REPUBLIQUE DU BENIN

==========

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

==========

UNIVERSITE D'ABOMEY CALAVI

=======

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

====

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

==========

MEMOIRE DE MASTER

=======

Option : ECO-HYDROLOGIE

Etude phytochimique des graines d'*Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica* et leur utilisation dans le traitement des eaux souterraines situées autour du lac Toho au Bénin

Réalisé et présenté par :

AGAN Afidji Akimbi Aimé

Maître de mémoire

Dr CHOUTI K. Waris

Maître de Conférences
FAST / UAC Bénin

Encadreur

Dr FAGBOHOUN Louis

Maître Assistant
ENS-Natitingou/ UNSTIM

PROMOTION : 2020-2021

SOMMAIRE

SOMMAIRE i

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

SIGLES ET ABREVIATIONS iv

LISTE DES FIGURES v

LISTE DES TABLEAUX vi

RESUME 1

ABSTRACT 1

INTRODUCTION 2

1. REVUE DE LITTERATURE 5

3. RESULTATS ET DISCUSSION 30

CONCLUSION 39

PERSPECTIVES 39

DEDICACE

A ma mère, **ADJOBO Lalé Lucie**, pour sa constante prière et son soutien indéfectible.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué au sein du Laboratoire Kaba de Recherches en Chimie et Applications (LaKReCA). C'est le fruit d'un projet qui a connu l'accompagnement et l'implication de plusieurs personnes que nous tenons à remercier.

Sous la direction du Dr (MC) Waris K. CHOUTI et de l'encadrement du Dr Louis FAGBOHOUN.

A tout seigneur tout honneur. Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma reconnaissance au Dr (MC) Waris K. CHOUTI pour avoir accepté de diriger ce travail. L'apprentissage a été dense et fructueux.

A mon encadreur de mémoire, Dr Louis FAGBOHOUN, pour sa disponibilité, son encouragement, son soutien et son implication personnelle dans la réalisation du présent travail. Merci pour la rigueur, la détermination, la précision, le sens du travail bien fait et l'accompagnement de toutes natures. Puisse le Seigneur DIEU , dispensateur de toutes graces vous le rendre au centuple.

Je voudrais également remercier le Professeur Jacques FATOUMBI, Directeur du LaKReCA pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et mis à ma disposition tout le matériel necessaire. Merci infiniment aux Dr Odilon NONFODJI, Dr Nafiou CHITOU et Dr Chabi AGANI pour leurs disponibilités et appuis tout au long de ce travail.

Qu'il me soit également permis d'exprimer ma gratitude au Professeur Daouda MAMA, Directeur de l'Institut National de l'Eau (INE/UAC) , Dr (MC) Abdou karim ALASSANE, Dr (MC) Flavien DOVONOU, Dr Ousmane BOUKARI.

Je ne saurais oublier mon frère Modeste et ma grande sœur Yvette de meme que mes oncles Macaire,Séraphin,Dénis et Nicolas pour leur soutien de toute nature.Puisse Dieu vous combler de ses graces en retour.

Toute ma gratitude à ma femme Gloria Fiphonsie TOKPO et à mon beau frère Surkano pour leur constante prière et leurs multiples veilles pour m'encourager et me soutenir.

A toute ma famille, à mes amis Alex, Médard et à mes camarades de promotion,je tiens à témoigner toute ma reconnaissance .

SIGLES ET ABREVIATIONS

°C : Degré Celsius

As : Arsenic

Cd : Cadmium

CT : Coliformes Totaux

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène en cinq jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

Fe : Fer

Hg : Mercure

L : Litre

mg/L : Milligramme par litre

Mn : Manganèse

MO : Matière organique

NH_4^+ : Ammonium

Ni : Nickel

NO_2^-: Ion nitrite

NO_3^- : Ion nitrate

NTU : Unité Néphélométrique

O_2 : Oxygène dissous

ODD : Objectifs de Développement Durable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Pb : Plomb

pH : potentiel Hydrogène

PO_4^{2+}: Ion phosphate

SF : Streptocoques fécaux

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre Hydrométrique

UFC : Unité Formant Colonies

Zn : Zinc

LISTE DES FIGURES

Tableau 1 : Normes physico-chimiques de l'eau potable 12

Tableau 2 : Récapitulatif des résultats des paramètres physico-chimiques 31

Tableau 3 : Caractérisation phytochimique..... 34

LISTE DES TABLEAUX

Figure 1 : Différentes phases du cycle de l'eau (Mouffok, 2008)..... 7
Figure 2 : Graines de Azadirachta indica : (a) : amandes ; (b) : poudre des amandes(AGAN,2022)..... 16
Figure 3 : Luffa cylindrica(*AGAN,2022*)..... 17
Figure 4 : Zone d'étude..... 20
Figure 5 : Localisation géographique des points d'échantillonnage (Réalisée par AGAN,2022). 21
Figure 6 : Spectrophotomètre VWR UV/VIS 1600 PC(AGAN,2022)..... 24
Figure 7 : Rampe de filtration(AGAN,2022)..... 24
Figure 8 : Coliformes sur gélose Coliformes Agar Chromogène après incubation(AGAN,2022) 25
Figure 9 : Entérocoques sur gélose Slanetz et Barthley après encemencement et incubation(AGAN,2022)..... 26
Figure 10 : Concentrations en éléments traces métalliques des échantillons d'eaux souterraines. 32
Figure 11 : Paramètres bactériologiques des échantillons d'eaux souterraines..... 33
Figure 12 : Variation du pH au cours du traitement..... 35
Figure 13 : Elimination des bactéries : (a) : gram positif ; (b) : gram négatif..... 35

RESUME

La présente étude a été menée dans le but de contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux souterraines autour du Lac Toho en proposant un traitement naturel de ces eaux par des espèces végétales localement disponibles et accessibles en vue de préserver la santé des populations environnantes.

Pour ce faire, nous avons effectué une série d'analyse aussi bien physicochimiques que microbiologiques sur des échantillons d'eaux souterraines prélevés autour du lac en les traitant avec les extraits *d'Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica* à travers le procédé de coagulation-floculation (jar-test) . Il faut noter que les compositions phytochimiques des graines *d'Azadirachta indica* et de *luffa cylindrica* ont été aussi déterminées par screening. Des résultats des différentes analyses, il ressort que les graines *d'Azadirachta indica* et de *luffa cylindrica* sont riches en éléments phytochimiques variés qui leurs confèrent la qualité de coagulant naturel. Il s'agit respectivement des flavonoïdes, des anthocyanes, des composés réducteurs, des mucilages, des saponosides et des stéroïdes dans l'extrait protéique des graines de *Azadirachta indica* et les anthocyanes, des alcaloïdes dans celui des graines de *Luffa cylindrica*. Du jar-test réalisé, on note que les pourcentages d'élimination des bactéries croissent au fur et à mesure que la dose des coagulants augmente. En effet, on enregistre un abattement important des souches d'*Enterococus spp* en utilisant respectivement les protéines de *Luffa cylindrica* et d'*Azadirachta indica*. On observe un taux d'élimination de 92,23 % pour la protéine *d'Azadirachta indica* avec une concentration de 400 mg /L et 95,70 % pour la protéine de *Luffa cylindrica* dans la même concentration. Des paramètres physicochimiques analysés on constate que les échantillons d'eau analysée présentent des concentrations en oxygène dissous faibles variant de 2,62±0,26 à 5,265±2,01 mg/L avec des teneurs en matières organiques élevées allant de 5,53±0,04 à 18,52±0,13 mg/L supérieures à la norme OMS de 3mg/L pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Mots clés : coagulation, floculation, phytochimique, physicochimique, microbiologique, *Azadirachta indica, luffa cylindrica.*

ABSTRACT

The present study was carried out with the aim of contributing to the improvement of the quality of groundwater around Lake Toho by proposing a natural treatment of this water by locally available and accessible plant species in order to preserve the health of the surrounding populations. To do this, we conducted a series of physicochemical and microbiological analysis on groundwater samples collected around the lake by treating them with *Azadirachta indica* and *Luffa cylindrica* extracts through the coagulation-flocculation process (jar-test). It should be noted that the phytochemical compositions of *Azadirachta indica* and *luffa cylindrica* seeds were also determined by screening. The results of the different analyses show that the seeds of *Azadirachta indica* and *Luffa cylindrica* are rich in various phytochemical elements that give them the quality of natural coagulant. These are respectively flavonoids, anthocyanins, reducing compounds, mucilages, saponosides and steroids in the seed of *Azadirachta indica* and anthocyanins, alkaloids in the seed of *Luffa cylindrica.* From the jar-test carried out, it is noted that the percentages of bacteria elimination increase as the dose of coagulants increases. Indeed, a significant abatement of *Enterococus spp* strains is recorded using *Luffa cylindrica* and *Azadirachta indica* proteins respectively.We observe an elimination rate of 92.23% for the *Azadirachta indica* protein with a concentration of 400 mg/L and 95.70 % for the *Luffa cylindrica* protein in the same concentration. From the physicochemical parameters analyzed, it is noted that the water samples analyzed have low dissolved oxygen concentrations rangingfrom 2.62± 0.26 to 5.265± 2.01 mg/L with high organic matter contents ranging from 5.53± 0.04 to 18.52± 0.13 mg/L above the WHO standard of 3 mg/L for water intended for human consumption.

Key words : coagulation, flocculation, phytochemical , physicochemical, microbiological, *Azadirachta indica, luffa cylindrica*.

INTRODUCTION

L'eau souterraine constitue une importante ressource en eau de consommation exploitée dans les régions du monde entier. En Afrique, les eaux souterraines demeurent une importante source d'approvisionnement en eau potable (Ketchemen-Tandia et al., 2017). Elles représentent une meilleure source d'eau économiquement exploitable en raison de sa qualité généralement bonne et de sa proximité avec le lieu de consommation. Au Bénin, selon la Direction de l'Hydraulique, en 2003, les quantités exploitées pour l'alimentation en eau potable s'élèvent à environ 30 millions de m^3 en milieu urbain et 45 millions de m^3 en milieu rural, auxquels il faut ajouter 45 millions de m^3 de prélèvements informels en milieu urbain comme en milieu rural, soit, au total, environ 120 millions de m^3 (Boukari, 2007).

La qualité de cette ressource subit une dégradation qui s'accentue d'année en année, ce qui n'est pas sans conséquence sur la santé humaine et l'environnement. En effet, cette dégradation constitue l'un des facteurs limitant du développement économique durable (PNUD, 2018). Tel est le cas des substances indésirables ou même toxiques qui rendent l'eau souterraine impropre pour la consommation. La plupart de ces substances proviennent des activités anthropiques qui sont une source importante de pollution à travers un processus de transfert ou de recharge par infiltration des polluants dans les eaux souterraines en Afrique de l'Ouest (Adjagodo et al., 2016).

Depuis quelques années la qualité chimique et microbiologique des eaux souterraines de la région du lac Toho au sud du Bénin dévient douteuse, à cause des phénomènes répétitifs de la mort des poissons qui sont survenus au niveau du lac en 2012, en 2018 et en 2021 et de la mauvaise gestion des adductions d'eau dans cette région. Les explications fournies par le PNE-Bénin (2018) par rapport au drame survenu en 2012 est lié à une pluie orageuse qui aurais modifié la turbidité de l'eau, ceci aurait plongé les poissons dans un état de désoxygénation qui leur a coûté la vie. En 2018 et 2021, le même phénomène s'est produit, accompagné cette fois-ci d'une coloration rouge temporaire prise par le lac. Les explications évoquées dans ces cas, sont principalement liées au déversement de substances nocives de source inconnue (PNE-Bénin, 2021) ayant certainement entrainé la pollution de l'eau et/ou des sédiments. Il existe tout de même des études qui ont prouvé que le lac Toho est soumis à une pollution aussi bien azotée, phosphorée qu'organique et métallique (Kple, 2008 ; Gbaguidi, 2018, Metinhoué, 2018 ; Hekpazo, 2019). Les causes probables évoquées dans ces travaux sont liées aux activités agricoles caractérisées par l'utilisation des engrais chimiques NPK, des herbicides et des pesticides.

L'accès à l'eau potable dans cette zone constitue donc une préoccupation majeure pour les populations à cause de la qualité de sa ressource Dans l'optique de préserver la santé de la population, l'un des objectifs de développement durable (ODD) inscrit dans l'axe 6.3, est d'améliorer d'ici à 2030, la qualité de l'eau en réduisant la pollution, en éliminant l'immersion de déchets et en réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et de matières dangereuses, en diminuant de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et en augmentant convenablement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau.

Le lac Toho situé dans le département du Mono au sud du Bénin, se trouve à cheval sur les communes d'Athiémé, de Lokossa et de Houéyogbé. Les populations des localités situées autour du lac n'ayant pas accès au réseau d'adduction d'eau potable utilisent sans aucun traitement au préalable les eaux souterraines (puits, forages) pour leur approvisionnement.

Au regard de ces réalités, il est important de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de consommation dans ces localités afin de proposer à ces populations une technologie de traitement de l'eau simple, endogène, facilement accessible, n'exigeant pas de qualification particulière et basée sur l'utilisation des produits locaux. C'est dans ce cadre que s'inscrit ces travaux de recherche dont le thème est intitulé : « Etude phytochimique des graines d'*Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica* et leur utilisation dans le traitement des eaux souterraines autour du lac Toho au sud Bénin».

L'objectif général est de contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux souterraines consommées par les populations situées autour du lac Toho.

