



ISSN: 0976-3376

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

ASIAN JOURNAL OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Asian Journal of Science and Technology
Vol. 13, Issue, 04, pp.12078-12087, April, 2022

RESEARCH ARTICLE

QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU CONSOMMEE EN MILIEU RURAL EN RDC: CAS DE LA PROVINCE DE LA TSHOPO

José-Zobel Mokili Kanda Etikola^{1& 2}, Zoé-Arthur KazadiMalumba³ and René Oleko Woto³

¹Institut Supérieur des Techniques Médicales de Basoko, Basoko-RDC

²Doctorant en sciences Biotechnologiques, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, Kisangani-RDC, Congo

³Docteur en sciences Biotechnologiques, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, Kisangani-RDC

ARTICLE INFO

Article History:

Received 05th January, 2022

Received in revised form

28th February, 2022

Accepted 17th March, 2022

Published online 30th April, 2022

Key words:

Quality, Water of Consumption,
Physico-Chemical,
Farming Environment, DRC.

ABSTRACT

The present work has for objective to make a survey compared of the physico-chemical quality of the consumption waters between the certified villages and no certified of the zones of health of the Province of the Tshopo, in DRC. To the total 2.646 samples of these waters have been appropriated and have been submitted to the analyses. On every sample, the debit, the temperature, the pH, the turbidity, the electric conductivity, the free chlorine, ions ammonium, nitrites, nitrates, phosphates and iron have been determined. The physical parameters have been determined in situ thanks to the automatic electric devices. The chemical parameters are analyzed by the methods photométricals. The middle values of the parameters physicochimiques of waters analyzed between the certified villages and no certified gotten submitted to the statistical treatments present themselves respectively as follows: pH (6,6±6,6); debit (8,6±6,6 litres/minute), temperature (25,5±25,8°C), turbidity (2,56±2,5 NTU), conductivity (59,3±78 µS/cms), NH₄⁺ (0,51±0,44 mg/l), F⁻ (0,04±0,15 mg/l), Cl⁻ (0 mg/l), NO₂⁻ (0,03±0,12 mg/l), NO₃⁻ (45,24±77,61 mg/l), PO₄³⁻ (0,83±0,98). The gotten results showed meaningful differences of the point of seen concentration in physico-chemical elements of waters consumed between the certified villages and non certified. Therefore, in farming environment of the Province of the Tshopo, there is a strong concentration in physico-chemical elements in waters consumed to the non certified villages that those of certified them. Therefore, in farming environment of the Province of the Tshopo, there is a strong concentration in physico-chemical elements in waters consumed to the non certified villages that those of certified them, but also between the zones of health. The hydraulic works of provision in water of consumption in high debit are observed in the zones of health of Basoko, Opala and of Bafwasende, with an average of 14,9350l/min ;13,49 l/min and 9,0167 l/min respectively. The middle pH of waters analyzed in the different zones of health varies from 6,30 to 6,70. A light acidity of water is observed in the zone of health of Lubunga, with a pH equal to 6,30. on the other hand, all remain zones of health revealed a pH in conformity with the norms of the WHO, that means variable pH between 6,5 to 8,5. The waters of the Zones of health of Bafwasende and Lubunga present a turbidity raised in relation to those of the other zones of health, with an average of 5 NTU and 4 NTU respectively. The highest temperatures of waters analyzed have been observed in the zones of health of Opala and Basoko, either an average of 26,5°C and 26,4°C respectively. There is total absence of free chlorine in the waters of all points of water analyzed. He/it observed himself/itself a strong concentration of nitrate and nitrite in the zone of health of Opala, either a middle concentration of 271,1667 mg/l and 0,2167 mg/l respectively. The values of ammonium are accentuated more in the zones of health of Basoko and Wanurukuras, either a concentration of 0,7833 mg/l and 0,7583 mg/l respectively. The most elevated conductivity is gotten in the zone of health of Basoko and lowest in the zone of health of Wanurukura. The rate of the ions phosphate in the samples of consumption water analyzed is superior compared to the one fixed by the WHO (0 to 0,02 mg/l) in all zones of health, either 1,167 mg/l in Bafwasende; 1,150 mg/l in Lubunga, 1,047mg/l in Wanirukura; 0,905 mg/l in Opala; 0,761 mg/l in Yakusu; 0,669 mg/l to Bengamisas and 0,650 mg/l in Basoko. The rate raised of iron has been observed in Basoko and Yakusu, either 0,300 mg/l and 0,270 mg/l respectively.

Citation: José-Zobel Mokili Kanda Etikola, Zoé-Arthur KazadiMalumba and René Oleko Woto, 2021. "Qualite physico-chimique de l'eau consommée en milieu rural en rdc : cas de la province de la tshopo", *Asian Journal of Science and Technology*, 11, (04), 12078-12087.

Copyright © 2021, José-Zobel Mokili Kanda Etikola et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

La question de l'eau se pose avec acuité, tant sur le plan mondial aussi bien au niveau des pays aux ressources hydriques faibles. Les enjeux sont énormes notamment du point de vue approvisionnement, distribution en eau potable et certains traitements qu'on lui fait subir. L'écart observé entre l'offre et la demande, la concurrence sectorielle de l'alimentation en eau potable (agriculture, tourisme, pollution des eaux, maladies hydriques...) sont autant de problèmes posés non seulement aux pays en développement mais également aux pays industrialisés. Cependant, la problématique de l'eau reste un sujet crucial : l'alimentation des villes en eau potable a toujours été une priorité absolue et recouvre plusieurs aspects :  conomique, environnementale, technique politique et socioculturelle (MWANZA *et al.*, 2019). L'eau est indispensable à la survie de tous les êtres vivants. C'est donc une ressource non substituable. Cependant, elle peut aussi contenir des parasites responsables de la transmission de maladies dites hydriques. Elle constitue donc, un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets. La potabilisation de l'eau destinée à la consommation humaine doit bénéficier d'une attention particulière. Cette eau ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes pathogènes nocifs susceptibles à plus ou moins long terme à la santé des individus (John P.H. & Donald A.K., 2010 ; OMS, 2003).

Des centaines de milliers de personnes vivant dans des milieux ruraux et des grandes villes africaines font face aujourd'hui à une crise d'approvisionnement en eau potable et à des déficiences en matière d'assainissement. Les constructions anarchiques et les conditions socio-économiques incontrôlables des villes ou villages africaines jointe à une forte croissance démographique entraîne une inadaptation de l'assainissement, notamment dans les villes où la maîtrise de la qualité de l'environnement devient un enjeu majeur de santé publique (OMS, 1994 ; Kjellstrom T *et al.*, 2007). En Afrique, les eaux souterraines subissent de multiples contraintes dues à une forte croissance démographique et à l'inadaptation ou même l'absence d'assainissement (Boubakar, 2010). En effet, les réseaux d'égouts, les fosses septiques, les eaux usées des usines et les déchets solides sont les sources principales de pollution des eaux souterraines dans le secteur urbain. Dans les zones périurbaines et rurales, l'agriculture, par l'intermédiaire des intrants agricoles, contribue aussi à dégrader la qualité des nappes et cours d'eau (Bricha *et al.*, 2007). La RDC dispose d'importantes ressources en eau avec des vastes régions constituées de formations sédimentaires (sables, gr s), sièges d'aquifères continus sous forme de nappes libres et de nappes profondes captives ou semi-captives, et est class e parmi les pays dont les besoins en eau sont les plus importants. En outre, la croissance démographique galopante des dernières années a soumis les grands centres à une forte extension. De ce fait, ces centres évoluent sans plan réel de planification spatiale et d'aménagement urbain. La plupart des nouveaux quartiers des grands centres sont installés dans des zones quelquefois impropres à l'habitation. De plus, le réseau d'adduction d'eau ne suit pas cette extension. Les quelques quartiers desservis sont soumis aux coupures intempestives. Cette situation amène certains ménages disposant des moyens à se doter des forages

