

Evaluation de la qualité de l'eau du lac Azili et risques sanitaires associés à sa consommation dans le village lacustre d'Agonvè (commune de Zagnanado, Sud Bénin)

Flavien Edia Dovonou, PhD, Maître de conférences

Antoinette Adjagodo, PhD

Luc Enangnon Gnonlonsa, Bachelor

Wilfrid Noudéhouénou Atchichoe, PhD Student

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) à l'Institut National de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

Dansou Sourou Barthélémy, PhD Student

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire "Espaces, Cultures et Développement"

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p233](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p233)

Submitted: 15 March 2024

Accepted: 26 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Dovonou, F. E., Adjagodo, A., Gnonlonsa, L. E., Atchichoe, W. N., & Barthélémy, D. S. (2024). *Evaluation de la qualité de l'eau du lac Azili et risques sanitaires associés à sa consommation dans le village lacustre d'Agonvè (commune de Zagnanado, Sud Bénin)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 233.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p233>

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau du lac Azili ainsi que les risques sanitaires liés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de Zagnanado. Les enquêtes de terrains ont été effectuées pour prendre connaissance du degré d'hygiène et d'assainissement sur l'île d'Agonvè et des éventuelles sources de pollution du dit lac. La taille de l'échantillon (50) a été déterminée conformément à la méthode de Schwartz (2002). Quant à l'échantillonnage, six sites ont été essentiellement échantillonnés en tenant compte des endroits les plus fréquentés par la population. Les analyses physico-chimiques effectuées en utilisant la spectrophotométrie et la méthode colorimétrique indiquent des valeurs non conformes aux normes béninoises des eaux de consommation et aux normes NQE des eaux de surface montrant ainsi une mauvaise qualité de la ressource en eau. La filtration sur membrane et l'ensemencement par incorporation ont été utilisés dans le cadre des analyses bactériologiques dont les résultats

révèlent une forte charge en Coliformes totaux (en moyenne 155,33 UFC/MI) thermotolérants (en moyenne 24 UFC/mL) et Escherichia coli (en moyenne 39,66). Les eaux du lac Azili sont donc polluées du point de vue physico-chimique et bactériologique. L'amélioration des conditions d'hygiène et de l'assainissement sur l'île d'Agonvè est cruciale pour une bonne santé de la population mais aussi pour la préservation de cette ressource en eau.

Mots-clés: Eau, hygiène, assainissement , pollution, qualité

Assessment of Lake Azili water quality and risks health associated with its consumption in the fourth district of the commune of Zagnanado (South Benin)

Flavien Edia Dovonou, PhD, Maître de conférences

Antoinette Adjagodo, PhD

Luc Enangnon Gnonlonsa, Bachelor

Wilfrid Noudéhouénu Atchichoe, PhD Student

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) à l'Institut National de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

Dansou Sourou Barthélémy, PhD Student

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire ‘Espaces, Cultures et Développement’

Abstract

The objective of this study is to evaluate the quality of the water of Lake Azili as well as the health risks linked to its consumption in the fourth district of Zagnanado. Field surveys were carried out to understand the degree of hygiene and sanitation on the island of Agonvè and possible sources of pollution in the said lake. The sample size (50) was determined according to the method of Schwartz (2002). As for sampling, six sites were essentially sampled taking into account the places most frequented by the population. The physico-chemical analyzes carried out using the spectrophotometer method and the colorimetric method indicate values that do not comply with Beninese standards for drinking water as well as the NQE standard for surface water, thus indicating poor quality of the water resource. Membrane filtration and seeding by incorporation were used as part of the bacteriological analyses, the results of which revealed a high load of total Coliforms (on average 155.33 CFU/MI) which were thermotolerant (on average 24 CFU/mL) and Escherichia coli (average 39.66). The waters of Lake Azili are therefore polluted from a physicochemical and bacteriological point of view. Improving hygiene and sanitation conditions on the island of Agonvè is crucial for the

good health of the population and also for the preservation of this water resource.

Keywords: Water, hygiene, sanitation, pollution, quality

Introduction

L'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socioéconomique réel et durable d'un pays. D'après l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), 71 % de la surface de la Terre est recouverte par les mers et les océans, ce qui lui vaut son surnom de « planète bleue ». L'eau salée représente 97,4 % de l'eau présente sur notre planète et est en perpétuel mouvement. Sur les 2,6 % d'eau douce restante dans l'hydrosphère, 2,0 % sont gelés de façon quasi-permanente dans les calottes polaires (CNRS, 2015). Finalement, seule 0,6 % de l'eau présente sur terre est de l'eau douce disponible. Cette eau douce est répartie de façon extrêmement inégale à la surface des continents et sa disponibilité à chaque endroit du globe est liée au bilan entre les précipitations et l'évaporation, c'est-à-dire l'écoulement (<https://books.openedition.org/editionsclang=fr>). Cependant, il faut veiller à maintenir cette eau douce propre pour que la pollution ne détruise pas cette petite quantité d'eau utilisable par les Hommes. Parmi ces ressources en eau douce disponible sur la planète terre, les eaux de surface sont des systèmes fragiles et complexes dont le fonctionnement peut être altéré par les activités anthropiques surtout de la ressource en eau elle-même (Adjagodo, 2018). Or, ces dernières sont parfois utilisées comme eau de consommation par les populations en cas d'absence ou de déficit en eau potable (Agassounon et al., 2014). La consommation d'une eau de mauvaise qualité entraîne le plus souvent chez les Hommes, des risques hygiéniques, de transmission des maladies hydriques et constitue un obstacle au développement économique et social (UNICEF, 2002). Malgré le droit reconnu à l'eau potable par les Nations Unies en 2010, 30% de la population mondiale manque d'accès et 60 % ne disposent pas de service d'assainissement gérés en toute sécurité (OMS, 2017) Selon Lifad (2006), 40 % des béninois consomment de l'eau non potable dont près de 50 % s'alimentent directement à partir de l'eau de la rivière ou du marigot. Face à cette situation, la population n'ayant pas accès à l'eau potable s'alimente aux eaux de puits, de surface et de sources pour leurs besoins domestiques et parfois pour la boisson sans être traitée ni contrôlée (Adjagodo et al., 2016 ; Hounsounou et al., 2016). Tel est le cas de la population du village d'Agonvè dans le quatrième arrondissement de Zagnanado (Sud Bénin) où l'eau potable est une denrée rare aussi bien dans les ménages que dans les écoles ou le centre de santé. Ce travail de recherche vise à contribuer à une meilleure connaissance des conséquences des activités anthropiques sur l'eau du lac

Azili de même que les risques sanitaires liés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado.

Le lac Azili est un plan d'eau du Bénin situé dans le quatrième arrondissement de la commune Zagnanado (Kpédékpo) plus précisément dans le village d'Agonvè au croisement des 7°15' et 7°58' de l'altitude Nord et de 2°27' et 2°17' de l'altitude Est .Il couvre une superficie de plus de 200 hectares et est situé sur la rive orientale du fleuve Ouémé. On y pratique la pêche artisanale tout le long de l'année représentant un énorme potentiel socio-économique pour le pays. Au milieu du lac se trouve une île sur laquelle est bâti le village lacustre d'Agonvè.

