L ont été utilisés, puis conservés dans une glacière et transportés au laboratoire pour analyse. Les paramètres physiques analysés étaient le pH, la turbidité, la température et la conductivité. Les paramètres chimiques concernaient, d'une part, les dosages volumétriques : Titre alcalimétrique complet (TAC), Titre alcalimétrique (TA), dureté totale (TH), dureté calcique, dureté magnésienne, dosage des ions chlorure (Cl^-), CO_2 libre, oxydabilité, CO_2 agressif, et, d'autre part, les dosages colorimétriques : fer total (Fe^{2+}), manganèse total (Mn^{2+}), ammonium (NH_4^+), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), sulfates (SO_4^{2-}), fluorures (F^-) et chlore résiduel (SONEB, 2017).

2.3.2. Analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques réalisées comprenaient le dénombrement des germes sur milieu solide, le test présumptif des coliformes et la mise en évidence présomptive des germes coliformes sur milieu liquide. Les prélèvements destinés à ces analyses ont été effectués dans des flacons en verre de 100 mL préalablement stérilisés. Les boîtes de Pétri et les pipettes utilisées étaient également stériles, et le flacon contenant l'échantillon a été passé à la flamme d'un bec Bunsen afin d'éviter toute contamination. Pour l'ensemencement en milieu liquide, le bouillon de MacConkey a été utilisé, tandis que l'ensemencement en milieu solide a nécessité une gélose nutritive (Nutriment Agar) (SONEB, 2017).

3. Résultats et discussion

Les résultats des paramètres physico-chimiques et bactériologiques obtenus après l'analyse des prélèvements d'eaux sont comparés aux normes nationales. Les tableaux 2 et 3 ci-dessous,

dressent les résultats obtenus à cet effet.

Tableau 2 : Résultats des analyses physico-chimiques

Paramètres physico-chimiques					
SUD				NORD	
Paramètres	Cotonou	Porto- Novo	Ouidah	Parakou	Natitingou
Température (°C)	29,33	29,5	29,06	24,4	24,4
Potentiel d'hydrogène (pH)	6,94	7,05	6,84	6,9	4,4
Turbidité (NTU)	0,8	0,82	0,48	1,1	0,11
Conductivité (µs/cm)	130,92	149,36	61,2	93	230
TAC (°f)	2,13	3,85	1,3	0	0
Chlorure (mg/L)	24,85	24,61	13,72	9,3	19,7
TH (mg/L)	28,48	45,68	22,54	293	36,7
Fer (mg/L)	0,05	0,05	0,05	0,1	0,04
Nitrite (mg/L)	0,05	0,046	0,05	0,01	0,007
Nitrate (mg/L)	4	10	4	4	46,3
Sulfate (mg/L)	5	3	3	6	1,99
Ammonium (mg/L)	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08
Chlore (mg/L)	0,36	0,38	0,38	0	0
Fluorure (mg/L)	0	0	0	0,41	0,27

Tableau 3 : Résultats des analyses bactériologiques

Paramètres	Sud									Nord	
Villes	Cotonou			Porto- Novo			Ouidah			Parakou	Natitingou
Dates	19/02/2020	26/03/2021	25/04/2022	07/08/2020	18/06/2021	16/05/2022	17/02/2020	22/03/2021	23/05/2022	02/12/2024	
Dénombrement des germes banals (UFC/mL)	1	3	0	0	0	1	2	1	0	0	
Présomption des coliformes totaux (CT)	Négative										

3.1. Analyse des résultats physico-chimiques

▪ Température

Comme indiqué dans la figure 2 ci-contre, les valeurs de la température sont de 24,4 °C dans les deux villes du Nord (Parakou et Natitingou). Ces valeurs sont en dessous de la norme de 25°. Dans le sud, les moyennes obtenues dépassent la norme car elles sont de 29,33 ; 29,5 et 29,06 (°C) respectivement dans les villes de Cotonou, de Porto-Novo et de Ouidah. La température des eaux souterraines et ses variations dépendent du type d'aquifère, de son régime hydrodynamique, de sa profondeur et des interactions avec les eaux de surface (Schürch, 2018). Celle d'un cours d'eau résulte à la fois de la température initiale de l'eau et des échanges

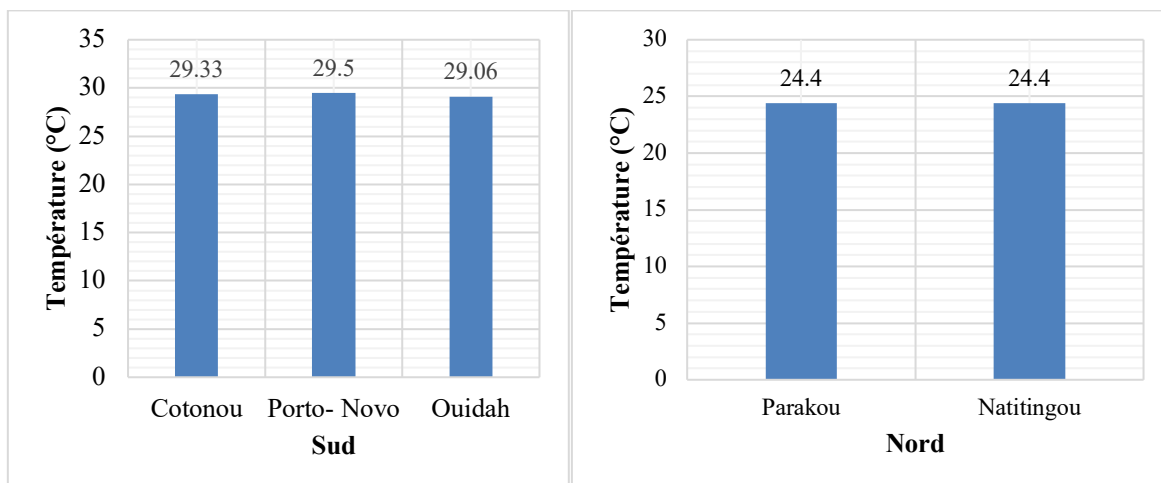


Figure 2 : Mesure de la température au Nord et au Sud

thermiques avec l'environnement (rayonnement, chaleur sensible, pertes d'énergie par évaporation, etc.). Les activités humaines influencent également cette température par le biais du changement climatique, des rejets thermiques ou encore de l'occupation des sols (Explore2070, 2012). Une eau potable dont la température ne respecte pas les normes peut entraîner le développement de bactéries et de micro-organismes pathogènes, comme les légionelles, le risque d'infections pulmonaires graves et même mortelles, et la formation de nitrites potentiellement nocifs. Elle peut également altérer le goût et l'odeur de l'eau, favoriser la croissance de champignons, et rendre les désinfectants comme le chlore moins efficaces.

