UNIVERSITE D'ABOMEY -CALAVI

=======

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

=======

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : Ecohydrologie

==========

Evaluation de la qualité de l'eau du lac Azili et risques sanitaires associés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado (Sud Bénin)

==========

Présenté par :

Luc Enangnon GNONLONSA

Maître de Mémoire

Docteur Flavien DOVONOU

(Maitre de Conférences des Universités de CAMES)

Maître de Stage

Docteur Antoinette ADJAGODO

(Chercheure à l'INE, Microbiologiste)

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

PROMOTION : 2022-2023

DEDICACE :

A

Mon défunt père Armand D. Gbètondji GNONLONSA et
ma maman Laure Dossi H. pour m'avoir donné naissance.

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas été mené à terme sans le soutien et les conseils de plusieurs personnes. Que chacun d'eux trouve dans le début de ce mémoire l'expression de mes sincères remerciements. Je remercie en premier lieu le Seigneur tout puissant pour son amour, et son assistance tout au long de la réalisation de ce document. Mes remerciements s'adressent également aux personnes suivantes :

- Professeur Flavien DOVONOU, notre maitre de mémoire, pour son précieux encadrement, ses conseils et sa disponibilité à suivre de près et de loin ce travail ;
- Docteur Antoinette ADJAGODO, notre maitre de stage, pour sa précieuse contribution, ses conseils, sa disponibilité inconditionnelle et pour tous les sacrifices consentis dans l'élaboration de ce document ;
- Professeur Daouda MAMA, Directeur de l'Institut National de l'Eau (INE), pour nous avoir permis l'insertion dans son établissement ;
- A tout le personnel du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) en occurrence Docteur Firmin ADANDEDJI, Docteur Ousmane BOUKARI et Monsieur Mohamed BOURE SALMANOU pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce travail, leur sympathie et leur solidarité à notre égard ;
- Professeur Abdoukarim ALASSANE, ancien chef de département d'hydrologie et de gestion des ressources en eau (HGRE) pour ses conseils, son soutien et son aide ;
- Tous les responsables de la formation professionnelle en hydrologie à l'Institut National de l'Eau (INE) ;
- Nos aînés de la formation professionnelle en hydrologie en occurrence Romaric ZANOU, Ella DANNON et Fructueux EHOUINSOU. Merci pour leurs encouragements, aide et conseils ;
- Tous mes camarades d'hydrologie et spécialement ceux de la promotion 2022 -2023 en particulier ceux de l'écohydrologie avec qui tout au long des trois (3) années, nous avons partagé des moments de fraternité et d'apprentissage. Merci pour le soutien et l'entraide dont nous avons tous fait preuve ;
- Mon oncle Fagla-Xavier. GNONLONSA et son épouse Marguerite pour l'amour, et tous les sacrifices consentis pour mon éducation.
- Mes frères et sœurs, mes tantes, mes oncles, cousins et cousines pour l'amour, l'éducation, le soutien, l'orientation et les conseils de tous les jours ;
- Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce document, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude ;
- Tous les honorables membres du Jury qui apprécieront ce modeste travail ; merci pour le temps que vous sacrifierez au détriment de vos occupations pour l'analyse et l'amélioration de ce document.

RESUME

La présente étude a pour objectif d'évaluer la qualité de l'eau du lac Azili et les risques sanitaires associés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado. Des enquêtes de terrain ont été faites auprès des ménages et des autorités locales de la zone d'étude sur la base de questionnaires préétablis. Les échantillons d'eau du lac Azili ont été prélevés sur six sites. La qualité bactériologique et physico-chimique des échantillons a été déterminée par des méthodes standardisées. Les résultats issus des enquêtes et des analyses de laboratoire ont été traités par les méthodes de la statistique descriptive. Les résultats d'enquête révèlent que 100 % de la population utilise l'eau du lac Azili pour divers usages. Les sources de pollution de ce lac sont l'utilisation des engrais chimiques, insecticides et herbicides en agriculture et qui sont lessivés des sols par les eaux de ruissellement vers le lac. Les déjections animales issues de l'agriculture ainsi que les excrétas humains finissent aussi dans le lac par le biais des eaux de ruissèlement ou plus facilement en période d'inondation. Il en est de même pour les déchets ménagers laissés un peu partout sur l'île faute d'insuffisance d'infrastructures de gestion de ces déchets. Les analyses physico-chimiques effectuées révèlent que les valeurs obtenues pour les paramètres physiques comme la température (26,61 et 26,81 °C), la turbidité (24 et 29 NTU), couleur (223 et 369 UcV) et oxygène dissous (1,23 et 1,59 mg/L) ne sont pas conforme à la norme béninoise. Il en est de même pour la teneur en fer de ces eaux qui variant entre 1,89 et 2,50 mg/L est supérieure à la valeur limite fixée par la norme béninoise qui est de 0,3mg/L. 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, nous pouvons retenir que les eaux dudit lac sont de mauvaises qualité . Les résultats des analyses bactériologiques des eaux du lac révèlent une contamination de cette eau par les Coliformes totaux (25 et 450 UFC/100mL) ; Coliformes thermotolérants (4 à 41 UFC/100mL) et *Escherichia coli* (< 1 à 200 UFC/100mL). Aucun des échantillons d'eau analysés ne révèlent la présence des Entérocoques fécaux. Ces résultats constituent une évaluation diagnostique de l'état d'hygiène et d'assainissement sur l'île d'Agonvè ainsi que celui de la pollution actuelle de ce lac du Bénin. Des actions visant à améliorer les conditions d'hygiène et d'assainissement sur l'île tout en préservant la qualité des eaux du lac s'avèrent indispensables.

MOTS CLES : Eau du lac Azili, Agonvè, Paramètres physico-chimique, Paramètres bactériologique, Risques sanitaire.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the quality of the water of Lake Azili and the health risks associated with its consumption in the fourth district of the municipality of Zagnanado. Field surveys were carried out among households and local authorities in the study area based on pre-established questionnaires. Water samples from Lake Azili were taken from six sites. The bacteriological and physicochemical quality of the samples was determined by standardized methods. The results from the surveys and laboratory analyzes were processed using descriptive statistics methods. The survey results reveal that 100% of the population uses the water from Lake Azili for various uses. The sources of pollution of this lake are the use of chemical fertilizers, insecticides and herbicides in agriculture and which are leached from the soil by runoff water towards the lake. Animal waste from agriculture as well as human excreta also end up in the lake through runoff or more easily during periods of flooding. The same goes for household waste left everywhere on the island due to insufficient infrastructure for managing this waste. The physicochemical analyzes carried out reveal that the values obtained for physical parameters such as temperature (26.61 and 26.81 °C), turbidity (24 and 29 NTU), color (223 and 369 UcV) and dissolved oxygen (1.23 and 1.59 mg/L) do not comply with the Beninese standard. The same goes for the iron content of these waters which varying between 1.89 and 2.50 mg/L is higher than the limit value set by the Beninese standard which is 0.3 mg/L. Referring to the French Water Quality Standard (NQE) for the assessment of the quality of the surface water resource that is Lake Azili , we can note that the waters of the said lake of poor quality.The results of bacteriological analyzes of the lake water reveal contamination of this water by total Coliforms (25 and 450 CFU/100mL); Thermotolerant Coliforms (4 to 41 CFU/100mL) and Escherichia coli (<1 to 200 CFU/100mL). None of the water samples analyzed revealed the presence of fecal Enterococci. These results constitute a diagnostic assessment of the state of hygiene and sanitation on the island of Agonvè as well as that of the current pollution of this lake in Benin. Actions aimed at improving hygiene and sanitation conditions on the island while preserving the quality of the lake water are essential.

KEY WORDS: Water from Lake Azili, Agonvè, Physico-chemical parameters, Bacteriological parameters, Health risks.

SOMMAIRE 0

INTRODUCTION **1**

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE **6**

1-1-Définition de quelques concepts clés 6

1-2- Généralité sur les différents types d'eau 7

1-3-Généralités sur la pollution des eaux 8

1-4-Paramètres déterminant la qualité de l'eau 11

1-5-Normes de qualité de l'eau 20

CHAPITRE 2 : CADRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES **22**

2-1-PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE 22

2.2. MATERIEL 27

2.3. APPROCHES METHODOLOGIQUES 30

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION **38**

3-1. RESULTATS 38

3-2. DISCUSSION 57

CONCLUSION ET SUGGESTIONS **61**

PERSPECTIVES **62**

SIGLES ET ACRONYMES

AFNOR **:** Association Française de Normalisation

CNRS **:** Centre National de la Recherche Scientifique

CEAEQ **:** Centre d'Expertise en Analyses Environnementale du Québec

GPS **:** Global Positoinning System

INSAT : Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie

INE **:** Institut National de l'Eau

LHA **:** Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

MES **:** Matières En Suspension

NTU **:** Nephelometric Turbidity Unit

OMM **:** Organisation Météorologique Mondiale

OMS **:** Organisation Mondiale de la Santé

pH **:** Potentiel d'Hydrogène

RGPH **:** Recensement Général de la Population et de l'Habitation Littorales.

TDS **:** Total Dissolved Solids

UNICCEF **:** United Nations of International Childrens Emergency Fund

UAC **:** Université d'Abomey Calavi

UFC **:** Unité Formant Colonie

NPK **:** Azote, Phosphore et Potassium

VRBL **:** Violet Red Bile Lactose

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Localisation géographique du lac Azili 23
Figure 2 : Régime pluviométrique de la commune de Zagnanado(1995-2020) 24
Figure 3 : Réseau hydrographique de la commune de Zagnanado 27
Figure 4: Pourcentage des pêcheurs sur les enquêtés dans le village d'Agonvè 38
Figure 5: Pourcentage d'agriculteurs sur les enquêtés dans le village d'Agonvè 39
Figure 6 ; Utilisation d'engrais, insecticides et herbicides par les agriculteurs dans le village d'Agonvè 40
Figure 7 : Le taux d'éleveurs sur sur les enquêtés dans le village d'Agonvè 41
Figure 8 : Eaux consommées par les enquêtés du village d'Agonvè 41
Figure 9 : Utilisation de l'eau du lac pour usages domestique 42
Figure 10: Mode de Gestion des déchets ménagers 43
Figure 11: Variation de la température au niveau des différents sites de prélèvement 46
Figure 12: Variation du pH au niveau des différents sites de prélèvement 47
Figure 13: Variation des valeurs de la turbidité au niveau des différents sites de prélèvement 47
Figure 14: Variation des valeurs de la couleur au niveau des différents sites de prélèvement 48
Figure 15: Variation des valeurs de la conductivité électrique au niveau des différents sites de prélèvement. 48
Figure 16: Variation de la concentration des TDS au niveau des différents sites de prélèvement 49
Figure 17: Variation de la concentration en oxygène dissous au niveau des différents sites de prélèvement 49
Figure 18 : Variation de la matière en suspension (MES) au niveau des sites de prélèvement 50
Figure 19 : Variation de la concentration en ammonium au niveau des différents sites de prélèvements 50
Figure 20: Variation des nitrites au niveau des sites de prélèvement 51
Figure 21: Variation de la concentration en nitrates au niveau des sites de prélèvement 51
Figure 22: Variation de la concentration en orthophosphate au niveau des sites de prélèvement 52
Figure 23: Variation de la concentration en fer au niveau des sites de prélèvement 52
Figure 24: Variation des coliformes totaux au niveau des différents sites de prélèvement 54
Figure 25: Variation des coliformes thermotolérants au niveau des différents sites de prélèvement 54
Figure 26: Variation d'Escherichia coli au niveau des différents sites de prélèvement 55
Figure 27: Variation des entérocoques fécaux au niveau des différents sites de prélèvement 55

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification d'une eau selon leur pH 13
Tableau 2: Classification des eaux selon la conductivité..... 13
Tableau 3: Classes de turbidités usuelles (NTU, néphélomé tricturbidity unity) 14
Tableau 4: Codes et coordonnées géographiques des sites de prélèvement. 32
Tableau 5: Norme Béninoise des eaux de consommation 36
Tableau 6 : Norme de Qualité des Eaux de France..... 36
Tableau 7: Norme de Qualité des Eaux de France (eaux de surface) et Normes OMS 53

LISTES DES PHOTOS

Photo 2: Multi-paramètre de marque HANNA (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023)..... 28
Photo 1:GPS Garmin (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023) 28
Photo 3:Colorimètre HACH DR/890 (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023) 29
Photo 4:Spectrophotomètre, DR 2800 (Cliché, Luc E. GNONLONSA , Août 2023) 29
Photo 5 : Autoclave (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023)..... 30
Photo 6 : Incubateur de marque DNP 9022 (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023)..... 30
Photo 7:Echantillonnage physico-chimique et bactériologique. (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023). 33
Photo 8: Tâches ménagères effectuées sur le lac Azili (Cliché, Luc E.GNONLONSA, Août 2023).. 42
Photo 9 : Latrine public du village d'Agonvè (Cliché, Luc E.GNONLONSA, Août 2023) 45
Photo 10:Centre de santé du village d'Agonvè (Cliché, Luc E.GNONLONSA, Août 2023)..... 45

LISTES DES PLANCHES

Planche 1 : Décharge sauvage d'ordures ménagers..... 44

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). Ces activités anthropiques restent la principale cause de la dégradation de la qualité des eaux naturelles (Bouras et *al*., 2010). Selon Shahidul et Tanaka (2004), les activités agricoles peuvent produire environ 50 % de la pollution totale des eaux de surface par leur enrichissement en sels nutritifs. De même, les eaux de surface servent de dépotoirs aux déchets divers (déchets domestiques, agricoles et pastoraux) et sont des collecteurs d'eaux usées provenant des agglomérations (Bagalwa, 2013). Or, les ressources en eau de surface sont parfois utilisées comme eau de consommation par les populations en cas d'absence ou de déficit en eau potable (Agassounon Djikpo Tchibozo et *al*., 2014). La consommation de la mauvaise qualité de l'eau 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). Les maladies d'origine hydrique entrainent ainsi chaque année 3,4 millions de décès, dont 2,2 millions par maladies diarrhéiques, notamment le choléra. Près de 90% de décès d'enfants causés par les maladies diarrhéiques sont directement liées à une eau contaminée, un manque d'assainissement, ou une mauvaise hygiène (Santé Canada, 2013). Alors, l'eau vitale pour l'existence, peut être aussi une source de maladies hydriques (Agassounon Djikpo Tchibozo et al., 2012 ; Ndahama et al., 2014). L'eau et l'assainissement sont alors indispensables à la santé publique. En 2010, les Nations Unies reconnaissent que « le droit à l'eau potable et à l'assainissement est un droit fondamental, essentiel à la pleine jouissance de

la vie et à l'exercice de tous les droits de l'homme ». Ainsi, chacun a le droit à un approvisionnement en eau suffisant, physiquement accessible et à un coût abordable, d'une eau potable et de qualité acceptable pour les usages personnels et domestiques (boisson, assainissement individuel, lavage de linge, préparation des aliments, hygiène) et ce, partout dans le monde. Malgré cela, 2,1 milliards de personnes, soit 30 % de la population mondiale, n'ont toujours pas accès à des services d'alimentation domestique en eau potable et 4,5 milliards, soit 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 des populations 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. L'insuffisance de forage et les conditions d'hygiènes et d'assainissement médiocres autour de ceux existant obligent les populations du village à avoir recours aux eaux du lac pour la boisson, les usages domestiques et autres. La défécation à l'air libre étant une vielle pratique encore encrée dans les habitudes d'une frange de la population béninoise, la commune de Zagnanado n'en est pas pour autant épargnée. En effet, les espaces publics, les terrains vides, le long des murs des maisons, des écoles, des hôpitaux, des marchés et autres sont pris d'assaut par des individus pour y déposer leurs excrétas (info@ongautrevie.org). Il faut noter que le lac Azili situé dans le village de Agonvè constitue un exutoire pour les eaux pluviales et les eaux usées domestiques. Cette situation combinée à un faible taux de renouvellement du lac peut conduire à la dégradation progressive et continue de la qualité des eaux de ce milieu avec d'incidence majeure sur la santé des populations riveraines. Ainsi, c'est pour 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 que le thème intitulé « Evaluation de la qualité de l'eau du lac Azili et risques sanitaires associés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado » est choisi.

Au regard de ce qui précède, le problème de recherche identifié est le suivant: les activités anthropiques et le manque d'hygiène et d'assainissement polluent-ils l'eau du lac Azili dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado? Trois questions de recherche ont été formulées :

Q1 : Les facteurs de pollution environnementale sont-ils diversifiés dans la zone d'étude ?

Q2 : L'eau du lac Azili est-elle la principale cause des maladies hydriques enregistrées dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado

Q3 : L'eau du lac Azili est-elle polluée par les paramètres bactériologiques et physico-chimiques ?

Objectifs de l'étude

Pour répondre aux questions de recherche posées ci-dessus, les objectifs suivants sont formulés.

Objectif général

L'objectif général 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.

Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

répertorier les facteurs de risques de détérioration de la qualité de l'eau du lac Azili dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado.

évaluer les risques liés à la consommation de l'eau du lac Azili sur la santé des populations .dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado.

apprécier la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du lac Azili dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado.

Hypothèses

H1 : L'eau du lac Azili est exposée à divers facteurs de risques de détérioration dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado.

H2 : La consommation de l'eau du lac Azili est la cause des maladies hydriques enregistrées dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado.