De façon spécifique, il s'agira de :

- déterminer les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux souterraines autour du lac Toho ;
- extraire les protéines coagulantes des graines de *Azardirachta indica* et *luffa cylindrica* puis déterminer la composition phytochimique de l'extrait obtenu;
- Evaluer le pouvoir coagulant et désinfectant des protéines extraites des graines de *Azadirachta indica* et *luffa cylindrica* à travers des essais type jar-test ;

Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été formulées:

- les graines de *Azadirachta indica* et les graines de *Luffa cylindrica* contiennent des composés organiques qui leur confèrent une propriété coagulante ;
- les eaux souterraines autour du Lac Toho sont fortement polluées par les éléments pathogènes d'origine fécale ;

- le traitement des eaux souterraines autour du Lac Toho à partir des filtrats d'une part de la graine de *Azadirachta indica* et d'autre part de *Luffa cylindrica* réduit leur teneur en substances chimiques toxiques et en microorganismes pathogènes.

Cette étude permettra à son terme de produire d'une part des données d'appréciation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines autour du lac Toho et d'autre part de proposer un procédé local de traitement de ces eaux par les populations.

1. REVUE DE LITTERATURE

1. Revue de litterature

1.1. Définition de l'eau et composition

L'eau est présente partout dans la nature. C'est un composé liquide incolore, inodore, sans saveur, mais avec des propriétés complexes à cause de sa polarisation et sa composition en différents sels minéraux, son pH neutre (Bernard, 1865).

Les éléments chimiques rencontrés dans l'eau naturelle varient d'une région à l'autre et d'une saison à une autre pour une même région. Ces variations sont liées à plusieurs paramètres dont la solubilité des sels minéraux constituant l'écorce terrestre (CaCO3, CaSO4, MgCO3, Na Cl), ainsi que la composition physique des roches. Ainsi, les composés ioniques, anions et cations qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau circulante, sont les constituants majeurs de l'eau. On peut y retrouver également des éléments traces métalliques avec une concentration d'environ une partie par billion en masse, de même que les matières organique dissoutes ou particulaires d'origines diverses.

1.2. Cycle de l'eau

L'eau est le résultat d'un processus connu sous le nom de cycle de l'eau compte tenu de son caractère éternel (c'est-à-dire qu'il n'a ni début ni fin ; il effectue comme une boucle). L'évaporation des fleuves, des lacs et des mers grâce à l'énergie solaire donne lieu a la formation des précipitations atmosphériques. Une partie de ses eaux se condense, une autre ruisselle ou s'infiltre(Vilagines,2000) . Les eaux d'infiltration sont utilisées en partie par la végétation qui après seront rejetés par le phénomène d'évapotranspiration et une autre partie reste dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour donne naissance aux sources qui émergent à la surface du sol que l'être humain utilise pour satisfaire ses besoins quotidiens (Figure 1).

En définitive, à partir de ce cycle, l'eau se présente sous diverses formes et il revient à l'Homme de l'adapter à ses besoins. Les principales sources de l'eau potable : les eaux pluviales ; les eaux souterraines ; les eaux de sources ; les eaux de surface.

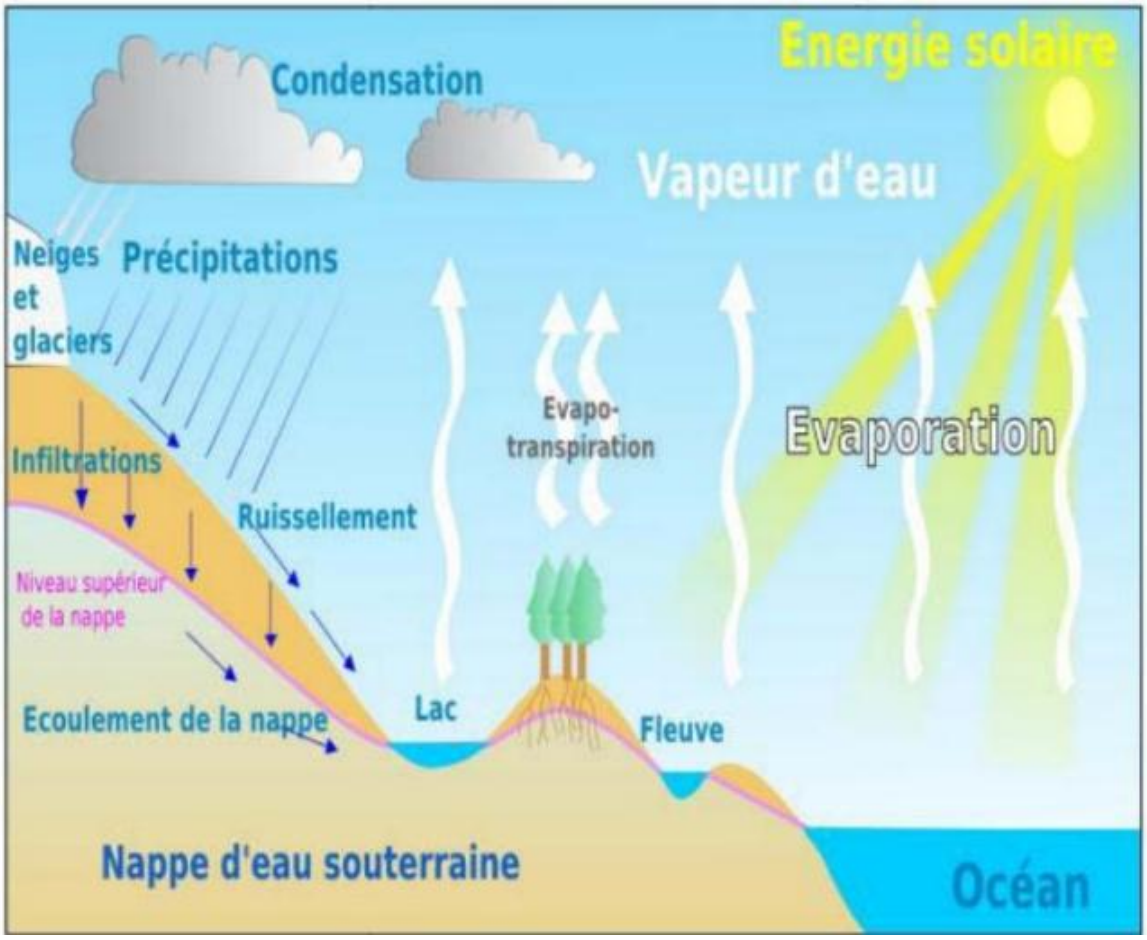


Figure 1 : Différentes phases du cycle de l'eau (Mouffok, 2008).

1.2.1. Eaux pluviales

L'eau utilisée pour les besoins humains a pour origine première l'eau de pluie. Cependant, la pluie qui tombe sur le sol se partage en diverses fractions suivant des proportions variables à savoir :

Une partie retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur par évaporation ou transpiration des végétaux ;

Une autre partie ruisselle a la surface du sol et contribue à l'alimentation des ruisseaux, rivière et lacs ;

Le reste qui est la fraction la plus faible, soit de 20% à 40% pénètre dans le sol par infiltration et contribue à l'alimentation des nappes profondes, des sources et dans certaines conditions des rivières (**Gomella, 1980)**

1.2.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines ont toujours été recherchées en raison de leurs fraicheurs et de leurs qualités chimiques et bactériologiques. Le principe de se procurer de cette eau est d'aller la chercher dans son gite géologique.

Ces eaux peuvent être captées soit :

- à leur exutoire naturel que sont les sources ;
- au sein même de la nappe où elles se trouvent inclusives dans les éléments meubles, sables et graviers ;
- au sein même du gisement pour les eaux circulant en terrain fissurés. Les eaux souterraines sont demeurées jusqu'à présent les meilleures ressources en eau potable (Margat, 1992), car elles se caractérisent par une contamination bactérienne faible, du fait qu'elles sont habituellement à l'abri des sources de pollution.

1.2.3. Eaux de surface

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. C'est une masse d'eau solide ou liquide, immobile ou en mouvement. (Debabza, 2005). Ces eaux proviennent de l'eau de pluie qui tombent sur le bassin versant du lieu récepteur.Elles ne doivent être utilisées qu'avec beaucoup de précaution et en tout état de cause elles doivent subir un traitement particulier afin de les débarrasser des matières solides qu'elles peuvent contenir en suspension et de les rendre potables.

1.3. Caractéristiques d'une eau potable

La potabilité d'une eau se rapporte à la consommation humaine. Les caractéristiques d'une eau potable sont donc principalement liées à ses paramètres organoleptiques (couleur, saveur, odeur) qui sont généralement des facteurs d'alerte d'une pollution (Genoudet, 2001).

1.3.1. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle quand elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente lorsque les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 2005).

1.3.2. Odeur

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. Elle peut se définir comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. La quantité de cette sensation particulière est provoquée par chacune de ces substances (Rodier, 2005).

1.3.3. Gout et saveur

Le gout est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue quand la boisson est dans la bouche. La saveur est l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier, 2005).

1.4. Différents usages de l'eau

L'eau étant une ressource indispensable à l'homme, elle est donc nécessaire à toutes les activités développées par ce dernier. On distingue différents usages de l'eau :

1.4.1. Usages domestiques

Ils comprennent les prélèvements d'eau de consommation personnelle, ceux des établissements commerciaux, services publics et aussi des données de prélèvements d'usines raccordées au système d'égout (Grosconde, 1999).

1.4.2. Usages agricoles

L'agriculture est la principale consommatrice d'eau. Les agriculteurs ont souvent recours aux sources naturelles locales, plus qu'aux systèmes de distribution. On peut admettre que les besoins journaliers moyens dépendent de la nature des activités menées.

1.4.3. Usages industriels

Ils sont limités aux eaux de refroidissement en général dans les industries. L'usage de l'eau dépend des besoins spécifiques de chaque industrie et peut ne pas être forcément de l'eau potable. L'eau peut être utilisée dans l'entretien (lavage, nettoyage), dans le transport hydraulique (Julien, 2007).

1.5.Paramètres physico-chimiques des eaux

1.5.1. La température

C'est un facteur important pour l'activité biologique (Benallou, 2004). A noter que pour une eau potable et rafraîchissante, la température maximale acceptable est de 15°C. En effet, quand les eaux naturelles sont au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité.

1.5.2. Le pH

Il correspond à la mesure de l'activité des ions hydrogène contenus dans une eau. Il mesure l'acidité de l'eau. Sa mesure dans une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci. La mesure du pH se fait à l'aide d'un pH mètre (Rodier J, 1996).

1.5.3. La conductivité électrique

La conductivité permet de mesurer la capacité de l'eau a conduire le courant entre deux électrodes. Elle est une caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et leur nature. Elle varie avec la température. Ce paramètre est mesuré *in situ*.

1.5.4. La turbidité

La turbidité permet d'apprécier la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. Une faible turbidité peut être liée à la présence des matières colloïdales qui sont soit d'origine minérale ou organique . La mesure de la turbidité se fait à l'aide du turbidimètre (Rodier J, 1996). Il faut éliminer cette turbidité afin de favoriser une désinfection efficace de l'eau de consommation(Rejsek,2002).

1.5.5. L'oxygène dissous

L'oxygène est un excellent indicateur de la qualité de l'eau et constitue donc un paramètre important pour son étude. Il est apparait alors comme un paramètre sensible à la pollution .

1.5.6. La dureté totale (TH)

La dureté totale ou le titre hydrotrimétrique traduit une grandeur reliée à la somme des concentrations en ions calcium et ou magnésium dans l'eau. Elle est exprimée en quantité équivalente de carbonate de calcium. La concentration de calcium dans l'eau de consommation n'est pas souvent élevée par rapport au besoin journalier (Hawa, 2001).

1.6.Paramètres bactériologiques des eaux

De nombreux microorganismes pathogènes peuvent se retrouver dans l'eau : les batteries, les virus, des protozoaires. Ces germes pathogènes sont dus aux rejets de matières fécales humaines, aux pluies de ruissellement, aux fosses septiques, etc. La contamination microbiologique des eaux peut causer des maladies graves telles que : méningites, infections hépatiques, typhoïdes, cholera, etc.

1.6.1. Les coliformes totaux

Ils sont utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau. Ils constituent un groupe hétérogène de bactéries d'origine fécale .Leur présence dans l'eau n'indique pas une contamination fécale ni un risque sanitaire mais une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau. Cette dégradation peut être attribuée entre autres a une infiltration d'eau de surface dans les puits ou au biofilm. L'eau de consommation ne doit contenir aucune trace de bactéries *E. coli* ou entérocoques. Ces mircobes sont sensibles au chlore (Ayed, 2016).

1.6.2. Les coliformes fécaux

Ils sont un sous-groupe des coliformes totaux. L'espèce la plus associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* qui est très abondante dans la flore intestinale humaine et animale, et c'est aussi la seule espèce qui soit strictement d'origine fécale. Elle est considérée comme étant le meilleur indicateur de contamination fécale. Sa présence dans l'eau signifie que cette dernière est contaminée par une pollution d'origine fécale récente (John et *al*., 2010) et donc peut contenir des microorganismes pathogènes.

1.6.3. Les streptocoques fécaux

Ces bactéries sont de la famille des Streptococcaceae, du genre Streptococcus (Rodier , 2009). Elles se retrouvent souvent dans les eaux souterraines, suite à une pollution d'origine fécale ancienne. Elles sont essentiellement des bactéries intestinales mais moins nombreuses dans les matières fécales que les colibacilles. Elles ne se multiplient, disparaissent plus ou moins vite comme *E. coli* mais plus vite que les autres coliformes.

