

REPUBLIQUE DU BENIN

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI



INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation réalisé et soutenu par

OFFIN William

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER PROFESSIONNEL EN HYDROLOGIE

OPTION : ECOHYDROLOGIE

THEME :

**UTILISATION DES EXTRAITS DES FEUILLES DE *EICHHORNIA CRASSIPES* ET
EUPHORBIA PROSTATA DANS LE TRAITEMENT DES EAUX DE LA LAGUNE
CÔTIÈRE DE OUIDAH**

ENCADREUR

Dr Hyacinthe F. AGNIMONHAN

Maître Assistant (CAMES)

SUPERVISEUR

Professeur Waris K. CHOUTI

Professeur Titulaire (CAMES)



PROMOTION : 2021-2022

DEDICACES

Je dédie ce travail

☞ **A mon feu Père OFFIN Jean Victor**

Vous avez toujours voulu assurer un avenir meilleur à vos enfants.

Vos efforts ont porté leurs fruits.

Recevez de là-haut ma profonde reconnaissance.

Papa, que votre âme repose en paix !

☞ **A ma Mère ODJO Rabiatou**

Vous m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'étude.

Par vos précieuses prières, vous m'avez donné la force de persévérer dans ce travail.

Reçois également maman ma profonde gratitude.

Soyez bénis chers parents

William OFFIN

REMERCIEMENTS

Avant tout propos, nous témoignons notre profonde gratitude à Dieu le Père Tout Puissant qui nous a gardé durant cette formation. Gloire et Honneur en ton saint nom. Amen !!!

Ce travail a été réalisé grâce au soutien et la collaboration de plusieurs personnes à qui nous exprimons notre reconnaissance.

J'adresse mes sincères remerciements aux :

- **Professeur Waris K. CHOUTI**, Professeur Titulaire des Universités du CAMES, superviseur du présent travail pour sa disponibilité, ses suggestions et recommandations qui ont permis son bon aboutissement. Que Dieu le protège et l'élève dans sa carrière professionnelle.
- **Docteur Hyacinthe F. AGNIMONHAN**, Maître-Assistant des Universités du CAMES, Encadrant du travail pour sa disponibilité, ses conseils de tout ordre. Que Dieu dans sa bonté infinie lui accorde la santé, la prospérité financière et lui permette d'obtenir beaucoup d'opportunités dans sa carrière professionnelle.
- **Professeur Fernand A. GBAGUIDI**, Directeur de Laboratoire de Chimie Organique, Physique et Synthèse (LACOPS), pour m'avoir accueilli et accepté de faire mes travaux de recherche. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.
- **Docteur GLINMA Bienvenu**, Maître de Conférences des Universités du CAMES et Enseignant à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi (FAST/UAC) pour sa disponibilité et ses suggestions lors des travaux de phytochimie. Que Dieu le bénisse et le comble de ses attentes.
- **Docteur Nafiou CHITOU de la FAST** pour sa disponibilité lors des travaux de terrain et ses apports et suggestions dans la rédaction du mémoire. Que Dieu le bénisse et l'accompagne dans la suite de ses recherches et projets.
- **Docteur Lucinde BOCODAH** pour ses conseils et aides. Que Dieu la protège et lui accorde la santé et la prospérité dans ses recherches et projets.
- **Docteur Rachel ARAYE**, Assistant Technique au Partenariat national de l'eau (PNE) pour ses conseils, encouragements et disponibilité dans la relecture de ce mémoire. Que Dieu la bénisse et lui accorde une prospérité dans ses projets.

J'exprime également ma profonde gratitude :

- Au **Professeur Daouda MAMA**, Directeur de l'Institut National de l'Eau

- Au **Docteur Flavien E. DOVONOU**, Chef du Département Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau de l'Institut National de l'Eau
- Au **Docteur Abdoukarim ALASSANE**, Coordonnateur des masters en Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau de l'Institut National de l'Eau
- Au personnel administratif de l'Institut National de l'Eau
- A tous les enseignants de l'Institut National de l'Eau, en particulier ceux qui interviennent dans notre formation, pour la qualité des enseignements donnés
- Un particulier remerciement **aux Docteurs Clément BALOGOUN, Amédée CHABI et Ezéchiél OBADA** pour leurs conseils et aides durant mes années de formation. Que Dieu les bénisse et les assiste dans leurs projets.

Une pensée particulière à l'endroit de :

- Mes frères et sœurs : **Yvette, Olivier, Chantal, Parfait, Prosper, Bibiane et Sidonie** pour leurs soutiens
- **Ma compagne Dorcas DAVES et ma fille Ayodélé Stécy C. OFFIN** pour les sacrifices et les efforts partagés
- Mon ami et aîné **Martin S. NOUKOUSSI, Ingénieur Hydrologue** pour m'avoir orienté vers cette formation et pour son aide dans la rédaction de ce mémoire
- A mes collègues de LACOPS : **BOCODAHO Habib, NOUDAÏKPO Véronique et LEODE Augustin** pour les coups de main lors des manipulations
- A mes camarades de formation pour leurs solidarités. Recevez ici ma profonde gratitude.

A tous, je dis un seul mot en espérant qu'il soit plus significatif que toutes les phrases :
MERCI !

RESUME

L'utilisation des bio-coagulants d'origine végétale dans le traitement des eaux est une quête perpétuelle. Ce présent travail contribue à la valorisation de *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostata* deux plantes de la flore béninoise utilisées dans le traitement des eaux. Ces deux plantes ont été choisies pour traiter l'eau de la lagune côtière de Ouidah.

Un échantillonnage de l'eau de la lagune a été effectué sur cinq sites : Togbin, Hyo, Avlékété, Agouin et Djègbadji pour la détermination des paramètres physico-chimiques et la teneur en ETM (Eléments Traces Métalliques).

Les paramètres physico-chimiques (pH, température, turbidité, salinité, conductivité, TDS et l'Oxygène dissous) ont été mesurés à l'aide d'un multi-paramètre. La teneur en ETM a été analysée par la méthode de spectrophotomètre d'absorption atomique. Il ressort que les échantillons contiennent de fortes teneurs de métaux lourds tels que le Cu, le Pb et le Cd. Le site de Agouin présente un fort taux de ces métaux Cu (13,05mg/l), Pb (14,59mg/l) et Cd (8,7mg/l).

Des analyses physico-chimiques des extraits aqueux et organiques (Ethanolique, méthanolique et hydro-éthanolique) des deux plantes ont été effectuées. La méthode de bicinchoninate a révélé que l'extrait éthanolique de *Eichhornia crassipes* et l'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata* ont un pouvoir absorbant plus intéressant que les autres extraits des plantes. L'analyse phytochimique de l'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata* montre la présence des tanins catéchiques et galliques contrairement l'extrait éthanolique de *Eichhornia crassipes* riche uniquement en tanins catéchiques.

Le traitement des échantillons par les extraits éthanoliques de *Eichhornia crassipes* et hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata* a été fait. Il ressort que l'extrait éthanolique de *Eichhornia crassipes* a un pouvoir absorbant en Cu, Pb et Cd avec un fort taux d'absorption du Cu (95,35%), Pb (93,46%) et Cd (49,97%) pour certains échantillons.

Quant à l'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata*, un fort pouvoir d'absorption a été observé : Cu (96,07%), Pb (97,01%) et Cd (59,86%) pour certains échantillons. Ce qui fait de ces plantes de très bons candidats bio-sorbants des ETM dans le traitement des eaux de surface.

Mots clés : Phytochimie, tanins, absorbant, ETM, lagune côtière de Ouidah.

ABSTRACTS

The use of bio-coagulants of plant origin in water treatment is a perpetual quest. The present work contributes to the valorization of *Eichhornia crassipes* and *Euphorbia prostata*, two plants of the Benin flora used in water treatment. These two plants were chosen to treat water from the Ouidah coastal lagoon.

Lagoon water was sampled at five sites: Togbin, Hyo, Avlékété, Agouin and Djègbadji to determine physico-chemical parameters and TME (Trace Metal Elements) content.

Physico-chemical parameters (pH, temperature, turbidity, salinity, conductivity, TDS and dissolved oxygen) were measured using a multi-parameter system. TME content was analyzed using the atomic absorption spectrophotometer method. Samples were found to contain high levels of heavy metals such as Cu, Pb and Cd. The Agouin site has high levels of Cu (13.05mg/l), Pb (14.59mg/l) and Cd (8.7mg/l).

Physico-chemical analyses of aqueous and organic extracts (ethanolic, methanolic and hydro-ethanolic) of both plants were carried out. The bicinchoninate method revealed that the ethanolic extract of *Eichhornia crassipes* and the hydro-ethanolic extract of *Euphorbia prostata* have a more interesting absorbing power than the other plant extracts.

Phytochemical analysis of the *Euphorbia prostata* hydro-ethanolic extract showed the presence of catechic and gallic tannins, unlike the ethanolic extract of *Eichhornia crassipes*, rich only in catechic tannins.

Samples were treated with ethanolic extracts of *Eichhornia crassipes* and hydro-ethanolic extracts of *Euphorbia prostata*. The ethanolic extract of *Eichhornia crassipes* was found to absorb Cu, Pb and Cd, with high absorption rates for Cu (95.35%), Pb (93.46%) and Cd (49.97%) in some samples. As for the hydro-ethanol extract of *Euphorbia prostata*, a high absorption capacity was observed: Cu (96.07%), Pb (97.01%) and Cd (59.86%) for some samples. These plants are therefore excellent candidates for the bio-sorption of TMEs in surface water treatment.

Key words: Phytochemistry, tannins, sorbent, ETM, Ouidah coastal lagoon.

SOMMAIRE

DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	v
ABSTRACTS.....	vi
SOMMAIRE	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES PHOTOS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES ACRONYMES	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	5
1.1. Généralité sur l'eau.....	6
1.2. Généralité sur les Eléments Traces Métalliques (ETM).....	10
1.3. Généralité sur les plantes.....	13
CHAPITRE 2 : CADRE D'ÉTUDE, MATÉRIEL ET MÉTHODE	17
2.1. Cadre d'étude	18
2.2. Présentation de la zone d'étude	18
2.3. Matériel.....	22
2.4. Méthodes	26
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	31
3.1. Resultats	32
3.2 Discussion	39
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	41
CONCLUSION	42
PERSPECTIVES.....	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	43
REFERENCES ET WEBOGRAPHIES.....	44
Table des matières	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : les différentes phases du cycle de l'eau	6
Figure 2 : Carte de la situation géographique de la zone d'étude	19
Figure 3: Carte de la localisation des sites d'échantillonnage	23
Figure 4 : Variabilité de la teneur du Cu dans les échantillons avant et après traitement.	36
Figure 5 : Variabilité de la teneur du Pb avant et après traitement dans les échantillons	37
Figure 6 : Variabilité de la teneur du Cd dans les échantillons avant et après traitement.....	37

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : <i>Eichhornia crassipes</i>	13
Photo 2 : <i>Euphorbia prostata</i> :	15
Photo 3 : Feuille de <i>Eichhornia crassipes</i>	Erreur ! Signet non défini.22
Photo 4 : Feuille de <i>Euphorbia prostata</i>	25
Photo 5 : Multi-paramètre.....	Erreur ! Signet non défini.25
Photo 6 : Bouteille d'eau prélevée.....	25
Photo 7 : Agitateur magnétique	25
Photo 8 : pH-mètre	Erreur ! Signet non défini.25
Photo 9 : Mortier en aluminium.....	28
Photo 10 : Echantillonnage d'eau.....	29
Photo 11 : Aspect de l'eau après ajout de l'extrait A1 dans le tube témoin	29
Photo 12 : Aspect de l'eau après ajout de l'extrait B2 dans le tube témoin.....	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau.....	9
Tableau II : Code de couleurs du SEQ-Eau	9
Tableau III: Norme de qualité physico-chimiques des eaux de surface	10
Tableau IV : Sites d'échantillonnage et les raisons de choix.....	23
Tableau V : Appareils utilisés	24
Tableau VI : Récapitulatif des réactions du screening phytochimique	27
Tableau VII: Screening de <i>Eichhornia crassipes</i>	32
Tableau VIII : Screening de <i>Euphorbia prostata</i>	33
Tableau IX : Rendement du test de cuivre	34
Tableau X : Résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau avant et après traitement	35
Tableau XI : Résultats des ETM dans les échantillons avant et après traitement	36
Tableau XII : Pourcentage d'absorption des ETM par l'extrait éthanoïque de <i>Eichhornia crassipes</i>	38
Tableau XIII : Pourcentage d'absorption des ETM par l'extrait hydro-éthanoïque de <i>Euphorbia prostata</i>	38

LISTE DES ACRONYMES

°C	: Degré Celsius
As	: Arsenic
Cd	: Cadmium
Co	: Cobalt
Cr	: Chrome
Cu	: Cuivre
DBO	: Demande Biochimique en Oxygène
ETM	: Eléments Traces Métalliques
HCDH	: Haut-Commissariat des Droits de l'Homme
Ni	: Nickel
ODD	: Objectifs de Développement Durable
Pa	: Pascals
Pb	: Plomb
SEQ-Eau	: Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau
TDS	: Total Dissolved Solid
NTK	: Azote Total Kjeldahl
WH	: Water Hyacinth
Zn	: Zinc
pH	: Potentiel Hydrogène

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

L'adage « l'eau, c'est la vie » montre à quel point l'eau est essentielle et indispensable à la vie. Comme le disait Antoine de Saint-Exupéry « l'eau n'est pas nécessaire à la vie, elle est la vie ». Elle y trouve son importance non seulement comme nutriment de premier ordre, mais aussi dans toutes les activités qui impulsent le développement local, en occurrence, la pêche, l'agriculture, le tourisme balnéaire, l'économie industrielle et les pratiques informelles.

La disponibilité de l'eau propre constitue l'un des objectifs du développement durable (ODD), (ODD N°6) qui consiste à la remédiation aux énormes inégalités entre les pays et au sein de ces derniers en matière d'accès aux services de base concernant l'eau et l'assainissement. Selon le Haut-Commissariat des Droits de l'Homme (HCDH), à l'échelle mondiale, 2,1 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et disponible à domicile et 4,5 milliards de personnes ne disposent pas d'un système d'assainissement géré de manière sûre (OHCHR, 2020). En effet, l'évolution démographique et l'urbanisation accélérée intensifient les problèmes d'eau dans les pays en développement, au point de devenir une préoccupation majeure à laquelle sont confrontées les autorités pour la disponibilité et la gestion de l'eau propre.