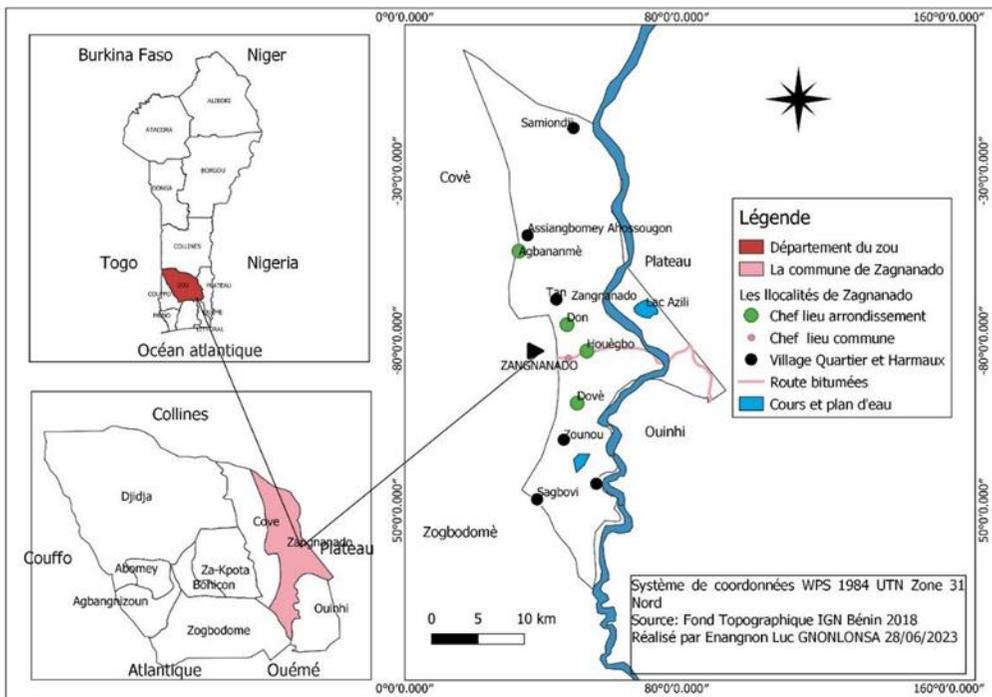


Figure 1 : Localisation géographique du lac Azili

Methodologie

L'approche méthodologique utilisée dans le cadre de la réalisation de cette étude comprend : une recherche documentaire ; des enquêtes et des observations de terrain, de l'échantillonnage, des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Recherche documentaire

Pour atteindre les objectifs de cette étude et trouver les directives à suivre pour bien la mener, il a été nécessaire de passer par la recherche documentaire, une démarche exploratoire qui a marqué toutes les étapes de la recherche. Elle nous a permis de mieux cerner les contours de notre thème de recherche, de

connaître les aspects du sujet déjà abordés et de faire un bilan des acquis dans le domaine. Cette étape de la méthodologie a permis de faire des recherches sur le net, dans des bureaux d'étude, des bibliothèques, sur tous les documents scientifiques (mémoires, thèses et rapports) ayant abordé la problématique de qualité physico-chimique et microbiologique des eaux dans le monde, en Afrique et au Bénin. Ces différentes investigations ont permis d'avoir une meilleure compréhension du sujet et de mieux s'orienter dans la collecte, le traitement des données et l'analyse des résultats.

Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont été réalisés durant la période de hautes eaux. Les travaux se sont déroulés en deux phases : la phase d'enquête et la phase d'échantillonnage de l'eau.

Enquête de terrain

Dans le but de mieux s'imprégner des facteurs de dégradation de la qualité des eaux du lac Azili, de l'usage qui est fait par les populations de cette eau et les conditions d'hygiène et d'assainissement actuelle dans le quatrième arrondissement de Zagnanado, une enquête de terrain a été effectuée à l'aide des fiches d'enquêtes basées sur des questionnaires. La taille de l'échantillon (50) a été déterminée conformément à la méthode de Schwartz (2002). Celle-ci a été calculée avec un degré de confiance de 95 % et une marge d'erreur de plus ou moins 5% suivant l'équation suivante

$$N = \frac{Z\alpha^2}{d^2} PQ$$

Avec ;

N = taille de l'échantillon

: $Z\alpha$ = écart fixé à 1,96

P = rapport du nombre de ménages du village par le nombre de ménages de la commune

Q = 1-P

d = marge d'erreur qui est égale à 5%

Observations sur le terrain

Les observations directes faites sur le terrain (visites des sites) ont permis de mieux apprécier l'état de salubrité du milieu en prenant connaissance des problèmes d'assainissement auxquels sont confrontés les habitants. Elles ont également permis d'acquérir des compléments d'informations utiles à la réalisation de cette étude et de vérifier certaines informations recueillies lors de nos enquêtes.

Echantillonnage de l'eau

Effectué pendant la saison pluvieuse, l'objectif de l'échantillonnage est d'avoir des échantillons représentatifs, des eaux du lac Azili utilisées pour la satisfaction des besoins de la population en consommation, et les divers usages domestiques. Ainsi, dans le but d'atteindre cet objectif, six sites ont été définis et les échantillons d'eau ont été prélevés à quelques centimètres sous la surface de l'eau. A cet effet, un échantillonnage raisonné a été fait, ce qui a permis de faire les prélèvements au niveau des zones du lac les plus fréquentées par les populations ainsi que des zones non fréquentées. Ainsi, des échantillons destinés aux analyses physico-chimiques et ceux destinés aux analyses bactériologiques ont été prélevés. Des bouteilles en plastique de 1,5 litre ont été utilisées pour l'échantillonnage de l'eau destinée aux analyses physico-chimiques. Elles ont été remplies après rinçage avec l'eau à échantillonner de manière à ne pas laisser de bulles d'air. En ce qui concerne la bactériologie, des bouteilles en verre de 250 ml ont été utilisées. La Turbidité, le pH et la température ont été mesurés in-situ avec un multi-paramètre de marque HANNA. Tous les échantillons d'eau sont conservés dans une glacière avec des accumulateurs de froid avant d'être transportés au laboratoire où ils sont conservés dans un réfrigérateur. La figure 4 présente la localisation des points de prélèvement d'eau sur le lac Azili .