  motricité humaine dont la qualité de l'eau n'a pas toujours été évaluée par des équipes techniques qualifiées. Certains ménages vivant dans la précarité et loin des forages manuels, se contentent des eaux de puits traditionnels pour la consommation (WHO/UNICEF, 2008). Au vu de la gestion irrationnelle des différentes sources de contamination et des risques potentielles qui pèsent sur la qualité de ces eaux, des analyses physico chimiques des eaux de consommation en milieu rural de quelques villages de la Province de la Tshopo ont été effectuées. En effet, nous avons pensé que les eaux consommées par la population rurale de la province de la Tshopo ne répondent pas aux normes de potabilité (qualité), et qu'elles comportent des substances nuisibles à la santé.

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la qualité physico-chimique de l'eau consommée par la population rurale en RDC, particulièrement celle de la province de la Tshopo. De façon spécifique, elle permet de déterminer la qualité physico-chimique des eaux de consommation (points d'approvisionnement et ménages), conformément aux normes existantes et identifier les substances chimiques indicatrices de la pollution de l'eau, selon les directives de l'OMS.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Milieu d'étude (Pronant Tshopo, 2022) : Située au centre de la République Démocratique du Congo (RDC), la Province de la Tshopo s'étend sur une superficie de 197 657 Km². Elle est donc la plus vaste province de la RDC. Sa population est estimée à 3.102.477 habitants, avec une densité de 15,6 hab. /Km². Il est situé à 1 13'603'' de latitude Nord par rapport à l' quateur et à 23 36'232'' de longitude Est par rapport au méridien de Greenwich, avec une altitude moyenne de 473 m au-dessus du niveau de la mer ; mais aussi est située départ et d'autre du fleuve Congo. Sur le plan administratif, la province comprend 1 Ville de Kisangani, 6 communes (Makiso, Kisangani, Kabondo, Mangobo, Lubunga et Tshopo) ; 7 Territoires administratifs (Basoko, Isangi, Yahuma, Banalia, Bafwasende, Ubundu et Opala) ; 199 Secteurs et Chefferies ; 23 Zones de Santé et 426 Aires de Santé.

Elle est limitée naturellement:

- A l'Est par la rivière Avakubi avec la Province de l'Ituri et Nord Kivu ;
- A l'Ouest par la rivière Itimbiri avec la province de la Mongala et Tshuapa ;
- Au Nord par la rivière Télé avec les provinces de Bas-Uélé et Haut-Uélé ;
- Au Sud par les Provinces de Maniema et de Sankuru.

La Province de la Tshopo connait un seul climat équatorial, selon la classification de Köppen-Geiger, caractérisé par une température moyenne annuelle de 25 C, avec une amplitude thermique annuelle de 1,7 C. Les températures moyennes minimales et maximales varient entre 18 C et 30 C. Les précipitations moyennes varient de 64,1 à 494,6 mm entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Elles sont irrégulières dans le temps et dans l'espace. La Province de la Tshopo connait quatre saisons économétriques :

- La grande saison des pluies : s'étend du 15 Août au 15 décembre ;

- La petite saison des pluies : va du 15 mars au 15 mai ;
- La grande saison sèche : s'étend du 16 mai au 14 Août ;
- La petite saison sèche : va du 16 Décembre au 14 mars

La végétation de la Province de la Tshopo est dominée par la forêt dense, constituée des arbres et arbustes de densité moyenne. En outre, on y trouve le sol argilo-sablonneux, qui fait de ferra sol (latasols jaune, rouge et ocre), Ferri sol et areno –ferra-sol, et couvre toute la province ; et que la cuvette centrale constitue le relief le plus dominant. Par son volume et son espace, la Province de la Tshopo constitue une importante artère hydrographique de la RDC. Elle est affluée par une Fleuve, 9 rivières et plusieurs ruisseaux :

- Fleuve: Congo.
- Rivières : Aruwimi, Tshopo, Lindi, Lomami, Itimbiri, Maiko, Loleka, Lopori, Lowa.
- Ruisseaux : Lokombe, Lonua, Loleka, Mokeke, Moliwa, Lobaie, Bunga, Lulu...

Les Ruisseaux de la Province de la Tshopo constituent le potentiel siège des tourbières par excellence de ladite province.

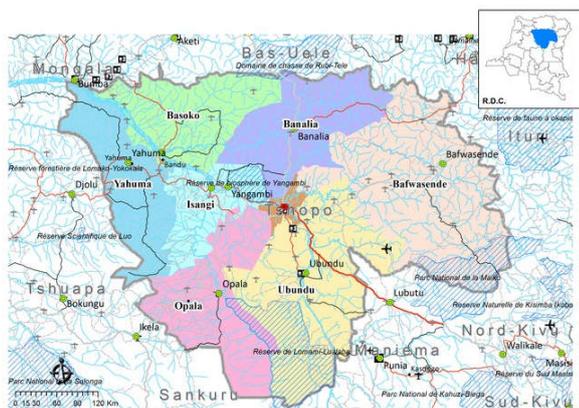


Figure 1. Carte administrative de la Province de la Tshopo (Caid, 2022)

Cadre de l'étude : Notre étude a été menée dans les 7 sept zones de santé de la province de la Tshopo, à savoir : Bafwasende, Basoko, Bengamisa, Lubunga, Opala, Waniukula et Yakusu, précisément dans 6(six) villages par Zone de santé, en raison de 3(trois) villages certifiés par l'organisation non gouvernementale Village Assaini et 3(trois) villages non certifiés. Les 23(Vingt-trois) différentes zones de santé de la Province de la Tshopo sont représentées dans la carte ci-après :



Figure 2. Les différentes zones de la Province de la Tshopo (Pronanut Tshopo, 2022)

Matériels

Nous nous sommes servis du Kit complet de wagtech pour réaliser nos analyses. Les matériels ci-après nous ont aidé à bien mener nos investigations :Appareil photo numérique, Turbidimètre, comparateur à chlore, pH-mètre, conductivimètre, Thermomètre, Photomètre, Flacon en verre pyrex, Erlen Meyer, cylindre gradué et comprimés palintests pour les différents tests.



Figure 3. Kit de Wagtech

Méthodes

Notre étude est transversale et traite sur la qualité physico-chimique et bactériologique, mode de gestion de l'eau de consommation et les risques sanitaires liés à la consommation de l'eau contaminée ; mais aussi l'assainissement en milieu rural. Elle couvre une période allant du mois de Janvier 2017 au mois de Décembre 2020 ; soit une période de 3 ans de deux principales saisons de l'année : sèche et pluvieuse. La Population d'étude est constituée de 42 points d'approvisionnement en eau, dont 21 sources d'eau aménagées, 17 sources d'eau non aménagées, 2 Forages et 2 rivières, repartis dans les 42 villages des 7 zones de santé, retenus par rapport à leur fréquentation par la population du milieu d'étude. Les échantillons d'eau analysés étaient prélevés au niveau des sources d'eau aménagées et non aménagées, des forages ; ainsi qu'au niveau des cours d'eau que certaines populations utilisent régulièrement pour leur approvisionnement, mais aussi au niveau des ménages. Les flacons en verre pyrex, préalablement stérilisés pendant une heure à 180°C dans le Four Pasteur, nous ont permis de prélever les échantillons d'eau analysés.

