



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 : GENDRUNG Lamia**

**SOUISSI Aya**

**DOMAINE : Sciences et Technologies**

**FILIERE : Génie des Procédés**

**OPTION : Génie des Procédés des Matériaux**

### **Thème**

**Étude expérimentale de l'adsorption d'un  
colorant cationique sur un biomatériau local**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
DJEDID Mebrouk	Pr	Président
MECHRAOUI Omar	MCA	Examineur
TOUNSI Aissa	MCA	Rapporteur
BRICHI Nour Elhouda	DOC	Co-rapporteur

**Promotion : Juillet 2025**

## Remerciement

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu, le Tout-Puissant, pour la volonté, la santé, le courage et la patience qu'Il nous a accordés pour réaliser ce travail modeste. Nous remercions également nos parents qui ont sacrifié tous leurs efforts et ressources pour nous soutenir durant nos études. Le premier mot de remerciement va bien sûr à notre superviseur, Mademoiselle Nour BRICHI NOUR ELHOUDA et à Monsieur TONSI AISSA pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous remercions aussi notre chef de département, Monsieur BEN ALIA MOKHTAR, pour avoir allégé certaines de nos tâches de master afin que nous puissions poursuivre nos études. Nos remerciements chaleureux vont à l'équipe du laboratoire d'ingénierie des procédés. Nous souhaitons également remercier tous ceux qui ont contribué à soutenir notre travail dans le laboratoire de la faculté. En ce sens, nous souhaitons inclure tous les professeurs de la faculté d'ingénierie des procédés pour leur soutien et encouragement.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail. Nous remercions également nos familles, nos proches et nos collègues



## *Dédicace*

*À ma mère et à mon père, en reconnaissance de l'éducation qu'ils m'ont donnée par tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour moi, et pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance. Et à ceux dont j'ai appris la persévérance et le travail acharné, sur qui je compte, et en leur présence j'ai acquis force et amour, et avec qui j'ai appris le sens de la vie : mes chers frères Yassín et Abdel elhadí, et à mes chères sœurs Kawthar, Hadjar, Hanan et lina . A ma chère binome aya , À tous mes amis et collègues que j'ai pu connaître depuis mon enfance. À tous les professeurs qui m'ont enseigné tout au long de mon parcours. À tous ceux qui m'aiment, et à tous ceux que j'aime. Je vous dédie ce modeste travail.*

*Lamia*



## *Dédicace*

*A mes chers parents ma mère et mon père,  
Pour leur patience leur soutien leur amour  
leur encouragements tous au long de ma vie.*

*A mes frères et mes sœurs,*

*A ma chère tante Om lkhir,*

*A tout ma famille de près au loin,*

*A ma chère binôme lamya et sa famille,*

*A tous mes amis que j'ai vécus avec eux des beaux  
moments à l'université,*

*Je dédie ce modeste travail*

*Aya*

# Sommaire

# **Sommaire**

Liste des Figures	i
Liste des Tableaux	ii
Liste des Abréviations	iii
Introduction générale	1

## ***Chapitre I : Partie Bibliographique***

I.1. Adsorbants	3
I.1.1. Introduction sur les biosorbants	3
I.1.2. Définition et origines des biosorbants	3
I.2. Les colorants	4
I.2.1. Définition	4
I.2.2. Types des colorants	4
I.2.2.1 Les colorants synthétiques	4
I.2.2.2 Les colorants naturels	4
I.2.3. Classification des colorants	5
I.2.4. Application des colorants	5
I.2.5. Toxicité des colorants	5
I.3. Violet de gentiane	6
I.3.1 Définition	6
I.3.2 Propriétés physico- chimiques	6
I.4. Adsorption	7
I.4.1. Définition de l'adsorption	7
I.4.2. Types d'adsorption	7
I.4.2.1. L'adsorption physique ou physisorption	7

I.4.2.2. L'adsorption chimique, ou chimisorption	7
I.4.3. Mécanisme d'adsorption	8
I.4.4. Paramétrer influençant sur l'adsorption	8
I.4.5. Cinétique d'adsorption	9
I.4.5.1. Modèle de Pseudo-Premier Ordre	9
I.4.5.2. Modèle de Pseudo-Second Ordre	10
I.4.5.3. Modèle de la diffusion intra-particulaire (Weber et Morris)	10
I.4.6. Isothermes	10
I.4.7. Classification des isothermes	11
I.4.8. Modélisation mathématique des isothermes d'adsorption	12
I.4.8.1. Isotherme de Langmuir	12
I.4.8.2. Isotherme de Freundlich	12
I.4.8.3. Isotherme de Temkin	13
I.4.9. Thermodynamique d'adsorption	13

## ***Chapitre II : Partie Expérimentale***

II.1. Produits et Matériels	15
II.2. Préparation des réactifs	15
II.2.1 Adsorbant utilisé	15
II.2.2. Préparation des solutions de VG	17
II.3. Analyse par spectrophotométrie d'absorption UV-Visible	17
II.3.1. Détermination de la longueur d'onde maximale ( $\lambda_{\max}$ )	17
II.4. Etablissement de la courbe d'étalonnage	17
II.5. Protocoles expérimentaux	18
II.5.1. Processus d'adsorption	18
II.5.2. Effet de la masse	19

II.5.3. Effet du temps de contact	20
II.5.4. Effet du pH	21
II.5.5. Effet de la température	22
II.5.6. Isothermes d'adsorption	23
II.6. Modalisation	24
II.6.1. Modalisation de la cinétique d'adsorption	24
II.6.1.1. Modèle cinétique de premier ordre PPO	24
II.6.1.2. Modèle cinétique de second ordre PSO	24
II.6.1.3. Modèle de la diffusion intra particulaire	25
II.6.2. Modélisation des isothermes d'adsorption	27
II.6.2.1. Isotherme de Langmuir	27
II.6.2.2. Isotherme de Freundlich	28
II.6.2.3. Isotherme de Temkin	28
II.7. Etude thermodynamique	31
Conclusion générale	33
Références bibliographiques	34

# Liste des Figures

<b>Figure I.1:</b> phénomène d'adsorption et désorption	7
<b>Figure I.2:</b> Mécanisme du transfert d'un adsorbat vers le site d'adsorption au sein d'un grain d'adsorbant	8
<b>Figure 1.3:</b> Classification des isothermes	11
<b>Figure II.1:</b> les différentes étapes de la préparation de l'adsorbant	16
<b>Figure II.2 :</b> Représentation graphique de la courbe d'étalonnage de VG ( $\lambda_{\max} = 590 \text{ nm}$ )	18
<b>Figure II.3:</b> Effet de la masse sur l'adsorption du VG par l'écorce d'eucalyptus ( $V = 50 \text{ ml}$ , $C_0 = 30 \text{ mg. L}^{-1}$ , $T = 25^\circ\text{C}$ , $\text{pH} = 6,5$ )	19
<b>Figure II.4:</b> L'effet de du temps de la fixation du violet de gentiane par l'écorce d'eucalyptus ( $V=50 \text{ ml}$ , $C_0 = 30 \text{ mg}$ , $T = 25^\circ\text{C}$ , $m = 15 \text{ mg}$ , $\text{pH} = 6.5$ )	20
<b>Figure II.5:</b> L'effet du PH de la solution sur l'adsorption du VG par l'écorce d'eucalyptus ( $V = 50 \text{ ml}$ , $C_0 = 30 \text{ mg}$ , $T = 25^\circ\text{C}$ , $m = 15 \text{ mg}$ , $t=30\text{min}$ )	22
<b>Figure II.6:</b> Effet de la température de la solution sur la quantité de VG adsorbée par l'écorce d'eucalyptus ( $V = 50 \text{ ml}$ , $C_0 = 30 \text{ mg. L}^{-1}$ , $\text{pH} = 6,5$ , $m = 15 \text{ mg}$ )	23
<b>Figure II.7 :</b> Isotherme d'adsorption de VG par l'écorce d'eucalyptus ( $V = 50 \text{ ml}$ , $T = 25^\circ\text{C}$ , $\text{pH} = 6,5$ , $m = 15 \text{ mg}$ )	24
<b>Figure II.8 :</b> Présentation graphique de l'équation de pseudo-premier-ordre	25
<b>Figure II.9 :</b> Présentation graphique de l'équation de pseudo-second-ordre	25
<b>Figure II.10 :</b> Présentation graphique de l'équation de diffusion intra- particulaire	26

<b>Figure II.11</b> : Modélisation par l'équation de Langmuir de l'isotherme d'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus	28
<b>Figure II.12</b> : Modélisation par l'équation de Freundlich de l'isotherme d'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus	29
<b>Figure II.13</b> : Modélisation par l'équation de Temkin de l'isotherme d'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus	29
<b>Figure II.14</b> : Effet de la température sur la constante de distribution du phénomène d'adsorption de VG par l'écorce d'eucalyptus	32

## *Liste des Tableaux*

<b>Tableau I.1</b> : Résumé ces deux modes de classification des colorants	5
<b>Tableau I.2</b> : Les propriétés physique /chimique	6
<b>Tableau II.1</b> : Produits et matériels	15
<b>Tableau II.2</b> : Caractéristiques de la régression linéaire de VG	18
<b>Tableau II.3</b> : Valeurs des constants et des coefficients de corrélation des différents modèles cinétiques	26
<b>Tableau II.4</b> : Constantes des modèles des isothermes calculées pour l'adsorption de VG sur l'écorce d'eucalyptus	29
<b>Tableau II. 5</b> : Valeurs du facteur de séparation $R_L$	30
<b>Tableau II.6</b> : Paramètres thermodynamiques de l'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus	31

## Liste des Abréviations

$A_{\text{abs}}$ : Absorbance	
$b_T$ : Constante de l'isotherme de Temkin liée à la chaleur d'adsorption	$\text{J.mol}^{-1}$
$C$ : Epaisseur de la couche limite	
$C_e$ : Concentration en adsorbat dans la solution à l'équilibre	$\text{mg.L}^{-1}$
$C_0$ : Concentration initiale de l'adsorbat	$\text{mg. L}^{-1}$
DIP : Diffusion intra-particulaire	
$K_d$ : Constante de distribution	$\text{L.g}^{-1}$
$K_F$ : Constante de Freundlich	$\text{L. g}^{-1}$
$K_{\text{id}}$ : Constante de la vitesse de diffusion intra-particulaire	$\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{1/2}$
$K_L$ : Constante de Langmuir	$\text{L.mg}^{-1}$
$K_T$ : Constante de l'isotherme de Temkin correspondant à l'équilibre des liaisons	
$k_1$ : Constante cinétique du premier ordre de la réaction d'adsorption	$\text{min}^{-1}$
$k_2$ : Constante cinétique du deuxième ordre de la réaction d'adsorption	$\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$
$m$ : Masse de l'adsorbant	$\text{g}$
PPO : Pseudo-premier ordre	
PSO : Pseudo-second ordre	
$q_e$ : Quantité d'adsorbât à l'équilibre, par gramme d'adsorbant	$\text{mg.g}^{-1}$
$q_m$ : Capacité d'adsorption maximale	$\text{mg.g}^{-1}$
$q_t$ : Quantité de soluté adsorbée à l'instant 't'	$\text{mg.g}^{-1}$
$R$ : Constante des gaz parfaits	$\text{J.mol}^{-1} . \text{K}^{-1}$
$R_L$ : Facteur de séparation de Langmuir	
$R^2$ : Coefficient de corrélation des régressions linéaires	
$T$ : Température absolue	$\text{K}$
$V$ : Volume de la solution	$\text{L}$
VG : Violet de gentiane	
$1/n$ : Facteur d'hétérogénéité	
$\Delta G^\circ$ : Variation de l'enthalpie libre standard	$\text{J.mol}^{-1}$
$\Delta H^\circ$ : Variation de l'enthalpie standard	$\text{J.mol}^{-1}$
$\Delta S^\circ$ : Variation de l'entropie standard	$\text{J.mol}^{-1} . \text{K}^{-1}$

# Introduction générale

**Quand l'eau est propre la vie prospère.**

يقول الله سبحانه وتعالى في كتابه الكريم "وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"

(الاية 30 من سورة الانبياء)

L'eau est considérée comme l'une des ressources naturelles les plus précieuses, mais elle subit une pression croissante en raison des activités humaines. Les colorants figurent parmi les polluants majeurs contribuant à la dégradation des ressources en eau. Ils proviennent de diverses sources telles que les industries du textile, des cosmétiques, des produits pharmaceutiques, du papier, du plastique et de la pâte à papier [1].