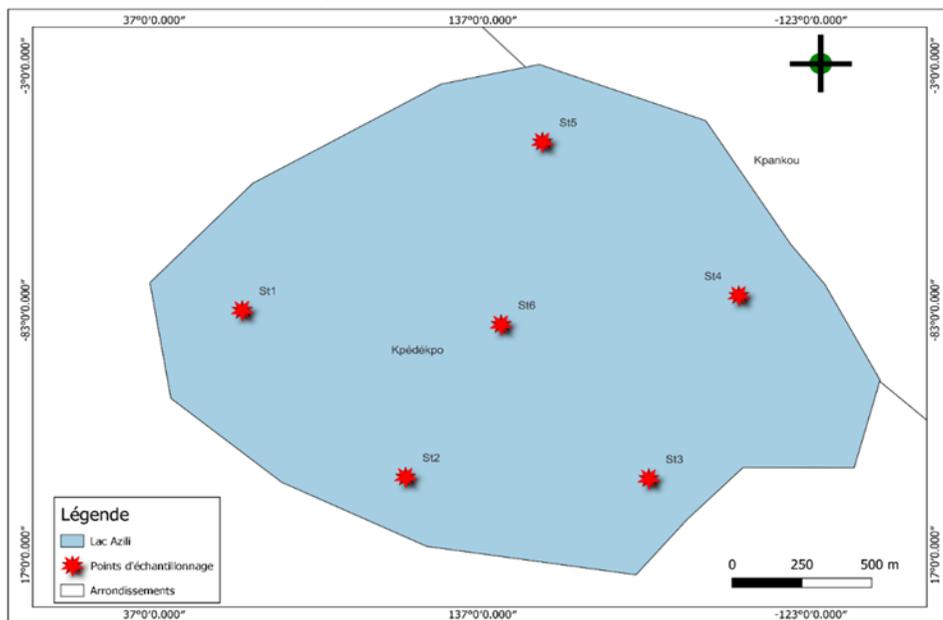


Figure 2: Localisation des points d'échantillonnage

Le tableau 2 présente les codes et coordonnées géographiques des sites de prélèvements.

Tableau 1: Codes et coordonnées géographiques des sites de prélèvement

Localités	Sites	Coordonnées géographiques	
		Longitude	Latitude
Alikon	St1	438075	803367
Bognon Lomassouhoue	St2	439732	802748
Awianhoué	St3	440603	802742
Akava	St4	440925	803446
Akava Bossa	St5	440222	804036
Dawessa	St6	440074	803334

Analyse au laboratoire

Les analyses chimiques ont été faites au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de l'Institut National de l'Eau. Les éléments chimiques recherchés sont : les nitrates, les nitrites, l'orthophosphate, l'ammonium et le fer. Ils ont été analysés à l'aide du spectrophotomètre HACH DR2800. En ce qui concerne les analyses microbiologiques, les germes recherchés sont : les Entérocoques fécaux, les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants et les Escherichia coli.

Analyses chimiques

Dosage des nitrates

Le dosage des nitrates a été effectué en utilisant la méthode au Salicylate de Sodium indiquée par Rodier et al. (2009). En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent le paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. La lecture s'est effectuée au spectrophotomètre HACH LANGE DR2800 à une longueur d'onde $\lambda = 425\text{nm}$ (DANNON E., 2022).

Dosage des nitrites

Pour le dosage des nitrites, la méthode au Réactif de Zambelli (Rodier et al, 2009) a été utilisée. En effet, l'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique et en présence d'ions ammonium et de phénol, forme avec les ions NO_2^- un complexe coloré en jaune dont la densité est proportionnelle à la concentration en nitrites. Les lectures se sont effectuées au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 425 nm.

Dosage de l'ammonium

Nous avons utilisé pour ce dosage, la méthode de Nessler proposée par Rodier et al, (2009). En effet, le réactif de Nessler en présence d'ions ammonium, donne de l'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammonium NH_4^+ . Nous avons effectué par la suite la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 425 nm.

Dosage de l'orthophosphate

L'orthophosphate a été déterminé au spectrophotomètre avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine comme l'ont proposé Rodier et al (2009). En effet, il se forme en milieu acide un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium avec réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu. L'absorbance du complexe bleu formé est mesurée à la longueur d'onde la plus sensible 700 nm.

Dosage du fer

Nous avons utilisé pour ce dosage la méthode spectrophotométrique à la phénanthroline-1,10. En effet, il se produit la formation d'un complexe rouge orangé en milieu tamponné entre le fer converti à l'état de fer (II) et la phénanthroline-1,10. Ainsi, l'absorbance du complexe est mesurée au spectrophotomètre d'absorption moléculaire à 510 nm (Zanou , 2022).

Analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique a été faite au niveau du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) de l'Institut National de l'Eau (INE) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). Elle a pris en compte le dénombrement des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, d'E. coli et des Entérocoques fécaux.

Recherche et numération de Coliformes totaux et thermotolérants

La recherche et la numération des Coliformes totaux et thermotolérants a été faite suivant la norme NFV-066/1996. La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau du lac Azili a été filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL). Les boîtes ont étéensemencées à 37°C pendant 48 heures pour la recherche des Coliformes totaux, et à 44°C pendant 48 heures pour la recherche des Coliformes thermotolérants. Les colonies violacées ont été observées et dénombrées sur les boîtes incubées pour la recherche de ces deux germes. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 mL. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Decret N°2001-094).

Recherche et numération de *Escherichia coli*

La recherche et la numération des E. coli a été faite suivant la norme NFV-066/1996. La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau et a été

filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL). Les boîtes ont étéensemencées à 44°C pendant 48 heures. Les colonies rouges violacées ont été observées et dénombrées. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 ml. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Decret N°2001-094).

Recherche et numération des Entérocoques

Les Entérocoques ont été recherchés et dénombrés dans les échantillons d'eaux suivant la norme AFNOR NF ISO 7899-2 (2000). La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau a été filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Slanetz Bartley. Les boîtes ont étéensemencées à 37°C pendant 48 heures. Des colonies rouges/violettes/roses ont été observées et dénombrées. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 mL. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Decret N°2001-094).

Traitement des données

Les données statistiques recueillies sur le terrain et celles issues des analyses de laboratoire ont été rigoureusement traitées avec le Tableur Excel 2016, le logiciel R pour le traitement et la réalisation des graphes. Le logiciel Qgis 3.16 a servi à la réalisation des cartes et Microsoft Word 2016 pour la rédaction du document. Les résultats des travaux de terrain et de laboratoire ont été comparés aux normes de qualité des eaux de surface et ont permis d'évaluer la qualité des eaux du lac Azili. Ces résultats ont également permis d'évaluer les risques sanitaires liés à la consommation de ces eaux par les habitants du village d'Agonvè.

Resultats et Discussion

Resultats

Les résultats issus de nos travaux de recherche sont présentés et discutés. Les résultats obtenus se présentent comme suit :

- ❖ les résultats issues des enquêtes de terrain ;
- ❖ les résultats issus des analyses physico-chimiques ;
- ❖ les résultats issus des analyses bactériologiques.

Résultats des enquêtes de terrain

Au terme des différents travaux effectués sur le terrain conformément aux méthodes décrites précédemment, l'analyse des résultats d'enquête est effectuée. Les graphiques suivants présentent ces résultats.

