

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الدراسة الوطنية العليا للعلوم البحرية وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur
en science de la mer**

Option : Biotechnologie marine

Thème :

***Étude de la valorisation de deux biomasses marines en
vue de leur utilisation dans le traitement de l'eau***

Présentée par:

- **Mlle. Bensaada Lina Douniazed**
- **Mlle. Mouloudj Aya**

Soutenu le 07/07/2025 devant le jury suivant:

Mme. Alouache Souhila	Professeur	Présidente	(ENSSMAL)
Mme. Ghezali Katia	MCB	Examinatrice	(ENSSMAL)
Mme. Djahnit Nora	MCA	Promotrice	(ENSSMAL)

Promotion : 2024/2025

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux personnes qui nous ont soutenus en effectuant ce mémoire et qui ont participé à son élaboration.

Nous adressons une reconnaissance particulière à notre promotrice, Madame **DJAHNIT N**, pour son encadrement exceptionnel, ses recommandations éclairées et son assistance continue tout au long de cette entreprise. La précision et le savoir-faire qu'il a démontrés ont été déterminants dans l'accomplissement de ce travail.

On tient à remercier Madame **TAIBL.H**, Pour son aide, sa présence et sa patience avec nous, ainsi que ses conseils tout au long de cette expérience.

Nous remercions aussi Madame **MEHIDI. H**, pour son aide précieuse et encouragements. Ses suggestions et ses remarques pertinentes ont considérablement enrichi cette recherche.

Sans oublier toute l'équipe du laboratoire de *l'Ecole Nationale Supérieure des sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral* pour leur soutien technique et logistique, notamment la responsable des laboratoires de l'*ENSSMAL*, Mme **REFES**, ainsi qu'à Mr. **ALI** qui nous a vraiment aidé pendant notre travail au laboratoire avec plein d'informations et conseils, et aussi à Mr. **YACINE** ,Mr. **MALIK** ,Mme **HOUDA**, et Mme **AMINA**

Sans l'aide précieuse de notre famille, en particulier nos parents qui nous ont toujours soutenus sur le plan moral et matériel, ce mémoire n'aurait pas vu le jour. Nous tenons à les remercier profondément.

Pour conclure, nous tenons à exprimer sincèrement notre reconnaissance à tous ceux qui ont participé, directement ou indirectement, à l'élaboration de ce mémoire, car un projet ne peut être le résultat d'une seule personne.

Dédicace

Avec une profonde gratitude, je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont entouré, soutenu et encouragé. Votre amour, votre patience et votre soutien inébranlable ont été une source constante d'inspiration tout au long de ce parcours académique.

*A ma très chère maman **NAIMA**, je dédie ce travail, quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point de te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ton amour me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force, que Dieu te protège, maman, et t'accorde santé, longue vie et bonheur.*

*A mon très cher père **MOURAD**, je dédie ce travail, ce grand homme, qui fut et restera mon plus grand Exemple, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager et me cultiver, Que ce travail soit le fruit de tes sacrifices. Puisse Dieu t'accorder santé, bonheur et longue vie.*

*A ma chère tante **FATMA EL ZOHRA**, je dédie ce mémoire, à ma deuxième maman, cette tante exceptionnelle, dont la générosité et l'affection ont toujours été un refuge pour moi. J'espère que cette dédicace témoigne de ma reconnaissance et de mon amour.*

*A mon cher cousin **CHEMSOU**, mon grand frère je dédie ce travail, qui n'a jamais raté l'occasion de m'aider et me soutenir, et m'orienter pour devenir une meilleure version de moi, et sans oublier ses idées exceptionnelles et sa vaste culture.*

*Et enfin, à ma binôme, ma sœur **AYA**, avec qui j'ai passé des moments formidables pendant mon cursus, merci d'être toujours là pour moi.*

Votre amour et soutien restera à jamais gravée dans mon cœur et mes souvenirs.

Lina Douniazed

Dédicace

Je dédie ce travail, fruit d'un long parcours d'apprentissage, de persévérance et d'efforts, à ceux qui ont toujours cru en moi, m'ont soutenue et entourée de leur amour tout au long de ce chemin.

À ma chère maman Ghania, ton amour inconditionnel, ta patience et ton courage m'ont portée dans les moments les plus difficiles. Merci pour tes prières, ta tendresse et ta force silencieuse. Tu es et resteras mon pilier le plus solide.

À mon père M'hammed, pour ta confiance, ton respect et tes encouragements, je te suis reconnaissante pour ton soutien, même à distance.

À ma sœur de cœur Salsabil, ton affection, ton écoute et ta présence lumineuse ont toujours été une source de réconfort et d'équilibre. Merci d'être tout simplement toi

À ma sœur Ibtihal, à mes frères Khalil et Ousayd, votre présence dans ma vie est une richesse inestimable. Merci pour vos encouragements et vos mots simples qui m'ont souvent redonné courage

À Lina, ma binôme, mon amie, ma sœur de cœur, ce travail est aussi le tien. Merci pour ton sérieux, ta patience, ta solidarité et ton amitié précieuse. Ce que nous avons partagé dépasse les mots, et je te suis infiniment reconnaissante d'avoir marché à mes côtés dans cette aventure

AYA

SOMMAIRE

Table des matières

Introduction	1
CHAPITRE I : GENERALITES.....	1
I.1- La pollution.....	5
I.1.2- Définition	5
I.2- Adsorption	6
I.2.1- Définition de l'adsorption.....	6
I.2.2- Types d'adsorption	6
I.2.3 Adsorption chimique	6
I.2.4- Adsorption physique	6
I.3– Biosorption	7
I.3.1-Définition.....	7
I.4- Cinétique d'adsorption	7
I.4.1- Modèle du pseudo-premier ordre : modèle de Lagergren.....	8
I.4.2- Modèle du pseudo-seconde ordre :modèle de Ho et McKay	8
I.4.3- Modèle d'Elovich.....	9
I.5- Classification des isothermes d'adsorption	10
I.5.1 Isotherme de Langmuir	10
I.5.2 - Isotherme de Freundlich	10
I.5.3- Isotherme de Temkin	11
I.5.4-Classification des isothermes d'adsorption.....	11
I.6- Biosorbants	13
I.6.1- Propriétés des biosorbants	13
<i>I.7- Posidonia oceanica</i>	15
I.7.1- Définition.....	15
I.7.2 - Distribution géographique	15
I.7.3- Systématique.....	16
I.7.4- Morphologie.....	16
I.7.5- Les feuilles mortes de <i>Posidonia oceanica</i>.....	17
I.7.6- Importance et rôle de l'herbier de Posidonie.....	18
I.8- La diatomite.....	19
I.8.1- Définition	19
I.8.2- Proprietes de la diatomite.....	19

I.8.3-Domaine d'utilisation de la diatomite	20
I.9- Polluants	21
I.9.1- Ammonium	21
I.9.2- Les sources d'ammonium	22
I.9.3- Toxicité	22
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	20
II.1- Matériel utilisés	21
II.1.1- Les produits chimiques	21
II.1.2- Verrerie et autres	21
II.1.3- Appareillage et système de mesure	24
II.1.4-Instruments logistiques	26
II.2. Méthode	26
II.2.1. Protocoles	26
II.2.1.1- Solution Stock	26
II.2. 3-Préparation de la courbe d'étalonnage	27
II.2.5- Préparation des adsorbants	28
II.2.6-Diatomite	30
II.2.7- Test en batch	30
II.3- La Cinétique d'adsorption de la posidonie/Diatomite	31
II.4- Etude l'effet de pH	32
II.5- Étude de l'effet de la température	33
II.6- Étude de l'effet de la masse	34
II.7- Isothermes d'adsorption	34
II.8- Modélisation de la cinétique	34
II.9- Modélisation des isothermes	35
II.10-Calcul des erreurs	35
II.11- Caractérisation par spectroscopie infrarouge a transformée de Fourier (IRTF) :	35
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCCUSION	37
III. Résultats et discussions	38
III.1- Courbe d'étalonnage	38
III.2- Cinétique d'adsorption:	38
III.3 - Etude de l'effet de la variation de pH	40
III.4 – Étude l'effet de la variation de la température	42
III.5- Modélisation de la cinétique d'adsorption	45
III.6 – Isothermes d'adsorption d'ammonium	47

III.6.1 –Modélisation des isothermes.....	48
II.7- Analyse du FTIR-ATR pour la diatomite	52
III.8- Analyse du spectre FTIR pour la posidonie.....	54
CONCLUSION	56
REFERENCES	59
Annexes	65
Résumé	78

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Figure 1: classification des isothermes d'adsorption	10
Figure 2: Repartition de Posidonie Oceanica le long des cotes mediterranees(Lingne verte).....	13
Figure 3: Morphologie externe de <i>Posidonia oceanica</i>	14
Figure 4: Une banquette de <i>P. oceanica</i>	15
Figure 5: Les aegagropiles de posidonie dans le milieu naturel	16
Figure 6 : Diatomée vue au microscope optique	18
Figure 7: Verrerie utilisée au laboratoire	23
Figure 8: Ensemble d'appareils et de systèmes de mesure	25
Figure 9: Carte géographique représentant la localisation des trois sites de collecte des aegagropiles de <i>Posidonia oceanica</i>	28
Figure 10 : Prétraitement de la biomasse	29
Figure 11: Poudre de diatomite	30
Figure 12: Dispositif d'adsorption en Batch.....	31
Figure 13: Élaboration d'une série de solutions de pH 2 à 11	33
Figure 14: Spectromètre FTIR Jasco FT/IR-4X équipé de l'accessoire ATR.....	36
Figure 15 : Quantité d'adsorption d'ammonium sur les fibres de Posidonie et la diatomite	39
Figure 16: Le rendement de fixation d'ammonium sur les fibres de Posidonie et la diatomite	40
Figure 17: Evolution de la capacité d'adsorption d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différents pH	41
Figure 18: Evolution du rendement de fixation d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différents pH	41
Figure 19: Evolution de la capacité d'adsorption d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différentes températures.....	43
Figure 20 : Evolution de le rendement de fixation (F%) d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différentes températures.....	43
Figure 21: Cinétique d'adsorption d'Ammonium sur la poudre de Diatomite selon le modèle de Pseudo second- ordre.....	45
Figure 22: Cinétique d'adsorption d'Ammonium sur les fibres de Posidonie selon le modèle de Pseudo second- ordre;	46
Figure 23 : Les isothermes d'adsorption d'ammonium sur la PN et DN	48
Figure 24: Isothermes d'adsorption d'ammonium sur la Diatomite selon le modèle de Langmuir	49

LISTE DES FIGURES

Figure 25: Isothermes d'adsorption d'ammonium sur la Posidonie selon le modèle de Langmuir	49
Figure 26: Spectre FTIR de la diatomite avant et après l'adsorption de l'ion ammonium NH_4^+	52
Figure 27: Spectre FTIR de la posidonie avant et après l'adsorption de l'ion ammonium NH_4	54

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Tableau 1:Comparatif entre l'adsorption physique et chimique.....	7
Tableau 2:La systématique de Posidonia oceanica.....	7
Tableau 3: les solutions et les réactifs préparés au laboratoire.....	21
Tableau 4: les verreries utilisées au laboratoire.....	23
Tableau 5: Appareillages utilisés en laboratoire.....	24
Tableau 6: Concentrations et volumes prélevés pour la préparation des solutions filles	27
Tableau 7: liste des fonctions d'erreurs	35
Tableau 8: Résultats de calcul des paramètres du modèle de pseudo second- ordre pour les deux biosorbants.....	46
Tableau 9: Résultats de calcul des coefficients de corrélation, et des différentes valeurs d'erreurs pour les modèles appliqués à la cinétique d'adsorption d'ammonium par les deux biomasses	47
Tableau 10 : Résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption d'ammonium sur les deux biosorbants par le modèle de Langmuir.....	50
Tableau 11: Résultats de calcul des coefficients de corrélation, et des différentes valeurs d'erreurs pour tous les modèles appliqués à la cinétique d'adsorption d'ammonium par les deux biosorbants	51

LISTE DES FORMULES

Liste des formules

(1) L'équation de Lagergren.....	9
(2) L'intégration de l'équation Lagergren	9
(3) Equation de Ho et McKay	10
(4) L'intégration de l'équation de Ho et McKay	10
(5) L'équation de Elovich	10
(6) L'équation de Elovich	10
(7) Relation de l'isotherme de Langmuir	11
(8) Linéarisation de relation de l'isotherme de Langmuir	11
(9) Equation de Freundlich	11
(10) La linéarisation de l'équation de Freundlich	12
(11) Equation de Temkin.....	12
(12) La linéarisation de l'équation de Temkin	12
(13) La quantité adsorbée.....	14
(14) Le rendement de fixation	14

LISTE DES ACRONYMES

Liste des acronymes

ENSSMAL : Ecole supérieure nationale de sciences de la mer et aménagement de littoral

PN : Posidonie naturelle

DN : Diatomite naturelle

Qe : Quantité adsorbée

F : Rendement de fixation

K1 : Constante de vitesse du modèle cinétique de pseudo-premier ordre

K2 : Constante de vitesse du modèle cinétique de pseudo-second ordre

RL : Paramètre d'équilibre

ERRSQ : Somme des erreurs quadratiques

X² : Somme des erreurs de chi carré

Qems : La quantité adsorbée observée expérimentalement

Qecal : Quantités adsorbées tirées des divers modèles

LISTE DES ABREVIATION

Liste des abréviations

NH₄Cl : Chlorure d'ammonium

C₆H₅OH : Phénol

Na₂[Fe(CN)₅NO]·2H₂O : Nitroprussiate de sodium

NaOH : Hydroxyde de sodium

Na₂HPO₄ : Citrate trisodique

NaClO : Hypochlorite de sodium (eau de Javel)

mg/L : Milligramme par litre

mol/L : Mole par litre

mg/g : Milligramme par gramme

g : Gramme

mg : Milligramme

µg : Microgramme

L : Litre

ml : Millilitre

µL : Microlitre

S : Seconde

min : Minute

h : heure

°C : Degré Celsius

nm : Nanomètre

% : Pourcentage

LISTE DES ABREVIATION

A : Absorbance

Ce : Concentration effective des solutions

ε : Coefficient d'extinction de la lumière

OH⁺ : Radicaux hydroxyles

INTRODUCTION GENERALE

Introduction :

La pollution des eaux devient un problème mondial et une évaluation continue des politiques en matière de ressources en eau est nécessaire pour y remédier.

Cela comprend le type de sol, la flore, la géologie, les conditions d'écoulement, les eaux souterraines et principalement les activités humaines. Les sources ponctuelles industrielles et municipales constituent la menace principale pour la qualité de l'eau. Des activités comme l'extraction minière, l'urbanisation et l'agriculture ont également un impact sur la qualité de l'eau. La pollution diffuse englobe aussi les nutriments, les dépôts sédimentaires et les polluants toxiques.

La qualité de l'eau est influencée par de nombreux facteurs tels que les précipitations, le climat, Les polluants peuvent être de différents types et avoir des propriétés différentes. Par exemple, les polluants organiques persistants, notamment les plastiques non biodégradables, les produits chimiques de synthèse et les métaux lourds, ont une capacité d'absorption nulle ou très faible. Ces polluants s'accumulent dans l'environnement au fil du temps. Leurs effets néfastes augmentent avec leur quantité.(Chaudhry & Malik, 2017)

Les polluants chimiques sont considérés comme des principaux polluants affectant les écosystèmes aquatiques, Parmi les polluants, l'ammoniac (ion ammonium dans des conditions physiologiques) principal composants des rejets issus de l'aquaculture. Il est produit en continu dans les organismes vivants par divers processus biochimiques, mais son accumulation dans les cellules entraîne des lésions tissulaires. Les connaissances actuelles suggèrent que quelques enzymes et transporteurs sont responsables du maintien de l'équilibre délicat des flux d'ammonium dans les tissus végétaux , bien que l'ammonium lui-même soit peu toxique pour les organismes aquatiques, il peut engendrer plusieurs problèmes environnementaux, notamment la corrosion des conduites d'eau, la diminution de l'efficacité du traitement au chlore, et le développement de microorganismes responsables de goûts et odeurs désagréables (Han et al.,2024)

Introduction générale

Plusieurs procédés de pollution peuvent être utilisés afin de remédier à ce problème, dont la biosorption. La biosorption peut être définie comme étant l'élimination de substances d'une solution par un matériau biologique. Ces matières peuvent être de nature organique ou inorganique, et se manifester en tant que gaz, solubles ou insolubles. Le processus de biosorption englobe des procédés tels que l'absorption, l'adsorption, le remplacement d'ions, la complexation de surface et la précipitation. La biosorption, qui est une caractéristique des êtres vivants et inanimés (ainsi que de leurs constituants), est reconnue depuis longtemps comme une biotechnologie d'avenir pour l'élimination ou la récupération des polluants dans une solution. Elle séduit par son efficacité, sa facilité d'utilisation, son principe de fonctionnement similaire à la technologie d'échange d'ions traditionnelle et la disponibilité de la biomasse. . La plupart des études sur la biosorption ont été menées sur des systèmes microbiens, principalement des bactéries, des microalgues et des champignons, ainsi que sur des métaux toxiques et des radionucléides, notamment des actinides comme l'uranium et le thorium. Cependant, la quasi-totalité des matières biologiques présente une affinité pour les espèces métalliques, et de nombreuses autres recherches portent sur les macroalgues, la biomasse végétale et animale, les boues organiques résiduelles et de nombreux autres déchets ou bioproduits dérivés. Si la plupart des recherches sur la biosorption concernent les métaux et les substances apparentées, dont les radionucléides, le terme s'applique désormais également aux particules et à toutes sortes de substances organiques(Gadd, 2009)

Dans notre recherche, nous nous sommes intéressées à deux biomasses naturelles marines, les aegagropiles de Posidonie et la poudre de la Diatomite.

Posidonia oceanica, une plante aquatique du bassin méditerranéen abondante en tant que déchet marin sur les plages, s'est révélée être un biosorbant efficace pour éliminer les polluants. Plusieurs publications scientifiques portant sur *Posidonia oceanica* ont étudié son utilisation comme support adsorbant sous différentes formes : fibre brute ou poudre, adsorbant traité chimiquement ou physiquement, nano fibre ou nano cristal de cellulose et précurseur de charbon actif. Des études connexes ont montré que toutes les formes de *Posidonia oceanica* adsorbent significativement divers polluants, notamment les métaux lourds et les colorants textiles(Masmoudi & Dhaouadi, 2024)

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse composée d'une forme amorphe de silice ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) contenant une faible quantité de matière microcristalline. Elle présente une combinaison unique de propriétés physiques et chimiques, telles qu'une porosité et une perméabilité élevées, une petite taille de particules, une grande surface spécifique et une faible conductivité thermique. Grâce à ces propriétés, la diatomite est utilisée avec succès pour le traitement de l'eau potable, des eaux usées industrielles. Elle est parfois mélangée à du chlorure d'aluminium ou du chlorure ferrique pour améliorer les processus de filtration(ElSayed, 2018)

Introduction générale

Dans notre étude, nous avons visé à évaluer l'efficacité d'adsorption des aegagropiles de *Posidonia oceanica* et la diatomite, pour l'élimination des polluants dans les milieux marins, nous avons collecté ces aegagropiles dans la wilaya de Tipaza ; plage Chenoua, et la poudre de diatomite nous l'avons reçu en poudre venue d'ENOF de Sig Mascara.

Notre étude a pour but de comparer l'efficacité de ces deux biomasse d'origine marine dans le processus d'adsorption, pour cela, l'Ammonium a été utilisé comme polluant modèle pour cet essai.

Notre étude est articulée autour de trois principales parties :

La première partie intitulée : « Généralités », résume le contexte de notre travail. Nous commençons par définir les types d'adsorption ainsi que la méthode de la biosorption, et son utilisation. Un aperçu général sur les deux biomasses naturelles est abordé ainsi que leur description, rôle, et utilisations. Enfin, nous définirons le polluant d'intérêt Ammonium et sa toxicité.

Dans la seconde partie « Matériels et méthodes », nous citerons les aspects méthodologiques de notre travail, nous décrirons notamment le matériel utilisé au laboratoire, les protocoles expérimentaux relatifs à la valorisation des deux biomasses et aux essais de batch ainsi qu'aux techniques d'analyse.

La dernière partie « Résultats et Discussions », analyse les résultats obtenus lors de notre expérience, pour cela, nous présentons les résultats de l'adsorption de l'ammonium et nous comparons le rendement des deux biomasses.

Enfin, nous concluons ce mémoire en récapitulant les principaux résultats, et une conclusion générale avec quelques perspectives concernant la valorisation de la Posidonie et la Diatomite pour la dépollution et le traitement des eaux.

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1- La pollution :

I.1.2- Définition :

La pollution d'eau, définie comme étant le phénomène de contamination des sources d'eau par diverses substances indésirables, telles que des composés chimiques, des agents pathogènes, des substances organiques et inorganiques, de la chaleur, déchets, des matières radioactives, etc., rendant l'eau impropre à la consommation, ce qui a un impact négatif sur la santé humaine et l'environnement (Mason, 2007).

I.1.2.1- Sources de pollution :

Différentes sources et de pollution, allant des rejets industriels aux déchets agricoles, créent des défis complexes pour la préservation de cette ressource cruciale. Les principaux types de pollution des ressources en eau incluent :

I.1.2.2- Pollution due à l'activité domestique :

Les rejets des activités domestiques constituent une préoccupation environnementale majeure en raison de la variété et de la quantité de déchets produits dans divers contextes comme les maisons, écoles, hôpitaux, hôtels, restaurants, marchés et magasins. Ces déchets comprennent des résidus organiques, des produits chimiques et des matières diverses, souvent mal gérés ou non traités conformément aux normes sanitaires et environnementales (Aurel & Jean , 2018)

I.1.2.3- Pollution due à l'activité industrielle :

L'impact environnemental industriel, qui découle des résidus et des substances nocives générés par les procédés industriels, représente un facteur majeur de contamination. Des recherches récentes ont souligné l'inquiétante présence de métaux lourds tels que le cadmium, le chrome, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc, sans compter les colorants et les métalloïdes dans les rivières, causant d'importants enjeux environnementaux (Adjagodo et al., 2016).

I.1.2.4- Pollution due à l'activités agricole :

La pollution agricole est un sujet qui a été mis en évidence par plusieurs études, notamment celle de (Fu et al., 2022) qui soulignent leur lien étroit avec l'évolution de l'agriculture moderne. Les pesticides, devenus essentiels dans le processus de production des cultures, représentent une part significative de cette pollution, de même que l'utilisation excessive d'engrais, qu'ils soient chimiques ou organiques, comme l'ont également souligné les travaux de (Adjagodo et al., 2016)

I.2- Adsorption :

Parmi les méthodes les plus conventionnelles développées dans le domaine de la dépollution des eaux chargées en métaux, ions ou aussi des colorants, les traitements tels que l'adsorption, offrent des avantages dont le faible coût de construction de la plupart des dispositifs.

I.2.1-Definition de l'adsorption:

L'adsorption représente une méthode de purification employée pour la dépollution de l'eau et de l'air, dans le but d'éliminer un large éventail de substances toxiques présentes dans notre environnement. Cette méthode dépeint la capacité de certains matériaux à lier réversiblement des molécules (telles que les gaz, les ions métalliques, les molécules organiques, etc.) à leur surface. Au cours du processus d'adsorption, des molécules provenant d'un liquide, dénommées « adsorbat », s'adhèrent à la surface d'un solide, nommé « adsorbant ». (Desjardins, 1990) (Arias et al, 2002)

I.2.2- Types d'adsorption :

Les processus d'adsorption sont classés en physiques et chimiques selon la nature des forces entre l'adsorbant et l'adsorbant. Les forces de Van der Waals jouent un rôle essentiel dans l'adsorption physique, tandis que les liaisons chimiques sont associées à l'adsorption chimique. L'importance du processus d'adsorption incite les chercheurs de nombreuses disciplines à mieux le comprendre (Mozaffari et al., 2022)

I.2.3 Adsorption chimique :

L'une des caractéristiques de la chimisorption est qu'elle permet la formation de différents types de liaisons entre une espèce adsorbée donnée et le même adsorbant. Ainsi, un atome peut être lié à un cristal ionique par une liaison covalente « faible », une liaison covalente « forte » ou une liaison ionique. La première est caractérisée par un électron localisé et un moment dipolaire induit qui peut être plusieurs fois supérieur au moment dû à l'adsorption physique. Lorsque la liaison est augmentée par un électron libre du réseau cristallin, l'atome adsorbé (dans le cas d'un atome électropositif monovalent) est maintenu par une liaison covalente « forte ». En revanche, la localisation d'un trou à proximité d'un atome faiblement adsorbé conduit à la formation d'une liaison ionique (Wolkenstein, 1957) .

I.2.4- Adsorption physique :

L'adsorption physique a lieu à des températures faibles. Plusieurs couches de molécules sont concernées par l'adsorption. L'adsorbat se fixe principalement sur la surface du solide via des forces électrostatiques de type dipôles, liaisons hydrogène ou Van der Waals. Elle est réversible et se réalise sans changement notable des molécules adsorbées. (Bénard et al., 1965)

CHAPITRE I : GENERALITES

Tableau 1: Comparatif entre l'adsorption physique et chimique (Matheickal et al. 1998 in Joseph, 2009).