Les colorants possèdent une structure moléculaire complexe qui les rend stables, toxiques, cancérigènes et mutagènes, en particulier ceux utilisés dans le domaine textile. Ces derniers sont souvent rejetés dans les eaux usées industrielles, provoquant ainsi de graves problèmes environnementaux, tels que la formation d'amines aromatiques dangereuses en conditions anaérobies [2], Par conséquent, l'élimination des colorants des eaux usées est essentielle pour la protection de la santé humaine et la préservation des ressources environnementales [3]. Une large gamme de techniques a été développée pour traiter les polluants colorés, incluant des stratégies physiques, chimiques et biologiques telles que la flottation, l'osmose inverse, la coagulation/floculation [4], les procédés électrochimiques, les traitements par ultrasons, le traitement biologique [5], la photodégradation [6], et l'adsorption [7].

La technique de l'adsorption est la méthode la plus fiable pour l'élimination des colorants. Elle est devenue une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation. Il existe, dans la littérature, plusieurs matériaux solides (argiles, zéolites, alumines activées, biomasses, résidus agricoles, sous-produits industriels et charbon actif...) pouvant être utilisés dans des procédés de décoloration des eaux.

Notre étude vise à développer une méthode simple, efficace et peu coûteuse pour éliminer le violet de gentiane (colorant cationique) des eaux usées, en utilisant l'écorce d'eucalyptus, une biomasse naturelle abondante en Algérie. Ce matériau possède de bonnes propriétés adsorbantes, une grande disponibilité locale et représente une alternative écologique aux adsorbants classiques. Dans ce travail, nous avons pour objectif d'évaluer les performances de ce biosorbant à travers l'étude de plusieurs paramètres expérimentaux : le pH, la quantité d'adsorbant, le temps de contact et la température. Les résultats obtenus permettront de proposer une solution durable au traitement des eaux colorées.

Ce mémoire est structuré comme suit :

Une partie bibliographique consacrée à l'écorce d'eucalyptus, au violet de gentiane, et au phénomène d'adsorption.

Une partie expérimentale décrivant le protocole utilisé, les matériaux, ainsi que l'analyse des résultats.

Et on fin une conclusion générale.

# Chapitre I

## Partie Bibliographique

## **I.1. Adsorbants :**

Adsorbants En théorie, tous les solides possèdent des propriétés adsorbantes, mais seuls ceux ayant une surface spécifique suffisamment importante (surface par unité de masse) présentent un intérêt pratique. Les adsorbants utilisés à l'échelle industrielle affichent généralement des surfaces spécifiques supérieures à  $100 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ , pouvant même atteindre plusieurs milliers de  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ . D'après la classification de l'IUPAC, les adsorbants se répartissent en deux catégories principales : les microporeux (taille des pores inférieure à 2 nm) et les mésoporeux (taille comprise entre 2 et 50 nm). Parmi les adsorbants les plus couramment employés dans l'industrie figurent les charbons actifs, les zéolites, les gels de silice et les alumines activées. Les zéolites se distinguent des autres types d'adsorbants par leur structure cristalline, qui engendre des micropores réguliers et de taille uniforme, d'où leur appellation "tamis moléculaires". [8]

### **I.1.1. Introduction sur les biosorbants :**

La biosorption est une technique moderne qui utilise des matériaux biologiques ayant une capacité efficace à absorber les polluants. Cette méthode est considérée comme une alternative potentielle aux méthodes conventionnelles coûteuses utilisées pour le traitement des eaux usées contenant des métaux lourds et des colorants. Cette technique a prouvé son efficacité dans l'élimination des polluants organiques et des métaux lourds des effluents, en utilisant des matériaux naturels tels que les déchets agricoles. [9]

### **I.1.2. Définition et origines des biosorbants :**

Les biosorbants sont des structures organiques principalement constituées de polysaccharides, également appelés hydrates de carbone. Ces polymères comprennent une variété de substances telles que la cellulose, les hémicelluloses, la lignine, les tanins, les pectines, etc. Ces matériaux sont généralement disponibles dans les exploitations agricoles et les installations industrielles, notamment dans les secteurs de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la pêche. [10]

L'utilisation de ces sous-produits vise à en valoriser l'usage et à prévenir d'éventuelles conséquences néfastes pour l'environnement et la santé humaine. En ce qui concerne le processus de biosorption des cations métalliques et des colorants, les matériaux. [9]

## **I.2. Les colorants :**

### **I.2.1. Définition des colorants :**

Les colorants sont des substances qui confèrent une coloration à un support en s'y fixant durablement. Cette aptitude dépend essentiellement de la structure et de la composition chimique de la substance en question. Un colorant est, en réalité, un composé dit « chromogène » capable d'absorber la lumière visible (400 à 800 nm). Tout en réfléchissant les couleurs complémentaires à celles absorbées. Ce phénomène provient de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes connus sous le nom de « chromophores ». La structure chimique joue un rôle essentiel dans les propriétés colorantes des composés organiques. En général, les colorants sont constitués de composés organiques insaturés et/ou aromatiques. Une molécule typique de colorant comporte généralement trois éléments : le chromophore, le groupe auxochrome et le groupe solubilisant. Le chromophore est la partie de la molécule responsable de sa couleur. Le groupe auxochrome module l'intensité de cette coloration tout en assurant une fixation efficace du colorant sur le support. Enfin, le groupe solubilisant améliore la solubilité du colorant, permettant ainsi son application en milieu aqueux. [10] ; [11]

### **I.2.2. Types des colorants :**

#### **I.2.2.1. Les colorants synthétiques :**

Les colorants synthétiques sont obtenus à partir de composés dont les matières premières incluent des molécules comme le benzène, dérivé de la distillation de la houille. Grâce à une série de procédés chimiques, ces matières premières subissent généralement la substitution d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène par des éléments ou des radicaux spécifiques. Ces transformations permettent de produire des intermédiaires, qui seront ensuite utilisés pour fabriquer le colorant final. [11]

#### **I.2.2.2. Les colorants naturels :**

Les colorants naturels proviennent d'éléments issus de la nature et sont obtenus grâce à des procédés simples, tels que le chauffage ou le broyage. Au sein de cette large gamme de colorants naturels, on peut distinguer deux grandes catégories : les colorants nécessitant un mordant et les colorants de cuve. [12]

### **I.2.3. Classification des colorants : [12]**

De manière générale, les colorants sont classés selon deux critères principaux :

- ✓ Classification chimique basée sur la structure chimique du colorant (groupe chromophore).

✓ Classification selon l'utilisation qui repose sur le mode d'application de la couleur (groupe auxochrome).

**Le tableau I.1. Résumé ces deux modes de classification des colorants :**

Classification chimique	Classification tinctoriale
Anthra-quinoniques	Acides / basiques
Indigoïdes	Directs
Xanthènes	A mordants
Phtalocyanines	Réactifs
Nitrés et nitrosés	Dispersés

#### **I.2.4. Application des colorants :**

L'objectif de la coloration est d'embellir l'aspect visuel des produits commercialisés. Les colorants trouvent leur utilité dans de multiples domaines, tels que :

- L'industrie textile
- L'industrie de matières plastiques
- L'imprimerie (encre, papier)
- L'industrie des cosmétiques et l'industrie agroalimentaire
- Diverses industries, utilisées pour des carburants et des huiles
- L'industrie pharmaceutique (colorants)
- L'industrie du bâtiment [11]

#### **I.2.5. Toxicité des colorants :**

La toxicité des colorants découle de leur structure chimique et du contexte de leur utilisation. Des études révèlent que les colorants azoïques présentent des effets toxiques ou cancérigènes, exigeant un traitement des effluents avant leur rejet dans l'environnement. Cette toxicité est liée à des groupes cancérigènes comme les aromatiques, phtalocyanines, cyanures, baryum et sel de plomb, qui endommagent l'ADN et l'ARN, entraînant mutations et risques de cancer. [13]

### I.3. Violet de gentiane :

Les colorants sont souvent utilisés comme alternatives moins coûteuses aux colorants naturels. Cependant, ils présentent de sérieux risques environnementaux, car ce sont des polluants toxiques et difficiles à éliminer en raison de leur structure chimique complexe [14], parmi ces colorants on trouve le violet de gentiane.

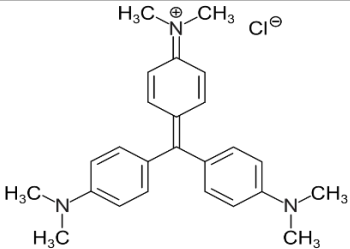
#### I.3.1 Définition du violet de gentiane :

Le violet de gentiane est un colorant cationique synthétique appartenant à la famille des triphénylméthanes, il confère une affinité élevée pour les membranes cellulaires chargées négativement, facilitant ainsi son adsorption à leur surface. [15]

#### I.3.2. Propriétés physico- chimiques de violet de gentiane :

Le colorant basique violet de gentiane (VG), est couramment utilisé comme molécule modèle afin d'évaluer les performances d'adsorption des matériaux adsorbants vis-à-vis des polluants organiques. Le tableau I.2 représente la représentation des propriétés physico- chimiques de violet de gentiane.

Tableau I.2. Les propriétés physique /chimique [8] :

Nom chimique	Crystal violet
Formule chimique	$C_{25}H_{30}N_3Cl$
Solubilité dans l'eau	16 L .g <sup>-1</sup> (25C°)
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	407, 99
structure	
Synonymes	Violet de Gentiane, Aniline Violet Methylrosaniline Chloride
La densité	1.19 g.cm <sup>-3</sup> (20C°)
T° de fusion	205 C° (décomposition)

## I.4. Adsorption:

### I.4.1. Définition de l'adsorption :

L'adsorption est un phénomène de surface dans lequel des molécules de gaz ou de liquide se fixent sur les surfaces solides, Le solide est appelé adsorbant et le composé liquide qui subit l'adsorption est appelé soluté ou adsorbat. L'adsorption est un processus spontané qui se produit pour diminuer la tension superficielle d'une surface .Le phénomène inverse par lequel la molécule se détachent est appelé désorption [16].

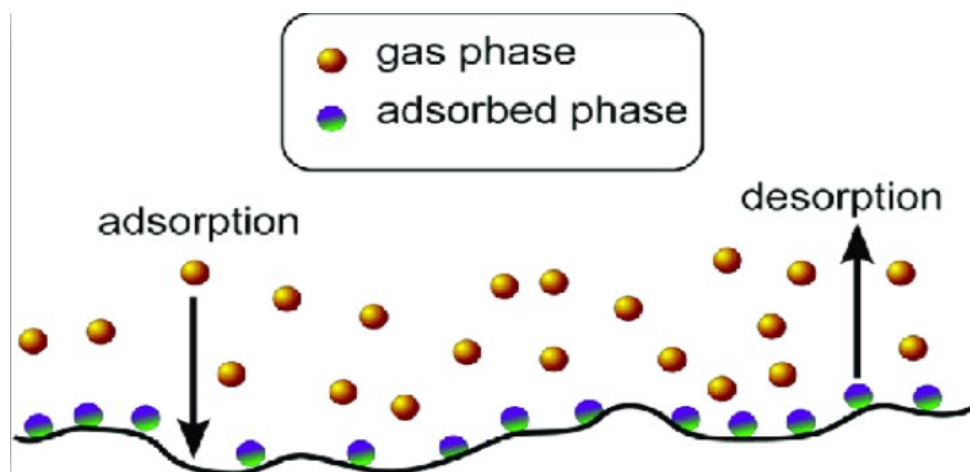


Figure I.1: phénomène d'adsorption et désorption

### I.4.2. Types d'adsorption :

L'efficacité de l'adsorption d'un adsorbat sur un adsorbant dépend de plusieurs facteurs essentiels, tels que le type de l'adsorbant, la durée du contact entre les deux phases, les caractéristiques et la concentration de l'adsorbat, ainsi que la température du milieu au cours du processus. En fonction de ces paramètres, on distingue deux formes principales d'adsorption : l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

#### I.4.2.1. L'adsorption physique ou physisorption :

Ce type d'adsorption résulte de l'établissement d'un échange de forces de faible énergie entre la surface d'un solide et des molécules à proximité de cette surface. Dans ce cas, la rétention est le résultat des liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals. Elle se produit aux basses températures avec des énergies de l'ordre de 10 Kcal/mol au maximum et correspond à un processus réversible. [17]

#### I.4.2.2. L'adsorption chimique, ou chimisorption :

La chimisorption est un processus lent et irréversible qui se produit à la surface de l'adsorbant. Les molécules adsorbées se fixent sur des sites spécifiques en formant des

liaisons chimiques fortes avec la surface. Ce type d'adsorption entraîne une modification importante de la distribution électronique dans la molécule adsorbée. Les forces impliquées sont similaires à celles des liaisons covalentes classiques. L'énergie d'adsorption est plus élevée, généralement comprise entre 20 et 100 kcal/mol. La désorption (libération des molécules) est donc difficile. En raison de la nature des liaisons chimiques, l'adsorption chimique se limite à une seule couche de molécules (monocouche), ce qui empêche la formation de multicouches. [18]

### I.4.3. Mécanisme d'adsorption :

Le transfert de masse des molécules se fait de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant, ce phénomène se déroule au sein d'un grain d'adsorbant en plusieurs étapes, qu'on peut définir comme suit :

- Diffusion externe, Transfert de masse externe elle correspond au transfert du soluté au sein de la solution à la surface externe de l'adsorbant.
- Diffusion interne (Transfert de masse interne), la molécule du liquide pénètre à l'intérieur des pores, la diffusion est déterminée par le gradient de concentration du soluté.
- Diffusion de surface pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant. Cette étape est considérée comme extrêmement rapide en cas des gaz, et lente en cas des liquides.
- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs une fois adsorbée la molécule est considérée comme immobile [19].

