



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : **BELGHECHOUA Mouna**

MARROUKI Linda

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés.

OPTION : Génie des Procédés de l'Environnement.

Thème

**Valorisation des déchets végétaux :
Application environnementale pour
l'élimination d'un colorant toxique par
adsorption**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Prof. Dr. BENALIA Mokhtar	Professeur	Président
Dr. AD Chifaa	MCA	Examinatrice
Prof. Dr. DJEDID Mebrouk	Professeur	Rapporteur
Mme SAADALAH Kelthoum	Doctorante	Co-rapportrice
Dr. BOUDAOU D Asma	MCA	Invité

Promotion : 2024

Dédicaces

*Je remercie le Dieu miséricordieux qui m'a donné le courage et la
volonté de faire ce travail.*

*Je dédie ce travail à mes parents qui ont été la source d'inspiration et de
courage, qui ont
inséré le sens des responsabilités qui ont tous permis que je réussisse
dans mes études,*

*À la personne précieuse qui était mon espoir, au cœur attentionné et à
la bougie qui était ma lumière dans les nuits sombres, ma chère mère.*

À mes sœurs Hanane, Souad ,Rachida, Yamina, Fadwa, et Yassmine

À mes chers amis, Linda M.B, F.O, B.Z je leur souhaite de réussir.

*Pour tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin à rendre ce travail
possible.*

MOUNA

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*La source d'amour, la flamme de mon coeur, ma vie et mon bonheur,
ma mère.*

*Mon support dans ma vie, celui qui s'est sacrifiée pour me voir réussir
et m'a dirigé vers la gloire, mon père.*

*Et aussi mon dévouement envers mes chères sœurs qui m'ont aidée
,Malika ,Houria ,Afaf ,abde Altif ,Maria, Laila et Iline*

Chers amis Mouna ,Halima, I.C,R.N,A.L

Je dédie également ce travail à tout le monde

*Des personnes qui m'ont aidée, encouragée et accompagnée dans ma
vie*

Remerciements

Ce mémoire a été effectuée au laboratoire de recherche de l'Ingénierie des Procédés, Matériaux et Environnement (LIPME) qui est au cours de création, à l'université de Amar Telidji - Laghouat.

Avant tout nous remercions « ALLAH » le tout puissant, de nous avoir ouvert les portes du savoir et qui sans lui ce travail ne serait jamais réalisé.

*En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude envers **Monsieur Pr.Dr DJEDID Mebrouk** en qualité de rapporteur et **Madame SAADALLAH Kelthoum** en qualité de co-rapporteuse, d'avoir fortement enrichi notre formation grâce à leurs conseils, disponibilités et encouragements tout au long de la rédaction de ce mémoire. Leurs suggestions et commentaires nous ont été extrêmement précieux.*

Nous remercions également l'ensemble des membres du jury :

***Monsieur Pr.Dr. BENALIA Mokhtar**, en qualité de président*

***Madame Dr.AD Chifaa** en qualité d'examinatrice,*

***Madame Dr. BOUDAUD Asma**, en qualité Invité*

Pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Plusieurs personnes ont participé à ce thème de recherche et méritent d'être remerciés :

Un grand merci aux ingénieurs du laboratoire LIPME, M^{elle}. CHEBBA Samira et Mr. GUERBAZ Abdelkader, pour leur soutien et leur aide.

Merci à tous les ingénieurs et les techniciens de Laboratoire de Génie des Procédés de l'Université de Laghouat

Merci à tous les enseignants et enseignantes de département de Génie des Procédés, que nous avons côtoyés chaque jour durant nos années d'études.

Enfin un grand merci à tous nos collègues et à toutes les personnes qui ont contribué grandement à l'accomplissement de ce travail

Sommaire

Sommaire

Titre	Page
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

Introduction générale

Introduction générale	01
-----------------------	----

Chapitre I : Généralités sur l'adsorption

I. Généralités sur les colorants	03
I.1.1. Définition d'un colorant	03
I.2.2. Classification des colorants.....	04
I.1.3. Application des Colorant.....	06
I.1.4. Impact des colorants sur l'environnement et la santé.....	06
I.1.5. Méthodes de traitement des eaux polluées par les colorants.....	07
I.2. Généralités sue l'adsorption.....	08
I.2.1. Définition de l'adsorption.....	08
I.2.2. Mécanisme de l'adsorption.....	09
I.2.3. Les type d'adsorption	10
I.2.4. Facteurs d'équilibre d'adsorption.....	11
I.2.5. Modèles mathématiques des isothermes d'adsorption	12
I.2.6. Cinétique d'adsorption	14
I.2.7. Adsorbants.....	15

Chapitre II : Revue bibliographique

II.1. Introduction.....	17
II.2. Analyse bibliographique du Bleu de méthylène en tant qu'adsorbat....	17
II.2. Analyse bibliographique d l'écorce de pin en tant qu'adsorbant.....	19

Sommaire

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Introduction.....	21
III. .2. Appareillage, matériel et réactifs utilisés.....	21
III.2.1. Appareillage.....	21
III.2.2. Matériel utilisé.....	21
III.2.3. Réactifs chimiques utilisés.....	22
III.2.4. Bleu de méthylène.....	22
III.2.5. Préparation des solutions des réactifs.....	23
III .2.6. Préparation de l'adsorbant	24
III.3. Dosage du BM par spectroscopie UV-Visible.....	25
III.3.1. Loi de Beer-Lambert.....	25
III.3.2. Détermination du λ max.....	26
III.3.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage.....	26
III .3.4. Détermination de la concentration résiduelle de l'échantillon.....	26
III.4. Protocole d'essais d'adsorption.....	27
III.4.1. Effet de la masse l'adsorbant.....	27
III.4.2. Effet de pH.....	27
III.4.3. Effet de temps de contact de concentration initiale.....	27
III.4.4. Effet de de concentration.....	28
III.4.5. Effet de température.....	28
III.5. Mesure de la capacité d'adsorption.....	28
III.6. Détermination du rendement d'élimination du colorant.....	28
III.7. Étude isothermique.....	29

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction.....	30
IV.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage du colorant.....	30
IV.3. Optimisation des paramètres.....	31
IV.3.1. Effet de masse.....	31
IV.3.2. Effet de pH.....	32

Sommaire

IV.3.3. Effet de temps	33
IV.3.4. Effet de la concentration.....	34
IV.3.5. Effet de la température.....	34
IV.4. Etude cinétique.....	35
IV.5. Etude isothermique.....	37
IV.6. Analyse comparative	39

Conclusion Générale

Conclusion générale et Perspective	40
--	----

Références bibliographiques

Liste des abréviations

Liste des abréviations

Symbole	Signification
BM	Bleu de méthylène
EPT	l' écorce de pin
UV	traité Ultraviolet
IR	Infrarouge
KJ	Kilo Joule
mg	Milligramme
G	Gramme
L	Litre
ml	Millilitre
cm	Centimètre
mm	Millimètre
nm	Nanomètre
min	Minute
h	Heure
tr/min	Tour par minute
ppm	Partes par million
°C	Degré Celsius
V	Volume de la solution
m	Masse d'adsorbant
C	Concentration
pH	Potentiel d'hydrogène
T°	Température
t	Temps
A	L'absorbance
ϵ	Coefficient spécifique d'absorbance molaire
λ max	Longueur d'onde maximale
Q_{ads}	Capacité d'adsorption
Q_m	Capacité maximale d'adsorption
R(%)	Le taux d'élimination quantité d'adsorbat adsorbée à l'équilibre

Liste des abréviations

K_L	Constante de Langmuir
K_F	Constante de Freundlich
n	Coefficient de Freundlich
C_e	Concentration à l'équilibre de l'adsorbat
PPO	Pseudo premier ordre
PSO	Pseudo second ordre
K₁	Constante de vitesse de premier ordre
K₂	Constante de vitesse de second ordre
R²	Coefficient de régression

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur l'adsorption

Figure N°	Titre	Page
Figure I. 1	Structure chimique des colorants	05
Figure I.2	Les domaines d'application des colorants	06
Figure I .3	phénomène d'adsorption	09
Figure I.4	Description de mécanisme d'adsorption	09
Figure I .5	Comparaison entre l'adsorption chimique et physique Description de mécanisme d'adsorption	10
Figure I.6	Les types d'adsorbants conventionnel et non- conventionnels.	16

Chapitre III : Matériels et méthodes

Figure N°	Titre	Page
Figure III.1	Aspect du bleu de méthylène	23
Figure III.2	Etapes de préparation de l'adsorbant EPT	25

Chapitre IV : Résultats et discussion

Figure N°	Titre	Page
Figure IV.1	Courbe d'étalonnage du BM à $\lambda_{\max} = 664 \text{ nm}$	30
Figure IV.2	Effet de la masse d'adsorbant EPT sur l'absorption du BM	31
Figure IV.3	Effet de PH d'adsorbant EPT sur l'absorption du BM	

Liste des figures

Figure IV.4	Influence du temps de contact d'adsorbant EPT sur l'adsorption du BM	32
Figure IV.5	Effet de la concentration d'adsorbant EPT sur l'adsorption du BM	33
Figure IV.6	Effet de la température d'adsorbant EPT sur l'adsorption du BM	34
Figure IV.7	Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo premier -ordre pour l'adsorption du EPT sur BM	35
Figure IV.8	Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo second- ordre pour l'adsorption du EPT sur BM	36
Figure IV.9	Application du modèle linéaire de Langmuir sur l'isotherme d'adsorption du BM sur EPT	38
Figure IV.10	Application du modèle linéaire de Freundlich sur l'isotherme d'adsorption du BM sur EPT	38

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

Chapitre I : Généralités sur l'adsorption

Tableau N°	Titre	Page
Tableau II.1	les types de méthodes de traitement des eaux colorées	08
Tableau II.2	différences entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique	11

Chapitre III : Matériels et méthodes

Tableau N°	Titre	Page
Tableau III.1	Caractéristiques des réactifs utilisés	22
Tableau III.2	Principales caractéristiques physico-chimiques du BM	23

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau N°	Titre	Page
Tableau IV.1	Résultats d'applications du modèle cinétique du pseudo premier ordre et pseudo second ordre pour l'adsorption du EPT sur BM	37
Tableau IV.2	Constantes relatives aux modèles de Langmuir et Freundlich pour l'adsorption du EPT sur BM	37
Tableau IV.3	Etude comparative de l'adsorption de BM sur différents adsorbants	39

Introduction générale

Introduction générale

L'eau représente la source de la vie et constitue un élément vital pour parvenir au développement durable. En tant que ressource naturelle essentielle, elle est indispensable à la survie de l'humanité ainsi que de tous les êtres vivants, des plantes et à l'environnement dans son ensemble, tous ayant besoin d'un approvisionnement adéquat en eau de qualité. Cependant, les activités humaines rejettent souvent des substances polluantes dans les écosystèmes naturels, contribuant ainsi à leur contamination. Par exemple, les colorants synthétiques utilisés dans l'industrie textile sont souvent déversés directement dans les cours d'eaux sans traitement préalable, engendrant ainsi des effluents liquides plus ou moins pollués. Cette pollution peut avoir des répercussions graves, tant à court qu'à long terme, sur la santé humaine et sur l'environnement dans son ensemble.

Les polluants, tels que les colorants, sont largement répandus dans diverses industries, notamment l'industrie chimique, l'automobile, l'alimentation, la fabrication des tapis, le caoutchouc, les cosmétiques et surtout le secteur textile. Une fois dissous, ces colorants sont difficiles à éliminer, ce qui complique leur traitement et les rend persistants dans l'environnement. Leur décomposition biologique est également ardue, ce qui accentue les défis liés à leur élimination [1].

Ces sécrétions polluées engendrent non seulement des problèmes esthétiques, mais également des préoccupations pour la santé humaine, la faune et la flore, autrement dit l'équilibre écologique.

Face à cette menace environnementale majeure, diverses techniques et méthodes de traitement chimiques, physiques et biologiques ont été développées, notamment la flottation, la sédimentation, l'échange d'ions, l'adsorption et la filtration sur membrane. De nombreuses recherches sont menées sur les méthodes de décontamination de l'eau parmi eux l'adsorption.

Parmi ces méthodes, l'adsorption s'est avérée être la plus adaptée et efficace. Cette technique offre une approche détaillée, hautement efficace et facilement applicable pour l'élimination des colorants. De plus, grâce à son faible coût, il est envisageable de réutiliser le matériau adsorbant [2].

L'objectif principal de ce travail de recherche est d'examiner l'adsorption du bleu de méthylène par l'écorce de pin traité en tant que matériau adsorbant. Cette étude est structurée en quatre chapitres :

Introduction générale

- **Le premier chapitre** offre un aperçu général sur les colorants, couvrant leurs divers types, applications, ainsi que leur impact sur l'environnement et la santé. Il explore également les méthodes de traitement de l'eau impliquant l'utilisation de colorants, en mettant particulièrement l'accent sur l'adsorption, ses types, les facteurs influant sur le phénomène, ainsi que les modèles couramment utilisés pour le décrire.
- **Le deuxième chapitre** est dédié à la présentation de plusieurs études antérieures sur l'adsorption des colorants par des matériaux biosorbants. Cela inclut les recherches examinant spécifiquement l'adsorption du bleu de méthylène en tant que colorant, ainsi que les études évaluant l'efficacité des écorces de pin comme adsorbant pour d'autres polluants.
- **Le troisième chapitre** est consacré à parler des outils utilisés, des matériaux et réactifs utilisés, ainsi que des protocoles expérimentaux utilisés pour réaliser notre étude, des différentes méthodes d'analyse, du protocole expérimental et des facteurs affectant le phénomène d'adsorption.
- **Le quatrième chapitre** est consacré à la discussion des résultats obtenus.