▪ Potentiel d'Hydrogène (pH)

La figure 3 ci-dessous indique les résultats obtenus après la mesure du pH.

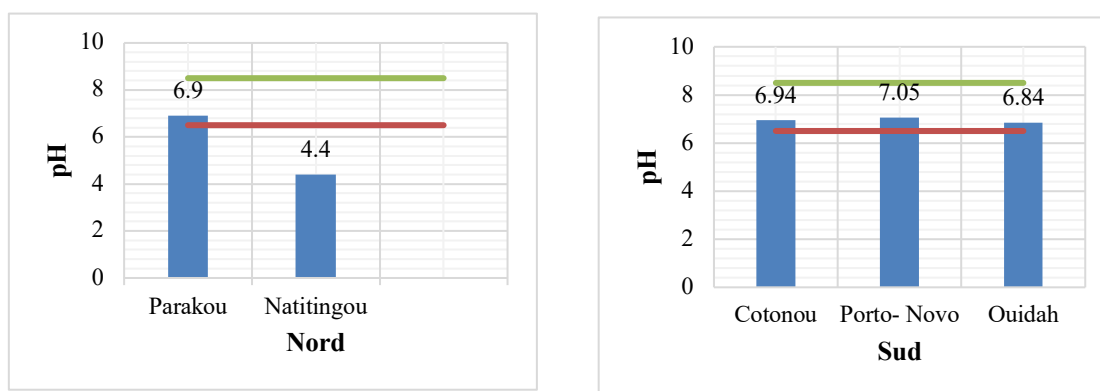


Figure 3 : Mesure du pH au Nord et au Sud

Dans le nord le potentiel d'hydrogène est de 6,9 dans la ville de Parakou et de 4,4 dans celle de Natitingou. Dans le sud, la moyenne obtenue est de 6,94 ; 7,05 et 6,84 respectivement pour les villes de Cotonou, Porto-Novo et Ouidah. D'après ces résultats, on constate que, en dehors du pH de l'eau de la ville de Natitingou qui est très acide, celui de l'eau des autres villes respecte la norme car il est compris entre 6,5 et 8,5. Le pH est un indicateur qui permet de déterminer si un liquide est acide, basique ou neutre (alcalin). L'eau naturelle peut présenter une légère acidité ou basicité : par exemple, l'eau minérale gazeuse est acide ($\text{pH} \approx 6$), tandis

que l'eau de lac est basique ($\text{pH} \approx 8,3$). Un liquide est considéré acide lorsque son pH est inférieur à 7. Une telle acidité n'est pas souhaitable et nécessite une désacidification avant distribution, afin de prévenir notamment la corrosion des conduites (Zentrum, 2003). Une eau potable trop acide peut corroder les canalisations, libérant des métaux lourds comme le plomb et le cuivre, ce qui contamine l'eau et pose des risques pour la santé. Elle peut également causer une dégradation de l'émail dentaire, des irritations digestives, un affaiblissement des os et un goût métallique désagréable. Les usagers de la caserne de Natitingou consomment donc une eau à risque.

▪ Conductivité électrique

Comme l'indique la figure 4 ci-dessous, la conductivité est de 93 et de 230 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) respectivement dans les villes de Parakou et de Natitingou. Dans le sud, la moyenne des résultats obtenus elle est de 130,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la ville de Cotonou ; dans la ville de Porto-Novo elle est 149,36 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et dans la ville de Ouidah, elle est de 61,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Une faible conductivité ($< 100 \mu\text{S}/\text{cm}$) indique une eau très douce, parfois trop pauvre en minéraux pour être agréable à boire et pouvant s'avérer corrosive pour les canalisations métalliques, comme c'est le cas dans les villes de Parakou et Ouidah. En revanche, une conductivité normale correspond à une eau courante, adaptée à la consommation quotidienne, ce qui est observé pour les eaux des autres villages (SONEB, 2024). La norme pour la conductivité de l'eau de boisson est 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Toutes les eaux respectent donc ce paramètre de potabilité.