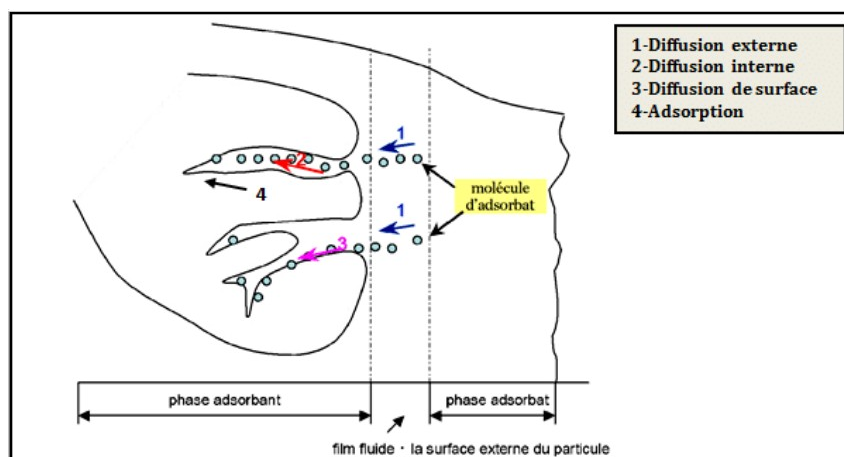


Figure I.2 : Mécanisme du transfert d'un adsorbat vers le site d'adsorption au sein d'un grain d'adsorbant

#### **I.4.4. Paramétrer influençant sur l'adsorption :**

L'équilibre d'adsorption dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- **La surface spécifique :**

La surface spécifique constitue un paramètre clé dans l'analyse des solides et des matériaux poreux. En effet, l'objectif principal est d'optimiser les adsorbants en leur conférant une surface spécifique élevée. Cette caractéristique correspond à la surface accessible par unité de masse de l'adsorbant [20].

- **La température :**

Les processus d'adsorption qui ne sont pas associés à des réactions chimiques s'accompagnent systématiquement d'un dégagement de chaleur (exothermique). Ainsi, une élévation de la température tend à privilégier le phénomène de désorption. En revanche, dans le cas d'une adsorption activée (chimisorption), l'équilibre d'adsorption s'installe plus lentement, et une augmentation de la température favorise alors l'adsorption [20].

- **Le PH :**

Le pH détermine le degré d'ionisation des métaux dans l'eau et par conséquent leurs mobilités qui influent sur leur adsorption [20].

#### **I.4.5. Cinétique d'adsorption :**

La littérature existante sur le sujet se concentre principalement sur la sorption à l'interface liquide/solide, où la réaction se déroule de manière localisée dans les pores des matériaux impliqués (comme les adsorbants, échangeurs d'ions ou catalyseurs). D'un point de vue cinétique, ce processus se décompose en trois étapes principales, si l'on exclut le transport du soluté à travers la solution lorsque le système est agité :

- Diffusion externe: le passage du soluté à travers le film entourant les particules solides d'adsorbant.
- Diffusion intra-particulaire: la migration du soluté dans les pores de l'adsorbant.
- Réaction de surface : l'acte d'adsorption ou de désorption à proprement parler [20].

##### **I.4.5.1. Modèle de Pseudo-Premier Ordre :**

L'équation de pseudo-premier ordre ou équation cinétique de **Lagergren** est basée sur la supposition que le taux de rétention d'un soluté, au cours du temps, est proportionnel à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre et celle à un instant  $t$ , soit:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 \cdot t \quad \text{Equation I. 1}$$

$q_e$  : quantité adsorbée à l'équilibre ( $\text{mg.g}^{-1}$ )

$q_t$  : quantité adsorbée au temps  $t$  ( $\text{mg.g}^{-1}$ )

$k_1$  : constante de vitesse du pseudo-premier ordre ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$  : temps de contact (min)

#### I.4.5.2. Modèle de Pseudo-Second Ordre :

Ho et McKay ont représenté le modèle cinétique de pseudo-second ordre par l'équation :

$$\frac{1}{qt} = \frac{1}{qe} + K_2 \cdot t \quad q_t \quad \text{Equation I. 2}$$

$k_2$ : constante de vitesse de pseudo-second ordre ( $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ).

Ce modèle suggère que l'adsorption dépend du couple adsorbat-adsorbant. Il s'agit par ailleurs d'une physisorption [21].

#### I.4.5.3. Modèle de la diffusion intra-particulaire (Weber et Morris) :

Le modèle de diffusion intra-particulaire de Weber-Morris est représenté par l'équation suivante :

$$q_e = K_{id} \cdot t^{1/2} + C \quad \text{Equation I. 3}$$

Où :

$k_{id}$  : Constante de vitesse intra-particulaire ( $\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{1/2}$ ).

$C$  : Constante liée à l'épaisseur de la couche limite ( $\text{mg.g}^{-1}$ )

#### I.4.6. Isothermes :

Lorsqu'un adsorbant entre en contact avec un adsorbat, un équilibre thermodynamique s'établit entre les molécules fixées à la surface de l'adsorbant et celles présentes dans la phase fluide. L'isotherme d'équilibre d'adsorption représente une courbe spécifique, à une température donnée, illustrant la relation entre la quantité de molécules adsorbées par unité de masse de l'adsorbant et la concentration de l'adsorbat en phase fluide, exprimée sous la forme  $q_e = f(C_e)$ . La quantité adsorbée peut également être mesurée sous forme de pourcentage d'adsorption ( $R$ , en %), en appliquant l'équation suivante :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m \cdot V} \quad \text{Equation I. 4}$$

$$R(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0 \cdot 100} \quad \text{Equation I. 5}$$

Avec :

$q_e$  : Quantité d'adsorbat adsorbé par gramme d'adsorbant à l'équilibre ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )

R : Rendement d'adsorption (%)

$C_0$  : Concentration initiale de l'adsorbat dans la solution ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

$C_e$  : Concentration en adsorbat dans la solution à l'équilibre ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

V : Volume de la solution (L)

m : Masse de l'adsorbant (g) [22].

#### I.4.7. Classification des isothermes :

Selon la classification de Giles et al (Figure I.3), les isothermes d'adsorption sont divisées en quatre classes principales en fonction de la pente initiale.

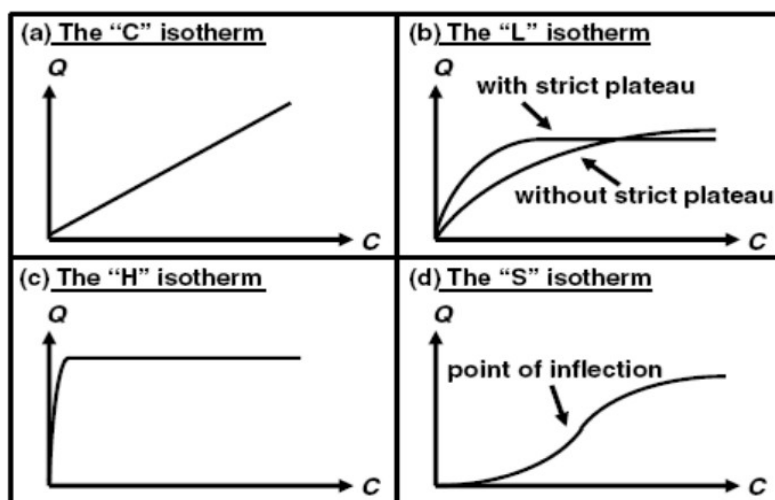


Figure I.3: Classification des isothermes

- **Type H, dite de « haute affinité » :**

Le type « H » est un cas particulier de le type « L », où la pente initiale est très élevée. C'est le cas quand le soluté exhibe une forte affinité pour le solide.

- **Type L, dite de « Langmuir » :**

Le type « L » correspondrait plutôt aux faibles concentrations en soluté dans l'eau. L'isotherme est de forme convexe, ce qui suggère une saturation progressive du solide. Quand  $C_e$  tend vers zéro, la pente de l'isotherme est constante.

- **Type S, dite « sigmoïdale » :**

Le type « S » présente un point d'inflexion révélateur d'au moins deux mécanismes d'adsorption. C'est le cas, par exemple, quand une première couche de soluté est d'abord

adsorbée puis quand l'adsorption d'une ou plusieurs couches supplémentaires devient favorisée.

- **Type C, dite de « partition constante » :**

Le type « C » est une droite passant par zéro ce qui signifie que le rapport  $Q_d/C_e$  (appelé coefficient de distribution  $K_d$ ) est constant. C'est souvent le cas de l'adsorption sur les argiles [23].

#### **I.4.8. Modélisation mathématique des isothermes d'adsorption : [24]**

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption, et de nombreux modèles sont développés pour caractériser les processus impliqués. L'approche la plus fréquemment employée consiste à mesurer les isothermes d'adsorption représentant le partage à l'équilibre d'un soluté entre le solvant et la phase adsorbante. Parmi les modèles les plus répondus, on distingue :

##### **I.4.8.1. Isotherme de Langmuir [25] :**

La théorie de l'isotherme de Langmuir suppose que l'adsorption est monocouche et a lieu aux sites homogènes spécifiques de l'adsorbant, l'isotherme est représentée par l'équation suivante :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot C_e} + \frac{1}{q_m \cdot K_L} \quad \text{Equation I. 6}$$

Avec :

$q_m$  : Capacité maximale d'adsorption de l'adsorbant ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

$K_L$  : Constante thermodynamique de l'équilibre d'adsorption ( $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$ ).

Pour savoir si l'adsorption est favorable, l'isotherme de Langmuir peut être exprimée en matière de facteur de séparation  $R_L$  défini par la relation suivante :

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L \cdot C_0)} \quad \text{Equation I. 7}$$

##### **I.4.8.2. Isotherme de Freundlich [24] :**

Le modèle simple et empirique de Freundlich, est le plus communément utilisé. Il s'applique à de nombreux cas, notamment l'adsorption multicouche avec possibilité

d'interaction entre les molécules adsorbées. La forme exploitée la plus courante est le tracé en échelle logarithmique des variations de  $q_e$  en fonction de  $C_e$  :

$$\mathbf{Ln\ } q_e = \mathbf{ln\ } K_F + \frac{1}{n \cdot \mathbf{ln} C_e} \quad \text{Equation I. 8}$$

$K_F$  : Constante de Freundlich ( $L \cdot g^{-1}$ ).

$1/n$  : Constante adimensionnelle donne une indication sur l'intensité de l'adsorption.

#### **I.4.8.3. Isotherme de Temkin [24] :**

La dérivation de l'isotherme de Temkin suppose que l'abaissement de la chaleur d'adsorption est linéaire plutôt que logarithmique, cette isotherme est généralement présentée par l'équation suivante :

$$\mathbf{q_e = B_T Ln\ } K_T + \mathbf{B_T Ln\ } C_e \quad \text{Equation I. 9}$$

Avec :

$$\mathbf{B_T = \frac{R}{bt}} \quad \text{Equation I. 10}$$

$B_T$  : Constante liée à la chaleur d'adsorption ( $J \cdot mol^{-1}$ ).

$K_T$  : Constante de l'isotherme de Temkin correspondant à l'équilibre des liaisons ( $L \cdot mg^{-1}$ ).

$R$  : Constante des gaz parfaits ( $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ).

$T$  : Température absolue (K).

$B_T$  : Constante de l'isotherme de Temkin liée à la chaleur d'adsorption ( $J \cdot mol^{-1}$ ).

