UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=======

INSTITUT NATIONALE DE L'EAU (INE)

=======

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**

Qualité physico-chimique de l'eau du lac Togbadji et perspectives pour la GIRE

Présenté par

AGBANRIN M. Marleine

Mention : Très bien

Maître de mémoire

Dr Firmin ADANDEDJI

Chercheur à l'INE
(Qualité des eaux et modélisation)

Superviseur

Dr (MC) Flavien DOVONOU

Enseignant-chercheur à l'INE

Jury

Président :

Dr Flavien DOVONOU

Membres :

Dr Firmin ADANDEDJI

Dr Josué ZANDAGA

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

PROMOTION 2021-2022

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=======

INSTITUT NATIONALE DE L'EAU (INE)

=======

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

AGBANRIN M. Marleine

Pour l'obtention du diplôme de

Licence Professionnelle en Hydrologie

OPTION : **ECOHYDROLOGIE**

==========

Qualité physico-chimique de l'eau du lac Togbadji et perspectives pour la GIRE

==========

Maître de mémoire

Dr Firmin ADANDEDJI

Chercheur à l'INE (Qualité des eaux et modélisation)

Superviseur

Dr (MC) Flavien DOVONOU

Enseignant-chercheur à l'INE

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

PROMOTION 2021-2022

DEDICACE

A

toi, mon enfant, mon trésor, mon inestimable don du ciel, Caleb A. CODO.

REMERCIEMENTS

A Dieu, le Parent céleste, source de notre vie, de notre bonheur et de nos moindres réalisations appréciables. Mes remerciements s'adressent :

- A mon maître de mémoire Docteur Firmin ADANDEDJI, pour sa précieuse contribution à la réalisation de ce travail, sa sympathie et la solidarité à mon égard et pour tous les sacrifices consentis dans l'élaboration de ce mémoire ;
- Au Professeur Flavien DOVONOU, Chef département d'hydrologie et gestion des ressources en Eau, pour ses efforts, ses conseils, son enseignement, son amour et sa lutte pour nous assurer une formation de qualité ;
- Au docteur Josué ZANDAGA, pour sa précieuse contribution à la réalisation de ce travail
- Au Professeur Daouda MAMA, Directeur de l'Institut National de l'Eau (INE), pour avoir permis mon insertion dans cet établissement ;
- Aux Professeurs Abel AFOUDA, Moussa BOUKARI, Emmanuel LAWIN et les autres enseignants de l'INE qui n'ont ménagé aucun effort pour faire de la formation en hydrologie une formation de référence dans le domaine de l'eau au Bénin et dans l'Afrique de l'Ouest ;
- Au professeur Abdoukarim ALASSANE, pour ses conseils, son soutien et son aide ;
- A tout le personnel du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) en l'occurrence Docteur Ousmane BOUKARI et Monsieur Mohamed BOURE SALMANOU pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce travail, leur sympathie et leur solidarité à mon égard ;
- A tous les responsables de la formation professionnelle à l'INE et à tous les membres de l'administration
- A tous les Honorables membres du Jury qui ont apprécié et corrigé ce modeste travail ;
- A mon mari Sergio CODO pour son soutien indéfectible et indispensable tout au long de ce travail ;
- A tous mes camarades d'hydrologie, notamment ceux de la promotion 2021-2022, en l'occurrence Blanchard ZANOU, Serge DOSSOU, Eustache GUIDI, Etienne ZANOU ;

- A mon père Jean AGBANRIN et à ma mère Maïmounatou LEKOYO pour leur amour, leurs soutiens et sacrifices de tout temps à mon endroit. Puisse l'Eternel les bénir en santé, longévité et prospérité ;
- A tous mes oncles et tantes ; cousins et cousines qui n'ont ménagé aucun effort pour me soutenir tout au long de ma formation ;
- A mes frères Joël, Engelbert et Deo-gracias AGBANRIN ainsi qu'à tous mes amis qui de près ou de loin m'ont soutenue de diverses manières.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

°C	Degré Celsius
°f	Degré français
INE	Institut National de l'Eau
$CaCO_3$	Carbonate de calcium
CENAGREF	Centre national de gestion des réserves et de la faune
CeRPA	Centre régional de promotion agricole
CO_2	Dioxyde de sodium
DBO	Demande biochimique en oxygène
DE	Direction de l'élevage
DFRN	Direction des forêts et ressources naturelles
DGR	Direction de génie rural
DH	Direction de l'Hydraulique
DP	Direction des pêches
DCO	Demande chimique en oxygène
LHA	Laboratoire d'Hydrologie Appliquée
IWRM	Integrated Water Ressources Management
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
H_2O	Monoxyde de dihydrogène
GPS	Global positionning system
TDS	Solides Totaux Dissous
mg/L	Milligramme par litre
µS/cm	Microsiemens par centimètre
OD	Oxygène dissous
pH	Potentiel d'Hydrogène

NTU	Nephelometric Turbidity Unity
IPO	Indice de pollution de l'eau
IQE	Indice de la qualité de l'eau
NQE	Norme de qualité environnementale
MES	Matières en suspension
Ppm	Partie par million
TH	Titre hydrométrique
WQI	Water quality index

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Conséquences environnementales et sanitaires de la pollution des eaux 9
Tableau 2 : Evolution de la salinité de l'eau en fonction des types d'eau [18] 12
Tableau 3: Classification de la qualité de l'eau en fonction de l'IQE..... 14
Tableau 4 : Classification de la qualité de l'eau en fonction de l'IPO..... 15
Tableau 5 : Présentation du projet de gestion du lac Togbadji à la base..……..42
Tableau 6 : Présentation du projet sur la qualité du lac Togbadji……...…43

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation du lac Togbadji 20
Figure 2: Carte de relief du lac Togbadji…..……..…….……21
Figure 3: Carte pédologique du lac Togbadji……..22
Figure 4 : Localisation des points d'échantillonnage 26
Figure 5 : Variation de la température de l'eau du lac Togbadji..... 30
Figure 6 : Variation du pH de l'eau du lac Togbadji..... 31
Figure 7 : Variation de l'oxygène dissous de l'eau du lac Togbadji 35
Figure 8 : Variation de la conductivité de l'eau du lac Togbadji. 36
Figure 9 : Variation de la concentration en TDS de l'eau du lac Togbadji 37
Figure 10 : Variation de la turbidité de l'eau du lac Togbadji. 37
Figure 11 : Variation de la concentration de MES de l'eau du lac Togbadji. 38
Figure 12 : Variation de la concentration en nitrites de l'eau du lac Togbadji. 39
Figure 13 : Variation de la concentration en ammonium de l'eau du lac Togbadji. 39
Figure 14 : Variation de la concentration en orthophosphate de l'eau du lac Togbadji..... 40
Figure 15 : Variation de la concentration en phosphore total de l'eau du lac Togbadji..... 40
Figure 16 : Les différentes étapes de mise en œuvre d'un mécanisme de GIRE 41

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : GPS de marque GARMIN (cliché AGBANRIN, 2022) 26

Photo 2 : Multiparamètre de marque HANNA (cliché AGBARIN, 2022) 26

***Photo 3** : Culture de maïs et de haricot (Cliché AGBANRIN, 2022)……29*

***Photo 4** : Elevage de poulets et de moutons (Cliché AGBANRIN, 2022)……30*

***Photo 5** : Pirogues, filets et bambou utilisés pour la pêche sur le lac Togbadji (Cliché AGBANRIN, 2022)……30*

***Photo 6** : La transformation de noix de palme en huile rouge (Cliché AGBANRIN, 2022)…31*

***Photo 7** : Lavage de poissons au bord du lac……31*

***Photo 8** : Lessive au bord du lac Togbadji (Cliché AGBANRIN, 2022)……32*

***Photo 9** : Dépotoir d'ordures observé proche du lac (Cliché AGBANRIN, 2022)……32*

SOMMAIRE

INTRODUCTION……..2

SYNTHESE BIBLIBLIOGRAPHIQUE…..……4

PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE……19

MATERIEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE…….24

RESULTATS ET DISCUSSION……..29

CONCLUSION ET PERSPECTIVES…….49

BIBLIOGRAPHIE…….50

ANNEXES…….54

RESUME

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour les êtres vivants. La dégradation de sa qualité constitue un problème aussi bien pour l'Homme que pour les différentes espèces aquatiques qui y vivent. Les eaux de surface comme les lacs sont plus exposées à des aléas. Dans le souci de protéger la vie de l'Homme et de préserver les écosystèmes aquatiques, il est important d'effectuer de temps à autre des analyses pour s'assurer de la qualité de l'eau. Cette étude a pour objectif de contribuer à une gestion des ressources en eau du lac Togbadji et de proposer un mécanisme de Gestion durable. De façon spécifique, il s'agit de prélever les échantillons d'eau du lac Togbadji, de réaliser les analyses physico-chimiques de l'eau du lac Togbadji, de réaliser les analyses physico-chimiques de l'eau du lac et d'ébaucher une proposition de GIRE. Au total six (6) stations ont été retenues et échantillonnées. Les analyses de laboratoire ont été réalisées suivant des méthodes standardisées. Ces analyses des paramètres physico-chimiques ont montré que l'eau du lac Togbadji est faiblement oxygénée, présente un pH basique et est en train d'être chargée et polluée par des éléments azotés notamment l'ammonium dont la teneur variant de 0,35 à 0,5mg/L, bien que comprise dans la norme NQE fait craindre la production d'ammoniac toxique pour la faune aquatique. Il est donc impératif de renforcer les actions de préservation de la qualité de l'eau du lac en proposant un mécanisme de GIRE pour une gestion durable de l'écosystème aquatique.

MOTS CLES : qualité physico-chimique, GIRE, lac Togbadji

ABSTRACT

Water is a precious and essential natural resource for living beings. The degradation of its quality is a problem for both humans and the various aquatic species that live there. Surface water such as lakes is more exposed to various hazards. In order to protect human life and to preserve aquatic ecosystems, it is important to carry out analyses from time to time so as to be sure about the water quality. The objective of this study is to contribute to the management of the water resources of Togbadji Lake and to propose a mechanism of sustainable management. Specifically, it will be necessary to collect water samples from Togbadji lake, to carry out the physico-chemical analyses of the water from this lake, to carry out the physico-chemical analyses of the water from the lake so as to draft a proposal of IWRM. A total of six (6) stations were selected and sampled. The laboratory analyses were carried out according to standardized methods. theses analysis of the physico-chemical parameters have shown that the water is weakly oxygenated, has basic pH, and is a about to be loaded and polluted by nitrogenous elements, especially ammonium which concentration (0,35 to 0,5mg/L) is normal according to the EQS standard, but can contribute to the production of ammoniac toxic to the aquatic fauna. It is thus imperative to reinforce quality preservation actions of the water of the lake by proposing a mechanism of IWRM for a sustainable management of the aquatic ecosystem.

Key words: physico-chemical quality, IWRM, lake Togbadji

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau est une ressource indispensable à la survie de tout être vivant (humain, animal et végétal) [1]. Elle est fondamentale pour la santé de l'homme et le développement de ses activités [1,2, 3]. Son utilité est toutefois tributaire de sa qualité. Certes la surface terrestre est couverte à 71% d'eau, mais l'eau douce véritablement utile aux êtres vivants n'en représente que 2,5 à 2,6% [2,4]. Cette eau douce est retrouvée en grande partie à l'état solide dans les glaciers (69,5%), et à l'état liquide dans les aquifères (30,1%), les cours d'eau (fleuves et rivières) et les plans d'eaux (lagunes et lacs) [2]. Ainsi, l'eau douce est minime et représente 0,6% de l'ensemble des ressources en eau [4].

Le Bénin dispose d'un important réseau hydrographique assez diversifié [5,6]. Ses cours et plans d'eau sont davantage soumis, comme dans beaucoup d'autres pays, à une forte pression anthropique en raison de l'expansion démographique [7,8]. En effet, les diverses activités humaines surtout celles des populations riveraines influencent la qualité des ressources en eau avec des répercussions fâcheuses sur les ressources halieutiques ainsi que sur la vie humaine [7,9]. Le lac Togbadji situé dans la commune de Lokossa n'est certainement pas à l'abri de ces problèmes. Récemment, les poissons de ce lac ont été interdits de consommation et de commercialisation par l'autorité préfectorale du Couffo à la suite du constat de leur mort en masse par asphyxie après changement de la couleur de l'eau. Par ailleurs, étant donné que les activités humaines incriminées face au problème de pollution des eaux (agriculture, industrie, pêches, élevage, activité domestique) sont interdépendantes, les approches sectorielles de résolution de ce problème ne sont pas efficaces, encore moins, à long terme. Pour une meilleure préservation des ressources en eau, une gestion intégrée s'avère indispensable [1,10].

Le présent mémoire a pour objectif de contribuer à une meilleure gestion de l'eau du lac Togbadji afin de favoriser sa restauration et/ou sa gestion durable.

De façon spécifique, il s'est agi de :

- faire un état des lieux de la pollution du lac ;
- réaliser les analyses physico-chimiques de l'eau du lac Togbadji ;
- évaluer le niveau de pollution sur le lac Togbadji ;
- identifier des enjeux en vue de la GIRE.

CHAPITRE 1 :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Pour mieux comprendre notre sujet, nous avons lu plusieurs documents scientifiques qui s'y rapportent. Nous ferons dans ce chapitre un point des informations utiles recensées.

1.1 Définition de quelques concepts

Il urge de clarifier certaines notions en vue de faciliter la compréhension de notre mémoire.

- **Ecosystème :** c'est un système complexe constitué par l'interaction d'un ensemble d'organismes avec leur environnement [10].
- **Ressources en eau :** ce sont des aux liquides en écoulement entrant dans le cycle annuel, accessibles aux usages humains. Elle est désignée par eau bleue et se distingue de l'eau de pluie (eau verte) [2].
- **Gestion intégrée :** c'est une gestion (d'une ressource) prenant en compte toutes ses différentes utilisations [1].
- **Bassin versant :** c'est une aire délimitée par des lignes de partage des eaux à l'intérieur de laquelle les précipitations sont concentrées vers un même exutoire [11]. En d'autres termes, c'est la surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac, l'aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface ou en souterrain vers cette sortie [12].
- **Lac :** c'est un plan d'eau continental (séparé de la mer, dominé par son bassin d'alimentation et développant une personnalité propre), dont la profondeur, la superficie ou le volume sont suffisants pour provoquer un étagement, une zonation ou une régionalisation des processus limniques [13].
- **Eutrophisation :** c'est un phénomène d'enrichissement des cours d'eau et des plans d'eau en éléments nutritifs, essentiellement le phosphore et l'azote qui constituent un véritable engrais pour les plantes aquatiques [12].