En conclusion, une synthèse générale des résultats les plus significatifs de notre recherche sera proposée ainsi que les perspectives de développements futurs et les recommandations pour des recherches ultérieures.

Chapitre I

Généralités sur les colorants et l'adsorption

Dans ce chapitre, nous avons d'abord donné un aperçu général de l'origine des couleurs, de la classification des colorants, de leur utilisation et de leur impact sur l'environnement. Dans la deuxième partie, nous avons étudié le procédé d'adsorption, ses différents types, les caractéristiques de chacun, les facteurs influençant l'adsorption ainsi que les isothermes d'adsorption.

I.1. Généralités sur les colorants

Les colorants dérivent généralement de cinq matériaux de base, notamment le benzène, le toluène, le xylène, le naphthalène et l'anthracène, tous initialement extraits de la houille. Depuis l'aube de l'humanité, les colorants ont été largement utilisés dans divers aspects de la vie quotidienne, tels que la coloration du papier, de la peau et des vêtements. Jusqu'au milieu du XIXe siècle, les teintures employées étaient principalement d'origine naturelle, incluant des pigments inorganiques comme l'oxyde de manganèse et l'hématite, ainsi que des colorants organiques naturels, particulièrement dans l'industrie textile [3].

Cependant, avec la découverte de la structure moléculaire du benzène par Kekulé en 1865, de nouveaux colorants synthétiques ont commencé à émerger sur le marché. Cette avancée a conduit, au début du XXe siècle, à une quasi-suppression des colorants naturels au profit des synthétiques. Un colorant doit posséder, outre sa propre couleur, la propriété de teindre. Cette capacité, résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre, est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors des traitements. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critères afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils sont appliqués, tels que la résistance à l'abrasion, la stabilité photolytique des couleurs face à l'oxydation chimique (notamment avec les détergents) et aux attaques microbiennes [4].

I.1.1. Définition d'un colorant

Un colorant est toute substance, colorée ou non, qui, mise en contact de façon appropriée avec un support, lui confère une nouvelle propriété : la couleur. Les matières colorantes se distinguent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière

colorée, par réflexion sur un corps ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores [5].

I.1.2. Classification des colorants

Il existe différents types de colorant qui peuvent être classés selon plusieurs critères: leur utilisation (colorant réactif, dispersé, mordant, etc.), leur appartenance à un groupe chimique (azoïque, anthraquinonique, etc.) ou encore leurs propriétés, telles que la nuance des couleurs.

a-Classification chimique

La classification des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupe chromophore, comme illustré en (Figure I.1), on distingue [6] :

a-1-Les colorants azoïques: Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque ($-N=N-$) reliant deux groupements alkyles ou aryles identiques ou non. Suivant le nombre de chromophores azoïques rencontrés dans la molécule, on distingue les mono-azoïques, les diazoïques et les poly azoïques.

a-2-Colorants anthraquinoniques: L'anthraquinonique est un dérivé de l'anthracène. Il existe à l'état naturel dans certaines plantes. La molécule de base de ce groupe de colorants est l'anthraquinone qui présente le groupe chromophore carbonyle ($>C=O$) sur un noyau qu'ionique.

a-3-Colorants indigoïdes: Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo. Ainsi, les homologues sélénisés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise.

a-4-Colorants xanthènes: Les xanthènes sont des composés organiques tricycliques . Ils sont constitués d'un cycle de pyrane encadré par deux cycles de benzène. Ces colorants sont dotés d'une intense fluorescence.

a-5-Colorants triphénylméthanés: Les triphénylméthanés sont des dérivés du méthane, pour lesquels les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles, liés à un carbone central. Le triphénylméthane et ses homologues constituent les hydrocarbures fondamentaux d'où dérivent toute une série de matières colorantes.

a-6-Phtalocyanines Les phtalocyanines: ont une structure complexe possédant un atome central métallique. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique.

a-7-Colorants nitrés et nitrosés : Les colorants nitrés et nitrosés possèdent une structure simple caractérisée par la présence d'un groupement nitro (-NO₂) en position ortho par rapport à un groupement électrodonneur.

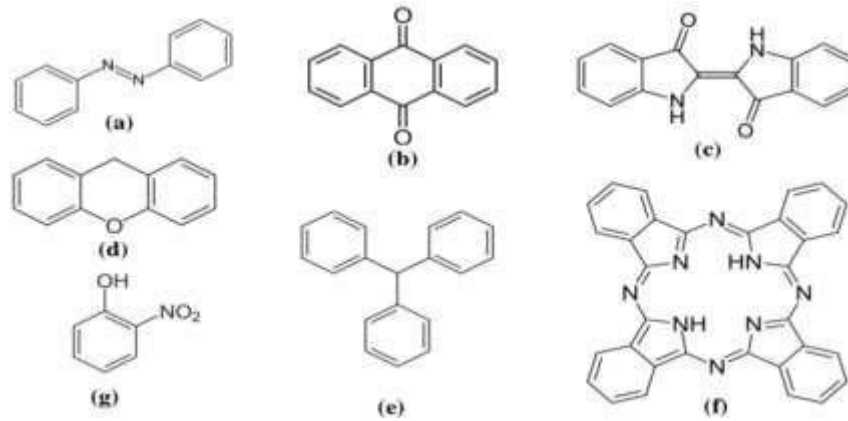


Figure I.1. Structure chimique des colorants : (a) azoïques, (b) anthraquinones, (c) indigoïdes, (d) xanthènes, (e) triphénylméthanes, (f) phtalocyanines, (g) nitrosés [7].

b-Classification tinctoriale

Ce type de classification nous renseigne sur le domaine d'application des colorants. Il s'intéresse essentiellement à la solubilité des colorants dans le bain de teinture et de son affinité pour les différentes fibres textiles et sur la nature de fixation. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes [8].

b-1-Colorants basiques ou cationiques:

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. Ils sont utilisés pour la teinture des fibres à groupement acide telles que les fibres synthétiques acryliques. La plupart des colorants basiques sont triphénylméthanes, anthraquinoniques ou azoïques [8].

b-2-Colorants acides ou anioniques: Les colorants acides ou anioniques sont très solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonate ou carboxylate. Ils appartiennent aux deux plus grandes classes chimiques de colorants : azoïques et anthraquinoniques. Ils teignent la laine et la soie à 100°C à partir de solutions acides en donnant des colorations vives et solides. Ces colorants présentent une bonne affinité pour certains textiles synthétiques, comme les polyamides [8].

I.1.3. Application des Colorants

Les colorants ont de nombreuses applications dans différents domaines, en voici quelques-unes [9] :

- Teinture et impression de diverses fibres et tissus.
- Teinture au bain de filage de fibres chimiques.
- Teinture du cuir et de la fourrure.
- Teinture du papier et du parchemin.
- Teinture du caoutchouc, des feuilles et des matières plastiques.
- Teintures adaptées à toutes les techniques de peinture.
- Préparation de grise chaux pour la pré-coloration et l'enduit des bâtiments.
- Colorants pour l'impression de papiers peints.
- Préparation de l'encre.
- Colorant alimentaire.
- Colorants à usage médicinal et cosmétique.

Les images suivantes (figure I.2) illustrent l'utilisation des nombreux colorants dans différents domaines.



Figure I.2: Les domaines d'application des colorants.

I.1.4. Impact des colorants sur l'environnement et la santé

L'utilisation des colorants peut présenter des risques pour l'environnement ainsi que pour la santé humaine.

a-L'environnement**a-1-Eutrophisation :**

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux, lorsqu'ils sont introduits en quantité excessive, peuvent devenir toxiques pour la biodiversité aquatique et altérer la qualité de l'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur propagation sans contrôle et conduit à un appauvrissement en oxygène. Ce phénomène, résultant de l'inhibition de la photosynthèse, affecte principalement les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes [10].

a-2-Couleur, turbidité, odeur :

L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, de proliférations bactériennes, d'odeurs pestilentielles et de colorations anormales. Il a été évalué qu'une coloration peut être perçue par l'œil humain à partir de $5 \cdot 10^{-6}$ g/L. Au-delà de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques [10].

b-La santé

Les colorants présentent des risques potentiels pour la santé humaine, notamment en agissant comme mutagènes et génotoxiques. Leur utilisation a été associée à des effets néfastes tels que le développement de cancers de la thyroïde et de tumeurs des glandes surrénales. De plus, certains colorants contiennent des substances cancérigènes et peuvent perturber le fonctionnement du système nerveux central, entraînant une inhibition ou un déficit de certaines enzymes, ainsi qu'une augmentation de la perméabilité intestinale [11].

I.1.5. Méthodes de traitement des eaux polluées par les colorants

La contamination de l'eau par des colorants représente un risque physique pour l'être humain, tous les organismes vivants et l'environnement. Pour répondre à ce défi, plusieurs méthodes de traitement de l'eau sont utilisées afin de réduire cette forme de pollution, incluant des approches biologiques, physiques et chimiques [12].

Le tableau I.1 illustre les différents types de méthodes de traitement des eaux colorées

Tableau I.1: Les méthodes de traitement des eaux colorées [12].

Type	Définition	Exemple
Traitements Physiques	consistent à stabiliser les polluants ou à fournir de l'énergie électriquement, mécaniquement ou thermiquement	Echange d'ions, Séparation membranaire, coagulation-floculation, et l'adsorption,
Traitements chimiques	Réactif permettant de décomposer la pollution et de l'extraire	L'oxydation, la réduction ou le lavage avec des solvants ou des tensioactifs
Traitements biologiques	Réduisent la dégradation des colorants par les micro-organismes	Les sucres, les lipides, les protéines, Enzymes, et bactérie.

Parmi tous les procédés disponibles, la technologie d'adsorption est considérée comme l'une des technologies les plus efficaces et éprouvées, ayant des applications potentielles aussi bien dans le traitement de l'eau que des eaux usées, ce qui justifie le choix de cette méthode pour notre étude.

I.2. Généralités sur l'adsorption

I.2.1. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un phénomène physico-chimique principalement caractérisé par une modification de la concentration à l'interface de deux phases non miscibles. C'est un phénomène de surface où les molécules se fixent sur la surface d'un solide. Ce processus peut se produire entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide. La fixation des molécules sur le solide résulte de l'établissement de liaisons de Van der Waals et de liaisons électrostatiques de faible intensité, avec des énergies d'interaction variant entre 5 et 40 kJ/mol. Bien que chaque solide possède un potentiel adsorbant, son efficacité peut être renforcée par l'utilisation de matériaux à haute porosité [13, 14]. La figure I.3 illustre le phénomène d'adsorption.

I.2.3. Les types d'adsorption

En fonction des types et de la nature des interactions entre l'adsorbant et l'adsorbat, les forces responsables du phénomène d'adsorption peuvent être classées comme étant de nature physique ou chimique. Cela permet de distinguer deux types d'adsorption : l'adsorption physique et l'adsorption chimique [16]. Le tableau I.2 et la figure I.5 présentent les différences entre ces deux types d'adsorption.