H3 : L'eau du lac Azili dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado n'est pas conorme aux normes de potabilité d'une eau de consommation**.**

Pour rendre compte des résultats des travaux de recherche, ce document est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre est intitulé contexte et justifications ; le second chapitre est

consacré à la présentation du cadre, matériel et méthodes d'étude et le troisième chapitre présente les résultats et discussions. Une conclusion suivie des recommandations sont formulées pour l'amélioration des conditions d'hygiène et d'assainissement dans le but de préserver la santé des populations.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1-1-Définition de quelques concepts clés

1-1-1. Eaux de surface

La ressource en eau de surface est l'ensemble des eaux qui ruissellent ou qui stagnent à la surface de l'écorce terrestre. Elle s'accumule sur le sol, dans un cours d'eau ou le lit d'une rivière ; elle prend en compte également le lac, la mer ou l'océan (Le Barbé et *al*., 1993 ; Vissin, 2007). Selon Coulibaly (2005), il s'agit des cours d'eau (rivières et fleuves) et des retenues naturelles (lacs, lagunes, étangs, etc.) ou artificielles. Les eaux de surface rassemblent l'ensemble de toutes les eaux qui circulent à la surface du sol, des versants jusqu'aux cours d'eau (Rassou, 2009).

1-1-2. Les lacs

Etymologiquement le mot lac provient du latin *lacus*, lui-même issu du grec *lukkos*, lui-même dérivant du sanskrit avec pour sens initial celui de « déchirure ». Un lac est donc à l'origine une dépression, une rupture de l'écorce terrestre remplie d'eau. Ici, le terme exclut les masses d'eau retenues par un barrage, que celui-ci soit naturel ou artificiel. Cela s'explique par le fait que cette définition a évolué au fil des siècles. Selon l'article 5 de la Loi n° 2010-44 du 24 Novembre 2010 portant gestion de l'eau en République du Bénin, le lac est une grande étendue d'eau continentale. Il s'agit d'une étendue d'eau libre qui s'écoule très lentement, logée dans une dépression de l'écorce terrestre et qui peut comprendre des étangs et des réservoirs. Ce sont des milieux complexes en constante évolution avec un large éventail d'éléments étroitement liés.

1-1-3. Qualité de l'eau

La qualité de l'eau est l'ensemble des propriétés physique, chimique, biologique et organoleptique qui rendent l'eau apte à l'utilisation à laquelle elle est destinée (Loi n°2010-44 du 24 Novembre 2010 portant la gestion de l'eau en République du Bénin, chapitre premier, session 4 article 5). Elle est utilisée plus fréquemment en référence à un ensemble de normes permettant d'évaluer la conformité. Les normes les plus couramment utilisées pour évaluer la qualité de l'eau sont liées à la santé des écosystèmes, à la sécurité des contacts humains et à l'eau potable (www.aquaportail.com).

1-1-4. Risques

Le risque est la probabilité d'apparition d'effets toxiques après l'exposition des organismes à un polluant dangereux. C'est l'éventualité d'apparition d'un danger associé à un polluant (maladie, décès) dans des conditions d'exposition spécifiques. Plus formellement, le risque est la caractéristique d'une situation ou d'une action où il y a deux issues possibles, on ne sait pas, laquelle doit se produire, mais l'une d'elles représente un évènement indésirable. (Diagne, 2000).

1-1-5. Maladies hydriques

Les maladies hydriques sont des maladies (et par extension les risques sanitaires) liées à la qualité de l'eau et à l'accès à l'eau potable. Les maladies à transmission hydrique (Appelées également maladies des mains sales ou maladies des canalisations) constituent un groupe de maladies à allure épidémique, dont la symptomatologie est le plus souvent digestive (diarrhées, vomissement …) et dont la nature et propagation sont liées à divers facteurs, comme la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène et la pauvreté (Bouziane, 2000; 2005).Ces maladies sont ainsi nommées car elles sont provoquées par l'ingestion ou le contact avec des eaux insalubres. Selon Mbongo (2015), sont appelées maladies hydriques toute maladie affectant un individu par l'intermédiaire de la consommation d'eau non potable.

1-2- Généralité sur les différents types d'eau

1-2-1. Eaux souterraines

Représentant 30% de l'eau douce de la planète les eaux souterraines sont la principale source d'eau douce de l'humanité. Le reste constitue les calottes polaires (69%) ainsi que les fleuves et les lacs (1%). Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol bénéficiant d'une importante filtration naturelle (Chelli et Djouhri, 2013).Il s'agit des eaux se trouvant sous la surface du sol dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol (Loi n°2010 44 du 24 Novembre 2010 portant la gestion de l'eau en République du Bénin, chapitre premier, session 4 article 5).Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie et constituent alors une nappe aquifère. De qualité constante, elles bénéficient également vis-à-vis des pollutions, d'une meilleure protection que les eaux superficielles. Elles peuvent être captées à leur exutoire ou directement dans le sous-sol par forage et constituent la plus grande et la plus importante source d'approvisionnement en eau potable en Afrique (ONEMA, 2014). L'eau souterraine est étroitement liée aux eaux de surface

et est une composante importante du cycle global de l'eau (Cosandey et al, 2003 in Felix, 2013). La réalisation des puits et des forages permet d'obtenir les eaux souterraines grâce aux couches aquifères.

1-2-2. Eaux superficielles

Les eaux de surface également appelées eaux superficielles sont constituées, par opposition aux eaux souterraines, l'ensemble des masses d'eau courante ou stagnante, douce, saumâtre ou salée qui sont en contact direct avec l'atmosphère. Autrement dit, c'est l'ensemble des eaux intérieures à l'exception des eaux souterraines, les eaux de transition et les eaux côtières (Loi n°2010 44 du 24 Novembre 2010 portant la gestion de l'eau en République du Bénin, chapitre premier, session 4 articles 5). Ce sont les eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots...). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (Degremont, 2005). Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est très riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone (Degremont, 2005). Ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques.

1-3-Généralités sur la pollution des eaux

1-3-1. Définition

La pollution est l'introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptible de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou terrestres dépendant directement des écosystèmes aquatiques, qui entrainent des détériorations des biens matériels, une altération ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier" (Directive 2000/60/CE). Selon Hinda (2007), la pollution de l'eau est la contamination de l'eau par des corps étrangers tels que des micro-organismes, des produits chimiques, des déchets industriels ou autres. Ces substances et corps étrangers dégradent la qualité de l'eau et la rendent impropre

aux usages souhaités. Les micropolluants sont entre autres les éléments métalliques (fer, chrome, zinc, nickel, mercure, cadmium, plomb, arsenic, etc.) ; les pesticides ; et autres micropolluants organiques (hydrocarbures et solvants) ; puis les microorganismes (bactéries, virus et parasites) (Adjagodo et al., 2016).

1-3-2. Origines de la pollution

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire (Le centre d'information sur l'eau). Cette pollution peut avoir des origines diverses :

1-3-2-1. Pollution d'origine industrielle

Cette forme de pollution est généralement liée aux rejets des produits chimiques comme les hydrocarbures ou le PCB rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines. Un grand nombre d'opérations industrielles et manufacturières rejettent des agents polluants directement ou indirectement dans les sources d'eau environnantes (Chibani, 2009). Ces polluants sont caractérisés par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau dans le processus de refroidissement, de lavage, d'extraction, de mise en solution et de l'activité des usines (Benchabane et Merzoug, 2015).

1-3-2-2. Pollution d'origine agricole

La pollution liée à l'agriculture est causée par l'utilisation anarchique d'engrais, de pesticide et d'herbicide ou de fongicide. En effet, les déjections animales, les produits phytosanitaires pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais pénètrent dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines. Les méthodes modernes exigent parfois des labourages profonds et violents, ce qui favorise l'infiltration directe des polluants (NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} et Cl^-) vers la nappe phréatique (Boucherit et hakimi, 2016). L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont des activités responsables de rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques. Ces polluants atteignent les cours d'eau par le ruissellement de surface ou par l'écoulement souterrain (Bouras et Sekfali, 2013).

1-3-2-3. Pollution domestique

Elle est généralement liée aux rejets d'eaux usées, qui peuvent être de deux types :

- Les eaux usées issues de l'utilisation d'eau au quotidien (toilettes, cuisine, douche...) contiennent des déchets organiques ou de la matière fécale. Les habitations mal ou non

raccordées au réseau d'assainissement collectif, peuvent ainsi engendrer une pollution bactériologique de l'eau.

- Les produits ménagers que nous utilisons sont chargés de polluants chimiques nocifs pour l'environnement. Mélangés à l'eau, ils terminent dans nos canalisations ou dans la nature et engendrent une pollution chimique. Difficilement traités par les réseaux d'assainissement, les résidus de ces produits viennent enrichir les cours d'eau en substances chimiques (https://fr.oceancampus.eu/cours/7Mc/la-pollution-de-leau).

1-3-2-4. Pollution accidentelle

Elle est à l'origine des dommages spectaculaires provoqués par les déversements des produits chimiques, d'eaux usées ou d'effluents d'élevage, qui impactent l'approvisionnement en eau potable et la faune aquatique (https://www.caim.info/revue-economie-et-prévision-2018-1-page1htm).

1-3-2-5. Pollution d'origine atmosphérique

Une part importante de la pollution des eaux provient de la pollution par voie atmosphérique. Les fumées provenant des usines, des transports ou des maisons peuvent véhiculer un très grand nombre de polluants tels que hydrocarbures (60% de la pollution des mers par les hydrocarbures est transportée par voie atmosphérique), métaux lourds, soufre et gaz carbonique (responsables notamment des pluies acides) (Woito, 2018).

1-3-3. Différents types de pollution

1-3-3-1. Pollution physique

La pollution physique désigne la pollution thermique due à la température élevée causant une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz et la pollution mécanique, qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau ; qui lui confèrent un caractère trouble.

1-3-3-2. Pollution radioactive

La radioactivité libérée dans l'eau peut provenir d'une radioactivité naturelle (certaines eaux d'origine profonde) ou d'une contamination liée à des retombées atmosphériques (explosions nucléaires) ; des champs de rayonnement d'origine industrielle ou enfin des contaminations accidentelles de l'eau à partir des rejets d'installation des centrales nucléaires (Kourchi, 2010).

1-3-3-3-Pollution chimique

La pollution chimique de l'eau devient de nos jours une préoccupation de santé publique qui prend des formes multiples, certaines formes de pollution chimique échappent souvent aux méthodes ordinaires de traitement de l'eau et posent par conséquent des problèmes complexes de pollution ; tant au niveau des eaux de surface qu'au niveau des nappes souterraines (Kourchi, 2010).

I-3-3-4. Pollution biologique

C'est une pollution d'origine humaine et animale ; elle est engendrée par les rejets urbains. La pollution biologique devient très dangereuse lorsque les eaux usées sont rejetées dans un milieu pouvant être utilisé comme moyen de loisir (eau de mer ; lac ; rivière etc.). Elle peut être à l'origine des maladies infectieuses comme la fièvre typhoïde et le choléra (Loumi et al, 2010).

1-3-3-5. Pollution organique

Elle concerne les microorganismes pathogènes présents dans l'eau comme les bactéries et les virus. Cette pollution bactériologique se caractérise par un taux élevé de coliformes fécaux et provient principalement des excréments, des ordures ménagères et des déchets végétaux (www.aquaportail.com).

1-4-Paramètres déterminant la qualité de l'eau

1-4-1. Paramètres organoleptiques

Ces paramètres ne sont pas purement techniques mais affectent directement nos sens. En tant que consommateurs, nous y sommes d'autant plus sensibles. Il s'agit de la couleur, du goût, la saveur et de l'odeur.

1-4-1-1. Couleur

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UcV. (Henry, 1991). Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques (acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. L'élimination de la couleur s'accompagne également de celles de certaines matières organiques indésirables (précurseurs de composés haloformes).

1-4-1-2. Odeur

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. Ces odeurs sont causées par la présence dans l'eau de

substances relativement volatiles. Ces dernières peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO_2^- ou le sulfure d'hydrogène H2S ; ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution (Henry,1991)**.**

1-4-2. Paramètres physico-chimiques

L'évaluation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de certains paramètres physico-chimiques, bactériologiques et autres, qui sont des indicateurs qui donnent plus ou moins une idée claire sur la qualité de l'eau.

1-4-2-1. Paramètres physiques

1-4-2-1-1. Température

Ayant une énorme influence sur les autres paramètres, il est important de connaitre la température de l'eau avec une bonne précision. En effet elle joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, dans la dissociation des sels dissous, donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. (Rodier, 1984). La température des eaux superficielles (rivières lacs et retenues) est très variable selon les saisons et peut passer de 2°C en été. La source principale de l'augmentation de la température est d'origine anthropique pour les eaux de surface constituée par le contrôle thermique et nucléaire (70 à 80) , le reste étant lié à la métallurgie aux industries chimiques et alimentaires etc.

1-4-2-1-2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH permet de connaitre l'acidité, la basicité ou la neutralité de l'eau (Zurluth & Gienger, 2006), par la mesure de sa concentration en ion H^+ (Chapman et al., 1996). Le pH d'une eau de surface dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés, certaines eaux ont parfois un pH qui s'élèvent brutalement en été résultant d'une forte production végétale .Généralement il se situe dans la plupart des eaux brutes entre 6.5 et 8.5.Il a une influence majeure sur les formes physico-chimiques du métal et des composants métalliques dans l'environnement aquatique, du fait qu'il contrôle la solubilité et la concentration des métaux (Gendronneau, 2006).

Tableau 1: *Classification d'une eau selon leur pH*

pH <5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH=7	Ph neutre
7<pH<8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH <8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Source : *Physico_chimie_PresGen : Fiche réalisée par l'équipe technique du RéFEA (www.oieau.fr>AnalyseEau)*

1-4-2-1-3. Conductivité électrique

La conductivité est la capacité de l'eau à conduire e courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous formes d'ions chargé électriquement. La mesure de ce paramètre permet ainsi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Elle est également en fonction de la température (elle est plus importante lorsque la température augmente). La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) à 20°C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm.

Tableau 2: *Classification des eaux selon la conductivité*

Type d'eaux	**Conductivité (µS/Cm)**	**Résistivité (Ω. m)**
Eau pure	<23	>30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à l0000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 2500	4001000

Source : *Physico_chimie_PresGen : Fiche réalisée par l'équipe technique du RéFEA (www.oieau.fr>AnalyseEau)*

1-4-2-4. Solide Totaux Dissous

Le TDS signifie le total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques tels que (calcium, magnésium, potassium et sodium) et des carbonates (nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates) ainsi que

quelques matières organiques. Des sources d'eau minérales contiennent de l'eau avec un taux élevé de solides dissous parce qu'elles ont coulé à travers des régions où les roches contiennent beaucoup de sels (Bouchebbah & Ayache, 2011).

1-4-2-5. Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau exprimée en Unités de Turbidité Néphélométriques (UTN). C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. L'origine de ces dernières peut être extrêmement variable : érosion des roches, entraînement des matières minérales ou organiques du sol, déversement d'eaux usées domestiques ou industrielles riches en matières en suspensions grossières. (Tardat-Henry,1984).

Tableau 3: *Classes de turbidités usuelles (NTU, néphélomé tricturbidity unity) .*

NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble
NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

Source **:** Physico_chimie_PresGen : Fiche réalisée par l'équipe technique du RéFEA (www.oieau.fr>AnalyseEau)

1-4-2-6-Oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous constituent avec les valeurs de pH l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques (IBGE, 2005). Sa teneur dans les eaux de surface varie en fonction de la journée ou de la saison puisqu'elle dépend de certains paramètres tels que : la pression partielle de l'atmosphère en oxygène, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Elle est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau

(Rodier et al, 2009). Elle représente ainsi un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, dans le processus de dégradation de la matière organique.

1-4-2-7- Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) dans l'eau, généralement visibles à l'œil nu (dimension supérieure à 10 (µm), déterminent la turbidité. Ce sont des particules solides très fines qui se classent en matières décantables et matières colloïdales. La teneur et la composition des matières en suspension sont très variables selon l'origine de l'eau, elles sont fonction de la teneur des terrains, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, la concentration peut varier de plusieurs grammes par litre (rivière en crue, par exemple) (Degremont., 1989).

1-4-2-2. Paramètres chimiques

1-4-2-2-1. Ammonium (NH_4^+)

Cette forme d'azote est assez souvent rencontrée dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Certaines eaux profondes peuvent être riches en azote ammoniacal sans être pour cela nécessairement des eaux polluées. Dans ce cas, l'ammonium (NH_4^+) peut provenir de la dénitrification biochimique due au micro-organisme rédacteurs. Par contre, si l'ammonium est trouvé dans une eau de surface (rivière ou lac) ou dans une eau d'origine souterraine peu profonde. En général l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrate par oxydation. La présence des teneurs importantes d'azote ammoniacal dans l'eau, implique généralement une contamination récente par les matières organiques en décomposition. À ce stade une contamination est à craindre (Degremont, 1989)**.**

1-4-2-2-2. Nitrates (NO_3^-)

Ils sont rarement présents dans l'eau de consommation, on les retrouve généralement dans les eaux de surface. Ils y sont présents par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou, des engrais de synthèse ou naturels. On les retrouve également dans les eaux naturelles puisqu'ils sont le résultat normal de l'oxydation de l'azote organique. (Tardat-Henry, 1984). Par ailleurs, leur forte concentration dans les eaux de surfaces est à l'origine de la prolifération des algues engendrant ainsi l'eutrophisation du milieu**.** Le taux autorisé est de 50 mg/L en NO^-_3 ou 10 mg/L en N (Mouchet & Dauthuille, 1997).