1.2 Classification des eaux

L'eau est la ressource la plus essentielle à la vie. Sa quantité sur Terre est gigantesque, estimée à 1,4 milliards de km^3, mais la plus grande proportion (97,4% à 97,5%) est constituée d'eau salée retrouvée dans les mers et océans. Ainsi, seulement 2,5% à 2,6% de cette quantité est de l'eau douce répartie sur les continents et sous différentes formes [2,4].

1.2.1 L'eau océanique

Il s'agit de l'eau salée des mers et océans. Elle recouvre à 71% la surface terrestre et est en perpétuel mouvement. Le déplacement de l'eau des océans à l'échelle du globe, est désignée par circulation thermohaline globale. Elle joue un rôle majeur dans le fonctionnement du climat. En effet, dans son déplacement, l'eau permet le transport de la chaleur reçue à l'équateur jusqu'aux pôles. Le temps de parcours de cette boucle d'eau salée aussi appelée tapis roulant océanique est de l'ordre du millier d'années [4].

On distingue cinq grands océans que sont l'océan Pacifique, l'océan Indien, l'océan Antarctique et l'océan Atlantique par lequel notre pays le Bénin est d'ailleurs limité au Sud.

1.2.2 L'eau continentale

L'eau continentale, pour ainsi dire l'eau à la surface des continents, se retrouve dans une grande proportion sous forme gelée de façon quasi-permanente dans les calottes polaires et les glaciers. Le reste, représentant à peine 0,6% de l'eau du globe terrestre, se répartit en eaux souterraines et eaux superficielles [4].

1.2.2.1 Eaux souterraines

Il s'agit des eaux retenues dans des couches de roches souterraines appelées couches aquifères ou nappes. On distingue les nappes phréatiques ou alluviales, peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus, et les nappes captives, plus profondes, séparées de la surface par une couche imperméable et alimentées grâce à l'infiltration sur leurs bordures [14].

Au Bénin, la recharge annuelle totale des différents aquifères est estimée à 1,87 milliards de mètres cube d'eau [6]

1.2.2.2 Eaux superficielles

Il s'agit des eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Leur composition chimique dépend de la nature des terrains traversés ou sur lesquels elles se trouvent.

- **Cours d'eau :**

Il s'agit des eaux superficielles courantes, en déplacement dans une direction, toujours la même. Les cours d'eau présentent une rive et un fond, mais sont surtout définis par la distance parcourue. Ils regroupent les fleuves, les rivières, les ruisseaux et les torrents et constituent des milieux dits lotiques [13].

Au Bénin, les cours d'eau sont essentiellement constitués par les fleuves Ouémé (510 km), Okpara (200 km), Couffo (190 km), Zou (150 km), Mono (100 km), Pendjari (380 km), Niger (120 km) avec ses affluents Mekrou (410 km), Alibori (338 km) et Sota (250 km) [6]

- **Plans d'eau**

Il s'agit des eaux superficielles stagnantes. Elles peuvent parfois être animées de mouvements fantasques et irréguliers sous l'effet du vent [13]. Les plans d'eau présentent une rive et un fond, mais sont surtout définis par la superficie occupée. Ils regroupent les lacs, les lagunes, les étangs, les marécages et les tourbières, et constituent des milieux dits lentiques [13].

Les plans d'eau au Bénin sont composés des lacs Nokoué (150 km^2), Ahémé (78 km^2), Toho (15 km^2), Togbadji (4 km^2), et des lagunes de Ouidah (40 km^2), Porto-Novo (35 km^2) et Grand-Popo (15 km^2) [6].

1.3 Pollution des eaux

Il s'agit de l'altération de la qualité des eaux à la suite de l'introduction en leur sein de certaines substances.

1.3.1 Les origines de pollution d'eau [12]

Les substances polluantes sont de diverses origines, ce qui permet de distinguer la pollution domestique, la pollution agricole, la pollution industrielle et la pollution d'origine naturelle.

- **Pollution domestique :**

Elle provient des habitations et se caractérise par de fortes teneurs en matières organiques, la présence des sels minéraux (azote, phosphore) et de détergents.

- **Pollution agricole :**

Ce type de pollution provient des fermes et cultures. Elle se caractérise par de fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) émanant des engrais et lisiers d'élevage, la présence de produits chimiques de traitement des cultures (pesticides, herbicides…).

- **Pollution industrielle**

Elle tire son origine des usines dont les activités déterminent la nature des polluants. Ces polluants peuvent être des matières organiques et des graisses (issues des industries

agroalimentaires) ; des métaux (en provenance des industries métallurgiques) ; des hydrocarbures (provenant des raffineries) ; des acides, bases et produits chimiques divers (des industries chimiques) ; de l'eau chaude (provenant des circuits de refroidissement des machines ; des matières radioactives (des centrales nucléaires, ou des traitements des déchets radioactifs)

- **Pollution résultant de phénomènes naturels**

Divers phénomènes naturels peuvent être à l'origine de la pollution des eaux. A titre d'exemples, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec les filons géologiques (métaux, arsenic), ou une source thermominérale, peuvent polluer des eaux.

1.3.2 Les différents types de pollution d'eau [15]

1.3.2.1 Pollution physique

- **Pollution thermique**

Il s'agit de la pollution de l'eau causée par une élévation de la température. En effet, le rejet de la chaleur dans l'environnement fait augmenter la température du milieu entraînant ainsi de véritables bouleversements biocénotiques. L'augmentation de la température de l'eau réduit la teneur en oxygène et augmente la vitesse de réactivité chimique [15].

- **Pollution radioactive**

Elle est causée par des éléments radioactifs provenant des installations et centrales d'exploitations d'uranium ou de traitement de déchets radioactifs.

- **Pollution mécanique**

C'est la pollution due à des décharges de déchets et particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles ainsi que par les eaux de ruissellement. Ces polluants sont des particules de taille et de matière très variées. Du fait de la taille, ces particules peuvent conférer à l'eau un caractère trouble ; mais en fonction de la densité de la matière constitutive, certaines particules (plus lourdes que l'eau) sont décantées, d'autres (plus légères que l'eau) sont flottables, et d'autres encore (de même densité que l'eau) sont non séparables de l'eau.

1.3.2.2 Pollution chimique

Elle est due à la libération dans les eaux de certaines substances chimiques toxiques comme les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et les ions métalliques. Les polluants

chimiques sont classés en cinq catégories : les substances chimiques indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et colorants, et autres éléments toxiques.

1.3.2.3 Pollution biologique

- **Pollution organique**

Elle est causée par des effluents chargés de matières organiques biodégradables provenant des industries alimentaires et agroalimentaires. Ils provoquent une diminution de l'oxygène dissous de ces eaux, ce qui entraîne la mort des poissons par asphyxie et le développement de fermentation anaérobie génératrice de nuisances olfactives.

- **Pollution microbiologique**

Elle est due à l'apparition et au développement dans l'eau des microorganismes (virus, bactéries et parasites) nuisibles à l'homme. Ils sont responsables des maladies hydriques.

- **Pollution par des espèces invasives**

Elle résulte de l'introduction dans un milieu d'espèces exogènes (animales ou végétales) ou d'organismes génétiquement modifiés. Elle intègre aussi les modifications environnementales qui aboutissent à une modification des peuplements.

1.3.3 Les conséquences de la pollution des eaux

La pollution des eaux entraîne une limitation voire une éviction de leur usage. En effet, elles connaissent une perte de potabilité et une dégradation de leur aspect (couleur, mousses) qui font interdire la baignade, l'usage agricole, et même l'abreuvage des animaux [14]. Elle présente aussi des conséquences environnementales et sanitaires [14, 16].

Le tableau 1 présente les différents types de pollution et les conséquences sur l'homme.

***Tableau 1**: Conséquences environnementales et sanitaires de la pollution des eaux*

Polluants	Effets environnementaux	Effets sanitaires
Les matières en suspension	Eaux plus troubles : perturbation de la photosynthèse, de la respiration des poissons et colmatage des milieux aquatiques	Transportent des polluants ; ce qui augmente les risques d'absorption de substances toxiques par l'organisme
Pollution organique (Matières organiques)	Asphyxie du milieu par consommation de l'oxygène dissous, mort des poissons ; Stimulation de la production végétale (eutrophisation) et accumulation de boues ; Faiblement biodégradable	Favorise le développement d'organismes pathogènes pour l'Homme
Azote (nitrates, nitrites), Phosphore	Eutrophisation des milieux aquatiques par excès de matières nutritives pour les végétaux (algues) et conduisant à l'asphyxie des milieux ; Toxicité de l'ammoniaque et des nitrites pour la faune aquatique	Nitrates : empoisonnement du sang chez les nourrissons par blocage de l'hémoglobine interdisant le transport de l'oxygène (maladie bleue) ; Nitrites : cancers à long terme chez les adultes (même à faible concentration) si associés à certains pesticides
Métaux	Non biodégradables, Bioaccumulables	Troubles respiratoires, digestifs, nerveux ou cutanés ; Arsenic, Nickel et Chrome sont également considérés comme cancérigènes
Pesticides	Substances très dangereuses pour les milieux aquatiques ; Polluants organiques persistants ; S'adsorbent sur les matières en suspension et s'accumulent dans certains compartiments (sédiments, matières organiques, chaîne alimentaire)	Les plus toxiques : les insecticides Effets reprotoxiques (malformations, stérilité, troubles de la reproduction), mutagènes et cancérigène

1.4 Paramètres physico-chimiques

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

1.4.1 La température

C'est un paramètre physique qui influe sur la solubilité des sels dissous et surtout des gaz dont l'oxygène et sur le potentiel d'hydrogène [14]. La solubilité de l'oxygène diminue avec l'augmentation de la température de l'eau [17]. Elle affecte les réactions chimiques et biologiques de l'eau. Pour une augmentation de 10°C, ces réactions sont accrues d'un facteur 2 à 3 [18]. Elle régularise le taux de la photosynthèse dans le système aquatique. Son augmentation favorise l'auto-épuration et accroît la vitesse de sédimentation. Par ailleurs, elle agit sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau [8]. Une température supérieure à 15°C favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs [3]. La valeur maximale admise est de 25°C pour une eau potable [17, 18].

1.4.2 La conductivité électrique

Elle indique l'aptitude d'une eau à conduire le courant électrique, laquelle dépend de sa teneur en sels minéraux [8]. Elle est exploitée pour évaluer la salinité de l'eau [19]. La conductivité électrique d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm [18].

1.4.3 La transparence

La transparence exprime la clarté de l'eau et indique le degré de pénétration de la lumière dans une eau de surface [14, 17]. Elle diminue avec la quantité de matières en suspension dont les phytoplanctons, et caractérise ainsi le niveau d'eutrophisation [14]. Elle est mesurée avec un disque de Secchi immergé graduellement à l'endroit où le lac est jugé le plus profond jusqu'à la profondeur où le disque n'est plus visible. Cette profondeur est notée et constitue la valeur de la transparence (exprimée en m) qui est d'autant plus grande que l'eau est claire. Elle n'est cependant représentative que lorsque l'eau est assez profonde [17].

1.4.4 La turbidité

La turbidité exprimée en Unité Néphélométrique de Turbidité (UTN) rend compte du caractère trouble de l'eau. A l'inverse de la transparence, elle est causée par les matières en suspension. Une turbidité trop élevée empêche la pénétration de la lumière et peut ainsi diminuer la croissance des algues et des plantes aquatiques [14]. Elle est mesurée par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise dans l'échantillon d'eau et par

une gamme étalon. Sa valeur doit être inférieure à 5 UTN [20]. L'eau est dite légèrement trouble pour une turbidité comprise entre 5 et 30 UTN. Elle est dite trouble au-delà de 30 UTN [21]

1.4.5 La couleur

La couleur de l'eau rend compte de sa concentration en carbone organique dissous et diminue sa transparence [17]. L'analyse consiste en la détermination de la couleur brun-jaunâtre d'un échantillon par comparaison visuelle avec une série de solutions étalon.

1.4.6 Les matières en suspension (MES)

Il s'agit des matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau comme les sables, les argiles, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres microorganismes de l'eau [18]. Elles affectent la transparence de l'eau, diminuent la pénétration de la lumière, et par conséquent, la photosynthèse. De plus, elles peuvent également gêner la respiration des poissons [14,18]. Elles peuvent même accumuler des quantités élevées de matières toxiques telles que les métaux, les pesticides, les hydrocarbures polycycliques et les huiles minérales. Leur concentration dans l'eau doit être inférieure à 25 mg/L [18].

1.4.7 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH exprime la concentration en H^+ et mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau lue sur une échelle allant de 0 à 14 [8]. A 25°C, la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre. La norme de pH pour les eaux de surface est comprise entre 6,5 et 8,5 [20, 22].

L'alcalinité ou titre hydrotimétrique est due principalement à la présence de bicarbonate de calcium et de magnésium dissous dans l'eau, et accessoirement à la présence des hydroxydes, des bases organiques, des borates, des ions ammonium, phosphate et silicate) [19]. Elle dépend de la teneur de l'eau en dioxyde de carbone (CO_2), de sa minéralisation et de sa température. Elle est généralement exprimée en ppm (mg/L) de carbonate de calcium ($CaCO_3$) et rend compte du pouvoir tampon de l'eau c'est-à-dire de sa capacité à maintenir le pH stable en neutralisant les acides. Toutefois, une forte acidification va libérer de l'eau (H_2O), du dioxyde de carbone ainsi que le cation accompagnateur (soit Ca^{2+}ou Mg^{2+}) [19].

1.4.8 L'oxygène dissous (en mg/L) ou taux de saturation en oxygène

L'oxygène dissous est essentiel à la vie aquatique. Il sert à la respiration des organismes aquatiques notamment la faune et assure l'oxydation de la matière organique contribuant ainsi à l'auto-épuration du milieu. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient

essentiellement de l'atmosphère et de la photosynthèse des algues et des plantes aquatiques [14,18]. Sa concentration augmente avec la pression partielle en oxygène atmosphérique mais diminue avec l'augmentation de la température et/ou de la salinité de l'eau. Une eau de bonne qualité est caractérisée par une teneur en oxygène dissous de 4 à 6 mg/L [14]. La norme de l'OMS recommande une teneur d'au moins 7mg/L [8] pour une eau de surface. Le taux de saturation en oxygène minimale admise est de 50% [18]. La sursaturation en oxygène se traduit par une consommation du dioxyde de carbone et rend le pH alcalin [21].

1.4.9 Les solides totaux dissous (STD)

Exprimé en mg/L, le TDS ou STD représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Il s'agit des substances organiques et des substances inorganiques constituées par des sels minéraux comme le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui forment des cations, et les carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures, et sulfates qui sont des anions [14]. Ainsi, le STD renseigne sur la teneur en sels de l'eau, donc sur sa salinité [8].