	<u>Physique</u>	<u>Chimique</u>
Type de liaisons	Faibles	Fortes
Force de liaison	Entre 5 et 40 K.J/mol	Supérieure à 80 K.J/mol
Chaleur d'adsorption	Supérieure à la chaleur de Liquéfaction	Elevée
Spécificité	Peu spécifique	Spécifique
Désorption	Réversible	Irréversible
Cinétique	Rapide à atteindre l'équilibre	Lente et peut ne pas l'atteindre
Formation de couches	Multicouches	Monocouches
Température du processus	Voisine de la température de liquéfaction de l'adsorbat	Très supérieure à celle-ci
Structure moléculaire	Peu modifiée	Modifiée significativement

I.3- Biosorption :

I.3.1-Définition :

La biosorption est un procédé physico-chimique et dépourvu de dépendance métabolique, qui s'appuie sur différents mécanismes tels que l'absorption, l'adsorption, l'échange d'ions, la complexation de surface et la précipitation. Ces processus de biosorption sont cruciaux tant pour l'environnement et les méthodes traditionnelles de biotraitement. La biosorption, qui fait partie du domaine de la biotechnologie, cherche à extraire ou à récupérer des substances organiques et inorganiques d'une solution en utilisant des éléments biologiques. Cela inclut l'utilisation de micro-organismes vivants /morts, de leurs composants, d'algues de matières végétales, de déchets industriels et agricoles ainsi que de résidus naturels. (Fomina & Gadd, 2014).

I.4- Cinétique d'adsorption :

La cinétique est l'étude des vitesses des processus chimiques afin de comprendre les facteurs qui les influencent. L'étude de la cinétique comprend une surveillance attentive des conditions expérimentales qui influencent la vitesse d'une réaction chimique ou physique et contribuent ainsi à atteindre l'équilibre dans un délai raisonnable. Ces études fournissent des informations sur le mécanisme possible d'adsorption et les différents états de transition menant à la formation du complexe adsorbat-adsorbant final, et contribuent à l'élaboration de modèles mathématiques appropriés pour décrire les interactions. (Sen Gupta & Bhattacharyya, 2011).

CHAPITRE I : GENERALITES

Les modèles les plus utilisés dans la modélisation de la cinétique d'adsorption :

I.4.1- Modèle du pseudo-premier ordre : modèle de Lagergren :

La formule de vitesse de Lagergren, souvent employée pour illustrer l'adsorption d'un adsorbant depuis un substrat liquide, est parmi les plus couramment utilisées pour cette objectif. L'équation de cette forme linéaire, aussi appelée modèle cinétique pseudo-premier ordre, est donnée comme suit (Bhatnagar et al, 2010). Ce modèle s'applique exclusivement aux premières minutes de l'événement et propose que l'adsorption est réversible (Aarfane, A., Salhi, A., et al, 2014). Énoncée par Lagergren en 1898, elle se présente de la manière suivante :

$$Q_t = Q[1 - \exp(-k_1 * t)] \quad (\text{Belaid \& Kacha, 2011}) \dots\dots\dots (1)$$

Après intégration entre $t = 0$ et t , d'une part, et $q_t = 0$, l'équation devient:

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln(Q_e) - k_1 * t \dots\dots\dots (2)$$

- q_e et q_t représentent respectivement la capacité d'adsorption (en mg/g) à l'équilibre et au temps t .
- k_1 est la constante de vitesse d'adsorption (mn^{-1})

I.4.2- Modèle du pseudo-seconde ordre : modèle de Ho et McKay :

On utilise souvent avec succès l'équation du pseudo-second ordre pour modéliser la cinétique de l'adsorption des polluants sur le matériau adsorbant. Ce modèle décrit la cinétique d'adsorption en considérant à la fois une adsorption rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et une adsorption lente sur les sites de moindre énergie (Aarfane et al., 2014).

Plusieurs hypothèses sont à la base de ce modèle (Karmakar et al., 2018) :

- L'adsorption n'a lieu que sur des emplacements précis.
- L'énergie d'adsorption ne dépend pas du niveau de saturation de la surface.
- L'adsorption maximale se réfère à la création d'une couche unique saturée d'ions adsorbés sur la surface de l'adsorbant.
- - Le taux de désorption est insignifiant comparé au taux d'adsorption. L'expression suivante représente le modèle de pseudo-deuxième-ordre (PSO), comme indiqué par (Ho & McKay, 1999) :

$$Q_t = \frac{k_2 * Q_e^2 * t}{1 + K_2 * Q_e * t} \quad (\text{Belaid \& Kacha, 2011}) \dots\dots\dots (3)$$

CHAPITRE I : GENERALITES

Après intégration entre $t = 0$ et t , d'une part, et $q_t = 0$ et q_t , on obtient la forme linéaire :

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 * Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \dots \dots \dots (4)$$

- Avec q_t et q_e : les quantités adsorbées aux temps t et à l'équilibre.
- k_2 : constantes de vitesse du processus d'adsorption de pseudo-second ordre.

I.4.3- Modèle d'Elovich :

Ce modèle est couramment employé pour expliquer l'adsorption chimique des molécules d'adsorbat sur les surfaces des solides adsorbants très diversifiés . L'équation ci-dessous présente la forme cinétique du modèle d'Elovich (Rusch & Humbert, 2010) :

$$\frac{dq_t}{dt} = \alpha e^{-\beta q_t} \dots \dots \dots (5)$$

α :représente le taux d'adsorption initial (mg/g/min).

q_t : représente la quantité d'adsorbat adsorbée à un moment précis (t). C'est un paramètre associé à l'énergie d'activation pour l'adsorption (g/mg).

Pour rendre l'équation plus simple, on peut faire l'hypothèse que : $\alpha\beta t \gg 1$, et en imposant aussi des conditions frontières ; $q_t = 0$ quand $t = 0$ et $q_t = q_t$ quand $t = t$.

La version simplifiée de ce modèle peut être représentée comme suit

La version simplifiée de ce modèle peut être représentée comme suit : (Varliki et al., 2009):

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t) \dots \dots \dots (6)$$

Si le mécanisme d'adsorption suit l'équation, alors le graphique de q_t en fonction de $\ln(t)$ produira une relation linéaire avec une pente de $(1/\beta)$ et une intersection à l'origine de $(1/\beta) \ln(\alpha\beta)$.

I.5- Classification des isothermes d'adsorption :

L'isotherme d'adsorption décrit et prédit la quantité de matière adsorbée en fonction de la pression (ou de la concentration) à température constante.

I.5.1 Isotherme de Langmuir :

Il s'agit d'un modèle publié par Langmuir en 1916, qui permet de calculer la quantité maximale adsorbée et la constante d'adsorption (Backman et al, 1999). Selon ce modèle, l'adsorption se produit sur des sites de même énergie, car il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées (monocouche).

Les équations ci-dessous représentent respectivement les versions linéaire et non linéaire de l'isotherme de Langmuir (LANGMUIR , I, 1918).

- -

Equation non linéaire : $Q_e = \frac{Q_m * k_L * C_e}{1 + k_L * C_e}$ (7)

Equation linéaire : $\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{k_L} * \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m}$ (8)

Q_e : quantité de soluté adsorbée en (mg/g)

Q_m : capacité maximale d'adsorption (mg/g).

C_e : concentration du soluté à l'équilibre (mg/l).

K_L : constante relative à l'énergie d'adsorption.

I.5.2 - Isotherme de Freundlich :

Le modèle de Freundlich, qui est simple et basé sur la pratique, est celui qui est le plus couramment employé. On considère qu'il est applicable dans de nombreux cas, spécifiquement en ce qui concerne l'adsorption en multicouches où des interactions entre les molécules adsorbées peuvent se produire.

Les formes non linéaire et linéaire de l'isotherme de Freundlich (FREUNDLICH, H, 1906) sont données par les équations suivantes :

Équations non linéaire : $Q_e = K_f * C_e^{\frac{1}{n}}$ (9)

Équations linéaire: $\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log(C_e)$ (10)

K_F : la constante de Freundlich / **n** : facteur relatif à l'intensité d'adsorption, appelé aussi facteur d'hétérogénéité. (Ncibi et al., 2008)

I.5.3- Isotherme de Temkin :

Selon Temkin, la diminution de la chaleur d'adsorption en raison de l'augmentation du taux de recouvrement est principalement linéaire, particulièrement à des taux de recouvrement moyen et faible.

Cette linéarité peut être le résultat de : - La répulsion entre les espèces adsorbées sur la surface homogène ; - L'hétérogénéité de la surface.

Les équations suivantes démontrent les modalités linéaire et non linéaire de l'isotherme de TEMKIN.

$$\text{Equation linéaire : } Q_e = RT/b \ln (K_T \cdot C_e) \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Equation non linéaire : } Q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \dots \dots \dots (12)$$

R : La constante des gaz parfaits (8,31 J mol⁻¹ K⁻¹) ;

T : la température en Kelvin (K)

K_T : constante d'équilibre associée à l'énergie de liaison maximale (L.mg⁻¹) ;

B_T : constante associée à la chaleur d'adsorption qui est équivalente à : **B_T = RT / b**

I.5.4-Classification des isothermes d'adsorption :

Quatre classes principales ont été identifiées expérimentalement : S (Sigmoidale), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (Partition Constante). La forme de chaque type d'isotherme est représentée dans la figure (01).

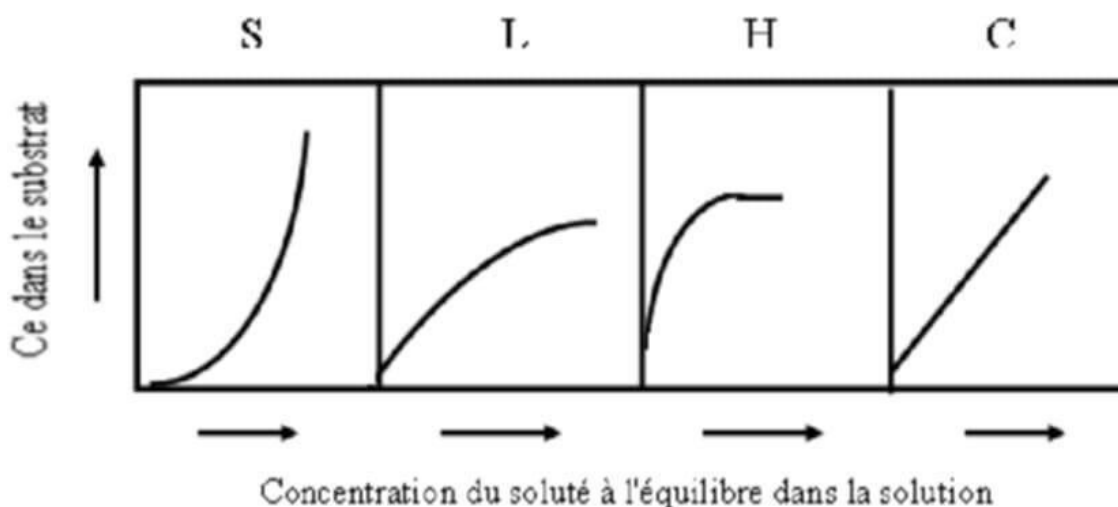


Figure 01 : Classification des isothermes d'absorption(Giles et al., 1974)

Classe L :

Les isothermes de classe L montrent, à des concentrations faibles en solution, une concavité dirigée vers le bas qui entraîne une réduction des sites disponibles au fur et à mesure que l'adsorption progresse. Ce phénomène survient lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles. On observe fréquemment cette classe lorsque les molécules sont adsorbées de manière horizontale, ce qui réduit leur attraction en direction latérale.

Elle peut aussi se produire lorsque les molécules sont adsorbées de façon verticale et que la compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté est négligeable. Dans ce cadre, l'adsorption des molécules individuelles est suffisamment intense pour que les interactions latérales deviennent insignifiantes. (Meunier, 2003).

Classe S :

À faible concentration, les isothermes de cette catégorie montrent une concavité orientée vers le haut. L'adsorption de molécules déjà adsorbées facilite l'adsorption de nouvelles molécules (adsorption coopérative). Ceci est le résultat de l'attraction entre les molécules via les forces de Van Der Waals, qui tendent à se rassembler en îlots où elles se compactent mutuellement. Ce phénomène est facilité, d'une part, lorsqu'une adsorption verticale se produit avec les molécules de soluté, comme c'est le cas pour celles ayant un unique groupe fonctionnel. D'autre part, il se produit lorsque ces molécules sont en concurrence d'adsorption intense avec le solvant.

Classe H :

La portion initiale de l'isotherme est presque verticale, indiquant une quantité d'adsorption significative à une concentration du soluté pratiquement nulle dans la solution. Ce phénomène a lieu quand les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du matériau solide sont particulièrement puissantes. On constate également la présence de l'isotherme de classe H lors de l'adsorption de micelles ou de polymères créés à partir des molécules du soluté. (L. M. Sun, F. Meunier, 2003).

Classe C :

Les isothermes de ce type montrent une séparation constante entre la solution et le substrat jusqu'à l'établissement d'un plateau. Le caractère linéaire suggère que le nombre de sites disponibles demeure constant durant le processus d'adsorption. Cela signifie que les sites se forment pendant la phase d'adsorption. Cela indique que les isothermes de ce type se génèrent quand les molécules du soluté parviennent à modifier la texture du substrat en libérant des pores qui n'avaient pas été exploités auparavant par le solvant. (L. M. Sun, F. Meunier, 2003).

I.6- Biosorbants :

Les biosorbants constituent un matériau efficace pour agglomérer les déchets toxiques tels que les engrais, les effluents industriels, les pesticides, les polluants atmosphériques, etc. Leur sélection et leur mise en œuvre pour le traitement des eaux usées et la dépollution des sols nécessitent davantage d'efforts(Pandey et al., 2023)

I.6.1- Propriétés des biosorbants :

Les biosorbants possèdent différentes propriétés essentielles qui influencent leur efficacité et capacité à absorber.

I.6.1.1- Propriétés physiques :

- **La structure poreuse :** Caractérisée par la mesure de sa surface spécifique et de son volume poreux (kang et al, 2007).
- **La surface spécifique :** Mesurée par adsorption en phase gazeuse,est calculée à partir de la capacité d'adsorption du matériau et représente la surface occupée par une molécule sonde adsorbée dans une monocouche(Tadjine, 2015)

I.6.1.2- Propriétés chimiques :

- **La composition élémentaire** : Définie par des éléments constitutifs d'un biosorbant, influence la chimie de surface de celui-ci, selon (Kang et al, 2007) une forte teneur en oxygène dans les biosorbants indique une présence significative de groupements fonctionnels oxygénés sur leur surface
- **Chimie de surface** : Éminente pour ses groupements fonctionnels de surface, pouvant être acides, basiques ou neutres. Cela inclut notamment la présence de complexes oxygénés et de groupes fonctionnels contenant de l'oxygène, tels que les fonctions carboxyliques et phénoliques. Selon leur nature et leur concentration, ces fonctions de surface peuvent affecter la capacité d'adsorption. (Lopez-Ramon, 1999)
- **Le point de charge nul** : La valeur de pH à laquelle la charge de surface est nulle a tendance à diminuer alors que le contenu en oxygène augmente. (Lopez-Ramon, 1999).
- **La composition biochimique** : Généralement constituée de cellulose, d'hémicellulose et de lignine, elle est insoluble dans l'eau. Ces composés influencent les caractéristiques mécaniques et les propriétés d'adsorption des biosorbants (Tadjine, 2015).

I.6.1.3 - Propriétés en suspension aqueuse :

- **Le gonflement** : Caractérisé par l'augmentation (en %) du volume d'une quantité déterminée de matière en présence d'un solvant (habituellement de l'eau). Il est à la fois déterminé par la nature chimique des biosorbants, la constante diélectrique, le pH et l'intensité ionique de l'environnement. Il est déterminé par le quotient du volume du biosorbant hydraté et du volume du biosorbant sec. L'expansion des biosorbants a le potentiel de réduire à leur emploi en lit fixe (Tadjine, 2015)
- **La capacité de rétention d'eau (CRE)** : C'est une évaluation de sa propension à se lier à l'eau. Tout comme le gonflement, la CRE est influencée à la fois par les caractéristiques intrinsèques du matériau et par les facteurs extrinsèques de l'environnement dispersant. Elle est formulée en termes de masse d'eau retenue par unité de masse du biosorbant. L'adsorption des polluants peut être limitée par la forte affinité d'un matériau pour l'eau (Tadjine, 2015)

I.7- *Posidonia oceanica* :

I.7.1- Définition :

Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile est une plante marine (Magnoliophyta) qui est endémique à la mer Méditerranée.

Dans la région méditerranéenne, on trouve d'immenses herbiers qui recouvrent presque toute cette mer, excepté l'extrême sud-est (du delta du Nil au sud de la Turquie), le nord de la mer Adriatique, la plupart des côtes du Languedoc (France) ainsi que les zones autour du détroit de Gibraltar.

Cette plante est présente à la surface de la mer et jusqu'à une profondeur variant entre 20 et 40 m (Boudouresque et al., 2016).

I.7.2 - Distribution géographique :

Les herbiers de *Posidonia oceanica* couvrent environ 1,5 % de la surface totale de la mer Méditerranée et sont présents dans 16 pays méditerranéens. Ils sont moins abondants en mer Levantine, tandis que leur présence est rare, voire totalement absente, en mer de Marmara et en mer Noire, respectivement. Le long du bassin méditerranéen occidental, les herbiers de *Posidonia oceanica* sont répandus, mais en raison de faibles valeurs de salinité et/ou du climat, ils sont rares, voire absents, dans le nord de la mer Adriatique et le long de la côte languedocienne, entre le delta du Rhône et Port-la-Nouvelle (Vacchi et al., 2017).

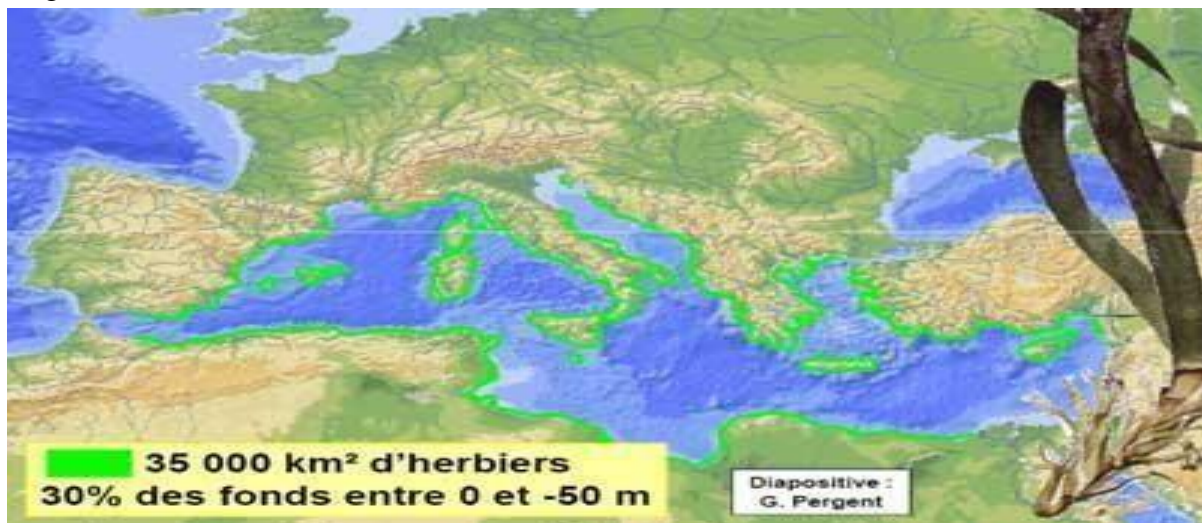


Figure 02: Répartition de *Posidonia oceanica* le long des côtes méditerranéennes (Lignes vertes) (Source : <https://www.animateur-nature.com>)

I.7.3- Systématique :

Tableau 2 :La systématique de *Posidonia oceanica* (Short & Coles, 2014)

Règne :	<i>Plantae</i>
Phylum :	<i>Chlorophyta</i>
Embranchement :	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>
Sous-classe :	<i>Alismatidae</i>
Ordre :	<i>Potamogetonales</i>
Famille :	<i>Posidoniaceae</i>
Genre:	<i>Posidonia</i>
Espèce :	<i>Posidonia oceanica</i>

I.7.4- Morphologie :

Semblable à d'autres herbiers marins, *P. oceanica* est constituée de longues feuilles en forme de lanières reliées au rhizome par une gaine foliaire. Au cours de la vie d'une plante, les feuilles tombent par abscission (sous l'effet des courants et des vagues, ou pendant la sénescence), tandis que les gaines foliaires restent attachées au rhizome. Ainsi, différentes couches de gaines sont identifiables sur les spécimens matures et confèrent au rhizome un aspect « velu ». La racine est souvent courte mais vigoureuse et pousse de manière adventice.

Les débris des organes souterrains (rhizomes, racines et gaines), qui constituent la grande majorité du poids sec de la plante, sont incorporés directement dans le fond marin, les protégeant ainsi des courants souterrains, de l'action des vagues et des herbivores.(Kaal et al., 2016)

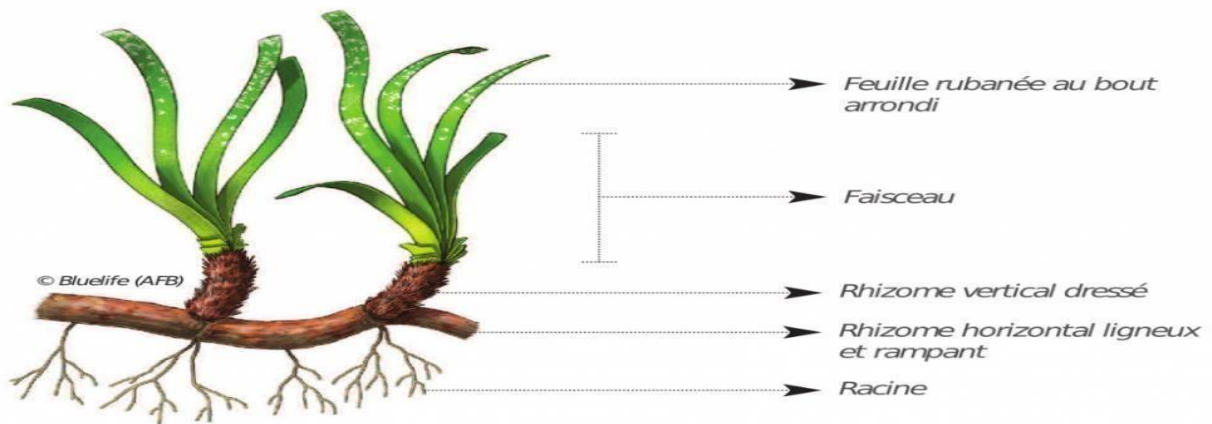


Figure 03 : Morphologie externe de *Posidonia oceanica* (Boudouresque et al, 2006 ; modifié)

I.7.5- Les feuilles mortes de *Posidonia oceanica* :

I.7.5.1- Formation des banquettes :

L'herbier marin endémique méditerranéen *Posidonia oceanica* (L.) Delile pousse tout le long du littoral. En octobre-septembre, les feuilles sénescent et se détachent des rhizomes. Dans de nombreuses zones, notamment sur les plages de sable à pente douce, on trouve des dépôts cunéiformes très visibles de litière de feuilles de *P. oceanica*, couvrant de vastes zones côtières, allant de quelques centimètres dans l'eau à plusieurs mètres vers le rivage. Ces formations sont communément appelées « banquettes ». (Mateo et al., 2003).



Figure 04: Une banquette de *P. oceanica* (source : www.toscanachiantiambiente.it)

I.7.5.2- Formation des aegagropiles :

Les aegagropiles sont des conglomérats de forme ronde de débris de *Posidonia oceanica* que l'on trouve couramment le long des côtes de la mer Méditerranée.