1-4-2-2-3. Nitrites (NO_2^-)

Ils sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les nitrates. Ils proviennent :

- soit de l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal sous l'action des bactéries nitreuses de types nitrosomonas.
- soit des réductions des nitrates par les bactéries des nitrifiantes. Normalement, en milieu aérobie, leur teneur doit être faible, bien inférieur à 1 mg/L (Desiardins, 1990).

Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Dans les eaux de surface, leurs concentrations élevées témoignent souvent de la présence de matières toxiques (De Villers et *al*, 2005). De même une forte concentration de nitrites dans l'organisme peut provoquer des maladies graves. Dans l'eau les nitrites sont toxiques pour les espèces aquatiques (CPEPESC, 2017).

1-4-2-2-4. Orthophosphate (PO_4^{3-})

Forme dissoute du phosphore, les ions orthophosphates (couramment désignés phosphates) font partie du domaine de la chimie et désigne un phosphate inorganique. Constituant la seule forme biodisponible pour les végétaux pouvant produire de la matière organique les orthophosphates jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes. Ils sont ensuite libérés par minéralisation de la matière morte ("Les orthophosphates - Syloa - Sage Estuaire de la Loire" https://www.sage-estuaire-loire.org/les-orthophosphates/).

1-4-2-2-5. Fer

Le fer est un des métaux les plus abondants de l'écorce terrestre. On le rencontre donc naturellement dans les eaux sous forme soluble comme le fer ferreux (fer bivalent existant sous forme dissoute Fe^{2+} ou $Fe(OH)^+$) ou sous forme complexé comme le fer ferrique (fer trivalent : Fe^{3+} rencontré à l'état précipité $Fe(OH)_3$). L'origine du fer dans les eaux peut aussi s'expliquer de manière industrielle ; l'exploitation minière, la sidérurgie, la corrosion des métaux, etc. Le fer donne une coloration de rouille à l'eau qui peut tâcher le linge, les sanitaires ou bien encore les produits issus de l'industrie agro-alimentaire. Il donne aussi un goût métallique à l'eau rendant désagréable sa consommation. Le fer peut aussi être à l'origine de corrosion des canalisations dû au développement de micro-organismes, les Ferro bactéries(https://www.lenntech.fr/procedes/fer/fer/deferrisation-physico-chimique.htm).

1-4-2-3. Paramètres bactériologiques

L'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, encore moins des bactéries pathogènes. La qualité microbiologique est évaluée lors des contrôles analytiques réglementaires, par la recherche de bactéries, principalement des germes témoins de contamination fécale. La présence de ces bactéries dans l'eau a pour origine une pollution de la ressource, ou un dysfonctionnement du traitement de potabilisation. Les conséquences dépendent de plusieurs facteurs dont l'état général du consommateur, de la virulence des microorganismes, du mode de transmission ainsi que de la dose ingérée. Les troubles sont principalement des troubles gastro-intestinaux, diarrhées, vomissements. Les paramètres microbiologiques recherchés dans le présent travail sont : les Coliformes totaux, Coliformes thermotolérants, Escherichia Coli et les Entérocoques fécaux.

1-4-2-3-1. Escherichia coli

Le genre Escherichia fait partie du groupe des coliformes thermotolérants, lequel appartient à la famille des entérobactéries. Escherichia comprend plusieurs espèces dont une seule est utilisée à titre d'indicateur de la qualité des eaux : Escherichia coli (E. coli). Il importe toutefois de préciser le fait que cette espèce comprend plusieurs souches pathogènes, les souches considérées comme indicatrices sont non pathogènes. E. coli est d'origine fécale humaine ou animale, car il n'existe pas dans l'environnement naturel ; il peut cependant survivre quelques mois dans l'eau, le sol ou sur les plantes, bien qu'il se multiplie rarement dans ces milieux (Edberg et al., 2000 ; Santé Canada, 2012 ; WHO, 2011), à moins que des conditions de température élevée et la présence de nutriments le permettent (Brandl, 2008 ; Hardina et Fujioka, 1991). Sa détection dans l'eau doit donc être considérée comme reflétant la présence possible de micro-organismes pathogènes d'origine fécale ou entérique (WHO, 2011).

1-4-2-3-1-1. Risques sanitaires

E. coli est comme indicateur de pollution d'origine fécale. La détection d'E. coli dans une eau de consommation est une indication d'une contamination d'origine fécale (Elmund et al, 1999) qui doit faire sérieusement soupçonner la présence d'autres micro-organismes pathogènes. E. coli est l'indicateur spécifique à ce type de contamination, et il est plus facile de l'identifier comparativement à d'autres indicateurs ou des micro-organismes pathogènes spécifiques (Santé Canada, 2012 ; WHO, 2011). Les coliformes totaux ainsi que la majorité des E. coli ne sont pas pathogènes. Cependant, il existe des groupes de souches pathogènes : entéro pathogène (EPEC) ; entéro toxigénique (ETEC) ; entéro-invasif (EIEC) ; entérohémorragique (EHEC) ; entéro-

agrégatifs (EAEC) ; à adhésion diffuse (DAEC) (APHA, 2008 ; Bopp et al, 1999 ; Rice et Degnan, 2006). Ces groupes possèdent des propriétés toxigènes et invasives qui en font parfois des pathogènes puissants pouvant causer des diarrhées sanguinolentes, le syndrome hémolytique et urémique ainsi que des séquelles diverses ainsi que des décès.

I-4-2-3-2. Entérocoques et streptocoques fécaux

La classification générale des streptocoques fécaux a été modifiée dans les années 80 par la création d'un nouveau genre, Enterococcus. Dans ce contexte, plusieurs espèces appartenant antérieurement au genre Streptococcus ont été transférées vers le genre Enterococcus, ce dernier correspondant, aux streptocoques du groupe sérologique D de la classification de Lancefield. Le genre Enterococcus comprend une vingtaine d'espèces qui se retrouvent dans différents habitats et chez différents hôtes. On les retrouve souvent dans le tractus gastro-intestinal des humains et de plusieurs animaux ; Enterococcus faecalis et E. faecium sont les deux espèces le plus souvent identifiées chez l'humain (Clausen et al., 1977 ; Gleeson et Gray, 1997). Elles sont présentes dans les intestins d'environ 75 % des humains (Olivieri, 1982), à des concentrations variant de 105 à 108 bactéries/g (Edberg et al., 2000 ; Gleeson et Gray, 1997 ; Hancock et Gilmore, 2000). Quant aux streptocoques du groupe D susceptibles de contaminer les eaux d'approvisionnement, ils sont plutôt typiques des déjections animales, comme Streptococcus bovis, S. equinus, S. gallolyticus et S. alactolyticus (Bitton, 1999 ; Clausen et al., 1977 ; Farrow et al., 1984). La persistance des entérocoques dans divers types d'eau peut être supérieure à celle des autres organismes indicateurs (Clausen et al., 1977 ; Edberg et al., 1997 ; OMS, 2000), notamment à cause de leur résistance notoire aux agents désinfectants (Haslay et Leclerc, 1993),ce qui fait d'eux des indicateurs privilégiés pour évaluer l'efficacité du traitement de l'eau (OMS, 2000). De plus, leur grande résistance à la dessiccation fait des entérocoques des indicateurs pour le contrôle lors des réparations du réseau de distribution nécessitant un assèchement (WHO, 1993). Par ailleurs, puisqu'il n'y a généralement pas de croissance des entérocoques dans un réseau de distribution, leur détection témoigne généralement d'une pollution fécale récente (Clausen et al., 1977).

I-4-2-3-2-1. Risque sanitaire

La détection d'entérocoques dans une nappe d'eau souterraine doit faire sérieusement soupçonner une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéro pathogènes. Simmons et al. (2001) font ainsi état d'une certaine corrélation ($r = 0,59$, $p = 0,001$) entre la présence d'entérocoques et celle de coliformes fécaux dans une eau de consommation

non traitée. De manière plus probante, Charrière et al. (1994) ont clairement démontré que la détection d'entérocoques était fortement associée à la présence d'E. coli dans des réseaux de distribution approvisionnés par des eaux souterraines. Quant à Zmirou et al. (1987), ils ont mis en évidence un risque accru de développer une gastro-entérite avec un nombre relativement restreint de streptocoques fécaux (3 à 10 bactéries/100 ml). Edberg et al., (1997) suggèrent d'ailleurs de ne pas consommer une eau souterraine dans laquelle des entérocoques ont été identifiés.

1-4-2-3-3. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des entérobactéries incluant des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau). Ce groupe bactérien est utilisé comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau parce qu'il contient notamment des bactéries d'origine fécale, comme Escherichia coli (CEAEQ, 2015). Ce sont des bactéries en forme de bâtonnets, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme ß-galactosidase, qui permet de libérer un agent chromogène utilisé dans des milieux de culture servant à les identifier (Archibald, 2000 ; CEAEQ, 2015 ; Edberg et al., 2000 ; Santé Canada, 2012 ; WHO, 2011). En résumé, les coliformes totaux sont principalement utiles comme indicateurs de l'efficacité du traitement, de l'intégrité du réseau de distribution ainsi que comme indicateurs de la croissance bactérienne après traitement (Roberston, 1995 ; WHO, 2011).

1-4-2-3-3-1. Risque sanitaire

De façon générale, la présence de coliformes totaux dans l'eau potable est plutôt un indicateur de risque peu spécifique de sa qualité. Habituellement, ces bactéries peuvent croître dans un réseau de distribution d'eau dont la station de production d'eau potable est parfaitement fonctionnelle ; cela se produit à partir du biofilm microbien qui se forme sur la paroi des canalisations, particulièrement en cas de faible chlore résiduel (Camper et al., 1991, Le Chevallier et al., 1996 ; Santé Canada, 2012).Ils peuvent être également des indicateurs de la présence potentielle de virus entériques humains (Locas et al., 2008 ; Payment et Locas, 2011)

1-4-2-3-4. Coliformes thermotolérants

Les coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants sont des coliformes intestinaux provenant d'animaux homéothermes et capables de se multiplier à la température plus restrictive de 44,5°C (Prescott et *al.,* 2003). Parmi les coliformes thermotolérants, *E. coli* est capable de produire l'indole à partir de tryptophane (Garcia-Armisen et *al.,* 2007). Il représente l'espèce

prédominante et est considéré comme l'indicateur classique le plus spécifique d'une contamination fécale d'origine humaine ou animale puisqu'il n'existe que rarement dans l'environnement (Stevens et *al.,* 2004). En moyenne, *E. coli* constitue 77% des coliformes thermotolérants des échantillons d'eau douce contaminées (Garcia-Armisen et *al.,* 2007).

1-5-Normes de qualité de l'eau

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies fixant notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Globalement, les qualités de l'eau de boisson doivent obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales (OMS, 1994). Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (Maiga, A. 2005).

1-5-1. Normes Béninoises de qualité de l'eau de boisson

Il s'agit du décret nº 2001-094 du 20 Février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République de Bénin. Ce décret fixe les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin. L'eau destinée à la consommation humaine et aux usages domestiques est soumise à des normes, physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques, afin de protéger la population des effets indésirables liés à la permanence de polluants physique, chimique microbien et radioactif dans les eaux de consommation (Décret nº 2001-094 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin).

CHAPITRE 2 : CADRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 2 : CADRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

2-1-PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

Le Bénin, pays de l'Afrique de l'Ouest compte 12,2 millions d'habitants (Banque mondiale,2021), et couvre une superficie de 114764 km^2.Le pays fait partie de la CEDEAO et de la Francophonie. Il s'étend sur 700 km de long, du fleuve Niger au Nord à la côte atlantique au Sud. Le Bénin est limité au Nord par le Niger, et Burkina Faso, à l'Ouest par le Togo, et à l'Est par le Nigeria. Le pays est entièrement situé dans la zone intertropicale entre l'équateur et le tropique du cancer entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude Nord et les méridiens 1°40' et 30°40'de longitude Est. Il est divisé en douze départements administratifs : au Sud et d'Est vers Ouest, le Plateau, l'Ouémé, le Littoral, l'Atlantique, le Mono et le Couffo ; au Centre, le Zou et les Collines ; au Nord-Est, le Borgou et l'Alibori et au Nord-Ouest, l'Atacora et la Donga (Chouti, 2011).

2-1-1. Situation géographique du lac Azili

Le lac Azili est un plan d'eau du Bénin situé dans le quatrième arrondissement de la commune Zagnanado (Kpédekpo) 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 surperficie de plus de 200 hectars 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.

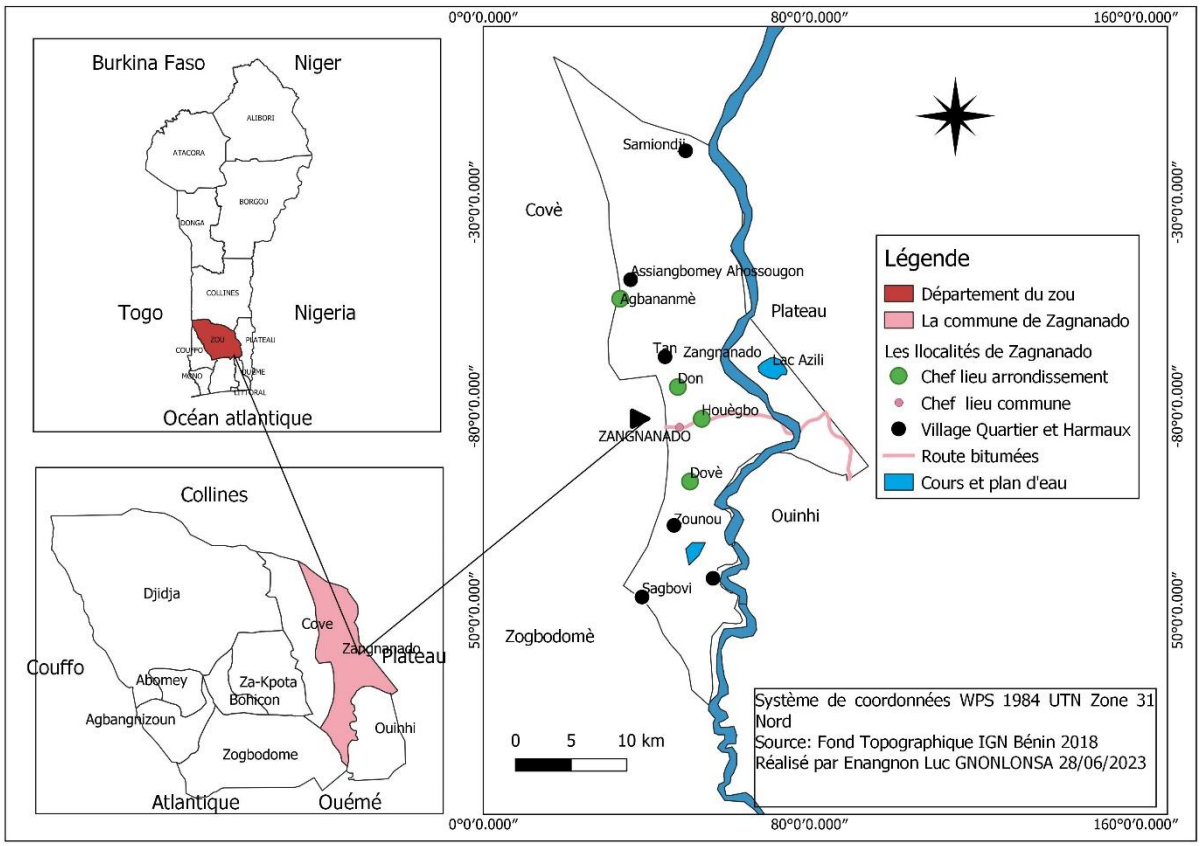


Figure 1 : *Localisation géographique du lac Azili*

2-1-2. Climat

La commune de Zagnanado possède un climat de type intermédiaire entre le climat subéquatorial maritime et le climat soudano-guinéen (Zanou, 2022). Zagnanado est une zone des précipitations importantes même pendant le mois le plus sec, il pleut beaucoup. Sur l'année, la température moyenne est de 27,1°C et les précipitations sont en moyenne de 1003 ,4mm (https://planificateur.a-contresens.net/afrique/benin/zou_departement/zagnanado/11790054.html).

A l'échelle mensuelle, les températures varient de 22,57 °C (décembre) a 23,54 °C (avril) pour les minima, de 29,45 °C (juillet) a 35,84 °C (février) pour les maximas et 25,59 °C (août) a 30,3 °C (février) pour les moyennes. En général, le mois de février est le plus chaud de l'année et constitue dans le milieu subéquatorial, celui de présaison avec des valeurs élevées d'évapotranspiration (Etene, 2021).

Il est caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses qui s'alternent :

- une grande saison des pluies de mi- mars à mi- juillet ;

- une petite saison sèche de mi- juillet à mi- septembre ;

- une petite saison des pluies de mi- septembre à mi- novembre ;

- une grande saison sèche de mi- novembre à mi- mars (Mondegnon, 2012). Le rythme pluviométrique est alors de type bimodal.