1.4.10 La salinité

Elle désigne la quantité de sel dissous dans un liquide. Le sel ainsi dissous modifie les propriétés de l'eau mais surtout la capacité de l'eau à dissoudre et sa densité [23]. Le tableau 2 présente la salinité de l'eau en fonction du des types d'eau.

Tableau 2 **:** *Evolution de la salinité de l'eau en fonction des types d'eau [23]*

Salinité	TDS
Eau douce	< 1 000 ppm
Eau saumâtre (un peu salé)	1 000 à 10 000 ppm
Eau salée	10 000 à 30 000 ppm
Eau saumure (très salée)	> 30 000 ppm

1ppm = 1mg/L

1.4.11 La dureté

La dureté rend compte de la charge de l'eau en calcium et en magnésium. Il s'agit de la somme des concentrations en calcium et en magnésium [19]. Sa valeur maximale admise est de 200 mg/L [20]. La dureté peut équivaloir à l'alcalinité lorsque le calcium et le magnésium sont sous forme de carbonate ou de bicarbonate. La dureté peut toutefois être plus élevée que

l'alcalinité lorsque le calcium et le magnésium sont sous forme de sulfate et de chlorure [19]. La dureté est aussi évaluée par le titre hydrométrique (TH). Ce dernier est exprimé en degrés français (°f) sur une échelle de 0 à 40 avec 1°f = 4 mg/L de calcium ou 2,4mg/L de magnésium. L'eau est dite dure si le TH est supérieur à 15°f et douce si le TH est inférieur à 15°f [21].

1.5 Paramètres organiques

1.5.1 La charge en matière organique

La charge en matière organique de l'eau rend compte de la pollution organique de cette dernière. Elle est déterminée en se basant sur la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après oxydation de la matière organique présente dans un échantillon d'eau [18]. Deux méthodes sont utilisées à cette fin : la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). Elles s'expriment en mg O_2/L.

La DBO ou plus précisément DBO_5 représente la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes notamment les bactéries, pendant 5 jours à 20°C [14, 18]. Elle est d'autant plus élevée que la quantité de matière organique présente dans l'échantillon est importante. Dans les eaux de surface, la Norme Béninoise de qualité de l'eau potable exige que sa valeur soit inférieure à 150mg/L [20].

Quant à la DCO, elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader par voie chimique à l'aide d'un oxydant puissant (le bichromate de potassium) la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau [14, 18]. Elle permet ainsi de mesurer la teneur en matières organiques totales, y compris celles qui ne sont pas dégradées par les bactéries. Elle sert à caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques [18].

1.5.2 La chlorophylle a

Il s'agit d'un pigment présent dans les cellules des plantes, responsable de leur coloration verte et qui est à la base du processus de la photosynthèse. En effet, la chlorophylle a permis de capter de la lumière solaire qui lui sert à convertir du dioxyde de carbone et de l'eau en oxygène et en matière organique. Elle fait partir des paramètres indicateurs de l'abondance de la biomasse algale. Elle constitue une mesure sensible du degré d'eutrophisation [14].

1.6 Indices d'évaluation de la qualité des eaux

Il s'agit notamment de l'indice de la qualité de l'eau (IQE) et de l'indice de pollution organique (IPO) qui renseignent généralement sur la qualité des eaux.

1.6.1 L'indice de la qualité de l'eau (IQE) [24]

En effet, l'IQE est une expression numérique qui permet d'évaluer la qualité générale de l'eau à l'aide d'un groupe de neuf paramètres physico-chimiques importants (pH, T°C, CE, OD, NH_4^+, NO_3^-, SO_4, PO_4 et DBO_5). Il rend compte de l'influence composite de ces paramètres en réduisant les informations à un seul nombre sans dimension. Il se calcule suivant la formule : $\mathbf{IQE=\Sigma^{n}_{i=1}Q_i \times W_i / \Sigma^{n}_{i=1} W_i}$

Avec : $\mathbf{W_i=k/S_i}$

$\mathbf{k=1/ \Sigma^{n}_{i=1}(1/S_i)}$ et

$\mathbf{Q_i= (C_i/S_i) \times 100}$.

W_i= poids relatif, spécifique à chaque paramètre physico-chimique ;

k= constante de proportionnalité ;

S_i= valeur maximale de la norme standard des eaux de surface de chaque paramètre en mg/L sauf pour le pH, la température et la conductivité électrique ;

n=nombre de paramètre ;

Q_i=échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre ;

C_i=concentration de chaque paramètre en mg/L.

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées en fonction de l'IQE. Le tableau 3 ci-dessous présente ces différentes classes de l'IQE.

Tableau 3*: Classification de la qualité de l'eau en fonction de l'IQE*

Classe d'IQE	Type d'eau	Usage possible
0 – 25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
> 25 – 50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
> 50 – 75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
> 75 – 100	Très mauvaise qualité	Irrigation
> 100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

1.6.2 L'indice de pollution organique (IPO) [25]

Cet indice s'obtient à partir des valeurs des paramètres indicateurs de pollution (NH_4^+, DBO_5, NO_3^- et PO_4^{3-}). Il se calcule selon la méthode de Leclercq et Maquet dont le principe consiste à répartir les valeurs des éléments polluants en cinq classes et de déterminer à partir de ses propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne. On distingue cinq classes de qualité de l'eau en fonction de la valeur de l'IPO. Le tableau 4 présente les classes d'eau en fonction de l'IPO.

Tableau 4 **:** *Classification de la qualité de l'eau en fonction de l'IPO*

Classes	NO_3^- (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	PO_4^{3-}	DBO_5 (mg O_2/L)	IPO	Pollution organique
5	5	< 0,1	15	< 2	5,0 – 4,6	Nulle
4	6 – 10	0,1 – 0,9	16 – 75	2 – 5	4,5 – 4,0	Faible
3	11 – 50	2,4	76 – 250	5,1 – 10	3,9 – 3,0	Modérée
2	51 – 150	2,5 – 6	251 – 900	10,1 – 15	2,9 – 2,0	Forte
1	> 150	> 6	> 900	> 15	1,9 – 1,0	Très forte

1.7 Gestion intégrée des ressources en eau

Il s'agit d'une approche globale dans la gestion des ressources en eau considérant celle-ci comme une ressource unique ayant des utilisations concurrentes avec les systèmes écologiques, sociaux et économiques [10].

1.7.1 Principes de la GIRE [1]

Quatre principes sous-tendent la gestion intégrée des ressources en eau. Le premier principe stipule que l'eau douce est une ressource finie et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement. Le deuxième principe de la GIRE appelle à une coopération entre les diverses parties intervenant dans la gestion de l'eau. Selon ce principe, la mise en valeur et gestion de l'eau devrait se baser sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux. Quant au troisième, il met l'accent sur le rôle de primordial de la femme dans le mécanisme de gestion des ressources en eau. Ce dernier stipule que les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la sauvegarde de l'eau. Le quatrième et dernier

principe de la GIRE montre que l'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue aussi bien comme bien économique que bien social.

1.7.2 Avantages de la GIRE [1]

La gestion intégrée des ressources en eau présente des avantages sur le plan environnemental, sur le plan agricole et en matière d'approvisionnement et d'assainissement.

- **Avantages environnementaux**
  - ✓ Prise en compte des besoins environnementaux des écosystèmes dans les débats sur l'allocation de l'eau ;
  - ✓ Sensibilisation des autres utilisateurs sur les besoins des écosystèmes et les avantages que ceux-ci génèrent pour eux ;
  - ✓ Mise en place de l'approche écosystème qui offre d'une part un cadre à la GIRE pour concentrer plus d'attention sur l'approche système à la gestion de l'eau (ce qui permet la protection des hauts bassins, la lutte contre la pollution, les flux environnementaux) et d'autre part une solution de rechange à la perspective de compétition intersectorielle en associant les parties prenantes dans l'élaboration d'une nouvelle vision partagée et d'une action commune
- **Avantages agricoles**
  - ✓ Une allocation raisonnable de l'eau pour l'agriculture grâce à l'encouragement des planificateurs à aller au-delà de l'économie du secteur et à prendre en compte les implications des décisions de gestion de l'eau sur l'emploi, l'environnement et l'équité sociale ;
  - ✓ Mise en équation du potentiel de réutilisation des eaux usées d'irrigation pour les autres secteurs et la portée de réutilisation agricole des eaux usées municipales et industrielles ;
  - ✓ Recherche d'accroissement de la productivité de l'eau (plus de grains par goutte d'eau) dans les contraintes imposées par le contexte économique et social d'une région ou d'un pays donné.
- **Avantages de l'approvisionnement en eau et l'assainissement**
  - ✓ Garantie de la sécurité de l'eau pour les pauvres du monde et les personnes non desservies et une sécurité accrue des approvisionnements en eau domestiques de même qu'une réduction des coûts de traitement pendant que la pollution est abordée plus efficacement ;

- ✓ Mise en place d'une représentation correcte des groupes des pauvres et des femmes dans les instances qui s'occupent de l'allocation des ressources en eau ;
- ✓ Améliorations considérables dans les efficacités d'utilisation industrielle de l'eau dans les pays développés avec les avantages des approvisionnements en eau domestique et l'environnement ;
- ✓ Introduction de solutions d'assainissement durables qui visent à minimiser les sources de production de déchets, et la réduction des effets directs des déchets et à résoudre les problèmes d'assainissement le plus près possible de l'endroit où cela se passe ;
- ✓ Coûts considérablement réduits de prestation de services domestiques d'eau à la suite de l'intégration améliorée de la gestion des ressources en eau.

CHAPITRE 2 :

PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

CHAPITRE 2 : MILIEU D'ETUDE

La République du Bénin, pays de l'Afrique de l'Ouest, est située dans la zone intertropicale, entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude Nord et les méridiens 1° et 30°40'de longitude Est. D'une superficie de 114764 km2, elle est limitée au Nord par le Niger et le Burkina Faso, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Ouest par le Togo et à l'Est par le Nigéria. Elle est organisée en quatre unités administratives : 12 départements, 77 communes, 546 arrondissements et 5290 villages [6].

Le Mono, l'un de ses départements, est situé au Sud-Ouest et se compose de six communes (Athiémé, Bopa, Comè, Grand-Popo, Houéyogbé et Lokossa). Il est voisin du département du Couffo d'avec lequel il avait été scindé en 1999. Le département du Couffo se compose également de six communes (Aplahoué, Djakotomey, Dogbo, Klouékanmè, Lalo et Toviklin).

2.1.Localisation du lac Togbadji

Le lac Togbadji est partagé par les villages Medehounta de l'arrondissement de Ouèdèmè (commune de Lokossa), Azizonsa de l'arrondissement d'Agamè (commune de Lokossa), Honton de l'arrondissement de Honton (commune de Dogbo) et Ayomi de l'arrondissement de Dévé (commune de Dogbo), au Sud-ouest du Bénin. Il est donc à cheval sur les deux départements du Mono et du Couffo. Il est, ainsi que ces départements qui le portent, compris entre la plaine côtière et la transversale de Lonkli-Kétou [26]. Il est par ailleurs situé entre le lac Alago (11km à l'Ouest), le lac Toho (16km au Sud-Est), le lac Elia (20 km au Sud-Ouest) et la forêt classée de Togodo-Sud (21 km au Nord-Ouest) (https://mapcarta.com/ www.mindat.org). Il est à 14 mètres d'altitude. Ses coordonnées géographiques sont de 6°44'36'' latitude Nord et 1°42'9'' longitude Est en Degrés, Minutes, Secondes ou respectivement de 6,74336° et 1,70253° en degrés décimaux. Il s'étend sur une superficie de 4 km^2 et constitue avec le lac Toho (15km^2), les deux plus importants lacs de la vallée alluviale où coule le Bassin du Mono [5, 6]. Il s'agit d'une large vallée par laquelle passe le Bassin du Mono sur une distance d'environ 10 km en décrivant de larges méandres à travers des zones inondables avant de rejoindre le système lagunaire des ''Bouches du Roi''. Au niveau de cette vallée, il existe un axe de drainage bien marqué : celui de sazué (63km) formé par la réunion de deux affluents que sont la Dévédo (22km) et la Savédo (40km) [5].

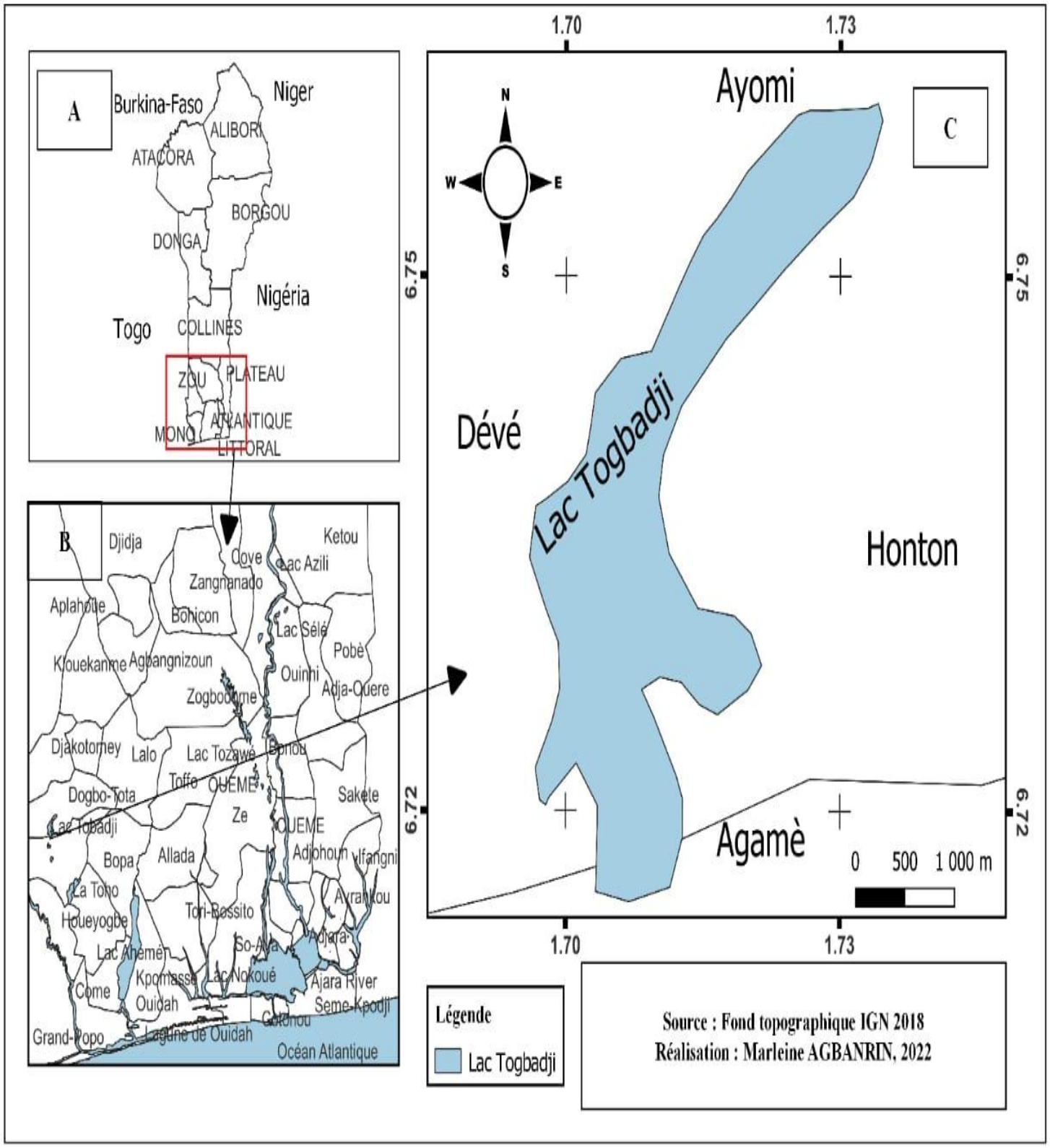


***Figure 1**: Carte de localisation du lac Togbadji*

2.2.Climat

En raison de sa situation géographique, le lac Togbadji est soumis au climat subéquatorial du Sud Bénin caractérisé par une alternance de deux saisons sèche (une grande saison sèche de novembre à mars et une petite saison sèche de juillet à août) et deux saisons pluvieuses (une grande saison pluvieuse de mars à juillet et une petite saison pluvieuse d'août à octobre) [26]. La température moyenne annuelle est de 27,4°C avec une amplitude de 3,7°C [6]. C'est un climat chaud marqué par une humidité relativement élevée, une pluviométrie variant entre 900 et1100mm par an [26].