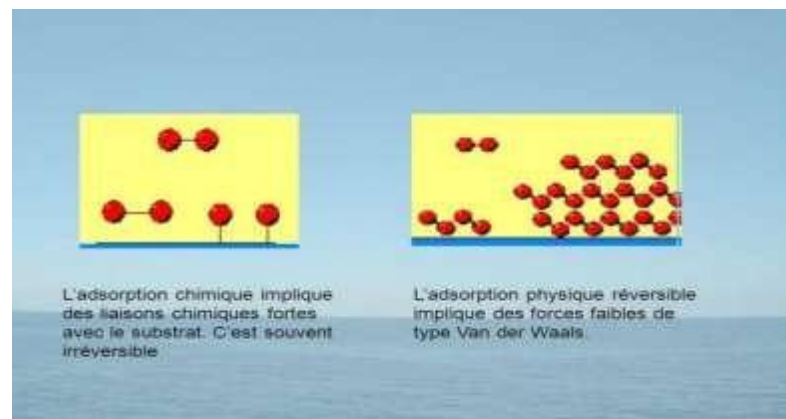


Figure I.5: Comparaison entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique [16]

Tableau I.2: Différences entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique [16]

	Adsorption chimique	Adsorption physique
Nature des interactions	Liaisons fortes, Grande affinité adsorbant / Adsorbant forces ioniques	Liaisons faibles forces de Van der Waals
Quantité Adsorbée	Déterminée par le nombre de sites de la surface (monocouche au maximum)	Possibilité de superposition de plusieurs couches d'atomes adsorbés (multicouche)
Caractère de la Surface	Hétérogène: les sites ne sont pas équivalents de point de vue énergétique	Plus ou moins homogène
Caractéristique du phénomène	Spécifique	Non spécifique
Chaleur d'adsorption	40-300 kJ/mol	20-40 kJ/mol
Vitesse d'adsorption	Parfois lente à cause de la grande barrière d'énergie d'activation	Rapide sauf s'il y a diffusion dans les micropores
Réversibilité du phénomène	Irréversible	Réversible
Mobilité des espèces adsorbées	Limitées	Très grande

I.2.4. Facteurs d'équilibre d'adsorption

L'équilibre d'adsorption entre un adsorbant et un adsorbant, dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont décrits ci-après [17]:

a. Surface spécifique : La dépendance de la cinétique d'adsorption à la dimension de la surface externe des particules est fondamentale pour l'utilisation d'un adsorbant, cette surface spécifique externe ne représente pourtant qu'une portion d'une minime de la surface disponible d'adsorption

b. Porosité: La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux.

c. Nature de l'adsorbat: D'après la règle de Lewis : « moins une substance est soluble dans le solvant, mieux elle est adsorbée ».

d. Polarité: Un soluté polaire aura plus d'affinité pour le solvant le plus polaire. L'adsorption préférentielle des composés organiques à solubilité limitée en solution aqueuse (hydrocarbure, dérivés chlorés, phénol, autres dérivés benzénique), est importante avec les adsorbants hydrophobes (charbon actif, polymères poreux). Elle est par contre insignifiante avec les adsorbants polaires très hydrophiles (gel de silice, alumine)

e. Température: L'adsorption peut être un phénomène endothermique ou exothermique, selon le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées, ce qui définit la nature de l'adsorption. De nombreuses valeurs d'enthalpie d'adsorption sont présentées dans la littérature, témoignant de la variabilité des processus thermodynamiques.

f. pH: Le pH de la solution joue un rôle important sur la cinétique d'adsorption. Généralement les composés acides s'adsorbent à faible pH et les composés basiques à un pH plus élevé.

I.2.5. Modèles mathématiques des isothermes d'adsorption

Le choix du modèle est crucial pour mieux comprendre les résultats obtenus. Plusieurs lois ont été proposées pour étudier l'adsorption, qui exprime une relation entre la quantité adsorbée et la concentration de soluté dans le solvant à une température donnée. Nous mentionnerons ci-dessous les principales lois utilisées.

a-Modèle de Langmuir

Le modèle de Langmuir est largement utilisé pour interpréter les résultats observés lors de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse, nous présenterons ci-dessous ses principales caractéristique [18]. A une température constante, la quantité adsorbée q_e est liée à la capacité maximale d'adsorption q_m à la concentration à l'équilibre C_e du soluté et à la constante d'affinité K_L , par l'équation :

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (I.1)$$

La transformée linéaire de ce modèle a pour équation :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L} \times \frac{1}{C_e} \quad (\text{I.2})$$

avec :

- q_e : quantité d'adsorbat adsorbée à l'équilibre par un gramme d'adsorbant (mg/g);
- q_m : quantité d'adsorbat nécessaire pour couvrir la première couche de l'adsorbant (mg/g);
- K_L : constante d'équilibre caractéristique de l'adsorbant, dépendant de la température et des conditions expérimentales (l/mg);
- C_e : concentration de l'adsorbant dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l)

En traçant $1/q_e$ en fonction de $1/C_e$ on obtient une droite de pente $1/K_L \cdot q_m$ et l'ordonnée à l'origine $1/q_m$, cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de q_m et K_L .

Parmi les caractéristiques de l'isotherme de Langmuir, on peut citer : sa simplicité et la signification physique des paramètres. La valeur de K_L est liée à la force d'interaction entre la molécule adsorbée et la surface du solide, tandis que la valeur de q_m exprime la quantité de soluté fixée par gramme de solide dont la surface est considérée comme totalement recouverte par une couche mono moléculaire.

Cette simplicité découle des hypothèses restrictives sous-jacentes à ce modèle: l'équivalence de tous les sites d'adsorption et dépendance de l'énergie d'adsorption par rapport au taux de couverture de la surface, Ce qui se traduit par l'absence des interactions entre des espèces adsorbées et adjacents sur la surface.

b-Modèle Freundlich

Il s'agit d'une équation empirique largement utilisée pour modéliser l'équilibre d'adsorption dans des conditions pratiques. Bien qu'elle ne soit pas fondée sur une base théorique. L'expérience montre qu'elle décrit efficacement les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles. Elle est formulée comme suit [19] :

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (\text{I.3})$$

Avec :

- q_e : la quantité d'adsorbat adsorbée par masse d'unité d'adsorbant ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) ;
- K_f : Constante de Freundlich qui est un paramètre lié à la capacité d'adsorption maximale ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})^{-n}$) ;

- C_e : la concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre (mg.L^{-1});
- n : est un paramètre lié au coefficient de variation des énergies d'interactions avec le taux de recouvrement

La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique:

$$\ln q_e = \ln k + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{I.4})$$

En traçant $\ln q_e$ en fonction de $\ln C_e$, on obtient une droite de pente $1/n$ et l'ordonnée à l'origine $\ln K$.

1.2.6. Cinétique d'adsorption

L'étude cinétique des processus d'adsorption donne des informations sur le mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide. La littérature rapporte plusieurs modèles cinétiques nous présentons ci-dessous les modèles les plus utilisés pour l'adsorption de solutés en solution liquides.

a-Modèle du pseudo-premier ordre

Il a été décrit par Lagergren [20] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (\text{I.5})$$

Où

q_t : quantité adsorbée de l'adsorbat par un gramme de solide à temps t (mg/g) ;

K_1 : constante de vitesse du modèle cinétique du pseudo-premier ordre (min^{-1}).

L'intégration de l'équation (I.5) pour les conditions aux limites $t=0$ à t et de 0 à q_t donne

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (\text{I.6})$$

b-Modèle du pseudo-second ordre

L'expression du mécanisme du pseudo-second ordre est également très souvent utilisée

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (\text{I.7})$$

Où : K_2 est la constante de vitesse du modèle cinétique du pseudo-second ordre (g/mg.min).

L'intégration et des réarrangements de l'équation (I.7) conduit à :

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{K_2 \cdot qe^2} + \frac{t}{q} \quad (I.8)$$

Si cette équation est vérifiée, en traçant / en fonction de t, nous devons obtenir une droite

de pente $\frac{1}{q}$ et l'ordonnée à l'origine égale à $\frac{1}{K_2 \cdot qe^2}$ [20].

I.2.7. Adsorbants

Les adsorbants sont des solides microporeux ou macroporeux, caractérisés par leurs propriétés extérieures telles que leur surface spécifique et leur porosité [21]. Une surface spécifique importante est préférable pour avoir une grande capacité d'adsorption. La taille des pores détermine l'accessibilité des molécules adsorbées à la surface interne d'adsorbant, il est donc possible de caractériser les adsorbants par la distribution de la taille des pores, et donc de choisir tel ou tel adsorbant pour une séparation particulière [22].

a-Les types adsorbants

Les différents types d'adsorbants, classés selon leur nature, sont illustrés dans l'organigramme de la figure I.6.



Figure I.6: les types d'adsorbants conventionnel et non- conventionnels.

b-La propriété d'adsorbants

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée nécessaire pour saturer tous les pores ouverts de gramme de ce solide. Un pore ouvert est un pore dont l'accès se situe à la surface du grain, il est donc accessible au fluide. Ce volume poreux, en cm^3g^{-1} , est donc uniquement caractéristique de la porosité ouverte. Selon la classification I.U.P.A.C. (Union internationale de chimie pure et appliquée), les tailles de pores sont réparties en 3 groupes:

- les micropores de diamètre inférieur à 2 nm.
- mésopores de diamètre compris entre 2 et 50 nm.
- macropores de diamètre supérieur à 50 nm [23].

Chapitre II.

Revue bibliographique

II.1. Introduction

La couleur est souvent considérée comme un polluant visible, et même de très petites quantités de substances colorantes est indésirable en raison de leur apparence. Actuellement, les processus d'adsorption se sont révélés efficaces pour éliminer les colorants des eaux usées. Le charbon active est l'adsorbant le plus couramment utilisé et s'est avéré efficace dans l'élimination de divers polluants des eaux usées. Cependant, les processus d'utilisation du charbon actif sont coûteux en raison du prix élevé du matériau [24]. Cela a incité plusieurs chercheurs à explorer et à produire des adsorbants alternatifs des charbons actifs à partir de résidus agricoles pour leur disponibilité et leur faible coût.

II.2. Analyse bibliographique du Bleu de méthylène en tant qu'adsorbat

Le Bleu méthylène (BM), est un dérivé de phénothiazine, de nature cationique, il existe sous forme de poudre vert foncé, à divers états d'hydratation : monohydraté, dihydraté, trihydraté et pentahydraté, le trihydraté étant le plus courant. Il est couramment utilisé comme modèle de contaminant organique en raison de sa structure moléculaire stable et de ses effets néfastes sur la santé humaine ainsi que sur tous les organismes vivants présents dans les cours d'eaux. Par conséquent, il est crucial de réduire, voire d'éliminer ces pigments avant leur déversement dans la nature [25].

MC Holiday et al. (2024): ont mené une série d'expériences sur l'adsorption du colorant bleu de méthylène sur des pois verts en tant qu'absorbant. Ils ont constaté que l'isotherme de Freundlich est l'isotherme optimale pour le système bleu de méthylène sur pois verts dans des conditions d'équilibre. La capacité d'adsorption théorique maximale est de 167 mg/g à basse température. Le modèle cinétique du pseudo-second ordre est l'un des modèles les mieux adaptés à l'adsorption du colorant étudié sur les pois verts [26].

M Aaddouz et al. (2023): L'adsorption du bleu de méthylène à partir d'une solution aqueuse a été étudiée en utilisant l'hydroxyapatite comme biosorbant, avec différents paramètres tels que la température, le temps de contact, la concentration et le pH. Au cours d'expériences par lots, une efficacité d'élimination de 88,88 % a été observée à une température de 25 °C et une concentration initiale de 45 mg/L. Le pH basique et un temps d'équilibrage de 20 min sont optimaux pour l'élimination des colorants.

L'isotherme de Freundlich a été choisie comme le modèle le plus approprié pour décrire ce phénomène. Le modèle cinétique du pseudo-second ordre est l'un des modèles d'adsorption de colorant les plus appropriés qui ont été étudiés [27].

Rahmaiana Zein et al. (2022) : Il existe une série d'expériences sur l'adsorption du bleu de méthylène en utilisant des feuilles de citron comme adsorbants. L'optimum est un pH 9, une concentration de 600 mg/L, une température de contact ambiante de 45 min, une température de désorption de 25 °C et des isothermes ultérieurs par la lumière et Langmuir. Les données cinématographiques indiquent le modèle du pseudo système et les études dynamiques montrent qu'il est exothermique et augmente la capacité d'adsorption du méthyle de 43,1556 mg g⁻¹ à 122,1211 mg g⁻¹ et ainsi de suite. Il donne la capacité de bio sorption et le modèle cinétique du pseudo-second ordre est le meilleur [28].

E Alvear et al. (2020): Ils ont étudié l'élimination du bleu de méthylène des solutions aqueuses en utilisant de la balle de riz dans différentes conditions et ont obtenu la capacité d'adsorption expérimentale maximale pour les billes bio composites de 240 mg/g. Ils ont également constaté que le pH n'avait aucun effet significatif sur l'efficacité de l'élimination du colorant. La température et la force ionique ont entraîné une diminution. Le processus d'élimination a ensuite été appliqué à des modèles isothermes pour déterminer le mécanisme d'adsorption. Ils ont constaté que le modèle isotherme de Freundlich et pseudo-second ordre était le plus cohérent avec les données expérimentales [29].

RH Kahului et al. (2019): proposé une méthode pour éliminer le bleu de méthylène (BM) des solutions aqueuses produisant du charbon actif à partir de coques de noix de coco. En conséquence, le charbon actif (CAP) a une capacité d'adsorption élevée du CAC, avec une absorption du bleu de méthylène de 99,42 et 98,64 %, respectivement. à pH 8. La température d'adsorption du bleu de méthylène sur CAP et CAC a tendance à suivre le modèle de température de Freundlich, et le modèle cinétique de pseudo-second ordre [30].

II.3. Analyse bibliographique de l'écorce de pin en tant qu'adsorbant

Ces dernières années, des recherches ont été intensifiées pour identifier des sorbants moins coûteux utilisables dans l'élimination des colorants des eaux usées, en explorant l'utilisation de divers sorbants existants tels que le charbon actif, les biosorbants ou le biochar. Parmi les matériaux biosorbants étudiés, l'écorce de pin se distingue particulièrement. C'est sur ce matériau que notre étude va se concentrer, en raison de ses propriétés prometteuses comme adsorbant.