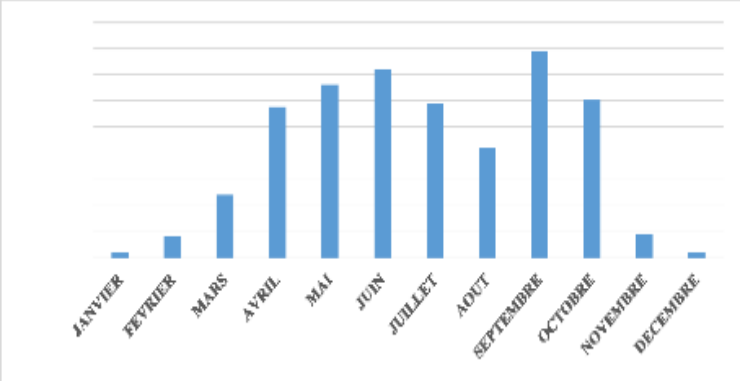


Figure 2 : *Régime pluviométrique de la commune de Zagnanado(1995-2020)*

Source : *DonnéesASECNA, 2020 (https://www.memoireonline.com/10/22/13148/m_Etude-de-la-mise-en-place-et-de-l-efficacit-des-mesures-anti-rosives-dans-la-commune-de-Zagn14.html)*

2-1-3. Caractéristiques démographique et sociaux-économiques

La commune de Zagnanado abrite une population estimée à 55061 habitants. Cette population est constituée de 28244 femmes et de 26817 hommes et on compte au total 10419 ménages (Zanou, 2022). Notons qu'à Agonvè on a une population d'environ 2000 habitants ; soient 958 femmes, 987 hommes et 356 ménages. Les collectivités riveraines sont constituées de Fon, Aïzo, Adja et Houéda. On note une pression démographique élevée : 93 % des ménages du village sont pêcheurs ce qui conduit à une surface de pêche de 0, 29 ha à 0,86 ha par ménage de 7 personnes en moyenne. Le village d'Agonvè vit de cette activité qui emploie plus de 1000 hommes (INSAT, 2016 ; RGPH4, 2013). Cependant, le lac bénéficie d'une attention particulière et d'une gestion rationnelle. D'abord, il est rigoureusement interdit sur le lac l'utilisation des acadja, des pesticides et d'autres produits chimiques. De même, on ne pêche pas surtout n'importe quand au cours de l'année. Chaque année, en effet, le lac est fermé pendant au moins six mois : un mode de vie inédit pour éviter l'extinction des espèces halieutiques. Pendant que le lac est fermé, les pêcheurs ne sombrent pas dans l'oisiveté. Ils s'adonnent à : l'agriculture, au maraichage (sur des terres hors du lac) et la vente de bambous (www.beninintelligent.com/gestion-integree-des-ressources-en-eau-agonve-azili-un-casdecole-a-imiter/) .

2-1-3-1. Activités socio-économiques

2-1-3-1-1. Pêche

Le secteur de la pêche emploi 30 à 35% de la population active de la commune de zagnanado du fait de l'énorme potentialité de la commune en plan et cours d'eau. Elle constitue une activité très pratiquée par les populations tout juste après l'agriculture. A Zagnanado,la pêche est de type continentale et est pratiquée sur les lacs, les rivières , les étangs et les fleuves et est l'apanage des populations riveraines (Monographie de Zagnanado , 2006).

2-1-3-1-2. Agriculture

Elle occupe en02 ; 57,2% de la population active de la commune soit 9,781 actifs agricoles. Les exploitations traditionnelles représentent 86% des exploitations de la commune et sont caractérisées par un équilibre entre la production vivrière et les autres productions et activités génératrices de revenus. La main d'œuvre utilisée est principalement familiale (Monographie de Zagnanado , 2006).

2-1-3-1-3. Commerce

Le commerce représente la principale activité non agricole à laquelle s'adonnent les actifs de Zagnanado. Ce secteur est contrôlé à plus de 90% par les femmes. Il porte actuellement sur l'achat et la revente des produits agricoles et de quelques produits manufacturés de première nécessité. Le commerce des produits pétroliers et du bois énergie prennent de plus en plus de l'importance. L'état défectueux des pistes de la commune crée d'énormes difficultés au développement de ce secteur.

2-1-3-1-4. Elevage

A Zagnanado l'élevage est une activité secondaire. C'est principalement le petit élevage qui est pratiqué et les animaux sont laissés en divagation. Les principales espèces élevées sont : les volailles, les caprins, les bovins, les porcins et les ovins. De ces espèces, ce sont les volailles et caprins qui sont les animaux les plus élevés dans cette commune (Monographie de Zagnanado, 2006).

2-1-4. Sol

La commune de Zagnanado est caractérisée par une variété de sols répartit en trois grandes catégories que sont : les sols ferrugineux ; ferralitiques et hydromorphes.

- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés formés sur les terrains cristallins. Ce sont des sols concrétionnés ou gravionnaires, faisant apparaitre des cuirasses par endroit.

Ces sols sont largement répandus dans l'arrondissement de Banamè et dans la partie Nord de Don-Tan.

- Les sols ferralitiques sur grès et matériau colluvial ou sédiments argilo-sableux du continental terminal qui sont des sols profonds plus ou moins rubéfiés. Ce type de sol est observé dans les arrondissements de Zagnanado, d'Agonlin-Houégbo et une partie des arrondissements de Don-Tan et de Dovi.
- Les sols hydromorphes à pseudo-gley sur sable, puis à pseudo-gley sur matériau alluvial argileux des vallées et des plaines argileuses caractérisées par l'engorgement en pluvieuse. Ils se trouvent le long des cours d'eau, principalement dans les arrondissements Dovi et de Kpédékpo (Mondegnon, 2012).

Notons que les vertisols sont aussi rencontrés au Sud-Ouest dans la commune de Zagnanado.

2-1-5. Hydrographie

Traversée par le fleuve Ouémé, la commune de Zagnanado dispose en son sein des plans d'eau comme le lac Azili. Ce dernier couvre une superficie de 200 ha avec un marais permanent de 100 ha, son alimentation en eau est de type fluvio-pluvial. En période de hautes eaux, il reçoit les eaux du fleuve Ouémé dont le niveau monte à 6 m environ (Zanou, 2022). En saison sèche, le lac joue le rôle de réservoir et le sens de circulation de l'eau est plutôt du lac vers le fleuve (le niveau d'eau du lac est d'environ 4 m au-dessus de celui du chenal). La transparence de l'eau varie entre 20 et 25 cm dans les marais adjacents, elle est de 75 cm sur le lac. Les caractéristiques physico-chimiques font du lac un écotope favorable à la vie et à la reproduction des espèces (Houssou, 2012). Ce dernier est exploité par les habitants de l' île d'Agonvè pour sa production halieutique.

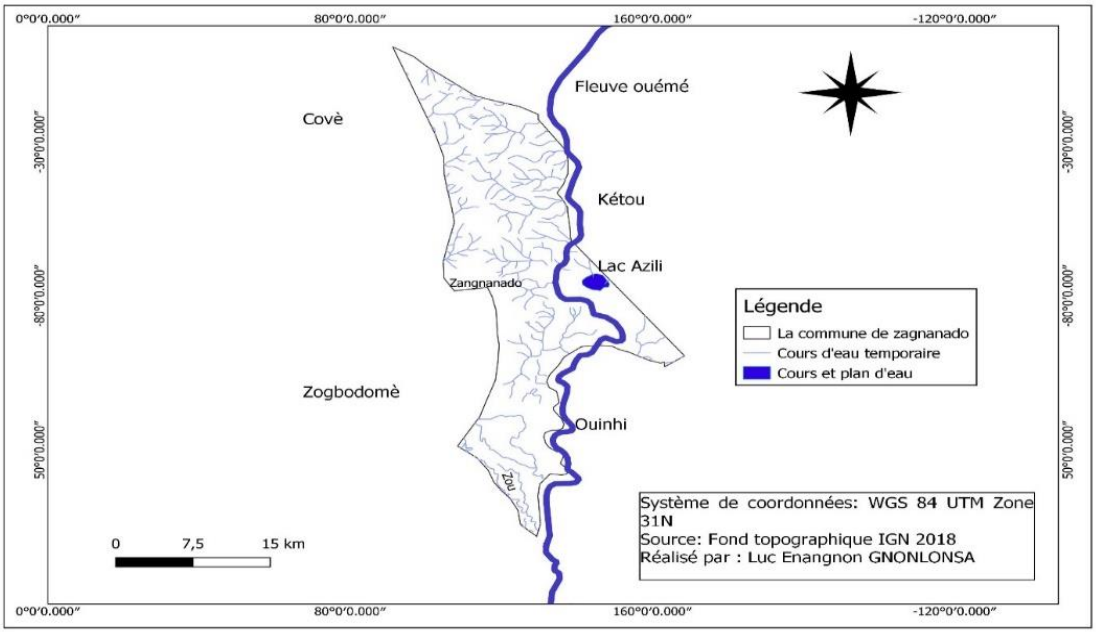


Figure 3 : *Réseau hydrographique de la commune de Zagnanado*

2-1-6. Végétation

La commune de Zagnanado, contrairement aux territoires voisins de Kétou, Djidja et Dassa Zoumè où l'on note la présence de forêts classées de l'Etat, n'abrite aujourd'hui que de rares flot de forets sacrés. En effet, la végétation naturelle caractéristique très riche en Santal (Pterocarpus erinaceus) n'existe presque plus sur le plateau de Zagnanado. Au centre, elle a été remplacée par la savane herbacée dominée par le chiendent (Imperatacylindrica) et les Andropogonae, la savane arbustive dominée par le Capokler africain et le Corosol sauvage (Monographie, 2006). Ces végétations sont interrompues par les champs et les plantations de palmiers à huile ,de teck d'agrumes et autres arbres fruitiers rencontrés principalement dans les arrondissements d'Agonlin-Houégbo, de Zagnanado , de Dan-Tan et une partie de l'arrondissement de Dovi. Au sud et à l'Est, on retrouve les savanes herbacées et marécageuses qui sont plus importante dans les arrondissements de Dovi et de Kpédékpo. Au Nord par contre, la végétation est faite de savanes boisées et de forets claires avec des espèces ligneuses. Il existe aussi des savanes arborées peuplées de baobab (Prosopis digitata).

2.2. MATERIEL

2.2.1. Matériel d'étude

Le matériel utilisé pour la réalisation de cette étude est constitué non seulement du matériel de terrain mais aussi celui du laboratoire d'analyse.

2.2.2. Matériel de terrain

Sur le terrain le matériel suivant a été utilisé :

- un GPS de marque GARMIN 72H pour la prise des coordonnées géographiques des sites d'échantillonnage ;
- des flacons plastiques de 1,5l pour recueillir les échantllons d'eaux destinées aux analyses physicochimiques ;
- des flacons en bouteille de 250 ml pour l'échantillonnage d'eau destinée aux analyses microbiologiques ;
- une glacière pour conserver l'échantillon jusqu'au laboratoire ;
- un multi-paramètre de marque HANNA HI 9829 pour la mesure des paramètres in-situ comme : le pH, la température, la turbidité ;
- un appareil photo pour la prise d'images montrant les activités sur le terrain.



Photo 1: *Multi-paramètre de marque HANNA HI 9829 (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023)*



Photo 2*:GPS Garmin 72H (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023)*

2.2.3. Matériel de laboratoire

Au laboratoire, un matériel a été également utilisé pour les analyses physico-chimiques comme bactériologiques :

- pour les analyses chimiques :

- un spectrophotomètre HACH LANGE DR2800 pour la mesure de l'absorbance des différents paramètres chimiques ;

- un colorimètre pour effectuer les lectures ;
- une burette graduée pour les prélèvements ;
- Pissette à eau distillée ;
- une pipette
- des erlenmeyers
- de l'eau distillée
- de l'étuve pour le séchage



***Photo 4**:Colorimètre HACH DR/890 (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023)*



***Photo 3:**Spectrophotomètre, DR 2800 (Cliché, Luc E. GNONLONSA , Août 2023)*

➢ pour les analyses bactériologiques :

- des boites de pétri pour l'ensemencement des échantillons ;
- des pipettes pour la réalisation des dilutions ;
- une étuve pour les stérilisations de la verrerie à vapeur sèche;
- un autoclave pour la stérilisation à vapeur humide des milieux de culture et la destruction des boites de pétri après incubation ;
- un incubateur de marque DNP-9022 pour conserver les milieux de culture à une température favorable au développement des microorganismes
- des tubes à essai pour la réalisation des dilutions
- un bec à bunsen pour créer l'environnement stérile favorable à la manipulation



Photo 5*:Autoclave (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023)*



Photo 6 *: Incubateur de marque DNP-9022 (Cliché, Luc E. GNONLONSA,*

2.3. APPROCHES METHODOLOGIQUES

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

2.3.1. Recherche documentaire

Pour mieux atteindre les objectifs de notre 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 connaitre les aspects du sujet déjà abordés et de faire un bilan des acquis dans le domaine. Cette étape de la méthodologie nous 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 nous ont permis d'avoir une meilleure compréhension du sujet et de mieux s'orienter dans la collecte, le traitement et l'analyse des données.

2.3.2. Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont été réalisés du 14 au 18 Aout 2023 coïncidant ainsi avec 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.

2.3.2.1. 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. Dans un premier temps un état des lieux a été fait ce qui a permis de prendre connaissance des conditions désastreuses dans lesquelles vit la population ainsi que des activités auxquelles s'adonnent ces dernières. Ensuite, une prise de contact avec les habitants au cours desquels des fiches d'enquêtes ont été utilisées pour faciliter la collecte d'informations. Un modèle de chacune de ces fiches se trouve en annexe du présent mémoire.

2.3.2.2. 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.

2.3.2.3. Echantillonnage de l'eau

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 .

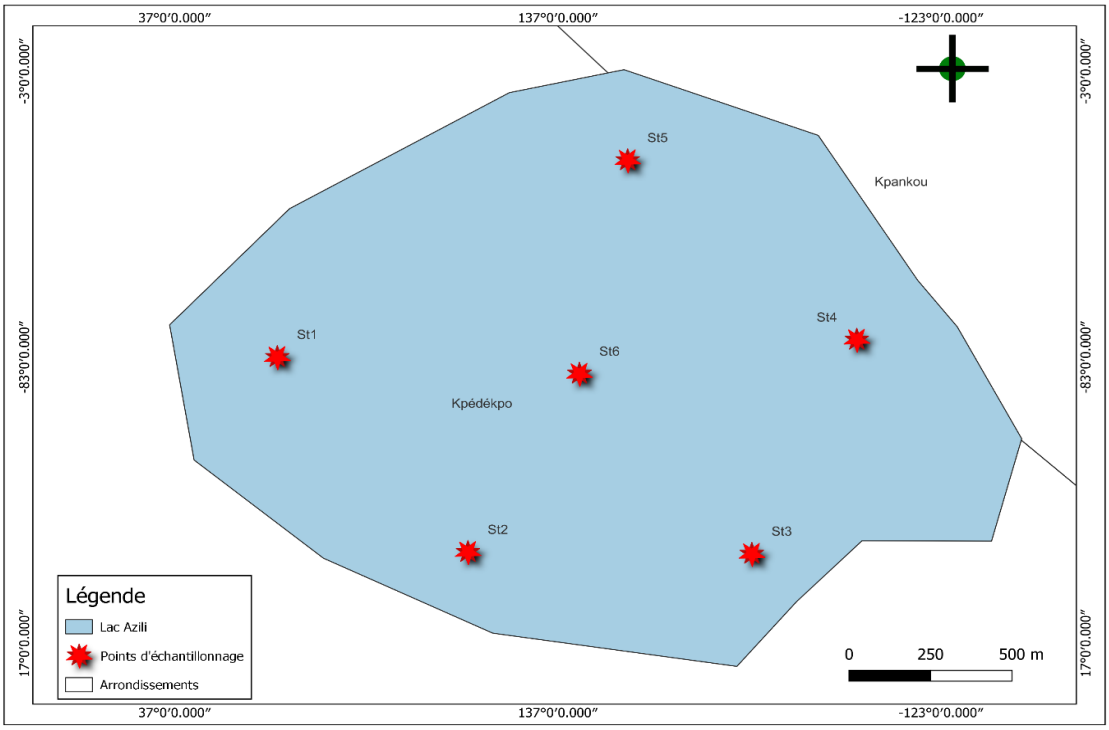


Figure 4: *Localisation des points d'échantillonnage.*

Le tableau 4 présente les codes et coordonnées géographiques des sites de prélèvements.

Tableau 4: *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



***Photo 5**:Echantillonnage physico-chimique et bactériologique. (Cliché, Luc E. GNONLONSA, Août 2023).*

2.3.3 .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.

2.3.3.1 Analyses chimiques

2.3.3.1.1. 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 λ = 425nm (DANNON E., 2022).

2.3.3.1.2. 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.

2.3.3.1.3. 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.

2.3.3.1.4. Dosage de l'orthophosphate

L'orthophosphates 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.

2.3.3.1.5. 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).

2.3.3.2 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.

2.3.3.2.1. 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 été ensemencées 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).

2.3.3.2.2. 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 été ensemencées 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).

2.3.3.2.3. 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 été ensemencées 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).

2.3.4. 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.