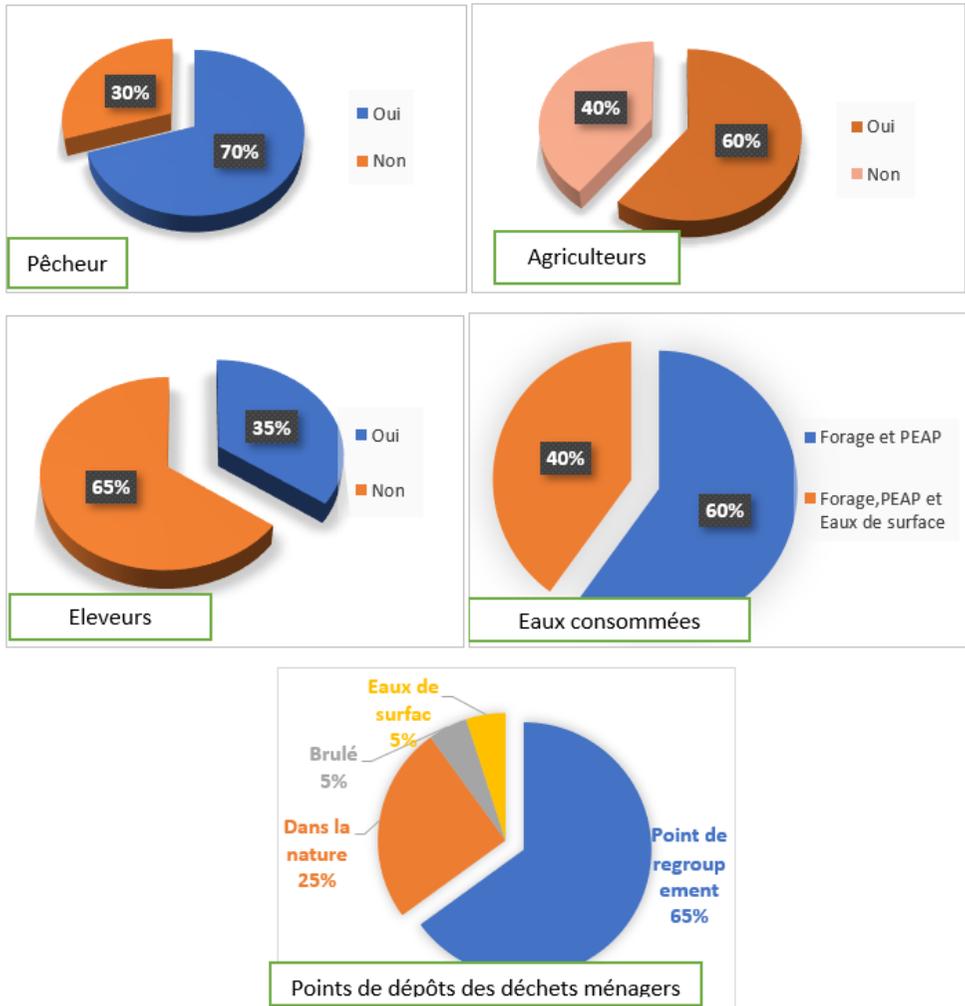


Planche 1: Pourcentages des pêcheurs, agriculteurs et éleveurs sur les enquêtés ; sources d’approvisionnement en eaux de consommation, gestion des déchets sur l’île



Photo 1. Latrine publiques disponible

Les enquêtes effectuées révèlent que 70 % des enquêtés sont des pêcheurs, 69 % des agriculteurs et 65 % des éleveurs. La pêche est de loin la principale activité pratiquée par les habitants de l'île. Pour ce fait, les pêcheurs utilisent des pirogues avec des filets ou cage pour tendre des pièges aux poissons. En ce qui concerne l'agriculture, elle est la seconde activité la plus pratiquée avec usages de divers intrants agricoles. L'élevage par contre est peu pratiqué et est essentiellement à l'air libre ; Les déjections animales se retrouvent donc un peu partout sur l'île constituant ainsi une source de pollution bactériologique pour le lac. Quant aux sources d'approvisionnement en eau de boisson, les enquêtes révèlent que 60 % des enquêtés s'approvisionnent en eaux du lac et celle du poste d'eau autonome privée, 100 % des enquêtés utilisent l'eau du lac pour les usages domestiques. Ce recours aux eaux du lac pour les divers usages est dû à l'insuffisance d'infrastructures d'approvisionnement en eau potable sur l'île d'Agonvè. Aussi, ne disposant que d'une seule et unique latrine publique sur l'île, la population à renouer avec les vieilles habitudes de défécation à l'air libre ce qui n'est pas sans conséquences sur la qualité de l'eau du lac.

Caractéristiques physico-chimiques de l'eau du lac Azil

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés sur les graphiques suivants (Planche 2 / Figure 3).

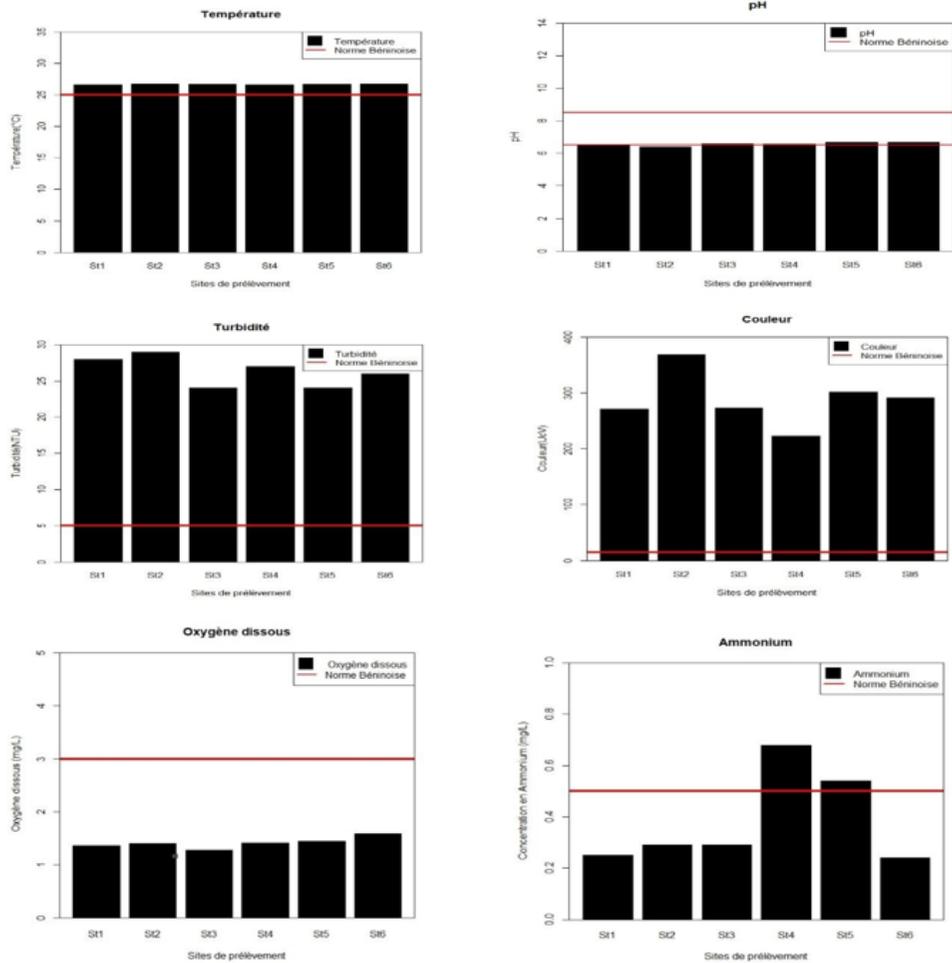


Planche 2 : Variations de la température, pH, turbidité, couleurs ,oxygène dissous et ammonium en fonction des différents sites de prélèvement

