



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



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Begagra Reguia Chourouk

Chibout Youmna Inas

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des procédés

OPTION : Génie Chimique

Thème

**Application d'un procédé de surface à la
décontamination d'un effluent en milieu aqueux**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. Benalia Mokhtar	Pr	Président
Mme Ad Chifaa	MCA	Examinatrice
Mlle. Soltani Amel	MAA	Rapportrice
Mr. Djedid Mebrouk	Pr	Co-rapporteur
Mlle. Boudaoud Asma	MCA	Invitée

Année Universitaire : 2022-2023



Remerciements

Le grand merci c'est à Dieu le très haut qui nous a aidé à réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier profondément et sincèrement :

- Notre encadreur Mme A.Soltani, pour son aide précieuse et pour sa disponibilité tout au long de notre travail.
- Notre Co-encadreur Pr. M.Djedid d'avoir guidé ce travail de recherche et de nous avoir fait profiter de son expérience et de ses précieux conseils.
- Les membres du jury Pr. Benalia Mokhtar, Président et Dr. Ad Chifaa, examinatrice, qui ont pris la peine d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions également tous les ingénieurs et les techniciens du laboratoire génie des procédés de l'université de Laghouat.

Enfin nous remercions tous les amis, les collègues et toutes les personnes qui nous ont encouragé et soutenu de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Je dédie cet humble travail, fruit de mes études, en exprimant ma
profonde gratitude :

À toi la plus chère maman pour l'éducation que tu m'as inculquée, pour
toutes les peines que tu t'es données afin que je sois enrobé de
bonheur, et que j'arrive là où je suis... Sans toi je n'aurais pas vu ce
jour.

À mon père qui a su me donner le courage pour surmonter les
difficultés de la vie, que Dieu te bénisse.

À mes précieuses sœurs et mon adorable frère, qui sont pour moi mes
meilleurs, à qui je souhaite la réussite.

À tous mes amis qui ont toujours su se montrer présents dans ma joie
et mes peines.

À tous ceux qui m'aiment et à tous ceux pour qui je compte, et à moi-
même.

À vous.

Reguia



Dédicaces

En ce moment particulier dans ma vie je tiens à dédier ce modeste travail à :

Mon cher père, pour son soutien, son affection et sa confiance.

Ma chère mère, pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices.

A ma tante, ma deuxième mère, qui me donne la vie et le symbole de tendresse quoi que je fasse je ne pourrais te rendre ce que tu as fait pour moi.

A mon frère mon soutien dans ma vie.

A mes chères sœurs :

Wissal, Sabil, Rouaa, Rahik.

Youmna



SOMMAIRE

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01

Chapitre I: Aperçu théorique

I.1. La pollution	03
I.1.1. Introduction	03
I.1.2. La pollution de l'eau	03
I.1.3. Source de pollution	03
I.1.4. Les types de pollution des eaux	03
I.2. Les colorants	04
I.2.1. Historique	04
I.2.2. Définition	05
I.2.3. Les types de colorants	05
I.2.5. Impact des colorants	06
I.2.6. Le colorant CV	06
I.3. Procédé d'adsorption	07
I.3.1. Définition	07
I.3.2. Types d'adsorption	08
I.3.3. Facteurs influençant l'adsorption	09
I.3.4. Cinétique d'adsorption	09
I.3.4.1. Modèle cinétique pseudo-première ordre	09
I.3.4.2. Modèle du cinétique pseudo-deuxième ordre	10
I.3.4.3. Modèle de la diffusion intra-particulaire	10
I.3.5. Les modèles mathématiques isothermes	10
I.3.5.1. Modèle de Langmuir	10
I.3.5.2. Modèle de Freundlich	11
I.3.6. Classification des isothermes	12
I.4. L'adsorbant	13
I.4.1. Introduction	13
I.4.2. Le biosorbant Eucalyptus	13
I.4.2.1. Définition	13
I.4.2.2. Les propriétés d'Eucalyptus	14

Chapitre II : Méthodologie expérimentale

II.1. Introduction	15
II.2. Réactifs et Matériels	15
II.2.1. Réactifs chimiques utilisés	15
II.2.2. Matériels et verriers utilisés	16
II.3. Préparation de l'adsorbant et l'adsorbat	16

Sommaire

II.3.1. Préparation de l'adsorbant	16
II.3.2. Préparation de l'adsorbat (Cristal violet)	17
II.3.2.1. Caractéristiques Générales du CV	17
II.3.2.2. Préparation de la solution de CV	18
II.4. Technique séparatives et analytiques	18
II.4.1. Centrifugation	18
II.4.2. Spectroscopie Infrarouge	19
II.4.3. Spectroscopie UV-visible	20
II.5. Etablissement de la courbe d'étalonnage du colorant	21
II.6. Essais d'adsorption	21
II.6.1. Evaluation de la capacité et rendement d'adsorption	21
II.6.2. Effet de la masse de l'adsorbant	22
II.6.3. Effet du temps de contact et de la concentration de l'adsorbat	22
II.6.4. Effet du pH de la solution	22
II.6.5. Effet de la concentration de l'adsorbant	22
II.6.6. Effet de la Température	23
II.6.7. Effet de la force ionique	23
II.6.8. Elaboration des isothermes d'adsorption	23
<i>Chapitre III : Résultats et discussion</i>	
III.1. Introduction	24
III.2. Caractérisation biosorbant par spectroscopie infrarouge IR	24
III.3. Etude de la courbe d'étalonnage du colorant	25
III.4. Optimisation des conditions opératoires	26
III.4.1. Etude de l'effet de masse	26
III.4.2. Etude de l'effet du temps de contact	26
III.4.3. Etude de l'effet du pH de l'adsorbat	27
III.4.4. Etude de l'effet de la concentration de l'adsorbant	28
III.4.5. Etude de l'effet de la température	28
III.4.6. Etude de l'effet de la force ionique	29
III.5. Etude de la cinétique de l'adsorption	30
III.5.1. Modèle du pseudo premier ordre	30
III.5.2. Modèle du pseudo second ordre	31
III.6. Etude des isothermes d'adsorption	32
III.7. Etude comparative avec d'autres travaux antérieurs	34
III.7.1. Etude comparative de la cinétique d'adsorption	34
III.7.2. Etude comparative de la capacité maximale d'adsorption	35
Conclusion générale	36
Références bibliographiques	38
Annexe	
Résumé	

Liste des figures et tableaux

Figures	Titres	Pages
Figure I.1	Formule chimique de la mauvéine	4
Figure I.2	La forme et la structure chimique du (cv)	7
Figure I.3	Représentation schématique du phénomène d'adsorption	8
Figure I.4	Représentation schématique d'adsorption (physique-chimique)	9
Figure I.5	Classification des isothermes d'adsorption	12
Figure I.6	Arbre et feuilles d'Eucalyptus (globulus)	14
Figure II.1	Etapes de préparation de l'adsorbant (feuilles d'eucalyptus)	17
Figure II.2	Rayonnements de la longueur d'onde UV-Visible	20
Figure III.1	Spectre infrarouge des feuilles d'eucalyptus	24
Figure III.2	Spectre infrarouge des feuilles d'eucalyptus après adsorption du CV.	
Figure III.3		25
Figure III.4	Courbe d'étalonnage du cristal violet.	26
	Effet de masse de l'adsorbant brute sur l'adsorption du CV	
Figure III.5		27
Figure III.6	Effet du temps de contact de l'adsorbant.	27
Figure III.7	Effet du pH de l'adsorbat	28
Figure III.8	Effet de température de l'adsorbant	29
Figure III.9	Effet de la force ionique sur l'adsorption du CV	29

Liste des figures et tableaux

Figure III.10	Cinétique du pseudo premier ordre.	30
Figure III.11	Cinétique du pseudo second ordre.	31
Figure III.12	L'isotherme d'adsorption du CV sur feuilles d'eucalyptus	32
Figure III.13	Isotherme de Langmuir linéaire Isotherme de Freundlich linéaire	33

Tableau	Titre	Pages
Tableau I.1	Principaux types de pollution des eaux	4
Tableau I.2	Principaux groupes chromophores et auxochromes	5
Tableau I.4	Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption Chimique	8
Tableau II.1	Produits chimiques utilisés	15
Tableau II.2	Matériels et verreries utilisés	16
Tableau II.3	Caractéristiques physico-chimiques du cristal violet	18
Tableau III.1	Constantes de vitesse de l'adsorption du CV sur feuilles d'eucalyptus	31
Tableau III.2	Constantes de Freundlich et Langmuir	33
Tableau III.3	Cinétique d'adsorption du cristal violet en littérature et celle de l'adsorbant feuilles d'eucalyptus.	34
Tableau III.4	Comparaison de la capacité d'adsorption du CV sur différents adsorbants sur les feuilles d'eucalyptus	35

Liste des abréviations

C_0 : La concentration initiale

C.I: coloured index

Cr(VI) : (Le Chrome hexa valent)

CV : Cristal violet

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

IR : Spectroscopie Infrarouge

PCB: Polychlorobiphényles

pH : Le potentiel hydrogène

pKa : constante d'acidité ou constante de dissociation acide

R : Le rendement

R^2 : Facteur de corrélation

PPm : partie par million

Q_{max} : capacité maximum d'adsorption

T : température absolue en ($^{\circ}K$) ou en ($^{\circ}C$)

t : le temps en (min)

M : masse de l'échantillon utilisée (g).

$^{\circ}C$: Celsius

V : Volume de la solution



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Si la terre est appelée la planète bleue, ce n'est pas un hasard, elle est recouverte à 71% d'eau, de ce fait, sa pollution constitue le danger le plus redoutable pour l'humanité .

La pollution de l'eau est l'une des formes de pollution les plus dangereuses et les plus répandues. Là où son danger réside dans le fait que l'eau est l'un des plus importants éléments présents dans la nature, elle est à la base de la vie non seulement des organismes vivants, mais elle est également considérée comme un des constituants essentiels dans tous les processus industriels, car ces processus nécessitent d'énormes quantités d'eau, variant en termes de qualité et de pureté en raison de certaines considérations et spécifications requises par chaque activité industrielle (Didier G,1999).

Les polluants qui altèrent la qualité des eaux sont divers notamment les colorants synthétiques, des estimations récentes indiquent qu'environ 12 % des colorants textiles synthétiques utilisés chaque année sont perdus au cours des opérations de fabrication et de transformation et que 20 % de ces colorants perdus pénètrent dans l'environnement via les effluents résultant du traitement des eaux industrielles résiduelles.

De nombreuses méthodes ont été développées pour le traitement des eaux polluées. Toutefois l'adsorption s'avère une des techniques de choix pour l'élimination des colorants.

Dans cette étude nous sommes intéressés à l'élimination par adsorption d'un colorant le cristal violet (CV) par les feuilles d'Eucalyptus. En vue de valoriser cette matière première. Par conséquent, le manuscrit présentant ce travail est Structuré comme suit :

Une introduction générale .

Le premier chapitre est consacré à un aperçu théorique sur la pollution de l'eau et les colorants en particulier le CV et des généralités sur le phénomène d'adsorption, les biosorbants en général et le biosorbant Eucalyptus en particulier .

Le deuxième chapitre représente la méthodologie expérimentale suivi lors de ce travail comportant les différentes étapes de préparation du matériau, ainsi que les essais d'adsorption .

Introduction générale

Le troisième chapitre présente les différents résultats expérimentaux obtenus ainsi que leur discussion.

Enfin, notre mémoire se termine par une conclusion générale relatant les principaux résultats de cette étude suivi des perspectives.



Chapitre I

APERÇU THEORIQUE

I.1. La pollution

I.1.1. Introduction

La pollution est en général un sous-produit de l'activité humaine qui peut toucher l'atmosphère, le sol ou l'eau. Elle peut affecter la santé humaine, l'eau de consommation, l'eau de baignade, la production agricole, les espèces animales ou végétales, la beauté des paysages, etc... (Didier G,1999).

I.1.2. La pollution de l'eau

On appelle pollution de l'eau toute modification ou introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore aquatique (Khalfaoui A,2012).