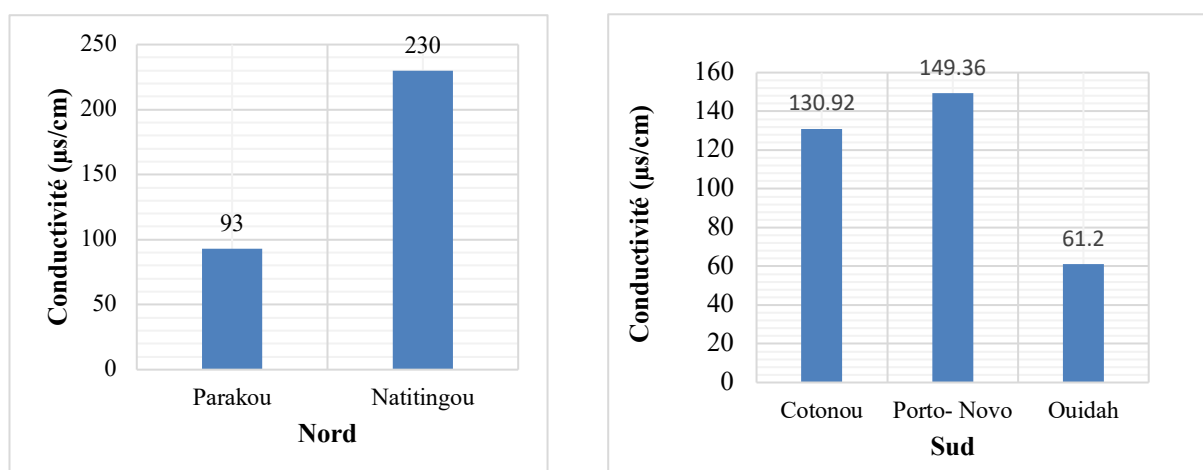


Figure 4 : Mesure de la conductivité électrique au Nord et au Sud

▪ Turbidité

La turbidité est de 1,1 et 0,11 (NTU) pour les villes de Parakou et Natitingou qui sont situées dans le nord Bénin. Dans le sud, la moyenne est de 0,80 NTU dans la ville de Cotonou ; de 0,82 NTU dans la ville de Porto-Novo et enfin de 0,48 NTU dans la ville de Ouidah. Ces résultats sont représentés dans la figure 5 ci-après. La présence visible de turbidité diminue l'acceptabilité de l'eau potable. Bien que la majorité des particules responsables de cette turbidité n'aient généralement pas d'effet sur la santé (OMS, 2017). Des niveaux de turbidité élevés peuvent masquer la présence de ces micro-organismes nocifs et entraver les processus de traitement de l'eau. Une turbidité élevée, contrairement à ce qui est observé dans les eaux étudiées, peut surcharger les systèmes de traitement, rendant l'étape du prétraitement plus difficile et plus coûteuse (APHA, 2017).

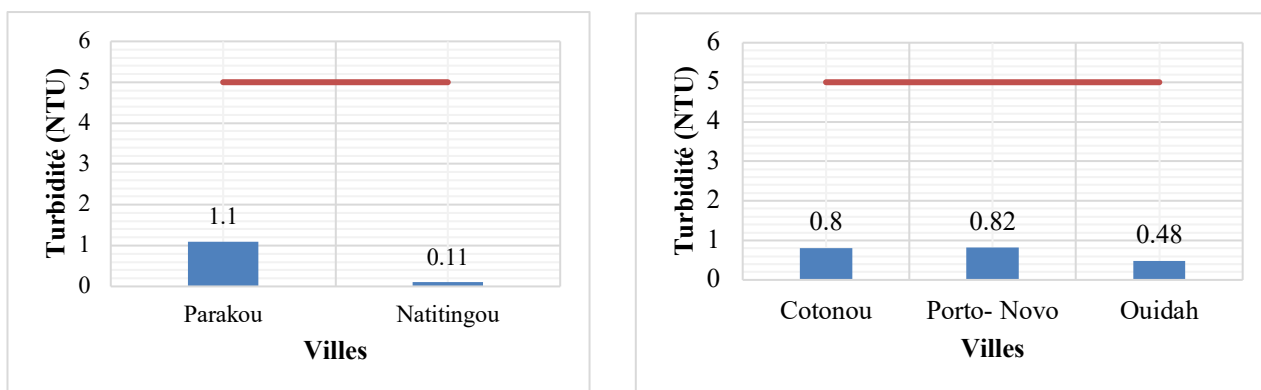


Figure 5 : Mesure de la turbidité au Nord et au Sud

▪ Titre Alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC dans les villes de Parakou et de Natitingou n'a pas été analysé en raison de problèmes techniques. Par contre, dans le sud, la moyenne du TAC a été de 2,13 °f dans la ville de Cotonou ; de 3,85 °f dans celle de Porto-Novo et enfin de 1,3 °f dans celle de Ouidah (voir figure 6 ci-dessous).

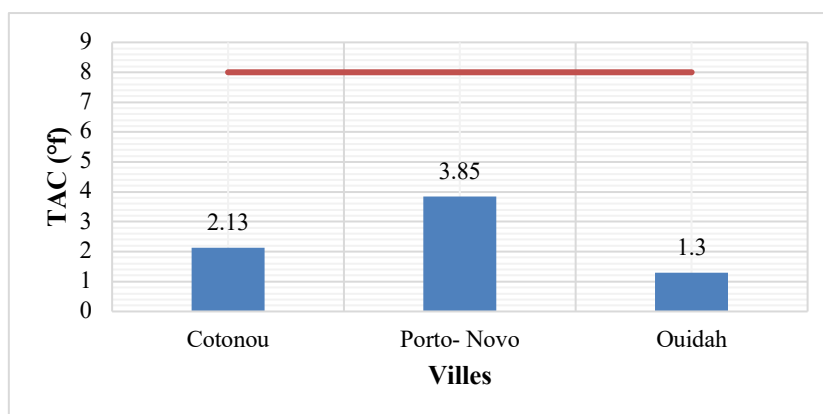


Figure 6 : Mesure du TAC au Sud

Le TAC, ou Titre Alcalimétrique Complet, est un paramètre crucial pour comprendre et optimiser la qualité de l'eau. Souvent méconnu, il joue un rôle essentiel dans l'équilibre de l'eau, impactant directement son confort et sa saveur. En d'autres termes, le TAC agit comme un bouclier protecteur contre les variations brusques de pH, garantissant une eau stable et agréable à utiliser. Un TAC trop bas (inférieur à 8°f) ce qui est notre cas ici, rend l'eau corrosive, pouvant abîmer les canalisations et les appareils électroménagers. Elle peut également avoir un goût métallique désagréable. En revanche, un TAC trop élevé favorise la formation de calcaire, entartrant les robinets et les douches et réduisant l'efficacité des détergents (SONEB, 2017).

▪ Dureté totale (TH)

La figure 7 nous présente les résultats obtenus après la mesure de la TH.