2.3.Relief

Comme l'ensemble des départements du Mono et du Couffo, le lac Togbadji se situe entre la plaine côtière et la transversale de Lonkli-Kétou. C'est une zone de plateaux argileux et de terre de barre dont l'altitude maximale dépasse rarement 200m avec des dépressions plus ou moins prononcées, ce qui donne à l'ensemble du relief un aspect bosselé [26].

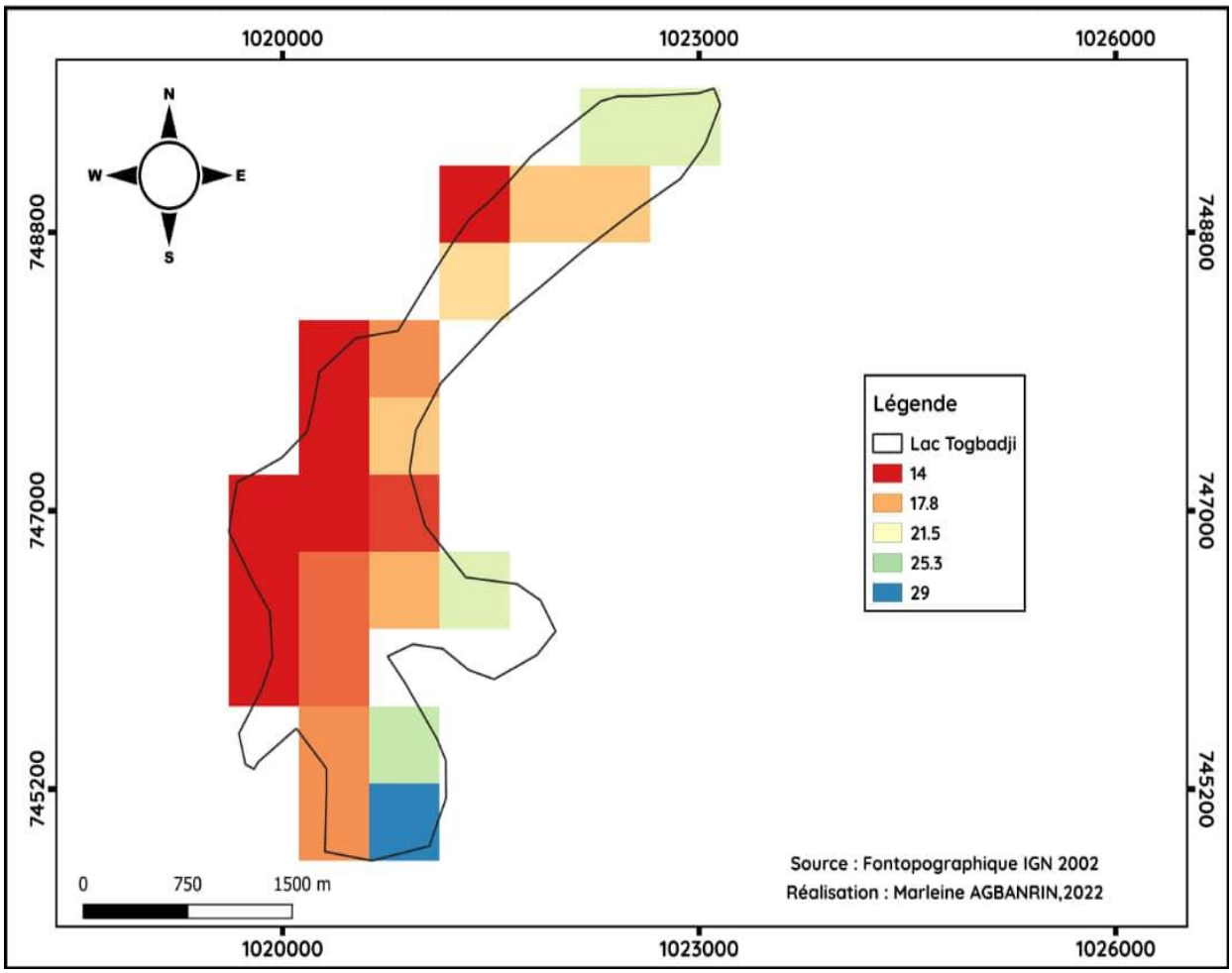


Figure 2: Carte de relief du lac Togbadji

2.4.Sols

Sur le plan pédologique, deux types de sols sont rencontrés dans la zone : les vertisols et les sols hydromorphes dont le plus important est le sol hydromorphe sur matériau alluvial sablo-limoneux à limono-argileux. Ces deux types de sols ont une texture et une structure qui ne favorisent pas nécessairement une infiltration rapide des eaux de pluie [26].

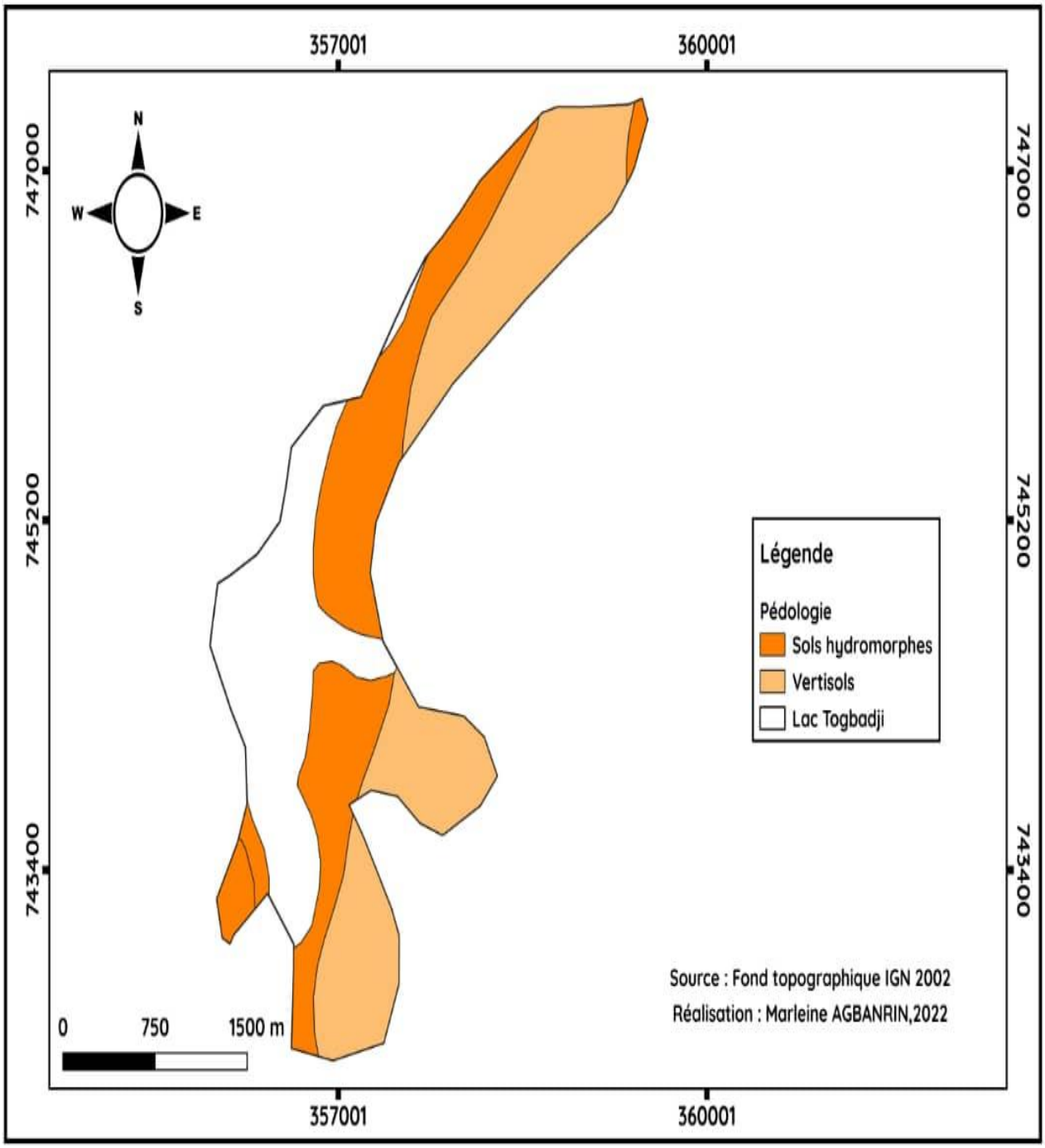


Figure 3: Carte pédologique du lac Togbadji

CHAPITRE 3 :

MATERIEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE

CHAPITRE 3 : MATERIEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE

3.1.Matériel de prélèvement et d'analyse

Le matériel utilisé est composé de celui de terrain et de laboratoire.

3.1.1. Matériel de terrain

Sur le terrain nous nous sommes servis :

- d'un appareil GPS (Global Positionning System) pour repérer géographiquement les stations d'échantillonnage ;
- d'un appareil multi-paramètre permettant de mesurer le potentiel d'hydrogène (pH), la température, la conductivité électrique, l'oxygène dissous et la turbidité ;
- des sachets pour conserver les échantillons ;
- d'un marqueur et du papier adhésif pour l'étiquetage des échantillons ;
- d'un appareil photo pour prendre des vues ;
- des bouteilles en plastique de 1,5 L lavées et séchées qui vont servir à garder les échantillons d'eau ;
- d'un bloc note et un stylo pour relever les valeurs in-situ

3.1.2. Matériel de laboratoire

Pour les analyses chimiques, au laboratoire, des échantillons d'eau prélevés, nous avons utilisé certains appareils et instruments de laboratoire :

- un spectrophotomètre HACH LANGE DR2800 pour la mesure de l'absorbance des différents paramètres chimiques ;
- un autoclave pour la stérilisation à vapeur de la verrerie ;
- une burette ;
- des erlenmeyers
- de l'eau distillée
- un agitateur magnétique ;
- des barreaux aimantés

} Pour le dosage des éléments chimiques

3.2.Méthodologie d'étude

Il s'agit d'une étude transversale, descriptive et analytique s'étalant sur la période de juin à décembre 2022.

L'approche méthodologique utilisée dans le cadre de ce mémoire comprend la recherche documentaire, la collecte des données, le traitement et l'interprétation des données.

3.2.1. Recherche documentaire :

Il s'est agi de faire la revue de la littérature en exploitant des articles, thèses, mémoires et tout autre document fiable en lien avec notre thème d'étude.

3.2.2. Echantillonnage et mesure sur le terrain

- ✓ Echantillonnage

L'échantillonnage a été fait en Décembre 2022 au niveau de six stations ou points de prélèvement sur le lac Togbadji en tenant compte de leur situation par rapport aux agglomérations et de leur accessibilité. Les sites de prélèvement ont été répartis en amont et en aval, en périphérie et au milieu du lac. Des bouteilles en plastique de 1,5 litre préalablement rincées avec de l'eau du lac (eau à échantillonner) ont été utilisées pour le prélèvement d'eau. La méthode de prélèvement consiste à plonger la bouteille de prélèvement à environ 0,5 cm de la surface, à la remplir d'eau de manière à ne pas emprisonner de l'air lors de la fermeture.

La carte de la figure 4 présente la localisation des points de prélèvement d'eau sur le lac Togbadji.