Le réseau hydrographique du Bénin est assez dense et appartient à deux grands bassins : celui du Niger au Nord du Bénin et celui côtier au Sud (Fiogbe et Gbaguidi, 1999). Ce réseau est composé de cours d'eau, de lacs et de lagunes qui représentent la majeure partie des eaux de surface. Ces eaux de surface sont fortement eutrophes en raison des pratiques agricoles qui se reposent essentiellement de nos jours sur l'utilisation des engrais, des pesticides, des produits phytosanitaires et surtout des déchets domestiques (Dedjiho et al., 2013).

Les lagunes sont sujettes à de nombreux cas de pollution anthropique. Il s'agit notamment des dépotoirs sauvages d'ordure au niveau des rives de la lagune, le ruissellement des eaux usées dans la lagune ainsi que le rejet direct des fèces dans la lagune ou par l'intermédiaire des latrines non étanche (Chouti et al., 2017). Ces pratiques entraînent le flux d'éléments nutritifs, chimiques, et pathogènes vers les eaux de surface et créent un déséquilibre de l'écosystème en contribuant à sa dégradation (Lawani et al., 2017).

Beaucoup d'études ont montré la présence des éléments traces métalliques (ETM) tels que le Cuivre (Cu), le Zinc (Zn), le Fer (Fe), le Plomb (Pb), le chrome (Cr) et le Cadmium (Cd) au niveau de certaines lagunes (Bocodaho et al. 2020). Ces ETM ont un effet néfaste sur la santé humaine et des microorganismes. La protection de ces eaux de surface est essentielle à la fois

pour maintenir l'équilibre des espèces aquatiques et pour une alimentation saine des populations qui les utilisent à diverses fins (Hounkpè et al. 2017). Les systèmes de traitement des eaux usées en vue de leur purification et potabilisation ont été développés avec des conséquences néfastes sur la santé (Lugo-Arias et al. 2020).

Les bio-coagulants, les bio-floculants et bio-sorbants sont des substances alternatives aux coagulants et aux floculants chimiques courants. Ils peuvent être extraits d'animaux, de microorganismes et de plantes. Les bio-coagulants à base des feuilles des plantes dans le procédé de traitement des eaux par coagulation et floculation doivent être valorisés en raison de leur disponibilité et de leur biodégradabilité (Benalia et Derbal 2023).

Eichhornia crassipes et *Euphorbia prostata* sont des plantes de la flore béninoise. Des études ont montré que *Eichhornia crassipes* possède des capacités de phytoaccumulation de polluants métalliques et est capable de bioconcentrer des métaux toxiques tels que Cr, Cu, Co, Ni, Zn, Pb, Cd et As dans son système racinaire (Goswami et Das 2018). De plus, Yovo et al (2017) a montré que *Eichhornia crassipes* en combinaison avec *Thania géniculata* ont un fort pouvoir de séquestration de l'azote dans les eaux usées par phytoremédiation. Cependant, la littérature ne fait pas cas de l'utilisation des extraits de cette plante dans le traitement des eaux usées au Bénin. Par contre, *Euphorbia prostata*, n'a pas été objet d'étude dans le traitement des eaux usées à notre connaissance.

Dans le présent travail, nous contribuons à mieux faire connaître les avantages des plantes bio-coagulantes.

De façon générale, ce travail vise à traiter les échantillons d'eau des cinq sites par les extraits des plantes *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostata*

Il s'agit spécifiquement de :

- Faire le screening phytochimique de *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostata*
- Déterminer les teneurs des échantillons d'eau prélevés en Cu, Zn, Pb et Cd
- Evaluer le pouvoir absorbant des extraits aqueux et organiques des plantes *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostata*.

HYPOTHESES

Pour atteindre les objectifs de notre travail, les hypothèses suivantes ont été émises :

Hypothèse 1 : Le screening phytochimique relèverait la présence de famille de composés chimiques intéressants dans certains extraits des plantes

Hypothèse 2 : La lagune côtière de Ouidah serait contaminée par de fortes teneurs en ETM.

Hypothèse 3 : *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostata* possèderaient un pouvoir absorbant très intéressant.

Le présent document est structuré en trois chapitres :

- Le premier concerne la synthèse bibliographique
- Le deuxième, la présentation du cadre d'étude, les analyses et méthodes adoptées et
- Le dernier, les résultats et discussion.

C

HAPITRE 1 :

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralité sur l'eau

1.1.1. Composition chimique et cycle de l'eau

L'eau (en latin *aqua*, qui signifie aquatique et en grec *hydros*, qui signifie hydrique, hydrologie) est une substance sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante) (<https://www.futura-sciences.com>).

Elle est une substance incolore, inodore, insipide qui couvre trois quart de la surface terrestre et qui joue un rôle primordial dans la vie (<https://www.futura-sciences.com>). Elle est composée sous forme dissoute ou en suspension des substances minérales et organiques. Les principales substances minérales sont : les ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), carbonate (CO_3^{2-}), hydrogénocarbonate aussi appelé bicarbonate (HCO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}), chlorure (Cl^-) et nitrate (NO_3^-).

Les matières organiques peuvent être présentées sous forme dissoute (carbohydrates, acides humiques, pigments et composés d'origine artificielle comme les solvants chlorés ou les pesticides), ou en suspension (déchets végétaux, plancton...) (<https://www.futura-sciences.com>)

Le cycle de l'eau ou cycle hydrologique correspond à l'ensemble des transferts d'eau entre les réservoirs d'eau sur la terre. Le moteur de ce cycle est l'énergie solaire qui, en favorisant l'évaporation de l'eau, entraîne tous les autres échanges (précipitation, ruissellement, infiltration, condensation).

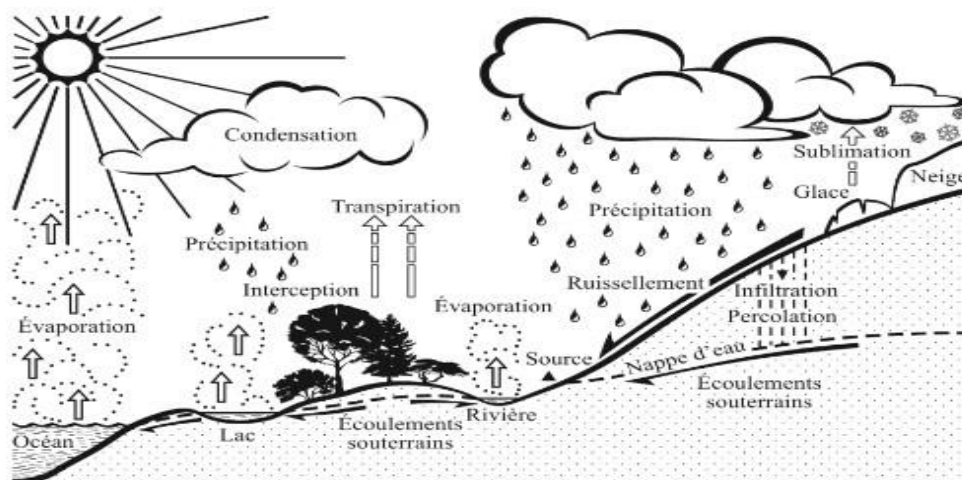


Figure 1 : les différentes phases du cycle de l'eau (Ancitil, Rousselle, et Lauzon 2012)

1.1.2. Caractéristiques de l'eau

➤ Propriétés physiques de l'eau

L'eau se trouve à l'état liquide, solide et gazeux avec des températures de changement de base respectives :

Température de fusion : 0°C

Température d'ébullition : 100°C

Elle possède d'autres caractéristiques physiques comme la capacité thermique, la conductivité électrique... qui diffèrent en fonction de son état. (Bouzit, 2012)

➤ Propriétés chimiques de l'eau

L'eau de par ses propriétés électriques et sa constitution moléculaire intervient dans la mise en solution des corps gazeux, liquide et surtout solide. Les mécanismes résultants sont la solvation et la dissolution (Bouzit, 2012).

➤ Propriétés biologiques de l'eau

L'eau est le principal constituant (en volume) des êtres vivants. Voici quelques chiffres montrant la quantité d'eau présente dans les organismes vivants

- nouveau-né : 66 à 75 %,
- adulte : 58 à 70 %,

Elle compose aussi la plus grande partie de nos aliments (70 à 95 % de la plupart de nos viandes et de nos fruits et légumes). (Mouchet et al. 2016)

1.1.3. Paramètres physico-chimiques des eaux superficielles

❖ pH

Le pH de l'eau exprime l'acidité ou la basicité d'une eau naturelle par la concentration en ions hydronium (H_3O^+) libérés qu'elle contient. La détermination de l'équilibre acido-basique permet grâce à sa grande sensibilité de mettre en évidence et d'interpréter certaines des variations profondes qui se produisent. La mesure du pH est une opération indispensable (Chartier, 1963). Elle se fait à l'aide du pH-mètre.

❖ Température

La température est le caractère déterminant le plus important de la qualité d'une eau (Smith, 1981). La variation de la température des eaux de la lagune suit étroitement la variation de la température atmosphérique. En effet, elle varie entre 15,72 et 22,33 °C à marée haute et entre 12,95 et 30,78 °C à marée basse (Labbardi et al. 2005).

❖ Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau traduit sa capacité à conduire le courant électrique. Elle est directement liée à la force ionique qui découle des formations traversées par cette eau dans le bassin hydrogéologique ainsi qu'à son temps de séjour dans le réservoir. La mesure se fait à l'aide d'un conductimètre (Loukman et al. 2017).

❖ Salinité

La salinité exprime la quantité de sels dissous dans une eau. Les sels dissous dans l'eau exercent une pression osmotique sur les organismes qui y vivent (Bocodaho et al. 2020). Elle dépend des apports respectifs d'eau douce du bassin versant et par la pluie, et des apports d'eau de la mer. Toutes les espèces supportent des conditions de très faible salinité excepté les espèces franchement marines (Grillas et Lefeuvre 1992).

❖ Turbidité

La turbidité représente la quantité de matière contenue dans un échantillon et qui le rend trouble (Dovonou et al. 2022). La turbidité naturelle est due à la présence des matières en suspension (MES) dans l'eau. Elle peut être causée par des phénomènes naturels ou par l'impact des activités humaines entourant les lagunes (Charpentier et al. 2005). Elle résulte des activités humaines généralement causées par l'augmentation des nutriments dans l'eau (eutrophisation) et qui provoque une augmentation du phytoplancton.

❖ Oxygène dissous

L'oxygène dissous met l'accent sur la dégradation des substances organiques et la mobilisation potentielle de certains ETM. Il est étroitement lié à l'origine de l'eau. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques (Patil 2012). Une faible quantité d'oxygène constitue un risque pour la vie aquatique et conduit à la pollution de l'eau (Dedjiho et al. 2013)

❖ TDS (Total Dissolved Solids)

Les TDS renseignent sur la teneur en sels de l'eau (Adjahossou 2014). Un TDS trop élevé ou très faible ralentit la croissance et conduit à la mort de plusieurs organismes (Subin et Husna, 2013).

1.1.4. Norme de la qualité d'une eau

Les tableaux I, II et III présentent la grille d'appréciation de la qualité générale d'une eau, les codes de couleurs et la qualité physico-chimique des eaux de surface.

Tableau I: Grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau (Source : Ifremer, 2000)

Paramètres	Unités	Classes de qualité				
Température	°C	24	25,5	24	28	28
Oxygène dissous	Mg/L O ₂	8	6	4	3	3
pH	(-) min	6,5	6	5,5	4,5	4,5
	(-) max	8,2	8,5	9	10	10
Conductivité	mS/cm	2,5	3	3,5	4	4
Turbidité	NTU	15	35	70	105	105
Ammonium	mg/L	0,5	1,5	4	8	8
COD	mg/L	5	7	10	12	12
Nitrates	mg/L	2	10	25	50	150
Nitrites	mg/L	0	0,3	0,5	0,75	1
Phosphates	mg/L	0,1	0,5	1	2	2
Chlorures	mg/L	62,5	125	190	250	250
Sulfates	mg/L	62,5	125	190	250	250
Calcium	mg/L	24	18	12	0	
	mg/L	160	230	300	500	
Magnésium	mg/L	50	75	100	400	400
Sodium	mg/L	200	225	250	750	750
Potassium	mg/L	12	135	15	70	70

Tableau II : Code de couleurs du SEQ-Eau

Indices	Classes	Qualités
100-80	Bleu	Très bonne
60	Vert	Bonne
40	Jaune	Passable
20	Orange	Mauvaise
0	Rouge	Très mauvaise

Tableau III: Norme de qualité physico-chimiques des eaux de surface (REEE-ESC, 2016)

Paramètres	Norme de qualité
Température	35°C
pH	(6 ; 9)
MES	25
Conductivité	800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
NH_4^+	0,1 – 0,5 mg.L^{-1}
NO_3^-	10 – 50 mg.L^{-1}
NO_2^-	0,1 – 0,3 mg.L^{-1}
SO_4^{2-}	500 mg.L^{-1}
PO_4^{2-}	0,1 - 0,5 mg.L^{-1}
Fe	0,3 mg.L^{-1}
Cr	0,05 mg.L^{-1}
Zn	5 mg.L^{-1}
Cu	1 mg.L^{-1}
Pb	0,01 mg.L^{-1}
Cd	0,005 mg.L^{-1}

1.2. Généralité sur les Eléments Traces Métalliques (ETM)

1.2.1. Définition et origine des ETM

Les éléments traces (ET) sont les 80 éléments chimiques constituant la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0,1 %. Ils ne représentent à eux tous que 0,6 % du total, alors que les 12 éléments majeurs (O ; Si ; Al ; Fe ; Ca ; Na ; K ; Mg ; Ti ; H ; P ; Mn) représentent 99,4 %. Certains éléments traces sont des métaux (ETM) par exemple le Cd, Cr, Zn, Pb, Cu d'autres sont des non-métaux (As, Se, B). Certains ET sont indispensables aux processus biologiques donc à la production agricole végétale et animale : ce sont les oligoéléments (Zn, Cu, Cr, Mo, B) d'autres par contre ne jouent aucun rôle utile : Cd, Pb, Hg, Sn. Ils sont tous potentiellement polluants. Cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (sols, air, eau, sédiments) mais surtout de leur forme chimique (spéciation) (Baize, 2023).