Les aegagropiles sont un assemblage de deux types de débris provenant de l'herbier à *P. oceanica* : d'origine végétale : fibres plus ou moins dégradées issues des pousses de *P. oceanica* (feuilles et rhizomes) et particules minérales telles que les silicates et les débris biotiques de carbonate de calcium. (Lefebvre et al., 2021)



Figure 05: Les aegagropiles de posidonie dans le milieu naturel (Photo prise en Mars 2024 par Mehidi houria)

I.7.6- Importance et rôle de l'herbier de Posidonie :

I.7.6.1-Rôle dans les équilibres écologiques et physiques du système littoral :

P. oceanica est considéré comme d'une importance capitale, car c'est un haut lieu de biodiversité, abritant environ 20 à 25 % de toutes les espèces vivant en Méditerranée. Les feuilles et les rhizomes offrent des substrats propices à l'installation et à la croissance de nombreux organismes sessiles qui forment des assemblages stratifiés garantissant le développement de microniches pour différents groupes taxonomiques. Des prairies d'environ un hectare peuvent accueillir jusqu'à 350 espèces animales différentes, résidentes ou migratrices, offrant ainsi abri et nourriture aux céphalopodes, bivalves, gastéropodes, échinodermes, tuniciers et poissons, également d'une importance économique considérable. La communauté animale et végétale riche et diversifiée qui peuple ces prairies contribue à la création d'un réseau trophique complexe, hautement efficace et productif, capable d'exporter de l'énergie vers d'autres systèmes. D'autres études ont montré que les feuilles de *P. oceanica* sont une riche source de composants biochimiques et d'oligo-éléments majeurs et essentiels, ce qui confère à ces herbiers une grande valeur nutritionnelle aux organismes marins et un rôle essentiel dans la chaîne alimentaire marine. (Vasarri et al., 2021)

I.7.6.2. Rôle bio-indicateur :

En Méditerranée, de nombreuses recherches ont été consacrées à *Posidonia oceanica* (L.) Delile, une magnoliophyte marine endémique qui constitue une espèce clé. Les herbiers de *Posidonia oceanica* jouent un rôle écologique, sédimentaire et économique majeur. De plus, *Posidonia oceanica* semble être un bio indicateur fiable, compte tenu de sa sensibilité aux perturbations, comme le démontrent de nombreux rapports de régression des herbiers due à diverses causes, sa large répartition le long du littoral méditerranéen et la bonne connaissance de la réponse spécifique de la plante et de son écosystème associé à des impacts spécifiques. De plus, cette espèce est capable de fournir des informations sur les niveaux présents et passés de métaux traces dans l'environnement.(Pergent-Martini et al., 2005)

I.8- La diatomite :

I.8.1- Définition :

Différents types de restes biogéniques, allant des algues siliceuses aux précipités carbonatés, s'accumulent dans les sédiments des lacs et autres écosystèmes aquatiques. Les algues unicellulaires appelées diatomées, qui forment un test ou frustule siliceux, constituent un groupe d'organismes écologiquement et biogéochimiquement important dans les milieux aquatiques et sont souvent préservées dans les sédiments lacustres ou marins. Lorsque les diatomées s'accumulent en grand nombre dans les sédiments, les restes fossilisés peuvent former de la diatomite. Dans la littérature sédimentologique, la « diatomite » est définie comme une roche sédimentaire friable, de couleur claire, contenant au moins 50 % de diatomées.(Zahajská et al., 2020)

I.8.1.1- Les Diatomées :

Les diatomées sont des plantes microscopiques unicellulaires appartenant à la classe des algues *Bocillariophyceae*. Elles présentent une paroi cellulaire distinctive et richement ornée, composée principalement de verre (SiO_2). Chaque paroi cellulaire est composée de deux éléments principaux, appelés valves, et d'éléments en forme de ceinture qui relient les valves entre elles, appelés ceintures. La taxonomie des diatomées repose sur la structure unique et ornée des valves, et ce sont ces dernières qui sont mesurées et comptées dans les études écologiques des communautés de diatomées(Dixit et al., 1992)

I.8.2- Propriétés de la diatomite :

La diatomite est une roche sédimentaire légère composée principalement de microfossiles de silice d'algues unicellulaires aquatiques. La diatomite présente une configuration en réseau tridimensionnel et un taux de vide pouvant atteindre 80 à 90 %. Sa structure hautement poreuse, sa faible densité et sa grande surface spécifique lui confèrent de nombreuses applications industrielles, telles que la filtration de divers produits chimiques inorganiques et organiques,

ainsi que l'absorption, le transport de catalyseurs, les charges, etc. De plus, la présence de groupes hydroxyles isolés et à liaison hydrogène à la surface de la diatomite lui confère une forte hydrophilie et lui permet d'être utilisée comme composant de superabsorbants(Qi et al., 2007)

I.8.3-Domaine d'utilisation de la diatomite :

La diatomite est utilisée dans diverses applications industrielles grâce à ses propriétés physiques et chimiques uniques, Le principal facteur contribuant à sa grande capacité d'absorption dans le traitement de l'eau est l'intégration unique de propriétés physiques et chimiques telles qu'une porosité élevée (environ 80 à 90 % de vides), une inertie chimique, une faible conductivité thermique et la combinaison de pores de petite taille et d'une grande surface spécifique.

Outre cette variété de produits et d'applications potentiels, la diatomite témoigne de son importance dans la purification de l'eau, notamment comme média filtrant et adsorbant, pour la décontamination des eaux usées et la décoloration des teintures textiles dans l'industrie textile de nombreux pays.(Raj et al., 2018)

La diatomite a été largement utilisée de nombreuses façons, notamment comme adjuvant de filtration, matériau isolant, support de catalyseur ou véhicule et dans la production de ciment.(Meradi et al., 2016)

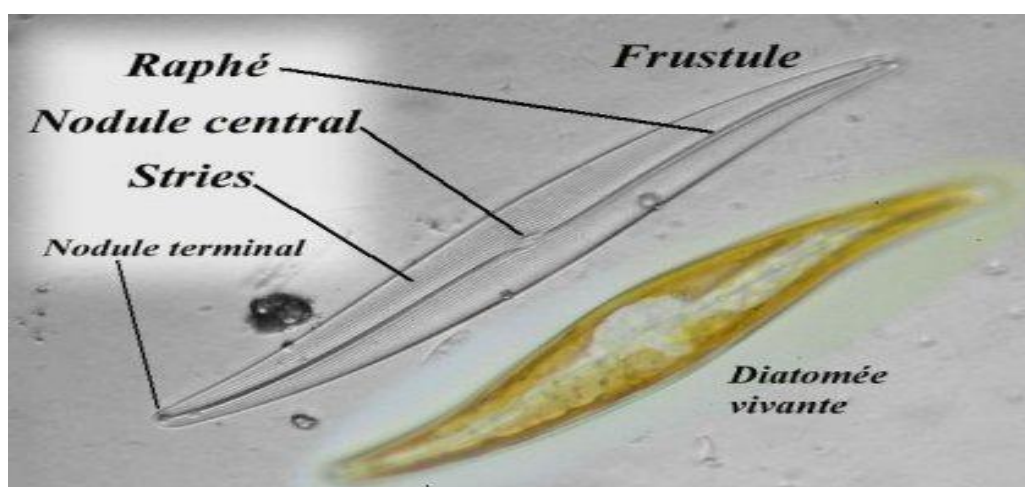


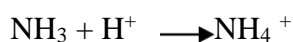
Figure 06 : Diatomée vue au microscope optique (source : acces.ens-lyon.fr)

I.9- Polluants :

L'origine des polluants peut être attribuée à leur présence fondamentale sur Terre, au développement de produits naturels par transformation et à leur synthèse artificielle. Les particules pourraient bien apparaître naturellement et contribuer aux niveaux d'exposition écologique de fond. Nombre d'entre elles sont excrétées par les organismes ou détoxifiées. Parmi les polluants naturellement présents, on trouve les oxydes d'azote, les métaux lourds, les hydrocarbures et les substances radioactives. Certains polluants peuvent se former lors de leur utilisation domestique, agricole ou industrielle par concentration et transformation de composés naturels (Madhav et al., 2020)

I.9.1- Ammonium :

Les ions ammonium constituent la principale source de pollution azotée généralisée dans l'hydrosphère. Ils ont provoqué une élévation considérable de la demande en oxygène et une eutrophisation biologique dans les eaux locales, notamment aquatiques. L'azote moléculaire (N₂) présent dans l'atmosphère terrestre doit être réduit en ammoniac (NH₃) par des bactéries fixatrices d'azote vivant indépendamment dans le sol ou dans les racines des légumineuses avant d'être utilisé par l'homme. L'ammoniac se dissout dans l'eau pour former des ions ammonium (NH₄⁺). Cette forme d'azote réduit est assimilée par les acides aminés et d'autres molécules azotées. Dans les solutions aqueuses, l'ammoniac est une base formant une paire conjuguée avec l'ion ammonium, selon la réaction réversible (Sadegh, Yari, 2015) :



L'ammonium n'a pas d'effets toxiques sur la santé humaine, mais sa présence dans l'eau peut indiquer une pollution. La présence d'ammonium dans les eaux souterraines est largement déterminée par les conditions réductrices de l'aquifère, tandis que dans les eaux de surface, on le trouve uniquement dans les eaux polluées. Dans les réseaux d'approvisionnement en eau, la présence excessive d'ammonium dans l'eau brute est indésirable, car elle peut engendrer des problèmes tels que : mauvaises odeurs, développement microbien dans le réseau de distribution d'eau, réduction de l'efficacité de la désinfection au chlore et augmentation de la consommation de chlore. (Radu & Racoviteanu, 2021)

I.9.2- Les sources d'ammonium :

Bien que la pollution à l'ammonium provienne de sources agricoles diffuses, ce qui rend son contrôle difficile, les sources ponctuelles industrielles ou municipales, telles que les stations d'épuration, contribuent également de manière significative à la pollution globale à l'ammonium. Ces dernières sources peuvent être ciblées plus facilement pour contrôler les rejets d'ammonium dans les réseaux d'eau(Huang et al., 2018)

I.9.3- Toxicité :

I.9.3-1 Impact sur les plantes :

L'action toxique de l'ammonium sur les plantes a été expliquée par plusieurs mécanismes : épuisement des réserves de carbone, ultrastructure chloroplastique endommagée, carence en cations minéraux, perturbations de l'homéostasie hormonale et de la photosynthèse, cycle transmembranaire de l'ammonium, exigeant en énergie et inefficace, augmentation de l'efflux de protons, pH cellulaire à des niveaux intolérables et découplage de la photophosphorylation. Ces facteurs sont indirectement liés. L'ammonium joue un rôle d'agent potentialisant et initiant la mort cellulaire programmée (Bittsánszky et al., 2015).

I.9.3-2 Impact sur l'environnement marin :

L'ammoniac est présent dans le milieu aquatique en raison du ruissellement agricole et de la décomposition des déchets biologiques. L'ammoniac est toxique pour tous les vertébrés et provoque convulsions, coma et décès, probablement parce qu'une concentration élevée de NH_4^+ déplace le potassium et dépolarise les neurones.(Randall & Tsui, 2002)

***CHAPITRE II : MATERIELS ET
METHODES***

II.1- Matériel utilisé :

II.1.1- Les produits chimiques :

Les réactifs consommables utilisés durant ce travail :

Tableau 2: les solutions et les réactifs préparés au laboratoire

Nom du réactif	Composition chimique	Rôle dans la réaction
Solution standard de chlorure d'ammonium	NH ₄ Cl (ex : 100 mg/L)	Sert à préparer les solutions étalons (ex : 0.2 à 2 mg/L de NH ₄ ⁺)
Réactif de phénol R1	C ₆ H ₅ OH (phénol)	Réagit avec l'ammonium pour former un complexe coloré
Nitroprussiate de sodium R2	Na ₂ [Fe(CN) ₅ NO]•2H ₂ O	Catalyseur de la réaction de formation de l'indophénol
Solution alcaline	NaOH (Hydroxyde de sodium) + Na ₂ HPO ₄ (citrate trisodium)	Maintient le pH basique optimal pour la réaction
Solution de Javel	NaClO (Hypochlorite de sodium)	Agent oxydant, permet la formation du complexe coloré
R3 (réactif 3)	Mélange: de solution alcaline +solution Javel	Solution oxydante préparée juste avant utilisation

II.1.2- Verrerie et autres :

Tableau 4 : les verreries utilisées au laboratoire

Nom de la verrerie	Volume	Rôle spécifique dans la manipulation
Fiole jaugée	50-100 ml	Préparation des solutions standards d'ammonium à concentration précise (0,2 à 2 mg/L)
Pipette jaugée	1-2-5 ml	Transfert précis des volumes de solution mère (ex. NH_4Cl 100 mg/L) pour les dilutions
Pipette graduée	10 ml, 5ml, 2ml	Ajout contrôlé des réactifs (phénol, nitroprussiate, Javel, etc.)
	--	Assure un prélèvement sécurisé et hygiénique des liquides dans les pipettes
Béchers	100 ou 250 ml	Préparation des réactifs (solution alcaline, Javel, réactif R3), ou pour transvaser
Erlenmeyer	50 ou 100 ml	Lieu de réaction entre ammonium et réactifs
Tube à essai ou cuve spectro	10 - 20 ml	Contient l'échantillon coloré à insérer dans le spectrophotomètre pour la mesure à 640 nm
Verre à pied / petit récipient	--	Préparation rapide de mélanges ou pour rincer les pipettes
Spatule en inox ou en plastique	--	Pour peser avec précision le chlorure d'ammonium (NH_4Cl) pour préparer la solution mère
Entonnoir en verre	petit diamètre	Aide au remplissage propre des fioles jaugées

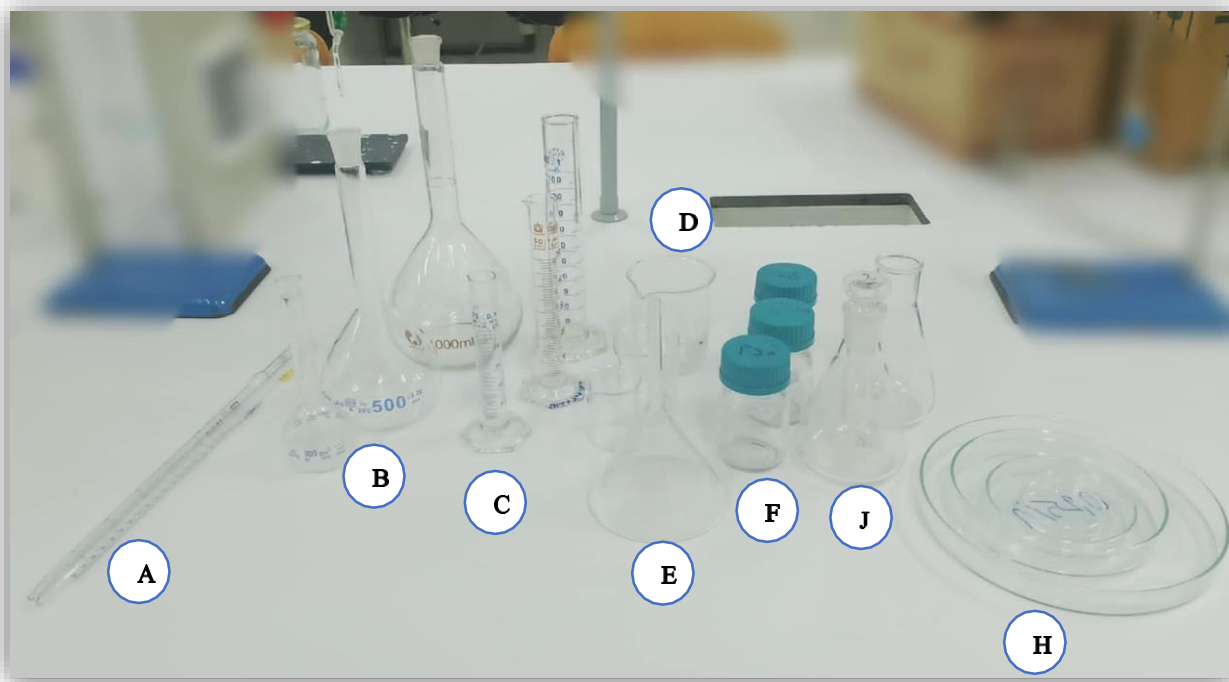


Figure 07 : Verrerie utilisée au laboratoire

A : Pipette graduée , **B** :Fioles , **C** :Eprouvettes , **D** : Béchers , **E** :Entonnoir , **F** :Flacons,
G : Erlenmeyers, **H** : Boîtes de pétri

Les essais réalisés dans cette recherche ont également nécessité l'utilisation de matériel de laboratoire ordinaire notamment :

1. Du papier aluminium et du film plastique transparent ;
2. Des entonnoirs ;
3. Des rouleaux de papier absorbant ;
4. Des barreaux magnétiques ;
5. Des pinces ;
6. Des spatules ;
7. Des pissettes ;
8. Des boîtes de Pétri de petit format (diamètre 10 cm) ;
9. Des creusets en porcelaine ;
10. Une pipette de 2, 5,10 ml ;
11. Des flacons 100 ml
12. Des papiers filtres plissés (MACHEREY-NAGEL, MN 619, diamètre 150 mm)
13. Des sachets de congélation.

II.1.3- Appareillage et système de mesure :

Afin d'effectuer les expériences indispensables à la compréhension du phénomène d'adsorption, on a utilisé plusieurs appareils et systèmes de mesure :

Tableau 3: Appareillages utilisés en laboratoire

Équipement	Caractéristiques principales
Balance de précision	Précision $\pm 0,001$ g
Spectrophotomètre UV-Visible	Détermination des concentrations résiduelles (absorbance]
Bain-marie avec agitateur intégré	230 V, 95 °C, DIN 12876-3-K1, IP20, F.-Nr : L508.0191
Agitateur magnétique chauffant	Vitesse électronique, fonction de chauffe, fabrication allemande
pH-mètre	Microprocesseur
Étuve	Capacité : 256 litres
Broyeur électrique de laboratoire	--
Tamis de laboratoire	Ouvertures : 80 μm et 200 μm
Micropipette	Plage de volume : 100 à 1000 μL (microlitres)
Réfrigérateur	--
Hotte de laboratoire	--



Figure 08 : Ensemble d'appareils et de systèmes de mesure utilisés au laboratoire

A : Bain-marie avec agitateur intégré, **B :** Broyeur électrique, **C :** Étuve, **D :** pH-mètre, **E :** Tamis, **F :** Agitateur magnétique chauffant, **G :** Spectrophotomètre UV-Visible, **H :** Hotte de laboratoire, **J :** micropipette

II.1.4-Instruments logistiques :

On analyse les données obtenues en utilisant de Microsoft Excel 2007 et Origin version 8. Ces programmes se sont révélés très utiles pour la modélisation des données.

II.2. Méthode :

II.2.1. Protocoles :

II.2.1.1- Solution Stock :

Notre solution Stock de concentration : 100 mg/L d'ammonium

II.2.1.2- Préparation :

- On pèse 0,3819 g de chlorure d'ammonium (séché à 100°C pendant 1 h)
- Ensuite, on dissout dans 1 L d'eau distillée dans une fiole jaugée

II.2.1.3- Solution Fille :

- On prépare une solution fille de concentration 10mg/l
- On calcule le volume de dilution (formule : $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$)

II.2.2. Préparation des réactifs :

A)- Réactif de Phénol : (à préparer chaque semaine)

- On pèse 10 g de phénol
- On ajoute 100 ml d'éthanol dans une fiole jusqu'au trait de jauge

B)- Nitroprussiate de sodium :

- On dissout 1 g de nitroprussiate de sodium dans 200 ml d'eau distillée
- Puis, on le conserve dans un flacon à l'abri de la lumière

C)- Solution alcaline :

- On pèse 100 g de citrate trisodium + 5 g de NaOH
- On les dissout dans une fiole de 500 ml avec de l'eau distillée

D)- Solution de Javel :

- On dilue 25ml de javel dans une fiole avec 48ml de l'eau distillée

E)- Réactif 3 : Solution à préparer chaque jour :

- On prend 50 ml de solution alcaline
- On ajoute 12,5 ml de Javel diluée et on conserve dans un flacon

II.2. 3-Préparation de la courbe d'étalonnage :

Objectif :

Préparer des solutions étalons de différentes concentrations à partir de la solution mère d'ammonium et mesurer l'absorbance pour tracer une courbe d'étalonnage.

II.2.3.1. Préparation des solutions étalons :

On souhaite préparer 6 flacons contenant des solutions de concentrations différentes

10 mg/L / 20 mg/L / 30mg/L / 40mg/L et 50 mg/L

Tableau 4: Concentrations et volumes prélevés pour la préparation des solutions filles

Solutions	Mère	Fille1	Fille2	Fille3	Fille4	Fille5
Volume (ml)	1000	50	50	50	50	50
Concentration [C] (mg/l)	100	10	20	30	40	50
Volume prélevé (ml)	/	5	10	15	20	25

II.2.3.2-Ajout des réactifs colorimétriques :

Dans chaque flacon, on ajoute successivement :

- 1 ml du réactif R₁ (solution de phénol) → (Mélanger)
- 1 ml du réactif R₂ (solution Nitropuissate de sodium) → (Mélanger)
- 5 ml du réactif R₃ (solution alcaline + Javel) → (Mélanger)

II.2.3.3-Développement de la couleur :

- On laisse reposer les flacons pendant 1heure.
- On remarque un développement de couleur (bleu)

II.2.3.4-Mesure spectrophotométrie :

- On mesure l'absorbance de chaque flacon à une longueur d'onde $\lambda = 640$ nm en utilisant d'un spectrophotomètre

II.2.5- Préparation des adsorbants :

A)- Fibre de posidonie : Conditionnement de la biomasse

II.2.5.1- Collecte des pelotes :

L'objectif de notre étude est d'évaluer la capacité de biosorption des pelotes de *Posidonia oceanica*, un déchet biologique, pour l'élimination des polluants organiques. Une quantité d'aegagropites sont collectée durant le mois de Mars 2024 au niveau de la wilaya de Tipaza. Les sites de récolte sélectionnés, à savoir la plage des Galets, la Plage de Chenoua et la plage des Ruines Romaines (figure 09) résentent une forte abondance d'herbiers sous-marins, favorisant ainsi la formation de ces pelotes. Il faut noter également que les pelotes sont plus abondantes après les épisodes de mauvais temps.

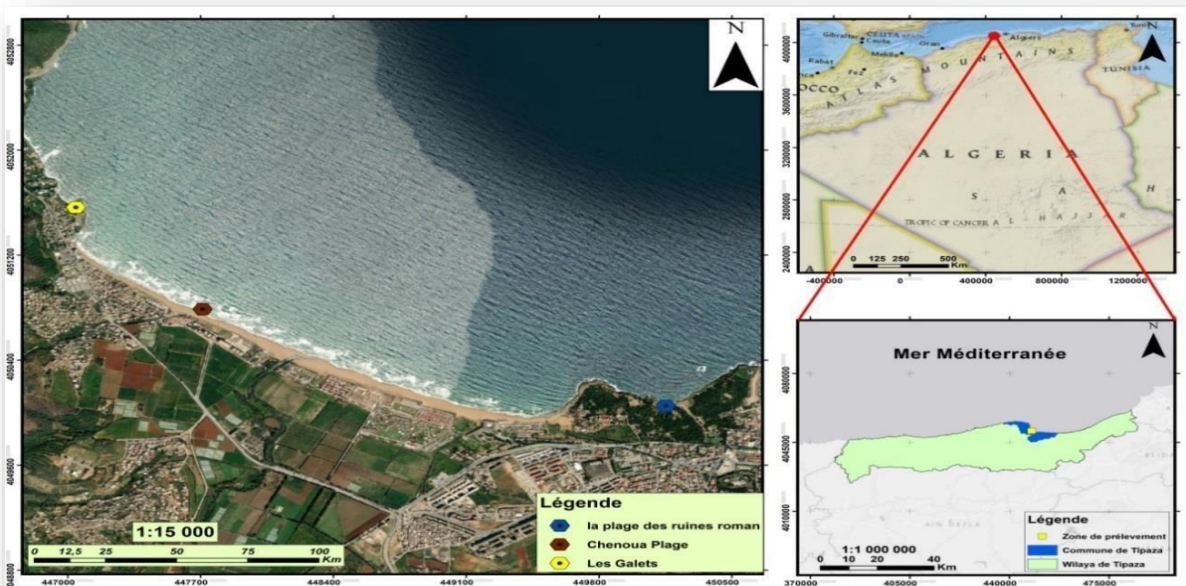


Figure 09 : Carte géographique représentant la localisation des trois sites de collecte des aegagropiles de *Posidonia oceanica* (Remmache & T9).

II.2.5.1.1- Prétraitement de la biomasse :

Les pelotes prélevées ont subi un prétraitement permettant d'obtenir une biomasse propre, en éliminant tous les résidus, comme suit :

II.2.5.1.2- Effilochage : Cette opération vise à séparer manuellement les pelotes afin de réduire la compacité de la biomasse naturelle. A l'aide d'une pince, on a retiré les gros débris de végétaux et autres éléments qui étaient dans les fibres

II.2.5.1.3- Le rinçage des fibres : Les fibres ont été manuellement lavées avec de l'eau distillée afin d'éliminer le sable et les sels, ainsi que d'autres déchets ayant été mélangés avec les fibres au cours de leur formation et qui sont capables de fausser les résultats.

II.2.5.1.4- Le séchage : Ensuite, on place les fibres à l'étuve à une température de 40°C à 60°C jusqu'à ce que le poids reste constant, cette température permet la dessiccation du matériau sans altérer ses propriétés structurelles et fonctionnelles, pendant environ 24 à 48 heures.

II.2.5.1.5 Le broyage : Après séchage on broie les fibres afin d'avoir une fraction fine, l'aide d'un broyeur, assurant ainsi une granulométrie précise.

II.2.5.1.6- Le tamisage et le stockage : Le tamisage représente la dernière étape du traitement des fibres après le broyage. Afin d'obtenir des fractions spécifiques de biomasse entre (315 et 400 μm) en utilisant un tamis, après, la biomasse obtenue est recueillie dans des flacons en verre et conservée dans un endroit sec.