Ces prélèvements ont été effectués entre 6 à 9 heures, dans les conditions aseptiques, aussi pendant les différentes saisons de l'année ; et que les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur terrain à se servant du Kit de Wagtech. Ainsi, nous avons effectué au total 2.646 prélèvements, dont 126 dans 42 points d'eau et 2.520 dans 840 ménages ; et que chaque point d'eau ou ménage a fait l'objet de 3 prélèvements pour les analyses. Suite au manque de certains appareils spécifiques, nous nous sommes limités au dosage des paramètres physico-chimiques ci-après : pH, Chlore libre, la température, débit point d'eau, Nitrate (mg/l), Nitrite (mg/l), Ammonium, Conductivité électrique, Ion phosphate et Fer. Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide du logiciel SPSS, version20, pour tracer les tableaux et les graphiques, en rapport avec les différents paramètres analysés. Cependant, dans ce logiciel, nous avons utilisé les tests T-Student pour égalité des moyennes et ANOVA pour l'analyse de variance. Pour ce faire, le Test de Levene nous a permis de réaliser des comparaisons sur l'égalité des variances entre les villages certifiés et non certifiés, et celui de Student-Newman-Keuls des moyennes groupées des différents paramètres

physico-chimiques nous a permis de faire la comparaison entre les zones de santé ciblées pour notre étude, au seuil de probabilité $p=5\%$. Les paramètres mesurés ont été évalués suivant les normes de l'OMS (2011) pour la qualité des eaux de consommation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sont présentés dans les figures ou Tableaux ci-dessous. Les normes pour la qualité de l'eau de consommation de l'OMS ont servi de base à l'interprétation de nos résultats.

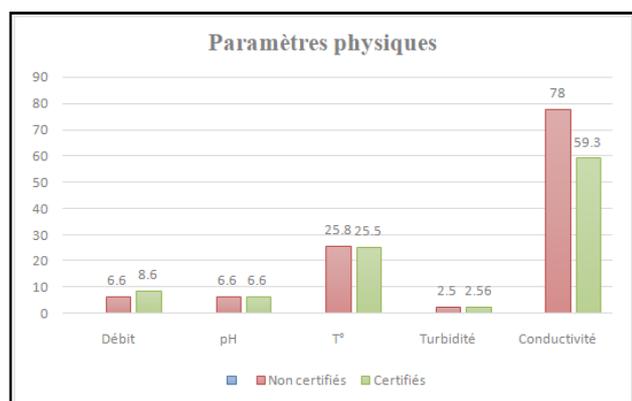


Figure 4. Valeurs moyennes des paramètres physiques des eaux analysées

L'analyse de la figure 4 montre qu'il existe de différence significative des paramètres débit et conductivité électrique de l'eau entre les villages certifiés et non certifiés, avec les valeurs moyennes variables de 8,6 litres/minute et 6,6 litres/minute, puis de 59,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement. Par contre, il n'y a pas de différence significative du point de vu pH, température et turbidité, avec des valeurs moyennes ex-quo de 6,6 ; 6,6°C et 2,5 NTU respectivement. Kahoul et Touhami, (2014) ont trouvé des valeurs moyennement minéralisées comprises entre 300 et 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les eaux de consommation de la ville d'Annaba en Algérie. Au vu de ces résultats par rapport aux paramètres physiques à différence significative, notre série corrobore celle de Mahamat *et al.* (2015), qui ont évalué la qualité physico-chimique des eaux d'adduction publique de la Société Tchadienne des Eaux à N'djamena au Tchad, où ils ont trouvé une conductivité électrique de 67,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ainsi, cette différence significative est liée à l'élimination de certains ions lors de la chaîne d'eau. Les valeurs moyennes de la conductivité électrique de nos échantillons sont conformes aux normes de l'OMS. Nous pensons à ce titre que les eaux consommées en milieu rural en RDC, dont particulièrement dans la province de la Tshopo peuvent être considérées comme des eaux en minéralisation normale, ayant une conductivité comprise entre 59,3 à 78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Rodier, 2009).

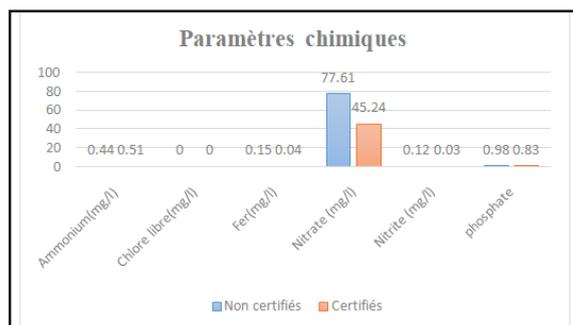


Figure 5. Valeurs moyennes des paramètres chimiques des eaux analysées

Les résultats de la figure 5 révèlent qu'il existe une différence significative des éléments chimiques dans les eaux de consommation analysées au cours de notre étude, entre les villages certifiés et non certifiés. En outre, il y a absence totale du chlore libre dans les eaux consommées et analysées, en milieu rural en RDC, et que les seules substances indésirables trouvées dans lesdites eaux sont les Nitrates et nitrites, avec des proportions moyennes respectives de $45,24 \pm 77,61 \text{ mg/l}$ et $0,03 \pm 0,12 \text{ mg/l}$ entre les villages certifiés et non certifiés.

Ces deux composés se sont révélés plus dans les villages non certifiés que ceux certifiés. Ces valeurs sont très élevées par rapport à celles fixées par l'OMS, soit de 0 à 50 mg/l pour le nitrate et $< 0,1 \text{ mg/l}$ pour le nitrite. Nous sommes de même avis que Mahamat et ses collaborateurs (2015), qui pensent que ces valeurs élevées de nitrate et nitrite dans l'eau de consommation sont dues aux activités anthropiques et industrielles, aux fosses septiques, au stockage de déchets animaux et des eaux usées situées entre 3 et 6 mètres de profondeur et du fumier à la surface du sol, qui, pendant le ruissellement se retrouvent dans les ouvrages en eau de consommation.

Cependant, nous pensons comme certains auteurs qui déclarent que les risques potentiels de cancérogénicité (cancer gastrique et de la prostate) et de tératogénécité observés ces dernières années, sont aussi associés à l'ingestion des nitrates/nitrites via la formation de nitrosamines et de nitrosamides désignés sous le nom des composés N-nitrososamines dans l'eau, bien qu'ils ne soient pas cancérogènes en eux-mêmes. Aussi, une concentration élevée en nitrates dans l'eau potable entraîne aussi un risque génotoxique et de lymphomes non Hodgkiniens élevé (Levallois et Phaneuf, 1992). Le test-t de Student sur l'égalité des moyennes appliqué à ces deux types d'échantillons indépendants du tableau 1 montre que, les probabilités de la majorité des éléments physico-chimiques analysés sont largement inférieures au seuil de 5%, c'est-à-dire $0,000 < 0,05$, sauf pour les paramètres pH et turbidité où les probabilités sont supérieures au seuil de 5%, c'est-à-dire $0,846 > 0,05 < 0,789$ respectivement.