K.Litefi et al. (2024): L'écorce de pin (*Pinus pinus*) a été utilisée pour la fabrication de facettes. Élimination du bleu de méthylène et du vert de malachite des systèmes aqueux. Par adsorption, différents effets ont été étudiés à différentes températures, pH et concentrations. Des isothermes suivant le modèle de Langmuir ont été obtenues. L'élimination maximale du colorant étudié BM par l'écorce de pin à pH 4 était de 70 % en moins d'une heure, et l'adsorption a été mieux décrite par le modèle de Langmuir avec une capacité d'adsorption élevée de 50,0 mg.g⁻¹ de bleu double à 40°C, et l'adsorption suivait le modèle cinétique du pseudo- second ordre [31].

CH Pimentel et al. (2023): Dans ce travail, la possibilité d'utiliser de la sciure de pin pour éliminer les colorants bleus, rouges et noirs des solutions aqueuses a été étudiée. Des expériences d'adsorption ont été menées sur l'effet de paramètres tels que le temps de contact, la vitesse d'agitation, le dosage d'adsorbant, le pH et la température, Il a été constaté que les conditions étaient optimales à un pH de 2 et que la dose d'adsorbant était de 6 gL⁻¹. Le pourcentage d'adsorption le plus élevé était de 5 mg L⁻¹, 100 % pour le bleu, 99,7 % pour le noir et 92,4 % pour le rouge. Pour 300 mgL⁻¹, l'efficacité d'adsorption a diminué à 58,6, 57,0 et 63,8 % pour le bleu, le noir et le rouge, respectivement. Des études cinétiques ont montré le meilleur modèle de pseudo-second ordre, cette étude a montré qu'il est possible de réutiliser le bois de pin dans au moins dans quatre cycles d'adsorption [32].

MO Omorogie et al. (2020): L'écorce de *Pinus sylvestris* a été utilisée pour éliminer la tétracycline et le rouge Congo des solutions aqueuses, et les résultats montrent que les données expérimentales représentent le meilleur modèle cinétique était le pseudo-second ordre et le modèle de Langmuir pour l'étude isothermique indiquant que l'adsorption se fait en monocouche. La capacité d'adsorption était de 148,253 mg.g⁻¹ et 127,221 mg.g⁻¹ à température 328 K [33].

Khaoula Litefti et al. (2019): Élimination de l'écorce de pin des eaux usées polluée du Rouge Congo CR a été étudiées , l'étude paramétrique du phénomène d'adsorption de la concentration , masse, temps de contact , température et le pH ont été étudiés. La capacité d'absorption variait entre 0,3 et 1,6 mg.g⁻¹, et le taux d'adsorption variait entre 23,4 et 100%, en fonction de la dose de l'adsorbant, de son pH et de sa température. Le meilleur modèle était le modèle cinétique de pseudo-second ordre. L'adsorption est mieux décrite par le modèle de Freundlich, l'étude thermodynamique indique que le processus est exothermique [34].

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. Introduction

Le but de cette étude consiste à évaluer l'efficacité d'un adsorbant traité à base d'écorce de pin dans le processus d'adsorption appliqué au traitement des eaux polluées par des colorants notamment la bleu méthylène, un colorant synthétique répandu. Ce chapitre offre un aperçu détaillé des essais d'adsorption expérimentaux entrepris pour évaluer la capacité d'adsorption du bleu de méthylène par l'écorce de pin traité. Ces expériences prennent en considération une gamme variée de paramètres opérationnels, incluant la masse d'adsorbant, le pH de la Solution, le temps de contact, la concentration initiale, ainsi que la température. Il convient de noter que cette recherche a été menée au sein du Laboratoire de Recherche en Génie des Procédés et du Laboratoire Du département de génie des procédés, Université de Laghouat.

III.2. Appareillage, matériel et réactifs utilisés

III.2.1. Appareillage

- Balance analytique de précision modèle Pionner Ohaus ;
- Bain marie à agitation Nüve ST30;
- Le pH-mètre (InoLab D-82362);
- Spectrophotomètre UV-visible (SECOMAM UVILINE 9400);
- Etuve (Geometra CH-5036);

III.2.2. Matériel utilisé

- Eprouvette graduée, capacité de 10, 50 mL;
- Fioles jaugées, capacité de 100,500 ml et 1000 ml;
- Bêchers, de 250 ml;
- Tube à essai de 5 ml ;
- Les barreaux magnétiques ;
- Les cuves;
- Entonnoir;
- Spatule;
- Verre de montre;
- Papier filtre;
- Micropipette de volume de variable;

III.2.3. Réactifs chimiques utilisés :

Les réactifs chimiques utilisés dans cette étude et leurs propriétés sont regroupés dans le Tableau III.1.

Tableau III.1 : Caractéristiques des réactifs utilisés

Réactif chimique	Formule chimique	Masse molaire g/mol	Densité	Pureté	Etat physique
Hydroxy de sodium	NaOH	40	—	98%	Solide cristalline
Acide sulfurique	H ₂ SO ₄	98,08	1,84	95%	Liquide
Chlorure de sodium	NaCl	58,44	2,16	99,9%	Poudre
Bleu méthylène	C ₁₆ H ₁₈ N ₃ SCI	320	—	—	Poudre

Dans notre étude, le colorant Bleu méthylène, désigné sous l'acronyme BM, a été sélectionné comme polluant et agissant en tant qu'adsorbat.

III.2.4. Bleu de méthylène

Le bleu de méthylène (BM) est un colorant cationique basique dérivé de la phénothiazine (figure III.1), il joue un rôle prépondérant dans divers domaines, tels que la biologie où il est utilisé comme agent antimicrobien et photodynamique, ainsi que dans les piles solaires en tant que photo sensibilisatrice. Il est également employé dans la photo catalyse et principalement dans les industries textiles. Cependant, il est important de noter que généralement environ 10 à 15 % des colorants utilisés sont perdus dans les colorants basiques comme le BM sont rapportés pour causer la dermatite, l'irritation de peau et le cancer. En cas d'inhalation, il peut provoquer la respiration rapide ou difficile à court terme, tandis que l'ingestion par la bouche produit une sensation brûlante et peut causer la nausée, les vomissements et la confusion mentale. Par conséquent, le BM pose des effets nocifs sur les écosystèmes aquatiques et sa disposition de l'eau est ainsi essentielle [35]. Les principales caractéristiques physico-chimiques du bleu de méthylène, sont présentées dans le Tableau III.2 [35].

Tableau III.2: Principales caractéristiques physico-chimiques du BM [35]

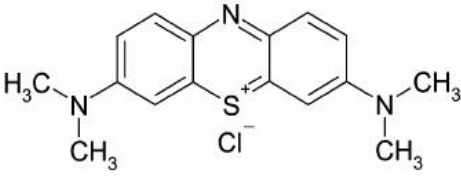
Nom	Bleu de méthylène (BM)
Famille	Colorants Basiques
Formule brute	$C_{16}H_{18}N_3SCl$
Appellation chimique	3,7-bis-(diméthylamino) phenazathionium
Masse molaire (g/mol)	320 g mol ⁻¹
Dimensions (A°)	15 (diamètre)
λ max	664 nm
Nature	Cationique
T°fusion	180 °C
Structure chimique	



Figure III.1 : Aspect du bleu de méthylène.

III.2.5. Préparation des solutions des réactifs

- Préparation de NaOH (0,1 M) :

Pour préparer la solution de NaOH (0,1 M), on pèse 0,4 g de NaOH ($m = 39,99$ g/mol, $p=98$ %). On dissout cette quantité dans de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 100

ml et on ajoute de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Cette solution est utilisée pour ajuster le pH.

- **Préparation de H₂SO₄(0,1 M):**

Pour préparer une solution de H₂SO₄ de (0,1 M), on prend 0,30 ml de H₂SO₄ (M=98,08 g/mol, P = 95 %, d = 1,84), On dissout cette quantité dans de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 100 ml et on ajoute l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Cette solution est employée aussi pour ajuster le pH.

- **Préparation de la solution mère de colorant:**

Nous avons préparé la solution mère de bleu méthylène, d' une concentration de 1g/L, en pesant 1 g de poudre avec une balance électrique à précision. Cette quantité a été ajoutée à une fiole jaugée en verre d' une capacité de 1 000 ml, suivie de l'ajout d'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Ensuite, la fiole a été recouverte d'aluminium pour évitera dégradation due à la lumière lors des prochaines expériences.

- **Préparer la solution fille**

À partir de la solution mère, nous avons préparé plusieurs solutions de concentrations différentes (15, 30, 50, 100, 150ppm). Pour obtenir une solution diluée conformément à la loi de dilution suivante :

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad \text{(III.1)}$$

C₁ : concentration de la solution mère (mol/l) ;

C₂ : concentration de la solution fille ;

V₁ : volume de la solution mère à prélever ;

V₂ : volume de la solution fille.

III.2.6. Préparation de l'adsorbant

Dans cette étude, l'écorce de pin récoltée à Laghouat, en Algérie, a été utilisée comme adsorbant.

- **La première étape :** implique le lavage des écorces de pin récoltées avec de l'eau du robinet, suivi d'un rinçage à l'eau distillée pour éliminer les impuretés telles que le sable et la poussière. Après le lavage, les échantillons ont été séchés à l'air libre pour éliminer toute humidité résiduelle. Ensuite, le broyage a été effectué à l'aide d'un

broyeur électrique pour obtenir une matière homogène adaptée aux études en laboratoire, produisant des grains de petite taille. Pour obtenir des grains de dimensions précises, un tamisage a été effectué à l'aide d'un tamis pour obtenir une poudre fine et homogène (figure III.2).

- **La deuxième étape:** comprend un traitement préliminaire de l'adsorbant avant d'être placé dans un four à 150°C. L'adsorbant obtenu, nommé par Ecorce de Pin Traité (EPT) a été stocké dans des boîtes hermétiques en vue d'une utilisation ultérieure (figure III.2).

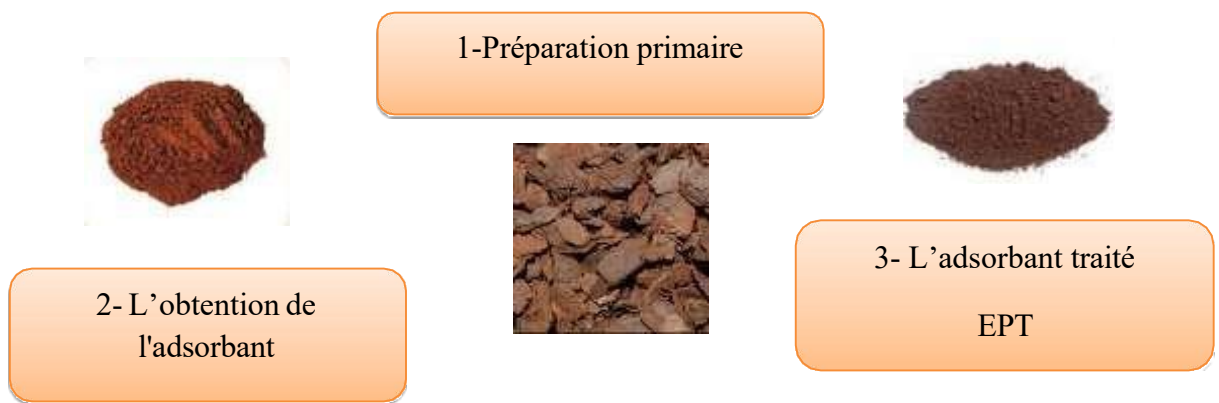


Figure III.2 : Etapes de préparation de l'adsorbant.

III.3. Dosage du BM par spectroscopie UV-Visible

C'est une technique d'analyse quantitative qui permet de déterminer la concentration d'un soluté dans une solution en exploitant l'interaction des électrons des molécules du soluté avec la lumière. Les concentrations des différentes solutions utilisées ainsi que les concentrations à l'équilibre ont été déterminées par analyse à l'aide d'un spectrophotomètre UV - Visible à la longueur d'onde maximum (λ_{max}). Cette méthode s'appuie sur la loi Beer-Lambert [1].

L'annexe n°04 : montre l'appareil utilisé lors de dosage de BM par spectrophotométrie UV-Visible.

III.3.1. Loi de Beer-Lambert:

Le principe d'analyse par spectrophotométrie UV-visible est basé sur la loi de Beer-Lambert. Cette dernière sert à établir une relation entre l'absorbance, l'épaisseur de l'échantillon et la concentration des espèces absorbantes. La loi de Beer-Lambert n'est vérifiée que si les conditions suivantes sont respectées :

- Lumière monochromatique
- Solutions très diluées
- Pas de réflexion, diffusion ou fluorescence du faisceau incident.

La loi de Beer-Lambert s'exprime sous la forme suivante :

$$A = \epsilon.L.C \quad (III.2)$$

Avec :

- A : Absorbance de la solution (sans unité) ;
- ϵ : Le coefficient d'adsorption d'extinction molaire ($L.mole^{-1}.cm^{-1}$).
- L : la longueur de la cuve ou trajet lumineux (cm) ;
- C : La concentration molaire de l'espèce adsorbant ($mol. L^{-1}$).