Les métaux lourds sont des éléments chimiques toxiques au-delà d'une concentration limite, ils sont caractérisés par leur capacité de se concentrer dans les chaînes alimentaires et dans l'organisme humain (Sakhraoui et Boubatra, 2016).

Les métaux lourds tels que l'arsenic (As), le chrome (Cr) (VI), le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le plomb (Pb) sont des polluants sans seuil qui peuvent exercer des effets toxiques, même à des concentrations infimes (Jayanthi et al. 2016)

Il existe deux origines des ETM : Naturelle et anthropique

Origine naturelle des ETM : Les ETM sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fonds géochimique (Bouazize et al 2020). Nous avons aussi : l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies et forêts qui constituent les sources naturelles des ETM.

L'activité volcanique peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (Bouazize et al. 2020).

Origine anthropique des ETM : Les sources anthropiques importantes proviennent de la combustion de combustibles fossiles, l'incinération des ordures ménagères et industrielles, les industries du ciment et les fonderies, l'entretien des routes, le chauffage et le trafic automobile (combustion du carburant), la corrosion des véhicules, l'abrasion des freins et pneumatiques et la dégradation des pots catalytiques ont conduit à une augmentation de leurs concentrations dans les compartiments environnementaux (air, eau, sol) (Lamprea, 2009).

Parmi les déférents éléments métalliques émis dans l'environnement lors des activités anthropiques, le zinc, le plomb, le chrome, le cadmium, le cuivre et le nickel sont les plus couramment mesurés dans les études environnementales en raison de la diversité des sources d'émission (Lamprea, 2009)

1.2.2. Les ETM et leurs toxicités

Plusieurs ETM sont rencontrés dans les eaux superficielles tels que : le Pb, le Zn, le Ni, le Cu, le Cd, le Cr... Ces ETM varient d'une eau superficielle à une autre en fonction des activités existantes aux abords des eaux.

Les ETM sont présents dans les sédiments et les eaux des systèmes aquatiques en raison des activités anthropiques. Ils peuvent être adsorbés sur les sédiments ou accumulés par les êtres benthiques (Oueslati et Added, 2015). Ils se présentent sous diverses formes chimiques tout en se propageant dans les différents compartiments (eau-biotope-sédiment) de l'écosystème (Yuan et al. 2004). Ils subissent plusieurs transformations (oxydation, réduction et complexation)

bouleversant ainsi leur évolution dans l'écosystème (Diop, 2014). Les teneurs des ETM dans les eaux superficielles montrent une certaine variabilité relative dans les branchies et les muscles des espèces aquatiques qui s'y trouvent (Kukatula et al. 2021).

Ces métaux lourds présentent certains dangers pour la qualité de l'eau. En effet, la présence de cuivre et de nickel issus des rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux, à fortes doses, peuvent provoquer des dommages irréversibles aux reins et au foie et entraîner la mort.

Une exposition chronique au chrome via l'eau peut entraîner des effets gastro-intestinaux et hématologiques (Avis de l'Anses Saisine n°2011-SA-0147.).

Quant au plomb lié à des pollutions diffuses (apports dus aux transports routiers et à l'existence de sites industriels désaffectés). Des études ont montré des excès discrets mais significatifs des cancers gastriques, broncho-pulmonaires et des voies urinaires chez les travailleurs exposés. (Messadene, 2021)

Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés (toitures métalliques, gouttières). De très hauts niveaux de zinc peuvent endommager le pancréas et perturber le métabolisme des protéines en provoquant l'artérioclose. (Nyamunda, 2019)

Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures. Par irritation des voies respiratoires et rénales (néphrotoxicité), les effets pathologiques liés à l'oxyde de cadmium peuvent être graves : pneumopathies (emphysème ...), cancer pulmonaire, néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale. (Messadene, 2021)

1.3. Généralités sur les deux plantes étudiées

1.3.1. Généralités sur *Eichhornia crassipes* (Jacinthe d'eau)

1.3.1.1. Origine et distribution géographique

Originaire du bassin de l'Amazone, La jacinthe d'eau est une plante aquatique qui peut vivre et se reproduire soit flottant librement à la surface des eaux douces ou peut être ancrée dans la boue.

Elle a été introduite dans de nombreuses régions du monde comme plante ornementale dans les étangs en raison de sa beauté. Elle a proliféré dans de nombreuses régions et se trouve maintenant sur tous les continents en dehors de l'Europe.

La jacinthe d'eau principalement présente dans la région tropicale et subtropicale prolifère aussi sur certaines eaux douces du Benin notamment les rives de Sô-Ava, lac Nokoué, rive de Porto Novo.

1.3.1.2. Position systématique et appellations diverses

Règne : Plantae

Classe : Liliopsida

Ordre : Commelinales

Famille : Pontederiaceae

Genre : *Eichhornia*

Espèce : *Eichhornia crassipes*

Appellations : Togblé (Fon),

Jacinthe d'eau (Français)



Photo1 : *Eichhornia crassipes* cliché (OFFIN, 2023)

1.3.1.3. Description botanique

La plante est une herbe vivace aquatique (*Eichhornia crassipes*) qui appartient à la famille *Pontedericea*. A maturité, la plante se compose de longues racines pendantes, rhizomes, stolons, les feuilles, les inflorescences et grappes de fruits. Les plantes peuvent atteindre 1 m de hauteur mais font plus généralement 40 cm de hauteur. L'inflorescence porte de 6 à 10 fleurs, chacune de 4 à 7 cm de diamètre. Les tiges des feuilles présentent une poche de tissus remplis d'air ce qui donne à la plante sa grande flottabilité. La reproduction est asexuée et se déroule à un rythme rapide dans les conditions préférentielles (Herfjord et al. 1994)

Sa prolifération menace la biodiversité aquatique dans le monde entier. Elle empêche la diversité des plantes indigènes locales avec une modification de la composition physique et chimique de l'environnement aquatique, mais aussi constitue des obstacles aux activités de développement (navigation de plaisance, pêche...) (Ghabbour et al. 2004); (Isebe 2016); (Center et al. 2005)

L'élimination manuelle ou physique, biologique et chimiquement contrôlé de cette plante est nécessaire pour éviter la pollution de l'eau secondaire provoquée par des herbicides synthétiques, entraînant la production de déchets organiques (Babu et al. 2003) ; (Hallett 2005) ; (Shabana 2005).

1.3.1.4. Travaux antérieurs sur *Eichhornia crassipes*

Eichhornia crassipes n'est pas seulement une plante envahissante et nuisible ; Il a été relevé comme un excellent bio-indicateur des eaux polluées par des polluants organiques inquiétants tels que les perturbateurs endocriniens et les néonicotinoïdes (De Laet et al. 2019). Des études ont montré qu'elle possède aussi des capacités de phytoaccumulation de polluants métalliques et est capable de bio-concentrer des métaux toxiques tels que Cr, Cu, Co, Ni, Zn, Pb, Cd et As dans son système racinaire (Shiomi, 2018) ; (Ugya et al. 2016) ; (Ziarati, 2017) ; (Goswami et Das 2018). Sa biomasse peut éliminer les métaux et les matières organiques dans l'eau (Madikizela 2021) ; (Nyamunda et al. 2019). Elle a montré sa capacité d'éliminer les colorants organiques (Liu et al. 2020) ; (Sharma et al. 2021) ; (Salahuddin et al. 2021) , mais aussi dans le traitement efficace de l'eau domestique (Huang et al. 2020).

En effet, par phytoremédiation, Yovo et al (2017) ont montré qu'une combinaison de *Eichhornia Crassipes* et *Thalia geniculata* a un fort pouvoir de séquestration de l'azote dans les eaux usées domestiques en quelques jours en réduisant des nutriments dans les eaux grises

Par ailleurs, des études ont montré que *Eichhornia crassipes* est une source naturelle de molécules douées de propriétés anti-oxydantes et anti-microbiennes (Rufchaei et al. 2022) ; (Isebe 2016)

La phytochimie de ses feuilles indique la présence des stérols, des flavonoïdes, terpenoïdes, alcaloïdes, quinones, anthocyanins, anthraquinones et des tannins (Baral et al. 2012)

Ahmed et al (2022) ont montré que l'extrait de feuille de jacinthe d'eau acclimatée en Ethiopie s'avère être un matériau efficace pour le traitement des eaux usées en effluents de la tannerie.

Les différents extraits de feuille ont réduit la quantité Cr^{6+} , Cr^{3+} , TKN (Azote Kjeldahl total) et certaine quantité de DBO (Demande Biochimique en Oxygène) et TDS (Total des solides dissous) ont été éliminées des déchets.

La disponibilité de cette plante est un paramètre de choix comme objet d'étude de ce présent travail.

1.3.2. Généralités sur *Euphorbia prostrata*

1.3.2.1. Origine et distribution géographique

D'origine Antillais, *Euphorbia prostrata* est de nos jours largement répartie dans toutes les régions tropicales et subtropicales. Il est présent dans toute l'Afrique tropicale et sur les îles de l'océan Indien. Il a une croissance rapide, fleurit et fructifie entre 12 à 14 semaines après la germination. La plante peut fleurir et fructifier d'un bout de l'année à l'autre si elle dispose suffisamment d'eau.

Euphorbia prostrata est un prolifique producteur de semences. La plupart de ses graines germent en même temps lorsque les conditions écologiques sont favorables, en particulier durant la saison des pluies (Mbokuyo, 2017).

1.3.2.2. Position systématique et appellations diverses

Règne : Plantae

Classe : Rosids

Ordre : Malpighiales

Famille : Euphorbiaceae

Genre : Euphorbia

Espèce : Euphorbia prostrata

Appellations : Euphorbe prostré (Français)

Etchégbé (Mina)

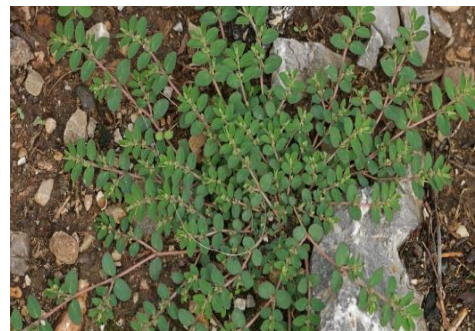


Photo2 : Euphorbia prostrata, cliché (OFFIN, 2023) :

1.3.2.3. Description botanique

Euphorbia prostrata est une plante herbacée annuelle, monoïque, prostrée, à branches allant jusqu'à 20 cm de long, teintée de pourpre, à nombreuses racines adventives et à tiges renfermant du latex. Ses feuilles sont opposées, distiques, simples ; à stipules triangulaires d'environ 1 mm de long, 2-dentées ; le pétiole atteignant 1 mm de long ; le limbe ovale, allant jusqu'à 8 mm × 5 mm, à base inégale, possédant un côté cunéiforme, l'autre côté étant arrondi. Le fruit possède

une capsule 3-lobée aiguë d'environ 1,5 mm × 1,5 mm, à base tronquée, à sutures pourpres et poilues contenant 3 graines.

1.3.2.4. Travaux antérieurs sur *Euphorbia prostrata*

Euphorbia Prostrata est également connu pour prospérer facilement avec une salinité élevée du sol et avec une hyper accumulation de métaux lourds, probablement en raison d'une biosynthèse relativement plus élevée de phytochélatines à longue chaîne (Machado-Estrada et al. 2013). Cette plante traînante se présente sous deux formes : rouge et verte, reconnue comme deux écotypes.

Des études biologiques sur *Euphorbia prostrata* ont confirmé qu'elle présente un large éventail d'activité biologique intéressante. Elle possède des activités irritante, insecticide, antibactérienne et anti-inflammatoire (Zahoor et al. 2016) ; (Saeed-ul-Hassan et al. 2013) ; (Voukeng et al. 2017)

Khan *et al* (2012) ont découvert que l'extrait méthanolique de *Euphorbia. prostrata* possède des propriétés antioxydantes et une activité antimicrobienne significative lorsqu'il a été testé contre *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*.

SHawbann (2017) au Bénin, ont évalué l'effet galactogène de *Euphorbia prostrata* chez la lapine. Il ressort de cette étude que l'extrait éthanolique de la plante *Euphorbia prostrata* n'influence pas de manière significative la production laitière chez les lapines.

Les flavonoïdes, tanins et acide phénolique contenus dans cette plante ont montré des effets bénéfiques dans les hémorroïdes (Gupta, 2011). Le profilage phytochimique a montré la présence d'alcaloïdes, de terpénoïdes, de saponines, de tanins, de stéroïdes et Glycosides, glucides, monosaccharides, sucres réducteurs combinés et amidon soluble (Feddamadji et Hadjhacene, 2017) (Rauf et al. 2012).

Tout comme la jacinthe d'eau, la disponibilité de cette plante a été l'un des facteurs de choix pour notre étude.

CHAPITRE 2 : CADRE D'ÉTUDE, MATÉRIEL ET MÉTHODES

CADRE D'ÉTUDE, MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ce chapitre présente le cadre d'étude, le matériel et méthodes utilisées pour atteindre les objectifs de ce travail.

2.1. Cadre d'étude

La présente étude s'est déroulée dans des laboratoires :

- Laboratoire de Chimie Organique Physique et de Synthèse (LaCOPS) de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) pour l'étude phytochimique des différentes plantes.
- Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) de l'Institut National de l'Eau (INE) pour le test de cuivre et la mesure des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau.
- QHSE Laboratory Consultancy au Nigéria pour la détermination de la teneur en Cu, Zn, Pb et Cd dans les échantillons avant et après traitement.

2.2. Présentation de la zone d'étude

2.2.1. Situation géographique

La lagune côtière de Ouidah est en amont de toute la lagune côtière qui est incluse dans le complexe ouest des zones humides du Sud Bénin (site Ramsar n°1017). Elle est située entre les parallèles 6°27'01'' et 6°19'40'' et entre les méridiens 2°20'48'' et 2°04'57'' et s'étend sur une superficie de 4000 hectares. Elle prend sa source de la lagune de Grand-Popo et du chenal Ahô, puis finit sa course au niveau du village Togbin (Viaho et al. 2020).