#### **I.4.9. Thermodynamique d'adsorption [26] :**

Le processus d'adsorption est toujours accompagné d'un phénomène d'échange thermique qui peut être soit exothermique ou endothermique. Afin que le système soit complètement identifié à l'équilibre thermodynamique, les paramètres thermodynamiques tels que l'enthalpie libre standard  $\Delta G^\circ$ , l'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  et l'entropie standard  $\Delta S^\circ$  ont été déterminés en utilisant les équations suivantes :

$$\mathbf{K_d = \frac{q_e}{C_e}} \quad \text{Equation I. 11}$$

$$\mathbf{\Delta G^\circ = -RT \cdot \mathbf{Ln} K_d} \quad \text{Equation I. 12}$$

$$\mathbf{Ln\ } K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \text{Equation I. 13}$$

Avec :

$K_d$  : Constante de distribution ( $L \cdot g^{-1}$ ).

$\Delta G^\circ$  : Variation de l'enthalpie libre standard ( $J \cdot mol^{-1}$ ).

$\Delta H^\circ$  : Variation de l'enthalpie standard ( $J \cdot mol^{-1}$ ).

$\Delta S^\circ$  : Variation de l'entropie standard ( $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ )

# Chapitre II

## Partie Expérimentale

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de PFE du département de génie des procédés à l'université Amar Telidji de Laghouat. L'objectif de cette étude était d'éliminer le colorant violet de gentiane d'une solution aqueuse en utilisant l'écorce d'eucalyptus comme matériau adsorbant naturel et d'optimiser les conditions opérationnelles.

### **II.1. Produits et Matériels:**

Les produits et les matériels utilisés pour réaliser ce travail sont regroupés dans le tableau suivant : **Tableaux II.1 : Produits et matériels :**

<b>Produits</b>	<b>Matériels</b>
- L'écorce d'eucalyptus	- Etuve
-Violet de gentiane	- Agitateur
-Hydroxyde de sodium NaOH	- Centrifugeuse
-Acide chlorhydrique HCl	- UV-visible
-Eau distillée	- pH mètre
	- Verrerie courante de laboratoire

### **II.2. Préparation des réactifs :**

#### **II.2.1 Adsorbant utilisé :**

L'écorce d'eucalyptus utilisée dans ce travail a été obtenue à partir des arbres situés dans les rues de Laghouat. Nous l'avons d'abord découpée, puis bien lavé par de l'eau distillée, et ensuite séché par une étuve à une température de 80 degrés pendant 12 heures. Par la suite, il est broyé et tamisé pour obtenir un diamètre de 80  $\mu\text{m}$ .

Cette figure II.1 représente un schéma du processus de préparation de l'adsorbant (matière adsorbante). Ces étapes visent à préparer l'adsorbant (comme l'écorce d'eucalyptus) de manière appropriée pour son utilisation dans le processus d'adsorption, afin de le rendre dans un état optimal pour exercer sa fonction d'adsorption des substances à éliminer comme (violet de gentiane).

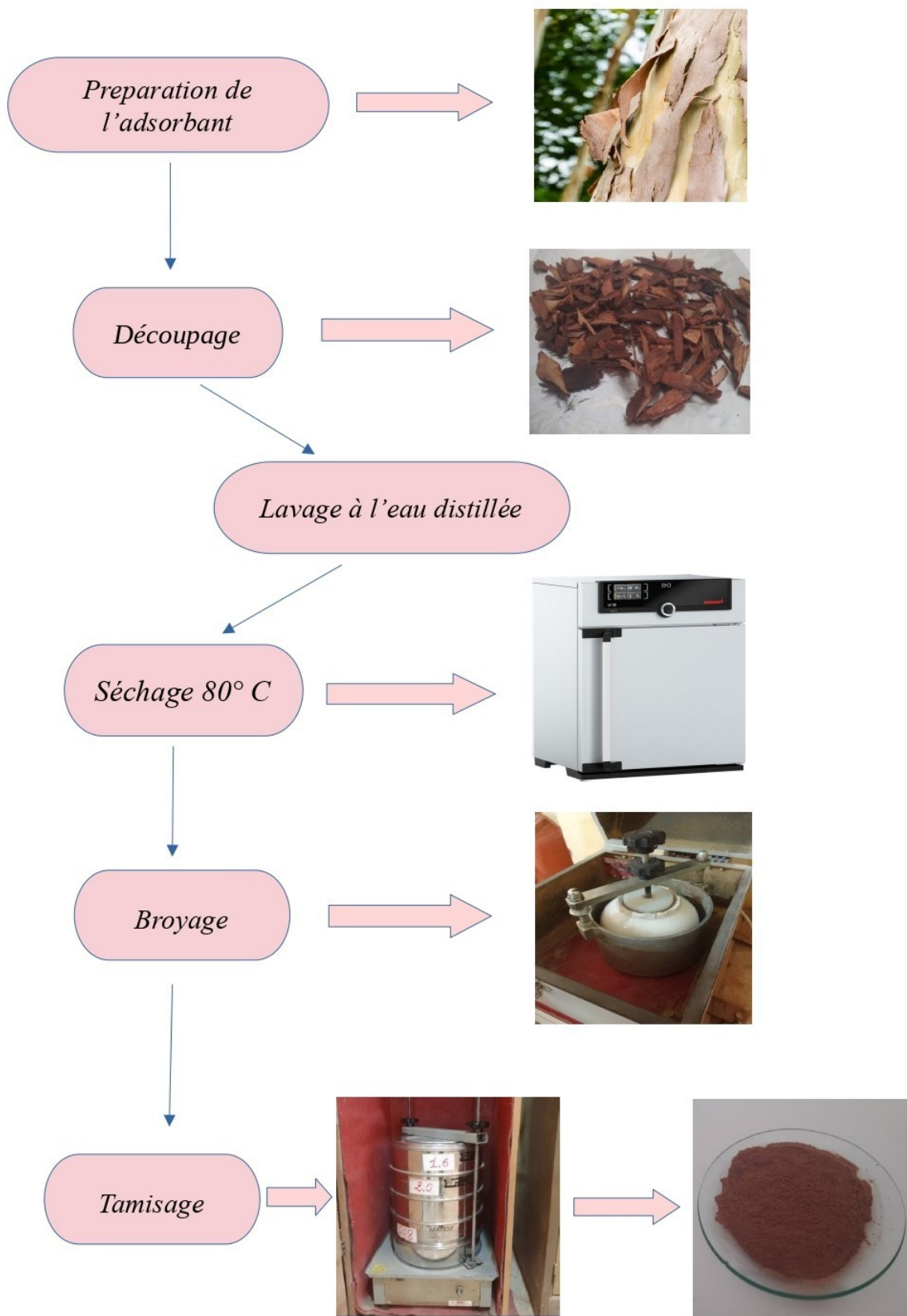


Figure II.1 : les différentes étapes de la préparation de l'adsorbant

### **II.2.2. Préparation des solutions de VG :**

Une solution mère a été préparée en dissolvant 0,1 g de violet de gentiane dans 100 ml d'eau distillée. Cette solution a ensuite été diluée pour obtenir des solutions filles présentant différentes concentrations.

### **II.3. Analyse par spectrophotométrie d'absorption UV-Visible :**

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative utilisée pour mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique en solution. Cette absorption est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre, préalablement calibré sur la longueur d'onde d'absorption spécifique de la substance étudiée.

Nous avons utilisé un spectrophotomètre UV-Visible pour déterminer quantitativement la concentration des espèces absorbantes dans ce domaine spectral, en utilisant la loi de Beer-Lambert qui établit une relation entre l'absorbance, l'épaisseur de l'échantillon et la concentration des espèces absorbantes selon la relation suivante :

$$A = \epsilon \cdot l \cdot C = \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

A : Absorbance ou densité optique

C : Concentration massique du composé dosé ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

I,  $I_0$  : Intensités du faisceau émergent et incident respectivement

$\epsilon$  : Coefficient d'extinction moléculaire ( $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

l : épaisseur de la cuve

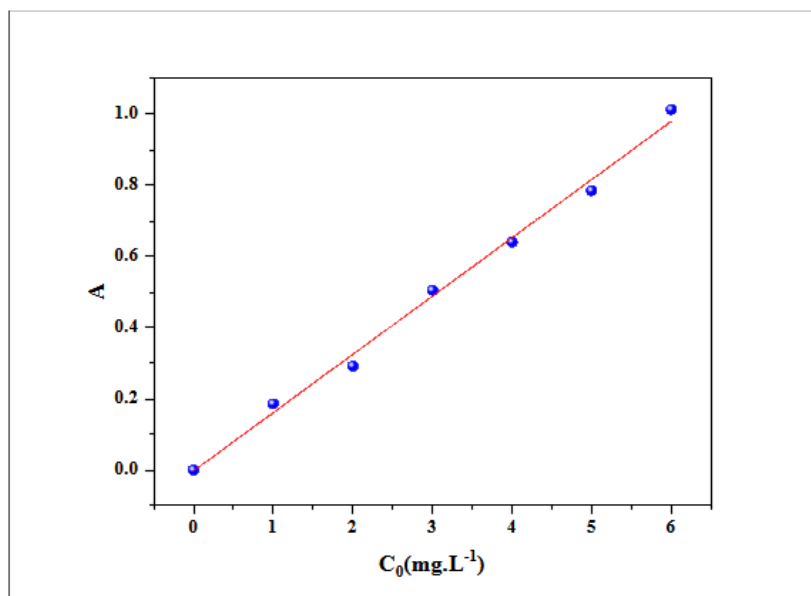
#### **II.3.1. Détermination de la longueur d'onde maximale ( $\lambda_{\text{max}}$ ) :**

La détermination de la longueur d'onde maximale ( $\lambda_{\text{max}}$ ) est une étape essentielle dans l'analyse spectrophotométrique, car elle permet d'identifier le point d'absorption maximale d'un composé. Cette valeur est cruciale pour effectuer des mesures précises de concentration. Dans le cas du violet de cristal, un colorant largement utilisé dans les études d'adsorption, la longueur d'onde maximale d'absorption a été déterminée à environ 590 nm. Cette valeur a été utilisée pour toute la mesure spectrophotométrique dans cette étude.

#### **II.4. Etablissement de la courbe d'étalonnage :**

Nous avons établi la courbe d'étalonnage du colorant utilisé afin d'identifier la plage de concentrations respectant la loi de Beer-Lambert. Pour ce faire, des mesures ont été réalisées à partir de solutions obtenues par dilution, couvrant un intervalle de concentrations allant de  $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  à  $6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . La courbe d'étalonnage (Figure II.2) a permis de mettre en évidence

la relation entre la concentration du colorant et l'absorbance de la lumière, ce qui a permis de définir le domaine de linéarité. Cette démarche permettra par la suite une analyse précise des échantillons dont la concentration est inconnue.



**Figure II.2: Représentation graphique de la courbe d'étalonnage de VG ( $\lambda_{\max} = 590 \text{ nm}$ )**

D'après la figure ci-dessus, la courbe d'étalonnage est représentée par une droite présentant un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,994$ . Cette droite témoigne d'une linéarité conforme, indiquant que la loi de Beer-Lambert est vérifiée. Les paramètres de la régression linéaire reliant l'absorbance à la concentration sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau II.2: Caractéristiques de la régression linéaire de VG :**

Composé	Equation	Coefficient de corrélation $R^2$
violet de gentiane	$Y = 0.164x - 0.0025$	0,994

## II.5. Protocoles expérimentaux :

### II.5.1. Processus d'adsorption :

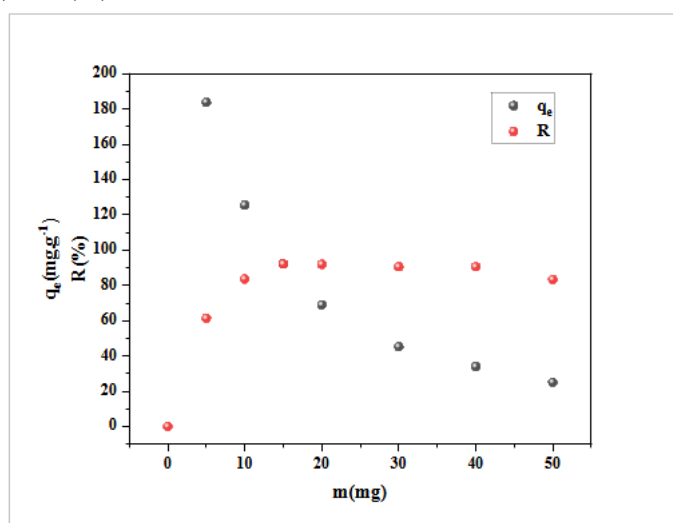
L'adsorption du violet sur l'écorce d'eucalyptus a été étudiée dans une réaction discontinue au sein d'un système batch. Ce système comprenait une quantité d'écorce d'eucalyptus et 50 ml d'une solution de colorant à une concentration initiale de  $30 \text{ mg.L}^{-1}$ , soumise à une agitation continue par un agitateur. Différents prélèvements sont effectués et la

séparation des phases a été réalisée par centrifugation pendant 5 minutes à  $3000 \text{ tr. min}^{-1}$ , suivie de l'analyse du filtrat par spectrophotométrie UV-visible.