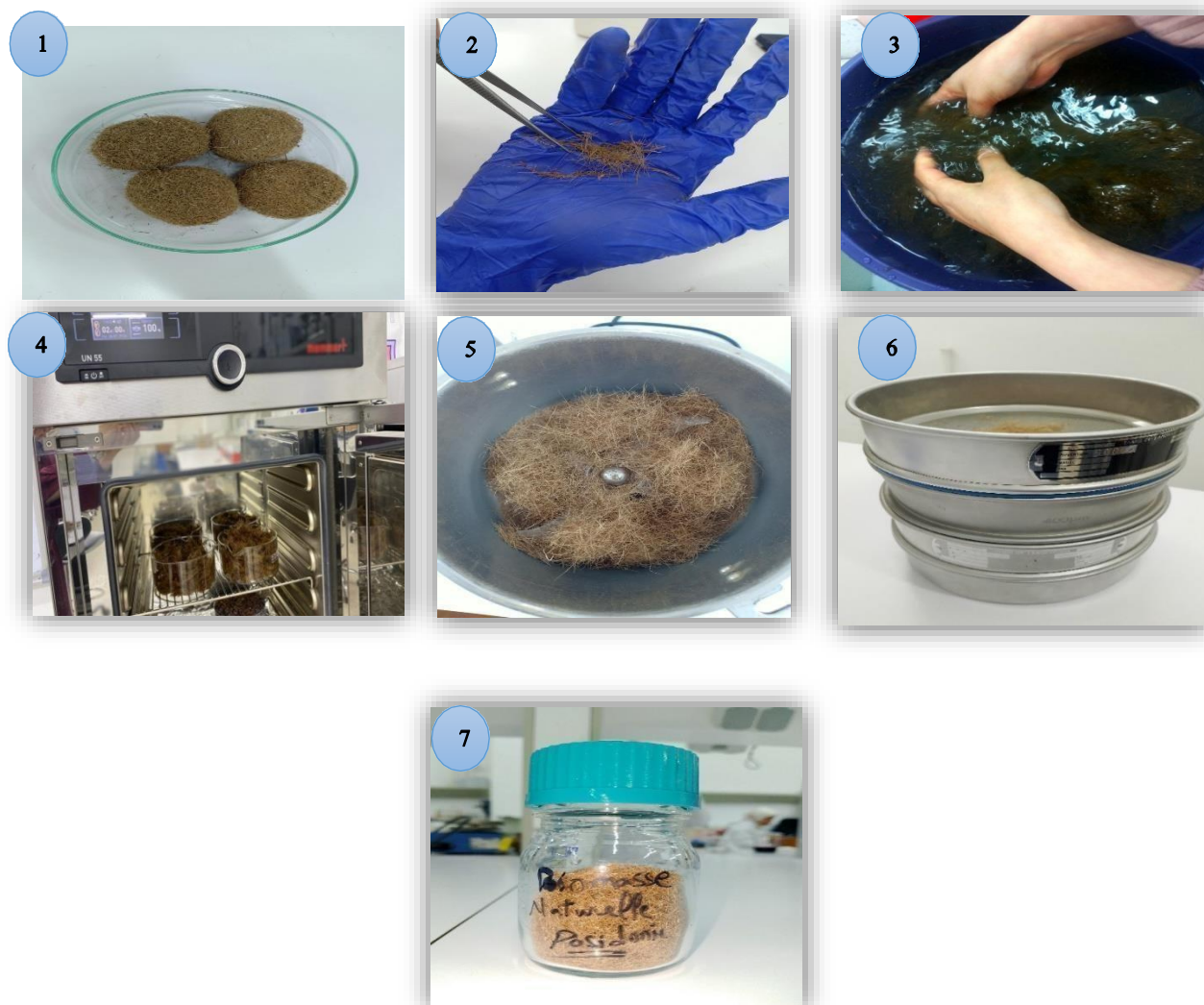


Figure 10 : Prétraitement de la biomasse

1 : Effilochage 2 : Rinçage des fibres 3 : Séchage 4 : Broyage 5: Tamisage 6 : Stockage

II.2.6-Diatomite :

II.2.6.1- Exploitation et traitement de diatomite :

Le gisement de Diatomite se trouve à 5 kilomètres au sud-est de SIG, une ville située dans la région de Mascara en Algérie. On estime que les réserves géologiques s'élèvent à 6 500 000 tonnes.

L'extraction du minerai de diatomite se fait manuellement dans des mines souterraines. Il est acheminé vers l'usine de traitement, qui comprend deux procédés liés à deux produits distincts : la diatomite destinée à une utilisation industrielle et celle réservée à la filtration.

II.2.5.2.1-Tamisage de la diatomite à 200 μm : Le tamisage de la diatomite consiste à filtrer la poudre à travers un tamis dont les mailles ont une ouverture de 200 μm . Cette opération permet de séparer les particules fines des particules plus grosses, assurant une granulométrie homogène. Ce procédé est essentiel pour assurer l'efficacité et la qualité de la diatomite. Le tamisage élimine les impuretés et les fragments trop gros, améliorant ainsi la performance et la sécurité du produit.



Figure 11 : Poudre de diatomite

II.2.7- Test en batch :

Les essais en batch constituent une méthode couramment utilisée pour étudier le comportement des polluants à l'interface liquide-solide. Dans cette étude, l'évolution du système « **ammonium – fibres d'aegagropiles** » « **Ammonium– diatomite** » a été observée dans le temps. Cette approche permet d'analyser la cinétique d'adsorption de l'ammonium par les adsorbants et de déterminer les conditions optimales pour maximiser l'efficacité du processus. Elle fournit également des informations précieuses telles que la capacité d'adsorption des polluants, la vitesse à laquelle l'adsorption se produit, l'effet de fraction, ainsi que l'influence de différents paramètres environnementaux (tels que le pH et la température).

L'expérience, réalisée en laboratoire, consiste à mettre en contact les fibres d'aegagropiles et la poudre de diatomite avec une solution d'ammonium, dans un dispositif favorisant leur

Dispersion homogène. Cette dispersion est assurée par agitation, garantissant un temps de contact suffisant pour atteindre l'équilibre.

Durant ces essais, plusieurs paramètres sont contrôlés : la température du système (maintenue constante), le temps de contact et les conditions d'agitation.

Dans notre expérience d'adsorption en mode batch (Fig. 15), une quantité précise de biomasses (fibres d'aegagropiles et diatomite) est introduite dans un flacon de 100mL contenant une solution synthétique d'ammonium de concentration et de volume connus. Le mélange est ensuite agité mécaniquement. Après un temps de contact suffisant, la suspension est filtrée, puis la concentration résiduelle d'ammonium est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible.

Il est important de noter qu'un échantillon blanc (solution d'ammonium sans adsorbant) a été utilisé comme contrôle négatif dans toutes les analyses.

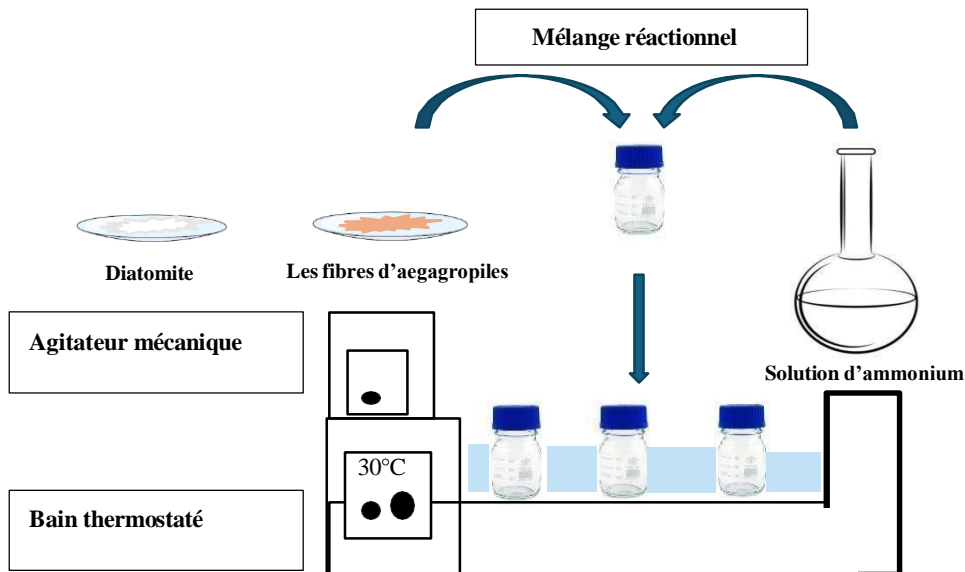


Figure 12: Dispositif d'adsorption en Batch

II.3- La Cinétique d'adsorption de la posidonie/Diatomite:

Dans cette expérience visant à évaluer la capacité d'adsorption de la diatomite et de la posidonie. L'objectif principal était de comparer le rendement des deux types de biosorbants : les fibres d'aegagropiles naturelles (BN) et la diatomite naturelle(DN)

On prépare une série de 10 flacons contenant chacun 50 ml d'une solution de chlorure d'ammonium à une concentration de 10 mg/L. On ajoute ensuite 0,5 g de diatomite et 0,5g de posidonie dans ces derniers, ensuite les flacons sont placés dans un bain-marie avec une agitation constante de 150 Rpm, préalablement rempli avec de l'eau distillée et programmé à l'avance à une température de (30 °C± 2) À intervalles de temps différents soit(10 minutes, puis 20 minutes, 30, 40 , 50, 60, 90, 120, 150et180 minutes.)

Le contenu des flacons est filtré sur papier filtre plissé et récupéré dans des flacons en verre. On y ajoute les réactifs : 2ml de solution de phénol (Réactif 1) et on mélange, et 5 ml de solution d'hypochlorite de sodium (Réactif 3) et on mélange.

On laisse ensuite reposer pendant 90 min pour permettre le développement de la couleur. Enfin, l'absorbance de chaque solution est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 640 nm.

L'absorbance est par la suite mesurée afin de calculer la quantité adsorbée et le rendement de fixation (F) après chaque temps de contact. La quantité adsorbée ainsi que le rendement sont calculés respectivement par les équations (13) et (14)

$$Q_e(\text{mg/g}) = (C_0 - C_t)v/m \dots\dots\dots (13)$$

$Q_e(\text{mg/g})$: Quantité d'adsorbant adsorbé par gramme de matériau (en mg/g).

C_0 : Concentration initiale du soluté (en mg/L).

C_t : Concentration du soluté à un temps donné t (en mg/L).

v : Volume de la solution (en L).

m : Masse de l'adsorbant (en g)

$$F (\%) = [(C_0 - C_t)/C_0] * 100 \dots\dots\dots (14)$$

F (%) : Rendement de fixation du soluté.

C_0 : Concentration initiale du soluté (en mg/L).

C_t : Concentration du soluté à un temps donné t (en mg/L).

Une courbe représentant les quantités d'ammonium adsorbées en fonction du temps est tracée. A l'aide de cette courbe, le temps d'équilibre pour chaque biomasse est déterminé.

II.4- Etude l'effet de pH:

Le pH est un facteur crucial dans tout processus d'adsorption, pour cela nous avons examiné l'évolution de l'adsorption de l'ammonium en fonction du pH. Pour cet essai, nous avons préparé 10 solutions d'ammonium de 50ml avec des pH variant de 2 à 11, à l'aide du pH metre (on utilise les solutions d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1 N et d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,1 N, pour ajuster le pH). Les 10 flacons de 50 ml contenant 0,5 g de chaque biomasse (posidonie et diatomite) ont été ajoutés pour chaque solution avec une concentration initiale de 10 mg/L d'ammonium.

Chaque flacon a été placé dans un bain marie avec une agitation de 150Rpm pour assurer une bonne homogénéité pendant 60min et une température constante de 30 °C.

Après l'agitation, on filtre les 10 flacons, et on ajoute les réactifs par ordre : 2ml de solution de phénol, et 5ml de solution d'hypochlorite de sodium [NaClO] diluée + solution alcaline, et on laisse réagir pendant 90min pour la coloration, ensuite un spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 640 nm a été utilisé afin de déterminer l'absorbance.



Figure 13 : Élaboration d'une série de solutions de pH 2 à 11

II.5- Étude de l'effet de la température :

La température influence la performance du processus d'adsorption de l'ion ammonium (NH_4^+) a été étudiée en réalisant une série d'expériences à différentes températures. Cinq températures ont été sélectionnées pour cette étude : 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60°C et 80°C afin d'évaluer les effets thermiques sur l'efficacité d'adsorption.

On prépare des flacons de 50ml de la solution d'ammonium de 10mg/l, on ajuste leur à 7, après on ajoute 0,5 g de diatomite dans 3 flacons, et 0,5g de fibres de posidonie dans les 3 flacons restants, ensuite, on les place dans le bain marie avec une agitation de 150Rpm, pendant 60min pour cinq températures chaque fois : 20 °C, 30 °C, 40 °C, 60°C et 80°C

À la fin de l'agitation, les suspensions ont été filtrées pour séparer la phase liquide de la matière solide.

On ajoute ensuite les deux réactifs (R1 et R3) dans les flacons et on mélange et on attend pendant 90min, après Les mesures ont été effectuées par spectrophotométrie UV-Visible, à une longueur d'onde de 640 nm, permettant la quantification précise de la concentration d'ammonium restant en solution.

II.6- Étude de l'effet de la masse :

Pour cet effet, on a analysé l'efficacité des deux types de biomasses (de fraction $>400 \mu\text{m}$ pour BN et $200 \mu\text{m}$ pour DN) pour l'adsorption d'ammonium, par la diminution de la masse comme suivant : 0,5 g, 0,1 g

Chaque essai a été réalisé dans des flacons de 50 ml contenant les deux différentes masses d'adsorbant, avec une concentration initiale d'ammonium fixée à 10 mg/gL. Les flacons ont été placés sous agitation mécanique de 150Rmp à une température constante de 30 °C, pendant 90 min. On ajoute les réactifs R1 et R2 comme mentionné précédemment. Enfin, la concentration résiduelle d'ammonium a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible à une longueur d'onde de 640 nm.

II.7- Isothermes d'adsorption :

Les isothermes d'adsorption caractérisent la relation entre la concentration de soluté en solution et la quantité de ce soluté retenue à la surface d'un adsorbant à température et pH constants. Elles sont importantes pour comprendre l'influence de la concentration en soluté sur la capacité d'adsorption de l'adsorbant et pour analyser les interactions physico-chimiques entre le soluté et la surface de l'adsorbant.

L'objectif principal était de déterminer l'effet de la concentration initiale en ammonium sur la capacité d'adsorption des biosorbants et de mesurer les quantités adsorbées à l'équilibre, préalablement déterminées par une étude cinétique.

Pour cela, des solutions d'ammonium ont été préparées à des concentrations croissantes (5,10, 20, 30, 40, 50 mg/L) à partir d'une solution mère à 100 mg/L. Pour chaque concentration, 0,5 g d'adsorbant (posidonie ou diatomite) a été placé dans des flacons de 100 ml contenant la solution d'ammonium correspondante. Les échantillons ont été agités mécaniquement à 30 °C afin d'assurer une bonne homogénéité du système. L'analyse des concentrations d'ammonium restantes après adsorption a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible.

Ces mesures ont permis de calculer la quantité d'ammonium fixée par chaque type d'adsorbant et d'évaluer l'influence de la concentration initiale sur la capacité d'adsorption des matériaux testés.

II.8- Modélisation de la cinétique :

La modélisation mathématique a été appliquée afin de décrire les mécanismes d'adsorption, en se basant sur trois modèles (voir généralité)

- Le modèle du pseudo-premier ordre de Lagergren
- Le modèle du pseudo-deuxième ordre de Ho et McKay
- Le modèle d'Elovich

II.9- Modélisation des isothermes :

Concernant les isothermes d'adsorption, les résultats ont été ajustés aux modèles suivants :

- Isotherme de Langmuir
- Isotherme de Freundlich
- Isotherme de Temkin

II.10-Calcul des erreurs :

L'utilisation d'un modèle mathématique pour expliquer le processus d'adsorption a été décidée en fonction du coefficient de détermination R², ainsi que par le biais de différentes fonctions d'erreur pour juger la pertinence des modèles d'adsorption par rapport aux données expérimentales

Tableau 5: liste des fonctions d'erreurs

Fonction d'erreurs	Abréviation	Equation
Sum of the squares errors	ERRSQ	$\sum(Q_{ecal} - Q_{emes})^2$
Non-linear square test	X ²	$\sum (Q_{ecal} - Q_{emes})^2 / Q_{emes}$

Q_{emes} : la quantité absorbée observée expérimentalement.

Q_{ecal} : quantités adsorbées tirées des divers modèles,

n : le total de mesures réalisées

p : le nombre de paramètres pour chaque modèle (Foo & Hameed, 2010)

II.11-Caractérisation par spectroscopie infrarouge a transformee de Fourier :

Le modèle Jasco FT/IR-4X, basé sur la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), est une méthode d'analyse efficace qui permet de déterminer la structure chimique des substances en se basant sur leurs réactions avec le rayonnement infrarouge.. Quand un matériau expose à la lumière infrarouge, les liaisons chimiques présentes dans les molécules absorbent des fréquences spécifiques correspondant à des modes vibrationnels (extension, flexion, torsion, etc.). Chaque type de liaison (C–H, O–H, C=O, Si–O, etc.) possède une fréquence d'absorption unique qui permet de générer un spectre infrarouge représentant l'empreinte moléculaire du matériau analysé.

La FTIR-ATR (Réflexion Totale Atténuée) est un processus de mesure adapté à l'analyse directe d'échantillons solides, liquides, pâteux ou fibreux. Cette technique repose sur l'utilisation d'un cristal ATR à indice de réfraction élevé (généralement du diamant ou du germanium). Le faisceau infrarouge est dirigé sur ce cristal et subit de multiples réflexions totales internes. À chaque point de réflexion, une onde transitoire est générée et pénètre légèrement la surface de l'échantillon en contact (à une profondeur d'environ 1 à 2 microns). Cette onde est absorbée par les vibrations moléculaires du matériau, ce qui permet d'obtenir un spectre d'absorption sans avoir à broyer, diluer ou transformer l'échantillon.

Grâce à ces propriétés, la spectroscopie FTIR-ATR est devenue un outil privilégié pour la caractérisation des biosorbants naturels, notamment ceux à structure fibreuse ou poreuse. Dans cette étude, elle a été utilisée pour analyser deux types d'échantillons naturels : la poudre de diatomite et les fibres de *Posidonia oceanica*. Ces biomasses ont été directement déposés sur le cristal ATR avant et après l'adsorption de l'ammonium. Un bon contact a été assuré à l'aide du presseur intégré.

Cette technique permet d'identifier les groupes fonctionnels caractéristiques de ces biosorbants et d'évaluer leur potentiel, comme les matériaux composites, l'environnement et l'isolation.



Figure 14 : « Spectromètre FTIR Jasco FT/IR-4X équipé de l'accessoire ATR »

CHAPITRE III : Resultats et Discussion

Chapitre III : Resultats et discussion

III.Resultats et discussions :

III.1- Courbe d'étalonnage :

Un graphique d'étalonnage établit une relation entre l'absorbance mesurée et la concentration en ammonium dans la solution. Les observations réalisées indiquent une corrélation proportionnelle entre ces deux variables, illustrée par une équation de droite.

$$\text{On a : } y = 0,0053x$$

Le coefficient de détermination est $R^2=0,998$. Un R^2 de 0,998 montre une forte corrélation linéaire entre la concentration et l'absorbance, qui valide ainsi la précision de cette technique pour mesurer l'ammonium. Cette courbe a servi de point de référence pour évaluer les concentrations d'ammonium restantes suite aux expériences d'adsorption réalisées avec la diatomite et la posidonie. (Figure 01 en annexes).

III.2 Cinétique d'adsorption :

Pour établir les conditions d'exploitation, notamment le temps de contact, nous avons examiné la cinétique d'adsorption de l'ammonium sur les fibres de Posidonie et la poudre de diatomite à une température de 30°C. Nous avons utilisé des concentrations en ammonium identiques (10mg/L). L'effet du temps d'agitation sur l'adsorption de l'ammonium par ces deux biosorbants, Posidonie et diatomite, est illustré dans les figures 24 et 25. Dans ces graphiques, Q_e (mg/g) indique la quantité d'ammonium adsorbé (mg/g) en fonction du temps, tandis que F (%) montre le rendement d'adsorption de l'ammonium en fonction du temps. Il est manifeste que les courbes obtenues se ressemblent. Ces courbes nous ont permis de déterminer la durée nécessaire pour parvenir à l'équilibre des biosorbants. (les aegagropiles de posidonie ; poudre de diatomite).

Les aegagropiles de posidonie :

Les résultats obtenus montrent que la posidonie présente une capacité d'adsorption relativement rapide au début de l'expérience. Dès les premières 15 à 30 minutes, le rendement de fixation de l'ammonium augmente rapidement, atteignant environ 45 % à 30 minutes et près de 70 % à 60 minutes. Cette progression rapide suggère que les sites actifs de la posidonie sont facilement accessibles dans les premières phases du contact avec l'ammonium.

Cependant, à partir de 60 minutes, le rendement évolue peu, atteignant un quasi-plateau autour de 72 %. Cela indique que la majorité des sites d'adsorption sont rapidement saturés et que la capacité de la posidonie devient limitée. Ce comportement peut être lié à sa structure organique fibreuse, possiblement moins poreuse, ce qui restreint l'accès des ions ammonium aux sites internes au-delà d'un certain point.

En résumé, la posidonie se distingue par une adsorption initiale rapide, mais avec une capacité de rétention qui semble modeste à long terme. Elle pourrait convenir pour des traitements de courte durée, ou dans des systèmes où une intervention rapide est nécessaire

Chapitre III : Résultats et discussions

La Diatomite :

Le graphique illustrant l'adsorption de l'ammonium par la diatomite indique une variation rapide de la quantité adsorbée en fonction du temps. Dès les premières minutes, on note une accélération significative de Q_e qui témoigne d'une importante capacité d'adsorption initiale. Cette évolution se maintient jusqu'à environ 150 minutes, point à partir duquel la courbe se stabilise autour de 4,2 mg/g, indiquant l'établissement de l'équilibre. Ce comportement indique que la diatomite a une surface spécifique importante et un nombre élevé de sites actifs propices à l'adsorption de l'ammonium. Elle se caractérise donc par une dynamique rapide et un pouvoir d'adsorption élevé, ce qui la positionne comme une candidate idéale pour le traitement des solutions contenant beaucoup d'ammonium.

La diatomite montre une cinétique d'adsorption plus progressive, mais continue et efficace. Le rendement augmente régulièrement de 30 % à 15 minutes jusqu'à atteindre environ 85 % après 180 minutes. Cette évolution indique que les sites d'adsorption restent accessibles pendant toute la durée de l'expérience.

Ce comportement peut être lié à la structure minérale particulière de la diatomite, composée majoritairement de silice amorphe très poreuse (Qi et al., 2007). Cette microstructure offre une grande surface spécifique, ce qui facilite la diffusion progressive des ions ammonium à travers le matériau, même en profondeur de plus, sa composition chimique ne peut favoriser les interactions électrostatiques avec les ions ammonium, renforçant sa capacité d'adsorption.

Ainsi, bien que l'adsorption soit moins rapide dans les premières minutes, la diatomite est plus performante à long terme.

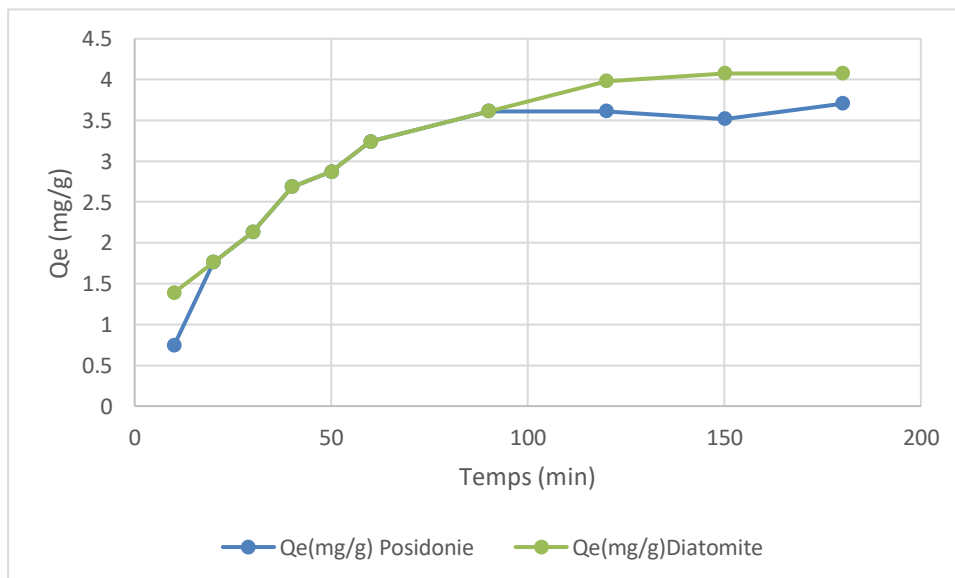


Figure 15: Quantité d'adsorption d'ammonium sur les fibres de Posidonie et la diatomite $C_0 = 10 \text{ mg/L}$, $m = 0,5 \text{ g}$, $V = 0,05 \text{ L}$, $T = 30^\circ \text{C}$.