1.7.Normes Béninoises de la qualité bactériologique des eaux souterraines

Selon le décret 2001-094 du 20 Février 2001, fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin, une eau destinée à la consommation humaine est conforme aux normes microbiologiques présentées ci –après :

Vibrions cholériques	: 0 /100ml
Coliformes totaux	: 0 /100ml
Escherichia coli	0 /100ml
Streptocoques fécaux	0 /100ml

1.8. **Normes Béninoises de la qualité physico-chimique des eaux souterraines**

Les normes physico-chimiques de l'eau destinée à la consommation humaine sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Normes physico-chimique de l'eau potable

Paramètres	**Unité**	**Valeur maximale permise**
Paramètre physiques		
Turbidité	NTU	5,0
Paramètres chimiques inorganiques		
Arsenic	mg/L	0,05
Baryum	mg/L	1,0
Bore	mg/L	5,0
Cadmium	mg/L	0,005
Chrome	mg/L	0,05
Cuivre	mg/L	2,0
Cyanures	mg/L	0,2
Fluorures	mg/L	1,5
Mercure	mg/L	0,001
Nickel	mg/L	0,02
Nitrates	mg/L	45
Nitrites	mg/L	3,2
Plomb	mg/L	0,05
Sélénium	mg/L	0,01
Sulfates	mg/L	500
PH	Unités Ph	6,5« pH «8,5
NORMES OPERATIONNELLES-Paramètres physico-chimiques		
Calcium	mg/L	100
Chlorures	mg/L	250
Couleur	UcV	15
Dureté	mg/L	200
Fer	mg/L	0,3
Goût	-	Inoffensif
Magnésium	mg/L	50
Manganèse	mg/L	0,1
Zinc	mg/L	3

Source : Selon le décret 2001-094 du 20 Février 2001, fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin

1.9.Les procédés de traitement de l'eau potable

Quel que soit l'origine d'une eau, sa destination à la consommation humaine implique un traitement.

❖ **Objectif du traitement**

La santé publique, implique que l'eau distribuée au consommateur doit répondre aux normes physico-chimiques et bactériologiques. L'eau ne doit pas présenter des caractéristiques qui la rendent suspecte par la mise en éveil des facultés organoleptiques des consommateurs. Ainsi, le traitement devra s'efforcer d'éliminer : la turbidité et la couleur, les gouts et odeurs, les éléments gênants et nuisibles.

1.9.1. Prétraitement

Il vise à extraire de l'eau, par des procédés du type dégrillage, dessablage, tamisage, débourbage, dégraissage, la plus grande partie des éléments grossiers qui pourraient occasionner une gêne pour les traitements extérieurs.

1.9.2. Clarification

Elle a pour but l'élimination des matières en suspension, colloïdales ou non.

Elle utilise les phénomènes de :

- coagulation, floculation
- décantation

1.10. Le traitement secondaire

L'objectif principal du traitement physico-chimique est l'élimination des matières non decantables qui se trouvent dans l'eau sous forme colloïdales et qui ont besoin de procédé de coagulation-floculation et décantation.

1.10.1. Coagulation-floculation

C'est un processus qui facilite l'élimination des solides en suspension et des particules colloïdales, de matières organiques et des matières organiques pathogènes (Degrémont, 2005), puis la formation de flocs par absorption et agrégation. Les flocs ainsi formés vont être décantés et filtrés (Hernandez, 2006). La coagulation-floculation est un procédé chimique qui est souvent confondu dans le traitement des eaux.

1.10.2. La coagulation

La coagulation est la première étape dans le processus de traitement physico-chimique des eaux. Elle consiste à neutraliser et à diminuer la charge électrique et favoriser ainsi le rapprochement des particules en vue de leur agglomération. Pour ce faire, on utilise des réactifs chimiques

appelés coagulants (Hernandez, 2006). En effet, le coagulant apporte au milieu des cations multivalents, libres ou liés à une macromolécule organique.

- **Coagulants chimiques**

Ce sont les sels d'aluminium et de fer, le chlorure ferrique, le sulfate ferrique. L'utilisation de ces coagulants entraine d'importantes quantités de boues non biodégradables et des résidus métalliques dans l'eau traitée, lesquels peuvent provoquer des maladies (Alexandrov et al., 2018).

- **Coagulants naturels**

De nos jours, les coagulants naturels sont les plus recherchés car ils sont biodégradables, disponibles et respectueux de l'envirronnement.

Traditionnellement les coagulants naturels d'origine végétale et animale ont été les plus utilisés bien avant l'apparition des coagulants synthétiques comme les sels chimiques (Ndabigengesere et Narasiah, 1998). Des manuscrits anciens en provenance de l'Inde rapportent que les graines de nirmali, une espèce d'arbre, étaient utilisées pour clarifier l'eau de surface, il y a 4000 ans de cela (Shultz et Okum, 1984). Toutefois, un manque de connaissances scientifiques au niveau de leurs mécanismes de fonctionnement et de leur efficacité a ralenti les recherches réalisées sur ces coagulants (Ndabigengesere et Narasiah, 1998). Leur utilisation s'est tout de même poursuivie dans les pays en voie de développement accompagné des efforts de recherche si bien qu'aujourd'hui les pays développés recommencent à s'intéresser à cette alternative (Jahn, 1988). Les coagulants naturels comme les graines de *Moringa oléifera*, de mucuna, etc., ont fait l'objet de nombreuses recherches avec de très bons résultats en temoignent les travaux de Nnaji et al., (2021).

1.10.3. La floculation

La floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en micro floc puis en flocons plus volumineux appelé flocs. C'est donc un traitement qui favorise l'élimination d'une partie ou tous les polluants des effluents.

1.10.4. La décantation

C'est une technique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblé en floc, après l'étape de coagulation-floculation. C'est un procédé très répandue et utilisé dans les stations de traitement des eaux.Pendant la décantation, les particules dont la densité est

supérieure à l'eau, s'accumulent au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules sont éliminées du fond du bassin périodiquement. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigée vers un filtre.

1.11. Le traitement tertiaire

Il regroupe toutes les opérations physiques, chimiques ou biologiques qui complètement les traitements primaires et secondaires.

1.11.1. Filtration

C'est un procédé physique destiné a clarifier un liquide qui contient des matières en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire . La filtration est généralement précédée des traitements de décantation, permet d'obtenir une excellente élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et de certaines odeurs. Pour le traitement de l'eau potable, on utilise principalement : des filtres de sables rapides, des filtres de sables lentes, des filtres sous pression, des filtres à terre diatomée (Desjardins, 1997).

1.11.2. Désinfection

La désinfection permet de détruire les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies afin de protéger la santé publique (Chiboub., 2010). Elle fait appel à l'usage du chlore, de l'ozone ou des ultraviolets. Une petite quantité de chlore reste dans l'eau produite pour éviter un développement bactérien plus en aval, dans le réseau d'eau.

1.12. Utilisation de *Azadirachta indica* dans le traitement des eaux

Pour des raisons économiques et surtout pour éviter l'usage des sels métalliques dans les eaux de consommation, les recherches sont davantages tournées vers les coagulants naturels. Parmi eux, *Azadirachta Indica* communément appelée le « Neem », est connu comme étant une plante de la médecine traditionnelle dans de nombreuses zones rurales de régions d'Asie et d'Afrique, pour ses propriétés antiseptiques, anti-inflammatoires, hypoglycémiants, antiulcéreux, antibactériens, antipaludéens, antiviral (Vandal et al., 2015). Les travaux menés sur les extraits de feuilles de *A. indica* dans le traitement des eaux par Pratibha et al., (2020) sont très concluants. En effet, ces extraits ont éliminé une quantité importante de polluants, et ont un faible effet sur le pH, la conductivité et la turbidité de l'eau. Toutefois, peu de données sont disponibles sur l'emploi des graines dans le traitement de l'eau en dépit de son usage très connu tradtionnnelle pour ces effets insecticides (Gnago et al., 2011) et fongicides (Wang et al., 2010).



Figure 2 : Graines de *Azadirachta indica* : (a) : amandes ; (b) : poudre des amandes(AGAN,2022)

1.13. Utilisation de *Luffa cylindrica* dans le traitement des eaux

Luffa cylindrica appartient à la famille des cucurbitacées. Les graines de *Luffa cylindrica* sont trouvées facilement au Sénégal, en Gambie, en Guinée, au Nigéria, au Bénin etc. Ces graines sont dispersées dans les pays où les précipiations sont élevées. Le luffa est une plante herbacée annuelle de la famille des cucurbitacées, et son fruit entièrement développé est la source des éponges à récurer normalement utilisées dans les salles de bains et les cuisines. Ils sont également utilisés pour d'autres applications telles que le renforcement des matériaux composites (Laidani et al., 2011). Jusqu'à présent, l'intérêt de recherche le plus courant pour les éponges de luffa est leur capacité d'adsorption, par exemple l'adsorption du phénol (Henini et al.,2012), des métaux lourds (Li et al, 2019) et des composés organiques (Altını et al ., 2010). Les éponges de luffa sont composées d'hémicellulose (22%), d'α-cellulose (60%), de lignine (10,6%) et d'autres (7,4%). Ces composants sont biodégradables dans l'eau (Iqbal et al, 2004 ; Liu et al., 2016). De même la richesse de ces graines en protéines et glucides dotées de propriétés coagulantes, favorise leur utilisation dans la décontamination des effluents aqueux (Baharlouei et al., 2018). Les travaux de Dang et al., (2020) ont révélé le pouvoir absorbant des extraits de graines de *Luffa cylindrica* dans l'élimination de certains métaux lourds.



Figure 3 *:* Luffa cylindrica(*AGAN,2022*)

2. CADRE D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

2. Cadre d'étude, matériel et méthodes

2.1. Cadre d'étude

2.1.1. Cadre institutionnel

Le cadre institutionnel est constitué de l'Institut National de l'Eau où nous avons été inscrit et suivi les cours de Master en Eco hydrologie.

2.1.2. Cadre de travail

C'est le Laboratoire Kaba de Recherche en Chimie et Applications (LaKReCA) de l'Ecole Normale Supérieure(ENS) de Natitingou qui nous a servi de cadre pour la réalisation de nos travaux de recherche.

2.2. Zone d'étude

Le lac Toho est situé au sud du département du Mono entre 6 35' et 6°40' de latitude Nord et 1° 45' et 1°50' de longitude Est. Il fait partie du bassin du Mono. Ce dernier couvre une superficie de 374 km² et se trouve dans le complexe Ouest des zones humides du Sud Bénin. D'une superficie de 9,6 km² à l'étiage et de 15 km² en période de crue, il a en moyenne 7 km de longueur ; 2,5 km de largeur méridionale et environ 500 m de largeur septentrionale. Il a la forme d'un croissant orienté Sud-Nord (Ahouansou et al., 2003). Le lac Toho se trouve à cheval sur les communes d'Athiémé, de Lokossa et de Houéyogbé. Sa profondeur moyenne est de 3,05 m. En raison de sa situation géographique, le lac Toho est influencé par un climat subéquatorial caractérisé par quatre saisons distinctes:

(1) une longue saison des pluies de mi-mars à mi-juillet ;

(2) une saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ;

(3) une courte saison des pluies de mi-septembre à mi-novembre ;

(4) une longue saison sèche de mi-novembre à mi-mars dominée par les vents continentaux et l'harmattan (Lederoun et al., 2015).

Les précipitations annuelles varient entre 544 mm et 1376 mm tandis que la température se situe entre 20,6 et 33,5 °C avec une moyenne annuelle de 28 °C. L'humidité relative est très élevée et varie de 65 % en janvier à 80,6 % en juin (Ahouansou et al., 2008). Les sols couvrent la portion du plateau d'Agamè et sont développés dans la terre de barre et se distinguent par des caractéristiques physiques que sont : la profondeur, la pénétrabilité et le drainage. Ces sols se situent sur le plateau dans les dépressions fermées où le drainage externe est déficient, aux

abords du lac sur la rive nord et dans la région de Logbo. Ils recouvrent également le fond des vallées Diko et Akpatohoun . Ces sols de marais contiennent dans leur horizon de surface, de la matière organique mal décomposée. L'existence d'un tel horizon est due à la présence d'une eau permanente pouvant être plus ou moins saumâtre. Les difficultés d'assainissement rendent les sols presque inutilisables pour l'agriculture (Mededa, 1998). La situation géographique de la zone d'étude est présentée sur la figure 4.