I.1.3. Source de pollution

La pollution de l'eau connaît différentes origines : « domestique, industrielle et agricole »

a) **La pollution domestique** : Les eaux usées domestiques proviennent des différents usages domestiques de l'eau, elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Il s'agit des rejets des toilettes chargés de diverses matières organiques azotées (Bensaha S,2018).

b) **Pollution industrielle** : La pollution industrielle désigne la part de la pollution de l'environnement directement induite par l'industrie quand elle introduit des altéragènes biologiques, physiques, ou chimiques affectant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème (Khalfaoui A,2012).

c) **Pollution agricole** : La pollution d'origine agricole provient surtout des engrais et pesticides épandus dans le sol sur de très grandes surfaces à proximité ou pas des cours d'eau. Ce type de pollution est intensifié depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation assez avancé. L'utilisation massive des engrais chimiques (nitrates et phosphates) altèrent aussi la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés(Levesque C,1996).

I.1.4. Les types de pollution des eaux

Il s'agit des trois grandes familles suivantes :

- a) **Pollution physique**
- b) **Pollution chimique**

Chapitre I : Aperçu théorique

c) Pollution microbiologique

Le tableau I.1 représente la nature et la source de chaque type de polluant (Batoul B,2018).

Tableau I.1 : principaux types de pollution des eaux

Types de pollution	Nature	Source
Physique	<ul style="list-style-type: none">Rejets d'eau chaudeRadio-isotopesM.E.S (matière en suspension)	<ul style="list-style-type: none">Centrales thermiquesInstallations nucléairesRejets urbains, érosions des sols
Chimique	<ul style="list-style-type: none">Matière organiqueFertilisants (nitrates, phosphates)Métaux et métalloïdes(Hg, Cd, Pb, Al, As...)Composés organiques de synthèse (exp.: les colorants)Hydrocarbures (pétrole et dérivés)	<ul style="list-style-type: none">Effluents domestique, agricoles, agroalimentairesAgriculture lessivesIndustrie agriculture déchetsIndustrieIndustrie pétrolière, transports
Microbiologique	<ul style="list-style-type: none">Bactéries, virus, champignons	<ul style="list-style-type: none">Effluents urbains et d'élevage

I.2. Les colorants

I.2.1. Historique

L'utilisation des colorants dans la vie humaine remonte à l'antiquité, ils étaient la matière colorante d'origine naturelle extraites soit des plantes comme l'indigo soit d'animaux comme la coque.

Puis ils ont été remplacés progressivement par des colorants synthétiques. Le premier colorant de synthèse, la mauvéine, a été découverte par William Henry Perkin en 1856 (Figure I.1).

Aujourd'hui les colorants constituent une matière de base dans de nombreuses industries comme le textile, le cuir, le papier, le plastique, la pharmaceutique, le cosmétique, etc.

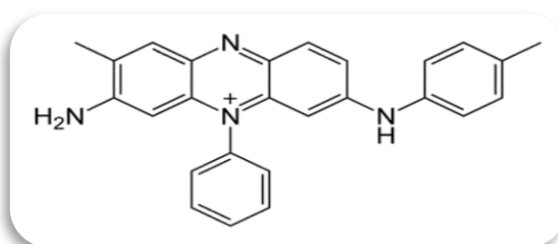


Figure I.1: Formule chimique de la mauvéine.

I.2.2. Définition

Les colorants sont des composés généralement organiques, naturels ou synthétiques, qui ont la propriété de colorer durablement le support sur lequel ils sont appliqués. Ils sont caractérisés par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (380 à 750 nm). En général, les colorants consistent en un assemblage de groupements chromophores, auxochromes et de structures aromatiques (Tableau I.2). Ils sont utilisés pour colorer les textiles, les encres, les peintures, les vernis, les produits alimentaires, etc... On dénombre environ 8000 colorants synthétiques chimiques différents, sous 40000 dénominations commerciales. Les colorants synthétiques sont commercialisés sous différentes formes solides (poudres, granulés) ou liquides (solutions concentrées, dispersions ou pâtes) (Guechi El-Khamssa,2013).

Tableau I.2: Principaux groupes chromophores et auxochromes

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-N=O)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyle (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyle (-CH ₂ =CH ₂ -)	Hydroxyle (-OH)
Nitro (-NO ₂)	Alkoxy (-OR)
Sulfure (>C=S)	Groupements donateurs d'électrons

I.2.3. Les types de colorants

Il ya deux types de colorants :

a) Colorants naturels :

Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, alors que l'on compte des milliers de colorants synthétiques. Les colorants naturels sont extraits des plantes, des arbres, des lichens ou Insectes et des mollusques. Les colorants jaunes sont les plus nombreux. On rencontre deux catégories de colorants naturels : les colorants à mordant et les colorants de Cuve (Guillard C, 2002).

b) Colorants synthétiques :

Les matières premières des colorants synthétiques sont des composés tels que le benzène, issu de la distillation de la houille. C'est pour cette raison que les colorants de synthèses sont communément appelés colorants de goudron de houille. A partir de ces matières premières, les intermédiaires sont fabriqués par une série de procédés chimiques, qui en générale correspondent au remplacement d'un ou de plusieurs atomes d'hydrogènes du produit de départ, par des éléments ou des radicaux particuliers (Guillard C, 2002). Les colorants synthétiques sont classés selon leur structure chimique (**Classification chimique** et **Classification tinctoriale**), et leur méthode d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.) Annexe 1.

I.2.4. Impact des colorants

➤ Sur l'environnement :

Les rejets d'effluents des industries textiles chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire considérablement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité peut provoquer la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. De ce fait, ils peuvent persister longtemps, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore (pouvoir d'auto épuration des cours d'eau, inhibition de la croissance des végétaux aquatiques) et dans la faune (destruction d'une catégorie de poissons, de microorganismes).

Le traitement des effluents chargés en colorants s'avère donc indispensable pour la sauvegarde de l'environnement (Aboua K.N, 2013).

➤ Sur la santé :

Les colorants synthétiques sont parmi les substances qui représentent de grands risques pour la santé de l'homme. Les colorants de synthèse entraînent des risques cancérogènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie .

I.2.5. Le colorant Cristal violet

Dans notre étude on s'intéresse aux colorants basiques (cationiques) en particulier le **Cristal violet (CV)** (Figure I.2).

Chapitre I : Aperçu théorique

Le CV est un colorant cationique synthétique. On l'appelle également Basic Violet 3, violet de méthyle 10B. Il appartient au groupe des triphenylméthanes. Ce colorant est employé dans différents domaines par exemple comme agent dermatologique, en médecine vétérinaire, un additif à l'alimentation de volaille pour empêcher la propagation des parasites intestinaux et du mycète. Il est également utilisé intensivement pour la coloration du textile et pour l'impression du papier (Bouaniba N,2014).

Le CV est toxique à travers la peau provoquant une irritation. Il est nocif par inhalation et ingestion. Dans les cas extrêmes, peut conduire à une insuffisance rénale, irritation sévère des yeux conduisant à la cécité permanente au cancer (Adak A,2005).



Figure I.2: la forme et la couleur du (cv)

I.3. Procédé d'adsorption

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier entre la condensation du gaz à la surface, et une absorption du gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse (Barka, 2008).

I.3.1. Définition

L'adsorption est définie comme étant un processus de fixation de molécules d'un fluide sur la surface d'un solide, ce qui augmente la concentration des molécules de ce fluide sur la surface du solide sans pour autant modifier le volume de ce milieu poreux (figure I.3) (Mebarki B,2017).

L'adsorbat étant la substance retirée de la phase liquide et l'adsorbant est la phase solide sur laquelle l'accumulation a lieu.

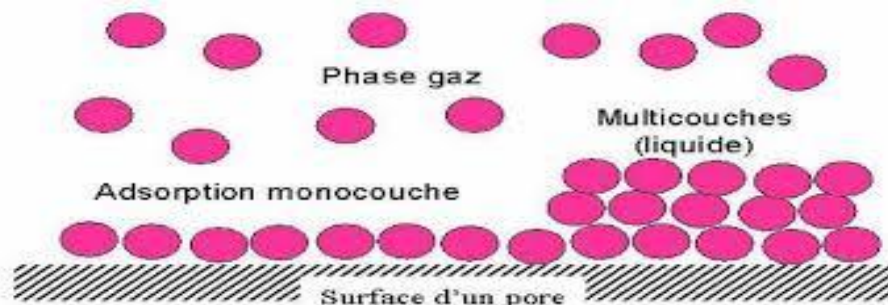


Figure I.3 : Représentation schématique du phénomène d'adsorption.

I.3.2. Types d'adsorption

Suivant l'importance des énergies mises en jeu entre l'adsorbant et l'adsorbât, les forces responsables du phénomène d'adsorption peuvent être de nature physique ou chimique (figure I.4), conduisant ainsi à deux types d'adsorption :

- Adsorption physique "physisorption"
- Adsorption chimique "chimisorption"

Le tableau I.4 représente les propriétés physico-chimiques de ces deux types d'adsorption.

Tableau I.3: Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique (Ouslimani N, 2012).

Propriétés	Physique	Chimique
Energie d'adsorption	5 à 10 Kcal/mol	10 à 100 Kcal/mol
Température de processus	Relativement faible comparée à la température d'ébullition de l'adsorbât	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbât
Nature de liaison	Van der Waals	Chimique
Désorption	Plus ou moins parfaite	Difficile
Cinétique	Rapide	Lente
Type de formation	Formation en multicouches et Monocouches	Formation en monocouche
Réversibilité	Réversible	Irréversible
Individualité des molécules	Conservée	Destruction

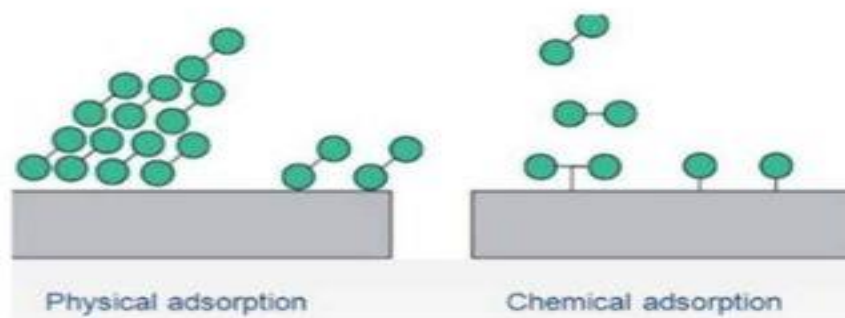


Figure I.4: Représentation schématique de deux types d'adsorption.

I.3.3. Facteurs influençant l'adsorption

Plusieurs paramètres influent sur l'adsorption, les plus importants sont : (Belayachi A ,2016), (Cardot C ,1999),(Bouchemal F ,2007),(Nait Merzoug,2014) :

- **Concentration**
- **Température**
- **pH**
- **La masse d'adsorption, etc...**

I.3.4. Cinétique d'adsorption

Dans la littérature, différents modèles cinétiques ont été utilisés pour évaluer le processus d'adsorption et de déterminer certains paramètres cinétiques comme la constante de vitesse et la quantité adsorbée à l'équilibre (Ahmad M.A,2014).

a. Modèle cinétique pseudo-première ordre (modèle Lagergren)

Lagergren a proposé un modèle cinétique de pseudo-premier ordre exprimé par la relation suivante (Slejko, 1985) :

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

Avec q_e : quantité du CV adsorbée à l'équilibre (mg/g),

q_t : quantité adsorbée du CV à l'instant t (mg /g),

k_1 : constante de vitesse de réaction de premier ordre d'adsorption du CV (min⁻¹),

t : temps de contact (min).

b. Modèle du cinétique pseudo-deuxième ordre

Une expression également très souvent utilisée est celle du pseudo-deuxième ordre. Ce modèle suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électrons (AKSAS H, 2013).

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 \times q^2 e} + \frac{t}{qe}$$

Où k_2 : constante de vitesse de réaction de second ordre d'adsorption du CV.

c. Modèle de la diffusion intra- particulaire

Webber et Morris ont montrés expérimentalement que lorsque l'adsorption est contrôlée par la diffusion intra-particulaire, la fraction de soluté adsorbée varie proportionnellement avec la racine carrée du temps ($t^{1/2}$) durant l'étape initiale de la cinétique d'adsorption pendant laquelle la quantité adsorbée reste inférieure à 20 % de la capacité maximale (Slejko, 1985).