### II.5.2. Effet de la masse :

Pour évaluer l'influence de la quantité d'écorce d'eucalyptus sur l'adsorption de la violette gentiane (VG), différentes quantités d'écorce, comprises entre 5 mg à 50 mg, ont été ajoutées à des solutions de VG ayant une concentration de  $30 \text{ mg.L}^{-1}$ . Les expériences ont été réalisées à température ambiante, en maintenant le pH naturel de la solution.

La Figure II.3 représente la quantité adsorbée et le rendement en fonction de la masse d'écorce d'eucalyptus  $q_e, R (\%) = f(m)$  :



**Figure II.3 : Effet de la masse sur l'adsorption du VG par l'écorce d'eucalyptus ( $V = 50 \text{ ml}, C_0 = 30 \text{ mg. L}^{-1}, T = 25^\circ\text{C}, \text{pH} = 6,5$ )**

D'après le graphique :

On peut voir sur la Figure II.3 que le taux d'élimination du (VG) sur l'écorce d'eucalyptus augmente avec l'augmentation de la masse d'adsorbant. Cette amélioration de rendement peut être attribuée à l'augmentation de la superficie et à la disponibilité d'un plus grand nombre de sites d'adsorption.

Le rendement d'adsorption augmente, mais seulement jusqu'à une certaine limite, soit environ 15 mg et se stabilise à partir d'une certaine masse d'adsorbant.

D'autre part, la lecture de la Figure ci-dessus montre une diminution de la capacité d'adsorption lorsque la masse d'adsorbant introduite augmente, cette diminution s'explique par la réduction de la surface effective.

L'ajout d'adsorbant permet d'augmenter le nombre de sites d'adsorption mais les cations du colorant ont plus de difficultés à approcher ces sites à cause de l'encombrement. Par

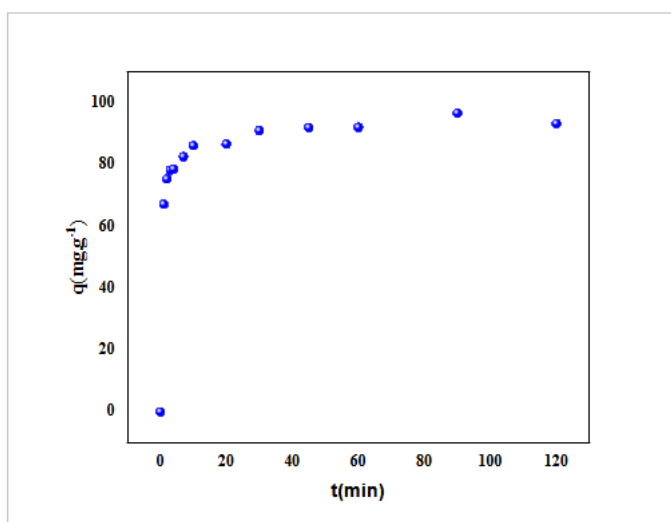
ailleurs, Van'tHoff et Andreus [27] expliquent ce phénomène par une diminution de la diffusion moléculaire du soluté quand la dose d'adsorbant augmente.

En résumé, il existe une masse optimale d'adsorbant, dans ce cas autour de 15 mg, au-delà de laquelle l'efficacité de l'adsorption n'évolue plus favorablement et peut même reculer légèrement [28].

### II.5.3. Effet du temps de contact :

L'étude de l'influence du temps de contact sur l'adsorption du (VG) sur l'écorce d'eucalyptus, est une étape très importante car elle permet de déterminer la durée nécessaire pour atteindre l'équilibre, il s'agit du temps à partir duquel la concentration du soluté (VG) dans la solution ne varie plus.

Pour cela nous avons suivi les cinétiques d'adsorption de violet de gentiane à température ambiante de 25°C, un volume de 50 ml de solution contenant le polluant (VG) de concentration 30 mg.L<sup>-1</sup>, a été mise en contact avec 15 mg de biosorbant dans un flacon, pendant des durées allant de 1 min à 120 min d'agitation, Un agitateur magnétique permet d'assurer un bon contact des mélanges, La lecture est faite par spectrophotométrie ultraviolet /visible. L'effet du temps de la fixation du violet de gentiane par l'écorce d'eucalyptus est représenté sur la figure II.4.



**Figure II.4 : L'effet de du temps de la fixation du violet de gentiane par l'écorce d'eucalyptus (V=50 ml, C<sub>0</sub> = 30 mg, T= 25°C, m = 15 mg, pH =6.5)**

Il est clair que la quantité du violet de gentiane adsorbée sur l'écorce d'eucalyptus augmente avec l'augmentation du temps de contact et d'après l'allure de la courbe on remarque trois phases importantes du processus d'adsorption :

- Dans la première phase, la vitesse d'adsorption du (VG) est rapide dans les 15 premières minutes ;
- Dans la deuxième phase, la vitesse de l'adsorption commence à ralentir ;
- Dans la troisième phase, l'équilibre est atteint après environ 30 min, enfin se stabiliser autour de  $90 \text{ mg g}^{-1}$ .

Cette rapidité initiale s'explique par l'abondance des sites actifs disponibles à la surface de l'écorce d'eucalyptus ainsi que par le transfert de masse externe. Ensuite, une seconde phase plus lente intervient, liée à la diffusion intra-particulaire dans les pores du biosorbant et à la saturation progressive de sa surface, ce qui ralentit l'adsorption jusqu'à atteindre une efficacité maximale, ce type d'adsorption a également été observé dans d'autres études [29] [30].

#### II.5.4. Effet du pH :

Le pH représente un facteur déterminant les mécanismes d'adsorption, car il influence la forme chimique des molécules adsorbées ainsi que la charge de la surface l'adsorbant [23]. Plusieurs études ont montré que le pH joue un rôle important dans l'adsorption des composés organiques cationiques et anioniques [31] [32]. L'effet du pH sur l'adsorption du Violet de Gentiane (VG) a été étudié à une concentration initiale de  $30 \text{ mg.L}^{-1}$ , en présence de 15 mg de l'écorce d'eucalyptus, le pH a été ajusté entre 2 et 10 à l'aide de l'hydroxyde de sodium (NaOH, 0.1 M) et l'acide chlorhydrique (HCl, 0.1 M), avec une agitation pendant 30 minutes. Les résultats sont illustrés dans la figure II.5 :

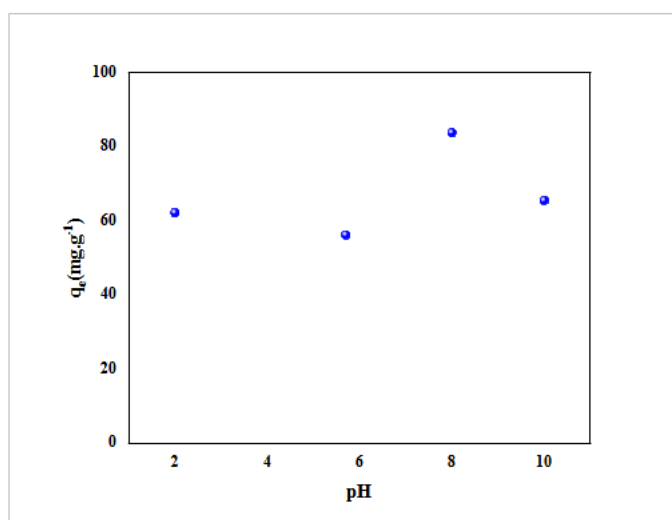
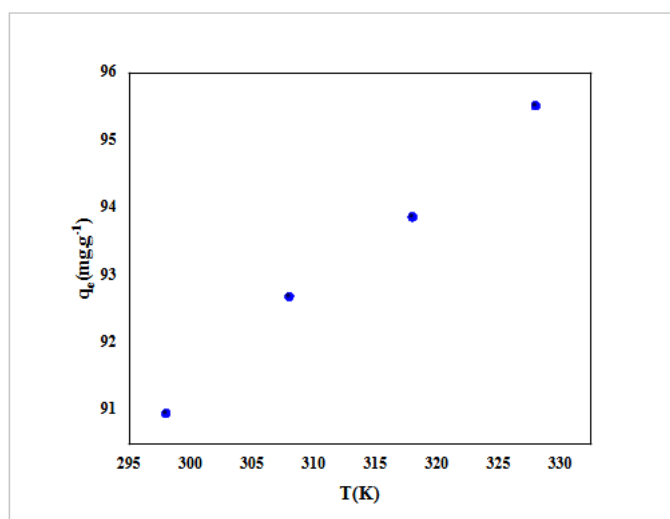


Figure II.5 : L'effet du pH de la solution sur l'adsorption du VG par l'écorce d'eucalyptus ( $V = 50 \text{ ml}$ ,  $C_0 = 30 \text{ mg}$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $m = 15 \text{ mg}$ ,  $t = 30 \text{ min}$  )

La figure montre que la quantité maximale d'adsorption est atteinte à un pH = 8, avec une quantité de 83 mg.g<sup>-1</sup>. Les résultats indiquent qu'un milieu acide (pH bas) entraîne une diminution significative de la quantité de colorant absorbée (VG), car les ions hydrogène (H<sup>+</sup>) sont présents en plus forte concentration, ce qui entraîne une compétition avec les cations colorants pour les sites d'adsorption à la surface de l'écorce d'eucalyptus. Cette compétition entrave la capacité des cations colorants à se lier, entraînant ainsi une diminution de leur quantité absorbée. En revanche, dans un milieu basique, la surface de l'écorce d'eucalyptus devient plus négativement chargée, ce qui favorise l'interaction entre les cations colorants et la surface du matériau adsorbant. L'augmentation de la charge négative à la surface facilite les interactions électrostatiques, ce qui conduit à une augmentation de la quantité de colorant absorbée (VG) [33]. Par conséquent, on peut conclure que le contrôle de la valeur du pH a un impact significatif sur l'efficacité de l'adsorption des colorants cationiques, soulignant ainsi l'importance de ces facteurs dans les applications pratiques liées au traitement des eaux et à l'élimination des colorants industriels.

#### **II.5.5. Effet de la température :**

L'analyse de l'influence de ce paramètre fournit des informations cruciales sur les mécanismes qui gouvernent l'adsorption du violet de gentiane sur l'écorce d'eucalyptus. L'effet de la température a été examiné dans une plage allant de 25 °C (298 °K) à 55 °C (328 °K). La figure présente l'évolution des quantités adsorbées en fonction de la température, représentée par  $q_e = f(T)$ .



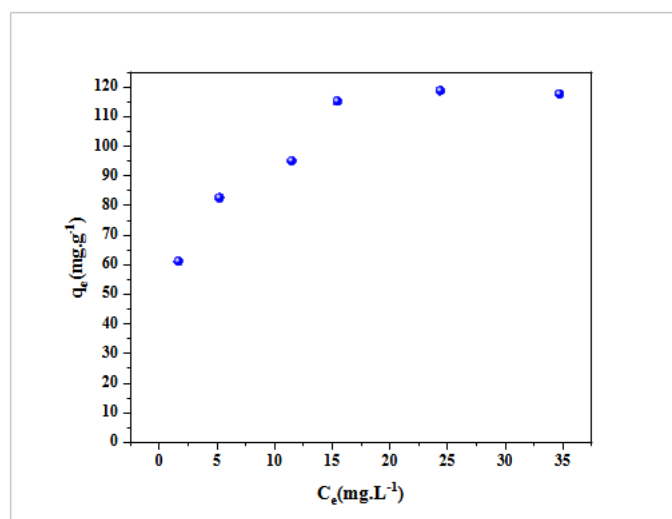
**Figure II.6 : Effet de la température de la solution sur la quantité de VG adsorbée par l'écorce d'eucalyptus (V = 50 ml, C<sub>0</sub> = 30 mg. L<sup>-1</sup>, pH= 6,5, m = 15 mg)**

Il est clair que lorsque la température augmente, la quantité de colorant adsorbée sur l'écorce augmente. Cette quantité atteint une valeur maximale à une température de 328 °K.

Cela indique que l'augmentation de la température favorise le processus d'adsorption du colorant de base sur l'écorce d'eucalyptus. Cela peut être dû à une meilleure mobilité et une meilleure diffusion des molécules de colorant dans la solution d'adsorption avec l'élévation de la température [34].