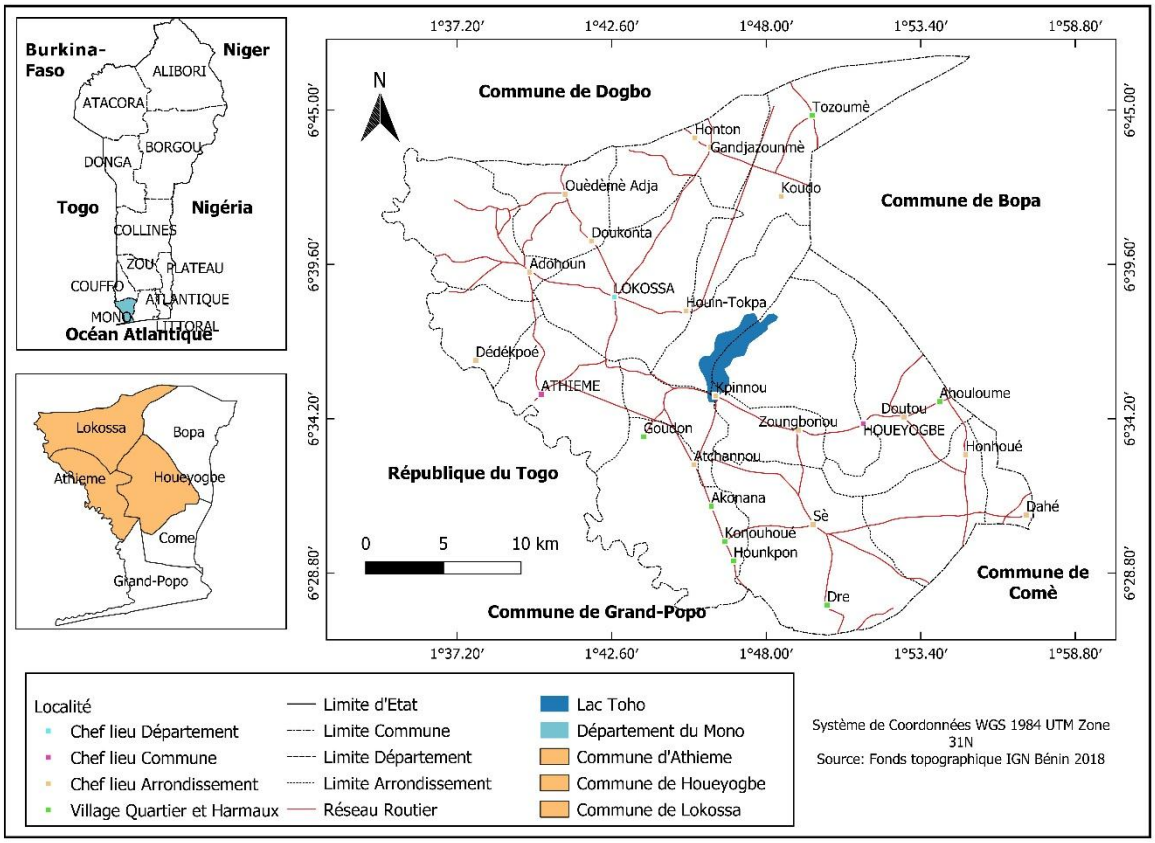


Figure 4 : Zone d'étude

2.3. Matériel et méthodes

2.3.1. Echantillonnage

Deux campagnes de prélèvement d'eaux souterraines (puits et forage) ont été effectuées en saison pluvieuse dans 11 (onze) villages situés le long du lac Toho pour un total de 22 échantillons. Il s'agit des villages de : VEHA, LOGBO, HAHAME, WANKANMIN, KPONOU, DON CODJI, TOHONOU, GOUDOUHOUE, DADAHOUE, AZONLIHOUE, KPOCONDJI. La première campagne a été effectuée le 28 mai 2022 et la seconde le 13 juin 2022. Les échantillons d'eaux ont été prélevés dans des flacons borosilicatés de 500 mL préalablement stérilisé à l'autoclave à 120°C pendant 1heure puis conservés à 4°C dans une

glacière et transportés au laboratoire pour les analyses. Pour les forages, le flacon est débouché au moment de la prise, une fois rempli, il est aussitôt rebouché, étiqueté et conservé dans la glacière. Au niveau des puits traditionnels, on s'est servi d'une puisette pour prendre l'eau puis verser dans les flacons ouverts hermétiquement et refermer aussitôt rempli. Les points échantillonnés dans le cadre de cette étude sont représentés sur la figure 5.

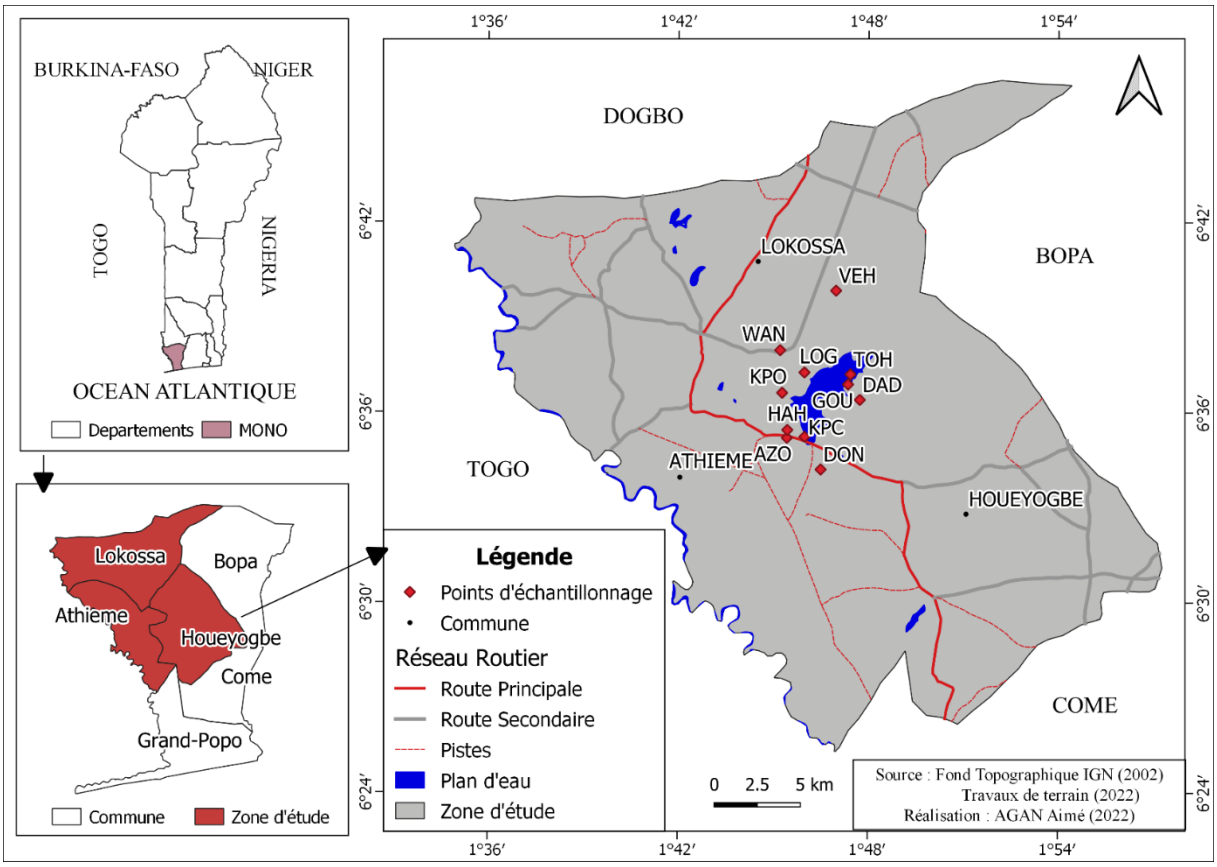


Figure 5 : Localisation géographique des points d'échantillonnage (Réalisée par AGAN,2022).

2.3.2. Analyses physico-chimiques et bactériologiques

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisées au Laboratoire Kaba de Recherche en Chimie Application (LaKReCa) de l'Ecole Normale Supérieure de Natitingou (ENS) et au laboratoire d'Eau et Assainissement du Lycée technique de Natitingou.

2.3.2.1. Analyses physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques mesurés dans les échantillons d'eaux souterraines sont : l'oxygène dissous (O_2), la conductivité électrique, la turbidité, le titre alcalimétrique complet (TAC), les ions nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), phosphates (PO_4^{3-}), ammonium (NH_4^+), la dureté, l'indice de permanganate, la température, le pH et éléments traces métalliques (fer, nitrate, plomb, cadmium, cuivre, zinc, crome, arsenic et le mercure).

- ***Le pH***

La mesure du pH des échantillons d'eau est faite *in situ* à l'aide d'un pH-mètre de type HANNA HI 991001. La sonde de l'appareil qui a été préalablement étalonné au laboratoire est plongée dans 100 mL de l'échantillon à analyser en faisant un mouvement léger de rotation jusqu'à stabilisation de la valeur affichée sur l'écran et la valeur est notée.

- ***La température***

La mesure de la température des échantillons d'eau est faite *in situ* au moyen d'un conductivimètre multiparamètre HANNA HI 99300. En effet, l'électrode du multi paramètre est plongée dans 100 mL de l'échantillon prélevé dans un bécher. Après stabilisation de la valeur affichée sur l'écran, la valeur de la température est notée.

- ***La conductivité électrique***

La conductivité électrique est mesurée *in situ* à l'aide d'un conductimètre multiparamètre HANNA HI 99300. La sonde du conductimètre préalablement étalonné au laboratoire est plongée 100 mL de l'échantillon d'eau à analyser en faisant un mouvement léger de rotation jusqu'à stabilisation de la valeur affichée sur l'écran et la valeur est notée.

- ***L'oxygène dissous***.

L'oxygène dissous est dosé sur place dans l'échantillon d'eau à analyser avec un oxymètre de marque WTWOXI 3310. En effet, la sonde de l'oxymètre préalablement étalonné au laboratoire est plongée 100 mL de l'échantillon d'eau à analyser en faisant un léger mouvement de rotation jusqu'à stabilisation de la valeur affichée sur l'écran et la valeur est notée.

- ***La turbidité***

La mesure de la Turbidité a été effectuée également sur le terrain au moyen d'un turbidimètre HANNA instruments HI 93703.

- ***Le titre alcalimétrique complet (TAC)***

Le TAC s'exprime en milliéquivalent par litre (méq/L) ou en degré français (°F). 1°F correspond à 0,2 méq/L. Le TA et le TAC ont été déterminés par titrimétrie. Le TAC se calcule suivant cette formule :

$TAC\ (°F) = V_{(HCl)} \times 2$

$V_{(HCl)}$: volume de la solution d'acide chlorhydrique à 0,04 mol/L utilisé pour le titrage en présence de l'hélianthine.

- ***Oxydabilité au permanganate de potassium***

La méthode a consisté à mesurer en milieu acide (H_2SO_4 2M) et à chaud la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques oxydables contenues dans l'eau. L'excès de $KMnO_4$ n'ayant pas réagi est réduit par une solution d'oxalate de sodium en excès. L'excès d'oxalate de sodium est dosé par du $KMnO_4$. Nous avons utilisé une solution de $KMnO_4$ à 2 mM et d'oxalate de sodium à 5 mM.

- ***Dosage des élements traces metalliques (ETM)***

La recherche des éléments traces métalliques tels que le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd), le Cuivre (Cu), le Zinc (Zn), le Fer (Fe), le Manganèse (Mn), le Nickel (Ni), le Chrome (Cr),l' Arsenic (As) et le Mercure (Hg) dans les échantillons d'eaux souterraines a été effectuée par aspirantion directe des échantillons liquides acidifiés dans un spectrophotomètre d'émission atomique de marque Micro plasma MP-AES 4200, couplé à un ordinateur et exploité à l'aide de l'interface logiciel MP-AES. Les concentrations de métaux dans les échantillons sont obtenues directement à partir de l'instrument avec l'unité préréglée appropriée. En cas de dilution d'un 'échantillon, l'instrument est réglé afin d'inétégrer le facteur de dilution. Pour la concentration en métal en solution, la valeur est exprimée en milligrammes par litre (mg/L).

- ***Dosage des Nitrites NO_2^-, nitrates NO_3^-, Phosphates PO_4^{3-} et ammonium (NH_4^+)***

La concentration des ions Nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), Phosphates (PO_4^{3-}) et ammonium (NH_4^+) dans les différents échantillons a été déterminée par spectrophotométrie moléculaire VWR UV 1600 PC. Les nitrites et les nitrates ont été dosés respectivement à l'acide sulfanilique à 435 nm et au salicylate de sodium à 416 nm. Tandis que les phosphates et l'ammonium ont été quantifiés respectivement au molybdate d'ammonium à 708 nm et au réactif de Nessler à 400 nm.



Figure 6 : Spectrophotomètre VWR UV/VIS 1600 PC(AGAN,2022)

2.3.2.2.Recherche bactériologique

La technique de filtration sur membrane de nitrocellulose de diamètre 50 mm et de porosité 0,45 µm a été utilisée pour le dénombrement des bactéries. L'ensemencement des différentes géloses utilisées dans cette étude a été réalisé à partir de dilutions de 10 en 10 de l'échantillon prélevé à l'aide de l'eau physiologique stérile 0,9%. En effet, après une stérilisation par flambage au bec de Bunsen et refroidissement de la rampe de filtration, 100 mL des dilutions suivantes ont été soigneusement homogénéisées par agitation puis filtrées en duplicat: échantillon pur, 1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000 et 1/100000. Les membranes sont ensuite retirées délicatement au moyen d'une pince stérile puis déposées sur un milieu sélectif adapté à la bactérie recherchées préalablement coulé dans des boites de Pétri de diamètre 55 mm stériles et incubés dans une étuve à la température adéquate.



Figure 7 : Rampe de filtration(AGAN,2022)

- **Dénombrement des coliformes totaux et fécaux**

Le dénombrement des coliformes a été effectué suivant la norme NF EN ISO 9308-1 (Rodier, 2016). En effet, après filtration de l'échantillon, les membranes sont déposées sur des géloses Coliformes Agar Chromogène puis incubés à 37°C pour la recherche des coliformes totaux pendant 24 heures puis à 44°C pendant 24 heures pour la détermination des coliformes fécaux. Les colonies suspectes après le contrôle du caractère de Gram et recherche de l'oxydase ont été identifiées sur galerie API 20 puis dénombrées. La concentration de l'échantillon initial a été déterminée par multiplication du nombre de colonies retrouvées sur une dilution, par le facteur de dilution et le résultat est exprimé en UFC /100 mL.