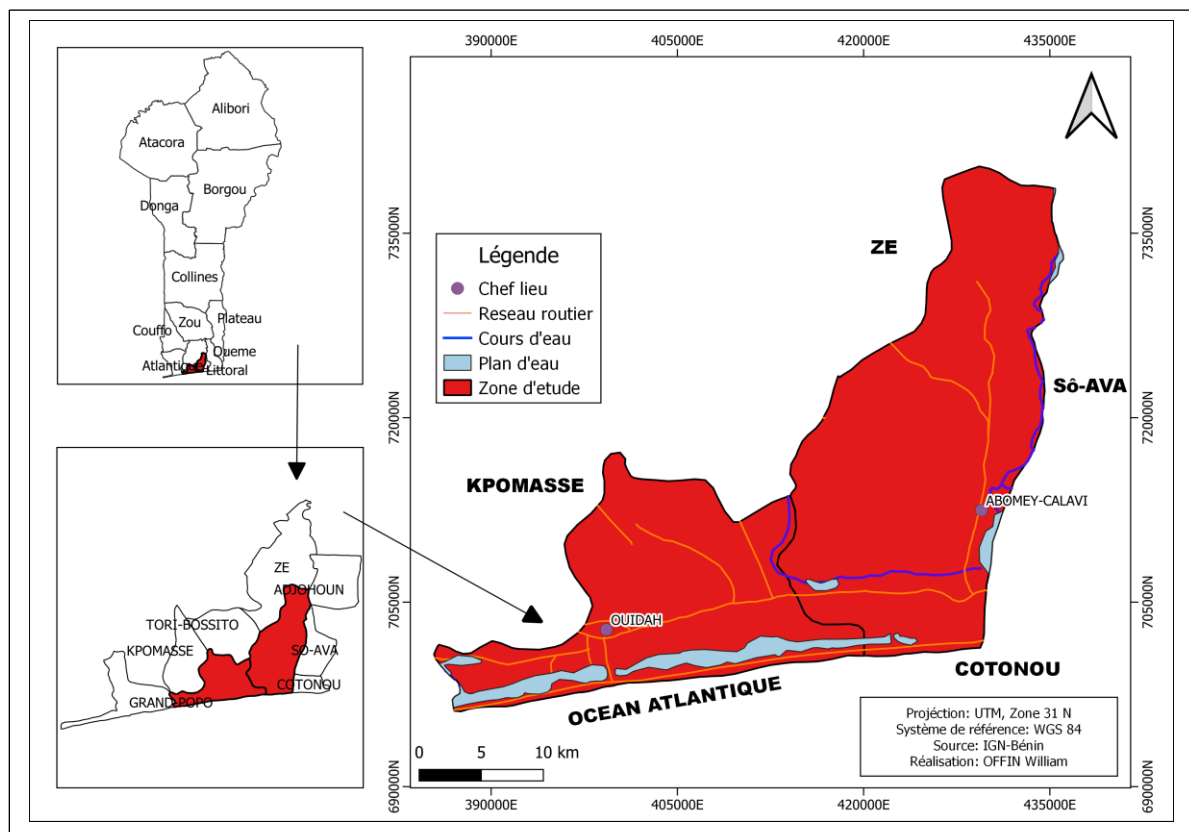


Figure2 : Carte de la situation géographique de la zone d'étude (OFFIN, 2023)

2.2.2 Climat et Hydrographie

2.2.2.1 Climat

La lagune côtière de Ouidah profite d'un climat de type guinéen ou subéquatorial marqué par deux saisons sèches et deux saisons de pluie alternées et à durées inégales (Boko 1988) ; (Awo et al. 2020) ; (Ahouangninou, 2013). La proportion des pluies varie de 40% à 65% pour la grande saison de pluie et de 18% à 30% pour la petite saison pluvieuse (Boko, 1988). L'humidité de l'air au niveau de cette lagune est relativement élevée et les hauteurs annuelles des précipitations varient entre 800 et 1400 mm ; ceci est dû à la proximité de l'océan. La température moyenne est de 27°C à Cotonou et à Ouidah et s'élève en saison sèche à 27,7°C (Badahoui et al. 2010).

La répartition des saisons au cours de l'année se présente comme suit :

- Grande saison des pluies d'avril à juillet ;
- Petite saison sèche qui a lieu entre août et septembre ;
- Petite saison pluvieuse qui dure d'octobre à novembre ;
- Grande saison sèche de décembre à mars.

Aujourd'hui, les effets des changements climatiques ont engendré une perturbation (retard, absence ou prolongement des pluies) entraînant une modification dans le début ou la fin des différentes saisons. Les hauteurs annuelles des précipitations varient entre 950 et 1150 mm (Awo et al. 2020). La température moyenne mensuelle est de 27°C.

Cependant, elle varie de 24°C à 30°C en saison de pluies et de 23°C à 33°C en saison sèche (Ahouangninou 2013). Les températures maximales les plus élevées sont observées pendant le mois de mars (34°C) tandis que les températures minimales sont observées dans le mois d'août (23°C). Selon (Honvou et al. 2021), sous l'influence maritime, l'humidité relative au cours de l'année oscille autour de 65 % (humidité relative minimale) et de 95 % (humidité relative maximale).

2.2.2.2. Hydrographie

Le réseau hydrographique est composé essentiellement de lacs et lagunes dont les principaux plans d'eau sont: Djessin et Domè, la lagune de Ouidah et le lac Toho (Achoh et al. 2018). Ils sont alimentés par les fleuves du bassin du Sud-Ouest, notamment le Couffo et le Mono. Ils sont généralement encombrés et leur production halieutique est en baisse à cause de la surexploitation anarchique et intensive par les populations riveraines (Ahouangninou, 2013).

2.2.3. Sols et végétations

2.2.3.1. Sols

On distingue du Sud au Nord, deux grands ensembles de sols. Les sols de type sablonneux et les sols de types ferralitiques. Les sols sablonneux sont limités au cordon littoral qui regroupe les arrondissements d'Avlékété, de Djègbadji et de Ouakpè-Daho (Achoh al. 2018).

Cependant ce type de sols se retrouve dans la partie méridionale de Ouidah 1, Ouidah 3 et de Pahou (Agonvi, 2015). La RNIE1 marque la limite nord de ce complexe parsemé de nombreux îlots.

Au-delà de cette limite, s'étendent les sols de type ferralitique. Ils sont généralement localisés dans les arrondissements de Savi, de Gakpé et la partie septentrionale des arrondissements urbains. Entre ces deux types de sols, existe la frange lagunaire, constituée de zones marécageuses et de plaine d'inondation (Achoh et al. 2018).

2.2.3.2. Végétation

La formation végétale de la lagune côtière est caractérisée par une diversité de formation végétale. On note la présence des mangroves, des forêts, des savanes et des végétations

herbacées (Dossou-Yovo et al. 2020). En dehors des reliques de forêts naturelles, il existe de grandes plantations de palmier à huile, de cocotiers, d'arbres fruitiers (notamment les manguiers), de bois de feu (Achoh et al. 2018). La cocoteraie reste le type de végétation du cordon littoral. Les formations naturelles sont la savane herbeuse, les prairies et les formations marécageuses à *Raphia gigantea*, quelques mangroves à *Rhizophora racemosa* et *Avicenia africana* (Achoh et al. 2018). Les mangroves constituent des ensembles de formations denses, étroites et fermées qui longent la lagune côtière de Togbin-Daho jusqu'à Grand-Popo (Bocodaho et al. 2020).

2.2.4. Géomorphologie et géologie

La géomorphologie de la lagune côtière de Ouidah présente une plaine littorale, constituée de cordons sableux d'âges différents, dont les plus récents, dits cordons subactuels de sable brun, d'altitude comprise entre 1 à 3m et larges de 100 à 300m, la protègent des assauts de l'océan Atlantique (Tossou et al. 2019).

La géologie du milieu d'étude montre des cordons littoraux de sols peu évolués. Entre les sols lessivés et les sols du cordon littoral, s'étend un complexe pédologique constitué de sols ocre-jaune à hydromorphie temporaire de profondeur, et des sols gris ou ocre à hydromorphie de surface, sols de marais quelquefois salés (Sinzogan et al. 2019).

2.2.5. Aspects socio-économiques

Le long de la lagune côtière, nous rencontrons une variété de groupe ethnique. Il s'agit de divers groupes socio-culturels pour la plupart rurale : les Xwéda, les Pédah auxquels s'ajoutent les fon, les Aïzo, les Tofins, les Wémè et les Adja.

Plusieurs activités sont menées aussi bien par les hommes que les femmes dans la plupart des villages aux bords notamment l'agriculture, la pêche, les activités salicoles, le commerce et le tourisme.

L'exploitation artisanale du sel y est fortement développée. On doit cette activité aux Xwla originaires des plateaux d'Adja et venus établir leur demeure sur la lagune (Bocodaho et al. 2020).

2.2.5.1 La pêche et l'élevage

La pêche est l'activité première et la principale source de revenus de la population sur cette lagune. Elle est pratiquée par la majeure partie des riverains. Les pêcheurs utilisent plusieurs techniques : les filets, les hameçons, les « acadjas »

L'élevage est pratiqué par une minorité et est perçue comme une activité secondaire. Elle concerne essentiellement la volaille, les bovins, les porcins et les huîtres (Bocodaho et al. 2020).

2.2.5.2 L'agriculture et le maraîchage

L'agriculture est très peu développée dans cette zone et moins productive en raison des contraintes environnementales et climatiques liées à la salinité du sol et aux phénomènes d'inondation en période de crue. Néanmoins, la population pratique une agriculture de subsistance qui se repose essentiellement sur la culture vivrière : maïs, manioc, niébé et la culture de rente : cocotiers et palmiers à huile

Le maraîchage est devenu de nos jours une activité très rentable par une bonne partie de la population surtout à Avlékété et Hyo (Chouti et al. 2017).

2.3. Matériel

2.3.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de feuilles de *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostrata*. *Eichhornia crassipes* a été récoltée sur le fleuve Ouémé dans la commune de So-Ava et *Euphorbia Prostrata* à Glo Gjigbé. Ces lieux sont choisis compte tenu de la disponibilité et de l'accessibilité des feuilles des différentes plantes.



Photo 3 : Feuille de *Eichhornia crassipes* cliché (OFFIN, 2023)



Photo 4 : Feuille de *Euphorbia Prostrata* cliché (OFFIN, 2023)

2.3.2. Echantillonnage d'eau

Les sites de prélèvement sont choisis en raison de la représentativité générale et de la couverture de toutes les activités agricoles de la lagune.

La campagne d'échantillonnage d'eau couvre cinq sites de l'arrondissement de Godomey, Avlékété et de Djègbadji dans les communes d'Abomey-calavi et de Ouidah.

La carte suivante présente la localisation des sites d'échantillonnage.

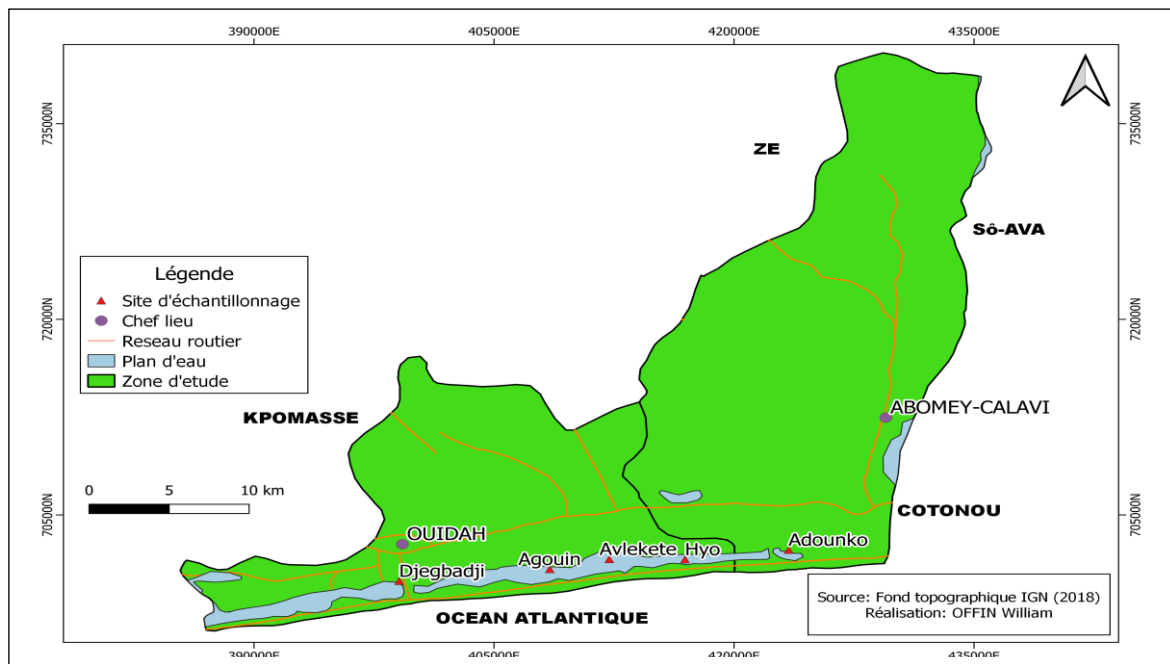


Figure 3: Carte de la localisation des sites d'échantillonnage (OFFIN, 2023)

Dans le but d'avoir une représentativité des différents paramètres de toute la zone d'étude, les sites d'échantillonnage ont été choisis compte tenu des activités agricoles variées et diversifiées et de l'utilisation qui est faite de l'eau. (Tableau IV).

Tableau IV : Sites d'échantillonnage et les critères de choix

Sites	Localités	Coordonnées géographiques	Critères de choix
S1	Togbin	6°27' Nord 2°04' Est	Usage de l'eau pour le bain, présence d'un atelier de réparation de moto à proximité de la lagune, rejet massive de déchets ménagers
S2	Hyo Houta	6°20' Nord 2°14' Est	L'eau est utilisée pour le bain et le lavage des poissons. Présence de latrines et habitats à proximité de la lagune. Présence de porcs
S3	Agouin	6°20' Nord 2°10' Est	Utilisation des engrais chimiques pour le jardinage et usage de l'eau pour le bain.