En guise de conclusion, la différence est très significative entre le niveau de concentration en éléments physico-chimiques des eaux consommées dans les villages certifiés et celles des non certifiés. Donc, en milieu rural de la Province de la Tshopo, il y a une forte concentration en éléments physico-chimiques dans les eaux consommées aux villages non certifiés que celles des certifiés. A ces résultats, nous pensons comme Makoutode et ses collaborateurs (1996) au Bénin, qui estiment que la concentration élevée en éléments physico-chimiques dans les eaux consommées en milieu rural est plus observée dans les zones à faible niveau d'hygiène et d'assainissement. Quand à ce qui nous concerne, la concentration élevée en éléments physico-chimiques dans les villages non certifiés est dû au non aménagement des ouvrages d'approvisionnement en eau dans lesdits milieux, mais aussi à la mauvaise gestion de la chaîne de l'eau. Le test d'ANOVA à un facteur, appliqué aux échantillons indépendants des eaux analysées des sept Zones de santé rurales de la province de la Tshopo consigné dans le tableau 2 montre que, les probabilités de tous les éléments physico-chimiques analysés sont largement inférieures au seuil de 5%, c'est-à-dire $0,000 < 0,05$. D'où, la différence est très significative entre le niveau de concentration en éléments physico-chimiques des eaux consommées dans les sept zones de santé. Ainsi, le test de Student-Newman-Keuls nous a

permis de tracer les graphiques groupant les zones santé par paramètre, en fonction de leur concentration en éléments physico-chimiques:

Débit des points d'eau: L'analyse de la figure 6 révèle que les ouvrages hydrauliques d'approvisionnement en eau de consommation en haut débit sont observés dans les zones de santé de Basoko, Opala et de Bafwasende, avec une moyenne de 14,9350 l/min ; 13,49 l/min et 9,0167 l/min respectivement.

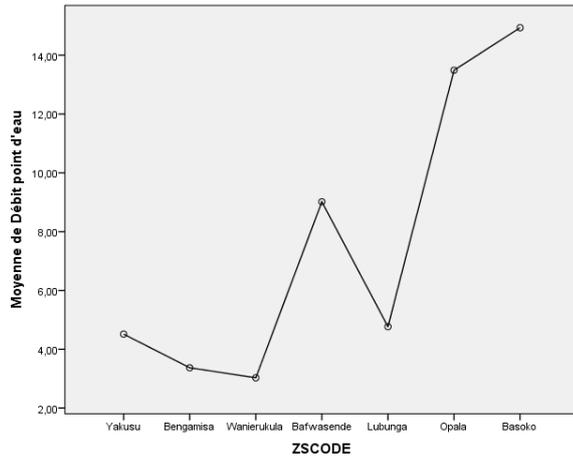


Figure 6. Débit moyenne des points d'eaux analysées par zone de santé

Par contre, les ouvrages à faible débit sont observés dans les zones de santé de Lubunga, Yakusu, Bengamisa et Wanierukura, soit une moyenne de 4,7667 l/min ; 4,5143 l/min ; 3,3698 l/min et 3,0283 l/min respectivement. Helena Defolie (2002), le débit de l'ouvrage dépend du bassin versant, du lit de l'ouvrage, mais aussi de la maintenance de l'ouvrage. En effet, le haut débit observé dans la zone de santé de Basoko est dû aux chute d'eau observées le long des rivières Lulu et Aruwimi.

pH

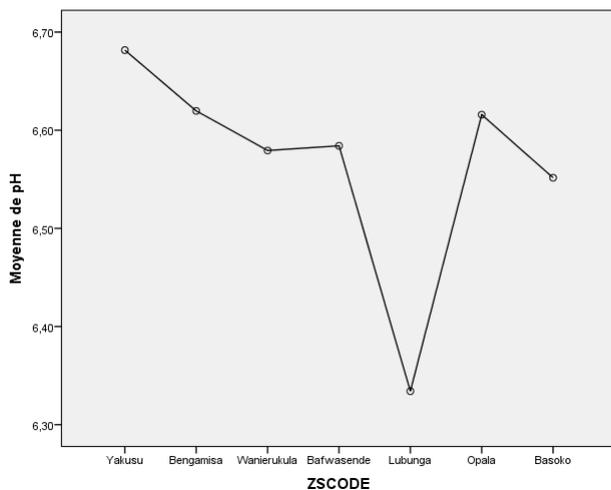


Figure 7. pH moyen des eaux analysées par zone de santé

La figure 7 montre que le pH moyen des eaux analysées dans les différentes zones de santé varie de 6,30 à 6,70. Une légère acidité de l'eau est observée dans la zone de santé de Lubunga, avec un pH égal à 6,30. Par contre, toutes les autres zones de santé ont révélé un pH conforme aux normes de l'OMS, c'est-à-dire pH variable entre 6,5 à 8,5.

D'après la littérature, les phénomènes d'acidification des eaux douces peuvent être classés en trois grandes catégories selon leur origine : acidification par drainage minier acide, acidification par déversement (accidentels ou chroniques) d'acides et acidification par absorption et dissolution de gaz ou particules acides (ex : CO₂ émis en excès dans l'atmosphère) (Le Gall, 2004). Ainsi, la légère acidité de l'eau observée à Lubunga est due à la présence des composés soufrés, provenant essentiellement de l'utilisation de combustibles fossiles, de la pollution directe de l'eau par des substances acidifiantes (lessivage, vaisselle, ruissellement) autour des ouvrages en eau, des chaudières industrielles, privées et les moteurs ; des composés soufrés émis par l'utilisation de combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel, condensats de gaz naturel).

Turbidité

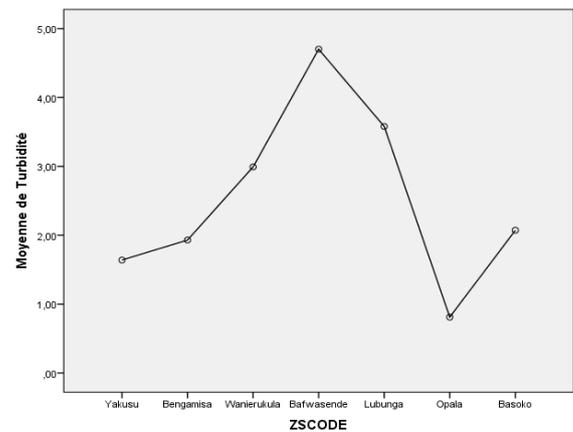


Figure 8. Turbidité moyenne des eaux analysées par zone de santé

Comme on peut le constater dans la figure 8, les eaux des Zones de santé de Bafwasende et de Lubunga présentent une turbidité élevée par rapport à celles des autres zones de santé, avec une moyenne de 5 NTU et 4 NTU respectivement.