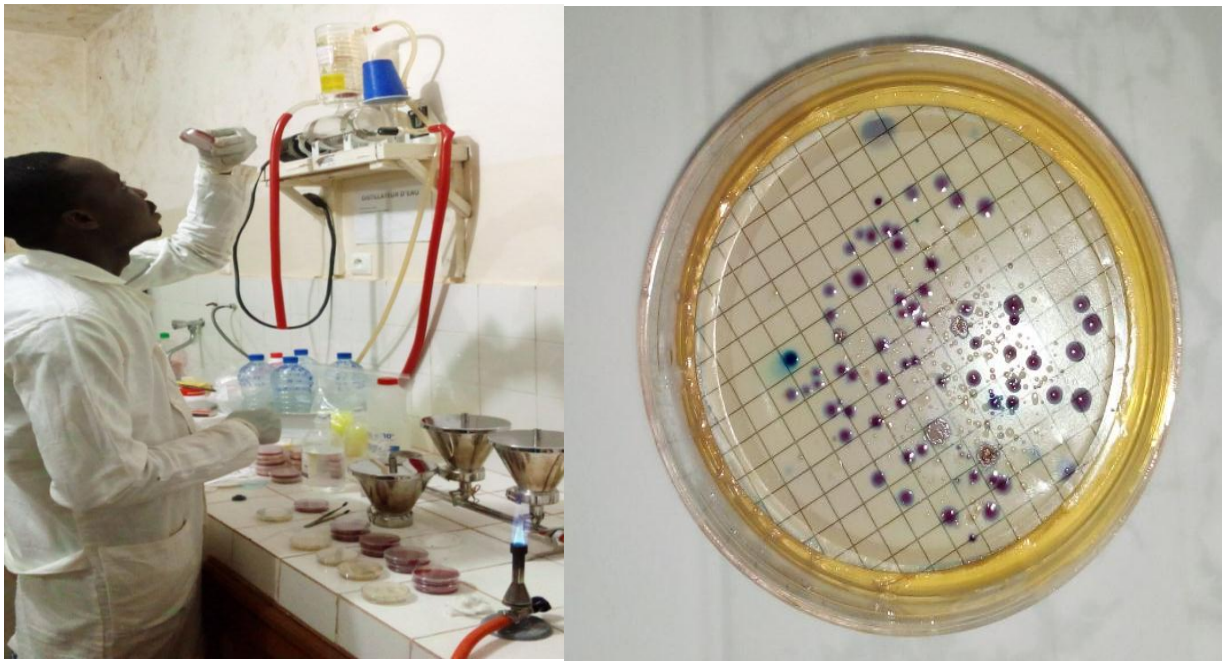


Figure 8 : Coliformes sur gélose Coliformes Agar Chromogène après incubation(AGAN,2022)

- **Dénombrement des Entérocoques**

Le dénombrement des entérocoques fécaux a été effectué suivant la norme EN ISO 7899-2 (Rodier, 2016). En effet, les membranes après filtration de l'échantillon sont délicatement déposées sur des géloses Slanetz et Barthley incubées à 44°C pendant 48 h. Les colonies rouges, marron ou rose ayant poussé sur la gélose après incubation ont été repiquées après contrôle du caractère de Gram (coccies en chaînettes) et recherche de la catalase sur la gélose BEA puis incubées à 37°C pendant 24 h pour la détection de l'hydrolyse de l'esculine. La concentration de l'échantillon initial a été déterminée par multiplication du nombre de colonies retrouvées sur une dilution, par le facteur de dilution et le résultat est exprimé en UFC/100 mL.

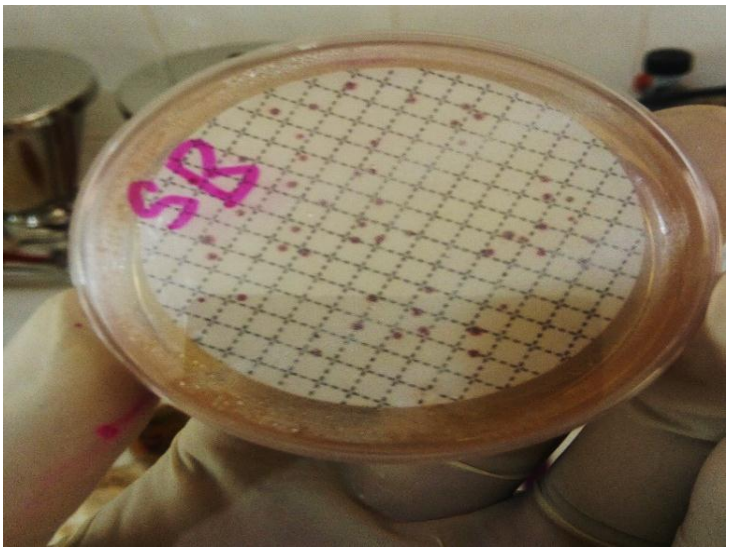


Figure 9 : Entérocoques sur gélose Slanetz et Barthley après encemencement et incubation(AGAN,2022)

2.3.3. Extraction

2.3.3.1. Extraction de la protéine de *Luffa cylindrica* (Luff-prot)

Les fruits secs et matures de *Luffa cylindrica* ont été récoltés à Natitingou au Bénin, les graines sont prélevées, séchées à température ambiante pendant 72 h puis broyées à l'aide d'un broyeur à bille et tamisées pour obtenir des particules fines. 20 g de résidus ont été dispersés dans 1000 mL de NaCl 1M, puis agitée pendant 2h. Apres 24 h de repos, la suspension est filtrée sur papier filtre Whatman1. La protéine a été précipitée par ajout de 100 mL d'éthanol à 96 % pour 100 mL de filtrat. Le mélange obtenu est laissé au repos pendant 24 h puis filtré. Le résidu obtenu est séché à l'étuve à 105°C pendant 2 h puis dénommé Luff-prot.

2.3.3.2. Extraction de la protéine de *Azadirachta indica* (Az-prot)

Les graines de *Azadirachta indica* utilisées dans cette étude ont été également récoltées à Natitingou au Bénin. Les graines sont décortiquées, séchées à température ambiante pendant 72 h puis broyées dans un Moulinex électrique de laboratoire et tamisée. La matière grasse de la poudre obtenue a été extraite au Soxhlet à l'hexane jusqu'à décoloration du solvant d'extraction. 20 g de résidus ont été dispersés dans 1000 mL de NaCl 1M, puis agitée pendant 2 h. Apres 24h de repos, la suspension est filtrée sur papier filtre Whatman1. La protéine a été précipitée par ajout de 100 mL d'éthanol à 96% pour 100 mL de filtrat. Le mélange obtenu est laissé au repos pendant 24 h puis filtré. Le résidu obtenu est séché e à l'étuve à 105°C pendant 2 h puis dénommé Az-prot.

2.3.4. Caractérisation phytochimique des protéines extraites des graines de *Luffa cylindrica* et de *Azadirachta indica*

Le screening phytochimique met en évidence la présence des familles des molécules actives.

- ***Les alcaloïdes***

La mise en évidence des alcaloïdes a été effectuée par une réaction de précipitation en présence des réactifs des alcaloïdes (Mayer et Wagner). A 1 mL de chaque extrait a été ajouté quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCl 1%), puis chaque solution est divisée en deux volumes égaux. On introduit 0,5 mL de réactif du Mayer dans le premier tube et 0,5 mL du réactif de Wagner dans le deuxième tube. La formation d'un précipité blanc ou brun respectivement dans les deux tubes révèle la présence des alcaloïdes

- **Les polyphénols**

- ***Les Tanins***

La présence des tanins est mise en évidence par le mélange de 0,5 mL de $FeCl_3$ à 1% avec 2 mL de chaque extrait. L'apparition de la couleur verdâtre ou bleu- noirâtre après incubation indique la présence des tanins.

- ***Les Flavonoïdes***

La recherche des flavonoïdes a été réalisée par l'ajout de 1 mL d'acide chlorhydrique concentré et quelques copeaux de magnésium. Leur présence est marquée par l'apparition de couleur rouge, orange ou rose.

- ***Les Anthocyanes***

La présence des anthocyanes est mise en évidence par le mélange de 1 mL d'extrait à 5 gouttes d'acide chlorhydrique à 5 %. L'apparition d'une coloration rouge qui vire au bleu- violacée ou verdâtre suite à l'ajout de 5 gouttes d'ammoniaque à 50 % indique la présence d'anthocyane.

- ***Les Leuco-anthocyanes***

Leur présence est mise en évidence par l'ajout de 1 mL d'extrait à 1 mL d'alcool chlorhydrique le tout porté au bain marie à 90°C pendant 15 min. L'apparition d'une coloration rouge cerise ou violette indique la présence de leuco-anthocyane.

- ***Dérivés quinoniques***

Leur présence est mise en évidence par l'ajout de 5 mL de l'extrait chloroformique à 1 mL d'ammoniaque. L'apparition d'une coloration rose ou rouge violacée indique la présence des dérivés quinoniques.

- ***Les Quinones libres***

La détection des quinones est réalisée par l'addition de 1 mL de l'extrait avec 0,1 mL de (NaOH 1%). Leur présence est indiquée par l'apparition de couleur qui vire au jaune rouge.

- ***Les Terpénoïdes***

Deux tests ont été utilisés pour confirmer la présence des Terpénoïdes :

- Test de Libermann-Burchard : 5 mL d'extrait ont été mélangés avec 0,5 mL d'anhydride acétique et 0,5 mL d'acide sulfurique. Après incubation une couleur mauve, verte ou violet indique la présence des Terpénoïdes.
- Test de Slakowski : à 5 mL d'extrait nous ajoutons 2 mL de chloroforme et 3 mL d'acide sulfurique concentré. La formation de deux phases et une couleur marron à l'interphase indique la présence des terpénoïdes.

- ***Les Composés réducteurs***

La présence des composés réducteurs est mise en évidence par l'addition de 1 mL d'extrait avec 2 mL de la solution de Fehling (A+ B). Après incubation au bain marie à 100 C pendant 8 min, l'apparition d'un précipité rouge brique indique leur présence.

- ***Les dérivés anthracéniques***

- ***Anthracéniques libres***

La présence des anthracéniques libres est mise en évidence par l'addition de 1 mL d'ammoniaque dilué à 1/2 à 1 mL d'extrait chloroformique. L'apparition d'une coloration rouge plus ou moins intense indique la présence d'anthracéniques libres.

- ***Anthracéniques combinés***

A la phase organique de l'extrait chloroformique on additionne 1 mL d'ammoniaque dilué au ½ puis l'ensemble est agité. La présence d'anthracénique est révélée par l'apparition d'une coloration rouge plus ou moins intense.

- ***C- Hétérosides***

Le mélange de la phase aqueuse additionné à 1 mL de $FeCl_3$ à 10 % est porté à ébullition. Après refroidissement on ajoute 5 mL de chloroforme au mélange puis on agite. On recueille ensuite la phase chloroformique. On y ajoute 1 mL d'ammoniaque diluée au ½ puis on agite de nouveau. L'apparition d'une coloration rouge plus ou moins intense indique la présence de génines de C- hétéroside.

- ***Hétérosides cardiotoniques***

A la phase organique de l'extrait chloroformique repartie en 3 tubes à essai et évaporée à sec et repris avec l'isopropanol, on introduit respectivement le réactif de Baljet dans le 1er, le réactif de Kedde dans le 2e puis le réactif de Raymond Marthoud dans le 3e puis après on introduit 5 gouttes de KOH alcoolique. La présence de Cardenolides se traduit par l'apparition d'une coloration orange dans le tube n°1, rouge dans le tube n°2 et violet fugace dans le tube n°3.