III.3.2. Détermination du λ max

La longueur d'onde d'absorption maximale λ max a été déterminée en enregistrant Spectre d'absorption d'un échantillon de solution à une concentration de 100 mg/L de BM, après avoir balayé les longueurs d'onde dans la plage visible de 400 à 800 nm. Après avoir identifié la longueur d'onde d'absorption maximale du bleu de méthylène. Une solution de BM standard a été préparée à partir de la solution de colorant mère (1 g/L) pour mesurer l'absorbance et tracer les courbes d'étalonnage appropriées. Ainsi, l'analyse a révélé une valeur de λ max égale à 664 nm.

III.3.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Pour établir la courbe d'étalonnage, il faut suivre les étapes suivantes:

- Préparation de la solution mère de 1000 ppm et l'étalon blanc
- Préparation des solutions étalons de concentrations allant 1 ppm jusqu'à 10 ppm à partir de la solution mère ;
- Fixer la longueur d'onde à $\lambda = 664$ nm pour le dosage du BM,
- Effectuer les différentes lectures pour les étalons préparés,

- Tracer la courbe d'étalonnage de l'absorbance en fonction de concentrations .

III.3.4. Détermination de la concentration résiduelle de l'échantillon

- Après le temps d'équilibre, les échantillons sont filtrés puis dosés par spectroscopie UV Visible.
- La concentration résiduelle du colorant est déterminée à partir de la droite de la courbe d'étalonnage obtenu précédemment.

III.4. Protocole d'essais d'adsorption

Les expériences d'adsorption sont réalisées dans un système discontinu avec une série de flacons qui ont été utilisés pour étudier certains effets tels que l'effet de la masse, de la température, du temps, de la concentration et du pH, puis dilués pour mesurer la concentration avec le spectrophotomètre UV visible.

III.4.1. Effet de la masse l'adsorbant

L'effet de la masse d'écorce de pin traité (EPT) sur l'adsorption a été étudié. Pour ce faire, nous avons suivi les étapes suivantes : nous avons pesé le matériau adsorbant avec différentes masses (0,01– 0,1g), ajouté un volume de 50 ml de solution aqueuse de colorant de méthylène bleu (concentration de 50 ppm) dans des flacons, puis placé les flacons au bain-marie sous agitation pendant deux heures à une température de 25°C et une vitesse d'agitation de 150 tr/min. Une fois le temps écoulé, les solutions ont été filtrées, puis diluées si nécessaire avant d'être analysées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 664 nm.

III.4.2. Effet de pH

La valeur initiale du pH de la solution joue un rôle crucial dans le processus d'adsorption. Nous avons préparé huit flacons, en ajoutant la masse optimale d'écorce de pin pesée à l'aide d'une balance. Ensuite, nous avons ajouté 50 ml de solution de bleu de méthylène avec une concentration de 50ppm dans chaque flacon. Le pH a été ajusté en ajoutant quelques gouttes d'une solution d'acide sulfurique (0,1 M) ou d'hydroxyde de sodium (0,1) pour obtenir les valeurs de pH souhaitées (2-10). Les flacons ont été placés dans un bain agité à un température de 25°C et à une vitesse de 150 tr/min

pendant 2 heures. Ensuite, les échantillons ont été filtrés et dilués. Enfin, l'analyse a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV à un longueur d'onde de $\lambda_{\max} = 664 \text{ nm}$.

III.4.3. Effet de temps de contact de concentration initiale

Pour évaluer l'impact de la concentration initiale de l'adsorbat sur l'efficacité de l'écorce de pin dans l'adsorption, ainsi que pour estimer le temps d'équilibre de l'interaction entre une solution et le matériau adsorbant, plusieurs expériences ont été conduites. Les concentrations initiales du colorants bleu méthylène ont été variées de 15 à 150 mg/l, les échantillons ont été préparés en pesant d'écorce de pin dans quatre béchers distincts, auxquels ont été ajoutées des solutions aqueuses de colorant bleu de méthylène à différentes concentrations. Ces mélanges ont été agités à température ambiante pendant 2 heures, avec des prélèvements effectués à des intervalles de temps spécifiques. Après prélèvements, les échantillons ont été dilués et analysés à l'aide d'un spectrophotomètre ultraviolet-visible. En utilisant une longueur d'onde 664 nm.

III.4.4. Effet de de concentration

Les tests ont été réalisés en agitant 50 ml de solutions de colorant (BM) à différentes concentrations (15, 50, 100 et 150 ppm), avec la quantité optimale d'adsorbant, à une température de 25°C. Les solutions obtenues sont ensuite filtrées et analysées directement à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à la longueur d'onde appropriée pour le BM ($\lambda_{\max} = 664 \text{ nm}$).

III.4.5. Effet de température

Afin d'étudier l'effet de la température sur le processus d'adsorption du bleu de méthylène, des expériences ont été menées selon les étapes suivantes : une solution d'une concentration de 50 ppm a été préparée et chauffée à différentes températures (25, 35, 45, 55°C). Ensuite, la masse optimale de matériau absorbant a été pesée et placée dans quatre flacons distincts, auxquels 50 ml de solution de colorant bleu de méthylène ont été ajoutés. Ces mélanges ont été maintenus sous agitation continue à 150 tr/min pendant le temps d'équilibre.

III.5. Mesure de la capacité d'adsorption

La capacité d'adsorption est exprimée par la relation suivante [36] :

$$Q_{ads} = \frac{(C_0 - C_e) * V}{m} \quad (III.3)$$

Sachant que :

Q_{ads} : Quantité adsorbée (mg/g);

V : Volume de la solution (L);

m : Masse d'adsorbant (g);

C_0 : Concentration initiale de l'adsorbat à $t = 0$ (mg/l);

C_e : Concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/l).

III.6. Détermination du rendement d'élimination du colorant

Le taux d'élimination $R(\%)$, est exprimé par la relation suivante [36]:

$$R \% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (III.4)$$

Avec :

c : Concentration initiale de l'adsorbat (mg/l).

C_e : Concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/l).

III.7. Étude isothermique

Cette étude se déroule à quatre températures différentes. Préalablement, la solution de l'adsorbant BM est introduite à des concentrations variant de 15, 50 et 100 ppm, auxquelles on ajoute la même masse d'adsorbant optimisée. Les essais sont effectués sous une vitesse d'agitation de 150 tr/min pendant le temps d'équilibre. Pour étudier les isothermes, deux modèles d'isotherme ont été appliqués : Langmuir et Freundlich d'après les équations (I.1) et (I.3).

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV.1. Introduction

Ce chapitre présente une analyse des résultats obtenus lors de l'étude menée sur le biosorbant. La caractérisation de ce dernier a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis, tandis que différents paramètres des contaminants ont été étudiés, notamment la masse d'adsorption, le temps de contact, la température et le pH de la solution. Deux modèles ont été appliqués, le modèle du pseudo-premier ordre et le modèle du pseudo-second ordre.

IV.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage du colorant

Afin de déterminer la longueur d'onde maximale absorbée par le bleu de méthylène, une analyse spectroscopique UV-Vis a été conduite sur une plage de fréquences de 400 à 800 nm. Les résultats obtenus révèlent que la longueur d'onde maximale d'absorption du bleu de méthylène est de 664 nm. Les concentrations ont été évaluées et dispersées par rayonnement ultraviolet, et un graphique linéaire a été construit en reliant la concentration du bleu de méthylène à son absorption. Ci-dessous, une courbe illustre cette relation (Figure IV.1)..

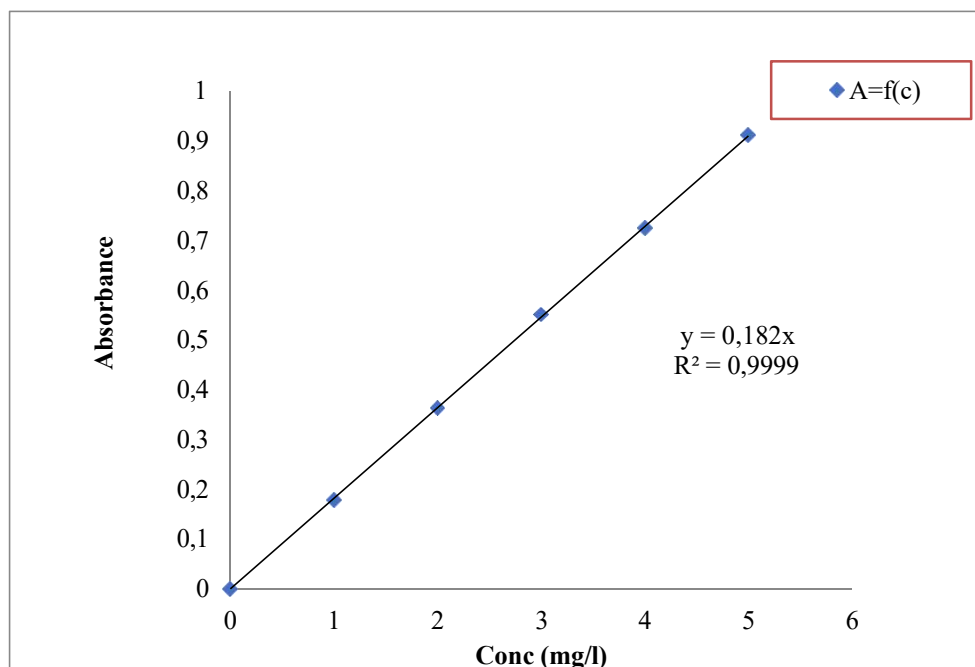


Figure IV.1 : Courbe d'étalonnage du BM à $\lambda_{\max} = 664$ nm.

La courbe (IV.1) nous montre une relation linéaire entre l'absorbance (A) et la concentration (C), qui donne l'équation linéaire de A en fonction des concentrations de bleu de méthylène est $A = 0,182 C$ avec un coefficient de régression $R^2 = 0,9999$. Cette équation permet de déterminer les concentrations inconnues à partir des absorbances mesurées.

IV.3. Optimisation des paramètres d'adsorption

IV.3.1. Effet de masse

La masse de l'adsorbant est un facteur majeur qui affecte l'adsorption du bleu de méthylène par l'écorce de pin. Afin d'estimer la quantité optimale, des expériences ont été menées en utilisant 50 ml de solution de bleu de méthylène avec différentes quantités de masse d'écorce de pin. La courbe suivante illustre les résultats de l'effet de la masse d'adsorbant (Figure IV.2).

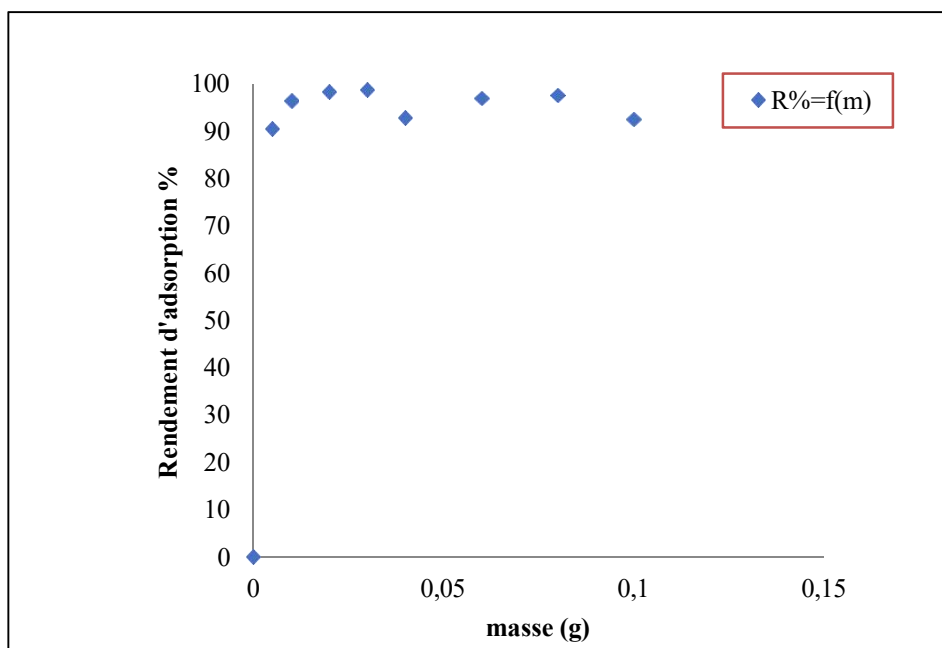


Figure IV.2 : Effet de la masse d'adsorbant EPT de l'adsorption du BM: $C_i = 50$ ppm, temps: 2h, volume= 50 ml, $T = 25^\circ\text{C}$, vitesse d'agitation : 150 tr/min

L'examen de l'effet de la masse adsorbée s'est déroulé dans la plage de masse allant de 0,01 à 0,1 gramme. L'analyse de la courbe révèle une augmentation progressive du taux d'élimination jusqu'à ce qu'il atteigne une masse de 0,03 gramme, avec un rendement optimal de 98,58 % (Figure IV.2).

IV.3.2. Effet de pH

L'efficacité de l'adsorption a été étudiée à divers pH en utilisant une solution d'acide sulfurique 0,1 M et d'hydroxyde de sodium 0,1 M. Les résultats de cette étude ont permis de tracer la figure IV.3, illustrant l'adsorption du bleu de méthylène par l'écorce de pin.