S4	Avlékété	6°21' Nord 2°12' Est	Usage de l'eau pour le bain, présence de latrines aux abords de la lagune, utilisation des engrais chimiques pour la culture et élevage.
S5	Djègbadji	6°19' Nord 2°04' Est	Production de déchets massifs, usage de l'eau pour le bain.

2.3.3. Matériel de laboratoire, consommables et réactifs chimiques

- Appareillages**

Le tableau ci-dessous résume tous les appareils utilisés lors de notre travail.

Tableau V : Appareils utilisés

Matériels	Rôles
Multi-paramètre	Pour mesurer les paramètres physico-chimiques in-situ de l'eau des différents sites
Bouteille en plastique de 1,5l	Prélever l'eau de chaque site
Appareil GPS	Pour prendre les coordonnées géographiques et les photos.
Balance de précision	Prendre la masse des produits
pH-mètre	Mesurer le pH de l'eau
Mortier en aluminium	Moudre les feuilles
Etuve	Sécher des échantillons
Agitateur magnétique	Pour agiter les solutions
Calotte chauffante	Pour chauffer (décoction)
Evaporateur rotatif	Pour concentrer le mélange
Moulinez	Moudre les feuilles
Colorimètre DR/890	Pour mesurer l'absorbance
La verrerie	Mesurer les substances
Spectrophotomètre d'Absorption Atomique	Déterminer la teneur des ETM

- Consommable de laboratoire**

- eau distillée pour les diverses préparations ;
- de l'alcool 96 °, méthanol 100°
- du coton hydrophile pour la filtration ;
- acide chlorhydrique, acide sulfurique, hydroxyde de sodium, acide acétique.

- Réactifs chimiques**

- Kit (COPPER FORM1 BICINCHONINATE)

- Réactifs pour le screening phytochimique



Photo 5 : Multi-paramètre cliché (OFFIN, 2023)



Photo 6 : Bouteille d'eau prélevée cliché (OFFIN, 2023)



Photo 7 : Agitateur magnétique cliché (OFFIN, 2023)



Photo 8 : pH-mètre cliché (OFFIN, 2023)



Photo 9 : Mortier en aluminium cliché (OFFIN, 2023)

2.4. Méthodes

2.4.1. Phase d'obtention des extraits et analyse phytochimique

Cette phase est constituée de l'obtention des extraits aqueux, éthanoliques, hydro-éthanoliques et hydro-méthanoliques des feuilles et l'analyse phytochimique.

Les poudres utilisées à cet effet ont été obtenues par moulage (broyage) de feuilles de chaque plante.

Les feuilles collectées, lavées et séchées à température de 18°C au laboratoire pendant un mois et trois semaines pour la jacinthe d'eau et l'euphorbe prostrée respectivement, ont été portées à l'étuve à 60°C pendant une heure. Les feuilles sèches obtenues sont alors moulues.

2.4.1.1. Obtention des extraits aqueux et organiques

- **Préparation de l'extrait aqueux**

Les extraits aqueux des poudres de la feuille *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostata* ont été obtenus par décoction.

20 g de chaque poudre sont versés dans différentes bouteilles contenant 400 ml d'eau distillée et portées à l'ébullition pendant 30 minutes. Après refroidissement et filtration, l'extrait a été condensé à l'aide d'un évaporateur rotatif. L'extrait obtenu est séché à l'étude à 60°C.

- **Préparation des extraits organiques**

Plusieurs solvants organiques ont été utilisé à savoir l'éthanol (96°) et des solutions hydro-éthanolique (70°) et hydro-méthanolique (70°).

Les extraits hydro-alcooliques et éthanoliques des poudres des feuilles ont été obtenus par macération.

10g de chaque poudre sont versés dans différentes bouteilles contenant 150 ml des solvants organiques puis agités pendant 24h. Après filtration, elles ont été condensées à l'évaporateur rotatif. Les extraits obtenus ont été séchés à l'étuve à 60°C.

2.4.1.2. Analyse phytochimique

Cette analyse ou screening phytochimique est basée sur des réactions (coloration et précipitation) différentielles de principaux groupes de composés chimiques contenus dans les poudres et extraits selon la méthode de Houghton et Raman (1998) et décrit par Junaid et Patil (2020) revue et complétée.

Le tableau VI résume les différentes réactions spécifiques de chaque classe de composés.

Tableau VI : Récapitulatif des réactions du screening phytochimique

Classe de principe actif	Réactifs spécifiques et réactions
Polyphénols	FeCl ₃ à 5%, coloration vert foncé, violette, bleue ou noir.
Alcaloïdes	- Dragendorff (iodobismuthate de potassium) : précipité rouge - Mayer (iodomercurate de potassium) : précipité jaune
Tanins catéchiques	- Réactif de Stiasny : précipité rose
Tanins galliques	- Saturation d'acétate de Na ⁺ quelques gouttes de FeCl ₃ à 1 % : teinte bleue ou noire
Flavonoïdes (flavones, flavonols, flavonones)	- Shinoda (réaction à la cyanidine) : coloration orangée, rouge, violette - NaOH : Coloration qui disparaît lors de l'ajout de quelques gouttes d'acide dilué
Anthocyanes	Coloration rouge de filtrat augmenté en milieu acide et bleue violacée en milieu alcalin
Leucoanthocyanes	Shinoda (alcool chlorhydrique) : coloration rouge cerise
Saponosides	Détermination de l'indice de mousse (positive si IM > 100 et hauteur de mousse : h ≥ 1 cm)
Stéroïls	- Réaction de Bette à carde de Liebermann (anhydride d'acide acétique+ acide sulfurique concentré), coloration violet, bleu, vert ou rouge.
Terpenoïdes	Test de salkowishki, coloration brun rougeâtre à l'interface
Protéines	Test de Biuret, coloration violet pâle
Mucilages	Etude de la viscosité des infusés et décoctés. Floculation dans éthanol absolu
Composés réducteurs	Liqueur de Fehling à chaud précipité rouge-brique
Coumarines	NaOH à 10% + CH ₃ Cl, coloration jaune
Carbohydrates	Réactif de Molish, formation d'un rouge à l'interphase de deux couches

Anthraquinones	Extrait+ HCl+ CH ₃ Cl+ quelques gouttes d'ammoniac, coloration rose
Glycosides cardiaques	Test de H ₂ SO ₄ , coloration brun rougeâtre

Source : Laboratoire de Chimie Organique Physique et de Synthèse.

2.4.2 Méthode d'échantillonnage d'eau

Les eaux de la lagune ont été prélevées sur cinq sites : Site de Togbin adouanko, de Hyo houta, de Agouin, de Avlékété et de Djègbadji à l'aide des bidons en plastique de 1,5l. On rince la bouteille trois fois avec l'eau qu'on verse de l'autre côté de la pirogue. On plonge la bouteille dans l'eau à 20cm de la surface. On la remplit à ras le bord pour éviter l'entrée de bulbe d'air. **(Photo 10: Echantillonnage de l'eau)** Une fois rempli, on la ferme puis on l'étiquette avec une étiquette comportant : le lieu, la date, l'heure, les coordonnées géographiques et le nom du préleveur. Cette même opération est répétée sur tous les sites. Les bouteilles d'eau échantillonnées sont emballées dans un sac puis transportées au laboratoire pour analyse.

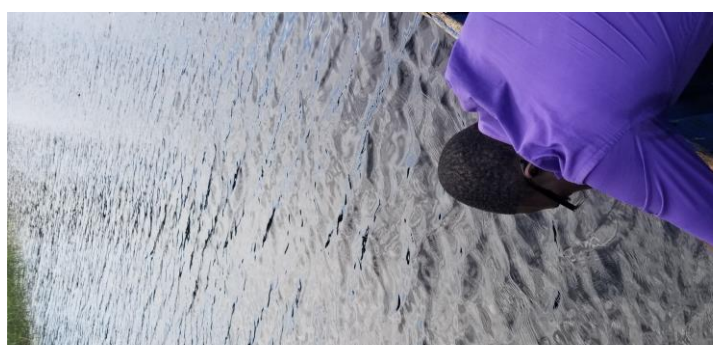


Photo 10 : Echantillonnage d'eau, cliché (OFFIN, 2023)

2.4.3 Test de cuivre par la méthode de bicinchoninate

Le but de ce test est d'identifier l'extrait ayant un fort pouvoir absorbant parmi les cinq choisis. Et ceci pour son utilisation dans le traitement de nos échantillons d'eau.

A₁ : Extrait aqueux de *Eichhornia crassipes*

A₂ : Extrait hydro-éthanol (Ethanol à 70%) de *Eichhornia crassipes*

A₃ : Extrait éthanol pur (Ethanol à 96%) de *Eichhornia crassipes*

B₁ : Extrait aqueux de *Euphorbia prostata*

B₂ : Extrait hydro-éthanol (Ethanol à 70%) de *Euphorbia prostata*.

Le test a été réalisé suivant les étapes de la méthode de bicinchoninate

- Préparation de 1000 ml d'une solution de sulfate de cuivre à 1,84mg/l

- Répartition de la solution préparée dans cinq béchers et un témoin
- Ajout de 0,2% soit 0,03g des extraits A₁, A₂, A₃, B₁ et B₂ respectivement dans 15 ml de la solution préparée dans de petits béchers puis étiquetés
- Agitation de l'ensemble pendant 2 heures
- Décantation des solutions puis filtration dans des tubes
- Verser la solution témoin dans un petit tube de 10 ml, verser un sachet du Kit (COPPER FORM1 BICINCHONINATE), attendre 2 minutes puis placer le tube dans le colorimètre DR/890, attendre que la valeur se stabilise avant de faire la lecture. La valeur lue indique la quantité de cuivre dans la solution.
- Verser les solutions étiquetées A₁, A₂, A₃, B₁ et B₂ dans des tubes de 10 ml, verser dans chaque tube un sachet du kit, attendre deux minutes (**photos 13 et 14**), placer chacun d'eux dans le colorimètre pour lecture après stabilisation de la valeur. Les valeurs lues indiquent la quantité de cuivre présente dans chaque tube après traitement aux différents extraits.

Le pourcentage de l'absorption du Cu et les autres ETM lors du traitement de l'eau est calculé à partir de la formule suivante :

$$R(\%) = 100 \left(\frac{Co - Cf}{Co} \right)$$



Photo 11 : Aspect de l'eau après ajout de l'extrait A₁ dans le tube témoin. De la gauche vers la droite, tube1 : tube dans lequel la solution est filtrée, tube2 : tube contenant l'extrait A₁ après ajout d'un sachet de kit et tube3 : tube témoin sans ajout d'extrait (OFFIN, 2023)



Photo 12: Aspect de l'eau après ajout de l'extrait B₂ dans le tube témoin. De la gauche vers la droite, tube1 : tube contenant l'extrait B₂ après ajout d'un sachet de kit et tube2 : tube témoin sans ajout d'extrait (OFFIN, 2023)

2.4.4 Analyse des ETM dans les échantillons

➤ Préparation des échantillons à analyser

Pour l'utilisation de la masse d'extrait à ajouter dans les échantillons à traiter, nous nous sommes référées aux travaux de Boutifal et *al* au cours duquel 50 mg de sulfate de magnésium MgSO_4 a été mis dans 1L d'eau fluoré, faisant passer ainsi la quantité de fluor de 3,28 mg à 1,48 mg. Par ailleurs, pour l'utilisation du produit « Aquatabs » 3,5 mg de produit sont utilisés pour traiter 1L d'eau dans le traitement du choléra en milieu rural (Lamond et Kinyanjui 2012).

Au vue de ces références, une masse de 5 mg d'extrait par litre d'eau a été utilisée pour le traitement des échantillons.

Dans 10 béchers nous avons versé 500ml d'eau et ajouté une masse convenable (2,5mg) des différents extraits,

- Agité chaque solution pendant 3heures
- Laissez refroidir pendant 30 minutes puis filtré avec du papier filtre,
- Transvasé 100ml de chaque solution dans des tubes numérotés T_1 à T_{10} . T_1 à T_5 pour le traitement des échantillons avec l'extrait éthanoïque de l'EC et T_6 à T_{10} pour le traitement des échantillons avec l'extrait hydro-méthanoïque de l'EP.

➤ Analyse proprement dite

Le cuivre, le zinc, le plomb et le cadmium ont été analysés dans les échantillons par la méthode de spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) à flamme suivant le protocole ci-après :

- ✓ 25 ml de chaque échantillon d'eau conservé ont été mesurés et versés dans un bécher en PTFE (polytétrafluoréthylène)
- ✓ Chaque échantillon est transféré dans une hotte de laboratoire, et 10 ml d'acide nitrique ont été ajoutés à dans les gobelets.
- ✓ Chaque mélange a ensuite été chauffé sur une plaque chauffante au volume le plus faible possible (10mL).
- ✓ Ils ont été laissés refroidir puis filtrés et complétés avec de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 50mL.
- ✓ Les échantillons minéralisés ont ensuite été analysés pour déterminer les teneurs des métaux sélectionnés.

C

HAPITRE 3 :

RÉSULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre expose les différents résultats obtenus faisant ressortir le rendement d'absorption des ETM (Cu, Pb et Cd) par les extraits des feuilles de *Eichhornia crassipes* et *Euphorbia prostata*.

3.1. Résultats

3.1.1. Analyse phytochimique des extraits des plantes

Les résultats des analyses ou du screening phytochimique des différents extraits aqueux et organiques des feuilles de chaque plante sont résumés dans les tableaux VII et VIII. .