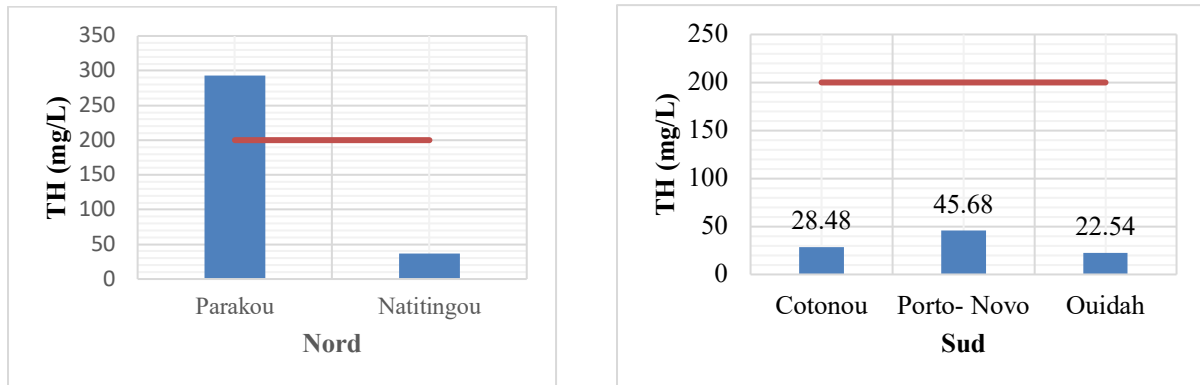


Figure 7 : Mesure du TH au Nord et au Sud

D'après ces résultats, dans le nord, la TH est de 293 et 36,7 (mg/L) pour les villes de Parakou et Natitingou. Dans le sud, la moyenne est de 28,48 mg/L dans Cotonou ; de 45,68 mg/L dans Porto-Novo et de 22,54 mg/L dans Ouidah. Le titre hydrotimétrique (TH) de l'eau mesure sa dureté, soit sa concentration en sels minéraux, principalement en ions calcium et magnésium. Plus la TH de l'eau est élevée, plus l'eau est calcaire et peut provoquer des formations de tartre dans les canalisations et appareils électroménagers, ce qui diminue leur durée de vie et augmente leur consommation d'énergie ; cas de la ville de Parakou. À l'inverse, une eau douce contient peu de sels et est plus agréable pour la peau et le linge (Barakat, 2018), cas des autres villes. Une eau potable dure n'est pas dangereuse pour la santé, elle fournit même des minéraux bénéfiques comme le calcium et le magnésium.

▪ Chlorures

Les résultats de mesure du chlore au Nord et dans le Sud sont dressés illustrés par la figure 8.

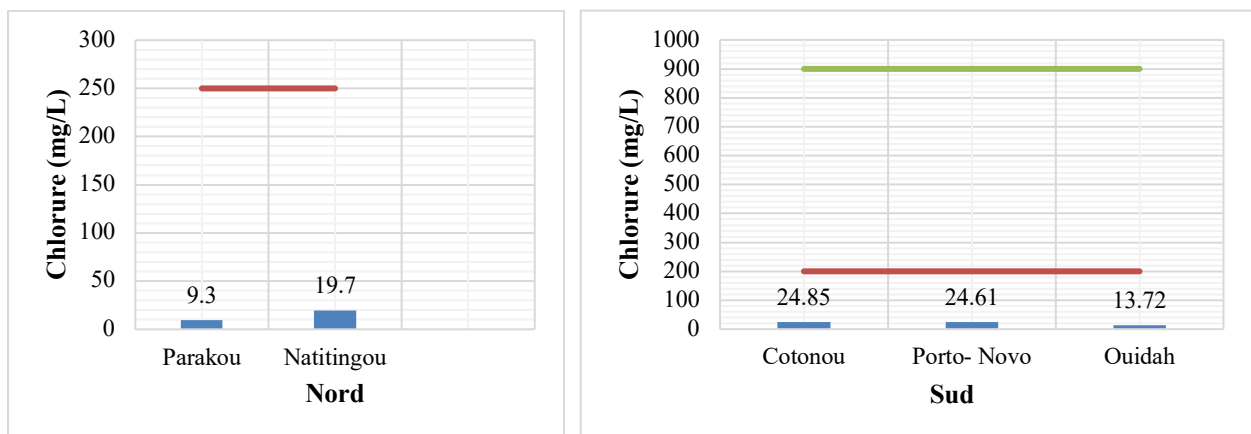


Figure 8 : Mesure du chlorure au Nord et dans le Sud

Dans le nord il est de 9,3 et 19,7 (mg/L) dans les villes de Parakou et de Natitingou. Dans le sud la moyenne est de 24,85 mg/L dans la ville de Cotonou ; 24,61 mg/L dans celle de Porto-Novo et de 13,72 mg/L dans celle de Ouidah. Les chlorures peuvent avoir des origines diverses : soit une contamination par les eaux usées, soit la dissolution des sels due au lessivage des

terrains salifères. Cette dissolution, particulièrement aisée, explique les concentrations élevées en chlorures dans les eaux ayant traversé des formations argileuses et marneuses. À partir de 50 mg/L (OMS, 2017), les chlorures confèrent à l'eau un goût désagréable et favorisent la corrosion des canalisations et des réservoirs. En revanche, à des concentrations normales, telles que celles observées dans l'ensemble des eaux analysées dans notre étude, ils jouent dans l'organisme, un rôle physiologique important : ils participent à la digestion en stimulant la production d'acide chlorhydrique dans l'estomac et contribuent au maintien de l'équilibre acido-basique du sang.

▪ Sulfates

Il ressort de la figure 9 ci-dessous présentant les résultats obtenus après l'analyse du sulfate que, dans la ville de Parakou il est de 6 et dans celle de Natitingou, il est inférieur à 2mg/L. Dans le sud, la moyenne est de 5 mg/L dans ville de Cotonou ; inférieur à 3 mg/L pour celles de Porto-Novo et de Ouidah. La majorité des composés sulfatés proviennent de l'oxydation des minerais de sulfites, de la présence de schistes ou encore de rejets industriels. Certains sols et roches renferment naturellement des minéraux sulfatés qui, en traversant ces formations, enrichissent l'eau souterraine en sulfates par dissolution (OFEV, 2025). Leur forte concentration peut également résulter de la présence d'évaporites. Bien que les sulfates présentent une toxicité aiguë très faible, des effets laxatifs apparaissent lorsque leur teneur dépasse 1000 mg/L (OFEV, 2025) car la limite de sulfate dans l'eau potable est 500 mg/L. Toutes les eaux sont largement en deçà de cette limite.