L'expression cinétique de diffusion intra-particulaire est souvent présentée par:

$$qt = K_{int} t^{1/2} + C$$

Tel que : K_{int} : la constante de la diffusion intra-particulaire ($mg/g.min^{1/2}$).

C : représente la valeur de l'épaisseur de la couche limite.

I.3.5. Les modèles mathématiques d'isothermes

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption. Elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température donnée. Nous rappellerons ci-dessous les principales lois utilisées.

I.3.5.1. Modèle de Langmuir

La théorie de Langmuir a permis l'étude de l'adsorption de molécules de gaz ou liquide sur une surface solide. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- L'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie.
- L'adsorption se produit en monocouche.
- La réaction est réversible,
- Le nombre de sites d'adsorption sur la surface est limité.

Chapitre I : Aperçu théorique

L'isotherme de Langmuir est difficilement utilisable pour des systèmes naturels où l'adsorption en couche simple sur un seul type de site est rarement rencontrée.

L'isotherme est représentée par l'équation suivante (Barka N,2008) :

$$Q_e = \frac{q_m K_L C_e}{K_L C_e + 1}$$

Où: Q_e : Quantité adsorbée à l'équilibre, en (mg/l).

q_m : Capacité maximale d'adsorption de la mono couche, en (mg/g).

C_e : Concentration à l'équilibre, exprimé en (mg/l).

K_L : Paramètre de Langmuir.

La linéarisation de cette équation donne :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_L q_m}$$

On détermine la valeur de la capacité maximum d'adsorption de la monocouche q_m et la constante de Langmuir K_L en traçant la droite : $C_e/q_e = f(C_e)$

$$\frac{C_e}{q_e} = f(C_e)$$

I.3.5.2.Modèle de Freundlich

Contrairement au modèle de Langmuir, l'équation de Freundlich (éq. 2) est souvent adaptée pour Modéliser des isothermes d'adsorption de toutes sortes type I, II ou III, elle a été proposée mathématiquement pour modéliser une allure de courbe isotherme quelconque. Son expression est la suivante :

$$q_e = K_f C_e^{1/n}$$

- Q_e et C_e étant la capacité d'adsorption en mg/get la concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre en L/mg.
- K_f et n , constantes de Freundlich,
- Des valeurs de n supérieurs à 1, généralement comprises entre 2 et 10, indiquent une adsorption favorable ; des valeurs de $n < 1$ révèlent une faible adsorption (Saoudi S, 2013).

I.3.6. Classification des isothermes

L'isotherme d'adsorption représente les quantités adsorbées de soluté en fonction de la concentration de ce dernier en solution à une température donnée. Les isothermes d'adsorption des solutés ont été classées par Giles et coll. en quatre principales classes (Figure I.5).

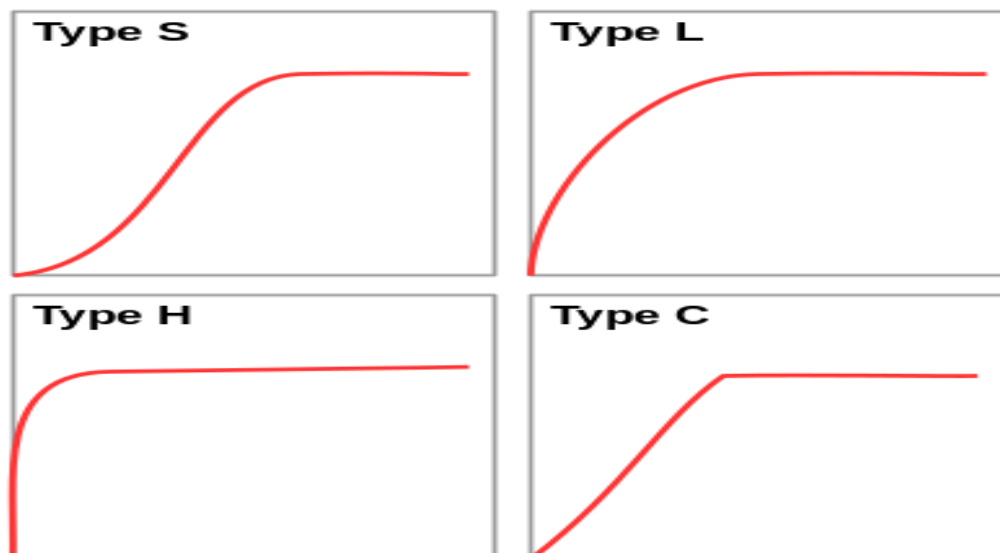


Figure I. 5 : Classification des isothermes d'adsorption

- **Isothermes de type S :**

Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative). Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals

- **Isothermes de type L :**

Elles sont dites de Langmuir et sont les plus fréquentes. Elles sont caractérisées par une courbe concave par rapport à l'axe des concentrations. L'élimination du soluté devient de plus en plus difficile lorsque le degré de recouvrement de la surface de l'adsorbant augmente

- **Isothermes de type H :**

Elles sont obtenues lorsqu'il y a une affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant. A très faibles concentrations, les courbes ne débutent pas par un zéro, mais par une valeur positive sur l'axe des quantités adsorbées. Cette isotherme est considérée comme un cas particulier de l'isotherme L. Ces isothermes sont rencontrées lorsqu'il y a une chimisorption du soluté, ou bien un échange d'ions (Denat F,2010).

- **Isothermes de type C :**

Les courbes sont sous forme de ligne droite, avec le zéro comme origine. Elles signifient que le rapport entre la concentration dans la solution aqueuse et adsorbée est le même à n'importe quelle concentration. Ce rapport est appelé coefficient de distribution K_d (L /kg) (Denat F,2010).

I.4.L'adsorbant

I.4.1. Introduction

Un adsorbant est un composé solide qui intervient dans le processus d'adsorption, en théorie tous les solides sont des adsorbants.

Les adsorbants les plus utilisés sont les **charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice et les alumines activées.**

Les biosorbants sont pour la plupart des déchets agricoles et industriels ayant des propriétés intrinsèques qui leur confèrent une capacité d'adsorption. Ce sont des déchets végétaux tel que l'écorce de pin, l'écorce d'êtré, eucalyptus, la bagasse de canne à sucre, le vétiver, les pulpes de betterave, les fibres de jute, de noix de coco, de coton, les noyaux de tamarin, le sagou, les cosses de riz ou des déchets d'animaux, comme la biomasse bactérienne morte ou vivante, les algues, les levures, les champignons, les mousses.

I.4.2. Le biosorbant Eucalyptus

I.4.2.1.Définition

La plante Eucalyptus, dont le nom scientifique est Eucalyptus, est un arbre à feuilles persistantes à croissance rapide. Il existe plus de 600 espèces de cette plante réparties dans le monde, notamment en Australie, en Asie du Sud-Est et en Amérique du Sud (Figure I.6)(Warot, 2006).

- **Famille** : Myrtaceae
- **Genre** : Eucalyptus
- **Espèce** : globulus
- **Nom botanique** : Eucalyptus globulus, Labill.
- **Les noms vernaculaires** : Calitouss « le nom le plus connue en Algérie », Calibtus, Kafor.

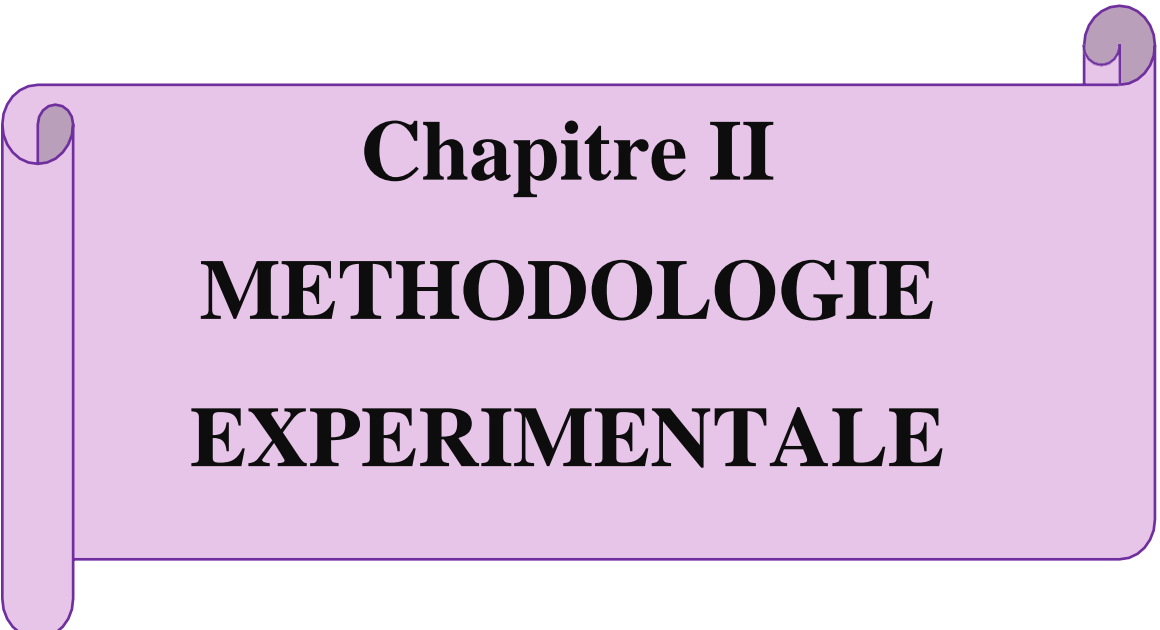


Figure I.6:Arbre et feuilles d'Eucalyptus (globulus)

I.4.2.2.Les propriétés d'Eucalyptus

Les eucalyptus présentent des avantages importants pour la santé humaine et l'environnement, notamment :

- Stocker du carbone en grande quantité et sa croissance rapide consomme plus de carbone.
- Il abrite de nombreuses créatures sauvages telles que les abeilles, car il possède des fleurs riches en nectar qui fleurissent en hiver.
- Réduire la pollution et le bruit ; Ses feuilles denses aident à réduire la pollution de l'air et ses nombreuses branches aident à absorber le bruit de la ville. (Daroui-Mokaddem, 2012).
- Anti-inflammatoire et anti-infectieux, il possède un effet fluidifiant sur les sécrétions bronchiques. Il est utilisé en phytothérapie pour traiter les inflammations et infections des voies respiratoires (toux, bronchite, rhume, sinusite)(Tesche et Metternich, 2008).



Chapitre II
METHODOLOGIE
EXPERIMENTALE

Chapitre II : methodologie experimentale

II.1. Introduction

Le but de ce chapitre est d'identifier toutes les méthodes et protocoles utilisés pour effectuer ce travail, ainsi que les organes et les moyens pour y parvenir. OÙ nous avons utilisé dans le processus d'adsorption colorant cristal violet (CV) comme un adsorbat et feuilles d'eucalyptus comme un adsorbant.

Nous étudions également l'impact des facteurs physico-chimiques les plus importants affectant le processus (concentration initiale du colorant, la masse de l'adsorbant, le pH de la solution, la vitesse d'agitation et la cinétique de l'adsorption du colorant (CV).

II.2. Produits et Matériels

II.2.1. Produits chimiques utilisés

Le tableau II.1 représente les réactifs et produits chimiques utilisés dans le protocole opératoire.

Tableau II.1: Produits chimiques utilisés.

Produits	Formule	Masse molaire (g/mol)	Pureté	Fournisseur
Acide sulfurique	H ₂ SO ₄	98.079	98 %	Merck
Hydroxyde de sodium	NaOH	39.997	98.8%	Biochem
Chlorure de sodium	NaCl	58.44	99 %	Sigma-Aldrich
Cristal violet	C ₂₅ N ₃ H ₃₀ Cl	407,979	99 %	Sigma-Aldrich
Eau distillée	H ₂ O	18.018	-	Laboratoire pédagogique

Chapitre II : methodologie experimentale

II.2.2. Matériels et verriers utilisés

Le tableau II.2 représente la liste du matériel et les verreries utilisées dans la partie expérimentale.