### II.5.6. Isothermes d'adsorption :

Les isothermes d'adsorption jouent un rôle crucial dans la conception et l'optimisation des processus d'adsorption. Elles permettent de représenter la relation d'équilibre entre la quantité d'adsorbant retenue et la concentration du soluté dans un solvant spécifique, le tout à une température constante. La figure ci-après montre l'évolution de la quantité adsorbée à l'équilibre en fonction de la concentration à l'équilibre, représentée par  $q_e = f(C_e)$ .



**Figure II.7 : Isotherme d'adsorption de VG par l'écorce d'eucalyptus**  
(V = 50 ml, T= 25°C, pH= 6,5, m = 15 mg)

Selon l'analyse graphique, on peut en déduire les points suivants :

L'augmentation de la concentration du violet de gentiane ( $C_e$ ) dans la solution entraîne une augmentation non linéaire de la quantité de violet de gentiane adsorbée sur la surface ( $q_e$ ). Aux faibles concentrations de violet de gentiane, la capacité d'adsorption est relativement élevée, puis elle diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration jusqu'à atteindre une valeur constante aux concentrations élevées.

Ce type de courbe indique que le processus d'adsorption suit le modèle d'adsorption de type II en forme de L, également appelé modèle de Langmuir. Le modèle de Langmuir suppose la formation d'une seule couche de polluant à la surface de l'adsorbant, ce qui entraîne des interactions faibles entre le violet de gentiane et la surface, car le nombre de couches adsorbées ne peut pas croître librement [35].

## II.6. Modélisation :

### II.6.1. Modalisation de la cinétique d'adsorption :

L'étude cinétique des données expérimentales a été effectuée pour comprendre la dynamique du processus d'adsorption en termes de l'ordre de la constante de vitesse, et aussi pour décrire le phénomène de transport de l'adsorbat dans les pores de l'adsorbant [36]. Plusieurs modèles sont proposés dans la littérature pour décrire la vitesse de l'adsorption au cours du temps, notamment le modèle cinétique du premier ordre et celui du second ordre.

#### II.6.1.1. Modèle cinétique de premier ordre PPO :

Ce modèle décrit généralement les phénomènes qui se produisent dans les premières minutes du processus d'adsorption. Les paramètres de ce modèle sont obtenus à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine du tracé linéaire de  $\ln(q_e - q_t)$  en fonction du temps  $t$ . Nous avons tracé  $\ln(q_e - q_t)$  en fonction du temps (figure II. 8)

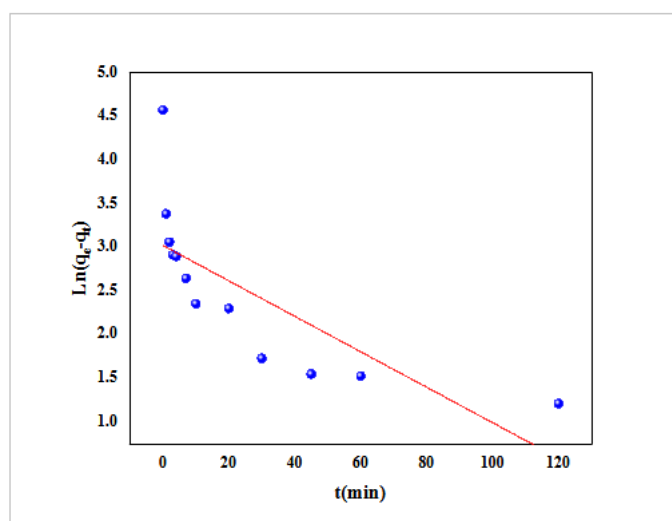


Figure II.8 : Présentation graphique de l'équation de pseudo-premier-ordre

#### II.6.1.2. Modèle cinétique de second ordre PSO :

La courbe de modélisation de la cinétique d'adsorption du VG sur l'écorce d'eucalyptus selon le modèle du pseudo-second ordre est illustrée dans la figure (II.9).

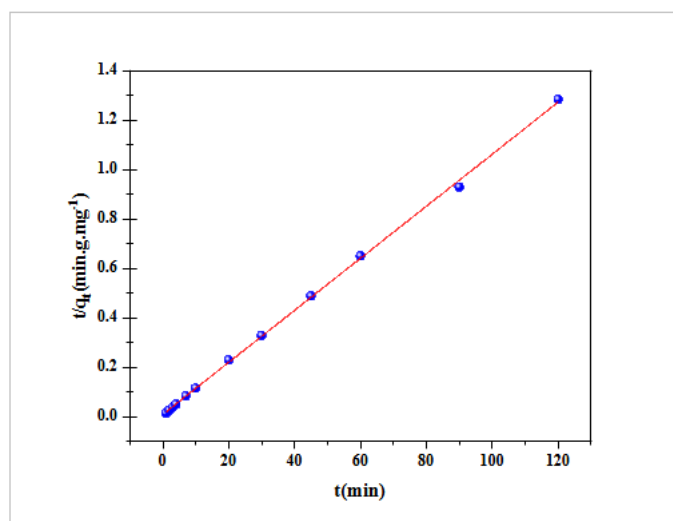


Figure II.9 : Présentation graphique de l'équation de pseudo-second-ordre

En se basant sur le graphique, nous avons obtenu une droite avec un excellent coefficient de corrélation, qui est de 0,99.

### II.6.1.3. Modèle de la diffusion intra particulaire :

Le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre suggère la présence d'une diffusion intra-particulaire. Ainsi, le modèle de Weber et Morris a été appliqué pour analyser le mécanisme d'adsorption. La courbe de ( $q_t$ ) en fonction de ( $t^{1/2}$ ) permet de déterminer le constant  $k_{id}$  (pente) et C (liée à l'effet de la couche limite), la figure suivante illustre cette relation :

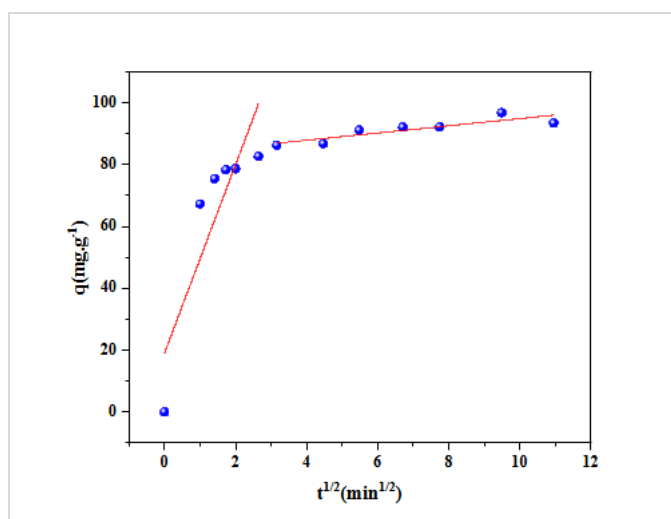


Figure II.10 : Présentation graphique de l'équation de diffusion intra-particulaire

La courbe représente deux segments linéaires distincts, ce qui indique clairement que le mécanisme d'adsorption se déroule en deux phases successives : la première phase correspond à une adsorption rapide et du transfert de masse du colorant violet de gentiane (VG) vers la surface externe du biosorbant (l'écorce d'eucalyptus), et se caractérise par une pente élevée ( $k_{id1} = 30,45 \text{ mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ), traduisant la prédominance de la diffusion externe. La seconde phase, plus lente, traduit la diffusion progressive du colorant à travers les pores internes du matériau, avec une pente plus faible ( $k_{id2} = 1,17 \text{ mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ). Par ailleurs, on observe que les droites ne passent pas par l'origine, ce qui indique que la diffusion intra-particulaire n'est pas l'unique étape limitant de la cinétique d'adsorption [34].

**Tableau II.3 : Valeurs des constants et des coefficients de corrélation des différents modèles cinétiques**

$q_{e, \text{exp}} \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	96,75
<b>Pseudo premier ordre</b>	
$K_1 \text{ (min}^{-1}\text{)}$	0,02
$q_{e, \text{cal}} \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	20,53
$R^2$	0,578
<b>Pseudo second ordre</b>	
$K_2 \text{ (g. mg}^{-1}.\text{min}^{-1}\text{)}$	1,071
$q_{e, \text{cal}} \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	95,23
$R^2$	0,999
<b>Diffusion intra-particulaire</b>	
$K_{id1} \text{ (mg. g}^{-1}.\text{min}^{1/2}\text{)}$	30.45
$C_1 \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	19.10
$R_1^2$	0,76
$K_{id2} \text{ (mg. g}^{-1}.\text{min}^{1/2}\text{)}$	1,17
$C_2 \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	83,22
$R_2^2$	0.76

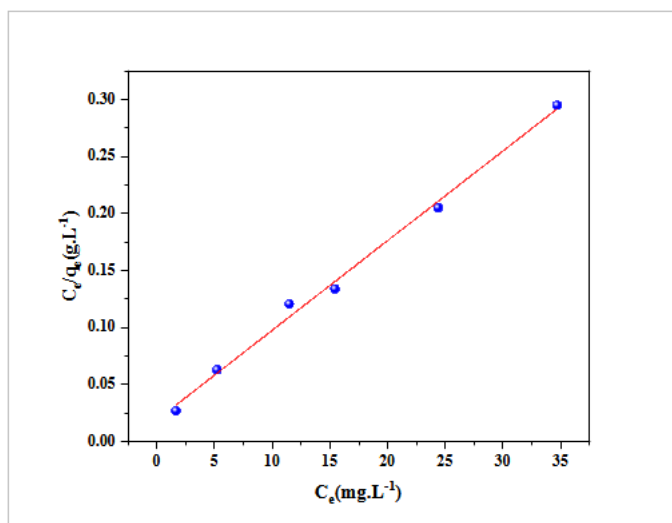
Les constantes des trois modèles étudiés ont été calculées à partir des représentations linéaires, et sont regroupées dans le tableau (II.3), afin de faciliter la comparaison. Les résultats ont montré que l'adsorption du colorant VG sur l'écorce d'eucalyptus suit parfaitement la cinétique du pseudo-second ordre, avec un coefficient de corrélation supérieur à 0,999. La capacité d'adsorption expérimentale ( $q_{e, \text{exp}} = 96,75 \text{ mg.g}^{-1}$ ) est très proche de celle calculée théoriquement par ce modèle ( $q_{e, \text{cal}} = 95,53 \text{ mg.g}^{-1}$ ). Ce modèle donne donc une meilleure description du processus d'adsorption, en comparaison avec le modèle du pseudo-premier ordre, qui présente un coefficient de corrélation faible ( $R^2 = 0,578$ ) et une capacité calculée très éloignée de la valeur expérimentale ( $q_{e, \text{cal}} = 20,53 \text{ mg.g}^{-1}$ ), ce qui indique qu'il ne convient pas pour modéliser ce phénomène [35].

### II.6.2. Modélisation des isothermes d'adsorption :

Cette étude a pour objectif d'identifier les modèles capables de représenter avec exactitude les résultats expérimentaux liés à l'isotherme de sorption du VG par l'écorce d'eucalyptus, tout en fournissant des données essentielles sur le mécanisme d'adsorption. Pour y parvenir, les modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin ont été sélectionnés en raison de leur usage répandu dans ce domaine et de leur aptitude à décrire de manière fiable les isothermes d'adsorption.

#### II.6.2.1. Isotherme de Langmuir :

C'est le modèle le plus courant et le plus appliqué pour l'adsorption sur des surfaces entièrement homogènes. Ce modèle théorique repose sur l'hypothèse d'une adsorption en monocouche sur des sites définis, équivalents et indépendants, avec un équilibre entre l'adsorption et la désorption. L'adsorption de VG a été modélisée à l'aide de ce modèle en traçant la relation  $C_e/q_e$  en fonction de  $C_e$  (figure II.11) :

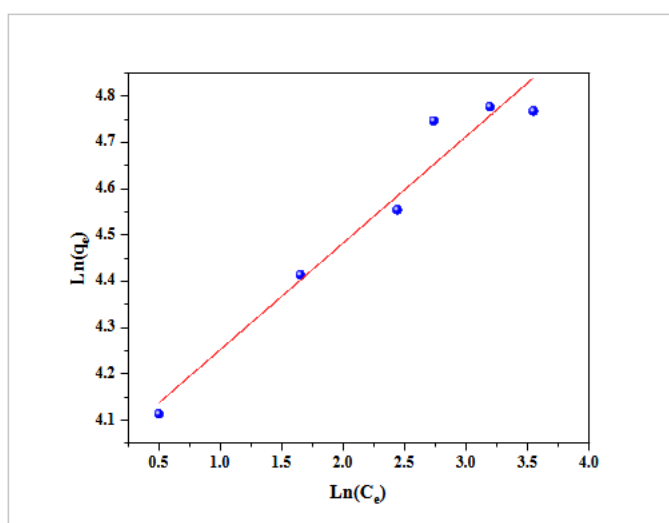


**Figure II.11 : Modélisation par l'équation de Langmuir de l'isotherme d'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus**

La figure ci-dessus présente une droite croissante, indiquant une bonne concordance entre les données expérimentales et le modèle de Langmuir. Les constantes  $q_m$  et  $K_L$  représentent respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine de cette droite.