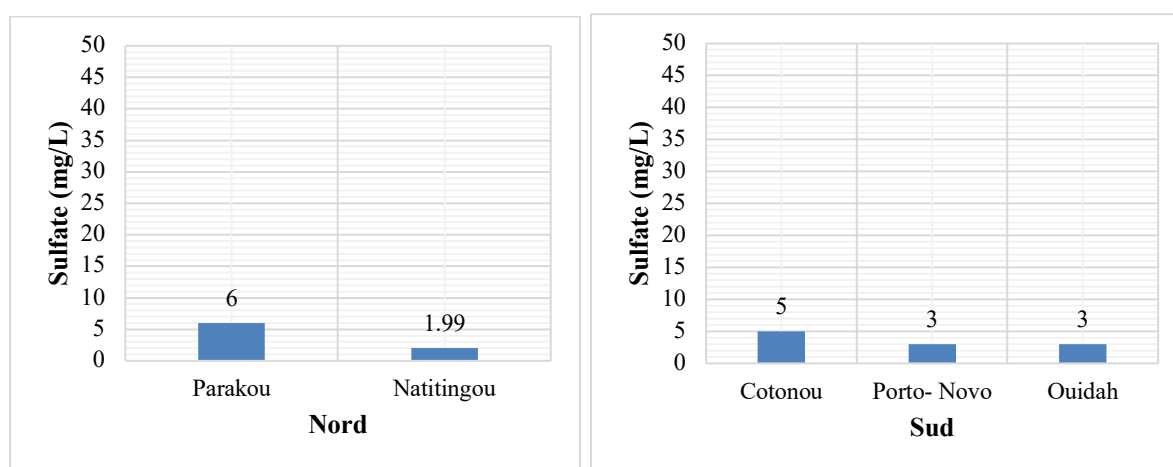


Figure 9 : Mesure du sulfate au Nord et au Sud

▪ Nitrates

La figure 10 ci-contre nous présente les résultats obtenus après analyse du nitrate. D'après cette figure, dans le nord le nitrate est de 4 et 46,3 dans les villes de Parakou et Natitingou. Dans le sud, il est de 4 mg/L dans la ville de Cotonou ; de 10 mg/L dans la ville de Porto-Novo et enfin de 4 mg/L dans la ville de Ouidah. L'usage intensif, réel ou probable, d'engrais chimiques et organiques en agriculture peut entraîner l'infiltration des nitrates qu'ils contiennent vers les nappes phréatiques par ruissellement. Selon Rodier et al. (2009), la décomposition de la matière organique contribue également à cet apport. Les précipitations peuvent, quant à elles, contenir des nitrates issus des oxydes d'azote et de l'ammoniac présents dans l'atmosphère (Rodier et

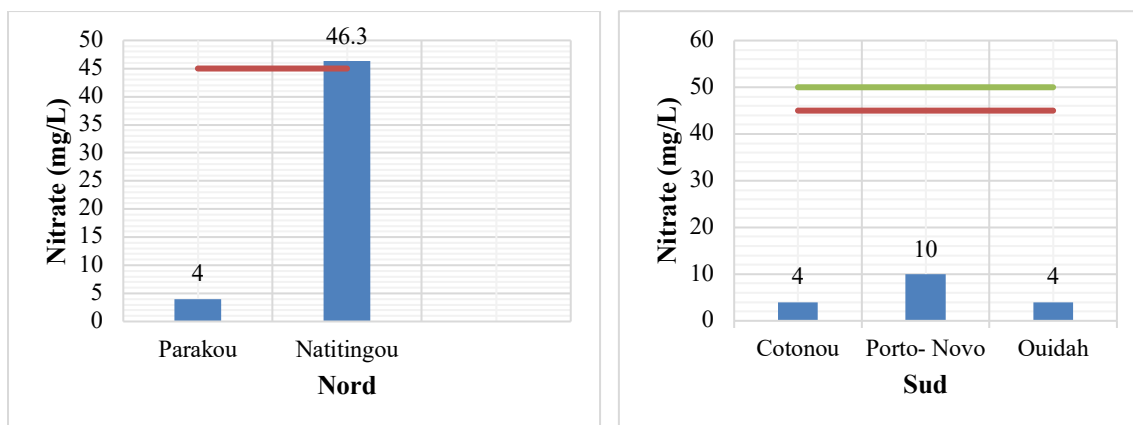


Figure 10 : Mesure du nitrate au Nord et au Sud

al., 2009). De plus, la morphologie en cuvette et la présence d'une couche aquifère constituée de formations perméables (graviers et sables) favorisent l'infiltration des composés azotés vers la zone saturée, entraînant ainsi la contamination des eaux souterraines et influençant la répartition des nitrates. Un excès de nitrates dans ces eaux comme c'est le cas au niveau de la ville de Natitingou constitue un risque sanitaire, notamment pour les nourrissons et les fœtus (EFSA, 2017). En effet, la présence de nitrates dans le sang peut provoquer une méthémoglobinémie, pathologie correspondant à l'oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine, forme incapable d'assurer le transport de l'oxygène vers les tissus, ce qui peut entraîner une asphyxie mortelle chez ces populations vulnérables.

▪ Nitrites

La figure 11 illustre les résultats de mesure du nitrite au Nord et au Sud .