Tableau II.2 : Matériels et verreries utilisés

Verreries	Matériels
<ul style="list-style-type: none">▪ Entonnoirs▪ Flacons▪ Fiole (100, 250, 500,1000 ml)▪ Verre de montre▪ Eprouvette graduée 50ml, 100 ml▪ Tubes à essai▪ Barreaux magnétiques▪ Bêcher (1000, 500,250ml)	<ul style="list-style-type: none">▪ pH mètre.▪ Micropipette.▪ Une balance analytique▪ Spatule▪ Plaque chauffante magnétique▪ Spectrophotomètre UV-Visible▪ Spectroscopie infrarouge▪ Centrifugeuse▪ Bain marie numérique▪ Pissette▪ Cuvette UV-Visible

II.3. Préparation de l'adsorbant et l'adsorbat

II.3.1. Préparation de l'adsorbant (feuilles d'eucalyptus)

La préparation d'adsorbant « feuilles d'eucalyptus » s'est faite comme c'est indiqué dans la Figure II.1.



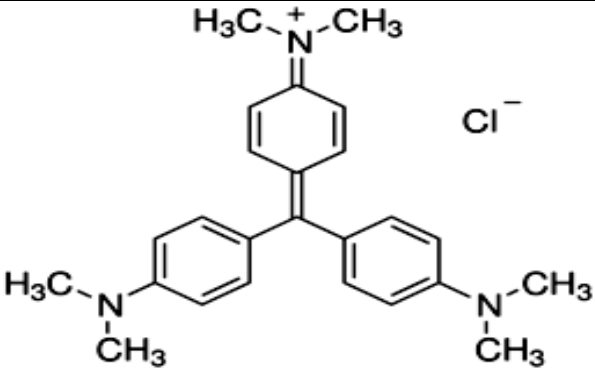
Figure II.1: Etapes de préparation de l'adsorbant (feuilles d'eucalyptus).

II.3.2. Préparation de l'adsorbant (Cristal violet)

II.3.2.1. Caractéristiques générales du cristal violet (CV)

Les principales caractéristiques physico-chimiques ainsi que l'usage et toxicité du colorant sont mentionnées dans le tableau II.3.

Tableau II.3 : Caractéristiques physico-chimique du cristal violet (Bouaniba N,2014)

Appellation chimique	Chlorure de méthylosaniline-Basic violet3
Formule chimique	$C_{25}N_3H_{30}Cl$
Masse moléculaire	407,979g/mol
pKa	0.8
Structure chimique	

II.3.2.2. Préparation de la solution du cristal violet

La solution de colorant a été préparée en utilisant de l'eau fraîchement distillée. Pour avoir une bonne reproductibilité des résultats des études d'adsorption, nous avons préparé le volume de 500 ml/l de solution mère à une concentration de (1000 mg/l).

On dissout 0,5g de CV dans 500 ml d'eau distillée à fin d'obtenir une concentration $C_0=1$ g/l. Le mélange obtenu a été homogénéisé par agitation.

II.4. Techniques séparatives et analytiques

II.4.1. Centrifugation

- a) **Définition** :La centrifugation est un procédé de séparation mécanique des composés d'un mélange en fonction de leur différence de densité en les soumettant à une force centrifuge entraînée dans un mouvement de rotation. Le mélange à séparer peut-être constituer soit de deux phases liquides, soit de particules solides en suspension dans un fluide. L'appareil utilisé est une machine tournante à grande vitesse appelée centrifugeuse(Annexe 2) (Semmane O,2023).

Chapitre II : methodologie experimentale

b) Principe de la centrifugation : La centrifugation permet de séparer des constituants de taille et de masse très variables contenus dans un liquide, depuis des molécules jusqu'à des cellules entières. Tous les constituants contenus dans un échantillon sont soumis à la gravité, force qui s'exerce du haut vers le bas, et à la poussée d'Archimède, force qui s'exerce du bas vers le haut. On pourrait donc s'attendre qu'avec le temps tous les constituants finissent par tomber au fond du récipient dans lequel ils se trouvent (sédimentation) ou remontent à la surface. Mais pour la majorité d'entre eux, un autre phénomène intervient qui empêche ce résultat : l'agitation moléculaire. Elle n'a pas de direction privilégiée, et à l'échelle microscopique l'agitation moléculaire est de très loin plus importante que la gravité et la poussée d'Archimède(Annexe 3)

c) Applications : L'opération de centrifugation est utilisée dans les **processus industriels** et technologiques de nombreux secteurs :

En biologie : la méthode d'ultracentrifugation est utilisée pour la séparation des macromolécules, la séparation des globules blancs des globules rouges dans le sang.

Dans l'industrie nucléaire : dans le procédé d'enrichissement de l'uranium.

Dans l'industrie agroalimentaire : dans la séparation de la crème du lait, l'élimination des particules de la bière et du vin, l'extraction des huiles, du miel, etc.

Dans la formation des astronautes et pilotes militaires : la centrifugeuse permet un renforcement de leur résistance aux grandes accélérations.

Dans l'environnement : pour la dessiccation des boues dans le traitement des **eaux usées** (www.legarrec.com).

II.4.2. Spectroscopie Infrarouge

Le principe de la spectroscopie infrarouge (IR) repose sur l'absorption de la lumière par la plupart des molécules dans la région de l'infrarouge du spectre électromagnétique et en convertissant cette absorption en vibration moléculaire. Cette absorption correspond spécifiquement aux liaisons présentes dans la molécule. Avec un spectromètre (Annexe 4), cette absorption du rayonnement infrarouge par le matériau de l'échantillon est mesurée en fonction de la longueur d'onde (sous la forme de nombres d'onde, typiquement de 4000 à 600 cm^{-1}). Le résultat est un spectre qui donne une "empreinte chimique" distinctive qui peut être

Chapitre II : methodologie experimentale

utilisée pour visualiser et identifier des échantillons organiques et inorganiques(www.bruker.com).

II.4.3. Spectroscopie UV-visible

Afin d'obtenir un spectre UV-visible, la solution est soumise aux rayonnements dont la longueur d'onde est comprise dans l'intervalle 200-400 nm (domaine des ultraviolets) et dans l'intervalle 400-800 nm (domaine de la lumière visible) (Figure II.2)(Mechta A,2023).

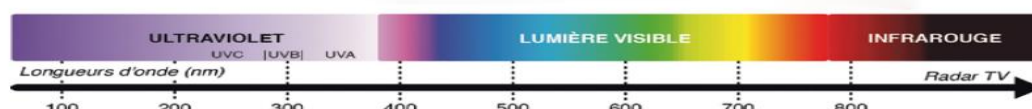


Figure II.2: Rayonnements de la longueur d'onde UV-Visible

L'analyse spectrophotométrique UV-Visible est fondée sur l'étude du changement d'absorption de la lumière par un milieu en fonction de la concentration d'un constituant. De la proportion de l'intensité lumineuse absorbée par solution, on déduit la concentration de la substance absorbante. L'analyse est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible (Annexe 5), qui utilise une lumière sensiblement monochromatique.

▪ Loi de Beer –Lambert

Elle indique que l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration et à l'épaisseur de l'échantillon. La spectroscopie UV-visible peut être utilisée pour déterminer cette concentration. La détermination se fait dans la pratique soit à partir d'une courbe d'étalonnage qui donne l'absorbance en fonction de la concentration, soit calculée directement de l'équation quand le coefficient d'extinction molaire est connu (Denat F, (2010)). La loi de Beer-Lambert s'exprime sous la forme suivante :

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

Avec :A : Absorbance ou densité optique.

C : Concentration massique du composé dosé.

I, I₀ : Intensité du faisceau émergent et incident.

ε : Coefficient spécifique d'absorbance.

l : Epaisseur de la cuve.

II.5. Etablissement de la courbe d'étalonnage du colorant

La réalisation de la courbe d'étalonnage a été effectuée par deux étapes :

- 1) Détermination de la longueur d'onde maximale d'absorption λ_{\max} par l'établissement du spectre d'absorption après un balayage d'ondes dans le domaine de l'intervalle de 400-800nm, la longueur d'onde maximale d'absorption $\lambda_{\max} = 581\text{nm}$.
- 2) Mesure de l'absorbance des solutions filles préparées à partir de la solution mère du colorant cristal violet (CV) à différentes concentrations de (0.5-9 mg/l), et le tracé de la courbe d'étalonnage appropriée.

II.6. Essais d'adsorption

II.6.1. Evaluation de la capacité et rendement d'adsorption

a) La capacité d'adsorption :

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est définie comme étant la quantité de l'adsorbat (masse ou volume) adsorbée par unité de poids d'adsorbant pour une température donnée. Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres aussi bien pour l'adsorbat (taille des molécules, solubilité dans l'eau, etc....) que pour l'adsorbant (surface spécifique, structure et type de particules, etc....). Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante (Guillard C,2002).

$$q = \frac{(C_0 - C_e) * V}{m}$$

Avec: q : Capacité d'adsorption de l'adsorbant (mg.g^{-1}).

C_0 : Concentration initiale de l'adsorbat (mg.l^{-1}).

C_e : Concentration de l'adsorbat à l'instant t de l'équilibre d'adsorption (mg.l^{-1}).

V : Volume de la solution (litre).

m : Masse de l'adsorbant (g).

b) Le rendement d'adsorption :

Le taux d'élimination est défini comme étant le rendement du processus d'adsorption.

C'est le rapport de la quantité du colorant adsorbé à l'instant t donné sur celle qui s'y trouve initialement dans la solution aqueuse, sa valeur est calculée par la relation suivante :

$$R\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

Où C_0 : Concentration initiale de l'adsorbat (mg/l).

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

II.6.2. Effet de la masse de l'adsorbant

On introduit dans une série de béchers contenant successivement des masses de 0.025 à 1.5 de notre adsorbant, 50mL de la solution du polluant (adsorbat CV) de concentration de 100 mg/L.

L'ensemble est agité pendant 2 heures puis centrifuger et analysé par un spectrophotomètre.

II.6.3. Effet du temps de contact

Dans le but de déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption, nous avons préparé trois solutions de l'adsorbat (CV) de concentrations de 10,25 et 50 mg/L et suivi la procédure suivante :

Dans une série de béchers, on introduit successivement de masse optimale de l'adsorbant et 50 mL de la solution préparée.

L'ensemble est agité à des temps d'agitation allant de 5 à 180 minutes, puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

II.6.4. Effet du pH de la solution

Le pH joue un rôle important dans le processus d'adsorption.

Dans le but d'étudier l'influence du pH de la solution sur la capacité d'adsorption, on a mis en contact, dans une série de béchers, successivement de masse optimale d'adsorbant avec 50 mL de solutions à différents pH. Le pH de ces solutions varie entre 2 et 10. L'ajustement du pH est fait avec l'acide sulfurique pour les pH acides et l'hydroxyde de sodium pour les pH basiques.

Le mélange est agité pendant un temps déterminé précédemment, puis centrifugé et analysé par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 581 nm.

II.6.5. Effet de la concentration de l'adsorbat

II.6.6. Effet de la Température :

Afin d'étudier l'influence de la température sur l'adsorption du polluant par l'adsorbant, des flacons contenant 50 mL de solutions de CV à la concentration de 50 mg/l avec une masse optimale de l'adsorbant, sont placés dans un bain-marie numérique de régler la température (25, 45, 55 °C).

L'ensemble est agité pendant 2 heures puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

II.6.7. Effet de la force ionique

Les eaux industrielles et naturelles contiennent beaucoup des sels qui ont un effet sur l'adsorption des colorants, donc il est très important d'évaluer l'effet de la force ionique sur l'adsorption. On prépare une solution de 50 ml du CV à concentration de 50 mg/l et une masse optimale. On ajoute aux solutions du CV des concentrations croissantes de 20,50, 80,110,200 de chlorure de sodium (NaCl), On agite la solution pendant 2h, puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

II.6.8. Elaboration des isothermes d'adsorption

Dans une série de flacons, nous avons introduit successivement la quantité optimisée de l'adsorbant et 50mL de solutions filles, de concentrations qui varient entre 10 et 300mg/L. Le mélange est agité pendant un temps déterminé, puis centrifugé et analysé. On calcule ensuite la quantité adsorbée (q) à chaque concentration préparée.



CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus à l'issue de l'étude de l'élimination du polluant organique cristal violet (CV) par l'adsorbant (feuilles d'eucalyptus).

Dans un premier temps, la spectroscopie infra rouge a été utilisée comme méthode analytique de caractérisation du matériau adsorbant, suivi d'une étude expérimentale sur l'influence de quelques paramètres physicochimiques sur la capacité d'adsorption, et enfin la représentation des modèles cinétiques et d'isothermes.