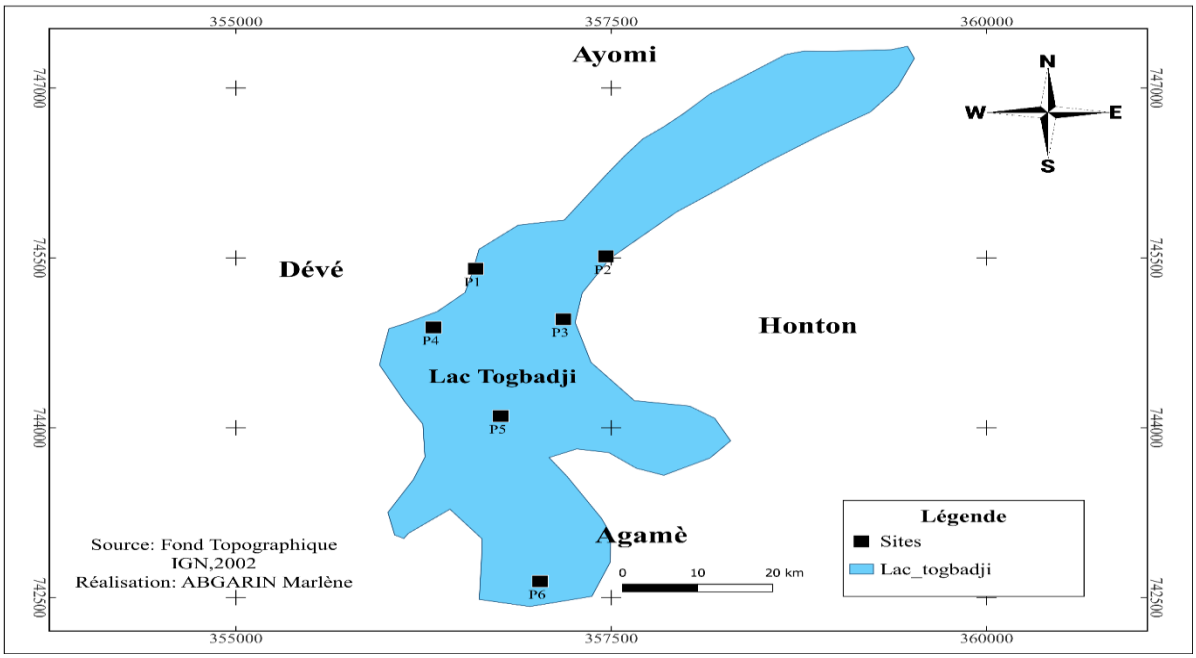


Figure 4 : Localisation des points de prélèvement d'eau sur le lac Togbadji



Photo 1 *: GPS de marque GARMIN (cliché AGBANRIN, 2022)*



Photo 2 *: Multiparamètre de marque HANNA (cliché AGBANRIN, 2022)*

3.2.3. Les analyses chimiques

Les analyses chimiques ont été faites au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA). Les éléments concernés par les analyses chimiques sont : les nitrites, les nitrates, l'ammonium, et le phosphore total. Ils ont été analysés à l'aide du spectrophotomètre HACH DR2800 ou par méthode volumétrique.

a. Dosage des nitrates

Pour le dosage des nitrates, nous avons utilisé la méthode au Salicylate de Sodium. En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent le paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. La lecture se fait au spectrophotomètre de marque HACH LANGE DR2800 à une longueur d'onde λ=425nm.

b. Dosage des nitrites

La méthode au réactif de Zambelli est utilisée pour le dosage des nitrites. 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. La lecture se fait au spectrophotomètre de marque HACH LANGE DR2800 à une longueur d'onde λ=425nm.

c. Dosage des ions ammonium

La méthode de Nessler est utilisée pour le dosage des ions ammoniums. Le réactif de Nessler, en présence d'ions ammoniums, donne l'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammoniums. La lecture se fait au spectrophotomètre de marque HACH LANGE DR2800 à une longueur d'onde λ=425nm.

d. Dosage des orthophosphates

Les orthophosphates sont déterminés au spectrophotomètre avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine. 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.

3.2.4. Traitement des données

Les données statistiques recueillies sur le terrain et celles issues des analyses de laboratoire, ont été réalisés à l'aide du Tableur Excel 2016. Le logiciel Grapher 15 a servi pour le traitement des données statistiques et la réalisation des histogrammes. 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 l'état physico-chimique actuel des eaux du lac Togbadji. Ces résultats ont également permis de proposer un cadre de gestion du lac en vue de la pérennité des services écosystémiques fournis par ce plan d'eau.

CHAPITRE 4 :
RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

Au terme de nos travaux de terrain et de laboratoire, nous avons collecté un ensemble de données pouvant servir d'une part à évaluer la qualité physicochimique de l'eau du lac Togbadji du Sud-Bénin et d'autre part à ébaucher une GIRE pour ce lac. Les résultats pertinents ont été analysés, interprétés et discutés dans ce chapitre.

4.1. Résultats

4.1.1. Etat des lieux de la pollution de l'eau du lac Togbadji

Les différents usages auxquels se prête l'eau du lac Togbadji permettent d'avoir un aperçu de son état de pollution. L'eau du lac est en effet utilisée dans plusieurs activités pratiquées sur le bassin versant. Il s'agit notamment de l'agriculture et du maraîchage, de l'élevage, de la pêche, de la production de l'huile rouge, du marayage et de l'écaillage. L'eau du lac est également utilisée dans les usages à caractère domestique. De plus des gens se baignent dans l'eau du lac et un dépotoir d'ordures est observé non loin du lac.

4.1.1.1. L'agriculture et le maraîchage

L'agriculture est une activité pratiquée par la population riveraine du lac Togbadji. Elle cultive le maïs, le haricot, le manioc, les légumes, tomates et utilise l'eau du lac pour leur culture pendant la saison sèche. La photo 3 présente une culture de maïs et de haricot sur le bassin versant du lac Togbadji.



***Photo 3** : Culture de maïs et de haricot (Cliché AGBANRIN, 2022)*

4.1.1.2. L'élevage

C'est une activité pratiquée dans les environs du lac et ses produits sont susceptibles de ruisseler dans le lac. La population élève la volaille, les bovins, les ovins, les caprins et porcins. La photo 4 montre l'élevage de poulets et de moutons.



***Photo 4** : Elevage de poulets et de moutons (Cliché AGBANRIN, 2022)*

4.1.1.3. La pêche

Il s'agit de l'activité dominante du milieu, pratiquée sur le lac par la majorité de la population. Elle n'est nullement fonction du genre. Les pêcheurs utilisent de pirogue et une pagaie ou des perches en bambou pour pratiquer la pêche. La photo 5 montre des engins et instruments utilisés pour la pêche sur le lac Togbadji.



***Photo 5** : Pirogues, filets et bambou utilisés pour la pêche sur le lac Togbadji (Cliché AGBANRIN, 2022)*

4.1.1.4. Autres activités

D'autres activités sont pratiquées aux abords du lac. Il s'agit de la production de l'huile rouge, du marayage et de l'écaillage.

La production de l'huile rouge se fait à partir des noix de palme bouillis. Ils sont ensuite triturés puis essorés pour extraire l'huile. A l'issue de la transformation des noix de palme en huile, des débris sont rejetés ou entraînés dans le lac.



***Photo 6** : La transformation de noix de palme en huile rouge (Cliché AGBANRIN, 2022)*

En ce qui concerne l'activité de marayage et d'écaillage, elle est pratiquée par des femmes qui viennent acheter de poissons chez les pêcheurs au bord du lac. Elles lavent les poissons avec l'eau du lac, les débarrassent de leurs écailles et de leurs intestins qu'elles rejettent dans le lac. Ces marayeuses et écailleuses polluent ainsi le lac à chaque passage.



***Photo 7** : Lavage de poissons au bord du lac*

4.1.1.5. Usage à caractère domestique

Certains travaux domestiques nécessitent l'utilisation d'une importante quantité d'eau. La population préfère les exécuter au bord du lac afin de se servir de l'eau du lac. Il s'agit notamment de la lessive et du lavage des assiettes. Des détergents utilisés lors de la lessive sont déversés dans le lac. De même, des restes de repas lavés des assiettes sont entraînés dans le lac.



Photo 8 *: Lessive au bord du lac Togbadji (Cliché AGBANRIN, 2022)*

4.1.1.6. Autres pratiques autour du lac

Non loin du lac, s'observe un dépotoir d'ordures. Les déchets peuvent donc être aisément entraînés dans le lac par le vent ou l'eau de ruissellement. Par ailleurs, des riverains se baignent dans l'eau du lac.



Photo 9 *: Dépotoir d'ordures observé proche du lac (Cliché AGBANRIN, 2022)*

4.1.2. Analyse des valeurs des paramètres physico-chimiques du lac Togbadji

4.1.2.1. La température

Sur le lac Togbadji, les valeurs de température varient de 27,6 °C aux niveaux des stations P1, P3, P4, P5 et P6 à 27,8 °C au niveau de la station P2, avec une moyenne de 27,76 °C supérieure à la norme OMS. La Figure 5 présente les valeurs de l'évolution spatiale de température sur le lac Togbadji

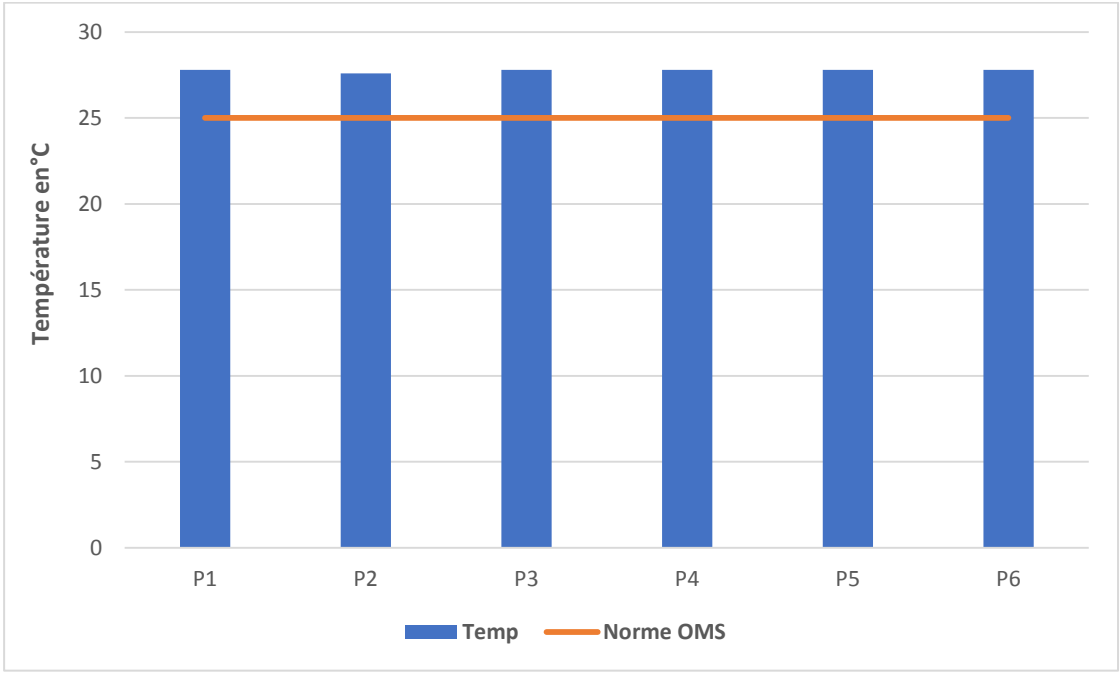


Figure 5 *: Variation de la température de l'eau du lac Togbadji*

4.1.2.2. Le pH

La valeur du pH de l'eau du lac Togbadji varie de 9 au niveau de la station P6 à 9,43 au niveau de la station P2 avec une moyenne de 9,27. Ces valeurs sont au-delà de la norme OMS qui recommande des valeurs comprises entre 6,5 et 8,5 [22]. Elles signalent le caractère basique de l'eau du lac Togbadji. La figure 6 montre la variation du pH au niveau des différentes stations.

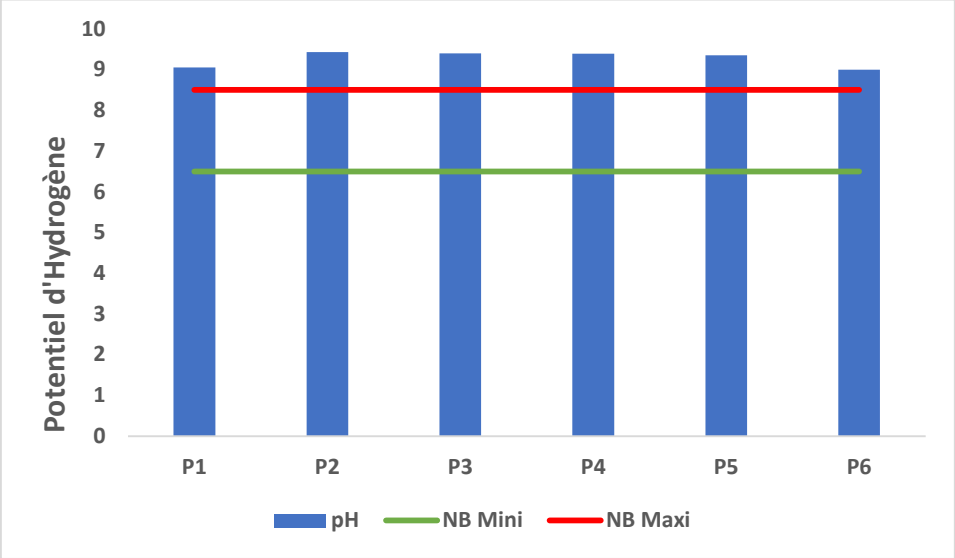


Figure 6 *: Variation du pH de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.2.3. L'oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous de l'eau du lac Togbadji varie de 0,4mg/L au niveau de la station P4 à 0,62mg/L au niveau de la station P6 avec une moyenne de 0,4866mg/L en dessous de la norme NQE. La concentration est dans la norme au niveau des stations P1 et P6 mais en-dessous de cette norme au niveau des stations P2, P3, P4 et P5. La figure 7 montre la variation de l'oxygène au niveau des différentes stations ciblées sur le lac.

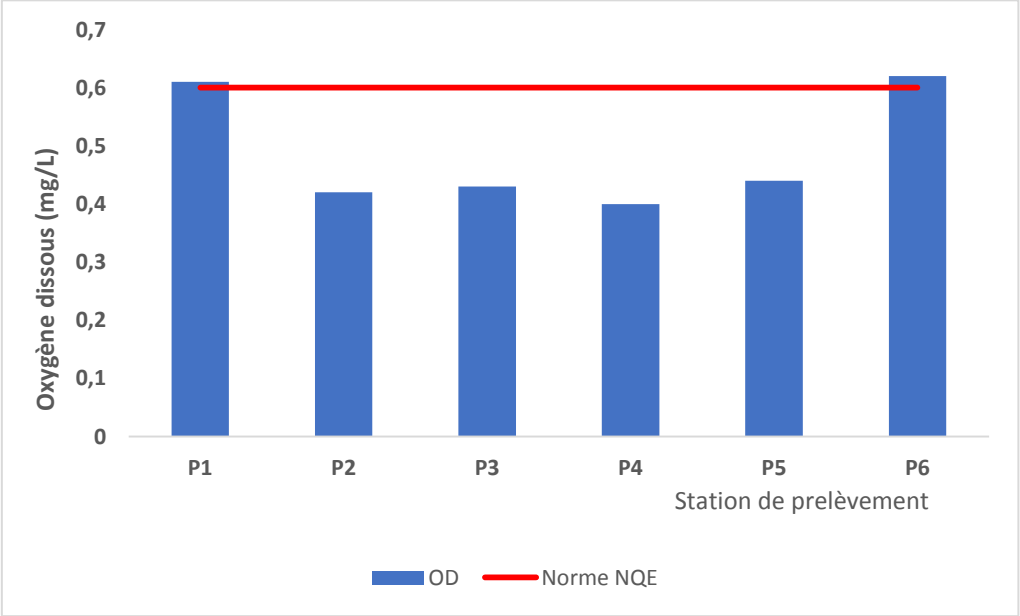


Figure 7 *: Variation de l'oxygène dissous de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.2.4. La conductivité

La conductivité de l'eau du lac Togbadji varie de 171 µS/cm au niveau de la station P6 à 216 µS/cm au niveau de la station P3, avec une moyenne de 181,66 µS/cm. Toutes ces valeurs sont comprises dans la norme NQE qui recommande pour la conductivité électrique des eaux de surface des valeurs inférieures à 1300µS/cm. La figure 8 présente la variation de la conductivité aux différentes stations de prélèvement.