Chapitre III : Résultats et discussions

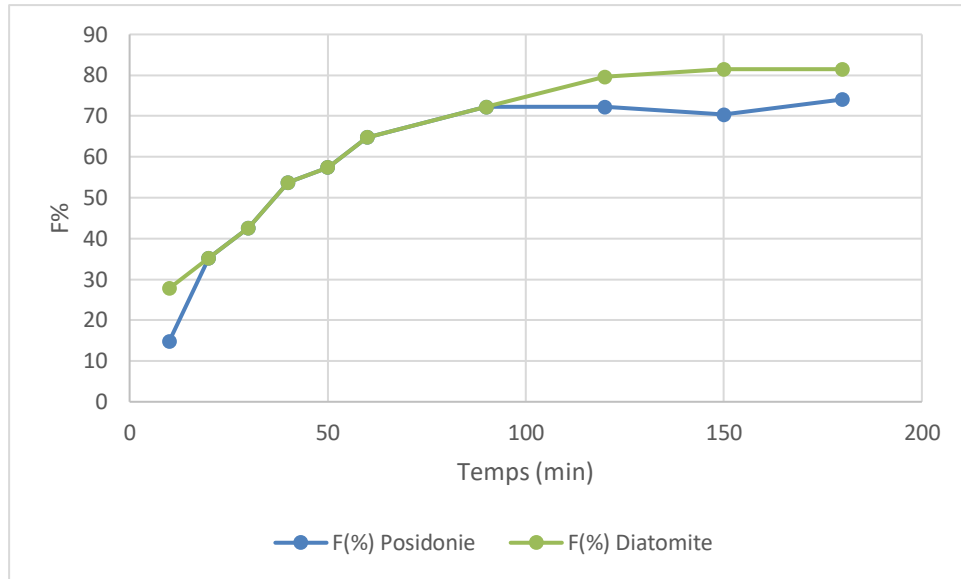


Figure 16 : Le rendement de fixation d'ammonium sur les fibres de Posidonie et la diatomite $C_0= 10\text{mg/L}$, $m=0,5\text{g}$, $V=0.05\text{L}$, $T=30^\circ\text{C}$

L'interprétation de la cinétique d'adsorption rapide durant les premières minutes de réaction peut se faire par le constat qu'au début du processus d'adsorption, le nombre de sites actifs présents à la surface du matériau adsorbant est largement supérieur à celui des sites qui restent après un certain laps de temps (Dincer et al., 2007)

III.3 - Etude de l'effet de pH:

Dans cette recherche, le pH a été réglé entre 2 et 11 pour examiner son impact sur l'adsorption de l'ammonium. Des expériences ont été réalisées en maintenant une concentration stable d'ammonium de 10 mg/L, avec une quantité fixe de biomasse (0,5 g) pour la diatomite (DN) et la posidonie (BN), et une durée de contact de 120 minutes. Le pH a été modifié en utilisant de l'acide chlorhydrique pour les environnements acides et une solution de NaOH pour les environnements basiques. Les illustrations 17 et 18 présentent l'évolution de la quantité d'ammonium adsorbée, ainsi que le taux d'adsorption, en fonction des divers pH testés.

Chapitre III : Résultats et discussions

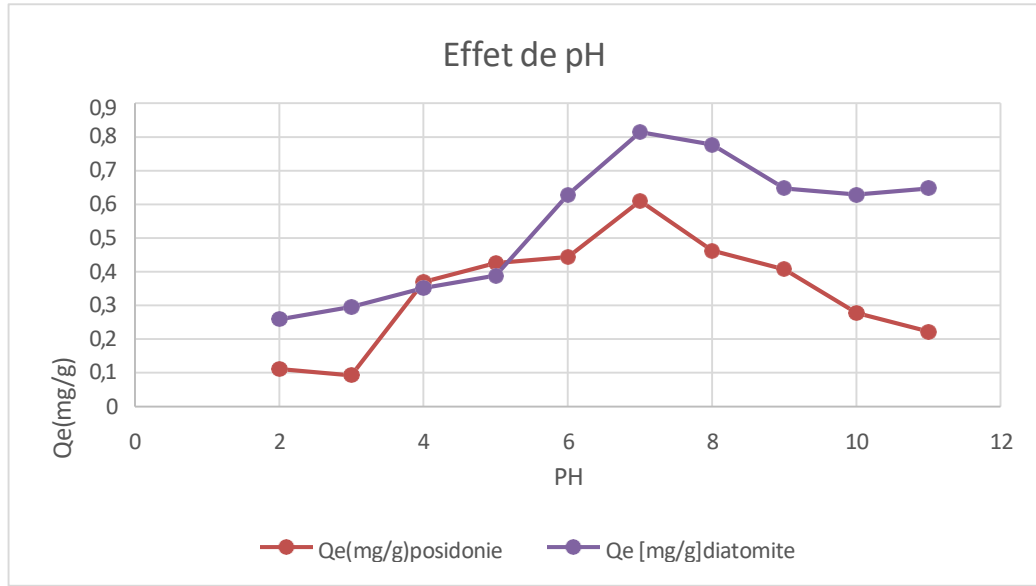


Figure 17: Evolution de la capacité d'absorbance d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différents pH de 2 à 11 $C_0=10\text{mg/l}$, 0,5 de biomasse $T=30^\circ\text{C}$.

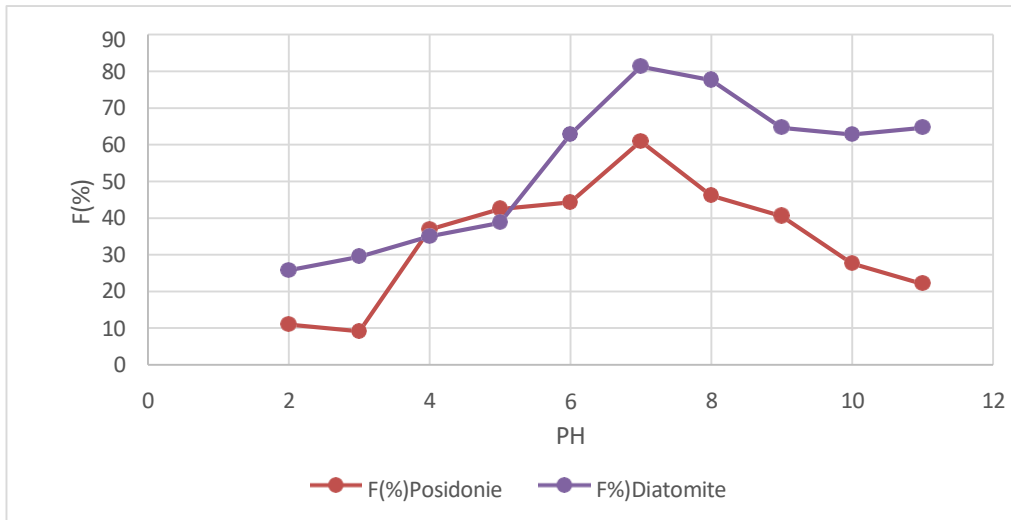


Figure 18: Evolution du rendement de fixation d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différents pH de 2 à 11 $C_0=10\text{mg/l}$, 0,5 de biomasse $T=30^\circ\text{C}$.

Chapitre III : Résultats et discussions

Nous constatons que la capacité d'adsorption s'accroît progressivement avec le pH, culminant approximativement à un pH de 7, tant pour la diatomite que pour la posidonie. Concernant la diatomite, le niveau maximal d'ammonium qu'elle peut adsorber est approximativement de 0,85 mg/g, tandis que pour la posidonie, il est d'environ 0,65 mg/g. Cette variation pourrait être due à la composition poreuse et à la surface spécifique plus étendue de la diatomite, qui favorise une interaction plus efficace avec les ions ammonium. Lorsque le pH est acide (2 à 4), les deux biosorbants présentent une faible capacité d'adsorption. Cela peut s'expliquer par la forte présence d'ions H⁺ qui rivalisent avec les molécules d'ammonium NH₄⁺ pour les emplacements d'adsorption. (Ncibi et al., 2006). Lorsque le pH augmente et devient proche de la neutralité, cette compétition diminue, ce qui permet une fixation plus efficace de l'ammonium.

Au-delà de pH 7, la capacité d'adsorption commence à diminuer, en particulier pour la posidonie. Ce comportement peut être attribué à la transformation progressive de l'ion ammonium (NH₄⁺) en ammoniac (NH₃) libre, une forme non ionique et donc moins sujette à l'adsorption. Cette baisse est plus marquée pour la posidonie, dont les performances chutent nettement à pH basique, atteignant une Q_e inférieure à 0,3 mg/g à pH 11. À l'inverse, la diatomite présente une meilleure stabilité dans cette zone alcaline, maintenant des valeurs de Q_e relativement élevées, ce qui témoigne d'une meilleure tolérance au pH élevé.

Les rendements de fixation suivent une tendance similaire à celle de la capacité d'adsorption. Le rendement maximal de la diatomite atteint environ 85 % à pH 7, contre 65 % pour la posidonie. On peut dire que la diatomite conserve un bon rendement même à pH élevé (> 8), tandis que celui de la posidonie diminue fortement, passant sous la barre des 30 % à pH 11. Cette baisse d'efficacité peut être liée à une déstabilisation de la structure organique de la posidonie en milieu basique, affectant la disponibilité de ses sites actifs.

Ces résultats indiquent que le pH idéal pour l'adsorption de l'ammonium sur les deux biomasses se situe près de la neutralité, à un pH de 7. La diatomite se caractérise par une capacité d'adsorption supérieure. Un rendement de fixation supérieur et une meilleure stabilité à pH élevé. Ces caractéristiques font de la diatomite un biosorbant plus performant et plus fiable pour la décontamination des eaux contenant de l'ammonium, par rapport la posidonie

III.4 – Étude de l'effet de la température :

L'impact de la température sur l'adsorption d'ammonium a été examiné pour des températures variant entre 20 °C et 80 °C, en utilisant deux biomasses : la diatomite et la posidonie. Les observations indiquent des fluctuations notables de la capacité d'adsorption (Q_e) et du rendement de fixation (F%) en fonction de la température.

Chapitre III : Résultats et discussions

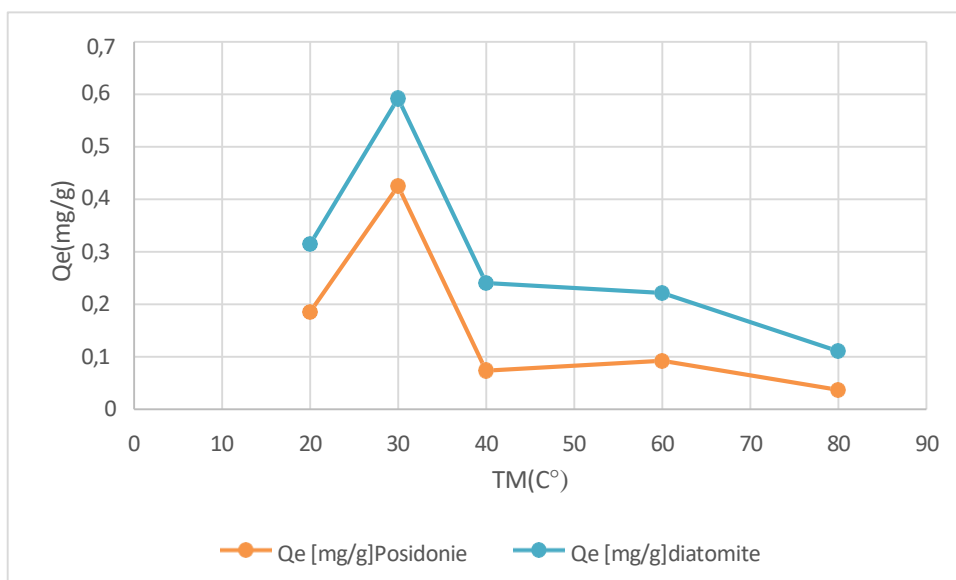


Figure 19: Evolution de la capacité d'adsorption d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différentes températures (20, 30, 40, 60 et 80 °C) ; $C_0=10\text{mg/l}$; 0,5 de biomasse pH=7.

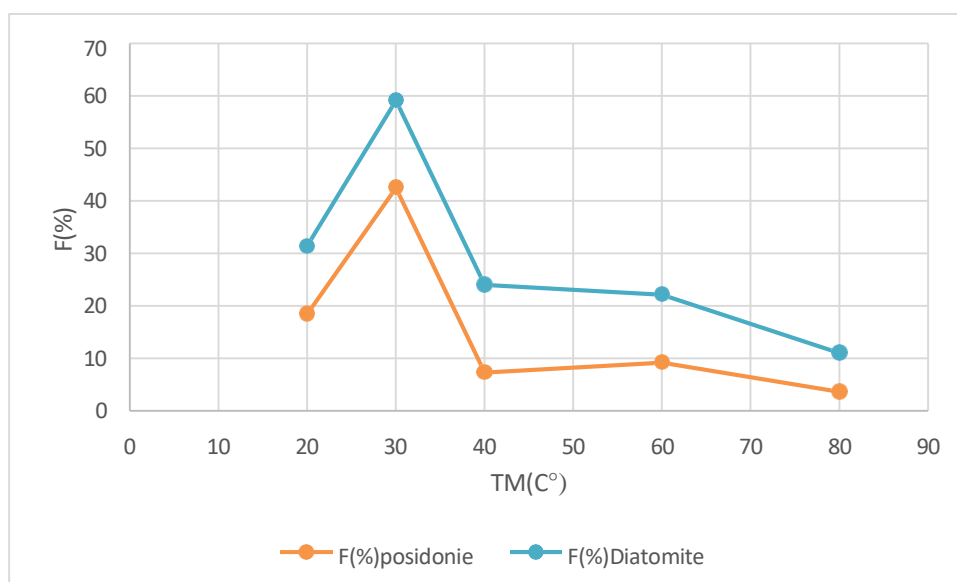


Figure 20: Evolution du rendement de fixation (F%) d'ammonium sur les deux biosorbants (BN et DN) à différentes températures (20, 30, 40, 60 et 80 °C) ; $C_0=10\text{mg/l}$; 0,5 biomasse pH=7

Chapitre III : Résultats et discussions

L'analyse de l'effet de la température sur l'adsorption d'ammonium montre des variations spécifiques en fonction des biosorbants. À une température de 30 °C, les deux biosorbants atteignent leur efficacité maximale. Concernant la diatomite, sa capacité d'adsorption maximale peut atteindre 0,6 mg/g, tandis que son efficacité de liaison se situe environ aux alentours de 60%. Concernant la posidonie, on note un coefficient de qualité environnementale (Q_e) d'approximativement 0,45 mg/g et une efficacité atteignant les 45 %. Cette amélioration à 30 °C est due à une mobilité accrue des ions ammonium en solution. L'accélération du mouvement moléculaire entraîne une augmentation de la fréquence des collisions entre les ions NH_4^+ et les sites d'adsorption.

Par contre, lorsque la température dépasse 40 °C, on observe une diminution significative de la capacité d'adsorption pour les deux adsorbants. Pour la posidonie, le Q_e diminue en dessous de 0,15 mg/g à 40 °C, tandis que pour la diatomite, il diminue plus lentement, atteignant environ 0,2 mg/g à 80 °C. Cela nous montre que l'adsorption d'ammonium sur ces biosorbants est un processus exothermique, cela veut dire qu'elle est affectée négativement par l'augmentation de la température. À des températures plus élevées, la désorption est favorisée et les interactions électrostatiques entre les ions NH_4^+ et les sites actifs sont affaiblies, ce qui réduit l'efficacité globale du processus.

À des températures plus basses, les rendements sont relativement faibles (environ 30 % pour la diatomite et 15 % pour la posidonie à 20 °C). Il augmente à 30 °C, suggérant un phénomène endothermique, ce qui est cohérent avec les observations de (Ncibi et al., 2008).

En résumé, les résultats montrent que la température optimale d'adsorption de l'ammonium par la diatomite et la posidonie se situe autour de 30 °C. Entre les deux adsorbants, la diatomite reste plus efficace, conservant une certaine stabilité thermique jusqu'à 60 °C, contrairement à la posidonie, dont l'efficacité diminue rapidement après 30 °C.

III.5- Modélisation de la cinétique d'adsorption :

Les modèles de cinétique sont essentiels pour comprendre les mécanismes d'adsorption et de fixation des contaminants et pour évaluer l'efficacité des biosorbants. Dans notre étude on a utilisé plusieurs modèles cinétiques. Les modèles appliqués sont : le pseudo-premier ordre (Lagergren, 1898), le pseudo-second ordre et le modèle d'Elovich. Ces modèles permettent de décrire la cinétique d'ammonium et d'optimiser les conditions de la biosorption. Ce large choix de modèles nous permet d'identifier celui qui décrit le mieux le phénomène d'adsorption étudié.

L'évaluation du degré d'ajustement des modèles théoriques aux résultats expérimentaux a été déterminée depuis des coefficients de corrélation (R^2), et du calcul d'erreurs en utilisant des différentes fonctions telles que X^2 (Test du chi carré non linéaire), ainsi que ERRSQ (Erreur quadratique moyenne)(Foo, Hameed, 2010).

Les résultats de la modélisation seront adéquats pour décrire le processus d'adsorption, avec des valeurs d'erreurs minimales et des coefficients de corrélation s'approchant le plus possible de 1.

La représentation graphique de modèle pseudo second-ordre est présentée dans (Fig. 21,22). Celles des autres modèles sont présentées en figures 4 et 5 en Annexe. A partir des équations linaires obtenues, les capacités théoriques d'adsorption ont été calculées et superposées aux capacités d'adsorption expérimentales.

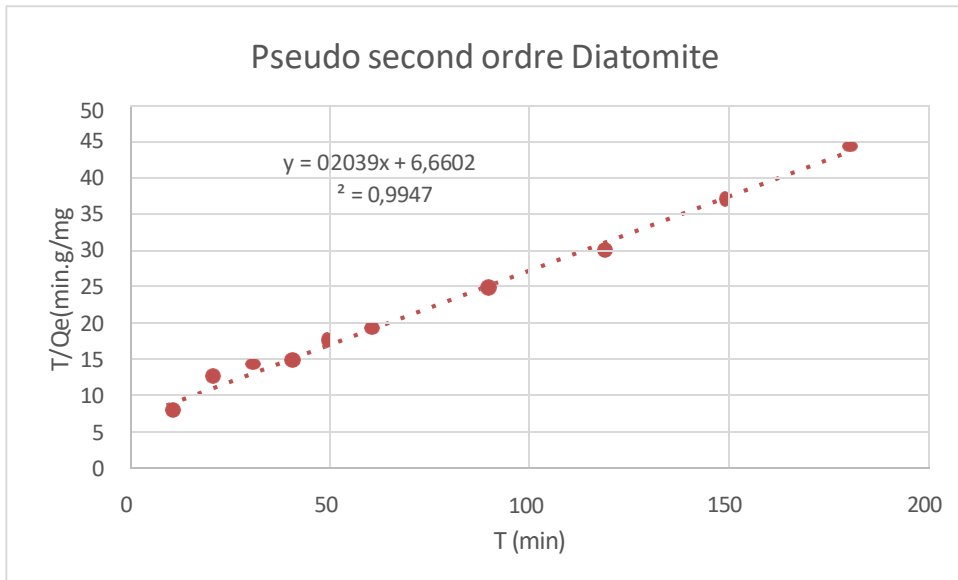


Figure 21: Cinétique d'adsorption d'Ammonium sur la poudre de Diatomite selon le modèle de Pseudo second-ordre; $T = 30^{\circ}\text{C}$; 0,5 g de DN ; $C_0 = 10 \text{ mg/l}$.

Chapitre III : Résultats et discussions

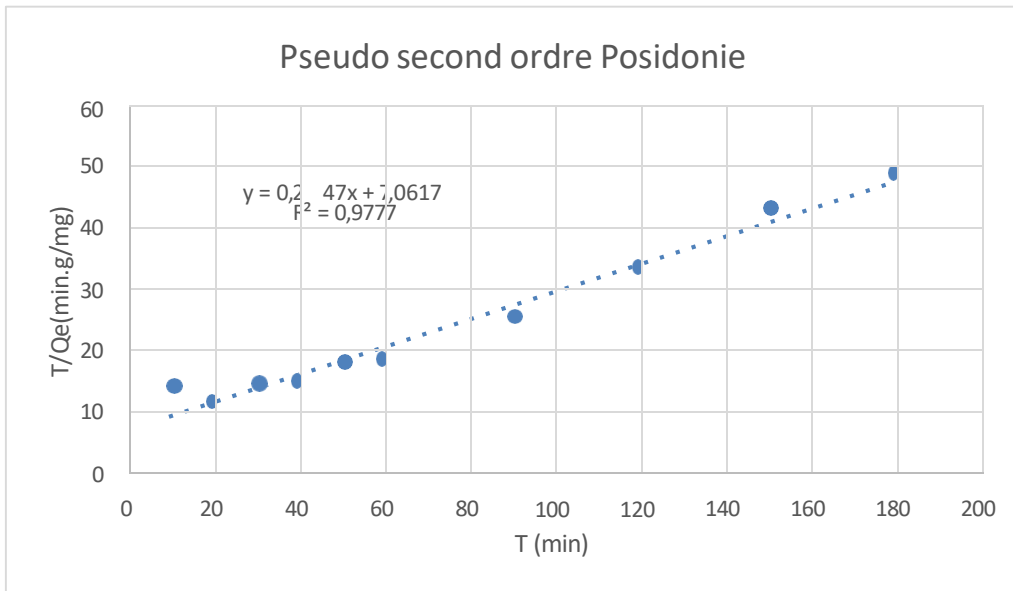


Figure 22 : Cinétique d'adsorption d'Ammonium sur les fibres de Posidonie selon le modèle de Pseudo second- ordre; $T = 30^\circ\text{C}$; 0,5 g de PN ; $C_0 = 10 \text{ mg/l}$.

Les résultats obtenus montrent que pour le modèle de pseudo-second ordre les coefficients de corrélation sont élevés proche de 1 ; pour la Posidonie ($R^2 = 0,977$) et la Diatomite ($R^2 = 0,994$)(Tab.08). En revanche, le modèle pseudo-premier ordre présente des coefficients de corrélation plus faibles pour les deux types de biomasses ; ($R^2 = 0,336$) pour PN et ($R^2 = 0,685$) pour DN (Tab 09), et en ce qui concerne le modèle d'Elovich on a ($R^2 = 0,932$) pour PN et ($R^2 = 0,976$) pour DN (Tab 09).

Tableau 6: Résultats de calcul des paramètres du modèle pseudo-second ordre des biosorbants

Modèle	Biosorbants	Equation linéaire	R^2	K2	$Q_e(\text{mg/g})$
Pseudo-second ordre	DN	$Y = 0,203X + 6,660$	0,994	0,15	3,85
	PN	$Y = 0,224X + 7,061$	0,977	0,141	3,52

Chapitre III : Résultats et discussions

Tableau 7: Résultats de calcul des coefficients de corrélation, et des différentes valeurs d'erreurs pour les modèles appliqués à la cinétique d'adsorption d'ammonium par les biomasses

Modèle	Biosorbants	Equation linéaire	R ²	ERRSQ	X ²
Pseudo-premier ordre	DN	Y= 0,003X+0,014	0,685	1,121	1,300
	PN	Y=0,005X- 0,272	0,336	2,712	2,525
Pseudo-second ordre	DN	Y=0,203X+6,660	0,994	0,153	0,086
	PN	Y=0,224X+7,061	0,977	0,410	0,202
Elovich	DN	Y=0,402X+0,531	0,976	36,92	27,92
	PN	Y=0,395X+0,630	0,932	27,92	20,00

Ces résultats indiquent que le système d'adsorption des deux biosorbants suit le modèle de pseudo-second ordre, qui est basé sur l'hypothèse que la vitesse est limitée par une biosorption chimique impliquant des forces de valence entre l'ammonium et les biosorbants. (Aksu & Tezer, 2000)

. Pour résumer, le modèle cinétique de pseudo-second ordre est le plus approprié pour illustrer la cinétique d'adsorption de l'ammonium sur les fibres d'agregopiles de Posidonie et la Diatomite. L'adsorption d'ammonium s'avère être un processus de chimisorption qui engage le transfert d'ions d'ammonium vers les sites réactifs des deux biomasses, ce modèle étant celui qui correspond le mieux aux conditions décrites précédemment.

III.6 – Isothermes d'adsorption d'ammonium :

La relation entre la quantité d'une substance adsorbée par unitéPour résumer, le modèle cinétique de pseudo-second ordre est le plus approprié pour illustrer la cinétique d'adsorption de l'ammonium sur les fibres d'agregopiles de Posidonie et la Diatomite.

L'adsorption d'ammonium s'avère être un processus de chimisorption qui engage le transfert d'ions d'ammonium vers les sites réactifs des deux biomasses, ce modèle étant celui qui correspond le mieux aux conditions décrites précédemment. de masse de l'adsorbant à une température constante et de sa concentration dans la solution à l'équilibre est appelée isotherme d'adsorption.