III.2. Caractérisation du biosorbant par spectroscopie infrarouge IR

Les Figure III.1, III.2 représentent respectivement, les spectres infrarouges du biosorbant feuilles d'eucalyptus avant et après adsorption.

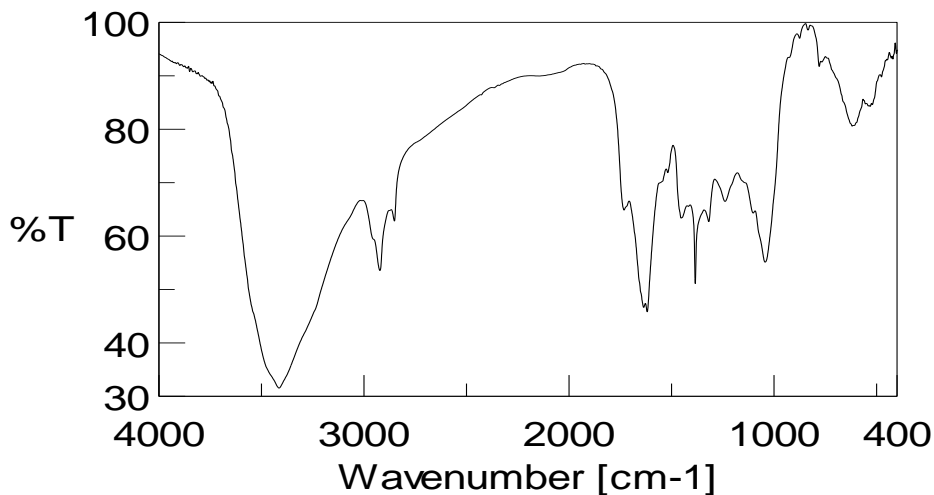


Figure III.1: Spectre infrarouge des feuilles d'eucalyptus brut.

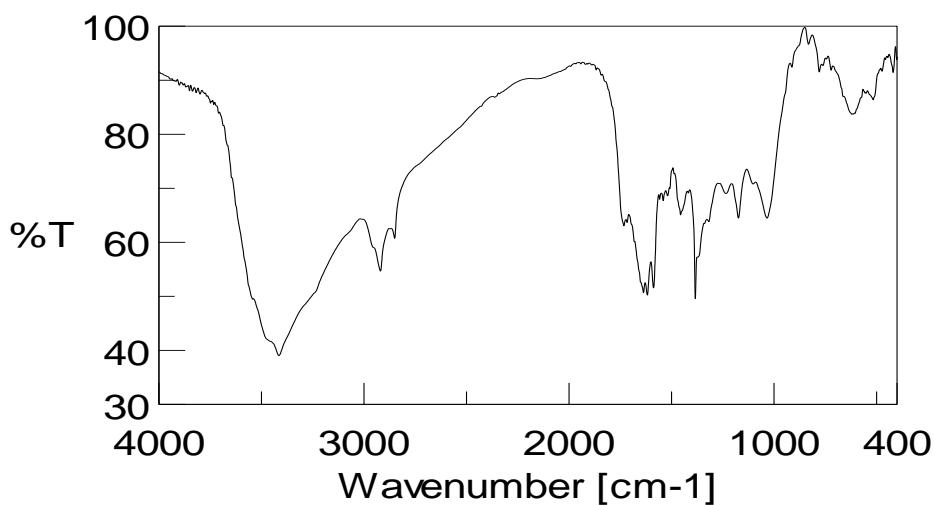


Figure III.2 : Spectre infrarouge des feuilles d'eucalyptus après adsorption du CV.

Chapitre III : résultats et discussion

L'analyse du spectre infrarouge montre la présence de nombreux groupements fonctionnels à la surface de l'adsorbant (Figure III.1, III.2), les bandes observées sont :

- Une large bande à 3400 cm^{-1} indiquerait la présence d'une fonction alcool (liaison OH).
- Les deux pics à 2950 et 2800 cm^{-1} correspondent à la vibration d'élongation des groupements (CH-) aliphatiques.
- Un pic à intense à environ 1650 cm^{-1} indique généralement la présence d'une fonction carbonyle C=O.
- Un pic à 1010 cm^{-1} correspondant à la vibration d'élongation ether (-C-O-C-).
- Le déplacement après adsorption de certains pics indiquant l'implication des groupements fonctionnels correspondants à ces pics dans le processus d'adsorption du colorant CV sur le biosorbant.

III.3. Etude de la courbe d'étalonnage du colorant

Chaque solution colorée du colorant CV a été analysé dans le domaine du visible par un spectrophotomètre à la longueur d'onde **581 nm**, qui a été déterminée par balayage.

La courbe d'étalonnage a été déterminée dans le domaine des concentrations du colorant allant de 1 à 6ppm , l'équation de la droite de la courbe d'étalonnage (Figure III.3) donnant l'absorbance en fonction de la concentration du cristal violet (CV) est :

$$A = 0,1644.C$$

Avec A est l'absorbance et C étant la concentration,

Le facteur de corrélation correspondant est égal à $R^2 = 0.9981$.

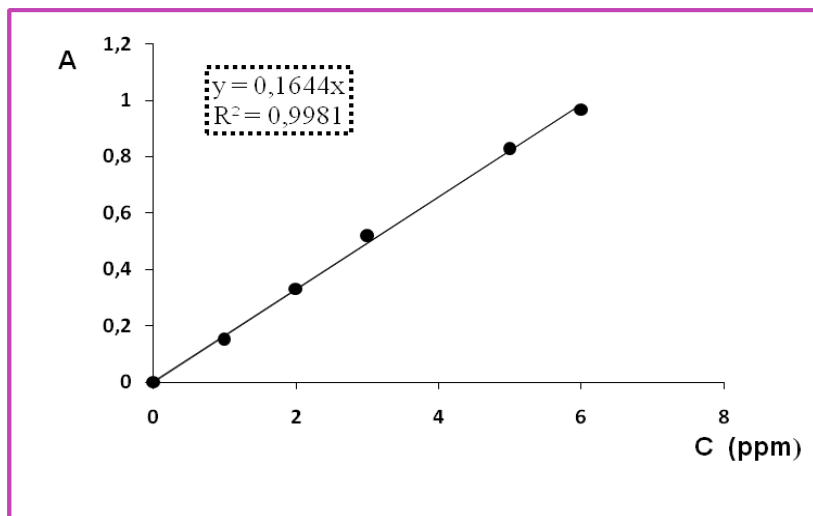


Figure III.3 : courbe d'étalonnage du cristal violet.

Chapitre III : résultats et discussion

Pour déterminer les différentes concentrations résiduelles dans les solutions des différents essais d'adsorption, on se réfère toujours à la courbe d'étalonnage de la figure III.3.

III.4. Optimisation des conditions opératoires

III.4.1. Etude de l'effet de masse

La recherche de la masse minimale nécessaire et suffisante d'un matériau pour adsorber un polluant donné est une étape primordiale à toute étude sur l'adsorption, c'est la raison pour laquelle nous avons entamé cette étape sur le colorant cristal violet (CV).

Dans cette étude, nous fixons le volume de la solution (50 ml) tout en faisant varier la masse de l'adsorbant. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure III.4.

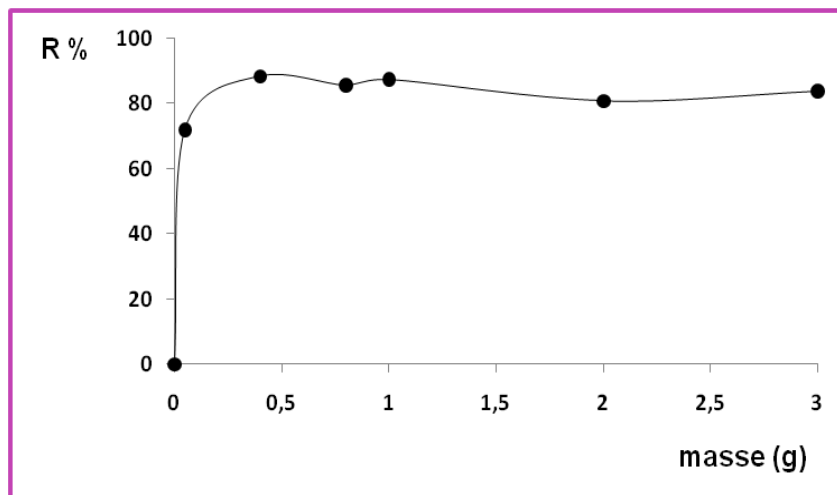


Figure III.4 : Effet de masse de l'adsorbant sur l'adsorption du CV.

La figure III.4 montre que le rendement d'adsorption du CV en fonction de la masse augmente jusqu'au maximum grâce au nombre de molécules d'adsorbant diffusées dans la phase liquide. Ce dernier augmente avec l'augmentation de la masse de l'adsorbant jusqu'à l'élimination maximale de la solution du colorant pour une masse de l'adsorbant de 0,5g.

III.4.2. Etude de l'effet du temps de contact

L'essai relatif pour déterminer l'effet du temps de contact a été réalisé à température ambiante. La concentration initiale en colorant est $C_0 = 10, 25,50$ ppm, dans un volume de 50 mL et une masse d'adsorbant 0,5g pour l'adsorbant.

L'ensemble est mis sous une agitation de 180 min. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure III.5

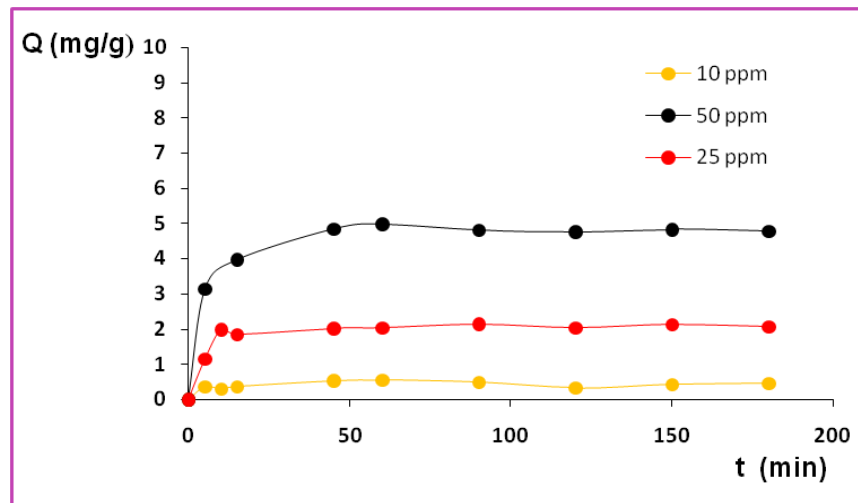


Figure III.5 : Effet du temps de contact de l'adsorbant.

Le graphe représentant la quantité adsorbée du CV en fonction du temps de contact (Figure III.5) montre que la réduction du colorant augmente avec l'augmentation du temps de contact, jusqu'à à une valeur constante et maximale de la quantité adsorbée, on peut en déduire que le temps d'équilibre adéquat se trouve au-delà de 45min pour les trois différentes concentrations du colorant .L'augmentation de la concentration du colorant, accélère la diffusion de celui-ci en raison de l'augmentation des forces d'attractions du gradient de concentration à l'équilibre.

III.4.3. Etude de l'effet du pH de l'adsorbat

Le pH joue un rôle critique dans le contrôle de la charge sur la surface de l'adsorbant, l'ampleur de l'ionisation de l'adsorbat et et la dissociation des différents groupements fonctionnels sur l'adsorbant, nous avons étudié l'efficacité d'adsorption de colorant CV à des pH différents (2,3, 4, 5, 7, 8,9 et 10).

Les résultats obtenus sont représentés dans la figure III.6.