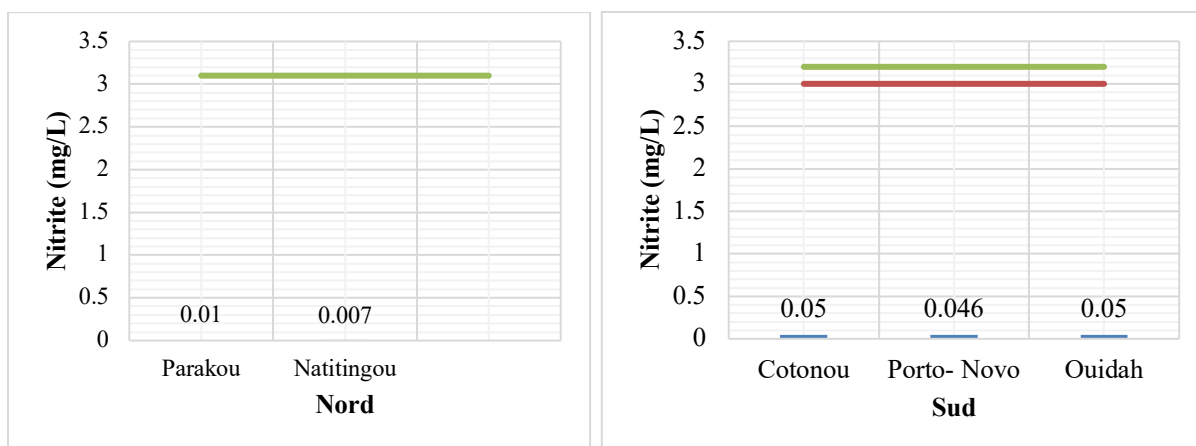


Figure 11 : Mesure du nitrite au Nord et au Sud

Dans le nord les nitrites sont de 0,010 mg/L dans Parakou et de 0,007 mg/L dans Natitingou. Dans le sud, ils sont inférieurs à 0,05 mg/L dans la ville de Cotonou et de Ouidah et inférieur à 0,046 mg/L dans la ville de Porto-Novo. Il convient de noter que l'eau en contact avec certains types de terrains peut contenir des nitrites. Ces composés se retrouvent également dans les milieux aquatiques pauvres en oxygène et présentent une toxicité pour les organismes vivants. Ils transforment l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, une forme incapable d'assurer correctement l'oxygénation des cellules et des tissus (EFSA, 2017).

▪ Ammonium

Les résultats de mesure de l'ammonium au Nord et au Sud sont présentés dans la figure 12.

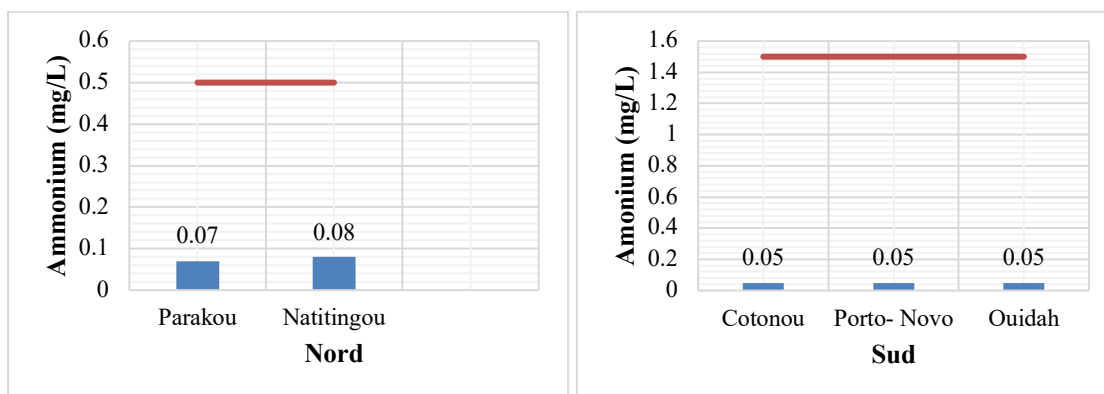


Figure 12 : Mesure de l'ammonium au Nord et au Sud

Dans le nord, les teneurs en ammoniums sont de 0,07 mg/L dans la ville de Parakou et de 0,08 mg/L dans celle de Natitingou. Dans le sud, elles sont inférieures à 0,05 mg/L que ce soit à Cotonou, Porto-Novo ou Ouidah. La présence d'ammonium dans l'eau est généralement considérée comme un indicateur de pollution. Cette forme d'azote se rencontre surtout dans les eaux riches en matière organique en décomposition, notamment lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour permettre son oxydation en ions NO_3^- (SONEB, 2017). Elle résulte également de la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réductrices (SONEB, 2017).

▪ Fer

Le fer dans le nord, est de 0,10 mg/L dans la ville de Parakou et de 0,04 mg/L dans celle de Natitingou. Dans le sud, le fer est inférieur à 0,05 mg/L dans les trois villes (voir figure 13).

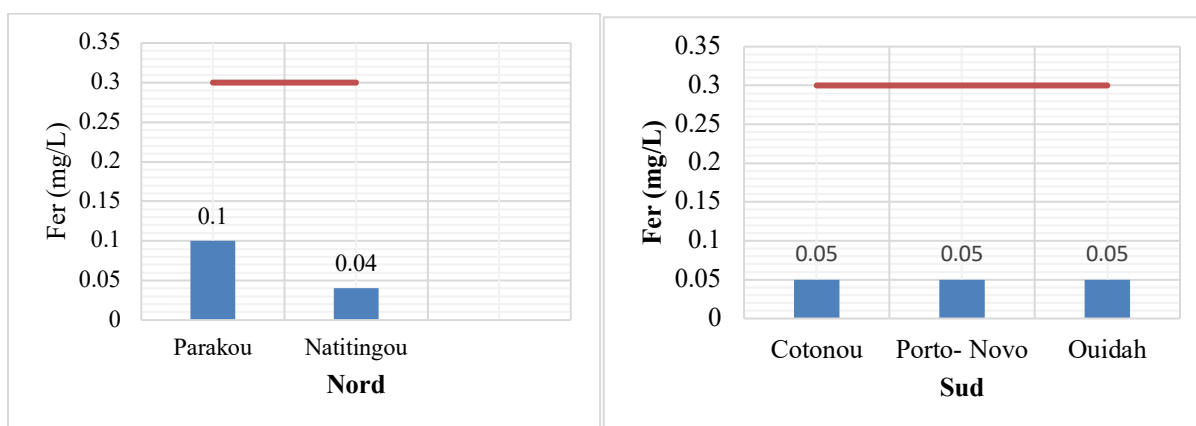


Figure 13 : Mesure du fer au Nord et au Sud

Le fer, souvent présent dans les eaux souterraines, est un élément peu esthétique en raison des précipités colorés indésirables qu'il génère. Son origine peut être naturelle liée à l'altération des roches ou anthropique, notamment par les activités minières et métallurgiques (Barakat, 2018). La faible teneur en fer observée suggère toutefois une origine naturelle plutôt qu'une contamination d'origine industrielle.