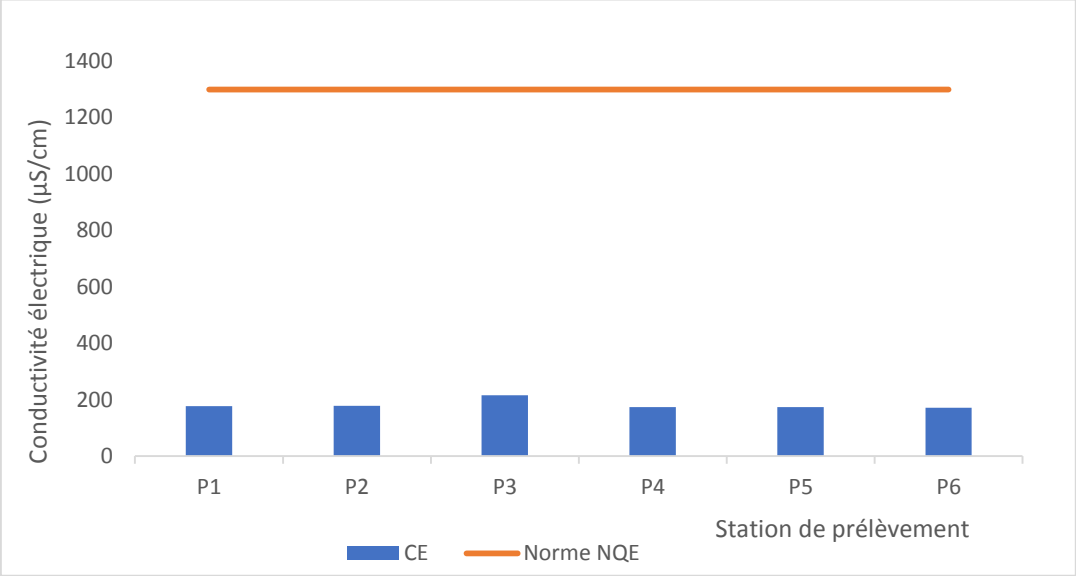


Figure 8 *: Variation de la conductivité de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.2.5. Les TDS ou STD

La concentration en TDS du lac varie de 112mg/L au niveau de la station P6 à 139mg/L au niveau de la station P3, avec une moyenne de 117,66mg/L. Toutes les valeurs de TDS comprise dans la norme NQE qui recommande des valeurs inférieures à 1200 mg/L. Le graphe de la figure 9 montre l'évolution de la quantité de solides totaux dissous au niveau des différentes stations.

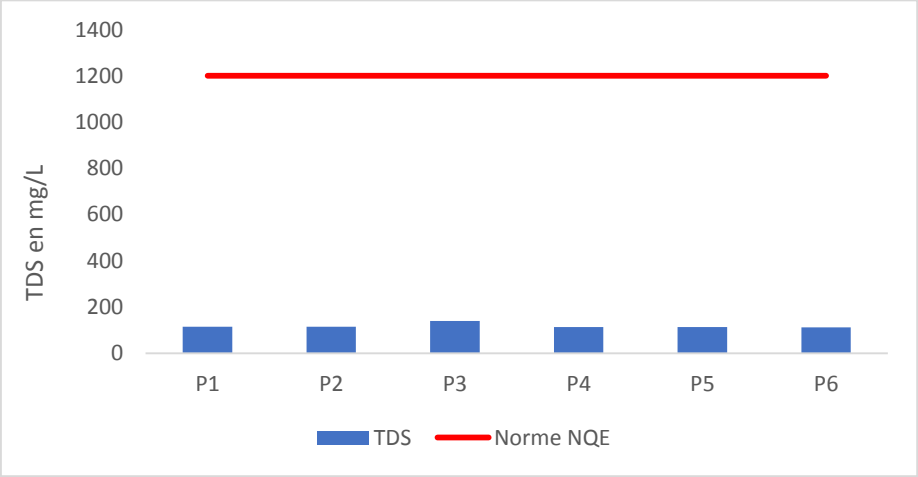


Figure 9 *: Variation de la concentration en TDS de l'eau du lac Togbadji*

4.1.2.6. La turbidité

La valeur de la turbidité varie de 34 NTU au niveau des stations P3, P4 et P5 à 37 NTU au niveau de la station P2, avec une moyenne de 35 NTU. Toutes ces valeurs sont au-délà de la norme NQE. La variation de la turbidité de l'eau du lac Togbadji est présentée par la Figure 10.

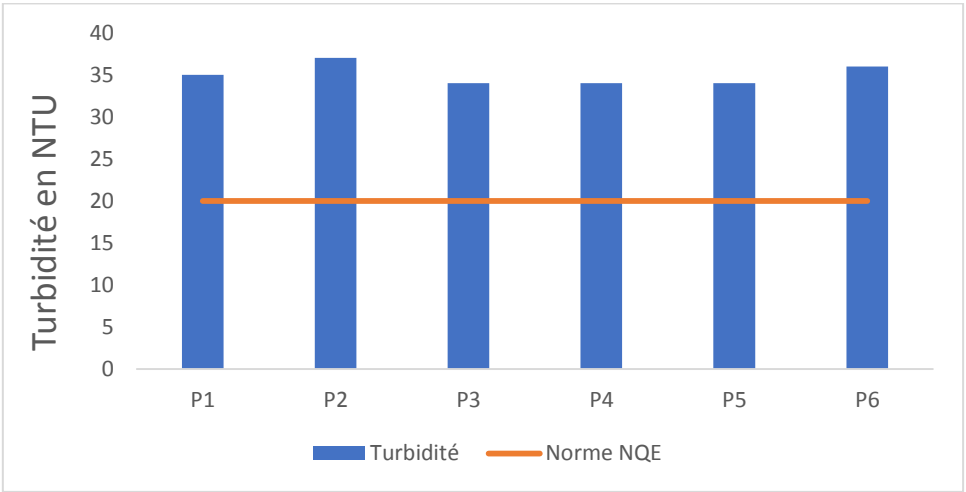


Figure 10*: Variation de la turbidité de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.2.7. Les matières en suspension

La concentration de MES dans l'eau du lac Togbadji varie de 24 mg/L au niveau de la station P1 à 29 mg/l au niveau de la station P2, avec une moyenne de 26,33 mg/L. Toutes ces valeurs sont comprises dans la norme NQE. Le graphe de la figure 11 montre l'évolution de la quantité des matières en suspension au niveau des différentes stations de prélèvement.

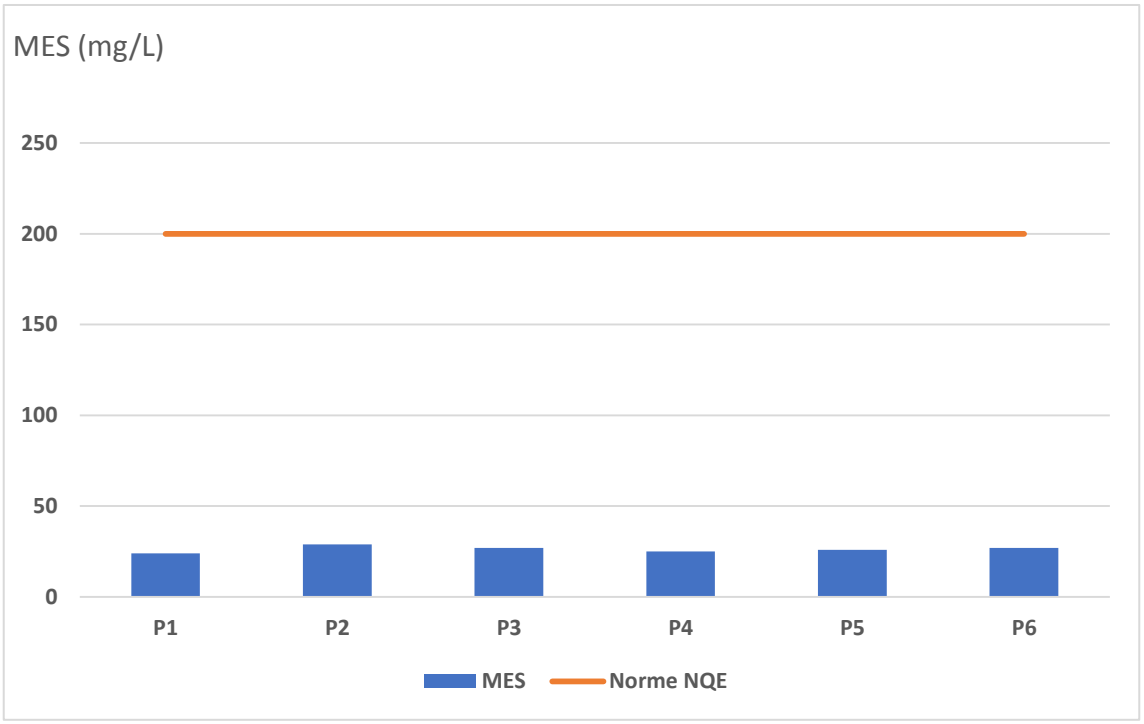


Figure 11 *: Variation des valeurs de MES de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.3. Analyse des valeurs des paramètres chimiques du lac Togbadji

4.1.3.1. Les nitrates

Toutes les valeurs obtenues pour le nitrate sur le lac Togbadji sont inférieures à 0.001 mg/L. Elles sont conformes à la norme de Beaux selon laquelle la concentration en nitrate doit être inférieure à 0,44 mg/L **[27]**.

4.1.3.2. Les nitrites

Le nitrite constitue la forme minérale de l'azote la plus toxique pour les microorganismes aquatiques ainsi que pour l'homme [14]. La concentration en nitrite de l'eau du lac varie de 0,1 mg/L au niveau de la station P1 à 0,96 mg/L au niveau de la station P6, avec une moyenne de 0,26 mg/L. Toutes ces valeurs sont comprises dans la norme NQE selon laquelle sa concentration doit être inférieure à 3,2mg/L. Le graphe de la figure 12 présente la variation de la concentration en nitrite au niveau des différentes stations.

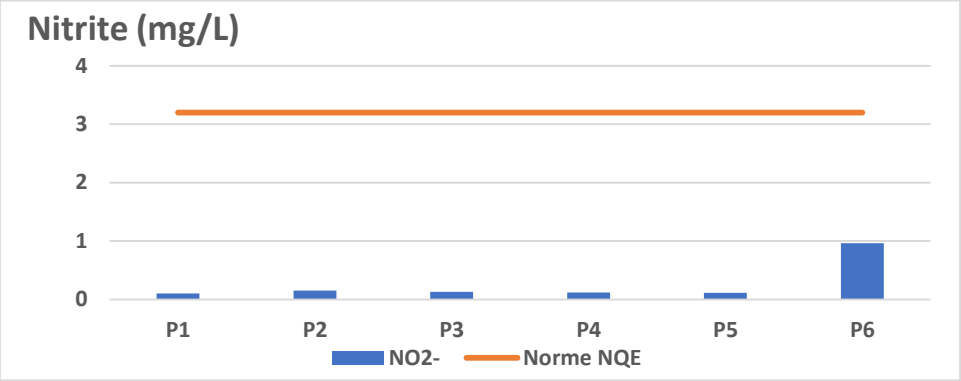


Figure 12 *: Variation de la concentration en nitrite de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.3.3. L'ammonium

L'ion ammonium se concentre dans les eaux de surface à partir des rejets anthropiques, de l'excrétion animale et de la dégradation de la matière organique par les bactéries [14]. La concentration en ammonium du lac Togbadji varie de 0,35 mg/L au niveau de la station P1 à 0,5mg/L au niveau des stations P2 et P4, avec une moyenne de 0,445mg/L. Toutes ces valeurs sont comprises dans la norme NQE selon laquelle la concentration doit être inférieure 0,5 mg/L. La figure 13 montre la variation de l'ammonium au niveau des différentes stations.

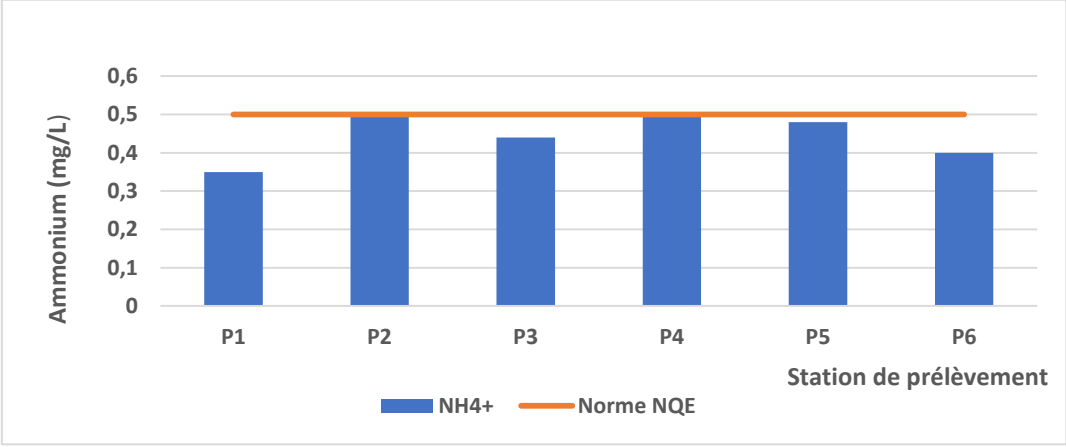


Figure 13 *: Variation de la concentration en ammonium de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.3.4. L'orthophosphate

La concentration en orthophosphate du lac Togbadji varie très peu, passant de 0.04mg/L au niveau des stations P1, P3 et P5 à 0,08mg/L au niveau de la station P4, avec une moyenne de 0,274 mg/L. Toutes ces valeurs sont conformes à la norme NQE qui recommande une concentration inférieure à 0,5mg/L. Le graphe de la figure 14 montre la variation de la quantité d'ortho-phosphore dans le Lac au niveau des différentes stations ciblées.