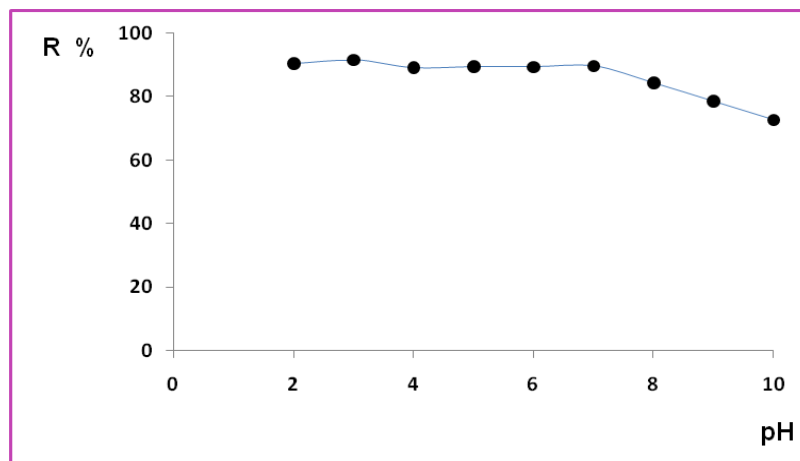


Figure III.6 : Effet du pH de l'adsorbat.

Chapitre III : résultats et discussion

Nous avons pu observer (figure III.6) que le taux d'élimination de l'adsorbat maximale est à pH= 2, avec un rendement d'élimination de 90%, puis il diminue progressivement jusqu'à un pH de 10, par conséquent, on peut constater dans ce cas que le pH acide de l'adsorbat CV favorise son adsorption sur la surface des feuilles d'eucalyptus, plusieurs résultats similaires sur l'adsorption du cristal violet ont été également observé dans d'autres études de Cheruiyot et ses collaborateurs (2019), les travaux de Alshabanat et al., (2013), et également dans les travaux de S. Abbass (2021).

III.4.4. Etude de l'effet la concentration de l'adsorbat

L'effet de la concentration initiale en colorant (10 à 300 ppm) sur la capacité d'adsorption est illustré par la figure III.7.

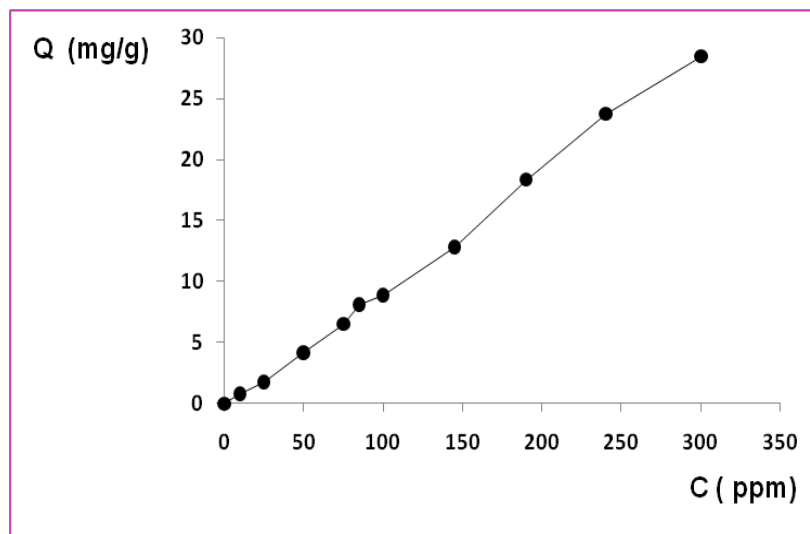


Figure III.7 : Effet la concentration de l'adsorbat

La figure III.7 montre que la quantité adsorbée du CV en solution, par l'adsorbant feuilles d'eucalyptus augmente avec l'augmentation de la concentration initiale en colorant, au fur et à mesure de la disponibilité des sites d'adsorption présents à la surface adsorbante.

III.4.5. Etude de l'effet de la température

La température joue un rôle important dans le processus d'adsorption, l'influence de la température a été étudiée en utilisant un bain thermostat permettant le maintien de la température à la valeur désirée (25, 45 et 55°C), Les résultats sont présentés dans la figure III.8.

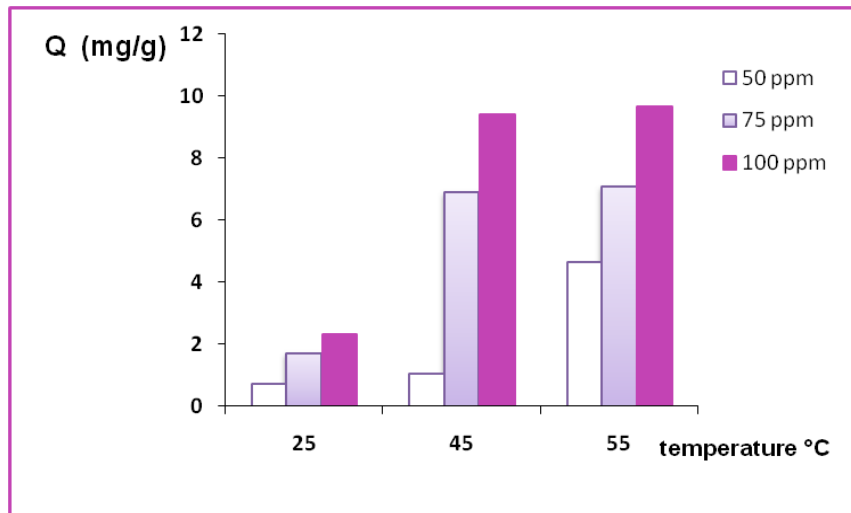


Figure III.8 : effet de température de la solution adsorbant

La figure III.8 montre que l'augmentation de la température affecte la capacité d'adsorption du CV, la quantité adsorbée du CV augmente et varie entre les températures de 25 et 45 °C, et ce résultat est observé pour les trois concentrations 50, 75 et 100 ppm.

III.4.6. Etude de l'effet de la force ionique

Dans cette étude, nous étudions l'influence de la force ionique sur l'adsorption, on a choisi le chlorure de sodium (NaCl) de concentration de 0 à 200 g/l comme modèle pour étudier l'influence de la solution saline sur l'adsorption du CV (figure III.9).

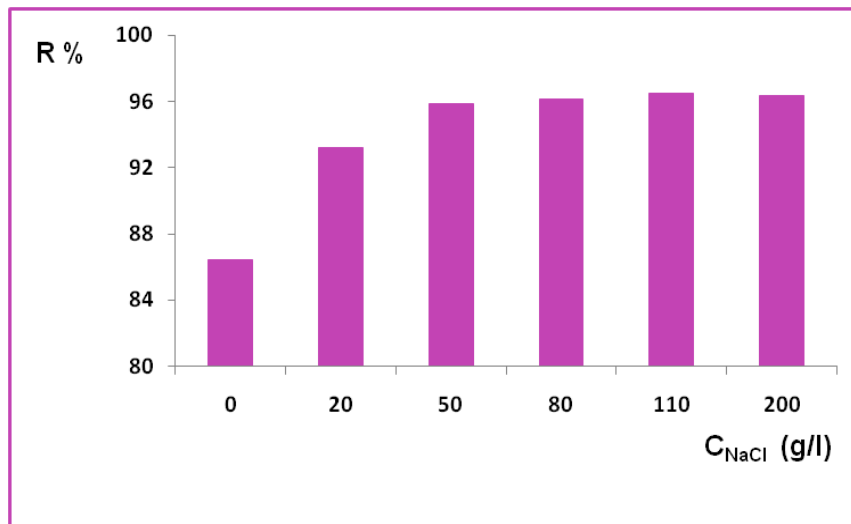


Figure III.9 : Effet de la force ionique sur l'adsorption du CV.

D'après les résultats obtenus (Figure III.9), on remarque qu'il y a une augmentation du pourcentage d'adsorption avec l'augmentation de la concentration du sel NaCl, le rendement d'élimination varie de 86% jusqu'à 93% pour les solutions de 0 et 20 g/l de NaCl.

Chapitre III : résultats et discussion

respectivement, au-delà de la concentration de 50 g/l en sel le rendement d'élimination augmente légèrement.

III.5. Etude de la cinétique de l'adsorption

Le but de cette partie est l'étude des modèles cinétiques d'adsorption du colorant CV sur les feuilles d'eucalyptus. Les modèles cinétiques d'adsorption les plus utilisés sont le modèle du pseudo premier ordre et le modèle du pseudo second ordre.

III.5.1. Modèle du pseudo premier ordre

Le modèle de pseudo-premier ordre est donné par l'expression :

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

Avec q_e : quantité du CV adsorbée à l'équilibre (mg/g),

q_t : quantité adsorbée du CV à l'instant t (mg/g),

k_1 : constante de vitesse de réaction de premier ordre d'adsorption du CV (min^{-1}),

t : temps de contact (min).

Le tracé de la courbe : $\ln (q_e - q_t)$ en fonction du temps des trois concentrations 10,25 et 50 ppm sont représentés dans la Figure III.10.

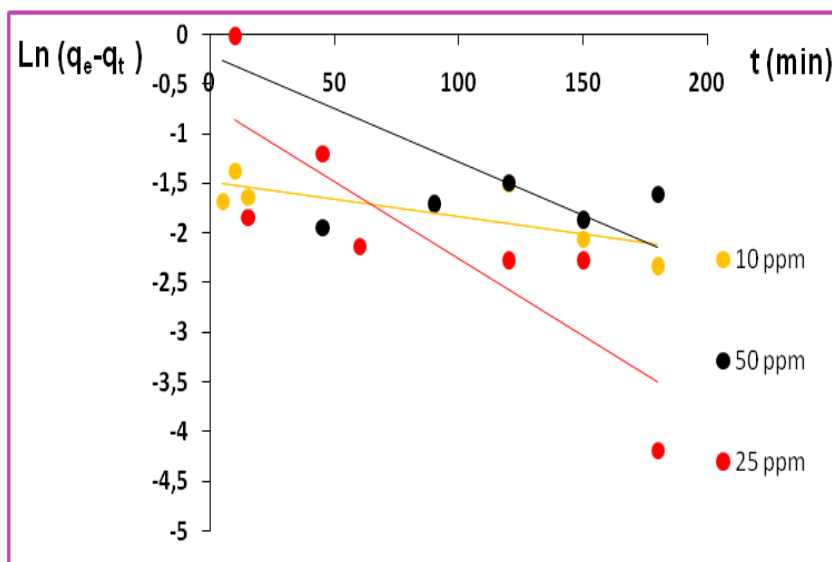


Figure III.10 : modèle cinétique du pseudo premier ordre.

III.5.2. Modèle du pseudo second ordre

Le modèle de pseudo-second ordre est donné par l'expression :

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 \times qe^2} + \frac{t}{qe}$$

Où k_2 : constante de vitesse de réaction de second ordre d'adsorption du CV.

On trace la courbe t/q_t en fonction de t , on obtient une droite qui détermine la constante k_2 (Figure III.11).

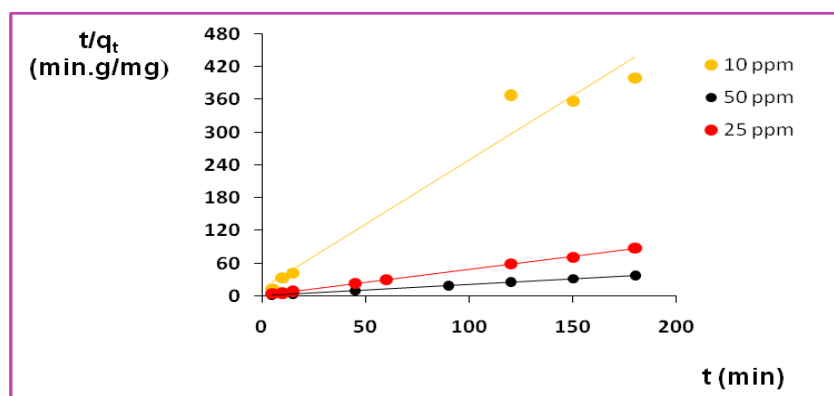


Figure III.11 : Cinétique du pseudo second ordre.

Le tableau III.1 représente les paramètres cinétiques du modèle pseudo 1er ordre et pseudo 2ème ordre pour l'adsorption du CV sur les feuilles d'eucalyptus.

Tableau III.1: Paramètres cinétiques du modèle pseudo premier ordre et pseudo second ordre pour l'élimination du CV par les feuilles d'eucalyptus.