Tableau VII: Screening de *Eichhornia crassipes*

	Eau	Ethanol 70%	Méthanol 70%	Ethanol 96%
Polyphénols	+	+	+	+
Tanins	+	+	+	+
Tanins condensés ou catéchiques	+	+	+	+
Tanins hydrolysables ou galliques	-	-	-	-
Flavonoïdes	+	+	+	+
Anthocyanins	-	-	-	-
Anthraquinones	-	+	+	+
Leuco-anthocyane	+	+	+	+
Alcaloïdes	+	+	+	+
Saponosides	+	-	+	-
Mucilages	+	-	-	-
Composés réducteurs	+	+	-	+
Coumarines	+	+	+	+
Terpenoïdes	-	+	+	+
Stérols	-	+	+	+
Glycosides cardiaques	-	-	-	-
protéines	+	+	+	+
Carbohydrates	-	-	-	-

+ signifie présence et – signifie absence

Tableau VIII : Screening de l'*Euphorbia prostata*

	Eau	Ethanol 70%	Méthanol 70%	Ethanol 96%
Polyphénol	+	+	+	+
Tanins	+	+	+	+
Tanins condensés ou catéchiques	+	+	+	+
Tanins hydrolysables ou galliques	+	+	+	+
Flavonoïdes	+	+	+	+
Anthocyanins	-	-	-	-
Anthraquinones	+	+	+	+
Leuco-anthocyane	+	+	+	+
Alcaloïdes	+	+	+	+
Saponosides	-	-	-	-
Mucilages	+	+	+	+
Composés réducteurs	+	+	+	+
Coumarines	+	+	+	+
Terpenoïdes	+	+	+	+
Stérols	+	+	+	+
Glycosides cardiaques	-	-	-	-
Protéines	+	+	+	+
Carbohydrates	-	+	+	+

+ signifie présence et – signifie absence

Les résultats révèlent que tous les extraits des plantes renferment des composés polyphénols, des tanins, des flavonoïdes, des leuco-anthocyanes, des alcaloïdes, des coumarines, des composés réducteurs et des protéines. Contrairement à tous les extraits de *Eichhornia crassipes*, les extraits de *Euphorbia prostata* révèlent la présence des tanins hydrolysables (galliques).

De plus, l'extrait aqueux de *Eichhornia crassipes* présente des saponosides.

Les terpenoïdes n'ont pas été révélé dans l'extrait aqueux de *Eichhornia crassipes*. De même, les carbohydrates dans tous les extraits de cette plante.

L'extrait aqueux de *Euphorbia prostata* n'a pas révélé la présence des carbohydrates. Par ailleurs pas de présence de saponosides dans tous les extraits de cette plante.

3.1.2. Analyse du test au bicinchoninate

Les résultats du test de cuivre par la méthode de bicinchoninate appliqué aux différents extraits des plantes sont consignés dans le tableau IX

Tableau IX : Rendement du test de cuivre

Echantillons	Co (mg/L)	Cf (mg/L)	Rendement (%)
CuSO ₄	1,84	1,84	00
A ₁	1,84	1,53	16
A ₂	1,84	1,58	14,13
A ₃	1,84	0,55	70,10
B ₁	1,84	1,60	13,04
B ₂	1,84	0,07	96,19

A1 (Extrait aqueux d'E.C) ; A2 (Extrait hydro-éthanoïque d'E.C) ; A3 (Extrait éthanol d'E.C) ; B1 (Extrait aqueux d'E.P) ; B2 (Extrait hydro-éthanoïque d'E.P).

Les résultats de ce test révèlent que tous les extraits des différentes plantes ont complexés une quantité de cuivre contenue dans les échantillons.

L'extrait éthanolique de *Eichhornia crassipes* (A₃) s'est révélé plus intéressant par rapport aux autres extraits de cette plante avec un rendement de 70,10%.

L'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata* (B₂) a montré un fort taux de rétention de cuivre par rapport aux autres extraits de ladite plante avec un rendement de 96,19%.

☞ Ces deux extraits sont alors retenus pour l'analyse des ETM de nos échantillons d'eau de la lagune côtière de Ouidah.

3.1.3. Résultats des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques de l'eau de la lagune de différents sites ont été mesurés avant et après le traitement pour une étude comparative et leurs variabilités.

Les tableaux X présente les résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau avant et après traitement.

Tableau X : Résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau avant et après traitement

Paramètres	Echantillons d'eau														
	Togbin			Hyo			Avlékété			Agouin			Djègbadji		
	T ₀	T _{EC}	T _{EP}	T ₀	T _{EC}	T _{EP}	T ₀	T _{EC}	T _{EP}	T ₀	T _{EC}	T _{EP}	T ₀	T _{EC}	T _{EP}
Température (°C)	27,87	27,56	28,16	28,75	27,55	28,05	29,31	27,37	28,56	29,6	27,10	29,46	29,66	27,02	28,48
Turbidité (FNU)	1,7	–	1,31	1,5	–	10,05	3,1	–	5,9	2,2	–	–	4,3	–	3,8
Salinité (PSU)	1,30	1,27	1,31	1,39	1,34	1,36	1,46	1,39	1,44	1,60	1,46	1,44	1,92	1,78	1,90
TDS (mg/l)	1270	1239	1276	1350	1301	1319	1416	1349	1399	1550	1405	1397	1843	1703	1815
Conductivité (ms/cm)	2451	2485	2551	2702	2603	2633	2833	2697	2800	3101	2795	2795	3693	3407	3631
O ₂ dissous (mg/l)	2,30	0,51	0,19	2,68	0,49	0,22	2,50	0,50	0,24	2,45	0,51	0,18	1,90	0,51	0,18
p ^H	8,70	8,56	8,55	8,73	8,47	8,94	8,65	8,43	8,63	8,54	8,39	8,80	8,56	8,48	8,74
ORP (mv)	55,00	67,03	35,00	94,1	63,01	35,8	76,3	61,1	59,3	165,8	62,3	46,7	63,00	67,6	72,5

T₀: Paramètres physico-chimiques avant traitement

T_{EC}: Paramètres physico-chimiques après traitement avec l'extrait éthanolique de *Eichhornia crassipes*

T_{EP}: Paramètres physico-chimiques après traitement avec l'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata*

La détermination de ces paramètres physico-chimique révèle une très faible variation exceptée l'O₂ dissous. L'O₂ dissous après traitement varie entre 0,18 à 0,51.

3.1.4. Résultats des ETM sélectionnés dans les échantillons

Les teneurs du Cu, Zn, Pb et Cd dans les échantillons avant et après traitement sont présentés dans le tableau XI ci-après :

Tableau XI : Résultats des ETM dans les échantillons avant et après traitement

Sites	Cu (mg/l)			Zn (mg/l)			Pb (mg/l)			Cd (mg/l)		
	T ₀	T _{EC}	T _{EP}	T ₀	T _{EC}	T _{EP}	T ₀	T _{EC}	T _{EP}	T ₀	T _{EC}	T _{EP}
Togbin	10,32	0,544	0,703	00	00	00	5,27	0,462	0,598	00	00	00
Hyo	8,16	0,669	0,366	00	00	00	0,69	0,569	0,312	6,52	4,813	2,617
Avlékété	10,02	0,575	0,449	00	00	00	5,02	0,489	0,382	7,73	4,131	3,218
Agouin	13,05	0,606	0,512	00	00	00	14,59	0,516	0,435	8,71	4,357	3,673
Djègbadji	9,96	0,826	0,606	00	00	00	7,96	0,703	0,516	5,29	5,092	4,357

La détermination du taux des ETM dans les échantillons montrent la présence du Cu, du Pb et du Cd et une absence de Zn. Après traitement ces taux ont considérablement diminué. Les extraits de *Euphorbia prostrata* ont favorisé un fort taux de diminution comparativement aux extraits de *Eichhornia crassipes*.

Les graphiques suivants présentent le pouvoir absorbant des extraits par ETM

- **Teneur en Cu contenu dans les échantillons**

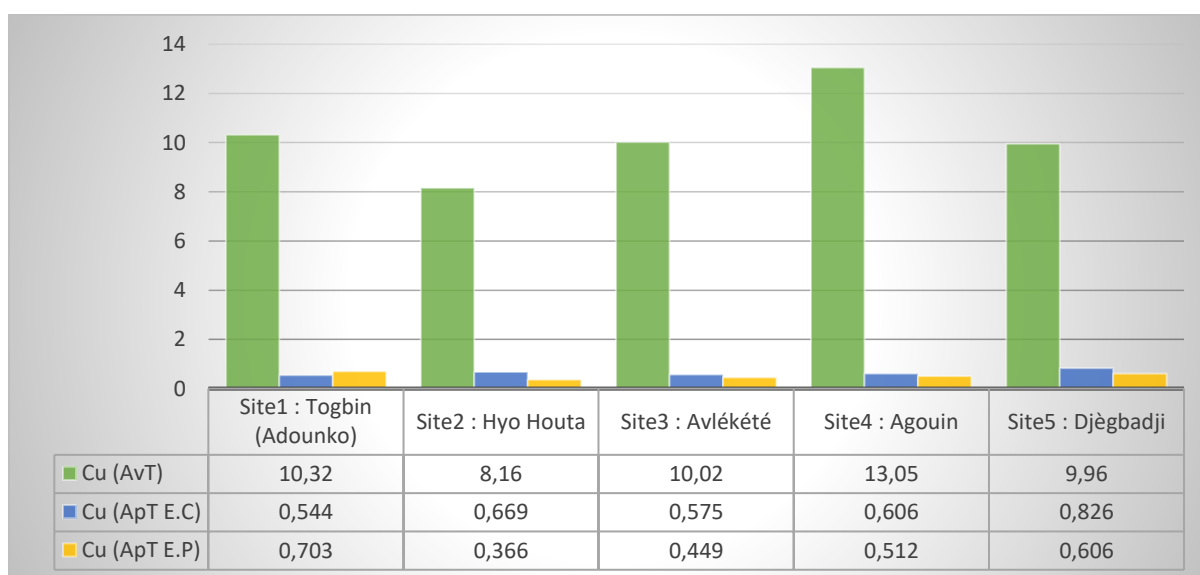


Figure 4 : Variabilité de la teneur du Cu dans les échantillons avant et après traitement.

- **Teneur de plomb contenue dans les échantillons**

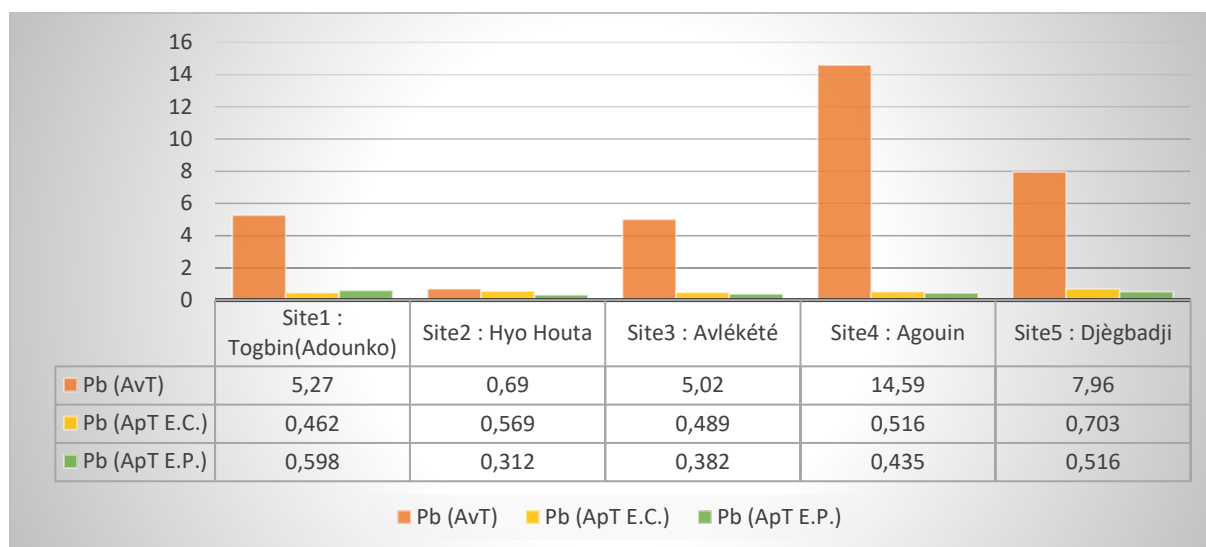


Figure 5 : Variabilité de la teneur du Pb avant et après traitement dans les échantillons

- **Teneur de Cd contenue dans les échantillons**

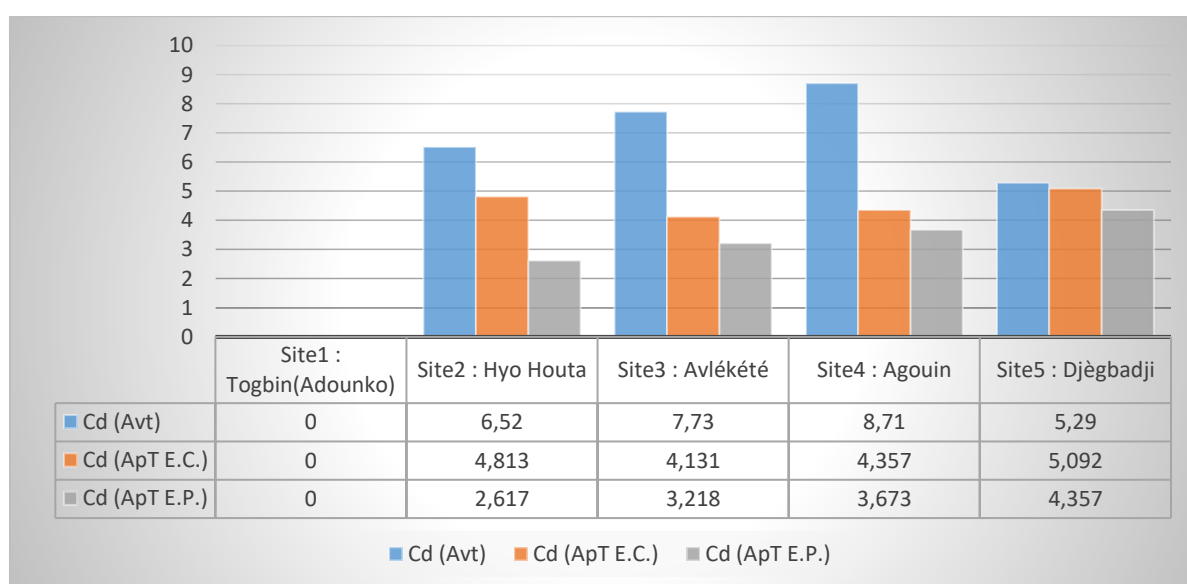


Figure 6 : Variabilité de la teneur du Cd dans les échantillons avant et après traitement

Le pourcentage d'absorption des ETM (Cu, Pb et Cd) par les différents extraits est consigné dans les tableaux suivants :

Tableau XII : Pourcentage d'absorption des ETM par l'extrait éthanoïque de *Eichhornia crassipes*

	Extrait éthanolique de <i>Eicchoria crassipes</i>				
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Cu	94,72	91,80	94,26	95,35	91,70
Pb	91,23	17,53	90,25	93,46	91,16
Cd	0	26,18	46,55	49,97	3,75

Tableau XIII : Pourcentage d'absorption des ETM par l'extrait hydro-éthanoïque de *Euphorbia prostrata*

	Extrait hydro éthanolique de <i>Euphorbia prostrata</i>				
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Cu	93,18	95,51	95,51	96,07	93,91
Pb	88,65	54,78	92,39	97,01	93,51
Cd	0	59,86	58,36	57,83	17,63

3.2. Discussion

L'analyse des ETM des échantillons d'eau sur les différents sites révèle la présence de certains métaux lourds notamment le Cu, le Pb et le Cd.