2.3.5. Essais de traitement

Les essais de traitement ont été réalisés au jar-test avec un floculateur de marque FC6S (VELP Scientifica, Italie). En effet, nous avons disposé 06 béchers contenant chacun 1L d'eau à traiter. Nous avons ajouté l'extrait de *Azadirachta indica* ou de *Luffa cylindrica* à différentes doses croissantes variant de 0 à 400 mg/L. Les mélanges ont été agités pendant 5 min à 150 tr/min puis a 60 tr/min pendant 30 minutes. Après 2 h de décantation, le surnageant fut siphonné sous 20 mm de surface au moyen de pipettes stériles. La turbidité, le pH ainsi que les paramètres bactériologiques (*Enterococcus,* Coliformes totaux) ont été appréciés. L'abattement (A%) des paramètres mesurés a été calculée par l'expression suivante:

$$A\ (\%) = \frac{No - N}{No} * 100$$

Avec No : concentration initiale de (x) dans l'eau souterraine brute

N :concentration finale de (x) dans l'eau souterraine traitée

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats des paramètres physico-chimiques

Les mesures des paramètres physico-chimiques effectuées sur les échantillons d'eaux souterraines sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Récapitulatif des résultats des paramètres physico-chimiques

	Echantillons d'eaux souterraines											
PARAMETRES	DADAHOUE	DON CODJI	GOUDONOU	KPOCONDJI	TOHONOU	LOGBO	HAHAME	WANKAMIN	VEHA	AZONLIHOUE	KPONOU	Normes
Température (°C)	31,45±1,06	32,4 ±0,00	31,4±0,42	32,6±0,84	31,2±0,85	30,7±0,14	32,15±1,34	32,4±0,57	29,2±0,07	31,4±0,85	30,25±2,75	
pH	7,38±0,169	7,115±0,43	7,26±0,11	7,06±0,28	7,18±0,45	6,56±0,07	6,86±0,00	6,31±0,28	7,01±0,35	7,34±0,23	6,58±0,07	6,5 - 8,5
Turbidité (NTU)	5,105±2,52	2,75±1,83	10,85±4,60	3,155±1,44	5,265±2,01	1,845±0,30	1,175±0,11	3,775±1,31	1,5±0,49	3,035±1,17	23,7±4,70	5
Oxygène dissous (mg/L)	2,62±0,26	3,44±1,27	3,46±1,96	3,975±2,02	5,19±1,59	3,73±0,90	3,415±1,42	3,665±0,78	2,98±1,41	3,78±1,40	3,1±0,88	≥5
Conductivité (µS/cm)	625±12,72	677,5±13,43	563±9,89	483,5±12,02	606±7,07	103±4,24	631,5±17,67	107±2,83	102±2,82	826±55,15	210±14,14	
TDS (mg/L)	312,5±6,36	338,5±6,36	281,5±4,94	232,4±19,09	302,5±3,53	51,5±2,12	315,5±9,19	53±1,41	51±1,41	412,5±27,58	105±7,07	
Dureté totale (mg/L)	87,7±2,12	90,6±0,00	88,5±1,62	89,9±2,54	88,1±0,49	87,4±0,28	90,8±2,83	90,45±0,49	84,9±0,00	89,05±1,77	86±3,81	
TAC (°F)	28,5±1,41	26±1,41	24,75±1,06	28±5,65	27±1,41	6,5±2,12	28±0,71	6,5±1,41	5±0,00	14,75±3,89	9±2,83	
Nitrates (mg/L)	0,047±0,01	0,93±0,25	0,89±0,17	0,10±0,13	0,909±0,02	0,367±0,16	0,95±0,06	0,14±0,01	0,142±0,00	8,19±0,14	0,18±0,03	45
Nitrites (mg/L)	0,045±0,01	0,07±0,00	0,06±0,00	0,065±0,16	0,067±0,00	0,068±0,01	0,074±0,02	0,06±0,00	0,061±0,00	0,106±0,02	0,119±0,03	3,2
Ammonium (mg/L)	0,210±0,04	0,286±0,05	0,267±0,104	0,17±0,043	0,17±0,05	0,115±0,01	0,167±0,00	0,12±0,02	0,114±0,02	0,239±0,03	0,186±0,05	0,5
Phosphates (mg/L)	0,028±0,003	0,05±0,03	0,051±0,03	0,028±0,00	0,123±0,01	0,058±0,02	0,089±0,00	0,049±0,03	0,049±0,03	0,067±0,01	0,101±0,00	5
Matière organique (mg/L)	9,428±0,01	0,61±0,13	7,24±0,25	17,63±0,11	6,63±0,11	18,52±0,13	14,47±0,07	9,67±0,39	9,95±0,01	5,53±0,04	17,53±0,04	3

D'après le tableau 2, on constate que les echantillons d'eau analysées préentent des concentrations en oxygène dissous faibles variant de 2,62±0,26 à 5,265±2,01 mg/L avec des teneurs en matières organiques élévées allant de 5,53±0,04 à 18,52±0,13 mg/L superieures à la norme OMS de 3 mg/L pour les eaux destinées à la consummation humaine.

Les concentrations en éléments traces métalliques des échantillons d'eaux souterraines sont présentées sur la figure 10.

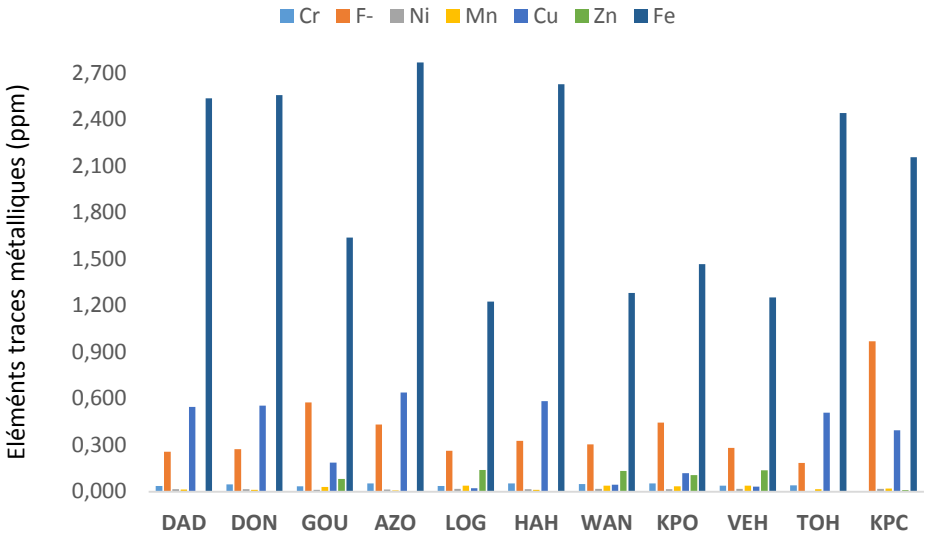


Figure 10 : Concentrations en éléments traces métalliques des échantillons d'eaux souterraines.

La figure 10 nous montre que tous les échantillons d'eaux souterraines sont riches en fer dont les concentrations varient entre 1,23 mg/L et 2,76 mg/L. Ces valeurs mesurées demeurent supérieures à la norme OMS qui est de 0,3 mg/L. On retrouve chacun des autres métaux (le Chrome , le fluor, le nickel, le manganèse, le cuivre et le zinc) mais dans de faibles taux et conformes aux normes OMS. Les paramètres bactériologiques des échantillons d'eaux souterraines sont présentés sur la Figure 11.

3.2. Résultats des paramètres bactériologiques

La figure 11 récapitule les résultats du dénombrement des coliformes, entéroccoques et *E.coli*, à l'issue des deux campagnes de prélèvements effectuées

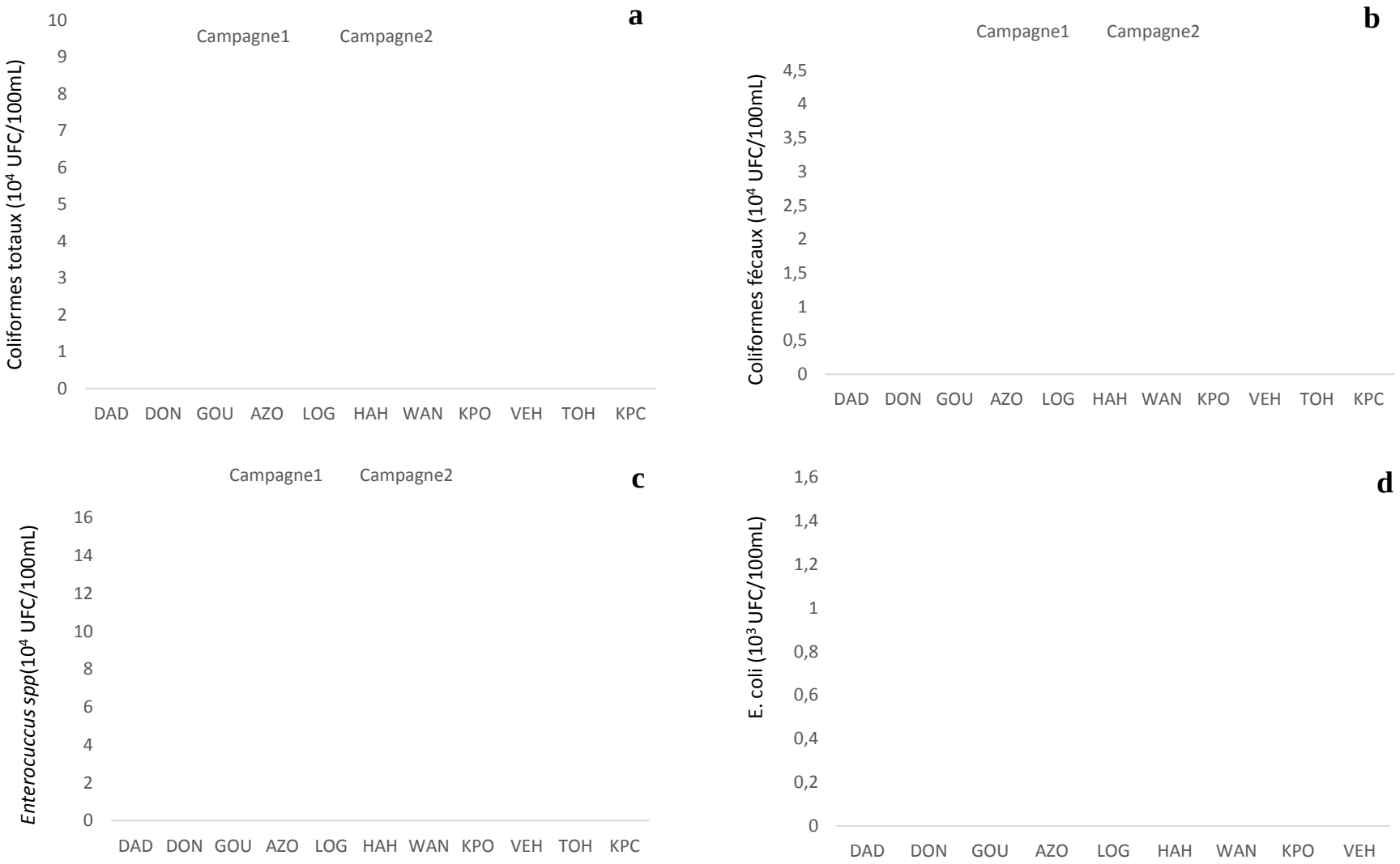


Figure 11 : Paramètres bactériologiques des échantillons d'eaux souterraines

De la figure 11, on note que les differents resultats montrent que les eaux souterraines analysées sont contaminées par l'ensemble des germes recherchés. On peut aussi noter que la contamination d'origine fécale a été importante.

3.3. Caractérisation phytochimiques des extraits

Les résultats de la caractérisation phytochimique des protéines extraites des graines de *Luffa cylindrica* et de *Azadirachta indica* sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractérisation phytochimique des graines de *A. indica* et de *L. cylindrica*

Composés chimiques	***Azadiratcha indica***	***Luffa cylindrica***
Tanins catéchiques	-	-
Tanins galliques	-	-
Flavonoides	+	-
Leuco-anthocyanes	-	-
Anthocyanes	+	+
Alcaloides	-	+
Composés réducteurs	+	-
Mucilages	+	-
Saponosides	+	-
Dérivés cyanogéniques	-	-
Triterpènes	-	-
Stéroides	+	-
Coumarines	-	-
Anthracéniques libres	-	-
C-hétérosides	-	-
O-hétérosides	-	-
Dérivés cardiotoniques	-	-
Dérivés quinoniques	-	-

+ Présence de groupe chimique, - Absence de groupe chimique

Le tableau 3 présente les résultats de l'analyse phytochimique des graines d'*Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica*. L'analyse révèle la présence des flavonoïdes, des anthocyanes, des composés réducteurs, des mucilages, des saponosides et des stéroïdes dans la graine de *Azadirachta indica* et les anthocyanes, des alcaloïdes dans la graine de *Luffa cylindrica*. Ce résultat montre une diversité de groupes chimiques associés aux protéines extraites des graines de *A. indica* comparée aux deux groupes chimiques associés à celles des graines de *L. cylindrica*.

3.4. Résultats issus du traitement

Les variations du pH au cours du traitement sont présentées sur la figure 12.

On remarque que le pH de l'eau traitée varie très peu et est compris entre 6,5 et 7,5. On note également que le pH de *L. cyndrica* est légèrement supérieur à celui de *A. indica* entre 50 et 350 mg / L.

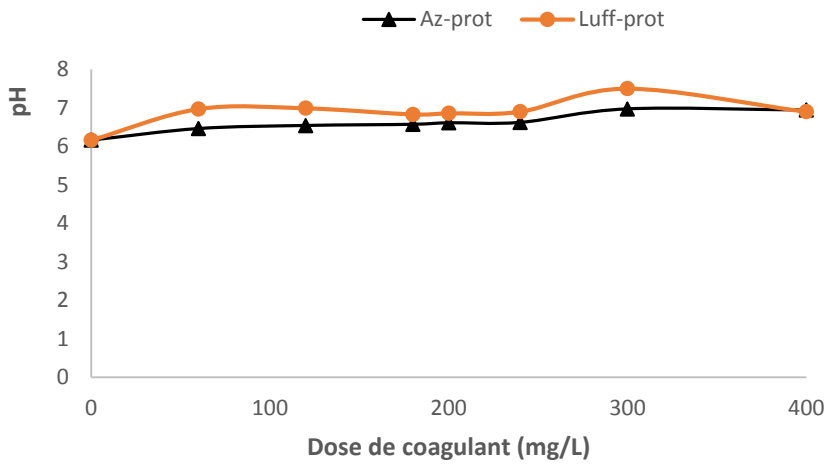


Figure 12 : Variation du pH au cours du traitement

Les pourcentages d'élimination des bactéries gram positif et gram négatif obtenus au cours du traitement sont présentés sur la figure 13.