Modèle cinétique	Constantes	10ppm	25 ppm	50 ppm
Modèle pseudo premier ordre	qe_{exp} (mg/g)	0.547	2.141	4.984
	qe_{cal} (mg/g)	0.032	0.199	0.619
	k_1 (min ⁻¹)	0.003	0.01	0.015
	R^2	0.579	0.689	0.510
Modèle pseudo deuxième Ordre	qe_{exp} (mg/g)	0.547	2.141	4.984
	qe_{cal} (mg/g)	0.424	2.114	4.878
	k_2 (g/mg.min)	0.388	0.205	0.0961
	R^2	0,961	0.999	0.999

Chapitre III : résultats et discussion

Le meilleur modèle établi pour l'étude de la cinétique d'adsorption est choisi selon le facteur de corrélation. Plus ce facteur est élevé, plus le modèle est favorable pour l'étude du processus d'adsorption.

D'après les résultats obtenus et indiqués dans le Tableau III.1, nous remarquons que le modèle qui présente un facteur de corrélation le plus élevé est celui du modèle de pseudo second ordre avec un facteur $0.961 \leq R^2 \leq 0.999$. Avec ces résultats, en déduit que le modèle de pseudo deuxième ordre est le modèle qui décrit mieux le processus d'adsorption du CV sur les feuilles d'eucalyptus.

III.6. Etude des isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique représentative de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbant et un adsorbat, qui est une étape très importante dans la détermination du type d'adsorption et de la capacité d'adsorption maximale de l'adsorbant.

Pour quantifier la capacité d'adsorption du colorant cristal violet par desfeuilles d'eucalyptus, les données expérimentalesd'adsorption sont traitées selon l'équation linéaire de Freundlich et de Langmuir. Les courbes du modèle de Langmuir et de Freundlich sont représentées sur les figures III.12 et III.13

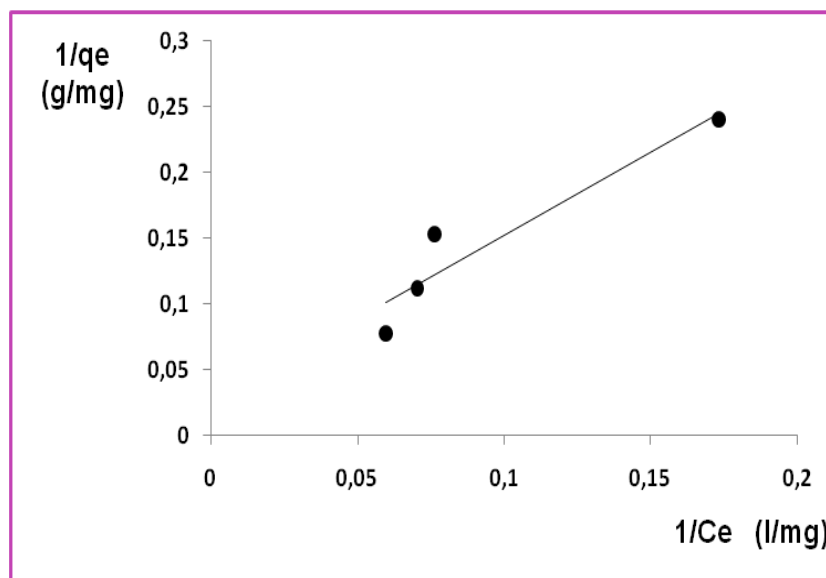


Figure III.12: Isotherme de Langmuir de l'adsorption du CV sur les feuilles d'eucalyptus.

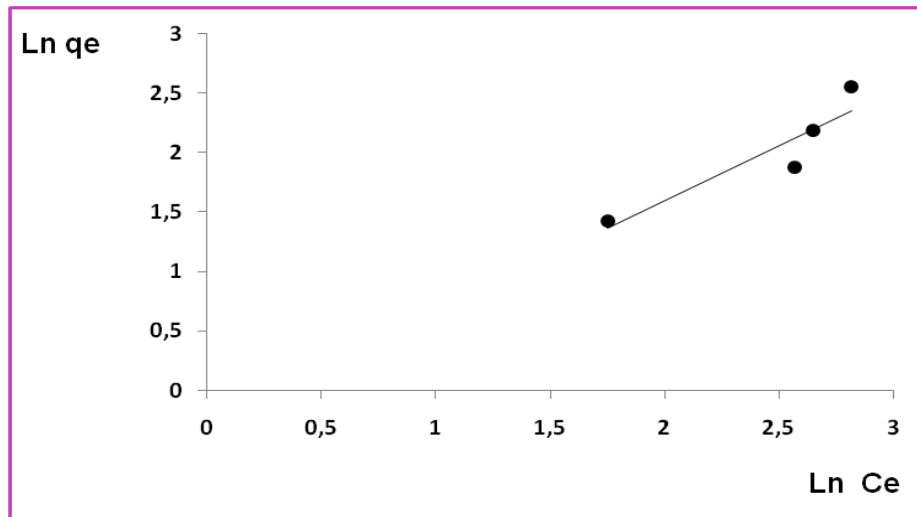


Figure III.13: Isotherme de Freundlich de l'adsorption du CV sur les feuilles d'eucalyptus.

A partir des modèles tracés dans les figures III.12 et III.13, on a pu calculer les constantes des modèles Langmuir et Freundlich. Les valeurs de ces constantes sont rassemblées dans le tableau III.2.

Tableau III.2: Constantes de Freundlich et Langmuir l'adsorption du CV sur les feuilles d'eucalyptus.

Modèle	Forme linéaire	Constantes		Facteur de corrélation	
Langmuir	$\frac{1}{qe} = \frac{1}{q_{max} \cdot K_L C_e} + \frac{1}{q_{max}}$	K_L (L/mg)	0,0206	R^2	0,895
		q_{max} (mg/g)	38.46		
Freundlich	$ln q_e = \frac{1}{n} + ln C_e + ln K_F$	K_F	0,774	R^2	0,845
		$1/n$	0,925		

D'après les valeurs des coefficients de détermination montrées dans le tableau III.2, nous pouvons conclure que le modèle de Langmuir avec un facteur de corrélation R^2 de 0.89 est le mieux adapté à nos résultats expérimentaux. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite permettent de déterminer la capacité maximale d'adsorption q_{max} ainsi que la constante K_L .

Chapitre III : résultats et discussion

pour le biosorbant étudié, la quantité maximale adsorbée du cristal violet déterminée à partir de la courbe linéaire de Langmuir est $q_{\max} = 38.46\text{mg/g}$.

III.7. Etude comparative avec d'autres travaux antérieurs

III.7.1. Etude comparative de la cinétique d'adsorption

La connaissance de la cinétique des opérations fondées sur le phénomène d'adsorption présente un intérêt pratique considérable pour la mise en œuvre optimale d'un adsorbant ainsi que pour connaître les facteurs qu'il faut optimiser pour fabriquer ou améliorer un adsorbant conduisant à la cinétique la plus rapide possible.

Les modèles cinétiques d'adsorption sont étudiés dans la majorité des travaux scientifiques, les plus répandus sont ceux du premier et second ordre, le tableau III.3 représente une étude cinétique comparative de quelques travaux réalisés sur l'adsorption du colorant cristal violet.

Tableau III.3: Cinétique d'adsorption du cristal violet en littérature et celle de l'adsorbant feuilles d'eucalyptus.

Adsorbant	Modèle cinétique	Facteur de corrélation R^2	Références
Pelure de pomme de terre	Pseudo second ordre	0.996	(Lairini et al., 2017)
Fibres de palmier dattier	Pseudo second ordre	0.992	(Mashael Alshabanat, 2013)
Adiantum capillus-veneris	Pseudo second ordre	0.999	(Salma Gul, 2023)
Feuilles d'eucalyptus	Pseudo second ordre	0.999	Cette étude

D'après le tableau III.3, il paraît que l'adsorption du colorant cristal violet présente la même cinétique vis-à-vis de ces adsorbants surtout Adiantum capillus-veneris comparé aux Feuilles d'eucalyptus.

Chapitre III : résultats et discussion

III.7.2. Etude comparative de la capacité maximale d'adsorption

L'efficacité de l'adsorbant peut être déterminée par plusieurs paramètres physicochimiques, la quantification de la quantité maximale d'adsorption constitue un paramètre de référence pour la valorisation de l'adsorbant.

Le tableau III.4 illustre les résultats obtenus en littérature comparé à celui de notre adsorbant feuilles d'eucalyptus.

Tableau III.4: Comparaison de la capacité d'adsorption du CV sur différents adsorbants et sur les feuilles d'eucalyptus.

Adsorbant	Capacité maximale d'adsorption q_{max} (mg/g)	Références
Jacinthe d'eau (Camalote)	322.58	(M. Rajeswari Kulkarni,2017)
Tige de maïs	9.643	(Usman Lawan,2019)
Adiantum capillus-veneris	18.51	(Salma Gul,2023)
Feuilles d'eucalyptus	38.46	Cette étude

D'après le tableau III.4, il paraît que **la capacité** d'adsorption du CV sur les Feuilles d'eucalyptus est acceptable comparé aux différents adsorbants de quelques travaux antérieurs.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le traitement des eaux contaminées par des polluants du type colorants ou autres, fait en général intervenir des techniques onéreuses telles que la précipitation, la filtration sur membrane, l'échange d'ions, l'adsorption sur charbon actif, etc.

Des techniques alternatives sont aujourd'hui étudiées afin d'une part, réduire les coûts de traitement et d'autre part utiliser au maximum des ressources renouvelables et valoriser des matériaux naturels. Les capacités de nombreux produits agricoles ou agroindustriels à fixer des colorants peuvent être exploitées pour la mise en œuvre de procédés de traitement d'effluents industriels pollués.

La présente travail avait pour objectif la valorisation d'un adsorbant d'origine agricole les feuilles d'eucalyptus, et l'étude de sa capacité de rétention d'un colorant cationique le cristal violet .

Les résultats obtenus sur l'élimination du colorant par adsorption sur le biosorbant, montrent que :

- La caractérisation du biosorbant spectroscopie infrarouge révèle la présence des groupements (-OH) , (CH-) aliphatiques, fonction carbonyle (C=O), et groupements éther (-C-O-C-).
- Le rendement d'adsorption du CV augmente avec l'augmentation de la masse de l'absorbant jusqu' une masse optimale évaluée à 0.5g .
- L'effet du temps de contact montre que la réduction du colorant augmente avec l'augmentation du temps de contact, et le temps d'équilibre adéquat se trouve à 45min .
- le pH acide de l'adsorbat CV favorise son adsorption sur la surface des feuilles d'eucalyptus.
- L'augmentation de la quantité de CV adsorbée dans la solution par l'adsorbant de feuille d'eucalyptus avec l'augmentation de la concentration initiale de colorant, à mesure que les sites d'adsorption sont disponibles à la surface des particules d'adsorbant.
- L'augmentation de la température affecte la capacité d'adsorption du CV, la quantité adsorbée du CV augmente et varie entre les températures.
- L'augmentation du pourcentage d'adsorption avec l'augmentation de la concentration du sel NaCl.
- le modèle de pseudo deuxième ordre est le modèle qui décrit mieux le processus d'adsorption du CV sur les feuilles d'eucalyptus.
- D'après les valeurs des coefficients de détermination, nous avons conclu que le modèle de Langmuir avec un facteur de corrélation R de 0,89 est le meilleur ajustement pour nos résultats avec une quantité adsorbée maximale $q_{\max}=38.46$ mg/g.