- **Norme béninoise de l'eau de consommation**

Tableau 5: *Norme Béninoise des eaux de consommation*

Paramètres	Unités	Valeurs Normatives
Température	°C	25
pH	__	6,5 -- 8,5
Conductivité électrique	µS/cm	2000
TDS	mg/L	-
Turbidité	NTU	5
Couleur	.UcV	15
Ammonium	mg/L	0,5
Nitrites	mg/L	3,2
Nitrates	mg/L	45
Orthophosphates	mg/L	5
Fer	mg/L	0,3
Coliformes totaux	UFC/ml	0
Coliformes thermotolérants	UFC/ml	0
Escherichia coli	UFC/ml	0
Entérocoque fécaux	UFC/ml	0

- **Norme de Qualité des Eaux de France (eaux de surface) et Normes OMS**

Tableau 6 : *Norme de Qualité des Eaux de France*

Paramètres	Unités	Directives NQE	Normes OMS
Température	°C	20 -- 25	25
pH	__	6,5 -- 8,5	6,5 -- 8,5
Conductivité électrique	µS/cm	750 -- 1300	2000
TDS	mg/L	500 -- 1200	1000
Turbidité	NTU	5 --20	5
Ammonium	mg/L	0,1 -- 0,5	0,5
Nitrites	mg/L	----	3,2
Nitrates	mg/L	----	50
Orthophosphates	mg/L	0,2 -- 0,5	0,2
Coliformes totaux	UFC/ml	0	0
Coliformes thermotolérants	UFC/ml	0	0
Escherichia coli	UFC/ml	0	0
Entérocoque fécaux	UFC/ml	0	0

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3-1. 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.

3-1-1. Résultats des enquêtes de terrain

Au terme des différents travaux effectués sur le terrain conformément aux méthodes décrites dans le chapitre précédent, l'analyse des résultats d'enquête est effectuée.

3-1-1-1. Activités anthropiques exercées dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado .

Plusieurs types d'activités anthropiques sont exercées dans la zone de l'étude.

3-1-1-1.1. Pêche

Pratiquée majoritairement par 70% des hommes, la pêche est l'activité la plus pratiquée par les populations d'Agonvè dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado. Elle est la principale activité pratiquée par les habitants de ce village. Pour ce fait, les pêcheurs utilisent des pirogues avec des filets ou cage pour tendre des pièges aux poissons.

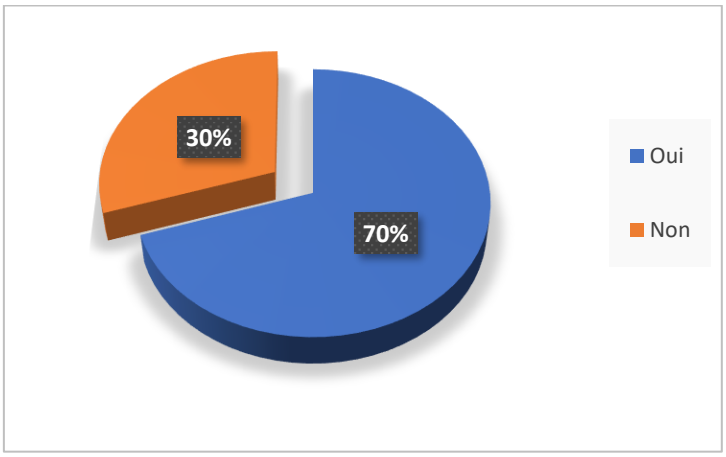


Figure 4: *Pourcentage des pêcheurs sur les enquêtés dans le village d'Agonvè*

Les résultats des enquêtes révèlent que sur 20 ménages interviewés, 14 sont des pêcheurs soit 70% de l'effectif total. Les difficultés enregistrées sont entre autres : le manque de moyens financiers pour l'achat des fournitures de pêche, les difficultés liées aux déplacements sur le lac,

le manque d'arbres pouvant servir à la fabrication des pirogues et les intempéries climatiques comme le vent violent et la pluie.

3-1-1-2. Agriculture et maraîchage

Représentant les activités secondaires des habitants d'Agonvè, l'agriculture et le maraichage sont pratiqués autant par des hommes que par des femmes dudit village. Elle est majoritairement pratiquée en période de fermeture du lac conformément aux mœurs et aux coutumes du village laissant ainsi du temps aux espèces halieutiques de se développer. Les enquêtes menées montrent que sur 20 ménages interviewés, 12 sont des agriculteurs soit 60% de l'effectif total. Les produits agricoles cultivés sont le maïs, des légumes, le manioc, du haricot et la tomate.

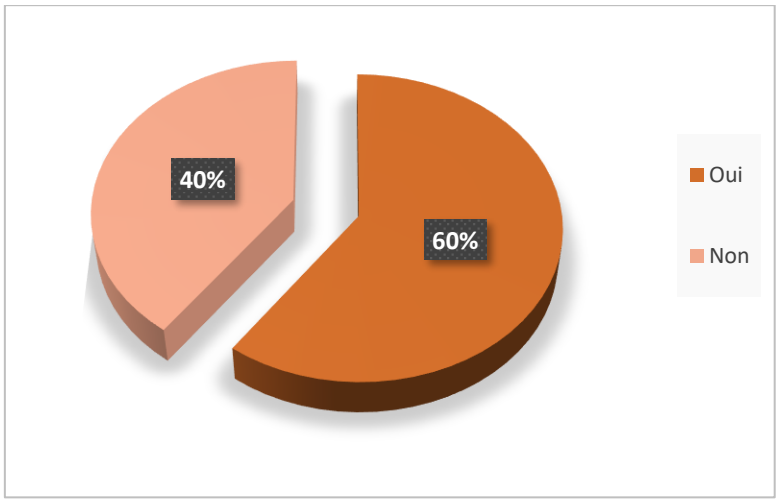


Figure 5*: Pourcentage d'agriculteurs sur les enquêtés dans le village d'Agonvè*

- **Types de produits phytosanitaires et d'engrais utilisés**

Les produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs d'Agonvè sont les insecticides, les fongicides et les herbicides.

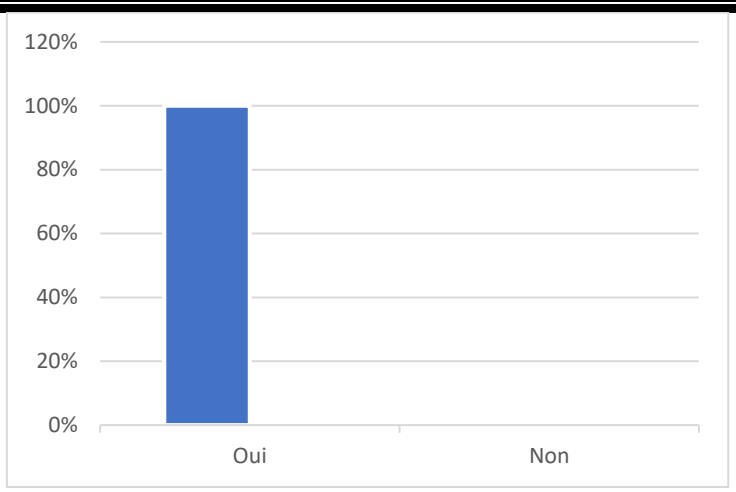


Figure 6 ; *Utilisation d'engrais, insecticides et herbicides par les agriculteurs dans le village d'Agonvè*

La figure 6 montre que la quasi-totalité des agriculteurs enquêtés utilisent des engrais chimiques pour la fertilisation des sols en l'occurrence le NPK , les insecticides et des herbicides pour avoir de bon rendement saisonnier..

- **Gestion des emballages vides**

Après usages des produits phytosanitaires, les emballages vides sont diversement gérés. 70% des agriculteurs d'Agonvè enquêtés jettent ces emballages dans les champs et donc dans la nature. Ces emballages sont aussi rincés directement dans les eaux de surface et réutilisés par certains de ces agriculteurs soit un pourcentage de 30%.

3-1-1-3. Élevage

L'élevage est une activité peu pratiquée à Agonvè. Les enquêtes effectuées montrent que sur 20 ménages interviewés, 07 sont des éleveurs soit 35% de l'effectif total. Il s'agit beaucoup plus d'un élevage à l'air libre et donc les animaux sont laissés en divagation dans la nature et s'abreuvent en eaux du lac Azili. Leurs déjections se retrouvent un peu partout dans la nature ce qui n'est sans doute pas sans conséquence sur l'environnement immédiat de ces populations.

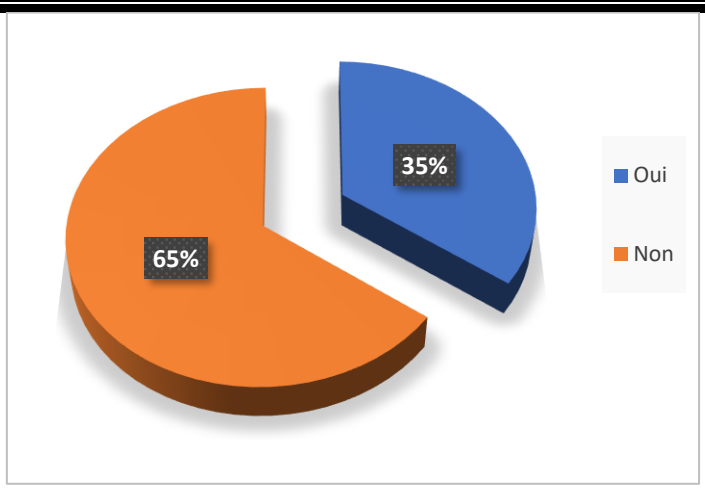


Figure 7 : *Le taux d'éleveurs sur sur les enquêtés dans le village d'Agonvè*

On y note régulièrement la mort des animaux ce qui décourage les éleveurs qui délaissent peu à peu l'activité. Les animaux élevés sont principalement : la volaille, les moutons et les porcins.

3.1.1.4. Activités domestiques

Plusieurs activités domestiques sont menées par les populations dans le village d'Agonvè.

3-1-1-5. Sources d'approvisionnement en eau de consommation

Les résultats d'enquête révèlent que les habitants du village d'Agonvè s'approvisionnent à travers les eaux de forage, les Postes d'Eau Autonome Privé (PEAP) et les eaux du lac Azili.

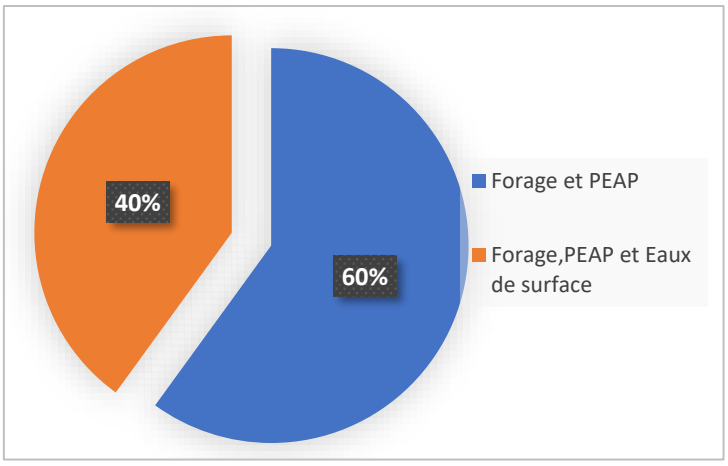


Figure 8 : *Eaux consommées par les enquêtés du village d'Agonvè*

Sur 20 ménages enquêtés, 60% consomment uniquement l'eau du forage et poste d'eau privé tandis que 40% consomment non seulement les eaux du forage et poste d'eau privé mais aussi les eaux du lac.

- **Divers usages domestiques de l'eau du lac Azili**

L'eau du lac Azili est utilisée pour plusieurs usages domestiques.100 % de ces ménages utilisent l'eau du lac pour la cuisine, la vaisselle, le bain, la lessive et autres usages domestiques. L'insuffisance de ces sources d'approvisionnement en eau potable oblige les populations à avoir recours aux eaux du lac pour la boisson.

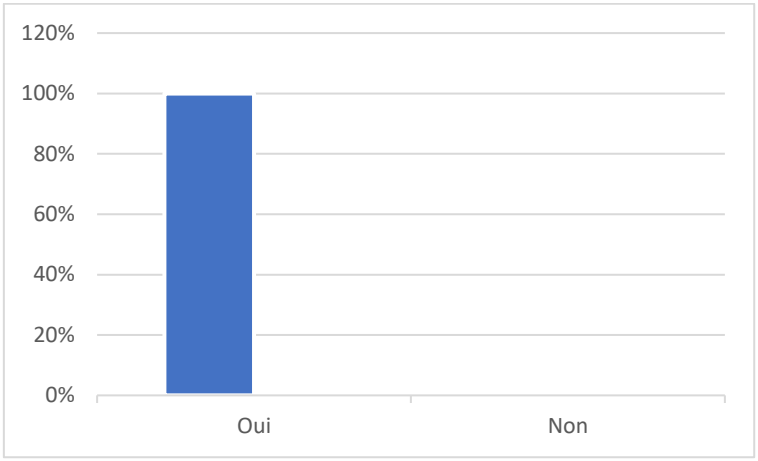


Figure 9 *: Utilisation de l'eau du lac pour usages domestique*



Photo 6*: Tâches ménagères effectuées sur le lac Azili (Cliché, Luc E.GNONLONSA, Août 2023)*

- **Types de technique du traitement de l'eau**

A Agonvè, l'eau du lac est utilisée après décantation ou en utilisant la technique de chloration. En effet, les résultats de nos enquêtes révèlent que les habitants ont recours à la décantation des eaux du lac avant usage et appliquent la technique de chloration à l'eau en ajoutant soit de l'alun

ou soit de l'Aquatabs. Ces eaux sont donc utilisées pour divers usages que sont : la cuisson, la vaisselle, la lessive et même la boisson.

❖ **Perception de la population sur la qualité de l'eau du lac Azili**

La perception des enquêtés sur une éventuelle pollution du lac est la suivante :

- 95% des enquêtés pensent que le lac est pollué
- 5% des enquêtés pensent le contraire

La totalité de ceux qui pensent que le lac est pollué soupçonne une pollution organique due aux ruissellements des déjections animales dans les eaux dudit lac.

❖ **Gestion des déchets ménagers**

Sur l'Île d'Agonvè, la gestion des déchets est un véritable problème. Les résultats d'enquête révèlent une mauvaise gestion des déchets ménagers dus à l'insuffisance de dispositifs de collecte de ces derniers. Ainsi, les déchets sont déversés en un point de regroupement des déchets, dans la nature et dans les eaux du lac. Sur 20 ménages enquêtés, 13 ménages soit 65% de l'effectif total déversent des ordures ménagères au niveau du point de regroupement construit par la JA (Jeunesse Ambition), le seul point de regroupement des déchets dans le village. En période de hautes eaux, les déchets sont brulés. Des 35% restant, 25% préfèrent bruler directement ces déchets tandis que 5% préfèrent déversés directement ces derniers dans la nature et dans les eaux du lac. On note donc un manque d'infrastructure, de collecte et de gestion convenable des déchets ménagers. En ce qui concerne les eaux usées domestiques, elles sont déversées majoritairement dans la nature.

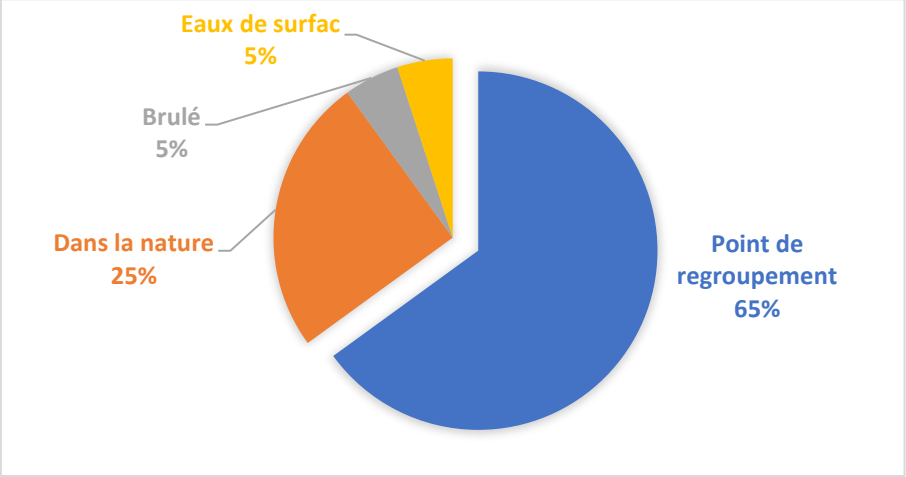


***Figure 10**: Mode de Gestion des déchets ménagers*



Planche 1 : *Décharge sauvage d'ordures ménagères*

La planche 1 montre des images illustrant une mauvaise gestion des déchets ménagers sur l'île. En effet, ne disposant que d'un seul et unique point de regroupement des déchets ménagers, une réalisation de l'association JA (Jeunesse Ambition), les déchets ménagers se retrouvent un peu partout sut l'île. Ils sont ensuite entrainés par le vent, et les eaux de ruissellement vers le lac. En cas d'inondation de l'île, ces déchets se retrouvent plus facilement dans les eaux du lac.

3.1.1.6. Gestion des excrétas

À Agonvè, l'assainissement de base est un problème très inquiétant en ce sens que le village de 55061 habitants ne dispose que d'une seule latrine. Ainsi, confrontés aux problèmes d'insuffisances et de manque d'hygiène autour des infrastructures d'assainissement de base existants, 60% des habitants s'adonnent aux pratiques de défécation à l'air libre ce qui n'est pas sans conséquence sur leur environnement immédiat.