### II.6.2.2. Isotherme de Freundlich :

L'isotherme suppose que le processus d'adsorption se produit sur une surface hétérogène, ce qui signifie qu'il s'agit d'une adsorption multicouche. La figure ci-dessous illustre l'isotherme de Freundlich, en traçant  $\ln q_e$  en fonction de  $\ln C_e$  (Figure II.12):

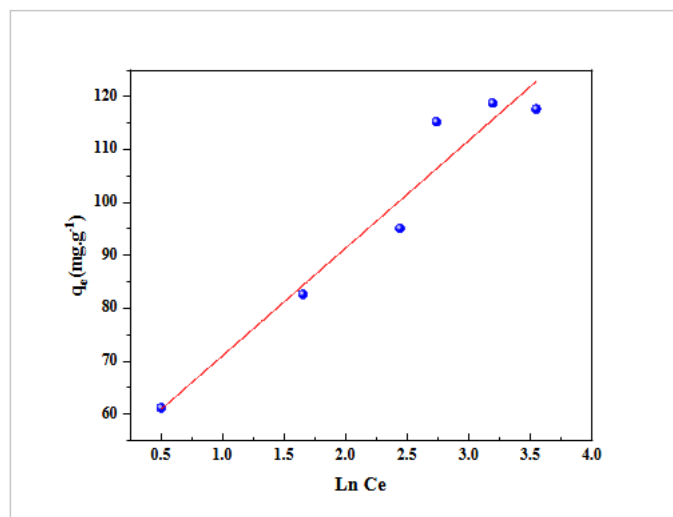


**Figure II.12 : Modélisation par l'équation de Freundlich de l'isotherme d'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus**

D'après la figure ci-dessus, nous pouvons obtenir une droite ayant une pente de  $1/n$  et une ordonnée à l'origine de  $\ln K_F$ .

### II.6.2.3. Isotherme de Temkin :

Cette isotherme suppose que la diminution de la chaleur d'adsorption est linéaire et que l'adsorption se caractérise par une distribution homogène des énergies de liaison sur la surface adsorbante. Cela peut être obtenu par la représentation graphique de  $q_e$  en fonction de  $\ln C_e$  (Figure II.13) :



**Figure II.13 : Modélisation par l'équation de Temkin de l'isotherme d'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus**

Le tableau II.4 présente un résumé des différents coefficients de corrélation et des constantes liés aux trois modèles d'isothermes étudiés :

**Tableau II.4 : Constantes des modèles des isothermes calculées pour l'adsorption de VG sur l'écorce d'eucalyptus :**

<b>Langmuir</b>	
$q_m$ (mg. g <sup>-1</sup> )	128,21
$K_L$ (L. mg <sup>-1</sup> )	0,41
$R^2$	0,995
<b>Freundlich</b>	
$K_F$ (mg. L <sup>-1</sup> )	55,79
$n$	4,34
$R^2$	0,953
<b>Temkin</b>	
$K_L$ (L. mg <sup>-1</sup> )	12,06
$B_T$ (J. mol <sup>-1</sup> )	20,347
$R^2$	0,946

Après avoir calculé les valeurs du facteur de séparation  $R_L$  pour différentes concentrations, nous les avons rassemblées dans le tableau suivant :

**Tableau II.5 : Valeurs du facteur de séparation  $R_L$**

$C_0$ (mg. L <sup>-1</sup> )	20	30	40	50	60	70
$R_L$	0,108	0,075	0,057	0,046	0,039	0,033

Voici un résumé de l'analyse détaillée des différents modèles d'isothermes d'adsorption à partir des données du tableau II.4 :

**Modèle de Langmuir :**

- Le modèle de Langmuir présente le meilleur ajustement avec un coefficient de corrélation  $R^2$  le plus élevé à 0.995.
- La capacité d'adsorption maximale  $q_m$  est estimée à environ 128,21 mg.g<sup>-1</sup>, confirmant la pertinence de cette isotherme.
- Les valeurs calculées de  $R_L$  sont comprises entre 0,108 et 0.033 ( $0 < R_L < 1$ ), indiquant que l'adsorption est favorable sur l'écorce d'eucalyptus étudiée.

**Modèle de Freundlich :**

- La valeur calculée de  $1/n$  est de 0.23, inférieure à 1, ce qui indique que l'isotherme est de type I.
- Bien que le coefficient de corrélation  $R^2$  soit relativement élevé à 0.953, il reste inférieur à la valeur obtenue pour le modèle de Langmuir ( $R^2 = 0.995$ ).

**Modèle de Temkin :**

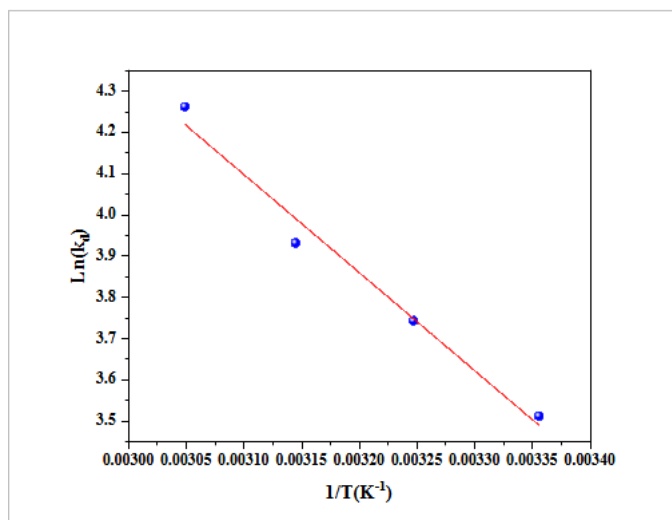
- Le coefficient de corrélation  $R^2$  est d'environ 0.946, ce qui signifie que ce modèle représente de manière relativement précise les données expérimentales d'adsorption du colorant VG sur l'écorce d'eucalyptus.
- L'utilisation de ce modèle a permis d'évaluer la chaleur d'adsorption, avec une constante  $B_T$  positive de 20,347 J.mol<sup>-1</sup>, indiquant que le processus d'adsorption est exothermique.

En conclusion, le modèle de Langmuir semble le mieux adapté pour décrire le mécanisme d'adsorption du colorant VG sur l'écorce d'eucalyptus, avec la meilleure

corrélation aux données expérimentales ( $R^2 = 0.995$ ). Ce modèle fournit également une estimation fiable de la capacité d'adsorption maximale [37].

## II.7. Etude thermodynamique :

Pour étudier le phénomène de thermodynamique de l'adsorption de VG sur l'écorce d'eucalyptus, on a tracé  $\ln K_d = f(1/T)$ . Les paramètres thermodynamiques ( $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  et  $\Delta G^\circ$ ), sont déterminés graphiquement et représentés sur la figure II.14 :



**Figure II.14 : Effet de la température sur la constante de distribution du phénomène d'adsorption de VG par l'écorce d'eucalyptus**

Le Tableau II.6 présente les valeurs calculées des paramètres thermodynamiques  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta G^\circ$  et  $\Delta S^\circ$  déduits de la figure précédente.

**Tableau II.6 : Paramètres thermodynamiques de l'adsorption de la VG par l'écorce d'eucalyptus :**

T(°K)	$\Delta H^\circ$ (J. mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\circ$ (J. mol <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$\Delta G^\circ$ (J.mol <sup>-1</sup> )
298	19753,2326	95,3	0,980	-8646,17
308				-9599,17
318				-10552,17
328				-11505,17

Les valeurs positives de  $\Delta H^\circ$  indiquent que le processus d'adsorption est endothermique. Tandis que les valeurs positives de  $\Delta S^\circ$  montrent que le degré de désordre

augmente lors du processus d'adsorption de la colorante VG sur l'écorce d'eucalyptus. Cela signifie qu'il y a une augmentation du degré de désordre et de dispersion à l'interface solution/solide. Et les valeurs négatives de  $\Delta G^\circ$  à toutes les températures indiquent que le processus d'adsorption est spontané et considéré comme thermodynamiquement favorable à ces températures [38], [39].

# Conclusion générale

Cette étude aborde l'utilisation de l'écorce d'eucalyptus pour éliminer le violet des solutions aqueuses dans des conditions discontinues. Nous avons analysé les effets de différents paramètres tels que la concentration initiale, le temps de contact, la masse de l'adsorbant, le pH et la température de la solution.

En utilisant des modèles cinétiques tels que le modèle pseudo-premier ordre, le modèle pseudo-deuxième ordre et la diffusion des molécules à l'intérieur des particules, ainsi que des modèles d'isothermes d'équilibre tels que Langmuir, Freundlich et Temkin, nous avons évalué l'efficacité de l'adsorption et les paramètres thermodynamiques associés. Les résultats principaux obtenus sont les suivants :

- L'augmentation de la quantité d'adsorbant a conduit à une réduction de la quantité de colorant adsorbée, ce qui indique que les sites d'adsorption n'étaient pas encore saturés.
- La quantité de colorant adsorbée augmente avec l'augmentation du pH, et se stabilise à  $\text{pH} = 8$ . Dans un milieu basique, la surface est chargée négativement, tandis que dans un milieu acide, la surface devient chargée positivement.
- La température a été identifiée comme un facteur influençant l'efficacité de l'adsorption, montrant une augmentation de l'adsorption avec l'élévation de la température.
- Les études cinétiques ont montré une adsorption rapide avec atteinte de l'équilibre, et le modèle pseudo-deuxième ordre était le plus adapté, ce qui indique que la diffusion des molécules à l'intérieur des particules n'est pas la seule étape déterminante.
- L'analyse des isothermes d'adsorption a montré une concordance avec le modèle de Langmuir (type L), avec un coefficient de corrélation élevé ( $R^2 > 0,995$ ) et une capacité d'adsorption maximale de  $128,21 \text{ mg.g}^{-1}$ .
- Les valeurs positives de  $\Delta H^\circ$  indiquent que le processus d'adsorption est endothermique, tandis que les valeurs positives de  $\Delta S^\circ$  indiquent une augmentation de l'entropie pendant l'adsorption. Les valeurs négatives de  $\Delta G^\circ$  à toutes les températures indiquent que le processus est spontané et thermodynamiquement favorable.

En conclusion, il apparaît que l'écorce d'eucalyptus est un adsorbant efficace et à faible coût pour éliminer les colorants des solutions aqueuses, et les résultats soulignent l'importance des différents facteurs pour améliorer le processus d'adsorption.

# Références bibliographiques

- [1] KUL, A. R., Aldemir, A., Alkan, S., Hasan, E. L. İ. K., & ÇALIŞKAN, M. (2019). Adsorption of Basic Blue 41 using Juniperusexcelsa: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Environmental Research and Technology*, 2(3), 112-121.
- [2] Asghari, A., Hemati, M., Ghaedi, M., Rajabi, M., & Mirtamizdoust, B. (2014). Ultrasonic assisted adsorption of basic dyes from binary component systems onto ZnO nanoparticles loaded on activated carbon derived from almond shell: optimization by central composite design.
- [3] M. Shabir et al., « A review on recent advances in the treatment of dye-polluted wastewater », *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 112, p. 1-19, août 2022, doi: 10.1016/j.jiec.2022.05.013.
- [4] Ö. E. İşmal et L. Yıldırım, « 3 - Metal mordants and biomordants », in *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology*, Shahid-ul-Islam et B. S. Butola, Éd., in *The Textile Institute Book Series.*, Woodhead Publishing, 2019, p. 57-82. doi:10.1016/B978-0-08-102491-1.00003-4.
- [5] M. Berradi et al., « Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs », *Heliyon*, vol. 5, no 11, p. e02711, nov. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02711.
- [6] M. Benjelloun, Y. Miyah, G. Akdemir Evrendilek, F. Zerrouq, et S. Lairini, « Recent Advances in Adsorption Kinetic Models: Their Application to Dye Types », *Arab. J. Chem.*, vol. 14, no 4, p. 103031, avr. 2021, doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103031.
- [7] M. T. Yagub, T. K. Sen, S. Afroze, et H. M. Ang, « Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review », *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 209, p. 172-184, juill. 2014,
- [8] <https://m.chemicalbook.com>. Properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils* 48, 271–284
- [9] LEHMANN, J., JOSEPH S., 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, Sterling, VA.
- [10] Dhina BENSENANE, Fadia KHADOUDJA, étude de L'élimination de colorants en solution aqueuse par biosorption sur les feuilles du pistachier lentisque suivie d'une photocatalyse hétérogène, Mémoire de Magister, Université Houari boumadianne, 2014.
- [11] Chetioui SOUHEYLA, Structures et propriétés physico - chimiques de substances colorantes de synthèse, Mémoire Présenté de Magister, Université Mentouri Constantine, 2010.
- [12] Mohd. Rafatullah, Othman Sulaiman, Rokiah Hashim, Anees Ahmad, Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review, *Journal of Hazardous Materials* 177, 70–80 (2010).
- [13] Abdallah MEDEKHEL, Adsorption du bleu de méthylène par charbon actif, Mémoire de MASTER Université echahid hamma lakhdar -el oued, 2018.
- [14] T. Robinson, G. Mcmillan, R. Marchant, P. Nigam, *Bioresour Technology* 77, ( May 2001), 247-255