▪ Fluorure

Les fluorures ont été analysés seulement dans le nord où les valeurs obtenues sont de 0,41 mg/L dans la ville de Parakou et de 0,27 mg/L dans celle de Natitingou. Les valeurs sont représentées dans la figure 14 ci-dessus.

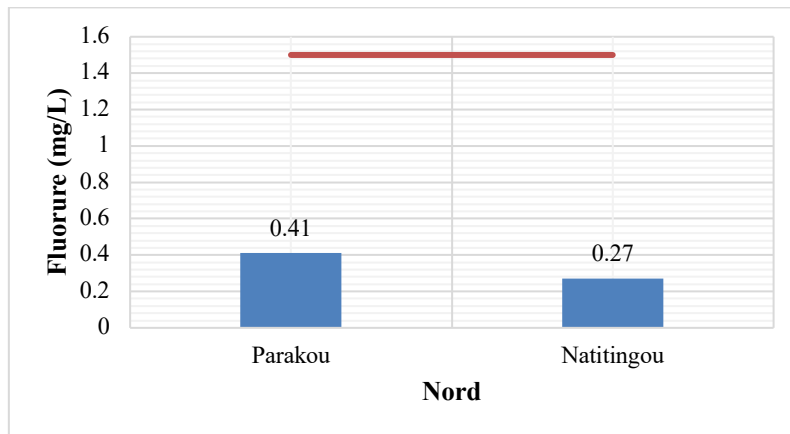


Figure 14 : Mesure du fluorure au Nord

Aux vues des concentration de fluorure obtenues, les ions chlorures ne représentent pas vraiment un risque pour les consommateurs. La consommation prolongée d'eau contenant des concentrations de fluorures dans l'eau qui dépassent 1,5 mg/L peut causer la fluorose dentaire chez les enfants de moins de 9 ans. La fluorose dentaire se caractérise par l'apparition de taches permanentes, blanches ou brunes, sur les dents. La consommation d'eau contenant des concentrations de fluorures dépassant 4 mg/L peut entraîner une fluorose osseuse chez les personnes qui en consomment pendant plusieurs années. La fluorose osseuse rend les os plus fragiles et peut causer des douleurs et des raideurs dans les articulations (SONEB, 2024).

▪ Chlore

Dans le nord, le chlore est absent dans l'eau. Dans le sud, le chlore est de 0,36 mg/L dans la ville de Cotonou ; et de 0,38 mg/L dans les villes de Porto-Novo et de Ouidah (voir figure 15).

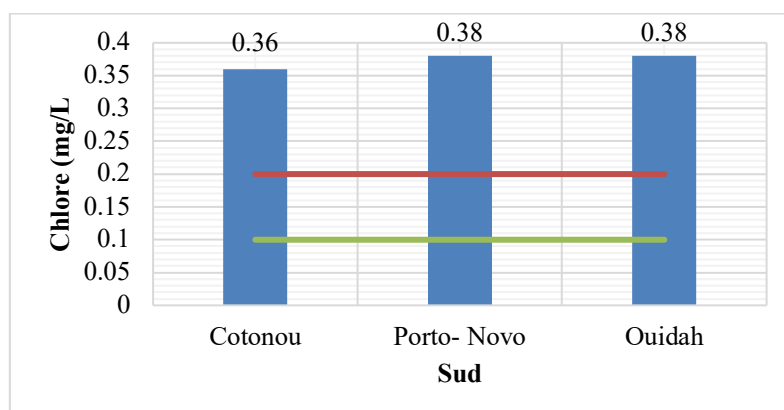


Figure 15 : Mesure du chlore au Sud

Le chlore est introduit dans l'eau à la fin du traitement afin de détruire les bactéries, les germes vivants et les matières organiques. Le caractère rémanent de l'effet du chlore permet d'assurer cette sécurité microbiologique jusqu'au robinet du consommateur (SONEB, 2024). Alors une

eau dépourvue de chlore ne présentera aucun de ces avantages.

3.2. Analyse des résultats bactériologiques

Dans le nord

Dans le nord, les analyses effectuées sont le test de dénombrement des germes banals pour lequel la valeur limite est de 50 UFC/ml et le test présomptif des coliformes, dont la valeur limite est l'absence, soit 0 UFC/100 ml. Les résultats obtenus (0 UFC/100 ml) à Parakou et à Natitingou indiquent une conformité bactériologique et l'absence de risque pour le consommateur.

Dans le sud

Dans le sud, les tests effectués sont aussi le test de dénombrement des germes banals dont le référentiel est de 20 UFC/ml et le test de la recherche présomptive des Coliformes Totaux (CT) qui doit être négatif. Dans la ville de Cotonou, on obtient 01 ; 03 et 00 pour le test de dénombrement des germes banals respectivement pour les trois dates de prélèvement. En ce qui concerne le test de présomption, il est négatif pour toutes les dates de prélèvement. D'après ces résultats, ces eaux sont conformes aux normes de potabilité établies. Dans la ville de Porto-Novo, les résultats obtenus sont de 00 ; 00 et de 01 pour les trois dates et le test de présomption est négatif. Alors, ces eaux sont aussi conformes aux normes de potabilité établies. Dans la ville de Ouidah, le test de présomption est négatif pour les trois dates et les résultats obtenus pour le test de dénombrement des germes banals est de 02 ; 01 et de 00 respectivement pour les dates 1 ; 2 et 3. Au vue de l'ensemble de ces résultats, ces eaux sont conformes aux normes de potabilité établies.