Conclusion générale

Les résultats obtenus mettent en évidence le caractère adsorptif des feuilles d'eucalyptus , et en général des adsorbants de sources naturelles , comme perspectives on recommande :

- L' utilisation des différentes méthodes analytiques pour identifier et caractériser le biosorbant .
- Envisager une modification chimique du biosorbant afin d'améliorer ses fonctions de surface , et ainsi améliorer sa capacité de rétention des polluants.
- La valorisation d'autres matériaux locaux et disponibles afin d'évaluer leur pouvoir d'élimination des polluants.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Aboua K.N.,(2013),Optimisation par le plan factoriel complet des conditions de production de charbon actif et son utilisation pour l'élimination de colorants et métaux lourds en solution aqueuse, Thèse de doctorat, Université Felix Houphou et Boigny d'Abidjan, Côte D'ivoire,.
- Adak A., Bandyopadhyay M., Pal A., (2005),Removal of crystal violet dye fromwaste water by surfactant-modified alumina, Sep. Purify. Technol., 44, 139–144,
- Ahmad M.A., Puad N.A.A., Bello O.S., (2014),Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of synthetic dye removal using pomegranate peel activated carbon prepared by microwave-induced KOH activation. Water Resour. Inde. 6, 18-35,
- AKSAS H ., (2013) , Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels. Thèse de doctorat en génie des procédés, option génie de l'environnement, université de BOUMERDES, pp 23, 24, 93, 120.
- Barka N., (2008), "L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté". Thèse Université Ibn Zohr Agadir, N°65, p40-65.
- Batoul Benkaddour., (2018), Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie), Thèse de doctorat, Université de Perpignan VIA Domitia .
- Belayachi A., (2016), Elimination d'un colorant anionique par adsorption, Electro coagulant Fenton, Thèse de doctorat, Université de Mostaganem.
- Bensaha S., (2018), Les procédés de traitement et d'épuration des eaux usées par le chitosane, Thèse de doctorat en Science, Université de Tlemcen.
- Bouaniba N., (2014), Etude comparative de la dégradation photochimique et photo catalytique de quatre colorants : Impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photo catalytique de TiO₂, thèse de doctorat, Université de Constantine 1.
- Bouchemal F.& Achour S., (2007), Essais d'adsorption de la Tyrosine sur charbon actif en poudre et en grain, Laryss Journal, 6, 81-89.
- Cardot C., (1999), Les traitements de l'eau procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus, Ed. Ellipses, Paris.
- Denat F., (2010), Spectroscopie UV-Visible, ICMUB Institut de Chimie Moléculaire de l'Université de Bourgogne.

Références bibliographiques

- Didier Gaujous, (1999), La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, 2ème éd., Paris.
- Daroui-Mokaddem H(2012), Etude phytochimique et biologique des especes eucalyptus globulus, these de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Gilbert K Cheruiyot., Wycliffe Chisutia Wanyonyi., (2019), Adsorption of Toxic Crystal Violet Dye Using Coffee Husks: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Study, Scientific African journal.
- Guechi El-Khamssa., (2013), Enlèvement des colorants à partir de solutions aqueuses par des matériaux sortants non-conventionnels et à faible coût, Thèse de Doctorat, Université de Annaba.
- Guillard C.; Disdier J., Herrmann J.M.; Monnet C.; Dussaud J., Malato S., Blanco J., (2002), Série Ponencias, Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Ed., Madrid, 59-66,
- Khalfaoui Amel ; (2012), Etude expérimentale de l'élimination de polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des matériaux naturels: application aux peaux d'orange et de banane, Thèse de doctorat, Université de Constantine
- Lairini et al., (2017), The adsorption of Crystal violet from aqueous solution by using potato peels (*Solanum tuberosum*): equilibrium and kinetic study, Journal of Materials and Environmental Sciences, 8 (9), 3252-3261.
- Levesque C., (1996), Ecosystèmes aquatiques, Ed. Hachette, Paris.
- Mashael Alshabanat, Ghadah M. Al-Senani., (2013), Removal of Crystal Violet Dye from Aqueous Solutions onto Date Palm Fiber by Adsorption Technique, Journal of Chemistry.
- Mebarki B., (2017), Etude des transferts de chaleur et de masse dans une machine frigorifique à adsorption solaire. Thèse de doctorat en Génie Climatique. Université de Constantine,
- Mechta A., (2023), Analyse par infrarouge et ultraviolet-visible, Université Msila,
- M. Rajeswari Kulkarni., T. Revanth., (2017), Removal of Crystal Violet dye from aqueous solution using water hyacinth: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study, Resource-Efficient Technologies , Volume 3, Issue 1, Pages 71-77.
- Nait Merzoug N., (2014), Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques. Mémoire de magister, Université de Souk Ahras.

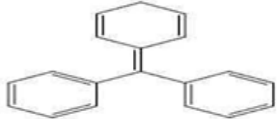
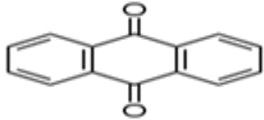
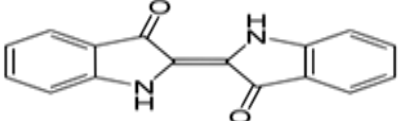
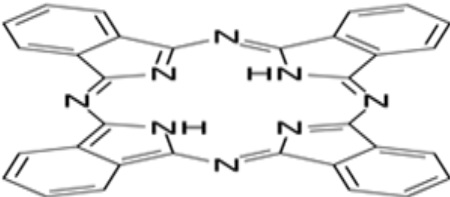
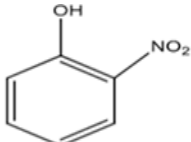
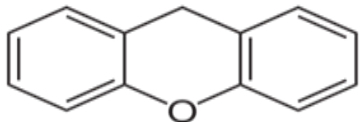
Références bibliographiques

- Ouslimani N.,(2012),Adsorption des colorants acides des effluents manufacturiers par des montmorillonites. Thèse de doctorat ,Université de Boumerdes.
- Salma Gul, Shehla Gul., (2023), Dried Leaves Powder of Adiantum capillus-veneris as an Efficient Biosorbent for Hazardous Crystal Violet Dye from Water Resources , Separations *10(3)* ,165.
- Saoudi S. ., Hamouma O., (2013), Adsorption D'un Colorant Basique Bleu De Méthylène Sur une Argile Acidifié, Mémoires de Master, Université A. MIRA – Bejaïa.
- Slejko, E.L., Dekker., (1985),Adsorption Technology: a step by step approach to process evaluation and application, Ed.M.Dkker, New York.
- Semmame O., (2023), Techniques de séparation, Université Costantine 1.
- Sohail Abbas., Tariq Javed., Shagufta Zafar., (2021), Adsorption of Crystal Violet dye by using a low-cost adsorbent : peanut husk, Desalination and water treatment journal.
- Tesche et Metternich ., (2008),The value of herbal medicines in the treatment of acute non-purulent rhino sinusitis, University Hospital Hamburg-Eppendorf, Germany.
- Usman Lawan Muhamma., (2019), Crystal Violet Removal from Aqueous Solution using Corn Stalk Biosorbent, Science World Journal ,Vol 14,No 1.
- Warot S ., (2006), Les Eucalyptus utilisés en Aromathérapie, Mémoire de fin de formation en Phyto-aromathérapie.
- [https://www.legarrec.com/ entreprise/Centrifugation](https://www.legarrec.com/entreprise/Centrifugation)
- <https://www.bruker.com/ what-is-ft-ir-spectroscopy>

A purple scroll graphic with a dark purple outline and a lighter purple fill. The scroll is unrolled, with the top and bottom edges curled up. The word "ANNEXE" is written in the center in a bold, black, serif font.

ANNEXE

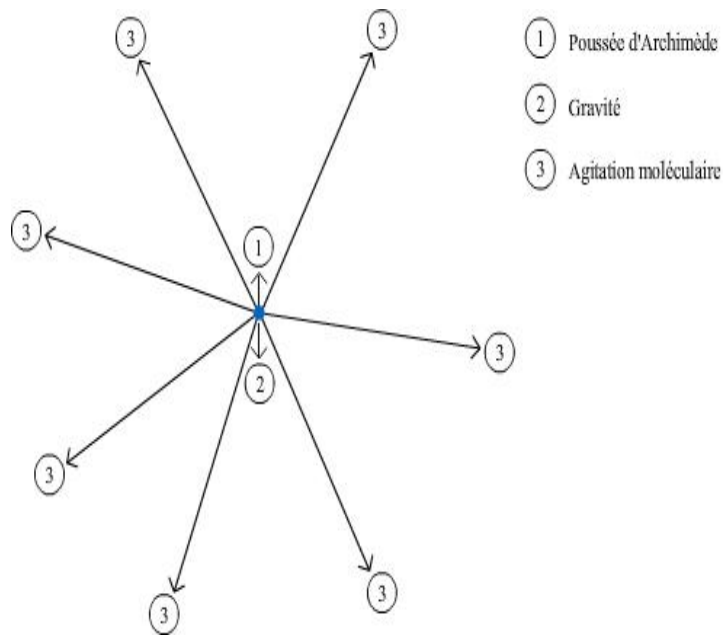
Annexe 1 :Classification des colorants (Adak A,2005).

Classification chimique	Classification tinctoriale
<p>Les colorants azoïques</p> <p>-N=N-</p>	<p>Colorants acides ou anioniques</p>
<p>Les colorants triphénylméthanés</p> 	<p>Colorants basiques ou cationiques</p>
<p>Les colorants anthraquinoniques</p> 	<p>Colorants à complexe métallique</p>
<p>Les colorants indigoïdes</p> 	<p>Colorants réactifs</p>
<p>Les phtalocyanines</p> 	<p>Colorants cuves</p>
<p>Les colorants nitrés et nitrosés</p> 	<p>Colorants à mordants</p>
<p>Les colorants xanthènes</p> 	<p>Colorants au soufre</p>

Annexe 2 : Centrifugeuse



Annexe 3 : Principe de la centrifugation



Annexe 4 : Appareil de Spectroscopie Infrarouge



Annexe 5 : Appareil de Spectroscopie UV-visible



عنوان المذكرة: تطبيق عملية سطحية لإزالة ملوث في وسط مائي.

الاسم و اللقب: بقاقر رقية شروق & شيبوط يمنى ايناس المؤطر: السيدة سلطاني امال & البروفسور . جديد مبروك.

ملخص: تشكل الأصباغ التي يتم تفرغها في النفايات السائلة للصناعات النسيجية ملوثات خطيرة على البيئة وعلى حياة الإنسان ، لذلك من الضروري تطوير طرق فعالة للتخلص من هذه الملوثات. والغرض من هذه الدراسة هو تقييم القدرة على القضاء على الملوث العضوي البنفسجي البلوري بواسطة مادة طبيعية من أوراق الأوكالبتوس ، لذلك قمنا بدراسة عدة عوامل تجريبية ، بدءاً من تحديد ظروف الامتزاز (تأثير الزمن والكتلة والتركيز و الرقم الهيدروجيني) ، متبوعاً بالنمذجة الحركية و الإيزوتارم ، تظهر النتائج كفاءة الإمتزاز الحيوي مع الكمية القصوى الممتزة $q_{max} =$

38.46mg/g

الكلمات المفتاحية: الإمتزاز ، البنفسجي البلوري، الصبغة ، الملوث، إيزوتارم، حركية .

Memory title: Application of a surface process to the decontamination of an effluent in an aqueous medium

Name, Firs name: Begagra Reguia Chourouk & Chibout Youmna Inas

Directed by: Soltani Amel & Djedid Mebrouk

Abstract: The dyes that are discharged in the liquid waste of the textile industries constitute pollutants dangerous for the environment and for human life, it is therefore necessary to develop effective methods to eliminate these pollutants. The purpose of this study is to evaluate the ability to eliminate an organic pollutant crystal violet by a natural material eucalyptus leaves, for this we have studied several experimental factors, starting with the determination of the adsorption conditions (influence of time, mass, of the initial concentration and the acidity of the solution), followed by kinetic modeling and isotherms, the results show the efficiency of the biosorbent with a maximum quantity of adsorbed pollutant $q_{max}=38,46$ mg/g

Key words: adsorption, dyes, cristal violet ,pollutant, isotherm, kinetic.

Titre du mémoire : Application d'un procédé de surface à la décontamination d'un effluent en milieu aqueux.

Nom et Prénom : Begagra Reguia Chourouk & Chibout Youmna Inas

Encadreur : Soltani Amel & Djedid Mebrouk

Résumé :

Les colorants qui sont rejetés dans les déchets liquides des industries textiles constituent des polluants dangereux pour l'environnement et pour la vie humaine, il est donc nécessaire de développer des méthodes efficaces pour éliminer ces polluants. Le but de cette étude est d'évaluer la capacité d'élimination d'un poluant organique le cristal violet par un matériau naturel les feuilles d'eucalyptus, pour cela nous avons étudiés plusieurs facteurs expérimentaux, à commencer par la détermination des conditions d'adsorption (influence du temps, de la masse, de la concentration initiale et de l'acidité de la solution), suivi par la modelisation cinétique et d'isothermes, les résultats montrent l'efficacité du biosorbant avec une quantité maximale de poluant adsorbé $q_{max} = 38,46$ mg/g

Mots clés : adsorption, polluant, cristal violet , isotherme, cinétique .