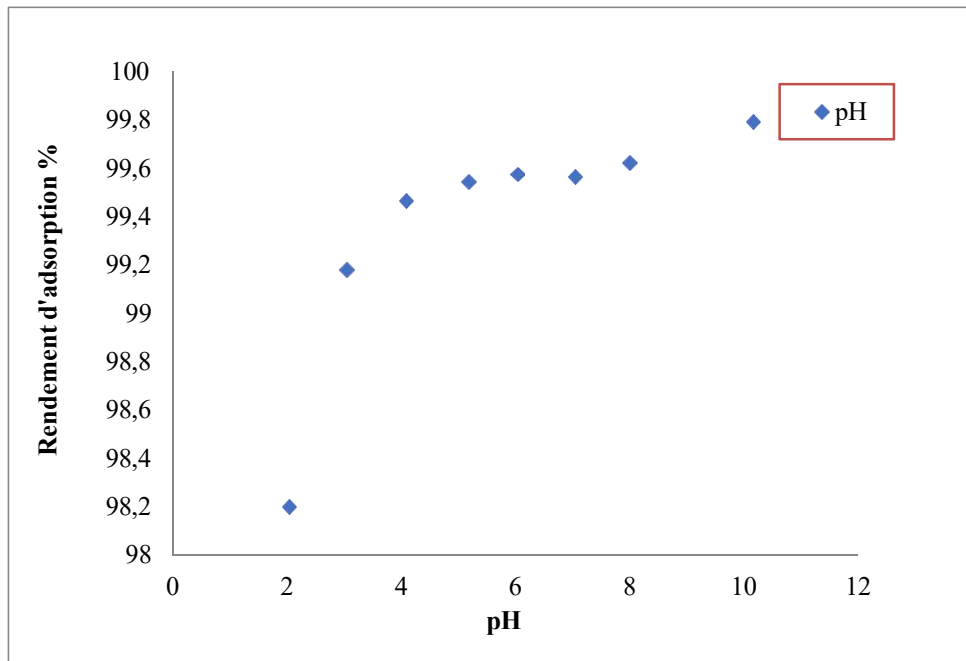


Figure IV.3: Effet du pH d'adsorbant EPT sur l'absorption du BM : $C_i = 50$ ppm, masse : 0.03 g, volume = 50 ml, $T = 25^\circ\text{C}$, vitesse d'agitation : 150 tr/min

Les résultats présentés sur la figure IV.3 illustrent l'évolution de la capacité d'adsorption de l'écorce de pin en fonction du pH de la solution. Cette représentation met en évidence le rôle fondamental du pH dans l'adsorption du colorant. La capacité d'adsorption augmente progressivement à mesure que le pH varie de 2 à 10, atteignant un maximum de 99,56 %. Entre les niveaux de pH 5 et 7, la valeur d'adsorption reste stable, puis connaît une légère augmentation entre 8 et 10 avec un rendement d'élimination atteignant 99,79%. Néanmoins, malgré des rendements plus élevés observés à d'autres valeurs de pH, nous avons délibérément choisi de travailler à un pH de 7. Cette décision s'explique par le fait qu'il est préférable de travailler à un pH neutre, ce qui simplifie les conditions expérimentales. Enfin, bien que des efficacités plus élevées aient été

obtenues à des valeurs de pH différentes, une efficacité de 99,5 % à pH 7 reste exceptionnelle et largement satisfaisante pour notre objectif d'élimination du colorant.

IV.3.3. Effet du temps de contact

L'étude de l'adsorption sur le matériau adsorbant permet d'examiner l'effet du temps de contact pour atteindre la capacité d'adsorption maximale à différentes concentrations. Cette étude a été réalisée à une température de 25 °C, avec une masse de 0,03 gramme dans 50 ml de solution, sous agitation à 150 tr/min pendant une période allant de 0 à 120 minutes. La figure IV.4 présente les résultats obtenus.

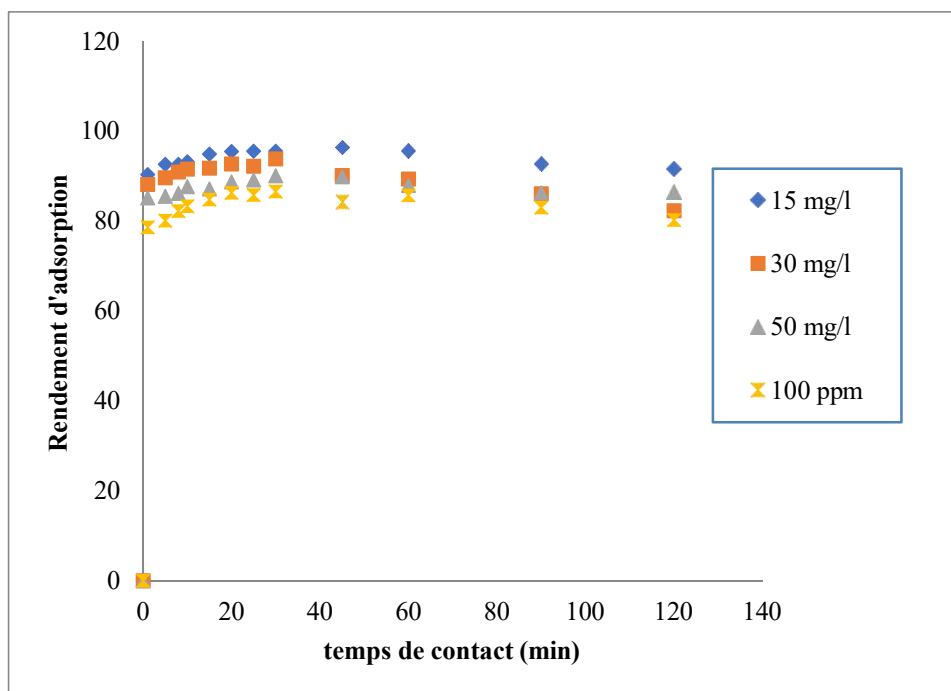


Figure IV.4: Influence du temps de contact d'adsorbant EPT sur l'adsorption du BM dans les conditions : volume= 50 ml, masse 0.03g, T=25°, et vitesse d'agitation = 150 tr/min.

La figure IV.4 illustre que la vitesse d'adsorption augmente rapidement pendant les premières minutes de contact, puis se stabilise lorsqu'elle s'approche de l'équilibre. Le temps d'équilibre est atteint après environ 30 minutes pour différentes concentrations, en raison de la disponibilité de sites actifs à la surface des adsorbants. À mesure que le temps avance, le nombre de sites vacants diminue et peut devenir moins accessible en raison de la saturation des sites en surface et dans les pores du matériau adsorbant. Ainsi, on conclue que 30 minutes sont suffisantes pour atteindre l'équilibre.

IV.3.4. Effet de la concentration

L'effet de la concentration initiale de l'adsorbant est crucial dans le processus d'adsorption. Pour étudier la capacité d'adsorption de l'adsorbant, plusieurs tests ont été réalisés en utilisant des matériaux à différentes concentrations (15, 30, 50 et 100 mg/l), avec d'autres facteurs maintenus constants. La figure IV.5 présente les résultats de ces différents tests.

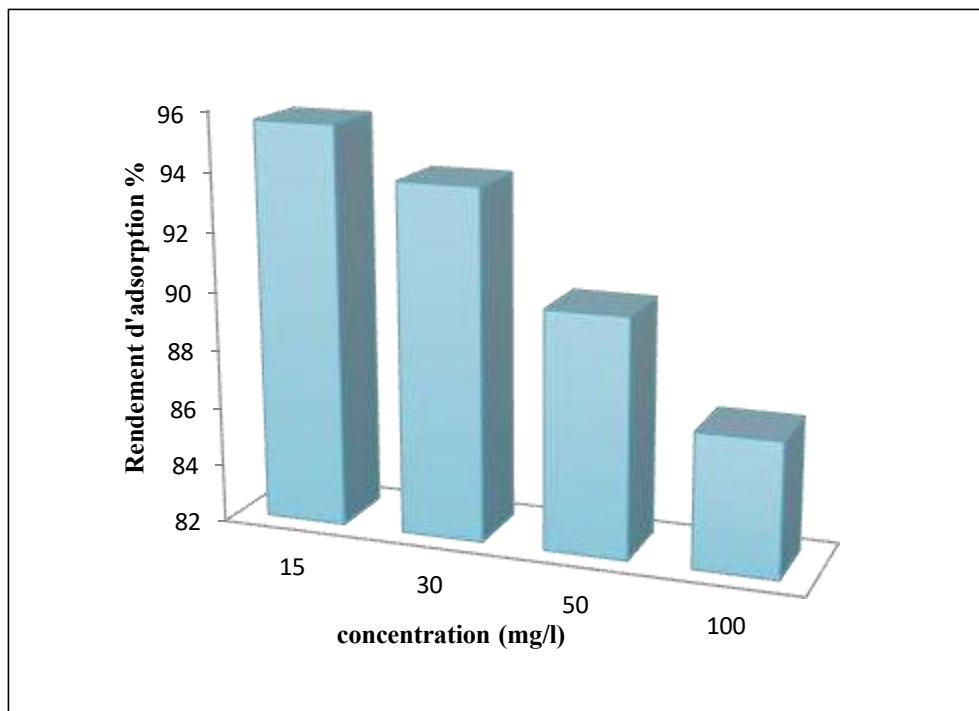


Figure IV.5 : Effet de la concentration d'adsorbant EPT sur l'adsorption du BM dans les conditions : $m = 0.03\text{g}$, $V = 50\text{ ml}$, $t = 30\text{min}$, $T = 25^\circ\text{C}$

En accord avec les observations de nombreuses recherches, il est cohérent de constater une diminution des taux d'adsorption en corrélation avec la concentration de l'adsorbant utilisée. L'analyse de la figure IV.5 suggère que ces résultats reflètent une diminution de la disponibilité des sites actifs à la surface de l'adsorbant lors de l'augmentation de la concentration initiale de l'adsorbant.

IV.3.5. Effet de la température

Pour étudier l'effet de la température sur l'adsorption du matériau adsorbant étudié, l'écorce de pin, plusieurs expériences ont été réalisées à différentes températures (25,

35, 45, 55) °C, en maintenant les autres conditions expérimentales fixées. La figure IV.6 présente les résultats de l'effet de la température sur l'adsorption de bleu de méthylène.

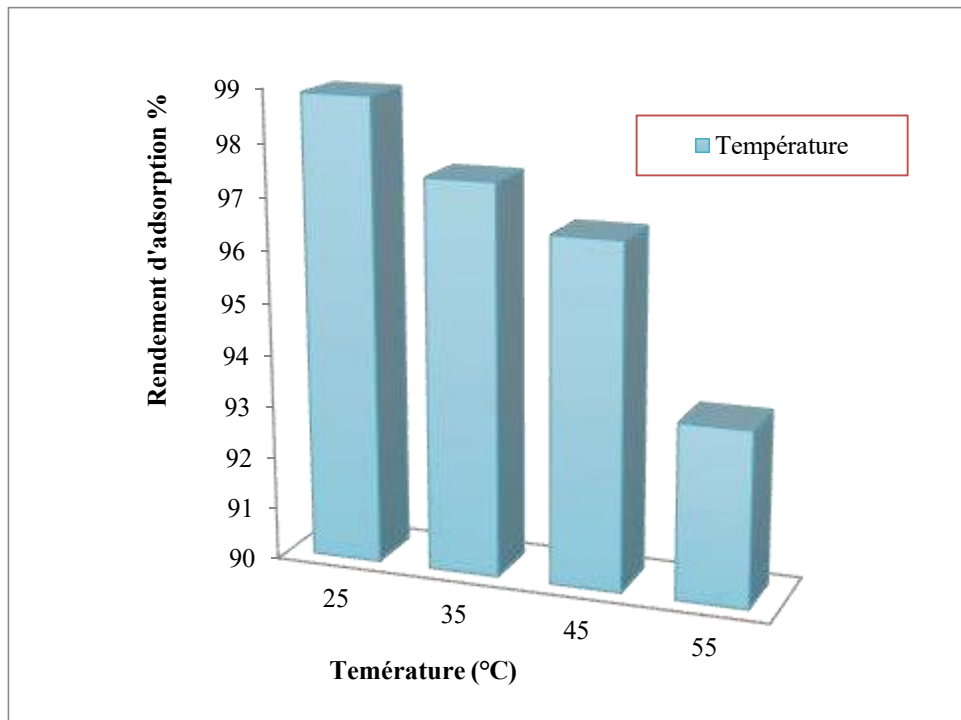


Figure IV.6 : Effet de la température sur l'adsorption du BM sur EPT : $C_i=50$ ppm, masse= 0.03 g, volume : 50 ml, temps d'agitation : 30 min, vitesse d'agitation : 150tr/min.

Les résultats obtenus (figure IV.6) révèlent au fur et à mesure que la température augmente de 25 °C à 55 °C, le rendement d'élimination du bleu de méthylène diminue, passant de 99% à 93,5%. Cette diminution suggère une réduction de l'efficacité de l'adsorption à des températures plus élevées, ce qui indique un effet négatif de la température sur le processus d'adsorption. La température optimale pour une adsorption maximale semble être de 25 °C (la température ambiante).