Photo 7 *: Latrine public du village d'Agonvè (Cliché, Luc E.GNONLONSA, Août 2023)*

3-1-1-6. Maladies identifiées

Sur l'Île d'Agonvè, les maladies hydriques sont récurrentes. En effet, les maladies enregistrées sont entre autres : le paludisme, le choléra, la fièvre typhoïde,le ver de guinée et la diarrhée (Selon le témoignage de la population). On pourrait lier ces cas de maladies à la mauvaise qualité de l'eau consommée.



Photo 8*:Centre de santé du village d'Agonvè (Cliché, Luc E.GNONLONSA, Août 2023)*

La photo 10 présente le seul centre de santé du village d'Agonvè, un centre qui a été fermé depuis un moment d'après les habitants pour des raisons non énumérés. Les habitants se trouvent donc obligés de transporter les malades par barque et de traverser le lac afin d'amener ces derniers à l'hôpital de zone de Kpédékpo ,une situation très difficile surtout pour des femmes enceintes.

3-1-2. Résultats des analyses physico-chimiques

3-1-2-1. Température

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).

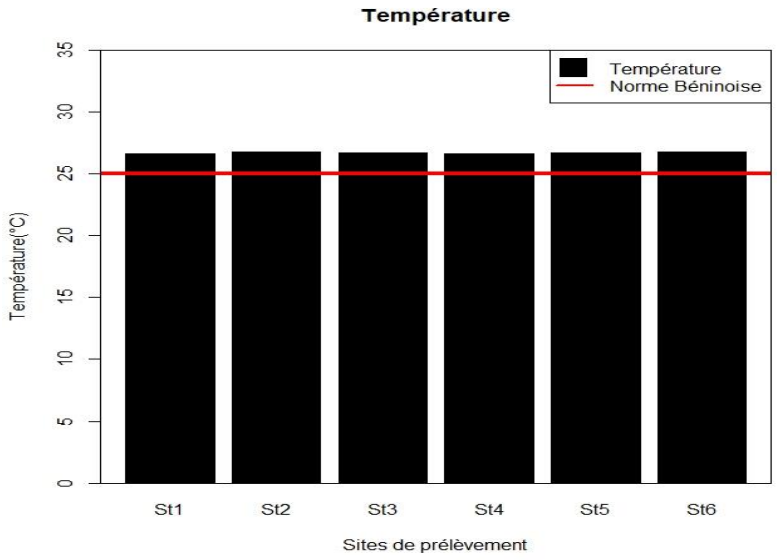


Figure 11: *Variation de la température au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-2-2. pH

La figure 12 présente les valeurs de pH obtenues sur les différents sites de prélèvement. Elles 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). La valeur obtenue au niveau du site 2 par contre n'appartient pas à cette plage.

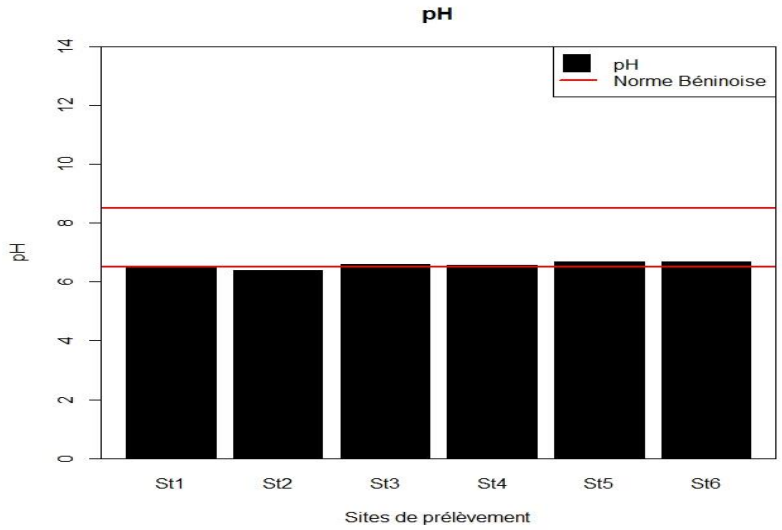


Figure 12: *Variation du pH au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-2-3. Turbidité

Les valeurs de la turbidité 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.

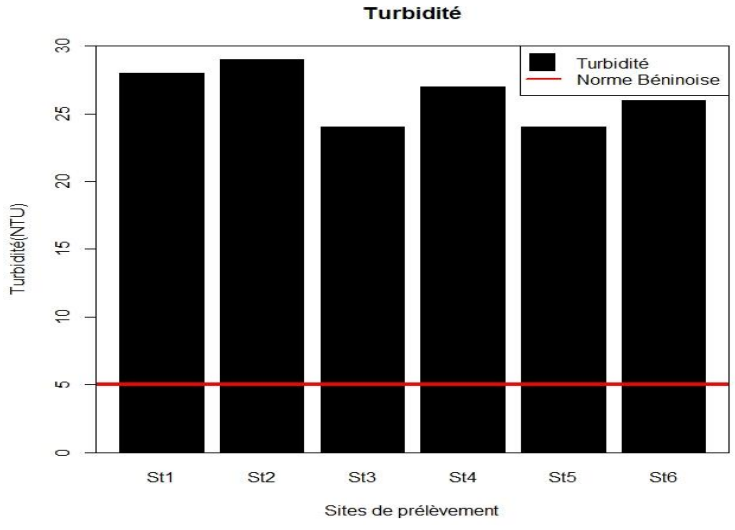


Figure 13: *Variation des valeurs de la turbidité au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-2-4. Couleur

La figure 14 montre que les valeurs de la couleur varient entre 223 et 369 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) avec une moyenne de 288,5 UcV. Notons que toutes ces valeurs sont supérieures à la norme béninoise qui est 15 UcV.

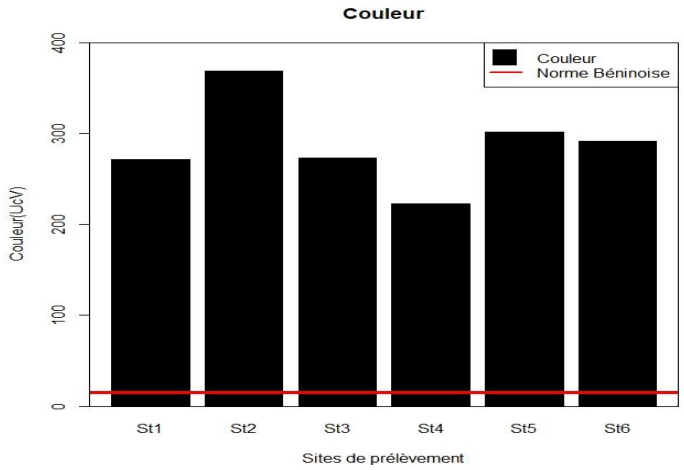


Figure 14: *Variation des valeurs de la couleur au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-2-5. Conductivité électrique

L'analyse du graphe de la figure 15 permet de voir clairement que les valeurs de la conductivité électrique au niveau des différents sites ne dépassent pas la norme béninoise qui est de 200 (µS/cm). En effet, la valeur la plus élevée (58 µS/cm) est enregistrée au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue) et la valeur la plus faible (48 µS/cm) est enregistrée au niveau des sites 3 (Awianhou) et 5 (Akava Bossa) avec une moyenne de 52,67 µS/cm.

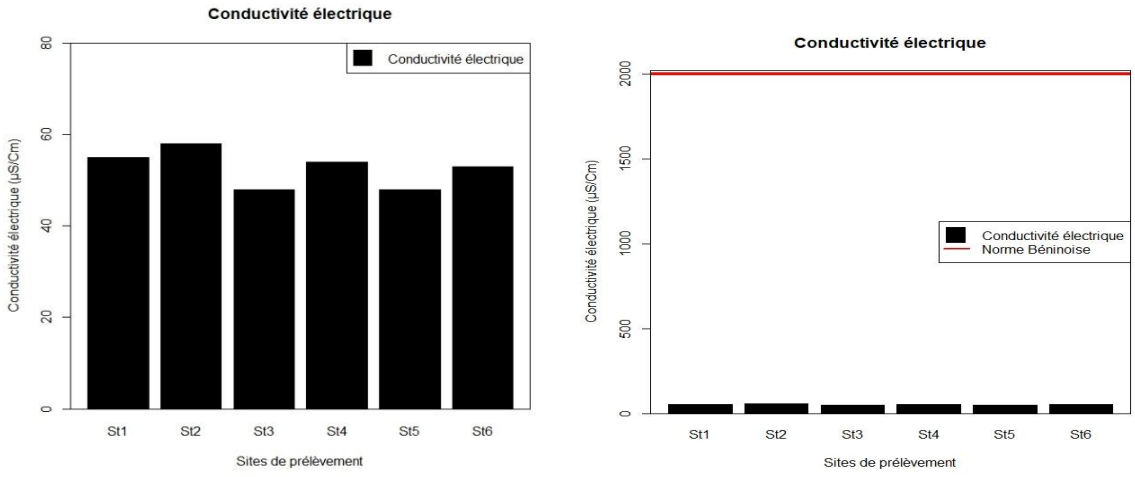


Figure 15: *Variation des valeurs de la conductivité électrique au niveau des différents sites de prélèvement.*

3-1-2-6. Solide Totaux Dissous (TDS)

Les valeurs de TDS varient entre 26 et 29 mg/L avec une moyenne de 27,33 mg/L. La plus forte valeur (29mg/L) est obtenue au niveau du site 2 tandis que la plus faible valeur (26 mg/L) est obtenue au niveau des sites 5 et 6. Notons que chacune de ces valeurs ne dépassent pas la norme béninoise qui est de 500 mg/L.

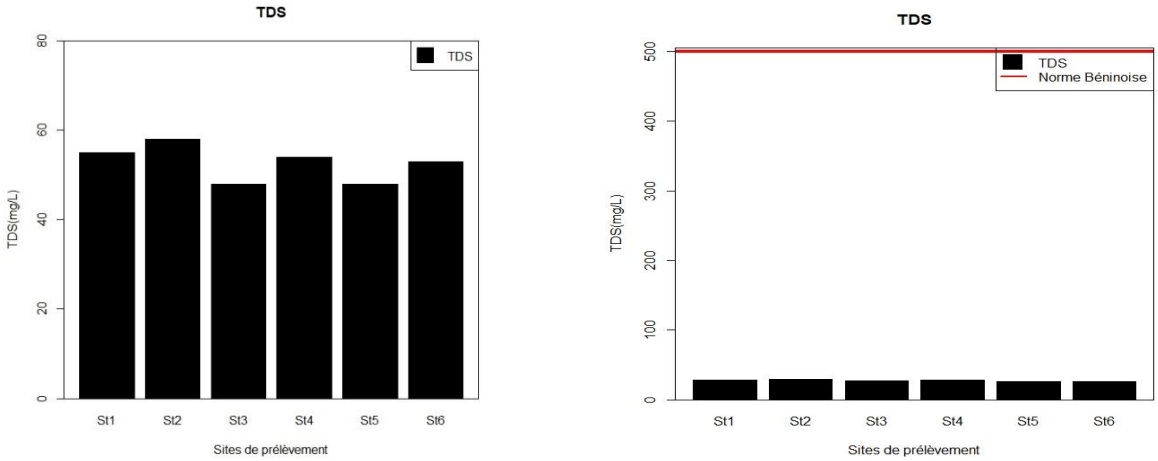


Figure 16: *Variation de la concentration des TDS au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-2.7. Oxygène dissous

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.

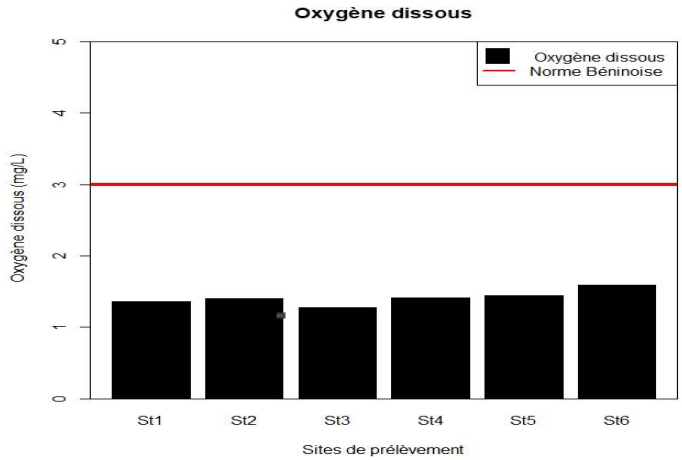


Figure 17: *Variation de la concentration en oxygène dissous au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-2-8. Matières suspension (MES)

Les valeurs de MES varient entre 47 et 52 mg/L avec une moyenne de 49,33. La valeur maximale est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue)et la valeur minimale est obtenue au niveau du site 6 (Dawessa).

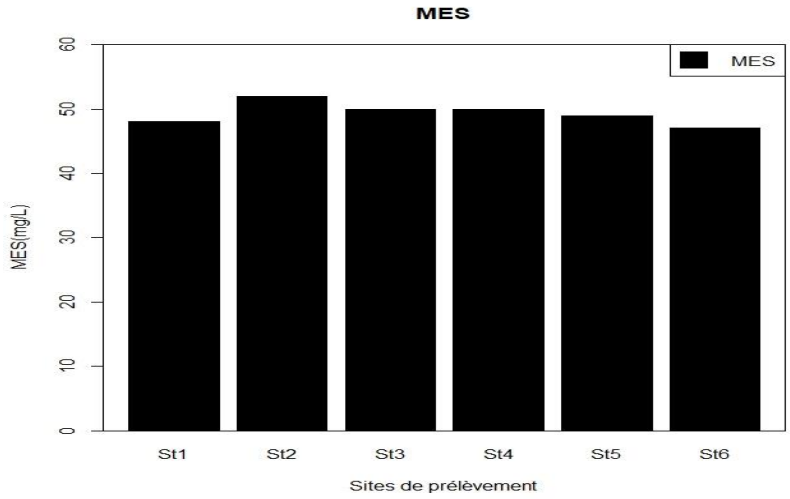


Figure 18 : *Variation de la matière en suspension (MES) au niveau des sites de prélèvement*

3-1-2-9. Ammonium

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.

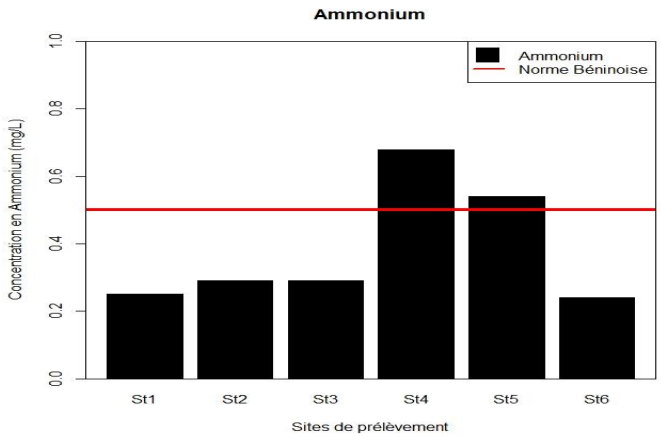


Figure 19 : *Variation de la concentration en ammonium au niveau des différents sites de prélèvements*

3-1-2-10. Nitrites

Les valeurs obtenues après dosages des nitrites dans les échantillons d'eau du lac Azili prélevés oscillent de 0,35 mg/L à 0,44 mg/L. La valeur maximale est de 0,44 mg/L et est obtenue sur le site 3 (Awianhoué) et la plus faible valeur est de 0,35 mg/L et est obtenue sur le site 6 (Dawessa) avec une moyenne de 0,38 mg/. Remarquons ici que toutes ces valeurs ne dépassent pas la norme béninoise qui est de 3,2 mg/L.

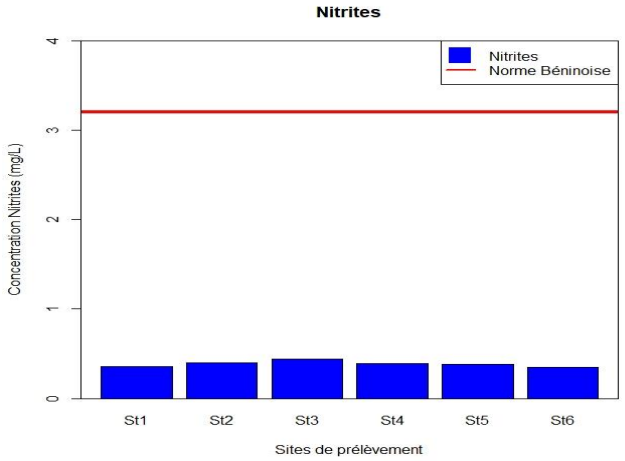


Figure 20: *Variation des nitrites au niveau des sites de prélèvement*

3-1-2-11. Nitrates

La figure 21 présente les valeurs de nitrates qui varient entre 0,06 et 0,41 mg/L. La plus faible valeur est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoué) et la plus forte valeur au niveau du site 4 (Akava) respectivement avec une moyenne de 0,23 mg/L. Ces valeurs sont inférieures à la limite de tolérance qui est de 45 mg/L pour les eaux de consommation selon la norme béninoise.