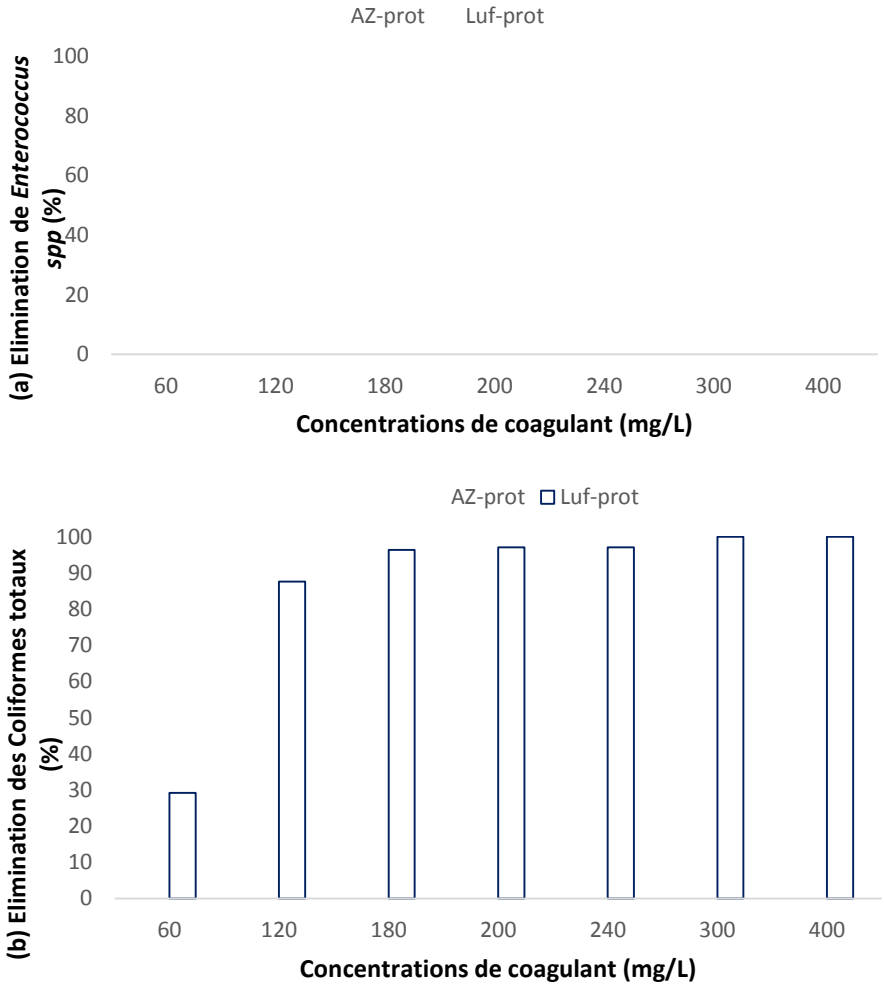


Figure 13 : Elimination des bactéries : (a) : gram positif ; (b) : gram négatif

De la figure 13, il ressort que les pourcentages d'élimination des bacteries croissent au fur et à mesure que la dose des coagulants augmente. En effet, on enregistre un abattement important des souches de *Enterococus spp* en utilisant respectivement les protéines de *Luffa cylindrica* et de *Azadirachta indica*. On observe un taux d'elimination de 92,23 % pour la protéine d'*Azadirachta indica* avec une concentration de 400 mg /L et 95,70 % pour la protéine de *Luffa cylindrica* pour la même concentration.

Quand à l'élimination des coliformes totaux,on observe un taux d'élimination de 100 % aussi bien avec la protéine d'*Azadirachta indica* qu'avec la protéine de *luffa cylindrica* dans une concentration de 400 mg/L.

3.5. Discussion

3.5.1. Qualité des eaux souterraines

Cette étude a eu pour but d'evaluer la qualité physio-chimique et bactériologique des eaux souterraines autour du Lac Toho.

En ce qui concernent les paramètres physiques, toutes les valeurs des temperatures prises ne respectent pas la norme béninoise, cela peut être lié à l'heure à laquelle les mesures ont été prises.Un prélevement effectué sur eau ayant longtemps stagné n'est pas représentatif de la nappe. L'eau a subi l'influence du matériau de tubage et des elements exterieurs (pollution, pluie …). Pour obtenir un echantillon moyen de l'horizon capté,il est important de pomper suffisament longtemps pour renouveller l'eau contenue dans tubage. Les resultats obtenus au niveau de la conductivité électrique répondent bien à la norme béninoise car toutes ses valeurs sont en dessous de la valeur admise dans les eaux de consommation. Ces resultats confirment ceux rapportés par Amine et Abdelmalek (2012).

Par contre, les turbidités mesurées ne sont pas conformes à la norme béninoise. On note également que ces eaux présentent une forte teneur en matière organique avec des concentrations faibles en oxygènes dissous. Ce qui suggère une contamination microbiologique de ces eaux. En effet les bactéries présentent dans l'eau utilisent l'oxygène dissous pour degrader les matières organiques et réduire les nitrates en nitrite.

Ces resultats montrent également que tous les échantillons d'eaux analysées sont pollués par les coliformes totaux et fécaux, *Escherichia coli* et *Enterococcus*. La presence remarquable des coliformes fécaux, *Escherichia coli* et *Enterococcus* dans ces eaux suggère une contamination d'origine fécale importante. Ces resultats sont similaires à ceux des travaux réalisés par Chipaux et *al*. (2002) qui ont trouvé une forte contamination des eaux de puits de Niamey en coliformes

totaux et streptocoques fécaux. En Côte d'ivoire à Abengourou, Aka et *al*. (2013) ont denombré dans 28 % des eaux de puits analysées des souches de *Escherichia Coli.* Pourtant ces eaux souterraines sont exploités dans le quotidien de la population aussi bien en milieu urbain qu'en milieu peri urbain. L'eau de puits est surtout utilisé pour faire la vaiselle, laver les habits et pour la toilette. Elle est également utilisée comme eau de boisson. Selon Degbey et *al.* (2010), la qualité bacteriologique des eaux souterraines met en cause la contamination fécale de la nappe phréatique notamment par *Escchérichia Coli*. L'institut de santé publique de Québec (2004) recommande que l'eau contaminée par *Eschérichia Coli* soit préalablement bouillie pendant au moins une minute avant toute consommation afin d'éviter les maladies hydriques. Les résulats obtenus témoignent d'une contamination assez élevée de ces eaux. Cela peut également être dû à une infiltration des eaux du lac Toho. Les lacs sont des écosystèmes particuliers, bien souvent très riches en organismes vivants. Le développement de ces bactéries peut créer de graves problèmes dans les réseaux de distributions tels que la corrosion, la consommation du chlore et l'apparition de mauvais goût (Degremont,2005).

On note aussi d'après la figure 10 que tous les echantillons d'eaux analysées presentent des concentrations hors normes en fer car nettement superieure à la nome admise qui est de 0,3 mg/L.C'est la conséquence des puits abandonnés et transformés en dépotoirs d'ordures ménagères. Cette forte concentration n'est pas sans consequence sur la santé des populations riverraines ; elle peut influer sur la qualité organoleptique de l'eau. D'autres travaux de recherches ont montré que les metaux comme le plomb et le calcium sont toxiques pour l'homme (Testud, 2005).

3.5.2. Effets des protéines de *Azadirachta indica* et *Luffa cylindrica* sur les bactéries

L'efficacité antibacterienne des extraits de *Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica* a été testée contre des bactéries Gram negatives telles que colliformes fecaux ainsi que sur des Gram positives telles que *Enterococcus spp*. Ces resultats ont montré que les pourcentages d'élimination des bacteries croissent au fur et à mesure que la dose des coagulants augmente. En effet, on enregistre un abattement important des souches de *Enterococus spp* en utilisant respectivement les protéines de *Luffa cylindrica* allant de 83, 64% à 95,70% pour des concentrations allant de 60 mg /L à 400 mg/L et de 72,90% à 92,23% avec *Azadirachta indica* dans les concentrations de 60 mg/L à 400 mg/L. Quant à l'élimination des coliformes totaux, on observe un taux d'élimination de 100% aussi bien avec la protéine d'*Azadirachta indica* qu'avec la protéine de *Luffa cylindrica* dans une concentration de 400 mg/L.

Ces resultats confirment ceux obtenus par Pratibha et *al* (2020), ce qui montre que les coagulants utilisés ont un effet important sur l'élimination des micro-organismes pathogènes.

En effet, la capacité d'une matière naturelle à éliminer des polluants d'une eau dépend de sa composition chimique. Les graines de *Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica* sont toutes deux des matières naturelles composées respectivement des flavonoïdes, des anthocyanes, des composés réducteurs, des mucilages, des saponosides et des stéroïdes ; des anthocyanes et des alcaloïdes d'après les résultats phytochimiques qualitatifs obtenus. Le fort taux d'abattement des microbes au-delà de 90 % obtenu à l'issue du traitement est dû aux protéines et aux métabolites secondaires extraits des deux graines étudiées. Bien que l'extrait protéique de *L. cylindrica* renferme deux groupes de composés chimiques, son pouvoir d'abattement est légèrement supérieur à celui de *A. indica*. Cela pourrait être dû aux alcaloides qu'il renferme. En effet, selon Badiaga (2011), les alcaloïdes sont très recherchés pour leur large spectre d'activités pharmacologiques dont les propriétés antibiotiques, antiparasitaires, anesthésiques, anticancéreuses, analgésiques, antalgiques et spasmolytiques. Quant aux polyphénols, notamment les flavonoides identifiés dans *A. indica*, ils possèdent un large éventail d'activités biologiques antibactériennes, anti-inflammatoires anticancéreuses liées à leur caractère réducteur et à leur affinité pour les protéines et les ions métalliques ainsi qu'ils présentent des propriétés antioxydantes bien établies en lien avec l'inhibition des stress oxydants (Ozyilkan et al., 2005). En outre, les protéines extraits des graines sont des macromolécules qui possèdent des propriétés coagulantes à l'instar des coagulants métalliques. Il y a donc une justification de plus en plus convaincante que l'on pourrait trouver une certaine compatibilité entre les propriétés des groupes chimiques identifiés dans les graines de neem et de luffa étudiées, et l'abattement des charges bactériennes par coagulation. En effet, si les alcaloïdes induisent un effet antibactérien avéré, les composés réducteurs peuvent quant à eux, réguler la minéralisation de l'eau alors que les polyphénols notamment les flavonoïdes de par leurs propriétés chélatrices des métaux, peuvent constituer par complexation de bons piégeurs de métaux lourds, et tous ces résidus réactionnels seront entrainés par floculation et par décantation sous l'action des protéines qui possèdent un bon potentiel de coagulants naturels. Ce qui justifie l'abattement des charges bactériennes observé dans les eaux traitées.

On constate également que les essais de traitements effectués avec chacun des coagulants ont montré une constance du pH . Ceci est conforme aux travaux de Megersa et al., (2014) qui ont montré que l'utilisation d'extrait de graines de plantes ne crée pas de grands changements du pH.

CONCLUSION

Les sources d'eaux souterraines situées aux alentours du lac Toho au Bénin onté été échantillonnées et caractérisées sur les plans physico-chimique et bactériologiques. Les resultats des analyses physico-chimiques revelent que ces eaux présentent toutes des concentrations en Fer supérieures aux normes béninoises applicables aux eaux destinées à la consummation humaine. Par contre,les resultats des analyses bactériologiques montrent une contamination fécale importante de ces eaux par les coliformes totaux et fécaux, *Escherichia coli* et *Enterococcus*. Les eaux souterraines situées le long du lac Toho ne sont donc pas de bonne qualité et constitue de ce fait un danger pour la santé humaine. Les résultats des essais de traitement par procédé de coagulation-floculation montrent que les proteins extradites des grains de *Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica* sont efficaces dans l'élimination des bactéries présentes dans l'eau avec des taux d'élimination maximales de 100% et de 100% des coliformes totaux puis de 92,23% et de 95,70 %d'*Entérococcus* respectivement avec *Azadirachta indica* et *Luffa cylindrica* . Ces résultats ont montré que les proteines extraites des graines de *Azadirachta indica* et de *Luffa cylindrica* peuvent etre convenablement utilisées pour éliminer les bactéries des eaux.

PERSPECTIVES

En perspectives, il serait d'une grande utilité d'approfondir notre etude. Il s'agira de:

- Etudier l'effet synergique des extraits protéiques des deux graines *A. indica* et *L. cylindrica* sur le traitement de l'eau.
- Etudier l'effet des protéines d'*Azadirachta indica* et celui de *Luffa cylindrica* sur les pesticides.
- Etudier l'effet des protéines d'*Azadirachta indica* et celui de *Luffa cylindrica* sur la Demande Biologique en Oxygène(DBO) et la Demande Chimique en Oxygène(DCO).

Nous recommandons de:

- Procéder à un traitement chimique des eaux souterraines en utilisant par exemple un coagulant naturel.
- Procéder à une désinfection de l'eau en la chauffant avant toute consummation.
- Sensibiliser aux respects de l'hygiène autour de point d'approvisionnement en potable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adjagodo A, Micheline ADT, Nelly CK, Rébécca L, 2016. Flux des polluants liés aux activités anthropiques,risqué sur les ressources en eau de surface et la chaine trophique àtravers le monde : synthèse bibliographique. Int.j.Biol.Chem.Sci., 10(3): 1459-1472.

Ahmed, S., Bamofleh, M., Munshi, A., (1989) Culture du neem (Azadirachta indica) en Arabie Saoudite. Eco Bot, pp35-38.

Ahouansou ,M. 2005 : Etude de l'ecologie et de la production halieutique du Lac Toho au Bénin. Thèse de DESS,FSA/UAC . 83p

Aka et al,2013 :Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou(Sud-Est de la Cote d'Ivoire). *Larhyss Journal ,16 (2013) ,31 -52* .