Le site de Agouin présente une forte teneur en Cu (13,05mg/l), Pb (14,59mg/l) et Cd (8,7mg/l). Ces taux au niveau du site de Agouin sont au-delà des résultats obtenus par Bocodaho (2022) qui pour la petite saison varient : Cu (0,31 à 2,45mg/l), Pb (0,26 à 0,89mg/l) et Cd (0,01 à 0,17mg/l). Par ailleurs, aucune trace de Zn n'a été retrouvée dans nos différents échantillons contrairement aux travaux de Bocodaho. (2022).

Cette variation croissante pourrait s'expliquer par la démographie et l'intensification des activités agricoles, ménagères et la construction des infrastructures routières.

Les valeurs des paramètres physico-chimiques des échantillons ne sont pas si différentes de celle de Bocodaho (2022) dont le pH est compris entre 7,2 - 8,9 et la température entre 25,6°C – 33,2°C. Les valeurs en O₂ dissous de nos échantillons sont très inférieures à la norme de la qualité générale de l'eau et aussi inférieures à celles estimées par Bocodaho (2022).

Ce faible taux en O₂ caractérise un très mauvais état de la qualité d'eau de la lagune côtière de Ouidah. Lors de nos enquêtes sur le terrain, nous avons observé les plantes aquatiques flottantes et des activités agricoles aux abords de la lagune, ce qui pourrait contribuer à la faible teneur en O₂ dissous.

Le traitement des eaux par les extraits de *Eicchornia crassipes* et *Euphorbia prostata* a montré une action absorbante de ses extraits sur le Cu, le Pb et le Cd.

Fitsum et al (2022) ont montré l'effet absorbant de l'extrait éthanolique des feuilles pour l'absorption des ions Cr⁶⁺, Cr³⁺ et le NTK lors du traitement des influents de tanneries.

Notre étude a montré que l'extrait éthanolique de *Eichhornia crassipes* acclimatés au Bénin a un pouvoir absorbant en Cu, Pb et Cd avec un fort taux d'absorption du Cu (95,35%), Pb (93,46%) et Cd (49,97%) pour certains échantillons.

Quant à l'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata*, un fort pouvoir d'absorption a été observé : Cu (96,07%), Pb (97,01%) et Cd (59,86%) pour certains échantillons.

Ce fort pouvoir de l'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata* confirme les résultats du test de l'analyse de cuivre par la méthode de bicinchoninate.

Selon la littérature, les plantes riches en tanin ont été largement accepté et appliqué comme bio-coagulant, bio-sorbants dans le traitement des eaux usées avec un potentiel pouvoir d'élimination des polluants, notamment la turbidité, les colorants, les solides en suspension, la demande chimique en oxygène, les algues et les métaux lourds (Leiviskä et Santos 2023).

L'analyse phytochimique de nos extraits a révélé la présence de polyphénols, des tanins de flavonoïdes, d'alcaloïdes, de composés réducteurs...

Le pouvoir absorbant des différents extraits pourrait s'expliquer par la présence des tanins.

L'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata* montre la présence des tanins catéchiques et galliques contrairement à l'extrait éthanolique de *Eichhornia crassipes* riche uniquement en tanins catéchiques ; ce qui pourrait expliquer ce potentiel pouvoir d'absorption de *Euphorbia prostata*.

L'absence de trace de zinc après traitement des échantillons révèle que les extraits ne sont pas riches pas en zinc.

S'agissant des paramètres physico-chimiques des eaux traitées, une légère variation a été observée exceptée la valeur de l'O₂ dissous qui a considérablement diminuée.

L'aptitude de certains composés chimiques à chélater les cations métalliques d'un milieu, fait de ce milieu faiblement oxydable. De ce fait, le pouvoir absorbant de nos extraits pourrait expliquer la diminution de la valeur de l'oxygène dissous.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

La lagune côtière de Ouidah située dans le Bassin Sud du réseau hydrographique du Bénin est sujet à de nombreux cas de pollution.

L'analyse des ETM des échantillons d'eaux des cinq sites ou villages (Adounko, Hyo, Avlékété, Agouin et Djègbadj) montre une forte présence de Cu, Pb et Cd.

Les paramètres physico-chimiques mesurés montrent que cette eau est une eau de mauvaise qualité. Les forts taux d'éléments chimiques retrouvés dans l'eau peuvent créer un déséquilibre de tout l'écosystème.

L'analyse phytochimique des extraits aqueux et organique des feuilles de *Eichhornia crassipes* et de *Euphorbia prostata* a mis en évidence la présence des grandes familles de métabolites secondaires et primaires à savoir : des tanins catéchiques, des flavonoïdes, des alcaloïdes, des composés réducteurs, des protéines et une présence de tanins galliques dans les extraits des feuilles de *Euphorbia prostata*.

L'utilisation des extraits de ces deux plantes dans le traitement de l'eau de la lagune a révélé le potentiel pouvoir absorbant des extraits éthanoliques de *Eichhornia crassipes* et hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata*. L'extrait hydro-éthanolique de *Euphorbia prostata* s'est plus intéressant par son fort pouvoir de chélater les ETM.

Eichhornia crassipes et *Euphorbia prostata* peuvent être utilisées comme plantes bio-sorbantes pour diminuer la teneur en métaux lourds dans les eaux superficielles.

PERSPECTIVES

En perspectives, il serait mieux d'approfondir notre travail en abordant les points ci-après :

- Etudier l'effet synergie du pouvoir absorbant des deux plantes,
- Faire une étude d'optimisation des extraits tout en préservant les paramètres organoleptiques (couleur, goût et odeur) de l'eau
- Evaluer l'activité microbiologiques des différents extraits lors du traitement.
- Evaluer la toxicité des extraits des deux plantes

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES ET WEBOGRAPHIES

1. Achoh M. E., Agadjihouede H., Gangbe L., Dougnon V., Hounmanou Y. M. G., et Baba-Moussa L. 2018. « Diversité et abondance des poissons tilapias exploités au Bénin et le virus TiLV (Tilapia Lake virus) : revue de synthèse et prospection des risques d'explosion de l'épidémie ». *Afrique Science* 14 (mars) : 90-99.
2. Achoh M. E., Vodougnon M., Akotossode C., et Agadjihouede H. « Etat des ressources naturelles de djegbadji et de adounko (site ramsar 1017) au sud-ouest Bénin (Afrique de l'ouest) dans le contexte actuel de changement climatique », décembre 2018.
3. Adjahossou V. « 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 ». *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, juin 2014.
4. Agonvi 2015« Intellectual Experiments of the Greek Enlightenment - Friedrich Solmsen - Google Livres ».
5. Ahouangninou C. 2013. Durabilité de la production maraîchère au sud-Bénin : un essai de l'approche écosystémique. Cotonou : UAC, 349 p. Thèse de doctorat : Gestion de l'environnement. Environnement, santé et développement durable : Université d'Abomey-Calavi
6. Anctil F., Rousselle J. et Lauzon N. 2012. *Hydrologie : cheminements de l'eau*. Presses inter Polytechnique.
7. Avis de l'Anses Saisine n°2011-SA-0147 relatif aux risques sanitaires liés à la présence de *Bacillus* spp. dans l'eau destinée à la consommation humaine délivrée par l'usine de production d'eau d'Aire-sur-laLys (nord-pas de calais). 20 novembre 2012 <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2011sa0147Ra.pdf>.
8. Awo H., Chaffra S.A., Yabi F. B., Lougbegnon T. O., Djondo M., et Tente B. « Étude ethno-zoologique et formes d'utilisation de *Trichechus senegalensis* au Sud Bénin ». Reçu le 19/03/2020 ; Accepté le 10/04/2020
9. Babu R. M., Sajeena A., et Seetharaman K. 2003. « Bioassay of the potentiality of *Alternaria alternata* (Fr.) keissler as a bioherbicide to control waterhyacinth and other aquatic weeds ». *Crop Protection* 22 (8) : 1005-13. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00115-7](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00115-7).
10. Badahoui A., Fiogbe E.D. et Boko M. 2010. « Les Causes de La Dégradation Du Lac Ahémé et Ses Chenaux ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4 (4). <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.62971>.
11. Baize D. 2023. « Les Éléments Traces Métalliques (ETM) dans les Sols » Institut National de la Recherche Agronomique - Science du Sol - Orléans

12. Baral B., Geeta S. V. et Nabin B. 2012. « Bioactivity and biochemical analysis of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) ». *Botanica Orientalis : Journal of Plant Science* 8 (mars). <https://doi.org/10.3126/botor.v8i0.5556>.
13. Benalia A. et Kerroum D. 2023. « Extraction et valorisation des produits actifs des plantes naturelles en tant que bio coagulants utiles dans l'amélioration de qualité des eaux ». Thèse, Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté de génie des procédés pharmaceutiques. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4148>.
14. Bocodaho O. B. M. L., Chouti K. W., Dedjiho C.A. et Mama D. 2020. « Evaluation de l'état Trophique Des Eaux Du Complexe Lagunaire Côtier Du Sud-Ouest Bénin En Période de Hautes Eaux (de Togbin à l'Embouchure Mono) ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 14 (7) : 2618-28.
15. Boko M. 1988. « Climats et communautés rurales du Bénin : rythmes climatiques et rythmes de développement ». Thèse de doctorat, Dijon. <https://www.theses.fr/1988DIJOL004>.
16. Bouazize S., Asma D. et Taha-Hocine D. (Encadreur) 2020. « Contribution à l'étude de la contamination des eaux par les ETM et les pesticides. Cas de la plaine alluviale d'oued Nil (Jijel, NE Algérien) ». Thèses, Université de Jijel. <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/6845>.
17. Bouzit Z. F. 2012 « mémoire de master : Etude d'un mécanisme de traitement des eaux superficielles à base des plantes végétales. Filière : Génie des Procédés Option : Génie des Matériaux ».
18. Center T. D., Thai K. V., Dray F. A., Steven J. F., Teresa M. R., Pratt P. D. et Rayamajhi M. B. 2005. « Herbivory alters competitive interactions between two invasive aquatic plants ». *Biological Control* 33 (2) : 173-85.
19. Charpentier A., Grillas P., Lescuyer F., Coulet E. et Auby I. 2005. « Spatio-temporal dynamics of a *Zostera noltii* dominated community over a period of fluctuating salinity in a shallow lagoon, Southern France ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64 (2) : 307-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.02.024>.
20. Chartier M. 1963. « L'eau naturelle superficielle courante ». *La Houille Blanche* 49 (6) : 633-40. <https://doi.org/10.1051/lhb/1963042>.
21. Chouti W. K., Chitou N. E., Kelome N., Kpako B. B. H., Vlavanou D. H. et Tossou M. 2017. « Caractérisation Physico-Chimique Et Étude De La Toxicité De La Lagune Côtière, De Togbin À Grand-Popo (Sud-Ouest Bénin) ». *European Scientific Journal, ESJ* 13 (27) : 131. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n27p131>.
22. De Laet C., Matringe T., Petit E. et Grison C. 2019. « *Eichhornia Crassipes* : A Powerful Bio-Indicator for Water Pollution by Emerging Pollutants ». *Scientific Reports* 9 (1) : 7326. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43769-4>.

23. Dedjiho C. A., Mama D., Dimon B. F., Chouti K. W., Alassane A., Fiogbe E. D. et Sohounhloue C. K. D. 2013. « Influence de l'état d'eutrophisation de La Lagune de Gbèzoumè (Ouidah) Sur Sa Faune Aquatique ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7 (5): 2069-77. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.24>.
24. Diop C. 2014. « Étude de la contamination, de la spéciation et de la biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les eaux et sédiments côtiers et estuariens au Sénégal : évaluation de la toxicité potentielle ». Thèse de doctorat, Lille 1. <https://www.theses.fr/2014LIL10034>.
25. Dossou-Yovo E. R., Vandamme E., Dieng I., Johnson J-M. et Saito K. 2020. « Decomposing rice yield gaps into efficiency, resource and technology yield gaps in sub-Saharan Africa ». *Field Crops Research* 258 (novembre) : 107963. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107963>.
26. Dovonou F. E., Alladassivo E. M., Koukpo J. M., Sintondji L. et Yalo N. 2022. « Evaluation de La Qualité Physico-Chimique et Bactériologique de l'eau Du Lac Azili Dans La Commune de Zangnanado Au Centre Du Bénin ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 16 (2) : 867-77. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i2.28>.
27. Feddamadji A. et Hadjhacene Samira Mai 2016/2017 « mémoire de master : Etude phytochimique et activité biologique des extraits de trois plantes médicinales : Application aux traitements des eaux » Filière : Génie des procédés Option : Procédés pharmaceutiques.
28. Fiogbe E. D., et Gbaguidi A. 1999. « Rapport National sur la Pêche au Benin ». ACP-EU. <http://hdl.handle.net/1834/932>.
29. Ghabbour E. A., Davies G., Lam Y-Y. et Vozzella M. E. 2004. « Metal binding by humic acids isolated from water hyacinth plants (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms-Laubach : Pontedericeae) in the Nile Delta, Egypt ». *Environmental Pollution* 131 (3) : 445-51. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.02.013>.
30. Goswami S. et Das S. 2018. « *Eichhornia crassipes* mediated copper phytoremediation and its success using catfish bioassay ». *Chemosphere* 210 (novembre) : 440-48. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.044>.
31. Grillas P. et Lefeuvre J-C. 1992. « Les communautés de macrophytes submergées des marais temporaires oligo-halins de camargue. Etude expérimentale des causes de la distribution des espèces ». 1969-2022, France.
32. Gupta P. J. « The Efficacy of *Euphorbia Prostrata* in Early Grades of Symptomatic Hemorrhoids – a Pilot Study ». *European Review for Medical and Pharmacological Sciences* 2011 ; 15 : 199-203