a. Température

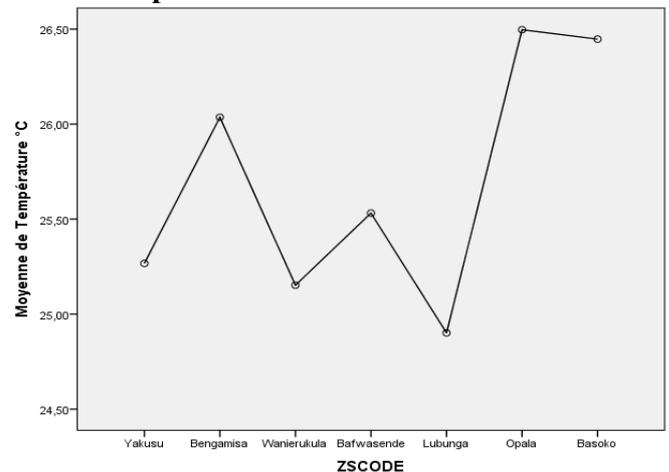


Figure 9. Température moyenne des eaux analysées par zone de santé

La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le trouble. Elle est causée par des matières telles que l'argile, le limon, les matières organiques et inorganiques fines, le plancton et d'autres organismes microscopiques en suspension dans l'eau. Les matières en suspension peuvent protéger les microorganismes pathogènes contre la désinfection chimique

ou aux rayons ultraviolets (UV) (Santé Canada, 2003). Quant aux turbidités observées dans les eaux des zones de santé de Bafwasende et Lubunga, elles sont dues aux aérosols (poussières) provoqués par le passage des gros véhicules ou moyens de transports, car les dites zones de santé sont constituées des principales routes à fortes activités commerciales, qui relient les dites zones de santé aux autres territoires ou villes du pays.

Il se dégage de la figure 9 que les plus hautes températures des eaux analysées ont été observées dans les zones de santé d'Opala et de Basoko, soit une moyenne de 26,5°C et de 26,4°C respectivement. La température de l'eau est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels, de même que les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (WHO, 1987). En rapport avec les normes de potabilité de l'eau fixées par l'OMS (1994), l'eau est : excellente lorsque la température varie entre 20 et 22 °C ; passable lorsqu'elle oscille dans l'intervalle de 22 à 25 °C ; médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30 °C. Cependant, la hausse de température des eaux de consommation observée dans les zones de santé d'Opala et Basoko sont le fruit de leur position géographique, où elles se rapprochent de la ligne de l'Equateur dans laquelle se situe le soleil, influençant ainsi l'augmentation de la température des eaux, avec comme conséquences la prolifération des microorganismes dans l'eau et apparition des maladies à transmission hydrique.

Chlore libre

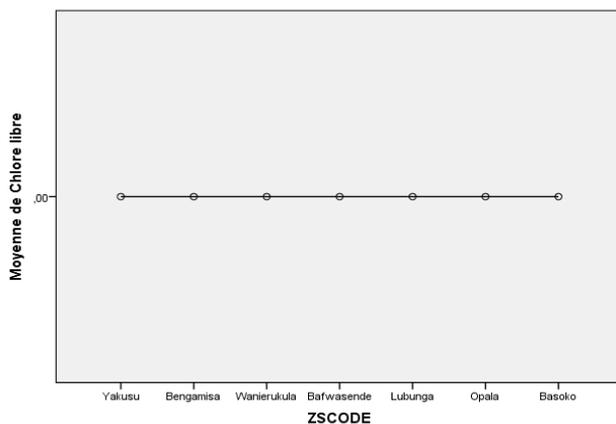


Figure 10 : Concentration moyenne de Chlore dans les eaux analysées par zone de santé

La figure 10 confirme qu'il y a absence totale de chlore libre dans tous les points d'eau analysés. Les chlorures sont des anions inorganiques contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent perçus comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Mehounou et al., 2016).

Puisque l'eau de consommation sert, majoritairement, à boire et préparer à manger, il est indispensable de neutraliser tous virus et bactéries pathogènes pour la rendre potable et sans danger pour notre santé. La désinfection doit garantir à l'eau

une qualité sanitaire irréprochable. Et, grâce à un large champ d'actions, le chlore permet d'être particulièrement efficace à la protection de l'eau contre les contaminants depuis son point d'approvisionnement jusqu'aux ménages. Son absence dans l'eau expose cette dernière à l'insécurité microbiologique (Phillippe Beaulieu, 2021). Quant à nos investigations, l'absence totale du chlore libre dans les eaux analysées prouve la non maintenance des ouvrages d'adduction d'eau en milieu rural en RDC, dont particulièrement ceux de la Province de Tshopo.

Nitrate et Nitrite

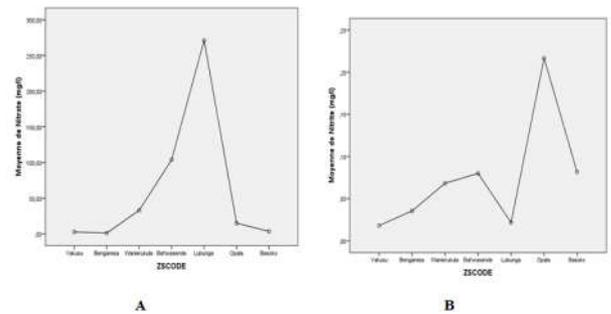


Figure 11. Concentration moyenne de Nitrate (A) et Nitrite (B) dans les eaux analysées par zone de santé

Il ressort de la figure 11 (A) et (B) qu'il y a une forte concentration de nitrate et nitrite dans la zone de santé d'Opala, soit une concentration moyenne de 271,1667 mg/l et de 0,2167 mg/l respectivement. La contamination aux nitrates/Nitrites des eaux entraîne généralement une eutrophisation (apport en excès de substances nutritives (nitrates et phosphates) dans un milieu aquatique pouvant entraîner la prolifération des végétaux aquatiques, parfois toxiques) importante de ces eaux par le développement de la biomasse. L'agriculture est en grande partie responsable de l'augmentation des nitrates/nitrites par l'utilisation d'engrais (ammonitrate, urée, etc.) et la culture de légumineuses. Les nitrates NO_3^- sont un produit de la dégradation de l'azote par les bactéries. Les nitrates/nitrites sont stables dans le sol et peuvent y rester très longtemps. La pollution aux nitrates/nitrites résulte d'un effet cumulatif depuis le début de la fertilisation des cultures par l'apport massif d'amendements organiques (fumier, lisier, résidus de récoltes, etc.) et d'engrais minéraux (Mohammad et al., 2004).

En outre, selon Mariotti (1994), la présence de nitrates/nitrites dans l'eau peut résulter:

- de l'utilisation d'engrais chimiques et de fumiers;
- d'installations septiques déficientes ;
- de la décomposition de matières végétales et animales.

En plus de l'eau potable, certains aliments comme les légumes et les viandes froides peuvent aussi renfermer de faibles quantités de nitrates/nitrites. Selon les connaissances actuelles, la consommation régulière d'eau potable fortement contaminée aux nitrates/nitrites ou pendant plusieurs dizaines d'années peut entraîner un risque de cancer, mais aussi méthémoglobinémie, goitre, malformations congénitales, hypertension, etc. Une forte contamination aux nitrates/nitrites provoque une coloration bleutée de la peau et des lèvres des nourrissons. Les bébés de moins de six mois exposés aux nitrates/nitrites peuvent avoir des problèmes respiratoires à

cause d'un ralentissement du transport de l'oxygène entre leurs poumons et leurs tissus. Faire bouillir l'eau pour éliminer les nitrates/nitrites est inutile, car ils ne s'évaporent pas. Cela pourrait même faire augmenter leur concentration dans l'eau (Québec, 2016). Quant à nos résultats par rapport aux nitrates/nitrites observés dans la zone de santé d'Opala, nous pensons comme Mariotti (1994), qui confirme que la présence de nitrates/nitrites dans l'eau résulte de l'utilisation d'engrais chimiques et de fumiers, de l'installations septiques déficientes et de la décomposition de matières végétales et animales, car l'agriculture et l'élevage constituent des activités principales de la population rurale du contré, source de contamination de l'eau de consommation auxdites substances indésirables.