- **Les coliformes totaux (CT):** Des concentrations élevées de coliformes totaux témoignent d'une détérioration de la qualité de l'eau (Guessoum et al., 2015). Cette contamination peut provenir de sources proches telles que des épandages de polluants, du fumier, des puits perdus ou des engrais chimiques situés à proximité des forages, ainsi que d'un assainissement insuffisant autour des points de prélèvement. Le risque sanitaire associé à la présence des coliformes totaux est généralement faible, sauf pour certaines souches d'*Escherichia coli* ou des bactéries opportunistes susceptibles de provoquer de graves maladies chez les personnes vulnérables (Shamimuzzaman, 2019). Toutefois, les études ont montré qu'il existe des cas où la détection de coliformes totaux est associée à l'apparition d'épidémies d'origine hydrique (Shamimuzzaman, 2019).
- **Les coliformes fécaux (CF):** Les coliformes fécaux, tels qu'*Escherichia coli*, proviennent généralement des animaux et des humains, avec des sources possibles incluant le fumier, le pâturage, les latrines et la faune sauvage. Leur présence peut indiquer la présence de microorganismes pathogènes, comme les salmonelles ou le virus de Norwalk (Barakat et al., 2018). Les coliformes fécaux signalent également un risque sanitaire d'origine hydrique, se manifestant le plus souvent par des troubles gastro-intestinaux (nausées, vomissements, diarrhées), habituellement de courte durée (Guessoum et al., 2015).

4. Conclusion

L'étude a permis de comparer la qualité de l'eau de boisson utilisée dans les casernes militaires du Nord et du Sud du Bénin. L'objectif était d'évaluer la conformité de l'eau aux normes standard afin d'identifier les causes et les facteurs associés à une éventuelle non-conformité et d'appréhender les conséquences sanitaires sur le corps militaire au Bénin. Les résultats montrent que la qualité de l'eau est globalement conforme aux normes nationales de potabilité, tant sur le plan physico-chimique que bactériologique aussi bien dans le Nord pour les eaux de forage non traitées que pour l'eau potable sortant des robinets dans les casernes du Sud. Cependant, certaines anomalies ont été relevées, notamment le pH trop acide et une concentration élevée en nitrates dans les eaux de forages à Natitingou, ce qui constitue un risque de santé pour les usagers de cette caserne. Il a été observé en outre, une dureté très élevée dans les eaux de la ville de Parakou sans grande conséquence sur la santé. Les eaux des autres casernes respectent les critères de qualité, avec des paramètres physico-chimiques et bactériologiques conformes. Bien que, des différences régionales soient observées, l'eau des casernes est jugée potable et adaptée à la consommation, mais des mesures correctives pourraient être envisagées pour les zones présentant des écarts significatifs. Ces eaux pourraient donc, avec des traitements minimaux, être utilisées comme ressources alternatives à l'utilisation de l'eau potable du service public.

Références

ANAEMPR. (2024). Accès universel à l'eau potable au Bénin, rapport semestriel (Janvier-Juin). 48 pages.

APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.)*. Washington DC: American Public Health Association.

Barakat, A., Meddah, R., Afdali, M. & Touhami, F. (2018). Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). *Physics and Chemistry of the Earth*, 104, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.01.006>.

Bojer, A. K., Abshare, M. W., & Nadarajah, S. (2025). Evaluating the effect of climate change and fast population growth on water supply and demand in Jimma town, Ethiopia, using the WEAP modeling tool. *Journal of Water and Climate Change*, 16(4), 1586-1617. <https://doi.org/10.2166/wcc.2025.751>.

EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS), Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Di Domenico, A., Dusemund, B., ... & Younes, M., (2017). Re-evaluation of sodium nitrate (E 251) and potassium nitrate (E 252) as food additives. *EFSA Journal*, 15(6), e04787. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4787>.

Latham, M. C. (2021). *La nutrition dans les pays en développement*. FAO, Rome, Italie. 530 pages.

Garcia, E. (2024). The essential role of water : A critical resource for life and sustainability. *Journal of Aquatic Pollution and Toxicology*, 8, 27.

Guessoum, H., Benbrahim, F., Halilat, M. T., Laouar, F., Bensalama, M., & Darem, S. (2015). Pollution biologique des eaux phréatiques de la région de Ghardaia (Cas de Sebseb). *Journal of Advanced Research and Science and Technology*, 2(2), 246-257.

Hossain, M. Z., & Floryan, J. M. (2015). Natural convection in a horizontal fluid layer periodically heated from above and below. *Physical Review E*, 92(2), 023015.

Machona, S., Ogendi, G. M., & Ahana, B. S. (2025). Assessment of groundwater quality for drinking using the water quality index. *Water Quality Research Journal*, 60(1), 151-163.

OMS. (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif.

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et al. (2009). *L'analyse de l'eau. 9e éd. entièrement mise à jour*. Dunod, Paris, France. Pages 86,78, 50.

Schürch, M., Bulgheroni, M., Sinreich, M., et al. (2018). Température des eaux souterraines, un aperçu de l'état et de l'évolution en Suisse. *AQUA & GAS*, 7/8, 40-48.

SONEB. (2017). Contrôle de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau de boisson. Tome 1.

SONEB. (2024). Fiches de suivi de la qualité de l'eau distribuée (normes béninoises et OMS).

ZfaÖ, Lu., S., Jost, D., Schürmann, R., Lucerne. (2003). *L'eau souterraine*. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, Suisse. Page 16.

Information des auteurs

Idrissou OKE

Laboratoire des Sciences et Technique de l'Eau (LSTE), Département de Génie de l'Eau et Assainissement, Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin

ismael.oke@gmail.com

Bernadin ELEGBEDE MANOU

Laboratoire des Sciences et Technique de l'Eau (LSTE), Département de Génie de l'Eau et Assainissement, Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin

elegbedebern@yahoo.fr

Gaston OUIKOUN

Institut National de la Recherche Agronomique du Bénin, Abomey-Calavi, 01 BP 884, Benin

ouikoungaston@yahoo.fr

Luc KOUMOLOU

Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire. Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Benin

heraluc@yahoo.fr

Jaël AISSEKOU

Laboratoire des Sciences et Technique de l'Eau (LSTE), Département de Génie de l'Eau et Assainissement, Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin

jaelaissekou0@gmail.com

Martin AINA

Laboratoire des Sciences et Technique de l'Eau (LSTE), Département de Génie de l'Eau et Assainissement, Institut National de l'Eau, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526, Cotonou, Bénin

marnickson@yahoo.fr