IV.4. Etude cinétique

Pour évaluer le processus d'adsorption, plusieurs modèles cinétiques ont été utilisés. Dans le cadre de l'étude d'adsorption du bleu de méthylène sur les écorces de pin, les modèles cinétiques de pseudo-premier ordre et de pseudo-second ordre ont été appliqués pour déterminer les paramètres cinétiques tels que la constante de vitesse et la quantité adsorbée à l'équilibre. Les résultats sont présentés dans les figures IV.7 et IV.8.

En utilisant des courbes linéaires, les valeurs de K et q peuvent être calculées, comme indiqué dans le tableau IV.1. Le modèle le plus approprié est sélectionné en comparant les coefficients de régression, où le coefficient le plus élevé correspond au meilleur ajustement du modèle.

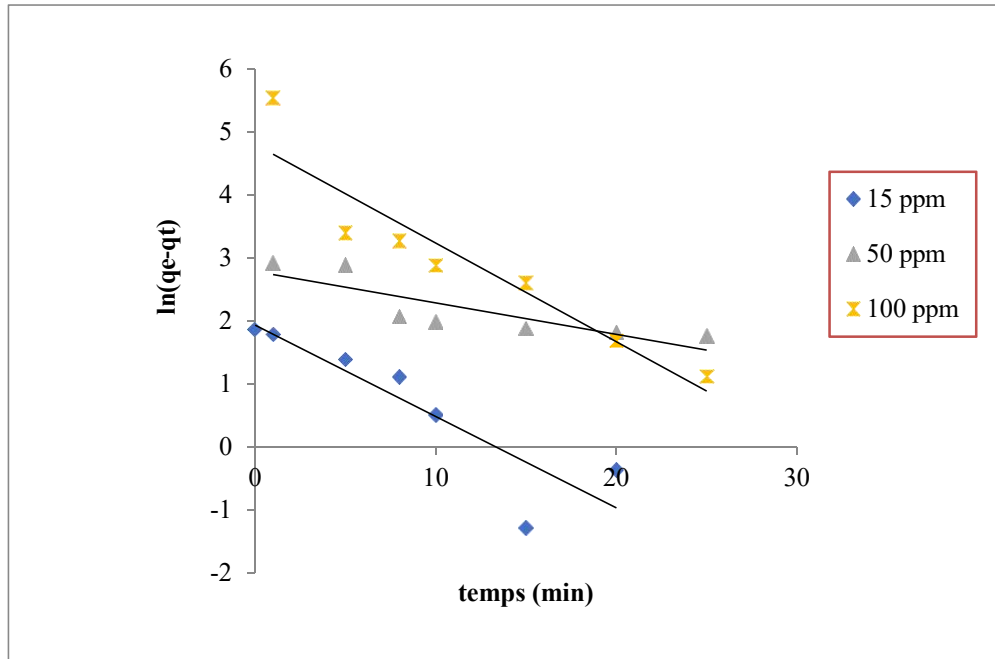


Figure IV.7 : Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo-premier ordre pour l'adsorption de l'EPT sur BM

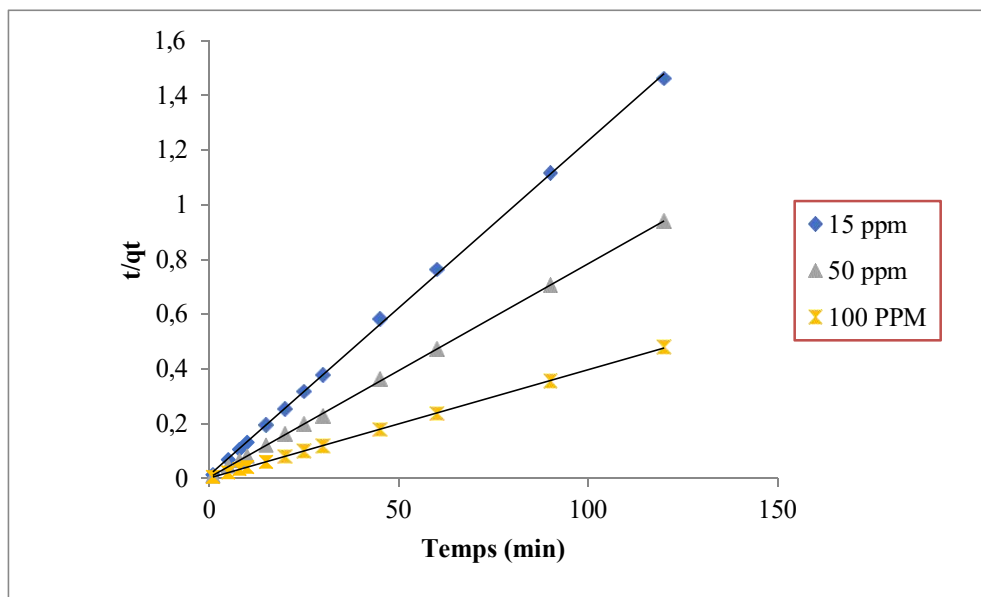


Figure IV.8 : Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo second-ordre pour l'adsorption de l'EPT sur BM.

Tableau IV.1 : Résultats d'applications du modèle cinétique du pseudo premier ordre et pseudo second ordre pour l'adsorption de l'EPT sur BM.

	Pseudo	premier	ordre		pseudo	second	ordre
Conc (mg/l)	$k_1(\text{min}^{-1})$	$q_e(\text{calculé})$	$q_e(\text{exp})$	R^2	$q_e(\text{calc})$	k_2	R^2
15	0,145	6,888	79,162	0,8069	81,967	0,0134	0,9995
50	0,183	15,486	94,880	0,9399	128,205	0,0164	0,9999
100	0,157	122,363	254,553	0,8773	250	0,0228	0,9999

A partir des résultats présentés dans le tableau IV.1, on observe que le modèle du pseudo-second ordre affiche le coefficient de corrélation le plus élevé, compris entre 0,9995 et 0,9999 pour toutes les concentrations utilisées. De plus, les valeurs des quantités adsorbées (q_e) calculées à partir du modèle de pseudo-second ordre sont très proches des valeurs expérimentales. Ces résultats indiquent que le modèle du pseudo-second ordre est le plus approprié pour étudier la cinétique de l'adsorption de BM sur l'écorce de pin.

IV.5. Etude isothermique

De nombreux modèles d'adsorption sont disponibles, notamment Langmuir et Freundlich, qui sont développés pour évaluer la capacité d'adsorption maximale, ainsi que les paramètres d'adsorption. Les figures (IV. 9) et (IV. 10) montrent les résultats obtenus, ayant rapport avec les modèles de Langmuir et Freundlich puis on calcule les différentes constantes indiquées dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2 : Constantes relatives aux modèles de Langmuir et Freundlich pour l'adsorption du EPT sur BM.

Langmuir				Freundlich			
T(°C)	$k_L(/)$	q_{\max}	R^2	T(°C)	$1/n$	k_f	R^2
25	0,03988	370,4	0,6186	25	1,0937	7,5541	0,968

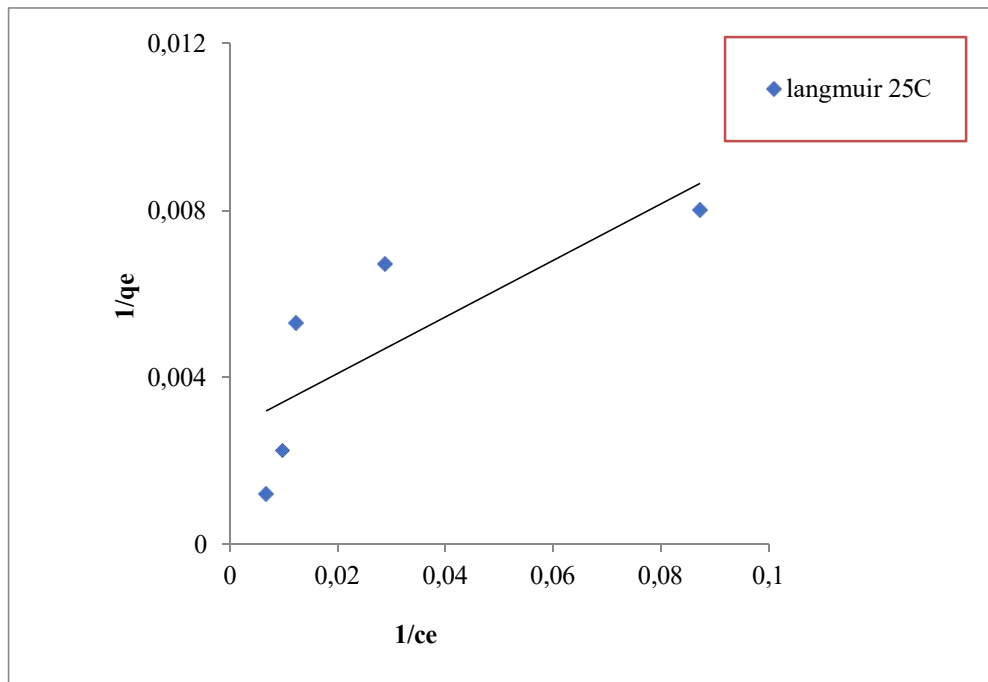


Figure IV.9 : Application du modèle linéaire de Langmuir sur l'isotherme d'adsorption BM sur les EPT.

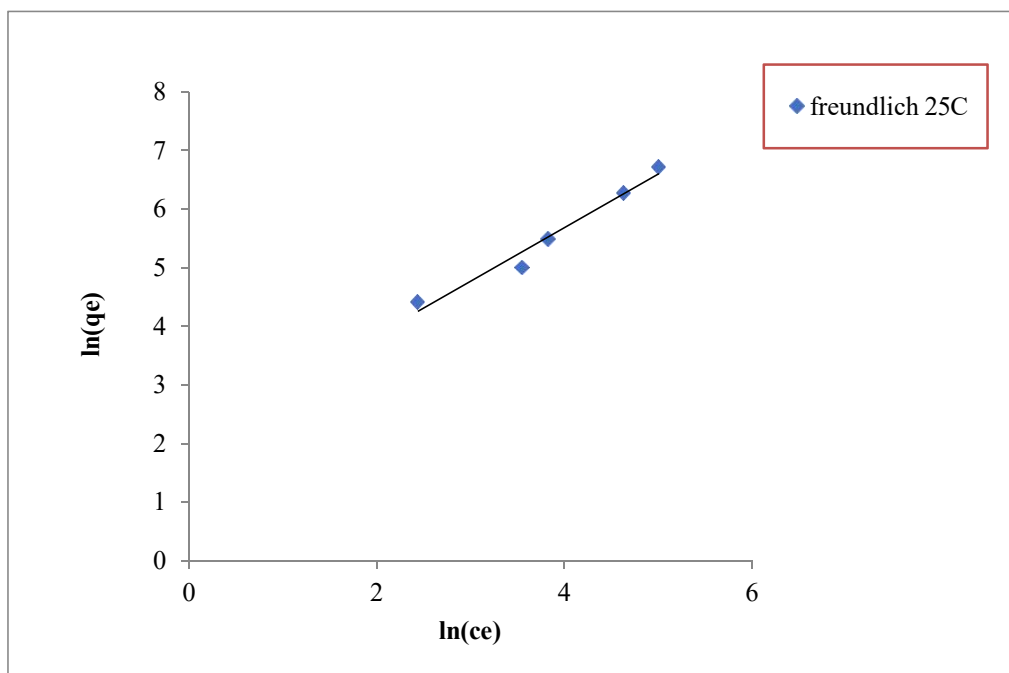


Figure IV.10 : Application du modèle linéaire de Freundlich sur l'isotherme d'adsorption du BM sur EPT.

D'après les résultats présentés dans le tableau IV.2, il ressort que le modèle de Freundlich fournit un coefficient de régression plus élevé R^2 de 0,968. La comparaison avec les résultats du modèle de Langmuir nous montre que EPT est plus étroitement liée au modèle de Freundlich.

IV.6. Analyse comparative

Les résultats de cette étude concernent la comparaison de la capacité d'adsorption du bleu de méthylène avec d'autres types d'adsorbants, Ce tableau IV.3 montre certains paramètres d'adsorption et la nature de l'isotherme.

Tableau IV.3 : Etude comparative de l'adsorption de BM sur différents adsorbants

Adsorbant	Modèle cinétique	modèle isothermique	q_{\max} (mg/g)	Référence
feuilles de citron	Langmuir	pseudo-second ordre	122,1211	[28]
charbon actif à partir de coques de noix de coco	Freundlich	pseudo-second ordre		[30]
L'écorce de pin	Langmuir	pseudo-second ordre	50,0	[31]
L'écorce de pin traité	Langmuir	pseudo-second ordre	370,4	Cette étude
Le charbon actif d'écorce de sapin forestier ACFB	Freundlich	pseudo-second ordre	1044.404	[37]
Coque de riz	Freundlich	pseudo-second ordre	13,50	[38]
Charbon actif de graines de cumin noir	Freundlich	Pseudo - second ordre	16.85	[32]

L'étude comparative de l'adsorption de BM sur différents adsorbants (tableau IV.3) montre que la capacité d'adsorption de BM sur le charbon actif d'écorce de sapin forestier est meilleure que celle de l'écorce de pin traité, qui à son tour présente la meilleure capacité d'adsorption comparée aux autres.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude, notre objectif était de décontaminer les eaux usées contenant du bleu de méthylène en utilisant la technique d'adsorption. Nous avons opté pour l'écorce de pin traité comme adsorbant en raison de sa disponibilité étendue et de son coût abordable en Algérie. Cette méthode a démontré une capacité significative d'élimination du bleu de méthylène dans les conditions testées.