Ammonium

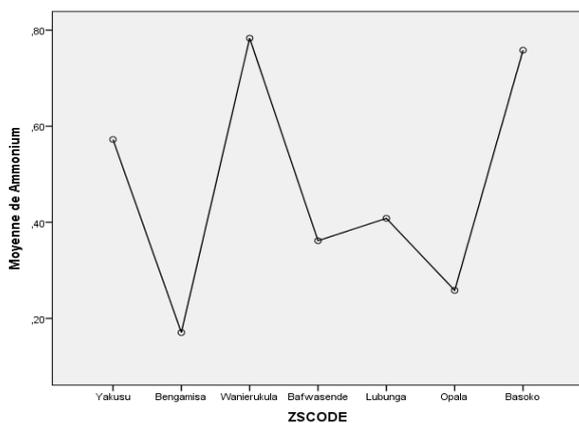


Figure 12. Concentration moyenne d'Ammonium dans les eaux analysées par zone de santé

Les résultats de la figure 12 montre que les valeurs de l'ammonium sont plus accentuées aux zones de santé de Basoko et Wanurukura, soit une concentration de 0,7833 mg/l et 0,7583 mg/l respectivement. Nous avons noté que ces valeurs sont supérieures à la norme de l'OMS, qui est de 0,05mg/l pour les eaux destinées à la consommation humaine. Toutefois, les valeurs élevées obtenues (0,7833 mg/l et 0,7583 mg/l) ne s'avèrent pas toxiques pour les consommateurs, car les ions ammonium sont naturellement produits dans le tractus digestif de l'homme par la dégradation bactérienne des composés azotés ingérés, et que son absorption est également totale (Fürst *et al.*, 1969). Aussi, environ 4200 mg d'Ammonium sont produits par jour dans l'organisme, et que la quantité absorbée est de 4 150 mg/j soit 99 % de la quantité produite, dont plus de 70 % sont libérés par le colon dans les selles (Summerskill et Wolpert, 1970).

En outre, l'ammoniac est métabolisé lors du premier passage hépatique en urée et glutamine. Les ions ammonium sont absorbés par le tractus gastro-intestinal puis transportés via le système veine porte directement dans le foie où ils sont métabolisés. Par cette voie, une quantité très faible gagne la circulation systémique sous forme d'ammoniac ou de dérivés de l'ammonium (Pitts, 1971). D'après Mehounou *et al.* (2016), la concentration élevée d'ammonium dans l'eau est due, d'une part, par l'application des fertilisants (engrais NPK et l'urée) à base d'azote qui sont drainés par les ruissellements vers les cours d'eau, d'autre part, aux activités anthropiques et industrielles, aux fosses septiques et aux déchets animaux. Il renchérit en disant que, lorsque le stockage de déchets

animaux, des eaux usées et du fumier sont situés entre 3 et 6 mètres de profondeur à la surface du sol, il va se produire de l'ammoniac dans la fourchette de 1 à 15 mg/l. Quant au résultat d'ammonium observés dans les zone de santé de Basoko et de Wanirukura, nous pensons comme Mariotti (1994), nous pensons ils sont dus à la décomposition de matières végétales et animales, drainées par les ruissellements vers les sites d'approvisionnement en eau de consommation.

Conductivité électrique

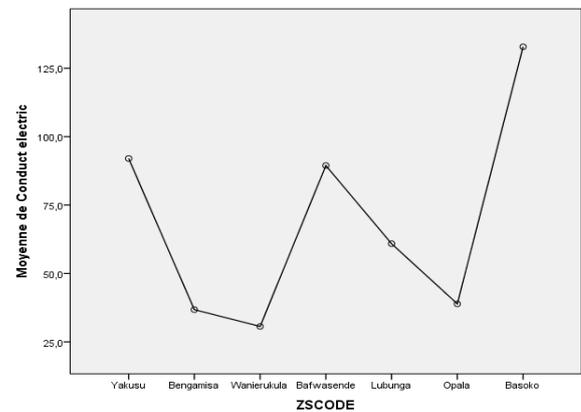


Figure 13. Conductivité électrique moyenne des eaux analysées par zone de santé

La figure 13 présente les différentes valeurs de la conductivité observée au cours de l'échantillonnage. Les valeurs moyennes enregistrées, montrent des variations importantes qui fluctuent entre 30,633 $\mu\text{S/cm}$ à 132,833 $\mu\text{S/cm}$. La conductivité la plus élevée est obtenue dans la zone de santé de Basoko et la plus basse dans la zone de santé de Wanirukura. Il y a lieu de noter que tous les échantillons analysés ont une conductivité électrique obéissant à la valeur normale de l'OMS, qui est de 0 à 1200 $\mu\text{S/cm}$ pour les eaux de consommation (L. Matini *et al.*, 2009). Aussi, la conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S/cm}$ (Ibge, 2005). La mesure de la conductivité électrique ou, à l'inverse, la résistivité de l'eau constitue une bonne indication sur degré de minéralisation globale d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique, mais aussi sur la pureté de cette eau. La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet, des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration (Ghazali D *et al.* 2013). Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Pescod, 1985 ; Rodier, 1984). La conductivité varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration, de leur mobilité et de la température de l'échantillon. Elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau. Au vu de nos résultats, nous pensons que les valeurs normales de la conductivité électrique observées dans les eaux consommées en milieu rural de la Province de la Tshopo (RDC) témoignent la moindre concentration de ces eaux en sels minéraux ; ce qui exprime la non agressivité de l'eau, constatée lors de la boisson. En effet, ces valeurs observées résident dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales et de déversements d'eaux usées.

Phosphate

L'analyse de la figure 14 révèle que l'ion phosphate dans les échantillons d'eau de consommation analysés a des valeurs

supérieures comparées à celles fixées par l'OMS (0 à 0,02 mg/l) dans toutes les zones de santé, soit 1,167 mg/l à Bafwasende ; 1,150 mg/l à Lubunga, 1,047 mg/l à Wanirukura ; 0,905 mg/l à Opala ; 0,761 mg/l à Yakusu; 0,669 mg/l à Bengamisa et 0,650 mg/l à Basoko. Nos résultats sont largement supérieurs à ceux trouvés par Lagnika et ses collaborateurs (2014), qui ont trouvé des valeurs légèrement supérieures aux normes de l'OMS, variable entre

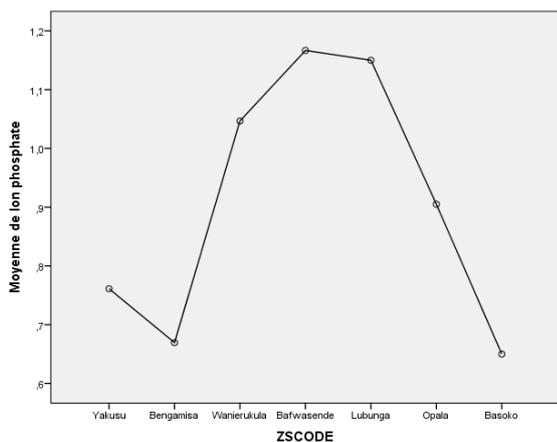


Figure 14 : Concentration moyenne de l'ion phosphate dans les eaux analysées par zone de santé