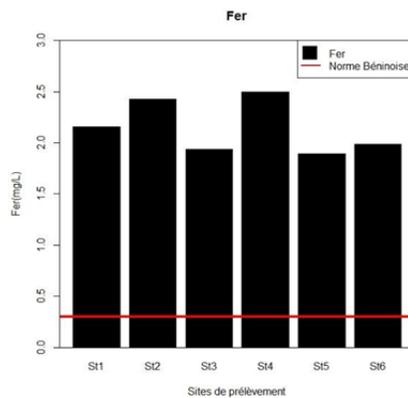


Figure 3: Variations de la concentration du fer en fonction des différents sites de prélèvement

Les températures relevées sur les différents échantillons prélevés varient entre 26,61°C et 26,81°C avec une moyenne de 26,72°C. La plus forte valeur a été relevée sur le site 2 (Bognon Lomassouhoue) tandis que la plus faible a été relevée sur le site 4 (Akava). On constate que toutes les valeurs obtenues pour la température au niveau des différents sites de prélèvement dépassent la limite fixée par la norme béninoise (25°C). Quant aux pH, les valeurs obtenues varient entre 6,39 et 6,70 avec une moyenne de 6,41. La plus faible valeur (6,39) est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue) alors que la plus forte valeur (6,70) est obtenue au niveau du site 5 (Akava Bossa). Nous remarquons que seules les valeurs obtenues au niveau des sites 1 ; 3 ; 4 ; 5 et 6 appartiennent à la plage de 6,5-8,5 qui représente la valeur normalisée pour ce paramètre (Norme Béninoise). En ce qui concerne la turbidité de l'eau les valeurs obtenues varient entre 24 NTU et 29 NTU avec une moyenne de 26,33 NTU. La valeur maximale est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue) tandis que la valeur minimale est obtenue au niveau des sites 3 (Awianhoué) et 5 (Akava Bossa). Remarquons que les valeurs obtenues pour la turbidité au niveau des différents sites sont supérieures à la limite fixée par la norme béninoise qui est de 5NTU. Les valeurs de la couleur varient entre 223 et 369 UcV avec une moyenne de 288,5 UcV. La plus faible valeur est obtenue dans l'échantillon prélevé au site 4 (Akava) et la plus forte valeur est obtenue dans l'échantillon prélevé sur le site 2 (Bognon Lomassouhoue). Notons que toutes ces valeurs sont supérieures à la norme béninoise qui est 15 UcV.

Les valeurs de l'oxygène dissous varient entre 1,28 et 1,59 mg/L avec une moyenne de 1,41 mg/L. La valeur maximale est obtenue au niveau du site 6 (Dawessa) tandis que la valeur minimale est observée au niveau du site 3 (Awianhoué). On constate que ces valeurs sont toutes supérieures à la norme béninoise qui est ≥ 3 .

Les valeurs de l'ammonium oscillent de 0,24mg/L à 0,68mg/L. La plus forte valeur (0,68mg/L) est enregistrée au niveau du site 4 (Akava) et la plus faible valeur (0,24mg/L) est enregistrée au niveau du site 6 (Dawessa) avec une moyenne de 0,38 mg/L. D'après les analyses, les sites 4 (Akava) et 5 (Akava Bossa) ont des concentrations supérieures à la norme béninoise qui est 0,5 mg/L. Les sites 1 ; 2 ; 3 et 6 par contre ont une concentration inférieure à ladite la norme.

Les valeurs obtenues après dosage du fer dans les échantillons d'eau prélevés varient entre 1,89 et 2,50 mg/L avec une moyenne de 2.15 mg/L(Figure 3) . La valeur la plus élevée (2,50 mg/L) est obtenue au niveau du site 4 (Akava) et la valeur la plus faible (1,89) est obtenue au niveau du site 5 (Akava Bossa). Toutes les valeurs de concentrations en fer dépassent la Norme Béninoise qui est de 0,3 mg/L.

Appréciation de la qualité de l'eau du lac Azili en utilisant la Norme de Qualité des Eaux de France (eaux de surface) et Normes OMS

En tenant compte de la Norme de Qualité des Eaux (NQE) de France, les paramètres physico-chimiques tels que la Température, pH, Conductivité électrique, TDS, Turbidité, Orthophosphates dépassent la valeur limite fixée par ladite Norme. Le tableau ci-dessous présente les valeurs obtenues après analyses et les valeurs limites fixées par la NQE et l'OMS. Les valeurs en rouge sont celles des paramètres non conformes à la Norme NQE et celle en vert sont celles des paramètres conformes à ladite Norme. Il en ressort donc que l'eau du lac Azili est de mauvaise qualité.

Tableau 2: Norme de Qualité des Eaux de France (eaux de surface) et Normes OMS

Paramètres	Unités	Valeurs moyenne obtenues	Directives NQE	Normes OMS
Température	°C	26,71	20 -- 25	25
pH	—	6,41	6,5 -- 8,5	6,5 -- 8,5
Conductivité électrique	µS/cm	26,33	750 -- 1300	2000
TDS	mg/L	27,33	500 -- 1200	1000
Turbidité	NTU	26,33	5 --20	5
Ammonium	mg/L	0,38	0,1 -- 0,5	0,5
Nitrites	mg/L	0,38	----	3,2
Nitrates	mg/L	0,23	----	50
Orthophosphates	mg/L	0,11	0,2 -- 0,5	0,2

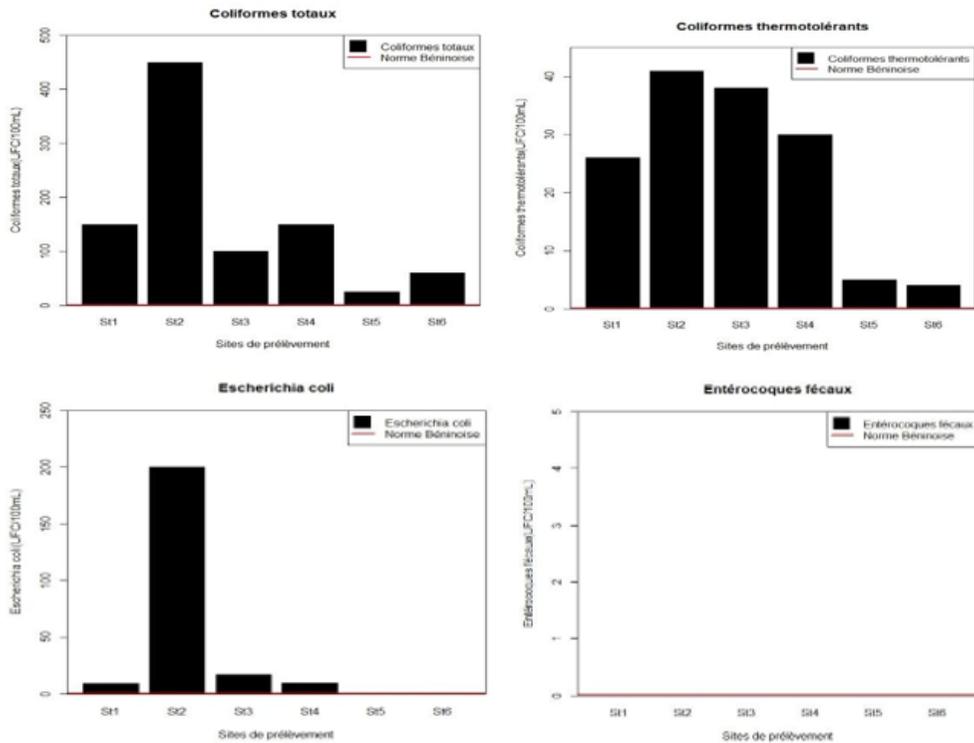


Planche 3: variations des coliformes totaux, thermotolérants et Escherichia coli en fonction des différents sites de prélèvements