33. Hallett S. G. 2005. « Where are the bioherbicides? » *Weed Science* 53 (3): 404-15. <https://doi.org/10.1614/WS-04-157R2>.
34. Herfjord T., Østhagen H. et Sælthun N. R. 1994 « Norwegian water resources and energy administration ».
35. Honvou S. H. S., Aboh B. A., Sèwade C., Teka O., Gandonou B. C., Oumorou M. et Sinsin B. 2021. « Diversité Floristique, Structure et Distribution Des Groupements Végétaux Des Parours d'accueil Des Transhumants Dans La Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé Au Bénin ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 15 (1) : 81-96. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.8>.
36. Hounkpe J. B., Kelome N. C., Lawani R. A. N., Adechina A. R. M. A., « Etat des lieux de la pollution des écosystèmes aquatiques au Bénin (Afrique de l'ouest) ». *Larhyss Journal* . juin 2017, Issue 30, p149-171. 23p.
37. <https://www.africmemoire.com/part.3-chap-i-generalite-sur-leau-775.html>.
« Chapapitre I. Généralité sur l'eau »
38. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-eau-5715/>. « Définition | Eau - H2O »
39. Huang H., Liu J., Liu H., Evrendilek F. et Buyukada M. 2020. « Pyrolysis of water hyacinth biomass parts : Bioenergy, gas emissions, and by-products using TG-FTIR and Py-GC/MS analyses ». *Energy Conversion and Management* 207 (mars) : 112552. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112552>.
40. Isebe T. I. 2016. « Phytochemical Composition And Antibacterial Activity Of *Eichhornia Crassipes* In Lake Victoria, Kisumu » 5 (09).
41. Jayanthi B., Emenike C. U., Agamuthu P., Simarani K., Mohamad S. et Fauziah S. H. 2016. « Selected microbial diversity of contaminated landfill soil of Peninsular Malaysia and the behavior towards heavy metal exposure ». *CATENA* 147 (décembre) : 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.033>.
42. Kukatula J., Swana L. W., et Makiadi J. 2021. « Evaluation Des Teneurs En Eléments Traces Métalliques (Cadmium Et Plomb) Dans L'eau, Les Sédiments Et Deux Espèces De Poissons *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) Et *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) Dans Le Pool Malebo (Fleuve Congo), RD Congo-NC-ND 4.0 open access », juillet. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25p174>.
43. Labbardi H., Ettahiri O., Lazar S., Massik Z. et El Antri S. 2005. « Étude de la variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques caractérisant la qualité des eaux

d'une lagune côtière et ses zonations écologiques : cas de Moulay Bousselham, Maroc ». *Comptes Rendus Geoscience* 337 (5) : 505-14. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.01.009>.

44. Lamond E. et Kinyanjui J. 2012. *Cholera Outbreak Guidelines : Preparedness, Prevention and Control*. Oxfam GB. <https://oxfamlibrary.openrepository.com/handle/10546/237172>.
45. Lamprea K. 2009. « Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains. » Phdthesis, Ecole Centrale de Nantes (ECN). <https://theses.hal.science/tel-01002809>.
46. Lawani R. A. N., Kelome N. C., Agassounon Djikpo Tchibozo M., Hounkpe J. B. et Adjagodo A. « Effects of agricultural practices on the pollution of surface water in Benin republic ». *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°30, Juin 2017, pp. 173-190
47. Leiviskä T. et Santos S. C. R. 2023. « Purifying water with plant-based sustainable solutions : Tannin coagulants and sorbents ». *Groundwater for Sustainable Development* 23 (novembre) : 101004. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101004>.
48. Liu C., Ye J., Lin Y., Wu J., Price G. W., Burton D. et Wang Y. 2020. « Removal of Cadmium (II) using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biochar alginate beads in aqueous solutions ». *Environmental Pollution* 264 (septembre): 114785. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114785>.
49. Loukman B., Nakolendousse S., Nour A. M. et i Nguinambaye M. M. 2017. « Caractérisation Hydrochimique de La Nappe de Yao et Ses Environs : Relations Entre Eaux de Surface (Lac-Fitri) et Eaux Souterraines ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11 (3): 1336-49. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i3.33>.
50. Lugo-Arias J., Lugo-Arias E., Ovallos-Gazabon D., Arango J., de la Puente M. et Silva J. 2020. « Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification : A case study in Colombia ». *Heliyon* 6 (6): e04296. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>.
51. Machado-Estrada B., J Calderón J., Moreno-Sánchez R. et Rodríguez-Zavala J. S. 2013. « Accumulation of Arsenic, Lead, Copper, and Zinc, and Synthesis of Phytochelatins by Indigenous Plants of a Mining Impacted Area ». *Environmental Science and Pollution Research* 20 (6): 3946-55. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1344-8>.
52. Madikizela L. M. 2021. « Removal of organic pollutants in water using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) ». *Journal of Environmental Management* 295 (octobre): 113153. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113153>.

53. Mbokuyo M. 2017. « A Phytosociological Study of Hydrocotyle Mannii and Centella Asiatica Weed Community in Kampala (Uganda, Eastern Africa) ». *Journal of Environmental Science and Engineering A* 6 (5). <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2017.05.006>.
54. Messadene Sofiane. 2021 « mémoire de master: Impact des métaux lourds 'plomb & cadmium' sur l'organisme, inoculés chez les rongeurs rats 'wistars' Option : Biochimie Appliquée
55. Mouchet P. et Roustan M. 2016 « Caractéristiques et propriétés biologiques de l'eau ».
56. Nyamunda B. C., Chivhanga T., Guyo U., et Chigondo F. 2019. « Removal of Zn (II) and Cu (II) Ions from Industrial Wastewaters Using Magnetic Biochar Derived from Water Hyacinth ». *Journal of Engineering* 2019 (mai) : e5656983. <https://doi.org/10.1155/2019/5656983>.
57. Oueslati W. et Added A. 2015. "Acide Volatile Sulfides " et « Simultaneously Extracted Metals » dans les Sédiments des carottes prélevées dans la lagune de Ghar El Melh, Nord de la Tunisie. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3197.3284>.
58. Patil P. 2012. « Physico-chemical parameters for testing of water -A review ». *International Journal of Environmental Sciences* 3 (janvier) : 1194-1207.
59. Rauf A., Qaisar M., Uddin G., Akhtar S. et Muhammad N. 2012. « Preliminary Phytochemical Screening and Antioxidant Profile of Euphorbia Prostrate ». *Middle-East Journal of Medicinal Plants Research* 1(1) : 09-13.
60. Rufchaei R., Abbas-Mohammadi M., Mirzajani A. et Nedaei S. 2022. « Evaluation of the Chemical Compounds and Antioxidant and Antimicrobial Activities of the Leaves of Eichhornia Crassipes (Water Hyacinth) ». *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products* 17 (1). <https://doi.org/10.5812/jjnpp.101436>.
61. Saeed-ul-Hassan S., Bhatti M. U., Khalil-ur-Rehman M., Niaz U., Waheed I., Rasool S., Karim S., Saeed M. A. et Tariq I. 2013. « Irritant Effects of Euphorbia Prostrata. » *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* 7 (33) : 2321-32.
62. Sakhraoui M. et Boubatra M. 2016. « Analyse les polluants métalliques ETM issus de retombées atmosphériques et d'origine industriels dans les sols d'une zone d'activité industrielle », octobre. <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/11122>.
63. Salahuddin N., Abdelwahab M. A., Akelah A. et Elnagar M. 2021. « Adsorption of Congo Red and Crystal Violet Dyes onto Cellulose Extracted from Egyptian Water

- Hyacinth ». *Natural Hazards* 105 (2) : 1375-94. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04358-1>.
64. Shabana Y. M. 2005. « The use of oil emulsions for improving the efficacy of *Alternaria eichhorniae* as a mycoherbicide for waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) ». *Biological Control* 32 (1) : 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.07.015>.
65. Sharma R., Saini H., Paul D. R., Chaudhary S. et Nehra S. P. 2021. « Removal of Organic Dyes from Wastewater Using *Eichhornia Crassipes* : A Potential Phytoremediation Option ». *Environmental Science and Pollution Research* 28 (6) : 7116-22. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10940-8>.
66. Shiomi N. 2018. *Advances in Bioremediation and Phytoremediation*. BoD – Books on Demand.
67. Sinzogan F. et Adje A. H. C. 2019. « Rapport Description Des Zones Marine Et Côtière D'importance Ecologique Ou Biologique (ZIEB) Au Sud-Benin ».
68. Smith K. 1981. « The prediction of river water temperatures / Prédiction des températures des eaux de rivière ». *Hydrological Sciences Bulletin* 26 (1) : 19-32. <https://doi.org/10.1080/02626668109490859>.
69. Subin M.P et Husna A.H. 2013. « An Assessment on the Impact of Waste Discharge on Water Quality of Priyar River Lets in Certain Selected Sites in the Northern Part of Ernakulum District in Kerala, India ». *International Research Journal of Environment Sciences* Vol. 2(6), 76-84
70. Tossou E. M., Adechina A. R., Hounkpe B. J., Kelome C. N., Sy B. A. et Diaw A. T. 2019. « Analyse Granulometrique et Cartographie des Sédiments Superficiels de la Lagune Cotiere au Benin (Afrique de L'Ouest) ». *European Scientific Journal ESJ* 15 (24). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n24p294>.
71. Ugya A.Y., Imam T.S. et Tahir S.M. 2016 « The role of phytoremediation in remediation of industrial waste ». *World Journal of Pharmaceutical Research* Volume 5, Issue 12, 1403-1430.
72. Viaho C., Montcho A. S., Agblonon T. M. H., Adandedjan D., Agadjihouede H. et Laleye P. 2020. « Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé et ses chenaux au Sud-Ouest du Bénin », septembre.
73. Voukeng I. K., Beng V. P. et Kuete V. 2017. « Multidrug resistant bacteria are sensitive to *Euphorbia prostrata* and six others Cameroonian medicinal plants extracts ». *BMC Research Notes* 10 (1) : 321. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-2665>

74. Yuan C-G., Shi J-B., He B., Liu J-F., Liang L-N. et Jiang G-B. 2004. « Speciation of heavy metals in marine sediments from the East China Sea by ICP-MS with sequential extraction ». *Environment International* 30 (6) : 769-83. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.01.001>.
75. Zahoor M. K., Sultana K., Sagheer M., Nasir S., Zahoor A. M., Jabeen F. et Riaz B. 2016. « Insecticidal Activity of Weed Plants, Euphorbia Prostrata and Chenopodiastrum Murale against Stored Grain Insect Pest Trogoderma Granarium Everts, 1898 (Coleoptera : Dermestidae) ». *Turkish Journal of Entomology* 40 (3): 291-301.
76. Ziarati P. 2017 | PhD Chemical Toxicology | Medicinal Chemistry | Research Profile ». ResearchGate. <https://www.researchgate.net/profile/Parisa-Ziarati>.

Table des matières

DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	v
ABSTRACTS.....	vi
SOMMAIRE	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES PHOTOS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ACRONYMES	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	5
1.1. Généralité sur l'eau.....	6
1.1.1. Composition chimique et cycle de l'eau.....	6
1.1.2. Caractéristiques de l'eau	7
1.1.3. Paramètres physico-chimiques des eaux superficielles	7
1.1.4. Norme de la qualité d'une eau.....	9
1.2. Généralité sur les Eléments Traces Métalliques (ETM).....	10
1.2.1. Définition et origine ETM	10
1.2.2. Les ETM et leurs toxicités.....	11
1.3. Généralité sur les plantes	13
1.3.1. Généralité sur <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinthe d'eau).....	13
1.3.1.1. Origine et distribution géographique.....	13
1.3.1.2. Position systématique et appellations diverses	13
1.3.1.3. Description botanique	13
1.3.1.4. Travaux antérieurs sur <i>Eichhornia crassipes</i>	14
1.3.2. Généralité sur <i>Euphorbia prostata</i>	15
1.3.2.1. Origine et distribution géographique.....	15
1.3.2.2. Position systématique et appellations diverses	15

1.3.2.3. Description botanique	15
1.3.2.4. Travaux antérieurs sur <i>Euphorbia prostrata</i>	16
CHAPITRE 2 : CADRE D'ÉTUDE, MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	17
2.1. Cadre d'étude.....	18
2.2. Présentation de la zone d'étude.....	18
2.2.1. Situation géographique.....	18
2.2.2 Climat et Hydrographie.....	19
2.2.2.1 Climat.....	19
2.2.2.2. Hydrographie.....	20
2.2.3. Sols et végétation	20
2.2.3.1. Sols	20
2.2.3.2. Végétation.....	20
2.2.4. Géomorphologie et géologie	21
2.2.5. Aspects socio-économiques	21
2.2.5.1 La pêche et l'élevage.....	21
2.2.5.2 L'agriculture et le maraîchage	22
2.3. Matériel	22
2.3.1. Matériel végétal.....	22
2.3.2. Sites d'échantillonnage d'eau.....	22
2.3.3. Matériel de laboratoire et produit chimique	24
2.4. Méthodes.....	26
2.4.1. Phase d'obtention des extraits et analyse phytochimique	26
2.4.1.1. Obtention des extraits aqueux et organiques.....	26
2.4.1.2. Analyse phytochimique	27
2.4.2 Méthode d'échantillonnage d'eau.....	28
2.4.3. Test de cuivre par la méthode de bicinchoninate.....	28
2.4.3. Analyse des ETM dans les échantillons.....	30
CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION	31
3.1. Résultats	32
3.1.1. Analyse phytochimique des extraits des plantes.....	32
3.1.2. Analyse du test au biccinchoninate	34

3.1.3. Résultats des paramètres physico-chimiques	34
3.1.4. Résultats des ETM sélectionnés dans les échantillons	36
3.2. Discussion	39
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	41
CONCLUSION.....	42
PERSPECTIVES	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	43
REFERENCES ET WEBOGRAPHIES	44
Table des matières	52