0,751±0,61mg/l, dans les eaux brutes et traitées à N'djamena, au Tchad. On peut trouver le phosphore dans l'environnement en général sous forme de phosphate. Les phosphates sont des substances importantes pour le corps humain car ils sont un composant de l'ADN et ils participent à la distribution de l'énergie. On trouve aussi fréquemment des phosphates dans les plantes. L'homme a modifié radicalement les réserves naturelles de phosphate par l'addition d'engrais riche en phosphate dans le sol et en utilisant des détergents contenant des phosphates. On ajoute aussi des phosphates à certains aliments tels que le fromage, les saucisses et le jambon. Trop de phosphates peut provoquer des problèmes de santé, tels que de l'ostéoporose ou des problèmes aux reins. On peut aussi avoir des carences en phosphates qui sont dues à une utilisation intensive de médicaments, provoquant des problèmes de santé (Lenntech, 2022).

En outre, les phosphates contenus dans les eaux usées constituent un danger pour les écosystèmes marins, en favorisant une croissance supérieure à la normale des plantes aquatiques, qui consomment une grande quantité d'oxygène et font disparaître les poissons. En 2001, le Japon a renforcé les lois concernant les teneurs en phosphates dans les effluents déversés dans des zones peu ouvertes, comme la baie de Tokyo, essentiellement pour les besoins de l'agriculture. Depuis cette date, les phosphates sont extraits des eaux usées, incinérés et les cendres sont mises en décharge (Mitsubishi Materials, 2004). Ainsi, le taux élevé de phosphate observé dans les eaux de consommation de la Province de la Tshopo analysées, est dû à l'usage des détergents autour des points d'approvisionnement en eau, qui contaminent par l'infiltration ou ruissellement ces derniers, mais aussi à la défécation à l'air libre des usagers des routes, libérant ainsi des phosphates encaissés pendant la consommation des aliments de synthèse riche auxdits ions dans leurs excréta autour des points d'eau, tels que le fromage, les saucisses et le jambon. A ceci, il faut joindre l'usage d'engrais riche en phosphate par les agriculteurs. Il se dégage de la figure 15 que le taux élevé de

fer a été observé à Basoko et à Yakusu, soit 0,300 mg/l et 0,270 mg/l respectivement. La présence du fer dans des sources naturelles d'approvisionnement en eau est attribuable à la décomposition de la roche et des minéraux, aux eaux acides de drainage des mines, aux eaux de lessivage de décharges non contrôlées, aux effluents d'égouts ainsi qu'aux rejets des secteurs industriels qui traitent le fer (James, 1977).

Fer

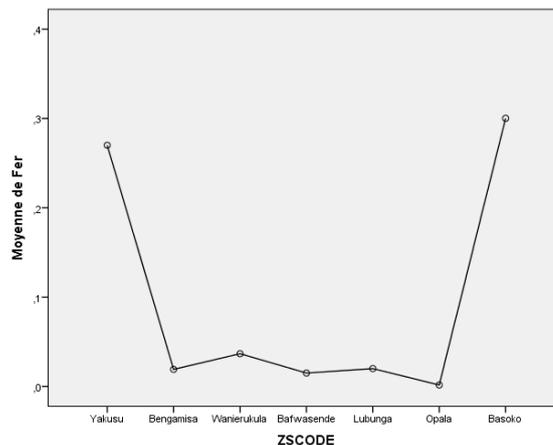


Figure 15. Concentration moyenne de fer dans les eaux analysées par zone de santé

On a longtemps pensé que la présence de fer dans l'eau de boisson était un problème esthétique plutôt qu'un problème de santé publique. Mais certains scientifiques disent maintenant que même si le fer lui-même pourrait ne pas être dangereux pour la santé, ce qu'il fait dans l'eau potable est dangereux. Marc Edwards précise dans ses recherches que la teneur élevée en fer dans l'eau peut enlever les désinfectants comme le chlore, permettant aux bactéries nocives de se développer. Cela inclut des bactéries comme la légionnelle, responsable de la maladie du légionnaire. La maladie du légionnaire est une infection pulmonaire causée par l'inhalation de gouttelettes d'eau contaminées. La maladie provoque également une forte fièvre et de la diarrhée, et peut être mortelle (Marc Edwards, 2016). Selon Whalen, l'analyse régulière de l'eau de consommation peut aider à protéger les ouvrages d'adduction d'eau, en mettant en évidence le fer dans l'eau, et fournir de l'eau potable aux consommateurs, car il est corrosif et peut former une pellicule biologique dans les conduites d'adduction d'eau, facilitant ainsi la prolifération des germes dans les ouvrages d'approvisionnement en eau. Aussi, la détection en temps réel de niveaux de croissance microbienne élevés peut faire toute la différence entre la prévention précoce et la mise en danger des consommateurs.

Dans les conditions de pH généralement observées dans les sources d'approvisionnement d'eau potable, les sels de Fe(II) sont instables ; ils réagissent avec l'eau pour former des hydroxydes insolubles qui sédimentent sous la forme d'un limon de couleur rouille. Il arrive souvent que l'eau prenne alors un goût désagréable et paraisse impropre à la consommation (Cohen, 1960). Donc, lorsque sa concentration dans l'eau dépasse 0,3 mg/l, la précipitation excessive du fer dans l'eau peut : modifier le goût de l'eau ; donner la couleur rouge brun désagréable à l'eau ; tacher les vêtements lavés et les appareils électroménagers (LuminUltra, 2016). Dans

notre série, le taux élevé de fer trouvé dans les eaux analysées a les mêmes sources comme celles décrites par James (1977), car la Province de la Tshopo est aussi comptée parmi les régions minières et agricoles du pays, et est soumise à des exploitations semi-industrielles de tout genre, avec comme conséquences la transmission des différentes maladies, parmi lesquelles celles à transmission hydrique.

l'assimilation et le respect des règles d'hygiène. Dans ce sens, un programme d'Information, d'Education et de Communication en direction de la population pour lui faire acquérir des comportements favorables à la préservation de la chaîne de l'eau, c'est-à-dire, la potabilité de l'eau depuis la source d'approvisionnement jusqu'à la consommation de l'eau devient une priorité.

Test d'échantillons indépendants.