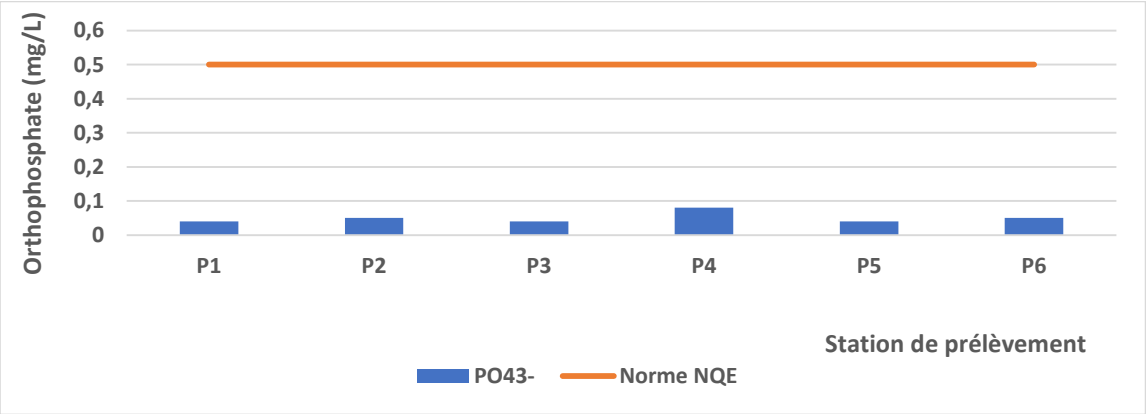


Figure 14 *: Variation de de la concentration en orthophosphate de l'eau du lac Togbadji*

4.1.3.5. Le phosphore total

Le phosphore total est constitué par les orthophosphates, les polyphosphates et les phosphates organiques [18]. Il est généralement recommandé comme étant une mesure valable du phosphore des eaux de surfaces [14]. Sa concentration dans l'eau du lac Togbadji varie de 0.12 mg/L au niveau des stations P1, P3 et P5 à 0,24 mg/L au niveau de la station P4, avec une moyenne de 0,15mg/L. Ces valeurs sont conformes à la norme béninoise qui recommande une concentration inférieure à 2mg/L [28]. La figure 15 montre la variation de la concentration en phosphore total de l'eau du lac Togbadji.

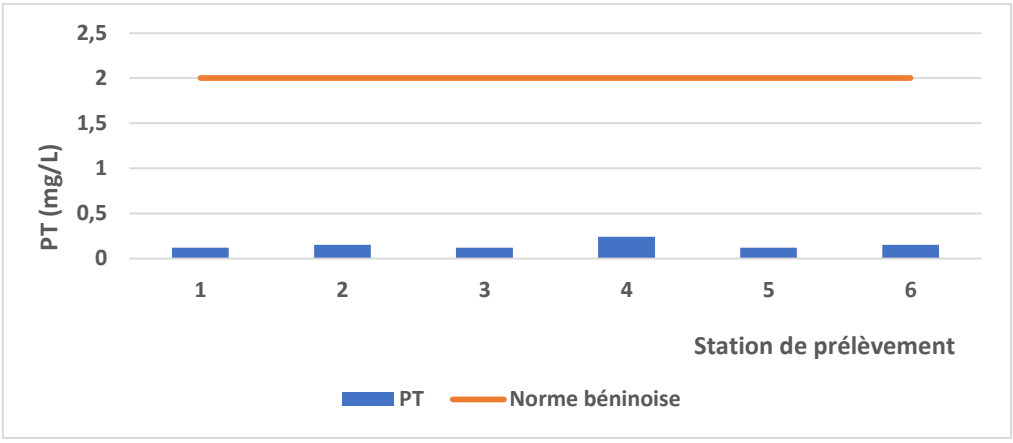


Figure 15 *: Variation de la concentration en phosphore total de l'eau du lac Togbadji.*

4.1.4. Mise en place d'un mécanisme de GIRE sur le lac Togbadji

Un mécanisme de GIRE permettra d'assurer une gestion durable de l'écosystème aquatique que constitue le lac Togbadji. Un tel mécanisme autrement désigné par plan directeur de l'eau se met en place généralement en six étapes résumées dans la figure 16.



Figure 16 *: Les différentes étapes de mise en œuvre d'un mécanisme de GIRE*

4.1.4.1. Etat des lieux de la zone d'étude

Au niveau du bassin versant du lac Togbadji, plusieurs activités ont été identifiées qui sont tributaires de l'eau du lac. Il s'agit de la pêche, de l'élevage, de l'agriculture et du maraîchage. Pour la pêche, l'eau sert de milieu de vie des espèces aquatiques comme les poissons ; pour l'agriculture et le maraîchage, elle est utilisée pour arroser les cultures ; et pour l'élevage, l'eau du lac sert à abreuver les ovins, caprins, porcins et la volaille. En outre, cette eau se prête également à des usages domestiques (lessive, lavage d'assiette, etc.). Des ordures sont entraînées dans le lac par l'eau de ruissellement. Des gens se baignent dans l'eau du lac ; les produits halieutiques qui en sont issus sont commercialisés et/ou consommés par la population. Les différents usagers mènent leurs activités sans se soucier forcément de l'impact sur le lac et par ricochet sur les activités des autres. Un changement de couleur de l'eau a d'ailleurs été noté en 2021 puis en 2022 et a fait interdire la commercialisation et la consommation des poissons de ce lac.

4.1.4.2. Détermination des enjeux, objectifs et élaboration d'un plan d'action

L'état des lieux du bassin versant du lac Togbadji nous a permis d'identifier deux enjeux majeurs : la gestion du lac à la base et la qualité de l'eau du lac.

- **Enjeu 1** : La gestion du lac Togbadji à la base

Cet enjeu inspire un mini-projet présenté dans le tableau 5.

Tableau 5 : *Présentation du projet de gestion du lac Togbadji à la base*

Objectif	**Mettre en place un comité local et inclusif de gestion du lac**
Problématique associée	Gestion participative inexistante
Niveau	Local
Acteurs	Direction de l'Hydraulique (DH), Direction des pêches (DP), Direction de l'élevage (DE), Direction de génie rural (DGR), Direction des forêts et ressources naturelles (DFRN), Centre national de gestion des réserves et de la faune (CENAGREF), Centre régional de promotion agricole (CeRPA), le maire, les agriculteurs, les éleveurs, les pêcheurs, les femmes.
Indicateurs	Nombre de réunions et atéliers organisés par le comité de gestion
Cible	Au moins deux réunions ou ateliers par an
Echéancier	Court terme (1 an)
Actions à mener	Mise en place du comité de gestion ; Réalisation des réunions afin de créer une gestion participative
Résultats attendus	Un comité de gestion fonctionnel réalisant des réunions et impliquant tous les usagers de l'eau du lac dans les prises de décision et leurs exécutions

- **Enjeu 2** : La qualité de l'eau du lac Togbadji

Cet enjeu a inspiré un mini-projet présenté dans le tableau 6.

Tableau 6 ***:*** *Présentation du projet sur la qualité du lac Togbadji*

Objectif	**Préserver et restaurer la qualité de l'eau du lac**
Problématique associée	Pollution de l'eau du lac Togbadji
Niveau	Local
Acteurs	Le Comité local de gestion, les agriculteurs, les éleveurs, les pêcheurs, les usagers domestiques, les femmes
Indicateurs	Couleur de l'eau du lac L'état des poissons du lac Les valeurs des paramètres physico-chimiques
Cible	L'eau du lac transparente Les poissons sont vivants et se multiplient dans le lac Les paramètres physico-chimiques dans les normes requises
Echéancier	Moyen terme (trois ans)
Actions à mener	Sensibilisation de la population sur l'impact sur le lac, des eaux usées domestiques, des engrais et pesticides agricoles, des animaux morts jetés ou entraînés dans le lac ainsi que des branchages d'acadja ; Mise en place des amendes pour non-respect des décisions et recommandations du comité de gestion
Résultats attendus	La population et les usagers de l'eau du lac coopérant avec le comité de gestion et assurant la préservation et la restauration de la qualité de l'eau du lac

4.1.4.3. Mise en œuvre du plan d'action, suivi et évaluation

Après la mise sur pieds du comité local de gestion du lac, c'est ce dernier qui s'occupera de l'exécution de toutes les autres actions, de leur suivi et évaluation afin de s'assurer de leur efficacité pour l'atteinte des objectifs fixés ou d'en définir de nouvelles plus appropriées.

4.1.4.4. Application de la GIRE sur le lac Togbadji

Les concentrations en nitrite et nitrate dans le lac sont conformes à la norme béninoise pour eau de boisson, mais le pH, la turbidité et la température sont au-delà de cette norme [20]. Ainsi, l'eau du lac est impropre à la consommation. Elle sera donc prioritairement fournie aux agriculteurs pour leurs productions agricoles et maraîchères, ensuite aux éleveurs pour abreuver leurs bêtes et volailles, enfin aux usagers domestiques pour d'autres usages comme la lessive. L'exploitation de l'eau du lac à des fins agricoles se fera moyennant une légère acidification pour amener le pH dans la fourchette de 5,5 à 6,5 requise pour cet usage [19].

4.2.Discussion

Les valeurs des paramètres physico-chimiques recueillis sur le lac Togbadji rendent compte de la qualité de ce dernier. La température du lac varie entre 27,6 °C et 27,8 °C avec une moyenne de 27,76°C. Or la valeur maximale admise est de 25°C [17,18]. Une température élevée pourrait être nuisible à la faune aquatique car elle accélère la dégradation de la matière organique. Déjà, à partir 15°C elle favorise le développement des microorganismes, intensifie la biodégradation et les mauvaises odeurs [3]. Toutefois, ces valeurs de température sont comprises dans la plage de 25°C à 30°C, caractéristique des lagunes tropicales et qui constitue une fourchette tolérée par les espèces aquatiques d'eau chaude [8]. Ces valeurs de température notées dans la présente étude sont similaires à celles trouvées par Zinzindohoué en 2019 (25,7 °C à 30 °C) dans ses travaux sur la lagune de Porto-Novo [26]. Le pH du lac varie entre 9 et 9,43 avec une moyenne de 9,27. Ces valeurs sont au-delà de la norme OMS [22]. Il traduit un caractère basique de l'eau du lac. Un tel pH n'est pas très favorable pour le développement des poissons qui perdent leur chair et deviennent squelettiques à maturité [8]. Ces valeurs élevées de pH seraient dues à la nature des roches mères du bassin versant ou à l'élévation de la température de l'eau du lac. Elles sont supérieures à celles trouvées par Zinzindohoué en 2019 (6,62 à 7,12) sur la lagune de Porto-Novo mais inférieures à celles trouvées par Dimon et al en 2014 (8,66 à 10,51) sur le lac Ahémé [8, 29]. Au niveau du lac Togbadji, la concentration en oxygène dissous varie de

0,4mg/L à 0,62mg/L avec une moyenne de 0,4866mg/L. Toutes les valeurs sont inférieures à la norme NQE qui est d'au moins 0,6 mg/L. Elles indiquent que le milieu est en hypoxie. L'eau de ce lac peut de ce fait être considérée comme polluée car selon Beaux (1998), une une teneur en oxygène dissous inférieure à 3 mg/L est suffisante pour traiter l'eau de polluée [27]. La faible teneur en oxygène dissous du lac est incompatible avec la vie des espèces aquatiques notamment la faune. Ces valeurs sont inférieures à celles notées par Dimon et al, en 2014 sur le lac Ahémé [8]. La faible teneur en oxygène dissous du lac Togbadji serait due d'une part à la température élevée de l'eau du lac et/ou à la présence de matières organiques en dégradation dans le lac. En effet, l'élévation de la température entraîne une diminution de la quantité de l'oxygène dissous dans l'eau. Idéalement de 7 mg/L pour une température comprise entre 5°C et 10°C, la teneur en oxygène dissous passe à 6mg/L pour une température comprise entre 10°C et 15°C, puis à la valeur critique de 5mg/L pour une température comprise entre 20°C et 25°C [17]. Quant à la supposition d'une forte présence de matières organiques, elle découle du fait que des bactéries dites aérobies dégradent les matières organiques en consommant de l'oxygène [8].

La conductivité d'une eau dépend de sa teneur en sels minéraux et indique son aptitude à conduire le courant électrique. Sur le lac Togbadji, la conductivité varie de 171 µS/cm au niveau de station P6 à 216 µS/cm au niveau de la station P3, avec une moyenne de 181,66 µS/cm. Toutes ces valeurs sont comprises dans la norme NQE. Certaines des valeurs étant comprises entre 100 µS/cm et 200 µS/cm et d'autres entre 200 µS/cm et 333 µS/cm, cela indique que l'eau du lac Togbadji est faiblement minéralisée à certains endroits et moyennement à d'autres endroits [29]. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par Zinzindohoué en 2019 (83,5 µs/cm à 186,7 µs/cm) sur la lagune de Porto-Novo mais inférieures à celles obtenues par Tchokpon en 2020 (305,2 µS/cm à 307 µS/cm) sur le lac Toho [29,30]. La concentration en TDS du lac suit la même tendance d'évolution que la conductivité, variant de 112mg/L au niveau de la station P6 à 139mg/L au niveau de la station P3, avec une moyenne est de 117,66mg/L. Toutes les valeurs sont dans la norme NQE. En fait, tout comme la conductivité, le TDS rend compte du niveau de salinité de l'eau [23]. Les valeurs de TDS dans cette étude indiquent que l'eau du lac Togbadji est douce [23]. Elles sont inférieures à celles observées par Tchokpon en 2020 (182,8mg/L à 184,3mg/L) sur le lac Toho mais supérieures à celles trouvées par Zinsou et al en 2016 (28 mg/L à 119,5 mg/L) sur l'eau du Delta de l'Ouémé [9, 30].

La turbidité rend compte du caractère plus ou moins trouble de l'eau. Pour l'eau du lac Togbadji, sa valeur varie de 34 NTU au niveau des stations P3, P4 et P5 à 37 NTU au niveau de la station P2, avec une moyenne de 35 NTU. Ces valeurs sont au-delà de la norme NQE qui est de 20 NTU. De plus, elles sont toutes supérieures à 30 NTU, valeur à partir de laquelle l'eau est considérée nettement trouble [21]. Les valeurs notées dans la présente étude sont supérieures à celles trouvées par Zinzindohoué en 2019 (10 NTU à 28 NTU) sur la lagune de Porto-Novo [29]. La turbidité élevée dans cette étude serait moins imputables aux matières en suspension dont la teneur dans l'eau du lac est faible, variant de 24mg/L à 29mg/L. Elle pourrait être davantage due à des précipités chimiques et particules organiques dissoutes [31].