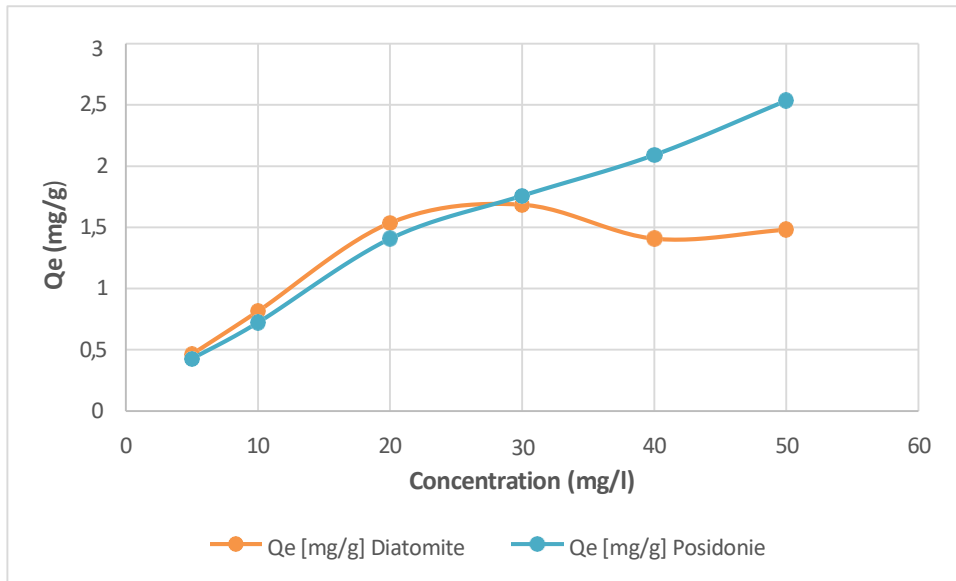


Figure 23: Les isothermes d'adsorption d'ammonium sur la PN et DN

La figure 23 montre les résultats des isothermes d'adsorption d'ammonium pour les deux biosorbants à 30°C, pendant un temps de contact 120min, et de différentes concentrations (5, 10, 20, 30, 40 et 50 mg/l)

Les résultats montrent que la quantité d'ammonium adsorbée Q_e augmente avec la concentration initiale pour les deux biosorbants jusqu'à une concentration environ 30mg/l.

Pour la posidonie, le processus d'adsorption de l'ammonium est plus efficace à de fortes concentrations que pour la diatomite atteignant environ 2,5mg/g à 50mg/l.

III.6.1 –Modélisation des isothermes :

La description des isothermes d'adsorption d'ammonium sur les fibres de Posidonie et la poudre de Diatomite (PN, DN) a été réalisée en appliquant les modèles à deux paramètres de Freundlich, Langmuir, Temkin.

L'analyse des Résultats des isothermes d'adsorption ont montré que le modèle de Langmuir est le plus approprié pour décrire le phénomène d'adsorption étudié pour les deux biosorbants.

Ce modèle a été choisi en fonction de son coefficient de détermination élevé et de faibles valeurs d'erreurs.

Pour le modèle de Langmuir, les coefficients de détermination (R^2) de la PN et DN sont élevés : PN (0,9954) et DN (0,9935), Ces valeurs indiquent une bonne adéquation du modèle pour représenter le processus d'adsorption. Les erreurs calculées sont relativement faibles, ce qui indique une précision raisonnable du modèle.

Chapitre III : Résultats et discussions

Et pour le modèle de Freundlich, il représente un excellent coefficient de détermination seulement pour la Posidonie $R^2 = 0,9602$, ce qui traduit un très ajustement des données au modèle de Freundlich, et notamment avec des erreurs faibles ($X^2 = 0,147$) et ($ERRSQ = 0 ; 250$), par contre pour la Diatomite est $R^2 = 0,7895$ ce qui traduit un faible ajustement des données pour ce modèle, et des erreurs plutôt élevés ($X^2 = 0,359$) , ($ERRSQ = 0,411$) .

En revanche, les modèles de Temkin ne s'est pas révélé adéquat pour décrire le processus d'adsorption, les coefficients de détermination (R^2) pour ce modèle sont assez faibles : PN (0,938) et DN (0,745), et les variations des erreurs calculées sont très élevées ($X^2 = 1,61$) ($ERRSQ = 15,48$) pour la PN et ($X^2 = 19,61$) ($ERRSQ = 233,5$) pour DN.

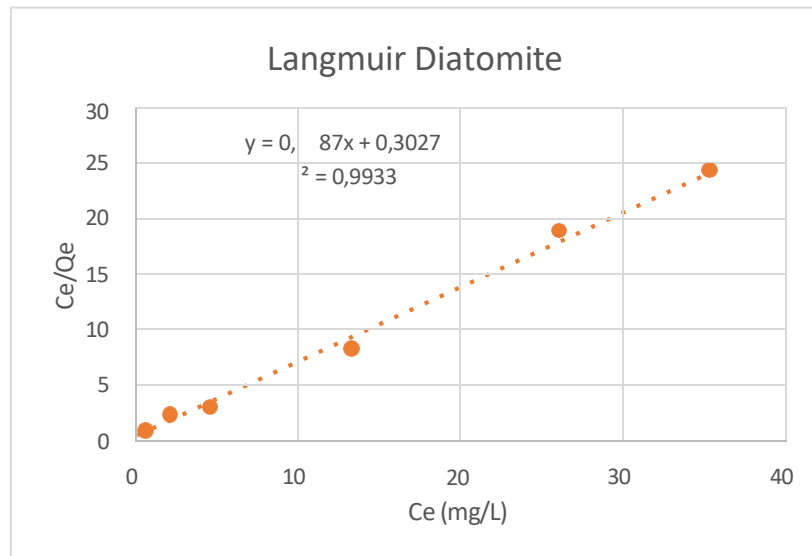


Figure 24 : Isothermes d'adsorption d'ammonium sur la Diatomite selon le modèle de Langmuir ; $T = 30^{\circ}\text{C}$; 0,5 g de DN ; temps de contact total=120min; $C_0 = 5, 10, 20, 30, 40, 50\text{mg/l}$.

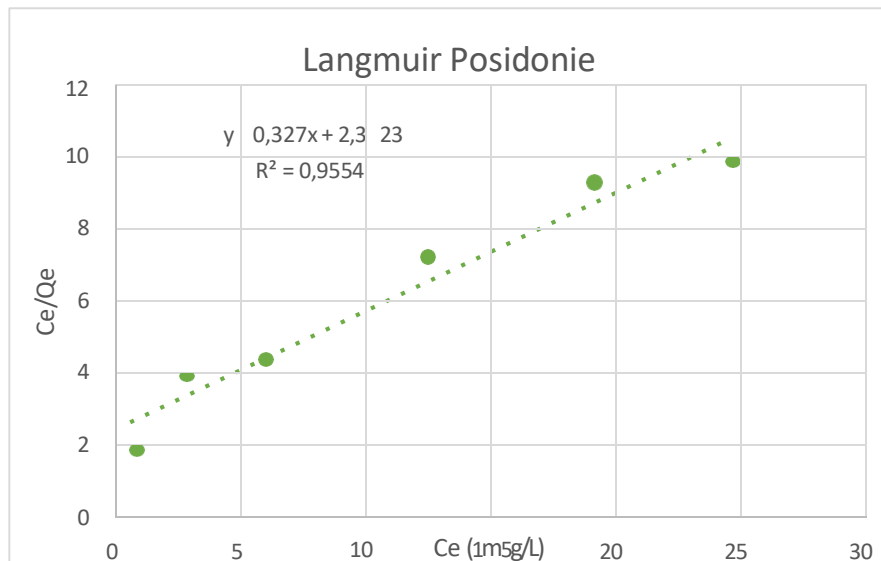


Figure 25: Isothermes d'adsorption d'ammonium sur la Posidonie selon le modèle de Langmuir; $T = 30^{\circ}\text{C}$; 0,5 g de PN ; temps de contact total=120min; $C_0 = 5, 10, 20, 30, 40, 50\text{mg/l}$.

Chapitre III : Résultats et discussions

Une autre caractéristique essentielle de l'isotherme de Langmuir peut être exprimée en termes de facteur de séparation, constante dimensionnelle ou paramètre d'équilibre R_L , donné par l'équation : (Bouhadjra et al , 2016)

$$R_L = 1 / (1 + (K_L \times C_0))$$

Ce paramètre divise, selon sa valeur, les isothermes en quatre types :

$R_L > 1$: Défavorable ; $R_L = 1$: Linéaire ; $0 < R_L < 1$: Favorable ; $R_L = 1$: Irréversible.

Les résultats de calcul de R_L en fonction de la concentration à sont présentés dans le tableau 20.

En effet les valeurs du paramètre d'équilibre R_L (Tab.07) comprise entre 0 et 1 ont confirmés que l'isotherme de Langmuir est de type favorable.

Par conséquent, les éventuelles hypothèses liées à ce phénomène de biosorption sont celles du modèle de Langmuir, à savoir une adsorption en monocouche sur des sites actifs d'affinités similaires, et une surface homogène confirmant ainsi que les isothermes sont de type L, pour les deux biosorbants.

Tableau 8 : Résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption d'ammonium sur les deux biosorbants par le modèle de Langmuir ; $T = 30^\circ\text{C}$; 0,5 g de la biomasse (PN, DN) ; temps de contact total=120min ; $C_0 = 5, 10, 20, 30, 40, 50\text{mg/l}$.

Modèle	Biosorbants	Equation linéaire	R^2	Q_{\max}	K_L	R_L
Langmuir	PN	$Y = 0,327x + 2,3723$	0,9954	3,0581	0,13784	2,3723
	DN	$Y = 0,6687x + 0,3027$	0,9933	1,49544	2,20912	0,3027

Cette dernière hypothèse est confirmée aussi par la valeur de $1/n$ du modèle de Freundlich comme suit :

- $0 < 1/n < 1$: Adsorption favorable
- $1/n$ est proche de 0 : une très bonne adsorption (Chimique)
- $1/n$ est plus proche de 1 : une faible adsorption (Physique)

Pour la Diatomite $1/n$ est de 0,5129 indiquant une adsorption modérée ; et une valeur de 0,2587 pour la Posidonie désignant une bonne adsorption (Bouhadjra, K., Oubagha, N., et al ., 2016) avec une surface hétérogène. Et une exposante qui a atteint $n=3,865$ pour PN, Ce

Chapitre III : Résultats et discussions

paramètre indique une adsorption favorable d'ammonium (Ho, Y.S., McKay, G., 1998) . Par ailleurs, les valeurs de n qui sont limitées entre (1 – 10) indiquent une bonne adsorption pour la PN (Ibrahim, M.B., Sani, S, 2014)

Tableau 9: Résultats de calcul des coefficients de corrélation, et des différentes valeurs d'erreurs pour tous les modèles appliqués à la cinétique d'adsorption d'ammonium par les deux biosorbants.

Modèle	Biosorbants	Equation linéaire	R ²	ERRSQ	X ²
Langmuir	DN	Y= 0,668X+0,302	0,993	0,28	0,24
	PN	Y=0,327X+0,372	0,995	0,11	0,12
Freundlich	DN	Y=0,512X-0,313	0,789	0,41	0,39
	PN	Y=0,258X-0,146	0,982	0,32	0,20
Temkin	DN	Y=3,117X-2,081	0,745	26,95	2,9
	PN	Y=1,591X-0,511	0,938	11,69	1,7

Chapitre III : Résultats et discussions

II.7- Analyse du FTIR-ATR pour la diatomite :

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en mode réflexion-atténuation totale (FTIR-ATR) a été utilisée pour caractériser les groupements fonctionnels présents à la surface de la diatomite avant et après adsorption d'ammonium. Cette technique fournit des informations précises sur la composition chimique de surface de matériau et permet ainsi de mieux comprendre les mécanismes d'interaction entre l'adsorbant (diatomite) et l'adsorbat (ion ammonium NH_4^+).

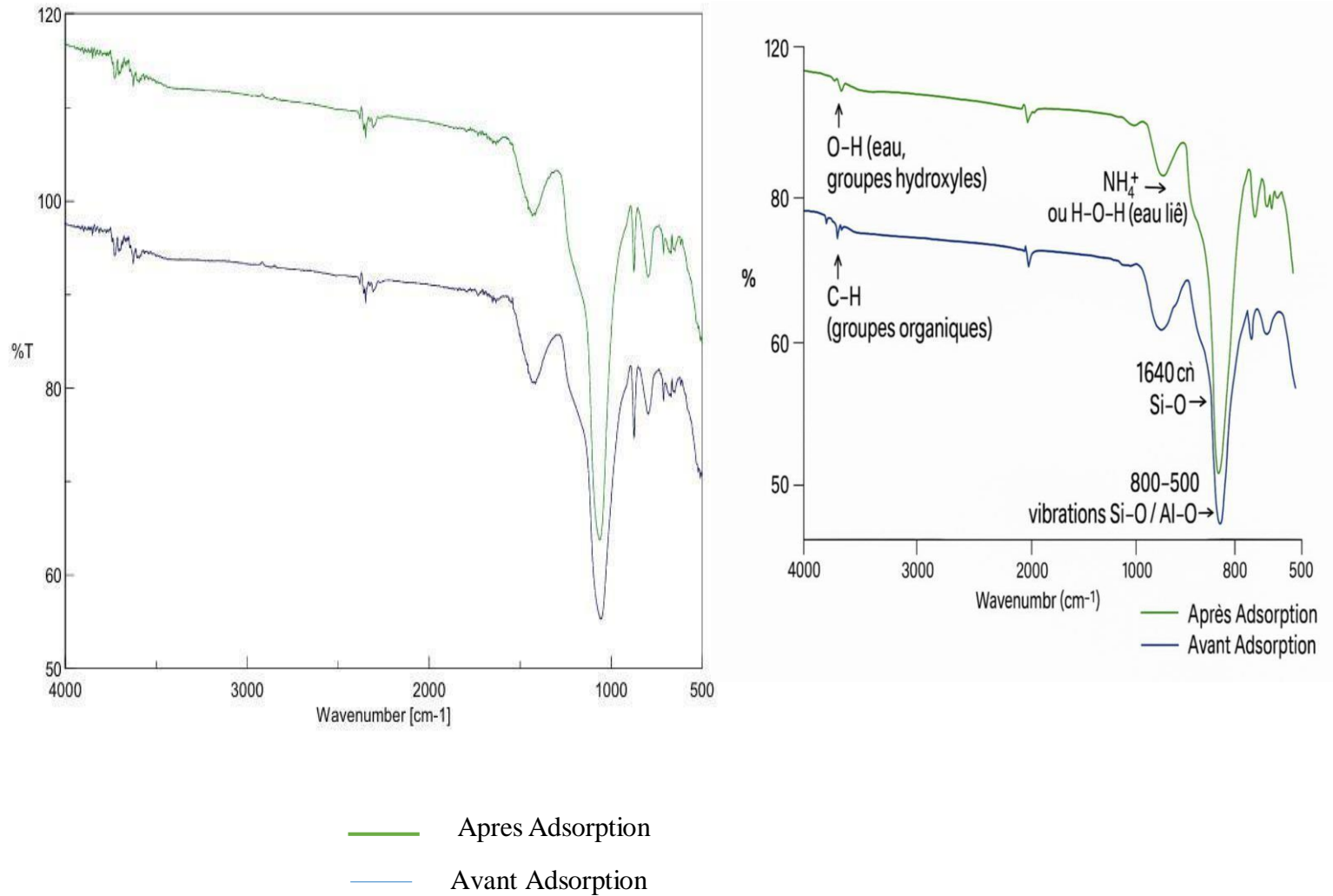


Figure 26: Spectre FTIR de la diatomite avant et après l'adsorption de l'ion ammonium NH_4^+ .

Chapitre III : Résultats et discussions

Le spectre FTIR de la diatomite brut (spectre bleu) montre plusieurs pics typiques des substances silicatées. Une bande large autour de 3400 cm^{-1} est associée aux vibrations d'étirement des liaisons O-H. Cela indique la présence de groupes hydroxyles en surface (Si-OH) et d'eau adsorbée, démontrant du caractère hydrophile et poreux de la diatomite. Une autre spectre de fréquences entre 1640 et 1650 cm^{-1} est associée aux vibrations de flexion des molécules d'eau (H-O-H), ce qui signale l'existence d'eau résiduelle contenue dans les pores du matériau.

Des bandes caractéristiques de la structure silicatée sont visibles dans la intervalle de fréquence de 1200 à 400 cm^{-1} . L'intervalle marqué entre 1100 et 1040 cm^{-1} est associé aux vibrations asymétriques des liaisons Si-O-Si, typiques des liaisons siloxanes présentes dans une matrice de silice amorphe. On attribue une bande secondaire proche de 800 cm^{-1} aux vibrations symétriques des liaisons Si-O, tandis qu'une autre autour de 470 cm^{-1} est associée aux vibrations de flexion de ces mêmes liaisons. Toutes ces bandes affectent que la diatomite est principalement composée de silice.

Après à l'adsorption de l'ammonium (spectre verte), des modifications significatives se manifestent dans le spectre. La bande O-H à 3400 cm^{-1} diminue fortement, ce qui suggère que les groupes hydroxyles ont interagi avec les ions ammonium, probablement par des liaisons hydrogène ou des forces électrostatiques. On observe aussi un affaiblissement ou un léger décalage de la bande vers 1040 cm^{-1} , illustrant une perturbation du réseau silicaté due à l'ammonium. Cela pourrait être le résultat d'une modification dans la distribution électronique autour des atomes de silicium et d'oxygène (Mucalo & Cooney, 1991).

L'apparition de nouvelles bandes ou un renforcement autour de 1400 – 1500 cm^{-1} pourrait être associé aux vibrations spécifiques des ions NH_4^+ , qui se lie avec les bandes du matériau. Ce signal indique la fixation de l'ammonium sur la surface de la diatomite. Ces changements dans le spectre représentent des interactions chimiques, en particulier par le voie de l'échange d'ions ou de l'adsorption de surface.

Pour résumé, l'examen des spectres FTIR-ATR pré et post-adsorption indique que des groupes fonctionnels contenant beaucoup d'oxygène - surtout les hydroxyles (Si-OH) et les siloxanes (Si-O-Si) - jouent un rôle clé dans l'adsorption de l'ammonium. La diatomite, grâce à sa composition en silice amorphe et à sa structure poreuse, résulte être un excellent choix en tant que biosorbant naturel pour le traitement des eaux riches en azote (Mucalo & Cooney, 1991).

III.8- Analyse du spectre FTIR pour la posidonie :

La spectroscopie FTIR en mode ATR a été appliquée à la Posidonie afin de caractériser les groupements fonctionnels présents sur la surface et d'évaluer les éventuels changements structuraux après adsorption des ions ammonium. Les spectres obtenus (courbe verte : avant adsorption ; courbe bleue : après adsorption) permettent de mettre en évidence les principales interactions chimiques responsables du phénomène d'adsorption.

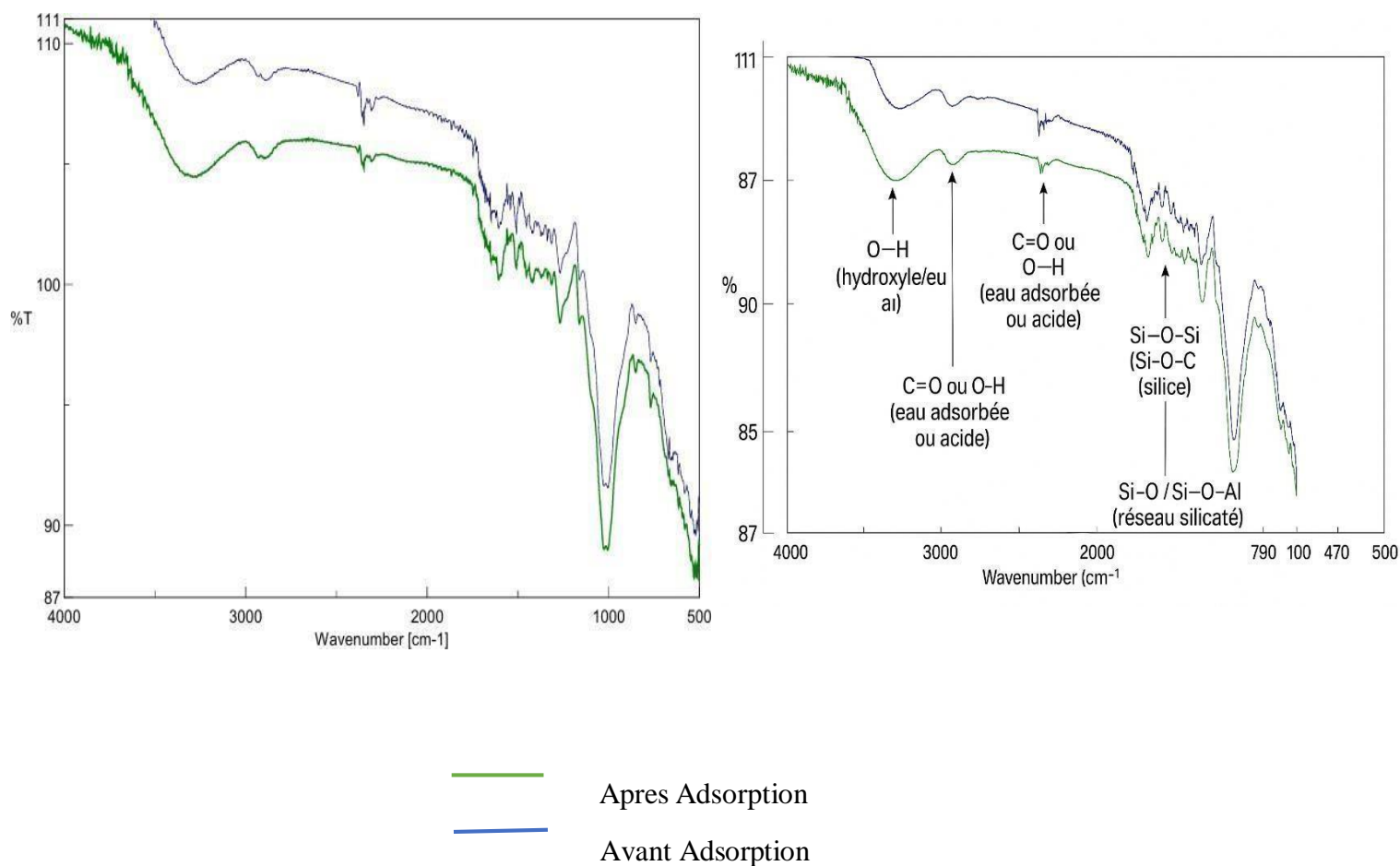


Figure 27 : Spectre FTIR de la posidonie avant et après l'adsorption de l'ion ammonium NH_4^+ .

Chapitre III : Résultats et discussions

Le spectre FTIR de la posidonie brut (spectre bleu) montre plusieurs pics typiques des substances organiques d'origine végétale. Une grande bande autour de 3400 cm^{-1} est identifiée, associée aux vibrations des liaisons O–H. Cela indique une importante concentration de groupes hydroxyles, caractéristiques des polysaccharides tels que la cellulose ou l'hémicellulose, ainsi que des composés phénoliques. Cette bande illustre également la nature hydrophile de la biomasse. D'autres bandes, situées entre 2920 et 2850 cm^{-1} , sont associées aux vibrations des liaisons C–H dans les chaînes aliphatiques, fréquemment présentes dans la matière organique végétale.

Des bandes liées aux groupes carbonyles ou carboxyliques sont observées entre 1750 et 1600 cm^{-1} . Par exemple, la spectre autour de 1730 cm^{-1} est fréquemment associée aux esters ou acides gras, alors que celle à 1630 cm^{-1} peut être attribuée soit aux liaisons C=O conjuguées, soit aux vibrations de flexion de l'eau. Ces fonctionnalités chimiques jouent un rôle crucial car elles sont impliquées dans les interactions avec les ions en solution. La région de 1400 à 1000 cm^{-1} présente plusieurs bandes complexes qui sont liées aux vibrations des groupes C-H, C-O et O-H, caractéristiques des éléments lignocellulosiques. On attribue généralement une bande autour de 1030 cm^{-1} aux liaisons C–O–C (éthers) que l'on retrouve dans la cellulose, ainsi qu'à de faibles quantités de phosphate ou de silicate d'origine minérale.

Après à l'adsorption de l'ammonium (spectre verte), divers changements se manifestent dans le spectre. Une diminution de l'intensité près de 3400 cm^{-1} suggère que les groupes hydroxyles sont impliqués dans une interaction avec les ions NH_4^+ , probablement par le biais de liaisons hydrogène ou d'interactions électrostatiques. En De plus, la bande autour de 1630 cm^{-1} semble plus marquée ou légèrement décalée, ce qui indique une implication directe des groupes carboxyliques dans le processus d'adsorption. On observe aussi des changements discrets dans la intervalle allant de 1400 à 1200 cm^{-1} , qui illustrent d'un modification des groupes fonctionnels à la surface du matériau (Mucalo & Cooney, 1991).