Caractéristiques bactériologiques de l'eau du lac Azili

Présentés par les graphiques suivants (figure 3) les résultats d'analyses bactériologiques révèlent une forte charge en des coliformes totaux, thermotolérants et Escherichia coli dans les échantillons d'eaux prélevés. Ainsi, les charges bactériennes en coliformes totaux varient de 25 UFC/100ML à 450 UFC/100ML avec une moyenne de 155,33 UFC/100mL dépassant ainsi la limite fixée par la norme béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100. La plus faible charge bactérienne est obtenue dans l'échantillon d'eau prélevé sur le site 5 (Akava Bossa). Par contre, la plus forte charge bactérienne en coliformes totaux est obtenue dans l'échantillon d'eau prélevé sur le site 2 (Bognon Lomassouhou). Quant aux coliformes thermotolérants, les charges bactériennes varient de 4 UFC/100ML à 41UFC/100mL respectivement aux sites 6 (Dawessa) et 2 (Bognon Lomassouhou) avec une moyenne de 24 UFC/100MI dépassant ainsi la limite fixée par la norme béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100. En ce qui concerne l'Escherichia coli, les charges bactériennes obtenues au niveau des sites de prélèvement varient entre <1 et 200 UFC/100 mL avec une moyenne de 39,66 UFC/100 mL. La plus forte charge

bactérienne est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue) et la plus faible charge bactérienne est obtenue au niveau des sites 5 (Akava Bossa) et 6 (Dawessa). Les valeurs obtenues au niveau des sites 5 et 6 respectent la norme Béninoise tandis que celles obtenues au niveau des sites 1 (Alikon) ; 2 (Bognon Lomassouhoue) ; 3 (Awianhoué) et 4 (Akava) n'est pas conforme à la valeur limite fixée par la norme béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100 ml. Aucun des échantillons d'eau prélevés et analysés ne contiennent des charges bactériennes en entérocoques fécaux. La norme Béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100 ml est ainsi respectée pour ce germe.

Risques sanitaire liés à la consommation des eaux du lac

A Agonvè, la majorité des ménages ne disposent d'aucun système de collecte des ordures ménagères ni d'eaux usées domestiques. Ainsi, la mauvaise gestion de ces ordures et eaux usées ajoutées au manque d'infrastructures d'assainissement de base sur l'Île remet en question la qualité des eaux du lac qui entourent cette Île. Ce sont ainsi des facteurs de risque de pollution dudit lac. A la suite des enquêtes, il ressort que 40 % des ménages s'approvisionnent non seulement en des eaux du forage, du PEAP mais aussi celles du lac. En effet ne disposant que de deux forages et d'un PEAP, certaines populations se retournent vers les eaux du lac pour la boisson et divers usages domestiques. Or d'après l'Organisation Mondiale de la Santé, l'eau destinée à la consommation et aux besoins des ménages ne doit pas contenir de microorganismes pathogènes ; aucun échantillon de 100 ml d'une eau destinée à la consommation ne doit contenir de germes de coliformes et de streptocoques (WHO, 2008). La consommation des eaux du lac par ces habitants expose ces derniers à des maladies d'origine microbienne telles que le choléra, les fièvres typhoïdes, dysenteries bacillaires, diarrhées et gastro-entérites, hépatite A et E, dysenteries amibiennes.

Discussion

Les résultats issus de l'enquête révèlent que la pêche est la principale activité de la population du village d'Agonvè. Dans ce village, la pêche est beaucoup plus traditionnelle avec usages de filets à bord de pirogue ou de cage pour tendre des pièges aux poissons. L'usage de cage par ces pêcheurs pour piéger les poissons n'est pas sans conséquences. En effet, l'implantation de ces cages encombre non seulement le lac Azili mais augmente la charge de matière organique de l'eau. Or l'augmentation de la charge de matière organique des eaux de surface cause l'eutrophisation (Mama, 2010 ; Dèdjiho *et al.*, 2014) et subséquemment altère le développement des poissons (Laurent et Dupont, 2011). En ce qui concerne l'agriculture, elle connaît l'usage des insecticides, herbicides, pesticides et des engrais chimiques. Pour l'application

des engrais chimiques, les agriculteurs ne respectent pas les doses recommandées. L'application des engrais chimiques à des doses non recommandées constitue certainement une source de pollution pour les ressources naturelles voire la population utilisatrice. Les enquêtes effectuées par Atidéglà et Agbossou (2010), au Bénin sur le site de Grand Popo viennent confirmer cette information. Selon ces auteurs, plus de 60 % des maraîchers du site de Houégnihò appliquent la fumure au moins quatre fois au cours du cycle végétatif des cultures avec des doses (1000-3000 kg/ha de NPK et 2500-5000 kg/ha d'urée) supérieures à celles recommandées par les services techniques. Après application des engrais chimiques, lorsque la capacité des sols est dépassée, les engrais en excès sur le sol rejoignent les ressources en eau superficielles (rivières, fleuves, lacs, etc.) par ruissellement ou s'infiltrent dans le sol et menacent les ressources souterraines (Adjagodo, 2018). En période d'inondation, les engrais chimiques non utilisés par les cultures se retrouvent plus facilement dans les eaux du lac. Pour la gestion des emballages des produits phytosanitaires, certains de ces agriculteurs d'Agonvè jettent ces emballages dans les champs et donc dans la nature. Le rejet des emballages des produits phytosanitaires dans les eaux de surface ou dans la nature ainsi que leur réutilisation est très dangereuse pour l'homme après lavage des emballages, il reste toujours des résidus de produits à l'intérieur, ces derniers sont absorbés dans les parois de l'emballage, ce qui fait qu'on les qualifie de déchets spéciaux (Schiffers et Mar, 2011). Outre la pêche et l'agriculture, l'élevage est aussi une activité à laquelle s'adonnent les habitants du village d'Agonvè. Pratiqué à l'air libre, il génère des matières fécales qui se retrouvent dans les eaux du lac en période d'inondation mais aussi par le biais des eaux de ruissellement ce qui constitue ainsi une source de contamination fécale du dit lac. Les activités domestiques constituent également des sources de pollution des eaux du lac Azili par les microorganismes, les métaux lourds, les polluants azotés et phosphatés. Ce lac est le réceptacle de tous les déchets solides et liquides produit par la population riveraine. Ces déchets liquides (eaux usées) renferment de nombreuses substances chimiques, des matières organiques, des matières en suspension (MES), des nutriments, des Eléments Traces Métalliques (ETM) (Rakoto, 2010) et des micro-organismes potentiellement dangereux. De même, l'insuffisance des infrastructures de gestion des déchets ménagers favorise leur introduction dans les eaux du lac en période de crue ou par le biais des eaux de ruissellement grâce à l'action de la pente. Ainsi une fois dans l'eau, ces déchets confèrent à l'eau un caractère trouble. Plusieurs tâches domestiques telles que la lessive, la vaisselle se font au bord du lac Azili qui sont des sources non négligeables de pollution. Ces pratiques engendrent la libération des composés phosphatés et des éléments traces métalliques. Selon Festy et al. (2003), les lessives constituent une source importante de phosphate dans les eaux de surface.