Tests paramètres	Test t-Student pour égalité des moyennes		
	t	ddl	Signification (bilatérale)
Débit	-4,072	880	0,000
pH	-,195	880	0,846
Turbidité	-,268	880	0,789
Température °C	3,968	880	0,000
Nitrate (mg/l)	4,683	880	0,000
Nitrite (mg/l)	8,058	880	0,000
Ammonium	-2,040	880	0,042
Conduct electric	4,654	880	0,000
Ion phosphate	5,835	880	0,000
Fer	6,734	880	0,000

ANOVA à 1 facteur

Paramètres	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Débit point d'eau	18510,766	6	3085,128	93,295	0,000
Débit point d'eau	9,214	6	1,536	38,056	0,000
pH	1302,779	6	217,130	54,352	0,000
Turbidité	1302,779	6	217,130	54,352	0,000
Température °C	309,806	6	51,634	51,372	0,000
Chlore libre	,000	6	0,000	.	.
Nitrate (mg/l)	7464196,913	6	1244032,819	532,969	0,000
Nitrite (mg/l)	3,505	6	0,584	18,837	0,000
Ammonium	43,138	6	7,190	31,083	0,000
Conductivité électrique	1072126,119	6	178687,686	73,632	0,000
Ion phosphate	36,537	6	6,090	56,105	0,000
Fer	12,905	6	2,151	45,926	0,000

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

A la lumière des résultats obtenus au sujet de la qualité physico-chimique des eaux consommées par la population rurale de la Province de la Tshopo, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- les eaux investiguées sont chimiquement riches en certains éléments indésirables, dont le fer, le nitrate, le nitrite et les phosphates ;
- il y a absence totale de chlore libre dans les eaux analysées et cela impose un besoin de chloration pour restaurer la potabilité de l'eau ;
- la différence de concentration en éléments physico-chimiques dans les eaux analysées est très significative entre les zones de santé, mais aussi entre les villages certifiés et non certifiés ;
- la source de contamination de l'eau par les substances indésirables est les fertilisants naturels (féces humains et animaux), les eaux usées et les rejets de secteur industriel par ruissellement et infiltration des cours d'eau.

La concentration élevée en substance indésirables dans l'eau est liée au non-respect des conditions d'hygiène publique (collective et industrielle). Au total, il ne s'agit pas seulement de mettre en place des structures ou ouvrages d'approvisionnement en eau potable, mais aussi, il faut mettre un accent particulier sur le comportement, c'est-à-dire

REFERENCES

1. Boubakar Hassane A., 2010. *Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique. Cas de la communauté urbaine de Niamey (Niger)*. Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, Bénin, 249 p.
2. Bricha S., Brasseur P., Eyma E., Li X., Verdier R. I., Agnamey P., Liautaud B, Dei Cas E., Pape J. W., K. Ounine, S. Oulkheir, N. El Haloui et B. Attarassi, 2007 : Étude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc), *Revue Afrique*, Vol. 4 N° 2, 213-218.
3. Cohen, J.M., Lamphake, L.J., Harris, E.K. and Woodward, R.L., 1960 : Taste threshold concentrations of metals in drinking water. *J. Am. Water Works Assoc.*, 52 : 660.
4. Ghazali D., Zaid A., 2013 : Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (REGION DE MEKNES/MAROC). *Larhyss Journal*, ISSN1112-3680, n° 12, Janvier 2013, pp. 25-36.
5. Fürst P., Josephson B., Maschio G. and Vinnars E., 1969 : Nitrogen balance after intravenous and oral administration of ammonium salts to man. *J Appl Phys*, 26, 13-22.
6. James, S.C., 1977 : Metals in municipal landfill leachate and their health effects. *Am. J. Public Health*, 67 : 429.
7. IBGE, 2005. *Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles"* Novembre 2005, pp 132-140.

8. Kahoul M. et Touhami M., 2014 : Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie), 10p.
9. Kjellstrom T., Susan M., Satterthwaite D., Gordon, McGranahan, Sharon F. & Kirsten, H., 2007: *Our cities, our health, our future: Acting on social determinants for health equity in urban settings*. Report to the WHO Commission on Social Determinants of Health from the Knowledge Network on Urban Settings, Kobe Japan, 199 p.
10. Le Gall, A. C., 2004 : Effets des dépôts atmosphériques de soufre et d'azote sur les sols et les eaux douces en France, INERIS 116 pages, 2004-11-21.
11. Lenntech, 2022 : Impact de l'ammonium sur la santé et l'environnement ; p12.
12. Levallois P. et Phaneuf D., 1992 : Les risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates. Bulletin d'information en santé environnementale. Centre de santé publique de Québec. Volume 3 - No 3, 18p.
13. **LuminUltra, 2016 : Le fer dans l'eau potable est-il un risque pour la santé publique? 15p.**
14. Leynaud G., 1968 : Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
15. Lagnika M., Moudachirou I., Jean-Pierre C., Valentin D. et Nestor G., 2014 : Caractéristiques physicochimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobé (Bénin, Afrique de l'Ouest). Journal of Applied Biosciences 79 :6887-6897. ISSN 1997-5902.
16. Mahamat et al. J. Appl. Biosci, 2015 : Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux utilisées par les populations dans la Communauté Urbaine de Douala – Cameroun, 12p.
17. Makoutode M, Assani AK, Ouendo E-M, Agueh VD, Diallo O, 1999 : Qualité et mode de gestion des eaux de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo. Médecine d'Afrique Noire : 46 (11).
18. John P.H. & Donald A.K., 2010 : *Microbiologie*, 3^{ème} Édition, 1216 p.
19. Mariotti, A., 1994 : « *Dénitrification in situ dans les eaux souterraines, processus naturels ou provoqués: une revue.* », *Hydrogéologie*, vol. 3, 1994, p. 43-68
20. Mehounou et al., 2016 : Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué, 21p.
21. Mohammad N. Almasri et Jagath J. Kaluarachchi, 2004 : « *Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds* », Journal of Hydrology, vol. 295, n^{os} 1-4, 10 août 2004, p. 225-245.
22. Mitsubishi Materials, 2004 : Recyclages des phosphates dans les eaux usées, 25p.
23. Defolie, 2002 : Ouvrages hydrauliques Milieux, paysages, usages : pour une gestion intégrée du bassin de la Sèvre Nantaise, 36p.
24. OMS, 1994 : Directives de la qualité pour les eaux de boisson ; Volume 1-Recommandation. Organisation Mondiale de la Santé 2^e édition.
25. OMS, 2003 : Situation du réseau EPA au 31 Décembre 2002, 25p.
26. Pitts R.F., 1971 : The role of ammonia production and excretion in regulation of acid-base balance. N Engl J Med, 284, 32-38.
27. Pescod M.B., 1985 : Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed Pescod and Arar, 93-114.
28. Pronanut Tshopo, 2021 : Programme national de nutrition. Coordination Provinciale de la Tshopo. Bulletin SNSAP n^o 46, Trim 4 ; 2021, 7p.
29. Caid, 2022 : Cellules d'analyses des indicateurs de Développement ; RDC, 32p.
30. Quebec, 2016 : Contamination de l'eau potable d'un puits, 12p.
31. Rodier et al, 2009 : L'Analyse de l'eau, Edition 9^{ème}, Dunod, Paris, p: 120-256-1002.
32. Rodier J., 1984 : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod, Paris.
33. Summerskill W.W.H.J. and Wolpert E., 1970 : Ammonia metabolism in the gut. Am J Clin Nutr, 23, 5, 633-639.
34. Santé Canada, 2003 : Questions et réponses sur les dispositifs de traitement de l'eau de consommation, Accessible : www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/dpc/eau_qualité/faq_dtep.htm, 7p.
35. Phillippe Beaulieu, 2021 : Pourquoi il y a-t-il du chlore dans l'eau ?; 23p.
36. W.H.O., 1987 : Global pollution and health results of related environmental monitoring, 55p.
37. WHO/UNICEF, 2008: Progress on drinking water and sanitation, JMP report. Science Books, Mill Valley, California, 628p.