Ces modifications spectroscopiques démontrent de l'adsorption de l'ammonium sur la biomasse de Posidonie, principalement grâce à des interactions de surface qui impliquent les groupes hydroxyles (–OH), carboxyliques (–COOH) et d'autres emplacements oxygénés.

En conclusion, l'étude FTIR-ATR indique que les groupes fonctionnels dominants de la posidonie participent de manière active au mécanisme d'adsorption des ions ammonium. Les changements notés suite à l'adsorption indiquent que le processus est principalement basé sur des interactions électrostatiques et des liaisons hydrogène, validant ainsi la capacité de la posidonie à agir comme un biosorbant naturel pour le traitement des eaux usées riches en azote (Mucalo & Cooney, 1991).

CONCLUSION

CONCLUSION

Conclusion :

Dans cette recherche, on a mené une expérience basée sur des aegagropiles de Posidonie et la poudre de Diatomite afin de tester leur capacité et leur rôle dans l'adsorption des polluants, plus exactement l'ammonium, pour réaliser cela, une étude approfondie a été réalisée en s'appuyant sur divers méthodes analytiques. Les aegagropiles de Posidonie, une biomasse d'origine marine d'une vaste importance écologique, a été collectée de la plage de Chenoua dans la wilaya de Tipaza, en Algérie, et notamment, la Diatomite, une poudre siliceuse, connue par sa forte capacité d'adsorption collecte du site de Sig à Mascara, en Algérie.

En ce qui concerne l'adsorbat, l'Ammonium considère comme un des polluants majeurs des effluents de l'aquaculture a été choisi. Le but était de comparer l'efficacité d'adsorption des deux biomasses, et d'analyser leur rendement pour traiter les eaux polluées.

Nous avons commencé nos travaux par une définition générale des deux types de biomasse, leurs constituants et plus particulièrement leur caractéristique d'adsorption. La cinétique d'adsorption a été illustrée à l'aide de trois modèles (Pseudo premier ordre, Pseudo second ordre, Elovich). Quatre modèles (Langmuir, Freundlich, Temkin) ont été utilisés pour modéliser les isothermes dans le but de saisir les mécanismes d'adsorption des deux biomasses. L'illustration de la dynamique d'adsorption sur la Posidonie et la Diatomite nous a permis de déterminer qu'un état d'équilibre d'adsorption est établi après 120 minutes pour les deux biomasses. L'étude de l'effet de pH nous a montré que les deux biosorbants nous présentent une adsorption maximale autour de $\text{pH} = 7$; En milieu acide, la forte présence d'ions H^+ entre en compétition avec les ions d'ammonium, et diminue l'efficacité d'adsorption, En revanche, en augmentant le pH, la posidonie subit une diminution marquée d'adsorption, contrairement à la diatomite qui maintient une bonne performance même à pH élevé.

En ce qui concerne la température, les deux biosorbants présentent une adsorption optimale à 30°C , Toutefois, au-delà de cette température, la Posidonie montre une diminution rapide de sa capacité d'adsorption, indiquant une sensibilité thermique élevée. La Diatomite, au contraire, conserve une adsorption plus stable, grâce à sa structure minérale résistante à la chaleur, ce qui en fait un biosorbant plus adapté à des variations de la température.

L'analyse cinétique a démontré que l'adsorption respecte le modèle de pseudo deuxième ordre, affichant des coefficients de corrélation presque parfaits : ($R^2 = 0,994$) pour la Diatomite et ($R^2 = 0,977$) pour la Posidonie. Cela suggère un processus de chimisorption impliquant des transferts d'ions ou le partage d'électrons. Les courbes d'adsorption indiquent que la quantité d'ammonium adsorbée (Q_e) s'accroît avec l'augmentation de la concentration initiale du polluant, ce qui est typique des isothermes de type L. Le modèle de Langmuir illustre de manière plus précise le phénomène d'adsorption comparativement à Freund L'usage du modèle de Temkin n'est pas approprié pour illustrer ce processus, compte tenu de la très faible valeur de ses coefficients de détermination.

Pour conclure, cette expérience nous a confirmé le rendement de fibres de Posidonie et le potentiel de la poudre de Diatomite comme biosorbants efficaces pour l'adsorption de

CONCLUSION

L'ammonium, présentant de meilleures performances selon les diverses conditions expérimentales. Pour obtenir davantage de résultats, il serait avantageux de se concentrer sur l'analyse approfondie des aegagropiles de posidonie, y compris la poudre de diatomite et leurs possibilités d'utilisation dans diverses applications. En outre, il conviendrait d'étudier davantage leur capacité à adsorber divers types de polluants et leur comportement face à des conditions environnementales changeantes pour mieux saisir leur adaptabilité et leur potentiel.

REFERENCE

REFERENCE

- Aarfane, A., Salhi, A., et al. (2014).** Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of Red195 and Methylene blue dyes on fly ash and bottom ash in aqueous medium).
- Adjagodo, A., Agassounon Djikpo Tchibozo, M., Kelome, N. C., & Lawani, R. (2016).** Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : Synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3), 1459. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.43>
- Arias M., Barral M. T., Mejuto J. (2002).** *J. Chemosphere*.
- Aurel, maniraguha balibutsa, et al. (2018).** ACTIVITÉS DOMESTIQUES COMME SOURCE DE POLLUTION ET LEUR IMPACT ÉCOLOGIQUE DANS LE QUARTIER LES VOLCANS À GOMA.
- B. Rusch, K. Hanna, B. Humbert., (2010).** Coating of quartz silica with iron oxides : Characterization and surface reactivity of iron coating phases, *Colloids Surf. Physicochem*.
- Backman et al. (1999).** Chitour, 197isat.
- Belaid, K. D., & Kacha, S. (2011).** Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. *Revue des sciences de l'eau*, 24(2), pp131-144. <https://doi.org/10.7202/1006107ar>
- Bénard, J., Oudar, J., & Cabané-Brouty, F. (1965).** Contribution à l'étude de l'adsorption chimique réversible du soufre sur l'argent. *Surface Science*, 3(4), pp359-372. [https://doi.org/10.1016/0039-6028\(65\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0039-6028(65)90005-1)
- Benguella, B., & Yacouta-Nour, A. (2009).** Elimination des colorants acides en solution aqueuse par la bentonite et le kaolin. *Comptes Rendus. Chimie*, 12(6-7), pp762-771. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2008.11.008>
- Bhatnagar, A., Minocha, A.K., et al. (2010).** Adsorptive removal of cobalt from aqueous solution by utilizing lemon peel as biosorbent.
- Bittsánszky, A., Pilinszky, K., Gyulai, G., & Komives, T. (2015).** Overcoming ammonium toxicity. *Plant Science*, 231, pp184-190. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.12.005>
- Boudouresque, C. F., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Thibaut, T., & Verlaque, M. (2016).** The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow : Fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia*, 781(1), pp25-42. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2333-y>
- Bouhadjra, K., Oubagha, N., et al. (2016).** VALORISATION DES PELURES DE POMMES DE TERRE POUR LE TRAITEMENT DES EAUX DES REJETS TEXTILES.
- Cocozza, C., Parente, A., Zaccone, C., Mininni, C., Santamaria, P., & Miano, T. (2011).** Chemical, physical and spectroscopic characterization of *Posidonia oceanica* (L.) Del. Residues and their possible recycle. *Biomass and Bioenergy*, 35(2), pp799-807. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.033>

REFERENCE

- Dincer, A., Gunes, Y., & Karakaya, N. (2007).** Coal-based bottom ash waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), pp 529-535. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.07.064>
- Dixit, S. S., Smol, J. P., Kingston, J. C., & Charles, D. F. (1992).** Diatoms : Powerful indicators of environmental change. *Environmental Science & Technology*, 26(1), pp22-33. <https://doi.org/10.1021/es00025a002>
- ElSayed, E. E. (2018).** Natural diatomite as an effective adsorbent for heavy metals in water and wastewater treatment (a batch study). *Water Science*, 32(1), pp32-43. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.02.001>
- Fn, C., & Mf, M. (2017).** Factors Affecting Water Pollution : A Review. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 07(01). <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>
- Fomina, M., & Gadd, G. M. (2014).** Biosorption : Current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, 160, pp3-14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010).** Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Foo, K.Y., Hameed, B.H. (2010).** Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*.
- FREUNDLICH, H. (1906).** Over the adsorption in solution.
- Fu, H., Tan, P., Wang, R., Li, S., Liu, H., Yang, Y., & Wu, Z. (2022).** Advances in organophosphorus pesticides pollution : Current status and challenges in ecotoxicological, sustainable agriculture, and degradation strategies. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127494. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127494>
- Gadd, G. M. (2009).** Biosorption : Critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 84(1), pp13-28. <https://doi.org/10.1002/jctb.1999>
- Giles, C. H., Smith, D., & Huitson, A. (1974).** A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical. *Journal of Colloid and Interface Science*, 47(3), pp755-765. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(74\)90252-5](https://doi.org/10.1016/0021-9797(74)90252-5)
- Han, F., Tian, Q., Chen, N., Hu, Z., Wang, Y., Xiong, R., Xu, P., Liu, W., Stehr, A., Barra, R. O., & Zheng, Y. (2024).** Assessing ammonium pollution and mitigation measures through a modified watershed non-point source model. *Water Research*, 254, 121372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121372>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999).** Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), pp451-465. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5)
- Ho, Y.S., McKay, G. (1998).** Sorption of dye from aqueous solution by peat.
- Huang, J., Kankanamge, N. R., Chow, C., Welsh, D. T., Li, T., & Teasdale, P. R. (2018).** Removing ammonium from water and wastewater using cost-effective adsorbents : A review. *Journal of Environmental Sciences*, 63, pp174-197. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.09.009>
- Ibrahim, M.B., Sani, S. (2014).** Comparative Isotherms Studies on Adsorptive Removal of Congo Red from Wastewater by Watermelon Rinds and Neem-Tree Leaves.
- Kaal, J., Serrano, O., Nierop, K. G. J., Schellekens, J., Martínez Cortizas, A., & Mateo, M.-Á. (2016).** Molecular composition of plant parts and sediment organic matter in a

REFERENCE

- Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) mat. *Aquatic Botany*, 133, pp50-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.05.009>
- kang et al. (2007)**. Sorption de Cu²⁺ et Cd²⁺ sur des échantillons de charbon actif granulaire et de fibres de charbon actif prétraités par un acide ou une base.
- Karmakar, S., Mukherjee, J., & Mukherjee, S. (2018)**. Biosorption of fluoride by water lettuce (*Pistia stratiotes*) from contaminated water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(4), pp801-810. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1439-3>
- Khraisheh, M. A. M., Al-Ghouti, M. A., Allen, S. J., & Ahmad, M. N. (2005)**. Effect of OH and silanol groups in the removal of dyes from aqueous solution using diatomite. *Water Research*, 39(5), pp922-932. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.12.008>
- L. M. Sun, F. Meunier. (2003)**. Aspects théoriques, Les Technique de l'Ingénieur, Opérations Unitaires; Génie de la réaction chimique, traité Génie des procédés.
- LANGMUIR, I. (1918)**. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. Lefebvre, L., Compère, P., Léonard, A., Plougonven, E., Vandewalle, N., & Gobert, S. (2021). Mediterranean aegagropiles from *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813): A first complete description from macroscopic to microscopic structure. *Marine Biology*, 168(3), 37. <https://doi.org/10.1007/s00227-021-03833-y>
- Lopez-Ramon. (1999). On the characterization of acidic and basic surface sites on carbons by various techniques.
- Madhav, S., Ahamad, A., Singh, A. K., Kushawaha, J., Chauhan, J. S., Sharma, S., & Singh, P. (2020)**. Water Pollutants : Sources and Impact on the Environment and Human Health. In D. Pooja, P. Kumar, P. Singh, & S. Patil (Éds.), *Sensors in Water Pollutants Monitoring : Role of Material* (p. 43-62). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_4
- Masmoudi, G., & Dhaouadi, H. (2024)**. A review on Adsorption of Textile Dyes Onto an Unconventional Biosorbent : Marine Waste of *Posidonia Oceanica*. *Chemistry Africa*, 7(6), pp 2921-2939. <https://doi.org/10.1007/s42250-024-01015-z>
- Mason, C. F. (2007)**. Water pollution biology. In R. M. Harrison (Éd.), *Pollution* (4^e éd., p. 82-112). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781847551719-00082>
- Mateo, M.-Á., Sánchez-Lizaso, J.-L., & Romero, J. (2003)**. *Posidonia oceanica* 'banquettes' : A preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrients budget. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(1), pp85-90. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00123-3](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00123-3)
- Meradi, H., Atoui, L., Bahloul, L., Labiod, K., & Ismail, F. (2016)**. Characterization of diatomite from Sig region (West Algeria) for industrial application. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 27(3), pp281-288. <https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2015-0057>
- Mozaffari Majd, M., Kordzadeh-Kermani, V., Ghalandari, V., Askari, A., & Sillanpää, M. (2022)**. Adsorption isotherm models : A comprehensive and systematic review (2010–2020). *Science of The Total Environment*, 812, 151334. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151334>
- Mucalo, M. R., & Cooney, R. P. (1991)**. An FTIR study. *Canadian Journal of Chemistry*, 69(11), p-p1649-1655. <https://doi.org/10.1139/v91-242>

REFERENCE

- Ncibi, M. C., Mahjoub, B., & Seffen, M. (2006).** Biosorption of Phenol onto *Posidonia oceanica* (L.) Seagrass in Batch System : Equilibrium and Kinetic Modelling. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 84(4), P-P 495-500. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450840411>
- Ncibi, M. C., Mahjoub, B., & Seffen, M. (2008).** Étude de la biosorption du chrome (VI) par une biomasse méditerranéenne : *Posidonia oceanica* (L.) delile. *Revue des sciences de l'eau*, 21(4), 441-449. <https://doi.org/10.7202/019166ar>
- Pandey, J. K., Tauseef, S. M., Manna, S., Kumar Patel, R., Kumar Singh, V., & Dasgotra, A. (2023).** Application of Nanotechnology for Resource Recovery from Wastewater (1^{re} éd.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003176350>
- Pergent-Martini, C., Leoni, B. (2005).** Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows : Use and application. *Ecological Indicators*, 5(3), p-p 213-230. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.02.004>
- Qi, X., Liu, M., Chen, Z., & Liang, R. (2007).** Preparation and properties of diatomite composite superabsorbent. *Polymers for Advanced Technologies*, 18(3), p-p184-193. <https://doi.org/10.1002/pat.847>
- Radu, G., & Racoviteanu, G. (2021).** Removing ammonium from water intended for human consumption. A review of existing technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 664(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/664/1/012029>
- Raj, K. S., Noor, M. J. M. M., Goto, M., & Tamunaidu, P. (2018).** Characterisation and Application of Diatomite in Water Treatment. In R. Saian & M. A. Abbas (Éds.), *Proceedings of the Second International Conference on the Future of ASEAN (ICoFA) 2017 – Volume 2* (p. 533-539). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8471-3_53
- Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002).** Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1-12), p-p 17-23. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8)
- Sadegh, Yari. (2015).** Removal of ammonium ions from wastewater A short review in development of efficient methods.
- Sen Gupta, S., & Bhattacharyya, K. G. (2011).** Kinetics of adsorption of metal ions on inorganic materials : A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 162(1-2), p-p39-58. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.12.004>
- (Short, F.T., Coles, R.G. (2014).** *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science, Saint Louis.
- S.J. Blott, A.M. Al-Dousari, K. Pye, S. E. Saye. (2004).** Three-dimensional characterization of sand grain shape and surface texture using a nitrogen gas adsorption technique,.
- Tadjine. (2015).** ADSORPTION SUR DES SUPPORTS BIOLOGIQUES : BIOSORPTION.
- Vacchi, M., De Falco, G., Simeone, S., Montefalcone, M., Morri, C., Ferrari, M., & Bianchi, C. N. (2017).** Biogeomorphology of the Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1), p-p42-54. <https://doi.org/10.1002/esp.3932>

REFERENCE

- Vasarri, M., De Biasi, A. M., Barletta, E., Pretti, C., & Degl'Innocenti, D. (2021).** An Overview of New Insights into the Benefits of the Seagrass *Posidonia oceanica* for Human Health. *Marine Drugs*, 19(9), 476. <https://doi.org/10.3390/md19090476>
- Wolkenstein, Th. (1957).** 82 Sur les Différents Types de Liaisons lors de l'Adsorption Chimique sur des Semi-Conducteurs. In *Advances in Catalysis* (Vol. 9, p. 807-817). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0360-0564\(08\)60235-7](https://doi.org/10.1016/S0360-0564(08)60235-7)
- Zahajská, P., Opfergelt, S., Fritz, S. C., Stadmark, J., & Conley, D. J. (2020).** What is diatomite? *Quaternary Research*, 96, P-P 48-52. <https://doi.org/10.1017/qua.2020.14>

Annexes :

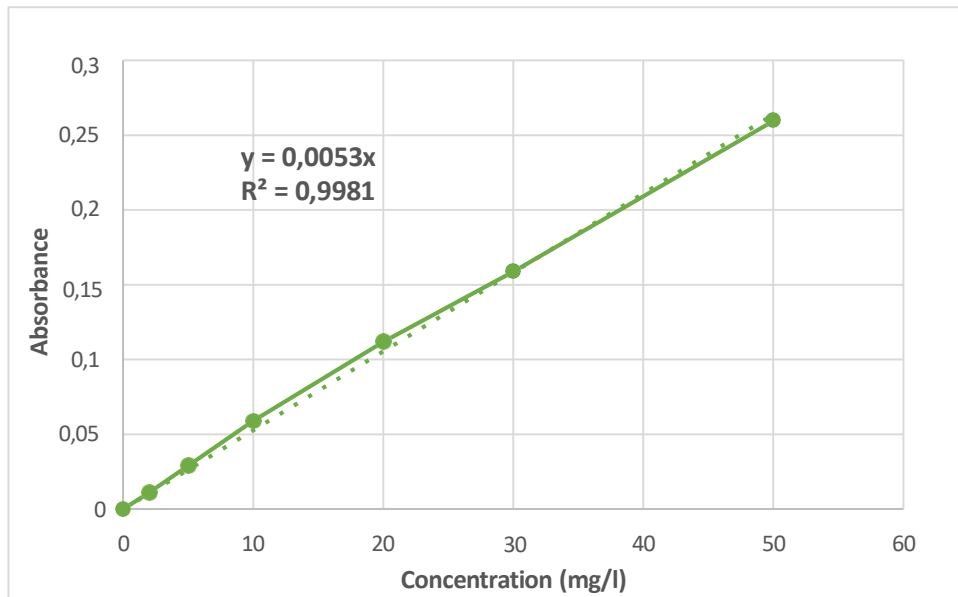


Figure 01 : Courbe d'étalonnage d'une solution standard d'ammonium

Classification des isothermes d'adsorption selon(Giles et al., 1974)

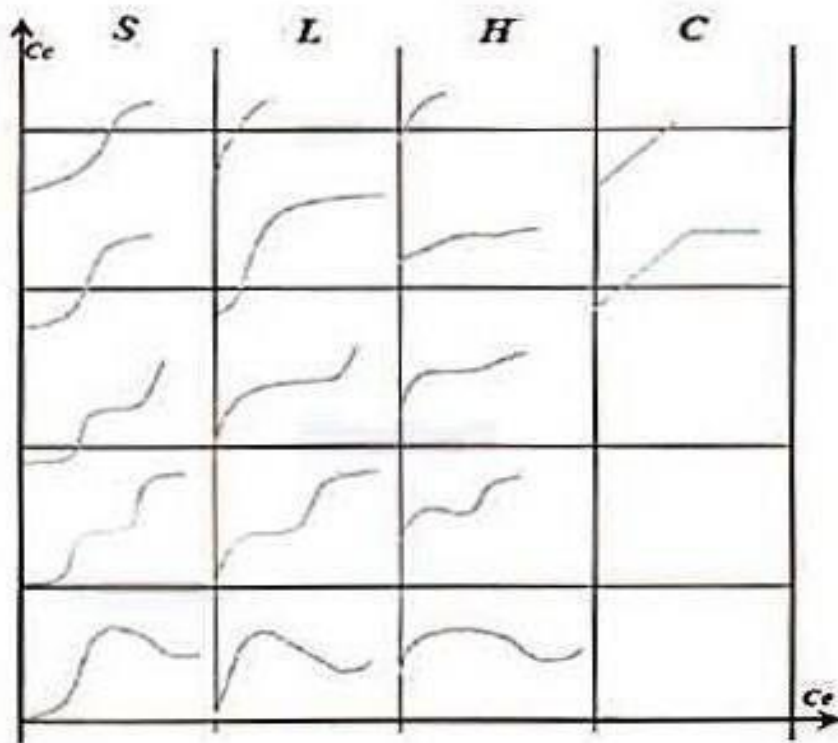


Figure 02 : Les différents types d'isothermes (Giles et al., 1974)

ANNEXES

Ces classes sont elles-mêmes divisée en sous-groupes suivant les caractéristiques des isothermes à concentration élevée :

- Sous-groupe 1 : Isothermes incomplètes
- Sous-groupe 2 : Isothermes à palier
- Sous-groupe 3 : Isothermes à point d'inflexion

Représentations graphiques des modèles utilisés des isothermes d'adsorption à 30 °C :

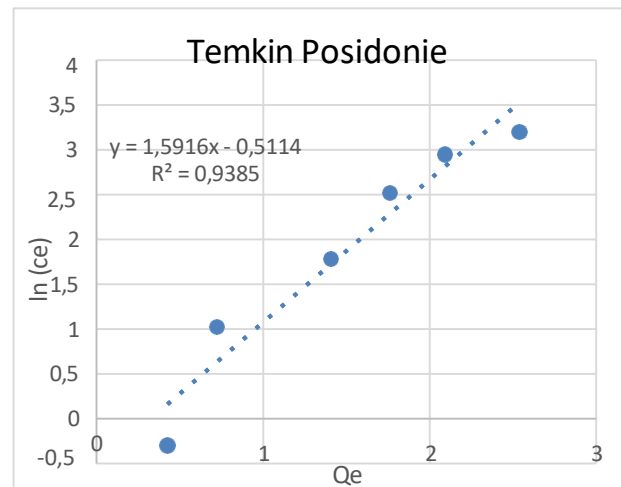
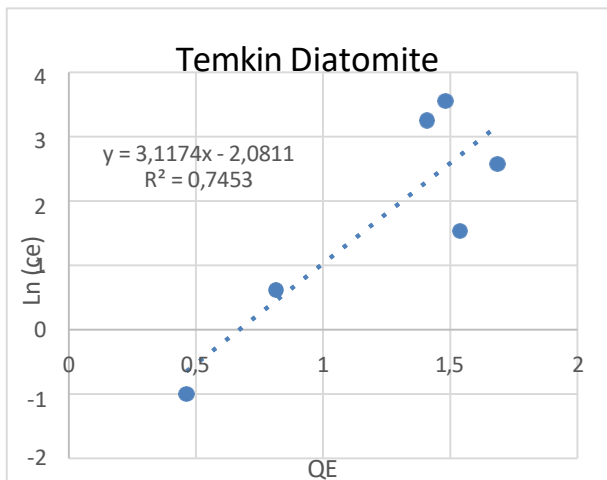
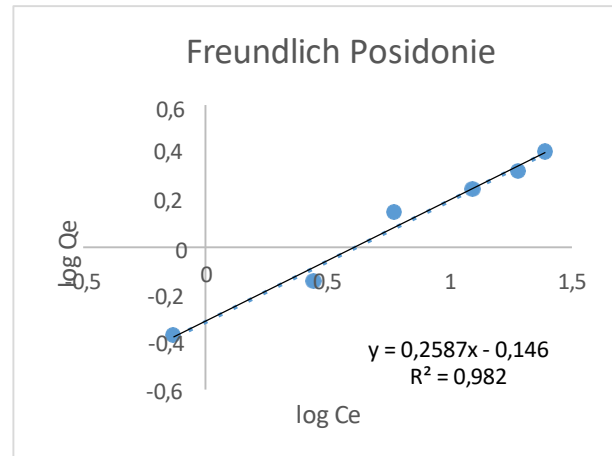
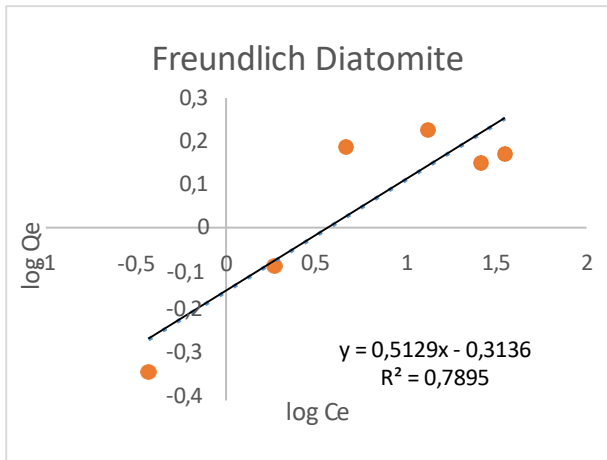


Figure 3 : Représentations graphiques des modèles utilisés des isothermes d'adsorption (Freundlich et Temkin) à 30 °C des deux biosorbants (DN et PN).