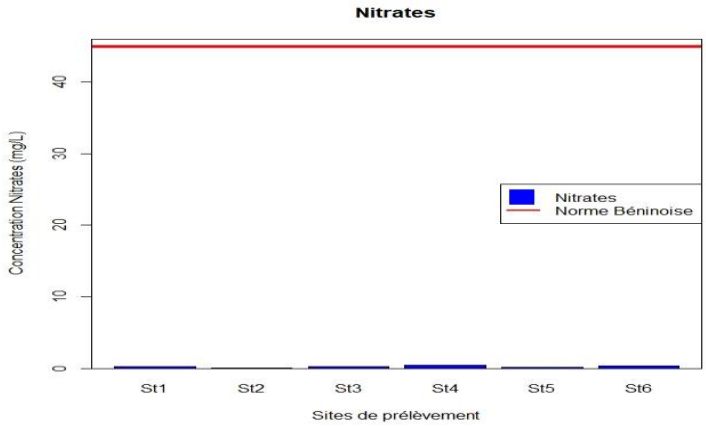


Figure 21*: Variation de la concentration en nitrates au niveau des sites de prélèvement*

3-1-2-12. Orthophosphate

Les valeurs d'orthophosphate varient entre 0,07 et 0,18 mg/L avec une moyenne de 0,11 mg/L. Ces valeurs appartenant respectivement aux sites 5 (Akava Bossa) et 4 (Akava) sont inférieures à la limite de tolérance qui est de 5 mg/L pour les eaux de consommation selon la norme béninoise. Elles sont représentées sur la Figure 22 ci-dessous.

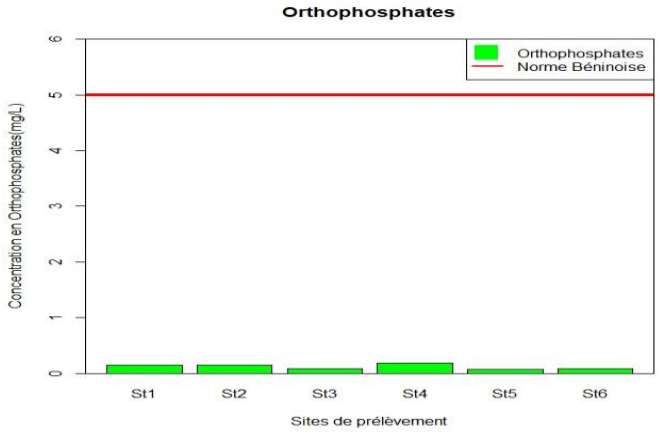


Figure 22: *Variation de la concentration en orthophosphate au niveau des sites de prélèvement*

3-1-2-13. Fer

Les valeurs du dosage de fer dans les échantillons d'eau prélevés varient entre 1,89 et 2,50 mg/L avec une moyenne de 2.15 mg/L. 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.

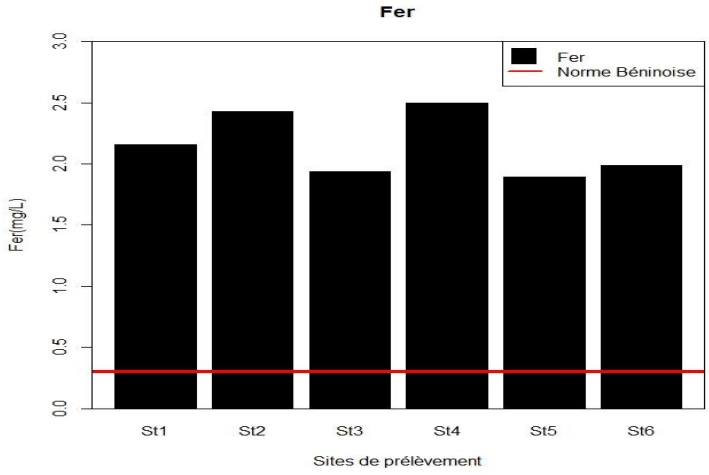


Figure 23: *Variation de la concentration en fer au niveau des sites de prélèvement*

❖ **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 7: 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

3-1-3. Résultats des analyses bactériologiques

3-1-3-1. Coliformes totaux

Les charges bactériennes en coliformes totaux des échantillons d'eau prélevés varient de 25 UFC/100ML à 450 UFC/100ML. 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 Lomassouhoue) avec une moyenne de 155,33 UFC/100mL. Ces valeurs ne sont pas conformes à la norme Béninoise qui est de 0 UFC/100 ml.

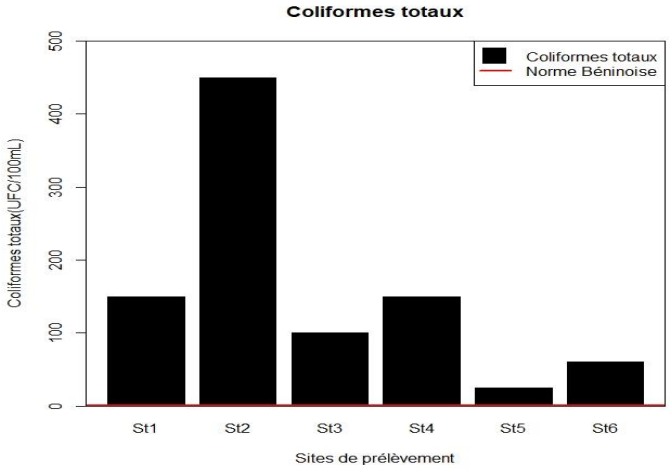


Figure 24: *Variation des coliformes totaux au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-3-2. Coliformes thermotolérants

Les charges bactériennes en coliforme thermotolérants des sites échantillonnés varient de 4 UFC/100ML à 41UFC/100mL respectivement aux sites 6(Dawessa) et 2(Bognon Lomassouhoue) avec une moyenne de 24 UFC/100Ml. Remarquons que ces valeurs ne respectent pas la norme béninoise qui est de 0 UFC/100 ml.

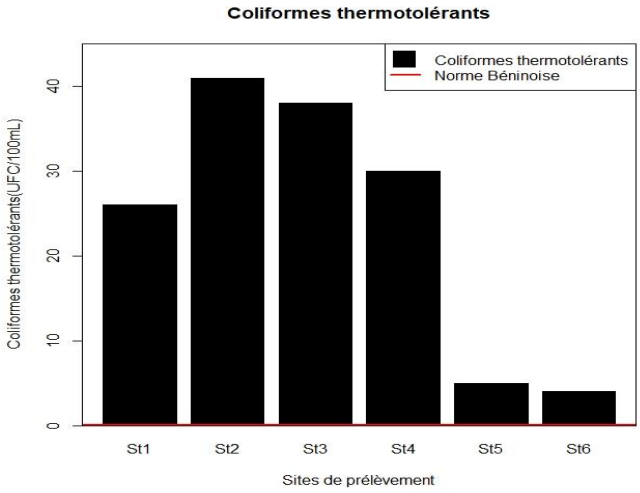


Figure 25: *Variation des coliformes thermotolérants au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-3-. *Escherichia coli*

La figure 26 présente les charges bactériennes en Escherichia coli au niveau des sites de prélèvement. Elles 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 qui est de 0 UFC/100 ml.

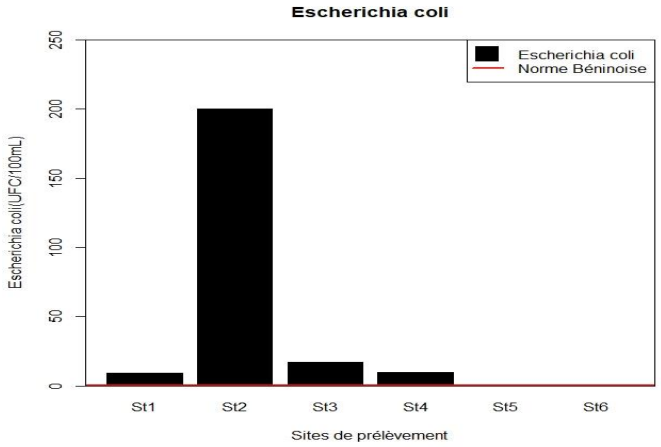


Figure 26: *Variation d'Escherichia coli au niveau des différents sites de prélèvement*

3-1-3-4. Entérocoques fécaux

Aucun des échantillons d'eau prélevés et analysés ne contiennent des charges bactériennes en entérocoques fécaux. La norme Béninoise qui est de 0 UFC/100 ml est ainsi respectée pour ce germe.

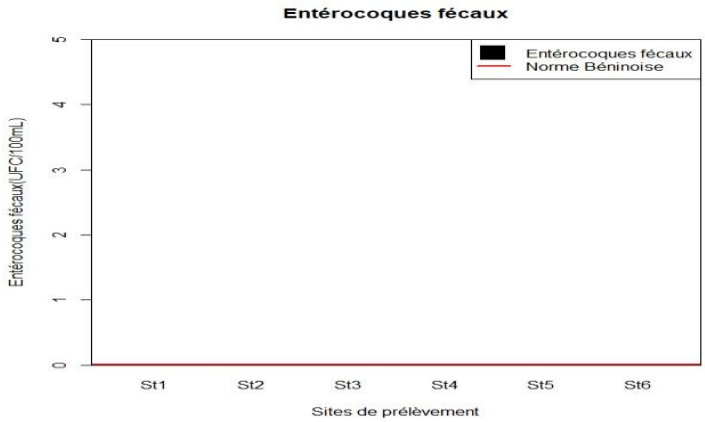


Figure 27: *Variation des entérocoques fécaux au niveau des différents sites de prélèvement*

3.1.4. 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.

3-2. 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 connait 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 Atidégla 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 Houégniho 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. Pratiquée à l'air libre, elle 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 constituent ainsi une source de contamination fécale dudit 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 montrés 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 entrainent 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'O_2. 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 supérieur 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 cesvaleurs sont supérieures à celles obtenues par Zanou (0.70-1,65 mg/L) en 2022 sur le lac Azili.

Selon la grille d'évaluation de SEQEau Littoral, l'eau du lac Azili est de moyenne 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 sont dues au ruissellement des eaux usées et déchets domestiques rejetées, à de 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 excrétas. 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 excrétas se retrouvent un peu partout sur l'Île et dans les eaux du lac. L'utilisation de ces eaux pour les besoins domestique 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 ET SUGGESTIONS

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 quant à elle que les eaux analysées 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 stockages 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 réhabilité 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'ouvre 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.

PERSPECTIVES

A l'issu de nos travaux, des résultats appréciables ont été obtenus. Cependant, certaines incertitudes subsistent. Il convient alors de poursuivre et d'approfondir les connaissances sur la thématique afin d'apporter davantage de clarté aux résultats. Il conviendra dans la suite des travaux de :

➢ fait l'échantillonnage sur les deux saisons afin de mieux comprendre la variation de ces paramètres en fonction de la saison ;

➢ faire l'étude phytoplanctonique des eaux dudit lac pour avoir une idée de l'état écologique de cet écosystème ;

➢ faire une étude approfondie sur les sédiments et espèces aquatiques du lac notamment les poissons afin d'avoir une idée sur la qualité globale de cet important écosystème aquatique du pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

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 chaine 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. Andre G., 1995. Ecolochimie. Paris.
5. Archibald F., 2000. The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems-a cause for concern .Water Qual Res J. Canada, 35 :1-22.
6. Atidégla C.S., Agbossou K.E., 2010. Pollutions chimique et bactériologique des eaux souterraines des exploitations maraîchères irriguées de la Commune de Grand-Popo : cas des nitrates et des bactéries fécales. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4 : 327-337.
7. Avocevou J. F., 2022. Comparaison de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux du lac Toho et des eaux souterraines à Kpinnou dans la commune d'Athiémé. Mémoire de Licence p64.
8. Beaux J. F., 1998. L'environnement repères pratiques. Nation, ISBH 209-18243-3 ,160p .
9. Benchabane R., Merzoug N., 2015. Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et phytoplanctonique de l'eau du marais de Boussedra el Bouni (Annaba). Mémoire de Master. Université du 08 Mai 1945-Guelma-p71.
10. Bitton G., 1999. Wastewater Microbiology. Join Wiley & Sons, p578.

11. Boucherit A., Hakimi H., 2016. Contribution à l'étude de la qualité physico chimique et bactériologique de l'eau du Barrage Hammam Debegh-Guelma. Mémoire de Master. Université du 08 Mai 1945-Guelma, p67.
12. 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.
13. Bouziane M., 2000. L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, p247.
14. Brandl Mt., 2008. Multiplication of Escherichia coli O157 : H7 on Postharvest Lettuce Appl.Environ.Microbiol.74(17) : 5285-5289.
15. Camper A.K., Mcfetters G.A., Characklis W.G, Jones W.L., 1991. Growth kinetics of coliform bacteria under conditions relevant to drinking water distribution systems.Appl. Env. Microbiol, 57 : 2233-2239.
16. CEAEQ, 2015. Recherche et dénombrement simultané des coliformes fécaux et d'Escherichia coli dans l'eau potable avec le milieu de culture MI ; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.
17. Charriere G., Mossel D.A.A., Beaudeau P., Leclere H., 1994. Assessment of the marker value of various components of the coli-aerogenes group of Enterobacteriaceae and of a selection of Enterococcus spp. For the official monitoring of drinking water supplies. Jounal of Applied Bacteriology, 76 : 336-334.
18. Chelli L., Djoubri N., 2013. Analyses des eaux de réseau de la ville de Béjaia et évaluation de leur pouvoir entartrant. Mémoire de master. Université A. MIRA – BEJAIA, Faculté de Technologie.
19. Chibani S., 2009. Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surfaces et souterraines de la région de Ain Makhlouf (Wilaya de Guelma). Mémoire de Magister. Université de 08 Mai 1945-Guelma-, p104.
20. Chouti W., 2011. Etude de la pollution chimique d'une lagune tropicale (eaux, sédiments, poissons) : Cas de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin). Thèse de doctorat,Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi, p100.
21. Clausen E.M., Green B.L., Litsky W., 1977. Fecal streptococci indicators of pollution dans :Hoadley,AW et BJ Dutka,édit,Bacterial Indicators /Health hazards associated with water.Americen Society for Testing and Materiels , ASTM STP 635,p247-264.

22. CNRS, 2015. L'eau à découvert - 4. La répartition spatiale actuelle de l'eau sur Terre - CNRS Éditions" https://books.openedition.org/editionscnrs/9848?lang=fr.
23. Cosandey C., 2003. Les eaux courantes. Géographie et environnement. Paris, Belin, p240. (ISBN 2-7011-3315-7).
24. Cox P., Griffith M., Angles M., Deere D., Ferguson C., 2005. Concentrations of pathogens and indicators in animal feces in the Sydney watershed. Appl Environ Microbiol, 71 : 5929-5934.
25. Crowther J., Kay D., Wyer M. D., 2002. Faecal-indicator concentrations in waters draining lowland pastoral catchments in the UK: relationships with land use and farming practices. Water Res, 36 : 1725-1734.
26. De Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C., 2005. Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, p16.
27. Décret nº 2001-094 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République de Bénin.
28. Dedjiho C.A., 2011. Evaluation de la chaine trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah.
29. 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-gbézoumè. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 139p. :
30. Degremont, 2005. Mémento technique de l'eau. Deuxième édition Tom1, P 39-50.
31. Desiardins Raymond, 1990. Le traitement des eaux. éme ED de l'Ecole polytechnique de Montréal.
32. Edberg S.C., Leclere H. Robertson J. 1997. Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination.II indicators and monitoring parameters for parasites. Critical Reviews in Microbiology, 23 : 179-206.
33. Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J., Allen M.J. 2000. Escherichia coli, the biological drinking water indicator for public health protection. Jounal of Applied Microbiology, 88 : 106S-116S.
34. Dannon E., 2022. Impacts de la gestion des déchets ménagers sur la qualité des eaux de puits dans le cinquième arrondissement de Cotonou. Mémoire de Licence, p62.

35. Elmund G.K., Allen M.J., Rice E.W., 1999. Comparaison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wasterwater treatment efficiency.Water Environ.Res., 71 :332-339.
36. Etene C.G., 2021. Changement climatique et dégradation des terres agricoles autour des petits lacs du plateau de Zagnanado au Bénin.
37. Farrow J.A.E., Kruze J., Phillips B.A., Bramley A.J., Collins M.D.. 1984. Taxonomic studies of S. bovis and S. equinus , description of S. alactolyticus sp.no.and.S. saccharolyticus sp.nov.Systematic and Applied Microbiology,5 : 467-482.
38. Felix J., 2013. Evaluation de la qualité physico-chimique et l'état trophique de l'eau du lac ahémé. Mémoire de licence en hydrologie, Faculté des Science Techniques, Université d'Abomey-Calavi, p41.
39. 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.
40. Fogarty L.R., Haack S.K., Wolcott M.J., Whitman R.L., 2003. Abundance and characteristics of the recreational water quality indicator bacteria Escherichia coli and enterococci in gull faeces. J. App. Microbiol, 94 : 865-878.
41. Gasmi Widad R ., 2020. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable de la région de M'sila (Dréat, Souamaa, Newara)p 63.
42. Gregorio C., Pierre-Marie B., 2007. Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés, Presses Univ. Franche-Comté.
43. HOUSSOU A. M., 2012. Variabilité saisonnière des communautés planctoniques des lacs Azili, Hlan et Toho. Mémoire de Licence p44
44. INSAT, 2016. Cahier des villages et quartiers de ville du département du zou RGPH4, 2013, p 30.
45. INSPQ (Institut National de la Santé Publique du Québec), 2003. Fiche Coliformes totaux Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique, Décembre 2004, 4p.
46. John P., Donald A., 2010. Microbiologie, 3ème Édition, 1216 p.
47. Zandagba J. E., Adandedji F.M., Lokonon B.E., Chabi A.., Dan O., Mama D., 2017. Application Use of Water Quality Index (WQI) and Multivariate Analysis for Nokoué Lake Water Quality Assessment, Journal 117-127p.