Les résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau du lac Azili analysés permettent d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux du lac Azili. Les températures collectées varient entre 26,61 °C et 26,81°C avec une moyenne de 26,72°C. Cette variation peut s'expliquer par les heures d'échantillonnage. Les valeurs des températures enregistrées, sont concordantes à celles de Dèdjiho (2011) et Pouomogne (1998) qui ont montré que les températures comprises entre 24 à 35 °C sont favorables à une bonne croissance des espèces aquatiques. Quant au pH, les différentes valeurs enregistrées au niveau des différents sites d'échantillonnage se situent dans la gamme de 6,5 à 8,5 (Beaux, 1998). Selon Sahli (2002) un pH compris entre 6 et 9 permet un développement de la faune et de la flore aquatique. Ces valeurs de pH obtenues dans les échantillons d'eau du lac Azili sont bonnes pour l'aquaculture car selon Abou et al. (2010), elles se situent dans la limite tolérable des espèces de poissons qui est située entre 6,5 et 9. Quant aux valeurs de la turbidité observées au niveau des différents sites, ces valeurs sont supérieures à 5 NTU (norme OMS). D'après Gregorio et Pierre-Marie (2007), la turbidité est due à la présence de matières en suspension entraînées dans les eaux. Les valeurs de la turbidité peuvent s'expliquer par la mauvaise gestion des ordures qui se retrouvent dans les eaux du lac par le biais des eaux de ruissellement. En effet, lorsqu'il y a pluie, les eaux de ruissellement entraînent avec elles les déchets vers le lac grâce à la pente. Aussi, en période de crue, ces décharges d'ordures sont inondées et donc les déchets se retrouvent plus facilement dans l'eau. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux de Zandagba *et al.*, (2016) sur le lac Nokoué. Selon l'auteur, les valeurs élevées de la turbidité s'expliquent par les apports des eaux de ruissellement, des activités anthropiques autour de la ressource en eau. Les valeurs de l'oxygène dissous varient entre 1,28 et 1,59 mg/L au sein du lac Azili. Ces valeurs sont inférieures à la norme qui est ≥ 3 mg/L. Selon Beaux (1998), une eau est qualifiée de polluée si elle a une teneur en oxygène dissous inférieure à 3 mg/L d'O₂. La diminution de l'oxygène dissous peut avoir plusieurs impacts négatifs sur l'écosystème aquatique dont les principaux sont la mortalité accrue de plusieurs organismes vivants et la libération du phosphore contenu dans les sédiments (Ngaram, 2011).

En ce qui concerne les nitrates, les valeurs obtenues au niveau des différents points de prélèvement ne représentent pas un danger puisqu'elles sont en dessous de 45 mg/L qui représentent la valeur limite fixée par la norme béninoise. Il en est de même pour les nitrites qui sont inférieures à la norme béninoise qui est de 3,2 mg/L. Les agriculteurs faisant usages des engrais chimiques, insecticides et herbicides, les faibles valeurs de nitrate et de nitrite obtenues peuvent être expliquées par la période d'échantillonnage qui coïncide avec la période de crue ; il y a donc une dilution considérable des eaux du lac. Par ailleurs, la présence des nitrites dans une eau de surface peut

être considérée comme suspecte voire toxique, pour les poissons même à de faibles doses (Vissin *et al.*, 2010) et constitue un frein au développement de la faune aquatique à cause de la toxicité (André, 1995). Les concentrations en ammonium obtenue au niveau des sites 4 et 5 sont supérieures à la norme. Ces fortes valeurs peuvent provenir des rejets d'effluents domestiques ou de la réduction naturelle des nitrates qui s'est introduit directement dans l'eau du lac. En effet, les déchets ménagers se retrouvant un peu partout sur l'Île et dans les eaux du lac constitue une source de pollution des eaux au niveau de ces sites. Les concentrations en ammonium au niveau de ces sites sont supérieures à la norme, il y a donc risque de toxicité pour la vie aquatique. Les analyses de l'orthophosphate permettent de remarquer une faible variation des teneurs en phosphates au niveau des différents sites de prélèvement. Ces faibles valeurs obtenues peuvent être dues au phénomène de dilution. Globalement les nutriments solubles dans la colonne d'eau sont très sensibles aux effets de dilution dû aux apports de la pluie et de l'eau douce (Mama *et al.*, 2011). Aussi les faibles valeurs obtenues permettent de dire que les plantes utilisent ces éléments pour leurs activités en période de crue (Zandagba et al., 2017). En ce qui concerne le fer, les valeurs obtenues varient entre 1,89 et 2,50 mg/L ce qui est largement supérieur à la norme béninoise qui de 0,3 mg/L. Cela s'explique par la présence des sols hydromorphes dans ce village. En effet les sols hydromorphes sont riches en minéraux ferreux ce qui favorise la libération du fer par oxydation au contact de l'eau. Notons que ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par Zanou (0.70-1,65 mg/L) en 2022 sur le lac Azili.

En se référant à la Norme de Qualité des Eaux de France (NQE) pour l'appréciation de la qualité de la ressource en eaux superficielles qu'est le lac Azili, il faut retenir que, les eaux dudit lac sont de mauvaise qualité. Dans cet état de chose, une surveillance s'avère indispensable pour la protection de cette ressource et des populations qui la consomme. Les analyses bactériologiques des eaux des différents sites échantillonnés montrent qu'elles ont une charge microbienne élevée en ce qui concerne les germes indicateurs de contamination fécale. En effet, les analyses révèlent la présence en grand nombre des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants et *Escherichia coli* dépassant ainsi la norme béninoise (0UFC/100ml). Des plus fortes charges bactériennes en coliformes totaux et thermotolérants sont obtenues dans les échantillons E1, E2 et E4 pour les coliformes totaux et E2, E3 et E4 pour les coliformes thermotolérants. La présence des Coliformes totaux et thermotolérants dans l'eau du lac Azili au niveau de ces sites est due au ruissellement des eaux usées et déchets domestiques rejetés, à l'insuffisance des systèmes d'assainissement dans la zone d'étude. Selon Crowther et al. (2002) ; Fogarty et al. (2003) ; Cox et al. (2005), la contamination fécale des eaux de surface est liée principalement aux rejets des eaux résiduaires, à l'épandage des lisiers et fumiers dans l'activité agricole et aux déjections de

la faune sauvage. La présence des Coliformes thermotolérants dans l'eau constitue un bon indice de pollution surtout attribuée à une contamination fécale (Ladjel, 2009). En ce qui concerne *E. coli*, les plus fortes charges en ces germes sont obtenues dans les échantillons d'eau prélevés sur les sites E2, E3 et E4. La présence de *E. coli* dans l'eau indique non seulement une contamination récente par des matières fécales, mais aussi la présence possible de bactéries pathogènes, virus et protozoaires pathogènes (INSPQ, 2003 ; John et Donald, 2010). L'absence des Entérocoques fécaux dans les échantillons d'eau analysée confirme que la contamination de l'eau du lac par les matières fécales est récente.