Nous avons réalisé des expériences visant à évaluer l'impact du pH de la solution, la concentration initiale de l'adsorbant, la durée de contact, la quantité de l'adsorbant et la température du milieu. Par la suite, nous avons mené une étude cinétique ainsi qu'une étude isothermique.

Les résultats obtenus nous ont permis de conclure ce qui suit :

- La capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la masse de l'adsorbant jusqu'à atteindre la masse optimale 0,03g avec un rendement optimal de 98,58%.
- L'étude de l'effet du pH révèle que le taux d'absorption maximal du colorant sur le matériau adsorbant est observé à un pH de 7.
- La vitesse d'élimination du colorant bleu de méthylène atteint son maximum après un temps d'équilibre de 30 minutes
- Le taux d'adsorption est inversement proportionnel avec l'augmentation de la concentration de l'adsorbant .
- La température optimale pour une adsorption maximale est 25 °C où l'augmentation de la température du milieu réactionnel affecte négativement la quantité d'adsorption.
- Le modèle cinétique de pseudo-second ordre s'avère être le plus adapté pour étudier la cinétique d'adsorption du bleu de méthylène sur l'écorce de pin traité avec le coefficient de corrélation $R^2 = 0,999$.
- La comparaison avec les résultats du modèle de Langmuir montre que l'écorce de pin traité est étroitement liée conforme à ce modèle.

Tous les résultats obtenus dans cette étude sont d'actualité. Nous tirons les conclusions suivantes :

- L'adsorption s'avère être une méthode efficace pour le traitement des eaux contaminées par des colorants toxiques non biodégradables.
- L'utilisation de matériaux adsorbants peu coûteux comme l'écorce de pin.

Conclusion générale

- Les déchets agricoles trouvent une nouvelle utilité en tant que matériaux adsorbants pour éliminer les polluants organiques offrant ainsi une approche durable pour la gestion des déchets et la protection de l'environnement.
- L'importance de développer des solutions de traitement de l'eau innovantes et accessibles, en mettant en valeur les ressources naturelles disponibles localement.

Pour enrichir davantage les résultats de cette étude, nous suggérons :

- Approfondir la caractérisation de notre adsorbant en explorant une diversité de techniques d'analyse. Cela inclut l'utilisation de la microscopie électronique à balayage (MEB) pour examiner de près sa surface, et d'autres approches pour mieux comprendre sa composition et ses propriétés.
- Élargir le champ d'application de notre étude en explorant l'utilisation de cet adsorbant pour éliminer les colorants anioniques.
- Étendre la recherche pour évaluer l'efficacité de cet adsorbant dans l'élimination d'autres types de polluants organiques, tels que les produits pharmaceutiques ou les hydrocarbures, ainsi que les polluants inorganiques, comme les métaux lourds.
- Examiner les possibilités d'appliquer cet adsorbant aux effluents industriels, offrant ainsi des solutions innovantes pour le traitement des déchets générés par divers secteurs industriels.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Chikh Dahmane M. « contribution à l'élimination d'un colorant cationique dans les eaux usées industrielles par un adsorbant naturel » Mémoire de Master ; Université Amar Telidji -Laghouat ; **2023**.
- [2] Benmroui F. « Élimination des colorants cationique par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture » Mémoire Master ; **2014**.
- [3] Rebie H. et Goussas M. ; Mémoire de Master ; université de Saïda ; **2022**.
- [4] Lakeb S. et Benmeridja T. Mémoire de master ; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem ; **2021**.
- [5] Houari R. ; Kebaili M. et Mogdad S. Mémoire de Maste ; unuversité de Kasdi-Merbah Ouargla **2020**.
- [6] Benmansour H. ; Boughzala O. ; DridiBarille D. ; Chekir-Ghedira L.C et Morsrati R. « Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : Criblage de la toxicité et des méthodes de traitement » Revue des sciences de l'eau, 24(3) ; **2011**.
- [7] Berkane N. « Développement et caractérisation de nouveaux adsorbants pour l'élimination des polluants organiques en solution aqueuse » Thèse de Doctorat ; Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou ; **2019**.
- [8] Shore J. "Colorants and auxiliaries organic chemistry and application properties" Society of Dyers and Colourists; **2002**.
- [9] Nait M.N. « Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organique » Mémoire de magister, Université Mohamed Cherif Massaadia Souk Ahras ; **2014**.
- [10] Bouanimba N. « Etude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants : Impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photocatalytique de TiO₂ » Thèse de doctorat, Université Constantine 1 ; **2014**.
- [11] Ghedabna D. ; Mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi d'Oum el bouaghi ; **2016**.
- [12]. Saku J. et Neghbil A. ; Mémoire de Master, Universite Med boudiaf de Msila ; **2020**.
- [13] Benaïssa A. « Étude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle » Thèse ; Université Abou Bakr Balkaid de Tlemcen ; Algérie ; **2012**.
- [14] Weber W.J. and Morris J.Cm. "Kinetics of Adsorption on Carbon from Solution" J. Sanit. Eng. Div. ASCE 89; **1963**.

Références bibliographiques

- [15] Abdallah A. ; Mémoire de master ; **2019**.
- [16] Gana S. et Mendil Y. « Élimination de bleu méthylène par les feuilles de myrte » Mémoire de Master ; **2017**.
- [17] Chemiri, D. ; Mémoire de master ; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem ; **2022**.
- [18] Tebessi S. "Étude Cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant organique sur le charbon actif" Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi ; **2010**.
- [19] Lamri N. "Élimination du colorant orange ii en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption". Thèse De Master, Université Mentouri, Constantine ; **2010**.
- [20] Khatoui M. « Etude de la capacité d'adsorption d'un matériau issu de sources naturelles : péricarpe des glands de chêne » Mémoire de master ; Université Amar Thelidji de Laghouat ; **2020**.
- [21] Moreau S. « L'adsorption et l'environnement » ENS ; **2003**.
- [22] Nefzaoui A. « Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation **1987**.
- [23] Namane A. « Modélisation des cinétiques d'adsorption dans le cas du phénol et du bleu de méthyle sur le charbon actif en grain » Ecole nationale polytechnique ; **2009**.
- [24] Aga S. ; Thèse de doctorat ; Université de Setif 1 ; **2022**.
- [25] Sbai G. ; Oukili K. and Loukili M. "Étude de la dégradation des colorants de textile application sur le Bleu de Méthylène" International Journal of Innovation and Applied Studies ; 2 ; 272–279 ; **2016**.
- [26] Holliday MC. et al. "Agricultural Pea Waste as a Low-Cost Pollutant Biosorbent for Methylene Blue Removal: Adsorption Kinetics, Isotherm and Thermodynamic Studies" **2024**.
- [27] Addouz M.; Azzaoui K.; Akartasse N.; Mejdoubi E. « Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto hydroxyapatite nanoparticles" **2023**.
- [28] Rahmaiana Z. et al. "Enhancing sorption capacity of methylene blue dye using solid waste of lemongrass biosorbent by modification method" **2022**.
- [29] Alvear E.; Metin AU.; Brouers F. "Methylene blue adsorption on magnetic alginate/rice husk bio-composite" **2020**.
- [30] Kahului RH. et al. "Removal of Methylene Blue by Adsorption onto Activated Carbon From Coconut Shell (Cocous Nucifera L.)" **2019**.

Références bibliographiques

- [31] Litefi K. and Sonia-Freire M. “Biosorption of methylene blue and malachite green from single and binary solutions by *Pinus pinaster* bark” Abdelmalek Essaâdi University; Tétouan; Morocco; **2024**.
- [32] Pimentel CH. et al. “Removal of wood dyes from aqueous solutions by sorption on untreated pine (*Pinus radiata*) sawdust” **2023**.
- [33] Omorogie MO et al. “Microwave-synthesized and Fenton-functionalized *Pinus sylvestris* bark activated carbon/metal oxides for the effective uptake of tetracycline and congo red dye” **2020**.
- [34] Litefi K.; Sonia-Freire M. and Titou M. “Adsorption of an anionic dye (Congo red) from aqueous solutions by pine bark” **2019**.
- [35] Hafsa N. « Adsorption d'un colorant (bleu de Méthylène) par bisorbants » Université Ahmed Draïa ; Adrar.
- [36] Gaoui, S. et Dib M. Mémoire de master ; université de Laghouat **2022**.
- [37] Luo1 Lu.; Wu1 Xi. et al. “Synthesis of activated carbon from biowaste of fir bark for methylene blue removal” **2024**.
- [38] Thabede P.M.; Shooto N..D. and. Naidoo E.B. “ Removal of methylene blue dye and lead ions from aqueous solution using activated carbon from black cumin seeds” South African Journal of Chemical Engineering; 33; 39-50; **2020**..

عنوان المذكرة : تسمين النفايات النباتية: التطبيق البيئي للتخلص من الصبغة السامة عن طريق المتزاز.

المؤطر ا.د. جديد ميروك و السيدة سعد الله كلثوم

الإسم: ليندة منى

اللقب: مروكي, بلغشوة

ملخص: معالجة هدف هذه الدراسة هو إزالة الأزرق الميثيلين من محلول مائي من خلال المتزاز باستخدام مادة امتزازية قشرة الصنوبر . بعد إجراء دراسات على مختلف العوامل مثل الكتلة ودرجة الحرارة والحموضة وتركيز المحلول، تم الحصول على النتائج التالية: الكتلة المثل هي 0.03 جم، مع كفاءة امتزاز قصوى تبلغ 98.58%. تزداد القدرة على المتزاز مع زيادة الكتلة، ويتم تحقيق التوازن في غضون 30 دقيقة. يتم تحقيق أعلى معدل امتزاز للأزرق الميثيلين على المادة المتزازية عند الحموضة 7. درجة الحرارة المثل لهذه الدراسة هي 25 درجة مئوية. يتمثل النموذج السيني للترتيب الثانوي المزيف، مع معامل الارتباط $R^2 = 0.999$ ، في النموذج النسب لهذه الدراسة. بالإضافة إلى ذلك، يعتبر النموذج النجمير النسب لوصف متساوي درجة حرارة المتزاز. كلمات مفتاحية: المتزاز، الأزرق الميثيلين، قشرة صنوبر معالجة

Dissertation title: Valorization of plant waste: Environmental application for the elimination of a toxic dye by adsorption

Name : Marrouki , Belghechoua **First name :** Linda , mouna

Directed by : Pr. Dr. Djedid Mebrouk & Mme Saadallah Kelthoum

Abstract : The purpose of this study is to remove methylene blue from an aqueous solution through adsorption using a treated pine bark-based adsorbent. After conducting studies on various parameters such as mass, temperature, pH, and concentration, the following results were obtained: the optimal mass is 0.03 g, with a maximum adsorption efficiency of 98.58%. The adsorption capacity increases with increasing mass, and equilibrium is reached in 30 minutes. The highest adsorption rate of methylene blue on the adsorbent is achieved at a pH of 7. The optimal temperature for this study is 25°C. The pseudo-second order kinetic model, with a correlation coefficient R^2 of 0.999, best fits this study. Additionally, the Langmuir model is most suitable for describing the adsorption isotherm.

Key words: Adsorption, methylene blue, treated pine bark, isotherm, kinetics.

Titre du mémoire : Valorisation des déchets végétaux : Application environnementale de l'élimination d'un colorant toxique par adsorption.

Nom: Marrouki, Belghechoua **Prénom:** Linda, Mouna

Encadrant: Pr. Dr. Djedid Mebrouk & Mme. Saadallah Kelthoum

Résumé : Le but de cette étude porte sur l'élimination du bleu de méthylène d'une solution aqueuse par adsorption en utilisant un adsorbant traité à base d'écorce de pin. Après avoir mené des essais sur différents paramètres tels que la masse, la température, le pH et la concentration, nous avons obtenu les résultats suivants : la masse optimale est de 0,03 g, avec une efficacité d'adsorption maximale de 98,58 %. La capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la masse, et l'équilibre est atteint en 30 minutes. Le meilleur taux d'adsorption du bleu de méthylène sur l'adsorbant est obtenu à un pH de 7. La température optimale pour cette étude est de 25°C. Le modèle cinétique de pseudo-second ordre, avec un coefficient de corrélation R^2 de 0,999, correspond le mieux à cette étude. De plus, le modèle de Langmuir est le plus approprié pour décrire l'isotherme d'adsorption.

Mots clés : Adsorption, bleu de méthylène, écorce de pin traité, isotherme, cinétique

Le résumé doit être rédigé en deux langues différentes au moins