L'azote existe sous trois formes minérales : l'ammonium (NH_4^+), les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) [14]. L'ion ammonium se concentre dans les eaux de surface à partir des rejets anthropiques, de l'excrétion animale et de la dégradation de la matière organique par les bactéries [14]. Sa concentration dans l'eau du lac Togbadji varie de 0,35 mg/L au niveau de la station P1 à 0,5mg/L au niveau des stations P2 et P4 et est donc conforme à la norme NQE selon laquelle la concentration devrait être inférieure 0,5 mg/L. Les concentrations en ion ammonium dans cette étude sont supérieures à celles obtenues par Tchokpon en 2020 (0,273mg/L à 0,318mg/L) [30]. L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible, mais à la suite d'augmentation du pH comme c'est le cas dans la présente étude, il produit de l'ammoniac (NH_3) toxique pour la vie aquatique déjà à partir d'une concentration de 0,1mg/L [18]. En ce qui concerne l'ion nitrite qui résulte de l'oxydation de l'ammonium, il constitue la forme minérale la plus toxique de l'azote pour les organismes aquatiques ainsi que pour l'homme [14]. Sa concentration dans l'eau du lac varie de 0,1 mg/L au niveau de la station P1 à 0,96 mg/L au niveau de la station P6 et est donc conforme à la norme NQE selon laquelle sa concentration devrait être inférieure à 3,2mg/L. La teneur en nitrite dans ce lac est supérieure à celle trouvée par Zinzindohoué en 2019 (0,19mg/L à 0,34mg/L) sur la lagune de Porto-Novo mais inférieure à celle trouvée par Tchokpon en 2020 (0,141mg/L à 1,161mg/L) sur le lac Toho. Cette faible concentration en nitrite dans le lac Togbadji pourrait s'expliquer par une faible oxydation de l'ion ammonium dont il résulte, en raison du faible niveau d'oxygénation de l'eau du lac. Elle serait moins due à sa rapide propension à s'oxyder en ion nitrate, étant donné d'une part la faible oxygénation de l'eau du lac et d'autre part la faible teneur en nitrate notée dans l'eau du lac. La concentration en ion nitrate de l'eau du lac est en effet très faible, inférieure à 0.001 mg/L et donc conforme à la norme de Beaux selon laquelle il faut une concentration inférieure à 0,44 mg/L. La teneur en nitrate dans l'eau du lac est

largement inférieure à celle obtenue par Zinzindohoué en 2019 (1,6 à 7,3mg/L) sur la lagune de Porto-Novo et celle obtenue par Tchokpon en 2020 (1,572 à 2,152mg/L) sur le lac Toho.

Le phosphore total est constitué par les orthophosphates, les polyphosphates et les phosphates organiques [18]. Il est généralement recommandé comme étant une mesure valable du phosphore des eaux de surface [14]. C'est un indicateur pertinent de l'évaluation du niveau trophique des eaux [8]. En effet, c'est un paramètre important dans la fertilisation des plans d'eau. Il joue un grand rôle dans la croissance planctonique [8]. Il provient essentiellement de la décomposition de la matière organique et du lessivage des terrains agricoles riches en fertilisants phosphatés [17]. Dans la présente étude, la concentration en orthophosphate du lac Togbadji est très faible, variant de 0.04mg/L au niveau des stations P1, P3 et P5 à 0,08mg/L au niveau de la station P4, et est donc conforme à la norme NQE qui recommande une concentration inférieure à 0,5mg/L. De même, la concentration en phosphore total dans ce lac est faible, variant de 0.12 mg/L au niveau des stations P1 et P5 à 0.24 mg/L au niveau de la station P4, et est conforme à la norme béninoise qui recommande une concentration inférieure à 2mg/L [28]. Ces faibles valeurs pourraient être dues à la non utilisation de fertilisants phosphatés sur les sols agricoles du bassin versant. Elles pourraient toutefois être dues à une dilution par l'eau de pluie.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'analyse des paramètres physico-chimiques du lac Togbadji a permis de noter que l'eau de ce lac ne remplit pas toutes les recommandations des normes OMS ou NQE pour se prêter aux usages domestiques et encore moins à la consommation. Il s'agit d'une eau en hypoxie avec une concentration en oxygène dissous variant de 0,4mg/L à 0,62mg/L, trouble et présentant une température trop élevée (de 27,6°C à 27,8°C) pour eau potable quoique tolérée par les espèces aquatiques d'eau chaude en milieu tropical. Cette température est susceptible de favoriser le développement des micro-organismes, la dégradation des matières organiques et d'entretenir de mauvaises odeurs. Néanmoins, cette eau présente des valeurs de conductivité, de solides totaux dissous, de matières en suspension, d'ammonium, de nitrate et de nitrite, d'orthophosphate et de phosphate total comprises dans les normes OMS ou NQE. Bien que la concentration en ion ammonium de l'eau du lac soit dans la norme NQE, elle fait craindre en présence du pH alcalin de l'eau, la production d'ammoniac (NH_3) toxique pour la faune aquatique. L'eau de ce lac serait plus propice à une exploitation à des fins agricole et maraîchère du fait de sa faible teneur en oxygène, et dans une moindre mesure pour l'abreuvage des animaux et volailles dans le cadre de l'élevage. Quant à la pêche, la qualité physico-chimique de l'eau du lac, notamment de par l'hypoxie et le pH basique entretenus par la forte température, n'augure pas d'une bonne perspective pour son développement. Nous suggérons donc la plantation des arbres aux abords du lac et le développement des plantes aquatiques comme le nénuphar et la jacinthe d'eau à la surface du lac afin de réduire l'infiltration des rayons solaires et le réchauffement subséquent de l'eau du lac puis de favoriser son oxygénation grâce à la photosynthèse. La mise en place d'un comité local de gestion du lac permettra de prendre les mesures nécessaires à l'égard des usagers du lac et des riverains pour limiter la pollution du lac notamment par les matières organiques.

Bibliographie

1. Cap.net/Global water partnership. Manuel de formation et guide opération, Plans GIRE. *Version traduite* ; 2005.102p
2. Morel J. Les ressources en eau sur terre : Origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d'horizon de la littérature. *Halshs-00134979*. 2007 ; 27.
3. Dovonou EF. La pollution des plans d'eau au Bénin. *Memoire online* ; 2008. 63p
4. Hermann M, Biancamaria S, Roca R. La répartition spatiale actuelle de l'eau sur terre. *Cnrseditions*, 2015. 100-101.
5. Le Barbé L, Alé G, Millet B, Texier H, Borrel Y, Geraldo R. Les ressources en eaux superficielles de la république du Bénin. *Orstm* ; 1993. 541p.
6. Ministère du Cadre de Vie et du Développement du Durable / Direction Générale de l'Environnement et du Climat. Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Bénin. *République du Bénin* ; 2022. 117p.
7. Badahoui A, Fiogbé ED, Boko M. Les causes de la dégradation du lac Ahémé et ses chenaux. *Int.J.Biol.chen.sci* ; 2010. 4(4) : 882-897.
8. Dimon F, Dovonou F, Adjahossou N, Chouti W, Mama D, Alassane A et al. Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *J.Soc.Ouest-Afr.Chim* ; 2014. 037 :36-42.
9. Zinsou HL, Attingli AH, Gnohossou P, Adandédjan D, Laleye P. Caractéristiques physico-chimique et pollution de l'eau du delta de l'Ouémé au Bénin. *J.Appl.Biosci* ; 2016. 97 : 9163-9173.
10. Banque Africaine de développement / Fonds Africain de Développement. Politique de gestion intégrée des ressources en eaux. *OCOD*. 2000. 48p
11. AGRCQ. Guide sur la gestion des cours d'eau du Quebec. Chapitre 3 : Dynamique des cours d'eau. *Gagnon et Gangbazo*, 2007. 150-213.
12. Institution interdépartementale du Bassin de l'Orne. Schéma d'aménagement et de gestion des eaux Orne Aval Seuilles. Etat des lieux. Qualité des eaux de surface. Conservatoire du littoral, 2005. 111p
13. Touchart L. Qu'est-ce qu'un lac ? (What is a lake ?). Géographie des lacs (Henri Rougier) / Thèmes de géographie tropicale (Jean Demangeot). *Bull. Assoc. Géogr. Franc.*, 2000 – 4 : 313-322

14. Mama D. Cours de Chimie des milieux aqueux. Université d'Abomey-Calavi/ Institut National de l'Eau ; 2019. 23p
15. Touati L. Cours de pollution des eaux. Université Frères Mentouri Constantine 1/Département Biologie et Ecologie Végétale/ Niveau Master 1 Ecologie fondamentale appliquée. 2020-2021. 31p
16. Association Santé Environnement France (ASEF). Pollution de l'eau : origine et impacts. *Synthèse*, 2010. 7p
17. Organisme des bassins versants du Nord-Est du Bas-Saint-Laurent. Caractérisation du lac du cœur-Portrait 2011.*BDTQ. OBVNEBSL* 2013. 18p (www.obs.nordestbsl.org)
18. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'environnement / Observatoire des données de l'environnement. L'eau à Bruxelles. Fiche 2 (Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général). 2005.16p
19. Isabelle C. Analyse de l'eau pour fin d'irrigation. *Agri-vision*, 2003-2004. 8p
20. République du Bénin. Décret N°2001-094 du 20 Février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin. Cotonou 2001.21p
21. Commission de protection des eaux, du patrimoine, de l'environnement, du sous-sol et des chiroptères de Franche Comté (CPEPESC FC). Paramètres physiques et chimiques des eaux et commentaires. *cpepesc*, 2015. https://cpepesc.org
22. Organisation mondiale de la santé (OMS). Directives de qualité pour l'eau de boisson. Vol1 Recommandations. Genève 1985.127p
23. Hasni T, Mohamed M, Baba A, Ahmed A, Lemhaba Y, Abdellahi M. Caractérisation physico-chimique des eaux de surface et étude de la diversité ichtyologique de quelques zones humides continentales en Mauritanie. *Eur. Sci. J*, Fevrier 2018. Vol 14, No 6 ISSN : 1857-7881.
24. Abdelghani T, Abdellah E, Hajar J, Habiba O. Calcul de l'indice de qualité de l'eau (IQE) pour l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (NE, Maroc). *Eur. Sci. J.* Janvier 2020. Vol 16, No 2 ISSN : 1857-7881.
25. Bahroun S, Kherici BH. Evaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles : cas de la région d'El Tarf (Nord-Est algérien). *Lar.J*, 2011 :171-178.
26. Djenontin I, Guidibi ME. Monographie Lokossa. *Afrique Conseil*, Mars-Avril 2006. 54p
27. Beaux JF(1998). L'environnement - repères pratiques. *Nathan, Ed 2009*.64-71p
28. Décret N°2001-109 du 04 Avril 2001 fixant les normes de qualité des eaux résiduaires en République du Bénin. *Cotonou*, 2001. 27p

29. Zinzindohoue SV. Evaluation de la qualité de l'eau de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin) [Mémoire]. *Uac*, 2019. 67p
30. Tchokpon M. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau et des sédiments du lac Toho dans la commune de Lokossa [Mémoire]. *Uac*, 2022. 63p
31. Organisation mondiale de la santé (OMS). Directives de qualité pour l'eau de boisson.4è ed. intégrant le premier additif. *Genève*, 2017.539p

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Coordonnées des sites d'échantillonnage

Site	Longitude (X)	Latitude (Y)
P1	356147	745457
P2	356956	745610
P3	356713	745189
P4	355877	745176
P5	356883,49	744840,34
P6	355987,8	743739,9

Annexe 2 : Paramètres physico-chimiques des eaux du lac Togbadji

Paramètres	pH	NTU	Temp	CE	TDS	OD	Sal	MES
P1	9,05	35	27,8	177	115	0,61	0,06	24
P2	9,43	37	27,6	178	114	0,42	0,06	29
P3	9,4	34	27,8	216	139	0,43	0,07	27
P4	9,39	34	27,8	174	113	0,4	0,06	25
P5	9,35	34	27,8	174	113	0,44	0,05	26
P6	9	36	27,8	171	112	0,62	0,05	27

Annexe 3 : Paramètres chimiques des eaux du lac Togbadji

Paramètres	PO43-	NO3-	NO2-	NH4+
P1	0,04	< 0,001	0,1	0,35
P2	0,05	< 0,001	0,15	0,5
P3	0,04	< 0,001	0,13	0,44
P4	0,08	< 0,001	0,12	0,5
P5	0,04	< 0,001	0,11	0,48
P6	0,05	< 0,001	0,96	0,4

Annexe 4 : Norme NQE pour eaux de surface

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
Couleur	mg Pt-Col/L	15(*) --20	-
Matière en suspension	mg/L	50--200	-
Oxygène Dissous	mgO_2/L	>0,6	-
Ammonium	mg/L	0,1 -- 0,5	0,5
Nitrites	mg/L	3,2	3,2
Nitrates	mg/L	----	50
Orthophosphates	mg/L	0,2 -- 0,5	0,2

Table des matières

DEDICACE i
REMERCIEMENTS ii
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES iv
LISTE DES TABLEAUX vi
RESUME ix
ABSTRACT x
INTRODUCTION 2
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 4
1.1 Définition de quelques concepts 4
1.2 Classification des eaux 4
1.2.1 L'eau océanique 5
1.2.2 L'eau continentale 5
1.3 Pollution des eaux 6
1.3.1 Les origines de pollution d'eau [12] 6
1.3.2 Les différents types de pollution d'eau [15] 7
1.3.3 Les conséquences de la pollution des eaux 8
1.4 Paramètres physico-chimiques 10
1.4.1 La température 10
1.4.2 La conductivité électrique 10
1.4.3 La transparence 10
1.4.4 La turbidité 10
1.4.5 La couleur 11
1.4.6 Les matières en suspension (MES) 11
1.4.7 Le potentiel d'hydrogène (pH) 11
1.4.8 L'oxygène dissous (en mg/L) ou taux de saturation en oxygène 11
1.4.9 Les solides totaux dissous (STD) 12
1.4.10 La salinité 12
1.4.11 La dureté 12
1.5 Paramètres organiques 13
1.5.1 La charge en matière organique 13
1.5.2 La chlorophylle a 13
1.6 Indices d'évaluation de la qualité des eaux 13

1.6.1 L'indice de la qualité de l'eau (IQE) [24] 14
1.6.2 L'indice de pollution organique (IPO) [25] 15
1.7 Gestion intégrée des ressources en eau 15
1.7.1 Principes de la GIRE [1] 15
1.7.2 Avantages de la GIRE [1] 16
CHAPITRE 2 : MILIEU D'ETUDE 19
2.1. Localisation du lac Togbadji 19
2.2. Climat 21
2.3. Relief 21
2.4. Sols 22
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET APPROCHE METHODOLOGIQUE 24
3.1. Matériel de prélèvement et d'analyse 24
3.2. Méthodologie d'étude 24
3.2.1. Recherche documentaire : 25
3.2.2. Echantillonnage et mesure sur le terrain 25
3.2.3. Les analyses chimiques 26
3.2.4. Traitement des données 27
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION 29
4.1. Résultats 29
4.1.1. Etat des lieux de la pollution de l'eau du lac Togbadji 29
4.1.2. Analyse des valeurs des paramètres physico-chimiques du lac Togbadji 33
4.1.3. Analyse des valeurs des paramètres chimiques du lac Togbadji 38
4.1.4. Mise en place d'un mécanisme de GIRE sur le lac Togbadji 41
4.2. Discussion 44
CONCLUSION ET PERSPECTIVES 49
ANNEXES 54