Les résultats issus des enquêtes menées en ce qui concerne les facteurs de risques de contamination confirment réellement le degré de pollution bactériologique observée. Cela s'explique sans doute par l'insuffisance d'infrastructures d'assainissement de base ce qui oblige les habitants à renouer avec les vieilles habitudes de défécation à l'air libre. Ainsi, en période de crue, l'eau apporte avec elle, tous ces excréta. Ces derniers se décomposent par la suite dans l'eau provoquant ainsi sa pollution. Il en est de même pour les matières fécales des animaux puisque à Agonvè, les animaux sont laissés en divagation et donc, leurs excréta se retrouvent un peu partout sur l'Île et dans les eaux du lac. L'utilisation de ces eaux pour les besoins domestiques en l'occurrence pour la boisson explique mieux les maladies hydriques fréquentes enregistrées dans le village. Il s'agit entre autres du choléra, la diarrhée et de la fièvre typhoïde.

Conclusion

L'étude réalisée nous a permis d'évaluer la qualité des eaux du lac Azili du point de vue physico-chimique et du point de vue bactériologique afin de déterminer les risques sanitaires liés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de Zagnanado. Les résultats des analyses physico-chimiques dévoilent que les propriétés des eaux du lac sont généralement bonnes pour l'ensemble des paramètres à l'exception de cinq éléments (Turbidité, température, l'oxygène dissous, la couleur et le fer) qui présentent des quantités en excès par rapport aux normes béninoises des eaux de boisson. Les analyses bactériologiques viennent confirmer que les eaux sont contaminées par des coliformes totaux, thermotolérants, et *Escherichia coli* qui seraient d'origine fécale. Cela peut s'expliquer par l'insuffisance d'infrastructures d'assainissement de base et les conditions d'hygiène et d'assainissement inquiétantes autour de ceux existant ce qui oblige les habitants à renouer avec les vieilles habitudes de défécation à l'air libre. Les eaux du lac sont donc malsaines et impropres à la consommation humaine ce qui est sans doute à l'origine des maladies hydrique récurrentes sur l'île. Ainsi, il urge donc que les autorités de la municipalité portent un regard attentionné à l'endroit de ces

populations vivant sur l'île afin de leur permettre de bénéficier de meilleures conditions d'hygiène et d'assainissement car l'insalubrité à laquelle nous assistons sur cette île, continue de dégrader l'environnement immédiat de ces populations, la ressource en eau et la santé des habitants. Pour donc remédier à cette situation, nous formulons des suggestions suivantes :

construire sur l'île des infrastructures d'approvisionnement en eau potable pour la population ; construire et mettre à la disposition des populations des infrastructures d'assainissement de base ; mettre en place des dispositifs de collecte et de stockage des déchets ménagers ; traiter l'eau du lac avant tout usage alimentaire ; sensibiliser les populations sur les bonnes pratiques d'hygiène et d'assainissement ; construire un centre de santé sur l'île et réhabiliter l'existant afin de faciliter l'accès au soin médical à la population ; éviter l'utilisation excessive des engrais chimiques dans les champs ; faire un suivi régulier de la qualité des eaux du lac permettant de suivre le niveau de pollution afin de préserver la vie des espèces aquatiques et des populations utilisant les ressources du lac.

Ainsi s'ouvrent des recommandations de recherche pour les acteurs scientifiques afin d'apporter des éléments aux décideurs pour protéger les populations riveraines, préserver puis sauvegarder la vie de cet important écosystème aquatique du pays.

Conflit d'intérêt: Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêt

Disponibilité des données: Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement: Les auteurs n'ont reçu aucun financement pour cette recherche

Déclaration relative aux participants humains: Cette étude a été approuvée par l'Institut National de l'Eau (Laboratoire d'Hydrologie Appliquée) et les principes d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Abou Y., Hossou E., Fiogbe E.D., 2010. Effets d'une couverture d'Azolla sur les performances de croissance et de production de Clarias gariepinus (Burchell) élevé en étangs. Hemical International Journal of Biological and C Sciences, 4 (1).
2. Adjagodo A., 2018. Influence des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique de l'écosystème aquatique de la Basse Vallée de

- l'Ouémé. Thèse de Doctorat. Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-UNESCO), Université d'Abomey-Calavi, 221p.
3. Adjagodo A., Agassounon Djikpo Tchibozo M., Kelome N. C., Lawani R., 2016. Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : synthèse bibliographique Flow of pollutants linked to anthropic activities, risks on worldwide surface water and food chain resource : literature review. 10(June), 1459–1472. 2.
 4. Adjagodo A., 2018. Influence des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique de l'écosystème aquatique de la Basse Vallée de l'Ouémé. Thèse de Doctorat. Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-UNESCO), Université d'Abomey-Calavi, 221p.
 5. Bouras Z., Sekfali S., 2013. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles « cas d'Oued Zénati » (Nord - Est Algérien). Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 de Guelma p9-10-20.
 6. CNRS, 2015. L'eau à découvert - 4. La répartition spatiale actuelle de l'eau sur Terre - CNRS Éditions" <https://books.openedition.org/editions-cnrs/9848?lang=fr>.
 7. Dedjiho C.A., 2011. Evaluation de la chaîne trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah.
 8. Dèdjiho A., 2014. Etude diagnostique de la pollution chimique des plans d'eau du complexe lagunaire du Sud-ouest du Bénin : cas du lac Ahémé-gbèzoumè. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 139p.
 9. Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P., Tricard D., 2003. Qualité de l'eau. In: Environnement et santé publique-Fondements et pratiques. pp 333-368.
 10. John P., Donald A., 2010. Microbiologie, 3ème Édition, 1216 p.
 11. Mama D., 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse de l'Université de Limoges, 150p.
 12. OMS, 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif.
 13. Santé Canada, 2012. Recommandation pour la qualité de l'eau au Canada ; document technique, les coliformes totaux (<http://www.hc-sc.gc.ca/ewhsemt/alt-formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau>) .

14. Pouomogne V., 1998. Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment produire du poisson a cout modéré .Presse Universitaire d'Afrique, Yohoundé . 263p .
15. Zandagba J., Adandedji F., Mama D., Chabi A., Afouda A., 2016. Assessment of the physico-chemical pollution of a water body in a perspective of integrated water resource management: case study of Nokoué lake.657-669p.