- [15] Siboni MS, Fallah S, Tajasoi S (2014) Removal of acid red 18 and reactive black 5 from aquatic solution by using of adsorption on azolla filiculoides : Kinetic study. *J Gilan U Med Sci* 22 : 42-50 . Singh KP, Gupta S, Singh AK, et al. (2011) Optimizing adsorption of crystal violet dye from water by magnetic nanocomposite using response surface modeling approach. *J Hazard Mater* 186:1
- [16] Belkharouch, Adsorption du bore par les alumines modifiées, Mémoire de magister, Université Mentouri – Constantine, (2010).
- [17] R. Desjardins « Le traitement des eaux » 2ème édition revue (1990).
- [18] SARRAI, Abdelaziz. Élimination des composés pharmaceutiques dans les effluents aqueux par un procédé de traitement basé sur le couplage de l'adsorption et les techniques d'oxydation avancée. Thèse de doctorat, Université de Médéa, Département de Génie des Procédés et Environnement, 2018.
- [19] A. ABID, B. GUIRIDA, Etude de l'efficacité d'un charbon actif à base de noix de dattes sur l'adsorption des métaux (calcium), Mémoire Master, Université de Ouargla, 2011, P 7-9
- [20] <https://www.univ-usto.dz/faculte/fac-chimie/wp-content/uploads/2022/04/Procedes-dAdsorption-ADSORPTION.ppt-MIGPE-2020-Partie-3.pdf>
- [21] Kanouri, R. and A. Labide, Adsorption du phénol sur la bentonite de Maghnia. 2013.
- [22] F. ALMARDANI, Etude de l'adsorption du pesticide Bromocil sur charbon actif en milieu aqueux Effet compétiteur des matières organiques d'origine naturelles, Thèse doctorat, Université de Poitiers, 2008,
- [23] Lachebi, S., Elimination des métaux lourds par biosorption sur les péricarpes de glands de chêne vert (*Quercus-Ilex*). 2017, Université M'Hamed Bougara: Faculté des sciences de l'ingénieur.
- [24] Kadari, M., Etude de l'élimination de quelques éléments toxiques par différents extractants. 2016.
- [25] Lot, A., A. Bared, and F. Saidani, Adsorption d'un colorant cationique (le jaune d'or GL200, par un lichen (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf). 2019.
- [26] Bakass, M., A. Mokhlisse, and M. Lallemand, Adsorption et desorption de l'eau vapeur sur un polymère polyacrylique superabsorbant IV. Effect de la masse sur les cinétiques d'adsorption et de désorption. *Thermochimica acta*, 1997. 290(2): p. 227-238.
- [27] Barka N., L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO<sub>2</sub> supporté, Thèse de Doctorat Université Ibn Zohr, Maroc, (2008) 150 pages.
- [28] Khraisheh M.A, Al-Degs Y.S, Allen SJ and Ahmed NM. Elucidation of controlling steps of reactive dye adsorption on activated carbon. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2002, 41, 1651-1657.
- [29] Dogan M, Alkan M, Turkyilmaz A, Ozdemir Y, Kinetics and mechanism of removal methylene blue by adsorption onto perlite. *J. Hazard. Mater.* 2004, 109, 141-148.

- [30] Arvind, Singh. Srivastava, Neha. Maulin, Shah. Hashem, Abeer. Fathi Abd Allah, Elsayed. Dan Bahadur Pal. "Investigation on hexavalent chromium removal from simulated wastewater using royal poinciana pods- derived bioadsorbent" *Biomass Conversion and Biorefinery*, 8 September 2021. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01944-6>.
- [31] Elbariji, S. Elamine, M. Eljazouli, H. Kabli, H. Lacherai, A. Albourine A. Traitement et valorisation des sous-produits du bois. Application a l'élimination des colorants industriels. *C. R. Chimie* 9, (2006), 1314–1321p.
- [32] Valorisation d'un résidu naturel ligno-cellulosique en charbon actif. *Revue des énergies renouvelables ICRESD -07 Tlemcen*, (2007), 187-192p.
- [33] L. Yu, M. Yong. The adsorption mechanism of anionic and cationic by Jerusalem artichoke stalk-based mesoporous activated carbon, *J. Environ. Chem. Eng.*, 220-229, 2004.
- [34] R.M. Ferreira, N.M. de Oliveira, L.L.S. Lima, A.L.D.M. Campista, D.M.A. Stapelfeldt, Adsorption of indigo carmine on *Pistia stratiotes* dry biomass chemically modified, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26 (2019) 28614–28621.
- [35] Sadki, H. and K.Z.M. Saidi, Adsorption d'un colorant cationique d'un milieu aqueux sur une argile locale activée (adsorption of dyes on activated local clay in aqueous solution). *Environ. Sci.*, 2014. 5(S1): p. 2060-2065.
- [36] A.A. Ahmed, B.H. Hameed, A.L. Ahmed. Equilibrium and Kinetics of Disperse DYE Adsorption on activated carbon prepared from RATTAN SAWDUST by CHEMICAL ACTIVATION; *International Conference on Environment* (2008)
- [37] Batana, F., M. Taouti, and A. Guibadj, Cinétique de l'adsorption du bleu de méthylène sur bentonite brute et traitée. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 2019. 5(4).
- [38] Nandiyanto, A.B.D., et al., Isotherm adsorption characteristics of carbon microparticles prepared from pineapple peel waste. *Communications in Science and Technology*, 2020. 5(1): p. 31-39.
- [39] Batana, F.Z., M.N. Rebizi, and A. Guibadj, Algerian Bentonite Bridged for removes cationic dye from aqueous solutions by adsorption: Modelling, optimization and kinetics study. *International Journal of Advanced Studies in Computers, Science and Engineering*, 2022. 11(3): p. 11-27.

## عنوان المذكرة: دراسة تجريبية لامتناس صبغة كاتيونية على مادة حيوية محلية

المؤطر: تونسي عيسى / بريشي نور الهدى

الإسم: لامية  
الإسم: آية

اللقب: جون درونق  
اللقب: سويسى

ملخص: هذه الدراسة تندرج ضمن إطار تنقية المياه وتهدف إلى إزالة صبغة البلورات البنفسجية (CV) من المحاليل المائية، باستخدام لحاء شجرة الكينا كمادة ماصة طبيعية واقتصادية ومتاحة بسهولة، في نظام يعمل بطريقة دفعة (batch). تم تحديد الظروف المثلى لعملية الامتزاز من خلال تقييم تأثير عدة معايير تشغيلية، وهي تركيز الصبغة الابتدائي، ووقت التلامس، ودرجة الحموضة، وجرعة الماصة، ودرجة الحرارة. أظهرت النتائج التجريبية فعالية امتزاز قصوى عند وقت تلامس قدره 30 دقيقة، ودرجة حرارة 25 درجة مئوية، ودرجة حموضة تتراوح بين 5,7 و 8. أظهر ضبط بيانات التوازن على نموذج لاتغير ارتباطاً ممتازاً، مما يشير إلى امتزاز أحادي الطبقة على سطح متجانس. علاوة على ذلك، أظهرت التحليلات الحركية أن نموذج الترتيب الثاني الزائف هو الأفضل لوصف ديناميكية العملية، مما يدل على وجود تفاعل كيميائي ساند بين الصبغة والماز. كما أظهرت تطبيقات نموذج الانتشار داخل الجزيئات من ويبر-موريس أن الخط الناتج لا يمر عبر الأصل، مما يشير بوضوح إلى أن الانتشار داخل الجزيئات ليس هو الخطوة المحددة الوحيدة في آلية الامتزاز. أظهرت الدراسة الديناميكية الحرارية أن القيم المحسوبة لـ  $\Delta H$ ،  $\Delta G^\circ$  و  $\Delta S^\circ$  تؤكد الطبيعة endothermic والعفوية والمنظمة للعملية، مع زيادة في الإنتروبيا تُعزى إلى تحرير جزيئات الماء أو الأيونات أثناء الامتزاز، مما يعكس إعادة ترتيب مواتية على مستوى واجهة الصلبة-السالنة.

كلمات مفتاحية: الامتزاز، البلورات البنفسجية، لحاء شجرة الكينا، ايزوثرم...

---

### Memory title: Experimental study of the adsorption of a cationic dye on a local biomaterial

Name: GENDRUNG  
Name: SOUISSI

First name: Lamia  
First name: Aya

Directed by: TOUNSI Aissa/BRICHI Nour Elhouda

**Abstract:** This study contributes to the field of wastewater treatment and aims to remove crystal violet (CV) dye from aqueous solutions using eucalyptus bark as a natural, low-cost, and readily available adsorbent in a batch-mode system. Optimal adsorption conditions were established by evaluating the influence of several operational parameters, including initial dye concentration, contact time, pH, adsorbent dosage, and temperature. The experimental results demonstrated that the highest adsorption efficiency was achieved at a contact time of 30 minutes, a temperature of 25°C, and a pH range between 5.7 and 8. Equilibrium data showed excellent agreement with the Langmuir isotherm model, suggesting monolayer adsorption on a homogeneous surface. Furthermore, the kinetic analysis revealed that the pseudo-second-order model best described the adsorption process, indicating that chemisorption may govern the interaction between the dye and the adsorbent. The application of the intraparticle diffusion model (Weber–Morris) showed that the regression line did not pass through the origin, clearly indicating that intraparticle diffusion is not the sole rate-limiting step in the adsorption mechanism. Thermodynamic analysis confirmed that the calculated values of  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ , and  $\Delta S^\circ$  reflect an endothermic, spontaneous, and entropy-driven process. The increase in entropy is attributed to the release of water molecules or ions during adsorption, reflecting a favorable structural rearrangement at the solid–liquid interface.

**Key words:** Adsorption, crystal violet, eucalyptus bark, Isotherm...

---

### Titre du mémoire : Étude expérimentale de l'adsorption d'un colorant cationique sur un biomatériau local

Nom : GENDRUNG  
Nom : SOUISSI

Prénom : Lamia  
Prénom : Aya

Encadreur : TOUNSI Aissa/BRICHI Nour Elhouda

**Résumé :** Cette étude s'inscrit dans le cadre de la dépollution des eaux et vise l'élimination du colorant violet de gentiane (CV) à partir de solutions aqueuses, en utilisant l'écorce d'eucalyptus comme adsorbant naturel, économique et facilement disponible, dans un système en mode discontinu (batch). Les conditions optimales du processus d'adsorption ont été établies en évaluant l'influence de plusieurs paramètres opérationnels, à savoir la concentration initiale du colorant, le temps de contact, le pH, la dose d'adsorbant et la température. Les résultats expérimentaux ont mis en évidence une efficacité d'adsorption maximale à un temps de contact de 30 minutes, une température de 25 °C et un pH compris entre 5,7 et 8. L'ajustement des données d'équilibre au modèle de Langmuir a révélé une excellente corrélation, suggérant une adsorption en monocouche sur une surface homogène. Par ailleurs, l'analyse cinétique a démontré que le modèle pseudo-second ordre décrivait le mieux la dynamique du

processus, traduisant une interaction chimique dominante entre le colorant et l'adsorbant. L'application du modèle de diffusion intra-particulaire de Weber–Morris a montré que la droite obtenue ne passe pas par l'origine, ce qui indique clairement que la diffusion intra-particulaire n'est pas l'unique étape limitante dans le mécanisme d'adsorption. L'étude thermodynamique a révélé que les valeurs calculées de  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  et  $\Delta S^\circ$  confirment le caractère endothermique, spontané et ordonné du processus, avec une augmentation de l'entropie attribuée à la libération de molécules d'eau ou d'ions lors de l'adsorption, traduisant un réarrangement favorable au niveau de l'interface solide–liquide.

**Mots clés :** Adsorption, violet de gentiane, l'écorce d'eucalyptus, Isotherme...