Alexandrov et al,(2018). Retrievals of cloud droplet size from the research scaning polarimeter data : Validation using in situ measurements.Remote Sens. Environ,210 ,76- 95 .

Altını¸sık, A.; Gür, E.; Seki, Y. A natural sorbent, Luffa cylindrica for the removal of a model basic dye. J. Hazard Mater 2010, 179, 658–664.

Amine R, Abdelmalek A. 2012. Caractérisation physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Agrioun de la region de Bejaia. Diplome d'Ingénieur d'Etat en Ecologie et Environnement, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 54p

Adjagodo A, Micheline ADT, Nelly CK, Rébécca L, 2016. Flux des polluants liés aux activités anthropiques,risqué sur les ressources en eau de surface et la chaine trophique àtravers le monde : synthèse bibliographique. Int.j.Biol.Chem.Sci., 10(3): 1459-1472.

Ayed,W(2016): Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines:cas des puits de la region d'El-Harrouche. Thèse de doctorat en sciences, Université 20 Aoùt , Skikda,p156.

Badiaga. Mamadou, 2011: Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia* Smith, une plante médicinale africaine récoltée au Mali. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - ClermontFerrand II. Français. ffNNT : 2011CLF22187ff. fftel-00719564

Bengarine ,B. (2016):contribution à l'etude et l'evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consummation de la region ouest-Es Saoura cas de béni-Abbés, Ougarta et Zeghamra, memoire de master en microbiologie fondamentale et appliqué,Université Ahmed Benballa (oran).pp 65-67-133.

Bernard Claude, 1865 : Introduction à l'etude de la médecine expérimentale. Paris: Éditions Garnier-Flammarion, 1966, 318 pp.

Birech, S. & Messaoudi, I. (2006): La contamination des eaux par les metaux cas de chott Ain Beida de la region d'Ouargla. Memoire d'ingenieur, Université d'Ouargla p,22.

Boukari M.(2007). Hydrogéologie de la république du Bénin(Afrique de l'ouest) . Geoscience review,14 , 303-328 .

Dang et al,(2020) :The impact of earnings quality on firm value :The case of Vietnam.

Journal of Asian Finance,Economics, and Business,7(3),63-72.

Debabza, M. (2005): Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba.Evaluation de la resistance eaux antibiotiques des microorganismes pathogens,Mémoire de magister en Microbiologie appliquée Université Badji Mokhtar,Annaba.p23

Degbey et al,2010 : La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey en 2009 au Bénin (Afrique de l'ouest).Journal Int Santé Trav 2010 ;1 :15-22.

Dégremont. (2005): Mémento technique de l'eau,2ème edition,Tome 1.p35-50

Delmont, J (2016): Les enjeux de santé liée à la qualité de l'eau de boisson dans les pays en developpement.Faculté de médecine de Marseille. Atélier d'information sur la qualité de l'eau dans les projets de developpement des services d'eau potable.p56.

Desjardins, R.(1997) . Le traitement des eaux .Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal ,2ème edition revue et améliorée,304 p.

EPA. 2012. Recreational Water Quality Criteria.U.S.Environment. Protection Agency. 1-69p.

Gbaguidi J,(2018) : Contribution à la protection contre des pollutions chimiques des systèmes lentiques en région tropicale : le lac Toho au sud-Bénin, Afrique de l'ouest.Mémoire de master professionnel en hydrologie ,Université d'Abomey calavi, p 57.

Génoutdet.(2001): L'eau de robinet: de la source au verre.Extrait de dossier du bulletin de l'association médicale Kouzmine international.

Gnago AJ, Danho M, Agneroh, TA, Fofana, IK, Kohou AG, 2010. Efficacité des extraits de neem (*Azadirachta indica*) et de papayer (*Carica papaya*) dans la lutte contre les insectes ravageurs du gombo (*Abelmochus esculentus*) et du chou (*Brassica oleracea*) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4(4): 953-965.

Gomella ,Cyrille(2015) : Dureté de l'eau. Encyclopedia Universalis.

Grosconde,G.(1999) : Un point sur l'eau(l'eau milieu naturel et maitrise),Tome 1ère Edition., Inra, Paris.p 17-18.

Hawa, S. (2001):Analyse physico-chimique et bactérilogique L.N.S des eaux de consummation de la ville de Bamako, Université de Bamako. pp18-19

Hélène, 2000, Thèse d'ingenieurs du genie sanitaire Qualité microbiologique des eaux brutes par BRL,l'Ecole Nationale de la Santé Publique de Languedoc-Roussillon (France), 2000,p81.

Henini, G.; Laidani, Y.; Souahi, F.; Hanini, S. 2012, Study of static adsorption system phenol/*Luffa cylindrica* fiber for industrial treatment of wastewater. *Energy Procedia*, 18, 395–403.

Hernandez et al,2006. Sub-lethal concentrations of waterborne copper are toxic to lateral line neuromasts in zebrafish(Danio rerio), *Journal Hearing Research,213(1-2) :1-10* .

Iqbal, M.; Edyvean, R. , 2004Alginate coated loofa sponge discs for the removal of cadmium from aqueous solutions. *Biotechnol. Lett*. 26, 165–169.

Jahn Al Azharia Samia, 1988, Using Moringa Seeds as Coagulants in Developing Countries. *Journal American Water Works Association* 80 (6) : 43-50.

Julien, M. (2007): Un point sur l'eau.Tome 1ère Edition , Inra, Paris, p17-18.

Ketchemen-Tandia et al, 2017. Factor influencing the shallow Groundwater Quality in four districts with different characteristics in urban area (Douala ,Cameroon).

Journal of Geoscience and Environment Protection,5,99-120 .

Megersa et al,(2014) . The use of indigenous plant species for drinking water treatment in developing contries :a review .

Journal of Biodiversity and Environmental Sciences,5, No 3,p 269-281 .

Laidani, Y.; Hanini, S.; Henini, G., 2011. Use of fiber *Luffa cylindrica* for waters traitement charged in copper. Study of the possibility of its regeneration by desorption chemical. *Energy Procedia*, 6, 381–388.

Li, S.; Liu, F.; Su, Y.; Shao, N.; Yu, D.; Liu, Y.; Liu, W.; Zhang, Z. Luffa sponge-derived hierarchical meso/macroporous boron nitride fibers as superior sorbents for heavy metal sequestration. J. Hazard. Mater. 2019, 378, 120669.

Liu, Z.; Pan, Y.; Shi, K.; Wang, W.; Peng, C.; Li, W.; Sha, D.; Wang, Z.; Ji, X, 2016, Preparation of hydrophilic luffa sponges and their water absorption performance. *Carbohydr. Polym.* 147, 178–187.

Margat,1992 :L'eau dans le bassin méditerranéen .Situation et perspective. Edition :Harmattan.

Mededa ,N.(1998) : L'environnement et sa dynamique dans le bassin du Lac Toho de kpinnou. Mémoire de maitrise,UAC , Cotonou Bénin 72p .

Mouffok,2008. Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratiques des eaux . Institut Pasteur d'Algérie 2008 ,p :5.

Ndabigengesere, A. et K.S. Narasiah, 1998. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds, *Wat. Res*. 32 (3) : 781-791.

Nnaji,C. and Ozor,N.(2011). The role of extension in agricultural adaptation to climate changein Enugu State,Nigeria. Journal of Agricultural Extension and Rural Development ,3(3) :42-50 .

OMS (2014): Surveillance de la qualité de l'eau de boisson. OMS: Genève, 1977; 143 p.

Ozyilkan O., Colak D., Akcali Z., Basturk B., 2005. Olive : Fruit of Peace Against Cancer. *Asian Pacific J Cancer Prev,* 6**:** 77-82

PNE-Bénin (2018) :Mort massive des poissons dans le Lac Toho : un cas problématique de ma GIRE, Global Water Partenership West Africa (Tomards a water secure world) du 01/06/2018 consulter le (date) http://gwppnebenin.org/mort-massive-des-poissons-dans-le-lac-toho-un-cas,1155.html#forum391

PNUD(2018) :Rapport annuel/ Programme de Développement des Nations Unies. https://www.undp.org/fr/publications/pnud-rapport-annuel-2018

Pratibha Pandey, Fahad Khan, Varish Ahmad, Abhimanyu Singh, Taniya Shamshad Rashmi , Mishra1, 2020, Combined efcacy of *Azadirachta indica* and *Moringa oleifera* leaves extract as a potential coagulant in ground water treatment, *SN Applied Sciences* 2:1300 https://doi.org/10.1007/s42452-020-3124-2

Rejsek F,(2002) : Analyse des eaux-aspects ,réglementations et techniques , biologie technique CRDP d'aquitaine p : 358 .

Rembold, H., (1996) Neem et son developpement general dans la lute antiparasitaire. Dans neem et Envirronnement (Vol.I) Oxford et IBH Publishing Co.Pvt.Ltd., New Delhi, Inde.

Rodier,J.(1996) : L'analyse de l'eau ,8ème Edition. Dunod, Paris, 1384pp

Rodier, J. (2005): L'analyse de l'eau ,8ème Edition. Dunod, Paris, p 1383-1479 .

Rodier J et al. (2009): L'analyse de l'eau , 9ème Edition, Ed Dunod, p1579.

Steesh, MK, (1998):Enquetes microbiologiques sur la maladie de dépérissement du neem(Azadirachta indica) Thèse de doctorat. Université de Mysore, Inde.

Schulz, C.R. and Okun, D.A. (1984) Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries. John Wiley and Sons, NewYork.

Siddiqui, B. S., Afshan, F., Gulzar, T., et al., (2004) Tetracyclic triterpenoids from the leaves of Azadirachta indica. Phytochemistry 65: 2363-2367.

Siddiqui, S., Faizi, S., Siddiqui, B.S., et al., (1992)Constituents of Azadirachta indica :isolation and structure elucidation of a new antibacterial tetranortriterpenoid, mahmoodin, and a new protolimonoid, naheedin. J Nat Prot, 55:303-310.

Testud,F.(2005). Pathologie toxique professionnelle et environnementale. 3ème Edition Eska,Paris ,672p .

Vandal J, Abou-Zaid MM, Ferroni G, Leduc LG. 2015, Antimicrobial activity of natural products from the flora of Northern Ontario, Canada. Pharm Biol;53(6):800-806.

Vilagines ,2000 : Eau,environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie . Londres-Paris-New-York . 174p

Wang Jingfa, Li Jian, Cao Jiankang, Jiang Weibo, 2010. Antifungal activities of neem (Azadirachta indica) seed kernel extracts on post harvest diseases in fruits. *African Journal of Microbiology Research* 4(11): 1100-1104.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE i
DEDICACE ii
REMERCIEMENTS iii
SIGLES ET ABREVIATIONS iv
LISTE DES FIGURES v
LISTE DES TABLEAUX vi
RESUME 1
ABSTRACT 1
INTRODUCTION 2
1. REVUE DE LITTERATURE 5
1. Revue de litterature 6
1.1. Définition de l'eau et composition 6
1.2. Cycle de l'eau 6
1.2.1. Eaux pluviales 7
1.2.3. Eaux de surface 8
1.3. Caractéristiques d'une eau potable 8
1.4. Différents usages de l'eau 9
1.5. Paramètres physico-chimiques des eaux 9
1.5.1. La température 9
1.5.2. Le pH 10
1.5.3. La conductivité électrique 10
1.5.4. La turbidité 10
1.5.5. L'oxygène dissous 10
1.5.6. La dureté totale (TH) 10
1.6. Paramètres bactériologiques des eaux 10
1.6.1. Les coliformes totaux 11
1.6.2. Les coliformes fécaux 11
1.6.3. Les streptocoques fécaux 11
1.7. Normes Béninoises de la qualité bactériologique des eaux souterraines 11
1.8. Normes Béninoises de la qualité physico-chimique des eaux souterraines 12
1.9. Les procédés de traitement de l'eau potable 12
1.9.1. Prétraitement 13
1.9.2. Clarification 13

1.10. Le traitement secondaire 13
1.11. Le traitement tertiaire 15
1.12. Utilisation de *Azadirachta indica* dans le traitement des eaux 15
1.13. Utilisation de *Luffa cylindrica* dans le traitement des eaux 16
2. Cadre d'étude, matériel et méthodes 19
2.1. Cadre d'étude 19
2.1.1. Cadre institutionnel 19
2.1.2. Cadre de travail 19
2.2. Zone d'étude 19
2.3. Matériel et méthodes 20
2.3.1. Echantillonnage 20
2.3.2. Analyses physico-chimiques et bactériologiques 21
2.3.2.1. Analyses physico-chimiques 21
2.3.2.2. Recherche bactériologique 24
2.3.3. Extraction 26
2.3.3.1. Extraction de la protéine de *Luffa cylindrica* (Luff-prot) 26
2.3.3.2. Extraction de la protéine de *Azadirachta indica* (Az-prot) 26
2.3.4. Caractérisation phytochimique des protéines extraites des graines de *Luffa cylindrica* et de *Azadirachta indica* 27
2.3.5. Essais de traitement 29
3. RESULTATS ET DISCUSSION 30
3. Résultats et discussion 31
3.1. Résultats des paramètres physico-chimiques 31
3.2. Résultats des paramètres bactériologiques 32
3.3. Caractérisation phytochimiques des extraits 34
3.4. Résultats issus du traitement 34
3.5. Discussion 36
3.5.1. Qualité des eaux souterraines 36
3.5.2. Effets des protéines de *Azadirachta indica* et *Luffa cylindrica* sur les bactéries 37
CONCLUSION 39
PERSPECTIVES 39