48. 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.
49. Kourchi . 2010. Achèvement du système d'épuration de la ville de Draa publique. Conséquences de l´ el mizan. Mémoire fin d'étude UMMTO. p27.
50. Le Barbe L., Ale G., Millet B., Texier H. et Borel Y., 1993. Monographie des ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Paris, ORSTOM, p540.
51. Locas A.C., Barthe A.B., Margolin Payment P. 2008. Groundwater microbiological quality in Canadian drinking water municipal wells. Canadian Journal of Microbiology. 54 : 472-478.
52. Loumiet Y. 2010. Valorisation des eaux usées traites en irrigation;cas de la station d'épuration Est de T.O.Mémoire d'ingénieur UMMTO p 134.
53. Maiga A., 2005. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako évaluation saisonnière, Thèse de Doctorat. Bamako (Mali), p77.
54. Mama D., 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse de l'Université de Limoges, 150p.
55. Mama D., Aina M., Alassane A., Boukari O.T., Chouti W., Deluchat V., Bowen J., Afouda A., Baudu M., 2011. Caractérisation physico-chimique et évaluation du risque d'eutrophisation du Lac Nokoué (Bénin). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 5 : 2076-2093.
56. Mgongo, 2015. Etude des déterminants des maladies hydrique chez les enfants de 0 a 05 ans. Mémiore de licence, université pédagogique national, p52.
57. Henry M., 1991. Les eaux naturelles et les eaux de consommation Saint Laurent
58. Monographie de la Commune de Zagnanado, Afrique .Conseil,Avril 2006 Mondegnon. (2012) : Effet du système SAWAH sur la production du riz et la productivité de l'eau dans le bas-fond de Bamé au Bénin, p 14 et 16.
59. Ngaram N., 2011. Contribution à l'étude analytique des polluants (en particulier de type métaux lourds) dans les eaux du fleuve Chari lors de sa traversée de la ville de N'Djamena. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, 166p.
60. Norme NF EN ISO 7899-2/2000. Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux - Partie 2 : méthode par filtration sur membrane. https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-iso-7899-2/qualite-de-l-eau-recherche-et-

denombrement-des-enterocoques-intestinaux-partie-2-methode-par-filtration-sur membrane/article/622650/fa049015

61. OMS, 1994. Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2ème édition, p 202.
62. OMS, 2000. Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 2-critères d'hygiène et documentation à l'appui. Organisation mondiale de la santé, 2ème édition ; p1050.
63. OMS, 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif.
64. ONEMA. (2014) : "Chap. I. GENERALITE SUR L'EAU" https://www.africmemoire.com/part.3-chap-i-generalite-sur-leau-775.html.
65. Pouomogne V., 1998. Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment produire du poi40-sson a cout modéré .Presse Universitaire d'Afrique, Yahoundé . 263p **.**
66. Rakoto N., 2010. Etude des cressonnières des bas fonds de la ville d'Antananarivo : milieu épurateur des eaux usées et support d'une culture exigeante". Thèse de doctorat. Chimie de l'Environnement. Antananarivo : Université d'Antananarivo.
67. Rassou K.K., 2009. Etude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia. Mémoire de Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies: Environnement Marin et Valorisation des Ressources, Université Cadi Ayyad, Marrakech, p. 214.
68. Robertson W., 1995. Utilités et limites des indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable. Dans Air intérieur et Eau potable, Pierre Lajoie et Patrick Levallois (dir), Presses de l'université Laval p179-193.
69. 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) .
70. Schiffers B., Mar A., 2011. Sécurité des opérateurs et bonnes pratiques phytosanitaires.Manuel 4. Pip c/o Coleacp. Bruxelles, Belgique, mars. URL : www.coleacp.org/pip.
71. SEQ-EAU (Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau), 2003. Grille d'évaluation SEQEAU (version 2), MEDD et Agences de l'eau.
72. Simmons G., Hope V., Lewis G., Whitmore J., Gao W., 2001. Contamination of potable roof-collected ainwater in Auckland. New Zealand Water Research, 35 : 1518-1524.

73. UNICEF, 2017. "2,1 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable salubre à leur domicile et plus du double ne disposent pas de services d'assainissement sûrs" https://www.unicef.org/fr/communiqu%C3%A9s-de-presse/21-milliards-de-personnes-n%E2%80%99ont-pas-acc%C3%A8s-%C3%A0-l%E2%80%99eau-potable-salubre-%C3%A0-leur.
74. Vissin E. W., 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger, Thèse de Doctorat , p310.
75. Vissin E., Sintondji L., Houssou C., 2010. Etude de la pollution des eaux et de la contamination du Tilapia guineensis du canal de Cotonou par le plomb. RGLL, N°08 déc. 2010.
76. WHO,1993. WHO guidelines for drinking water quality.Vol. 1- recommendations, p 8-29.
77. WHO, 2011. Guidelines for drinking-water quality Third edition incorporating the first and second addenda,volume 1,
78. Woito C., 2018. Caractérisation physico-chimique et des éléments traces métalliques (cuivre, cadmium, plomb, zinc) dans les eaux de la rivière de l'Alibori pendant la période des hautes eaux : Mémoire de licence en hydrologie, Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin p65
79. Zanou R, .2022. Evaluation de la qualité des eaux utilisées pour la consommation humaine sur l'Île d'Agonvè. Mémoire de Licence p59.
80. Zinzindohoue V., 2019. Evaluation de la qualité écologique de l'eau de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). Mémoire de Licence p65.
81. Zmirou D., Kelley Jp., Collin Jf., Charrel M., Berlin J., 1987. A follow-up study of gastro-intestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water.American Jounal Health, 77 : 582-584.
82. Zurluth & Gienger, .2006 in Gasmi Widad R ., 2020. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable de la région de M'sila (Dréat, Souamaa Newara)p63.

WEBOGRAPHIE

1- (https://books.openedition.org/editionsclang=fr) :repartions de l'eau sur la terre. (GNONLONSA E. L. 10/08/2023 à 19H 13mn)

2- (info@ongautrevie.org) : la défécation à l'air libre à Agonvè, une pratique toujours d'actualité. (GNONLONSA E. L. 10/08/2023 à 19H 45mn)

3- www.aquaportail.com) :tout savoir sur la qualité de l'eau. (GNONLONSA E. L. 12/08/2023 à 10H 33mn)

4-(https://fr.oceancampus.eu/cours/7Mc/la-pollution-de-leau) :la pollution domestique. (GNONLONSA E. L. 12/08/2023 à 15H 12mn)

5- (https://www.caim.info/revue-economie-et-prévision-2018-1-page1htm) : la pollution accidentelle. (GNONLONSA E. L. 12/08/2023 à 15H 54mn)

6- (www.aquaportail.com) : la pollution organique. (GNONLONSA E. L. 12/08/2023 à 16H 03mn)

7-(https://www.sage-estuaire-loire.org/les-orthophosphates/) : l'orthophosphate. (GNONLONSA E. L. 15/08/2023 à 21H 43mn)

8-(https://www.lenntech.fr/procedes/fer/fer/deferrisation-physico-chimique.htm) : le fer.(GNONLONSA E. L. 15/08/2023 à 21H 51mn)

9-(https://planificateur.a-contresens.net/afrique/benin/zou_departement/zagnanado/11790054.html) : le climat à Zagnanado. (GNONLONSA E. L. 17/08/2023 à 22H 16mn)

10- (www.beninintelligent.com/gestion-integree-des-ressources-en-eau-agonve-azili-un-casdecole-a-imiter/) : caractéristiques démographiques et sociaux-économiques de la commune de Zagnanado. (GNONLONSA E. L. 17/08/2023 à 22H 46mn)

ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiche d'enquêtes

Fiche 1 : Fiche d'enquête à l'endroit des menages

Bonjour Monsieur/Madame

Dans le cadre de nos études relatives à ……, nous vous saurons gré de votre temps que vous allez consacrer à répondre aux questions ci-dessous.

Fiche N°: …… Date :…/……/…

I- Zone d'enquête et Identification des enquêtés

1- Commune :……..

2- Arrondissement :…….

3- Quartier/village :……..

4- Nom :…….Prénom(s)……Age :……

5- Sexe : F M

6- Ethnie :…… …….

7- Profession : Agriculteur Pêcheur

Commerçant Autres (à préciser) :…….

II- Gestion des déchets solides et liquides domestiques

8- Quels sont les modes d'évacuation des ordures ménagères ?

Bruler Jeter dans l'eau de surface

Autres (à préciser):……..

9- Où jetez-vous vos eaux usées domestiques ?

Dans les caniveaux

Dans les collecteurs publics

Dans les eaux de surface

Autres (à préciser) :……

III- Mode d'évacuation des excrétas

10- Avez-vous une fosse septique dans votre ménage?

Oui Non

11- Si non, quel est votre lieu d'aisance habituel ?

Brousse Eau de surface

Tas d'ordures Autres (à préciser) :……

IV- Approvisionnement en eau et usage

12- Quelles sont vos sources d'approvisionnement en eau potable ?

Eau de surface Eau de forage

Autres (à préciser) :……

13. Utilisez-vous l'eau de surface ?

Oui Non

14. Si oui, quels sont les usages que vous en faites ?

Bain

Lessive Vaisselle

Cuisine Boisson

Autres (à préciser) :……

15. Des hommes viennent-ils faire la lessive/vaisselle ou se doucher aux bords de l'eau ?

Oui Non.

Fiche 2 : Fiche d'enquête à l'endroit des agriculteurs

Les pratiques agricoles

1- Quels produits utilisez-vous pour la fertilisation des sols ?

Engrais Compost

Autres (à préciser) :…….

2- Quels types d'engrais utilisez-vous?

NPK Urée KCl

Autres (à préciser) :…….

3- Quels types de compost utilisez-vous ?

Déjections animales/humaines Lisiers

Autres (à préciser) :……

3- Quels types de produits phytosanitaires utilisez-vous pour protéger vos cultures ?

Herbicides Insecticides

Fongicides Autres (à préciser) :……

4. Quelles quantités de pesticides utilisez-vous pour pulvériser vos champs lors de chaque campagne ? ……

5-Où jetez-vous les emballages après utilisation ?

Enterrer dans le champ Dans les eaux de surface

Bruler Rincer et réutiliser

Autres (à préciser) :…….

Fiche 3 : fiche d'enquête à l'endroit des pêcheurs

Données concernant les pratiques de pêches

1-Quelles techniques utilisées dans la pêche ?

Filet Nasse

Acadjas (Branchages) Whédos

2- Quels appâts utilisez-vous pour pêcher ?

Engrais Provendes

Pesticides Autres (à préciser) :…… ……

3-Quels sont les problèmes enrégistrés en rapport avec votre activité de pêche ? ……..

4-Y a-t-il des indices de pollution du milieu ?

Oui Non

5-Si oui, lesquels ?

Fiche 4 : fiche d'enquête à l'endroit des éleveurs

1-Quelles sont les sources d'abreuvement de votre troupeau ?

Eau de rivière Eau du fleuve

Autres (à préciser) :…….....

2-Comment gérez-vous les déjections produites par vos troupeaux ?

Utiliser en agriculture

Laisser dans les rues/concessions

3-Quel est l'impact de votre activité sur l'environnement ?

Pollution de l'air Pollution de l'eau de surface

TABLE DES MARTIERES

DEDICACE : i

REMERCIEMENTS ii

RESUME iii

ABSTRACT iv

SIGLES ET ACRONYMES vi

LISTES DES FIGURES vii

LISTES DES TABLEAUX viii

LISTES DES PHOTOS viii

LISTES DES PLANCHES viii

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 5

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 6

1-1-Définition de quelques concepts clés 6

1-1-1. Eaux de surface 6

1-1-2. Les lacs 6

1-1-3. Qualité de l'eau 6

1-1-4. Risques 7

1-1-5. Maladies hydriques 7

1-2- Généralité sur les différents types d'eau 7

1-2-1. Eaux souterraines 7

1-2-2. Eaux superficielles 8

1-3-Généralités sur la pollution des eaux 8

1-3-1. Définition 8

1-3-2. Origines de la pollution 9

1-3-2-1. Pollution d'origine industrielle 9

1-3-2-2. Pollution d'origine agricole 9

1-3-2-3. Pollution domestique 9

1-3-2-4. Pollution accidentelle 10

1-3-2-5. Pollution d'origine atmosphérique 10

1-3-3. Différents types de pollution 10

1-3-3-1. Pollution physique 10
1-3-3-2. Pollution radioactive 10
1-3-3-3-Pollution chimique 11
I-3-3-4. Pollution biologique 11
1-3-3-5. Pollution organique 11
1-4-Paramètres déterminant la qualité de l'eau 11
1-4-1. Paramètres organoleptiques 11
1-4-1-1. Couleur 11
1-4-1-2. Odeur 11
1-4-2. Paramètres physico-chimiques 12
1-4-2-1. Paramètres physiques 12
1-4-2-1-1. Température 12
1-4-2-1-2. Potentiel hydrogène (pH) 12
1-4-2-1-3. Conductivité électrique 13
1-4-2-4. Solide Totaux Dissous 13
1-4-2-5. Turbidité 14
1-4-2-6-Oxygène dissous 14
1-4-2-7- Matières en suspension (MES) 15
1-4-2-2. Paramètres chimiques 15
1-4-2-2-1. Ammonium (NH_4^+) 15
1-4-2-2-2. Nitrates ($NO3^-$) 15
1-4-2-2-3. Nitrites ($NO2^-$) 16
1-4-2-2-4. Orthophosphate ($PO43^-$) 16
1-4-2-2-5. Fer 16
1-4-2-3. Paramètres bactériologiques 17
1-4-2-3-1. Escherichia coli 17
1-4-2-3-1-1. Risques sanitaires 17
I-4-2-3-2. Entérocoques et streptocoques fécaux 18
I-4-2-3-2-1. Risque sanitaire 18
1-4-2-3-3. Coliformes totaux 19
1-4-2-3-3-1. Risque sanitaire 19
1-4-2-3-4. Coliformes thermotolérants 19
1-5-Normes de qualité de l'eau 20
1-5-1. Normes Béninoises de qualité de l'eau de boisson 20

CHAPITRE 2 : CADRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES 22

2-1-PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE 22

2-1-1. Situation géographique du lac Azili 22

..... 23

2-1-2. Climat 23

2-1-3. Caractéristiques démographique et sociaux-économiques 24

2-1-3-1. Activités socio-économiques 25

2-1-3-1-1. Pêche 25

2-1-3-1-2. Agriculture 25

2-1-3-1-3. Commerce 25

2-1-3-1-4. Elevage 25

2-1-4. Sol 25

2-1-5. Hydrographie 26

2-1-6. Végétation 27

2.2. MATERIEL 27

2.2.1. Matériel d'étude 27

2.2.2. Matériel de terrain 28

2.2.3. Matériel de laboratoire 28

2.3. APPROCHES METHODOLOGIQUES 30

2.3.1. Recherche documentaire 30

2.3.2. Travaux de terrain 30

2.3.2.1. Enquête de terrain 31

2.3.2.2. Observations sur le terrain 31

2.3.2.3. Echantillonnage de l'eau 31

2.3.3 .Analyse au laboratoire 33

2.3.3.1 Analyses chimiques 33

2.3.3.1.1. Dosage des nitrates 33

2.3.3.1.2. Dosage des nitrites 33

2.3.3.1.3. Dosage de l'ammonium 34

2.3.3.1.4. Dosage de l'orthophosphate 34

2.3.3.1.5. Dosage du fer 34

2.3.3.2 Analyses bactériologiques 34

2.3.3.2.1. Recherche et numération de Coliformes totaux et thermotolérants 34

2.3.3.2.2. Recherche et numération de *Escherichia coli* 35

2.3.3.2.3. Recherche et numération des Entérocoques 35
2.3.4. Traitement des données 35
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION **38**
3-1. RESULTATS 38
3-1-1. Résultats des enquêtes de terrain 38
3-1-1-1. Activités anthropiques exercées dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado 38
3-1-1-1.1. Pêche 38
3-1-1-2. Agriculture et maraîchage 39
3-1-1-3. Élevage 40
3.1.1.4. Activités domestiques 41
3-1-1-5. Sources d'approvisionnement en eau de consommation 41
3.1.1.6. Gestion des excrétas 44
3-1-1-6. Maladies identifiées 45
3-1-2. Résultats des analyses physico-chimiques 46
3-1-2-1. Température 46
3-1-2-2. pH 46
3-1-2-3. Turbidité 47
3-1-2-4. Couleur 47
3-1-2-5. Conductivité électrique 48
3-1-2-6. Solide Totaux Dissous (TDS) 49
3-1-2.7. Oxygène dissous 49
3-1-2-8. Matières suspension (MES) 50
3-1-2-9. Ammonium 50
3-1-2-10. Nitrites 51
3-1-2-11. Nitrates 51
3-1-2-12. Orthophosphate 52
3-1-2-13. Fer 52
3-1-3. Résultats des analyses bactériologiques 53
3-1-3-1. Coliformes totaux 53
3-1-3-2. Coliformes thermotolérants 54
3-1-3-. *Escherichia coli* 54
3-1-3-4. Entérocoques fécaux 55
3-2. DISCUSSION 57

CONCLUSION ET SUGGESTIONS **61**

PERSPECTIVES **62**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **63**

WEBOGRAPHIE **70**

ANNEXES **71**