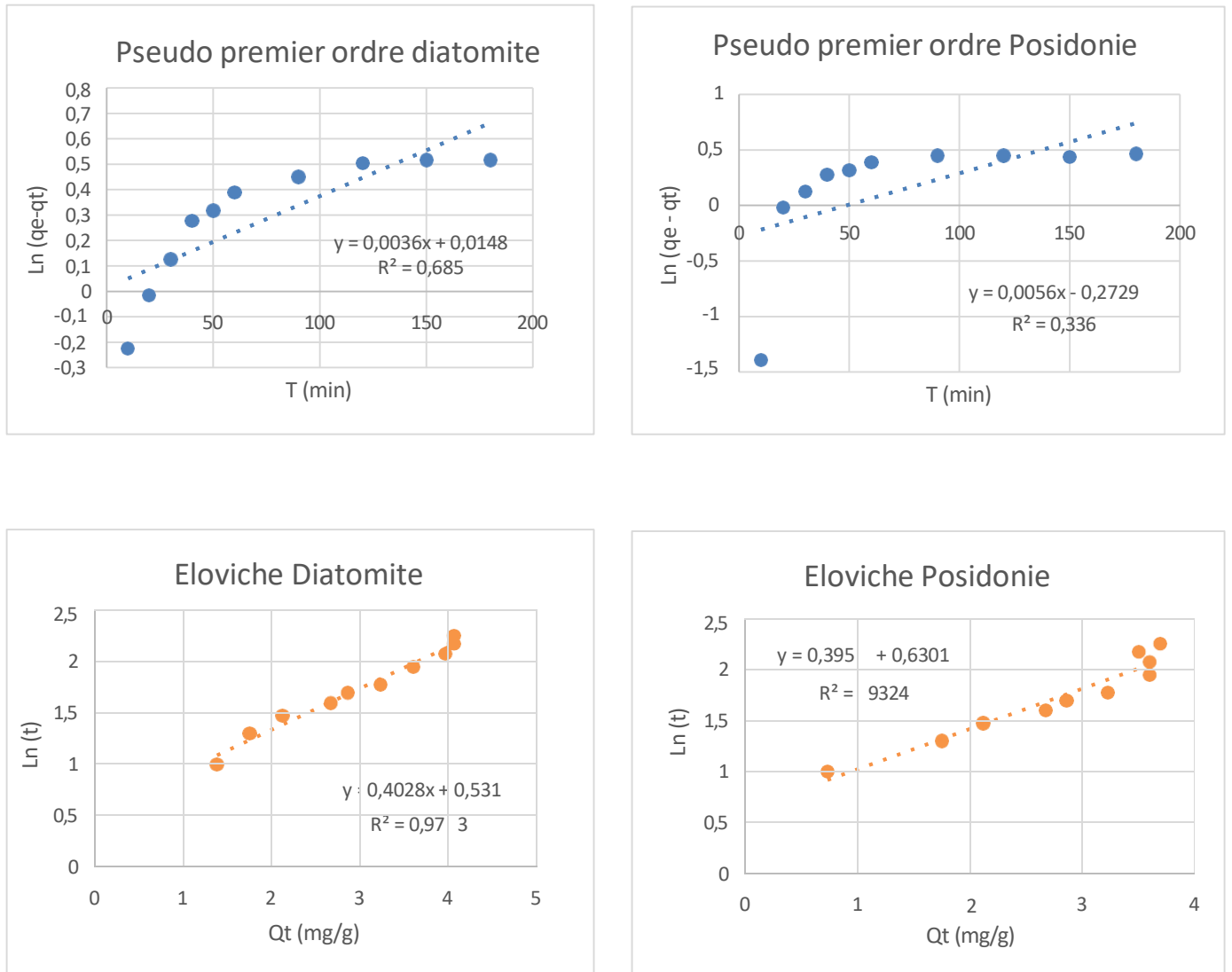
Résultats de modélisation de la cinétique d'adsorption :

Figure 5 : Représentations graphiques des modèles cinétiques (pseudo-premier ordre et elovich) à 30°C des deux biosorbants (PN et DN).

ANNEXES

Résultats de modélisation de la cinétique d'adsorption :

Modèle	Biosorbants	K1(mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	Qe (mg/g)
Pseudo-premier ordre	DN	-0,0036	4,070
	PN	-0,0056	3,518

Tableau 1: Résultats de modélisation de la cinétique (modèle Pseudo premier-ordre).

Modèle	Biosorbants	α (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)	β (g/mg)
Elovich	DN	1,504	2,487
	PN	1,937	2,531

Tableau 2: Résultats de modélisation de la cinétique (Elovich).

Résultats de modélisation des isothermes d'adsorption :

Modèle	Biosorbants	KF(mg/g)	nF
Freundlich	DN	0,485	1,949
	PN	0,714	3,865

Tableau 3: Résultats de modélisation des isothermes (Frendlich).

Modèle	Biosrbants	KT(mg/g)	B
Temkin	DN	0,5127	3,1174
	PN	0,7252	1,5916

Tableau 4 : Résultats de modélisation des isothermes(Temki

Résumé : L'objectif de cette étude est de mettre en valeur deux biomasses marines naturelles, *Posidonia oceanica* (sous forme d'aegagropiles) et la diatomite, en tant que biosorbants pour le retrait de l'ammonium contenu dans les eaux contaminées. Des tests en batch ont été réalisés dans des conditions optimales (pH ≈ 7 et température de 30 °C) pour mener des essais d'adsorption. Les données suggèrent que la dynamique d'adsorption obéit au modèle du pseudo-second ordre, ce qui indique une chimisorption comme mécanisme. L'analyse des isothermes a révélé un bon accord avec le modèle de Langmuir, suggérant une adsorption d'une seule couche moléculaire. La diatomite, grâce à sa porosité, a démontré une capacité d'adsorption supérieure, alors que la posidonie revêt une grande importance écologique. Ce travail met en évidence le potentiel de ces biosorbants naturels pour une solution durable et économique de traitement des eaux.

Mots-clés : Biosorption, *Posidonia oceanica*, Diatomite, Ammonium, Adsorption, Isothermes, Cinétique.

Abstract

This study focuses on the valorization of two natural marine biomasses, *Posidonia oceanica* (as aegagropiles) and diatomite, as biosorbents for the removal of ammonium from polluted water. Adsorption tests were carried out under optimal conditions (pH ≈ 7 and temperature 30 °C) using batch experiments. The results showed that the adsorption kinetics follow the pseudo-second-order model, indicating a chemisorption mechanism. Isotherm analysis revealed good agreement with the Langmuir model, suggesting monolayer adsorption. Diatomite exhibited higher adsorption capacity due to its porous structure, while *Posidonia oceanica* stands out for its ecological and sustainable value. This work highlights the potential of these natural biosorbents for low-cost and eco-friendly wastewater treatment.

Keywords: Biosorption, *Posidonia oceanica*, Diatomite, Ammonium, Adsorption, Isotherms, Kinetics.

ملخص

تُركز هذه الدراسة على تقييم نوعين من الكتل الحيوية البحرية الطبيعية، وهم لبسدينا أوشنكا (كالكولم ركنية) والدياتوميت، كمسترات حيوية

لإزالة الأمونيوم من المياه الملوثة. أُجريت اختبارات الامتزاز في ظروف مثالية (درجة حموضة ≈ 7 ودرجة حرارة 30 درجة مئوية) باستخدام تجارب الدفعات. أظهرت النتائج أن حركة الامتزاز تتبع نموذج شبه الدرجة الثانية، مما يشير إلى آلية امتزاز كيميائي. كلف تحليل خط تساري الحرارة عن توافق جيد مع نموذج لانجمير، مما يشير إلى امتزاز أحادي الطبقة. أظهر الدياتوميت قدرة امتزاز أعلى بفضل بنيته المسامية، بينما يتميز لبسدينا أوشنكا بخصائصه البيئية والمساهمة ببلط هذا العمل للضوء على إمكانات هذه المسترات الحيوية الطبيعية لمعالجة مياه الصرف الصحي.

يُتفق نقداً وبمبنة اليه

الكلمات المفتاحية: الامتزاز الحيوي، لبسدينا أوشنكا، الدياتوميت، الأمونيوم، الامتزاز، خطوط الحرارة، المسامية، الحركة

Partie BMC

Formation d`une crème hydratante à base de collagène marin

Équipe de projet	Faculté	Spécialité
BOUZEKOUK Manar	ENSSMAL	Biotechnologie marine
BENSAADA Lina Douniazed	ENSSMAL	Biotechnologie marine
MOULOUDJ Aya	ENSSMAL	Biotechnologie marine

ENCADRANT	SPÉCIALITÉ
BOUGHRIRA Abdelhak	HALIEUTIQUE
KADA Mohamed	MICROBIOLOGIE

Introduction

Depuis quelques années, le secteur cosmétique en Algérie est en pleine expansion, entraînant une hausse notable de la consommation de produits de soin, notamment les crèmes hydratantes. Toutefois, une grande majorité de ces produits contiennent une multitude de substances chimiques, parfois controversées. Selon les données de la base de données INCI Beauty et les analyses publiées par l'Environmental Working Group (EWG), une crème hydratante conventionnelle contient en moyenne entre 15 et 30 ingrédients, parmi lesquels des conservateurs, des parfums synthétiques, des émulsifiants ou encore des silicones. Certains de ces composés sont régulièrement pointés du doigt pour leur potentiel irritant ou perturbateur endocrinien. Cette réalité soulève des préoccupations croissantes en matière de santé publique et d'impact environnemental.

C'est dans ce contexte que le collagène marin, extrait à partir de sous-produits de la pêche, suscite un intérêt grandissant. Riche en acides aminés essentiels et doté de propriétés hydratantes, raffermissantes et régénérantes, il se positionne comme un actif de choix pour la formulation de soins cutanés, notamment les crèmes hydratantes. Contrairement au collagène d'origine bovine ou porcine, souvent associé à des risques sanitaires ou à des objections culturelles et religieuses, le collagène marin offre une meilleure compatibilité biologique, une biodisponibilité accrue, et un profil plus rassurant pour le consommateur.

L'intégration du collagène marin dans une crème hydratante naturelle permet ainsi de répondre à un double enjeu : améliorer l'hydratation et la qualité de la peau tout en limitant l'impact écologique de la production cosmétique. En valorisant des coproduits marins, cette approche contribue également à l'économie circulaire, en réduisant le gaspillage de ressources marines souvent négligées.

Notre projet vise donc à développer et commercialiser une crème hydratante innovante à base de collagène marin, associant naturalité, efficacité prouvée et éthique environnementale. Cette initiative s'inscrit dans une vision durable de la cosmétique, où la performance ne se fait plus au détriment de la santé ni de la planète, mais en harmonie avec les ressources naturelles disponibles

Premier axe

1. L'idée du projet (solution proposée)

Domaine d'activité :

Industrie cosmétique — soins de la peau naturels et bio.

Origine de l'idée :

Ce projet est né suite à une enquête montrant que de nombreux consommateurs recherchent des soins hydratants naturels, en raison des effets secondaires causés par les produits cosmétiques chimiques (irritations, allergies, eczémas). Des substances comme les parabènes, phtalates ou sulfates sont souvent associées à des risques pour la santé (réactions cutanées, perturbations hormonales, etc.).

Face à cette problématique, l'idée a émergé de créer une crème hydratante à base d'ingrédients naturels, notamment du collagène marin, reconnu pour ses propriétés régénérantes et hydratantes. Ce choix permet aussi de valoriser les ressources marines locales de manière durable.

Objectif :

Développer et commercialiser une crème hydratante naturelle et efficace, à base de collagène marin, destinée aux peaux sèches, sensibles ou matures. L'objectif est de proposer une alternative saine, respectueuse de la peau et de l'environnement.

Méthodologie :

La formulation associera du collagène marin en poudre, du gel d'aloë vera, de l'huile de jojoba, de l'eau florale et de l'huile essentielle de lavande papillon. Des tests de stabilité, d'efficacité hydratante et de tolérance cutanée seront réalisés pour garantir la qualité du produit final.

Ressources humaines :

Le projet est porté par une équipe d'étudiantes en 5^e année de biotechnologie marine, futures ingénieures, encadré par des enseignants spécialisés dans la valorisation des bioressources marines et la formulation cosmétique.

Lieu de réalisation :

Les travaux de formulation, de tests et de développement seront réalisés au laboratoire de chimie de l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), doté des équipements nécessaires à la recherche et au contrôle qualité.

2. Les valeurs proposées

Les valeurs livrables aux clients à travers cette crème hydratante naturelle peuvent être identifiées selon les éléments suivants :

Modernité

Le produit répond à une demande croissante de soins cosmétiques naturels, sans substances chimiques controversées, en intégrant un ingrédient innovant : le collagène marin.

Performance

Grâce à sa formule riche et équilibrée, la crème offre une hydratation profonde, améliore l'élasticité de la peau et contribue à atténuer les signes de l'âge, avec une efficacité comparable, voire supérieure, à celle des produits conventionnels.

Flexibilité

La formulation peut être adaptée en fonction des besoins spécifiques du marché (peau sèche, sensible, anti-âge, etc.) et des retours des utilisateurs, avec des variantes possibles en texture, parfum ou format.

Accomplissement de tâches

Elle aide les utilisateurs à hydrater leur peau, à la protéger des agressions extérieures et à favoriser la régénération cutanée naturelle.

.

Naturalité et sécurité

La formulation repose exclusivement sur des ingrédients naturels, notamment du collagène marin en poudre issu de coproduits de la pêche, associés à des extraits végétaux tels que l'huile de jojoba, le gel d'aloé vera, l'eau florale et l'huile essentielle de lavande papillon. Cette composition assure une excellente tolérance cutanée.

Hydratation efficace

Le produit vise à restaurer et maintenir un bon niveau d'hydratation cutanée, grâce à l'action combinée du collagène et des agents hydratants naturels, tout en améliorant l'élasticité et la souplesse de la peau.

Démarche écoresponsable

La valorisation de sous-produits issus de la pêche permet de limiter le gaspillage de ressources naturelles et de s'inscrire dans une logique d'économie circulaire. Le produit est par ailleurs biodégradable.

Production locale et économique

Le recours à des matières premières disponibles localement et la fabrication nationale permettent de proposer un produit de qualité à un prix accessible, tout en soutenant l'économie locale.

Promotion d'une cosmétique durable

Le projet s'inscrit dans une dynamique de transition vers des produits cosmétiques plus sains, plus respectueux de la peau et de l'environnement.

3. Equipe de travaux

Membre 01 : Bouzekouk Manar, étudiante en M2 Biotechnologie Marine. Elle apporte une expertise approfondie dans les technologies marines, avec un intérêt particulier pour la biotechnologie appliquée aux écosystèmes marins.

Membre 02 : Bensaada Lina, également spécialisée en biotechnologie marine, enrichit l'équipe par ses connaissances solides en gestion durable des ressources marines et des écosystèmes côtiers.

Membre 03 : Mouloudj Aya, ingénieure en biotechnologie marine. Elle contribue au projet grâce à son expérience dans la conception et la mise en œuvre de projets innovants relevant du domaine de la biotechnologie marine.

Membre 04 : Boughrira Abdelhak, docteur chercheur et spécialiste en halieutique. Son expertise porte sur l'étude, la gestion et la valorisation des ressources biologiques marines, en particulier les espèces exploitées par la pêche .

4. Objectif de projet

Nos objectifs commerciaux sont les suivants : sensibiliser et orienter l'industrie cosmétique en Algérie vers l'utilisation d'ingrédients naturels et marins, en créant un marché pour les soins hydratants biologiques à base de collagène marin. Nous visons à proposer un produit 100 % algérien, accessible et innovant, tout en valorisant les ressources marines locales. À travers cette initiative, nous aspirons à devenir le premier producteur national de cosmétiques biologiques à base de collagène marin au cours des cinq premières années.

5. Calendrier de réalisation de projet

Semaine	1	2	3	4	5	6
Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓					
Commande des équipements		✓				
Construction d'un siège de production (usine)						✓
Installation des équipements					✓	
Achat de matières premières		✓				
Réalisation du prototype			✓			

2 ème axe

1.Aspects innovant

Il s'agit du premier projet en Algérie à intégrer l'utilisation du collagène marin dans la formulation d'une crème hydratante cosmétique, en associant cette technologie à des ingrédients naturels.

Le projet repose sur la valorisation de matières premières marines, notamment les déchets de la pêche, pour l'extraction du collagène, contribuant ainsi à une démarche écoresponsable.

Il vise une nouvelle catégorie de consommateurs recherchant des produits cosmétiques naturels, efficaces et respectueux de la santé cutanée.

3 ème axe

1.Analyse stratégique du marché

1.1.Segmentation de marché

Le marché potentiel regroupe l'ensemble des consommateurs ou des entreprises susceptibles d'être intéressés par un produit ou un service spécifique, en fonction de leurs besoins ou de leurs désirs. Il représente la taille maximale possible du marché pour un produit ou service donné, en englobant tous les segments de consommateurs potentiellement intéressés, indépendamment des contraintes actuelles telles que la concurrence ou la pénétration du marché.

Marché potentiel : Il s'agit de toute personne cherchant à hydrater sa peau, quel que soit son âge, son sexe ou son type de peau, et n'ayant aucune contre-indication à l'usage de produits cosmétiques. Ce marché est aujourd'hui largement soutenu par des entreprises spécialisées dans les ingrédients cosmétiques tels que Clariant, Ashland, Symrise ou Givaudan Active Beauty, qui développent des actifs innovants répondant aux besoins universels d'hydratation et de soin.

Marché cible : Nous visons en priorité les femmes âgées de 25 à 45 ans, soucieuses de l'hydratation et de la fermeté de leur peau, ainsi que les personnes recherchant des produits naturels à base d'ingrédients marins. Ce segment est particulièrement attentif à la qualité des formules et à l'origine des actifs utilisés, d'où l'intérêt porté à des ingrédients issus de fournisseurs reconnus comme Biocosmethic, IMCD, Unipex ou Seppic, spécialisés dans la distribution d'extraits naturels, marins ou biotechnologiques destinés à la cosmétique haut de gamme.

1.2 Mesure de l'intensité de la concurrence

Les principaux concurrents sur le marché algérien de la cosmétique proposent, pour la plupart, des crèmes hydratantes formulées à base d'huiles végétales classiques et de composés chimiques. Ils sont classés selon leur présence sur le marché comme suit : Nivea, Garnier, Dove, etc.

Parmi leurs atouts, on peut citer leur notoriété, leur ancienneté dans le secteur de la cosmétique, ainsi que leur large distribution à travers les grandes surfaces et les pharmacies.

Parmi leurs faiblesses, on note l'utilisation fréquente d'ingrédients chimiques (parabènes, silicones, parfums de synthèse) ainsi qu'une dépendance aux huiles végétales basiques peu innovantes, sans intégration d'actifs marins à haute valeur ajoutée. Leurs formulations restent génériques et souvent peu adaptées aux consommateurs recherchant des soins naturels et performants.

Nous avons identifié quelques concurrents émergents orientés vers les produits naturels, comme Bioluxe ou Marwa Natural Care. Cependant, leurs crèmes hydratantes restent limitées aux huiles végétales et ne contiennent pas de collagène marin. D'autres marques internationales, telles que Thalgo ou Elemis, commercialisent des crèmes au collagène marin, mais elles sont importées et souvent inaccessibles en raison de leur prix élevé.

Notre entreprise se démarque clairement sur ce marché : nous sommes les premiers en Algérie à développer une crème hydratante à base de collagène marin, issue d'ingrédients naturels soigneusement sélectionnés, sans ajout de produits chimiques agressifs. Il s'agit d'un produit innovant, 100 % conforme aux attentes des consommateurs recherchant à la fois efficacité, naturalité et fabrication locale.

1.3 La stratégie marketing

Notre stratégie de promotion reposera sur des campagnes de sensibilisation mettant en avant l'efficacité et les bienfaits de notre crème hydratante à base de collagène marin. Nous exploiterons les canaux numériques tels que Facebook, Instagram, LinkedIn et le marketing par e-mail pour toucher et engager notre cible : les consommateurs soucieux de leur peau et de leur santé, ainsi que les acteurs du secteur cosmétique naturel.

Nous mettrons en place des programmes de fidélisation afin d'encourager la réutilisation régulière de notre crème. Cela inclura une carte de fidélité donnant droit à des promotions

comme une réduction de 10 % pour l'achat de trois pots ou plus à partir de la deuxième commande, ainsi que des offres spéciales lors de lancements ou d'événements saisonniers. Un service de paiement échelonné pourra aussi être proposé pour les commandes en volume.

Nous accorderons une attention particulière à la satisfaction client, en assurant un service après-vente réactif et à l'écoute. Un registre électronique de réclamations et suggestions sera mis en place afin de recueillir les avis et d'améliorer en continu nos produits et services.

Une veille concurrentielle sera assurée par l'analyse des tendances du marché et les retours des consommateurs. Cela nous permettra de mieux positionner notre crème, d'adapter nos formules et de diversifier notre gamme en fonction des attentes du marché.

Quatrième axe

1. Production et organisation

Récolte de matière première (restaurants, hôtels, pêcheries)



Tri, décorticage et nettoyage des coproduits



Lavage et séchage (à l'air libre ou à l'étuvage)



Broyage et tamisage (Poudre de crustacés)



Extraction de la molécule d'intérêt (extraction acide)



Formulation d'une crème cosmétique (suivant un
Protocole bien déterminé selon la dose ciblé)



Obtention de la biomolécule



Formation de la crème

1.2 L'Approvisionnement

En intégrant la notion d'économie circulaire, nous exploitons une matière première constituée de déchets, ce qui non seulement réduit les coûts d'approvisionnement mais contribue également à la protection de l'environnement . De plus, ce modèle présente un avantage concurrentiel notable pour notre projet cosmétique, dans la mesure où nous collaborons directement avec les producteurs de matières premières naturelles. Cela nous permet d'assurer un approvisionnement régulier, de qualité, et à moindre coût pour la fabrication de notre crème hydratante.

1. 3 La main d'œuvre

Notre projet crée environ 4 emplois directs et près de 4 emplois indirects. Notre projet ne nécessite pas de spécialisations précises sauf pour les ingénieurs et techniciens travaillant sur des équipements de pointe .

1.4. Les Principaux partenaires

Notre réseau de partenaires joue un rôle crucial dans le succès et la croissance de notre entreprise. Nous collaborerons avec divers fournisseurs, distributeurs, laboratoires de recherche, experts et institutions pour garantir la qualité et l'efficacité de nos produits

Nous nous approvisionnerons en équipements et matériels de laboratoire auprès de **WorldLab**, un fournisseur reconnu pour la fiabilité de ses produits, Pour l'expansion de notre distribution, nous travaillerons avec les distributeurs de produits phytosanitaires et les grossistes tels que Biosource ALGÉRIE, En matière de recherche et développement, nous avons établi une liste des partenariats stratégiques avec des laboratoires réputés comme LNCPP, CRAPC, INRSP, INSP, INSID, ITGC.

Les recommandations et les conseils des professionnels du cosmétique, y compris des experts en Biotechnologie et des techniciens, sont essentiels pour nous. De plus, nous obtenons des déchets nécessaires à notre production des industries de transformation des produits de la mer et des restaurants, notamment le **Restaurant Dihia, l'Hôtel et Ferme Aquacole El Marsa Hassi Ben Abdellah**.

Nous souhaiterons collaborer également avec des institutions académiques telles que **ENSSMAL** qui peut nous accorder un soutien grâce aux incubateurs comme **Blue Start, Incubator**, pour promouvoir l'innovation et développer de nouvelles solutions dans ce domaine.

5 ème axe

1 .Plan financier

Le plan financier de notre projet constitue un élément fondamental pour assurer sa pérennité et son développement. Le coût total du lancement et du développement de notre crème hydratante biologique est estimé à 12 250,00 DA. Pour couvrir ces besoins, nous mobiliserons un apport personnel de 2 250,00 DA, tandis qu'une subvention publique d'un montant de 10 000,00 DA viendra compléter le financement. Cette répartition des ressources nous permet de garantir la faisabilité du projet tout en assurant une base financière solide dès le démarrage.

6 ème axe

1. Prototype expérimentale

Le développement d'un prototype expérimental constitue une étape clé dans la validation de notre crème hydratante à base de collagène marin. Cette phase permet d'évaluer l'efficacité, la tolérance cutanée et la performance du produit dans des conditions réelles d'utilisation. La formulation du prototype repose sur un équilibre précis entre la phase aqueuse composée notamment d'eau florale et de gel d'aloë vera pour assurer l'hydratation et la phase huileuse, enrichie en huiles végétales et essentielles, pour nourrir et protéger la peau. Grâce à une série d'essais rigoureux, nous optimisons la stabilité de l'émulsion ainsi que les propriétés

sensorielles et fonctionnelles de la crème. Cette étape expérimentale est essentielle pour garantir que notre produit répond aux exigences de qualité, de sécurité et de naturalité en vue de sa mise sur le marché.