



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 : **Ben harzallah Rihab**

Safi Nessrine

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génies des Procédés des Matériaux

Thème

**Étude de l'élimination d'un polluant toxique par
biomatériau local**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Pr. BENALIA Mokhtar	Professeur	Président
Pr. DJEDID Mebrouk	Professeur	Examineur
Dr. BOUDAUD Asma	MCA	Rapportrice
Dr. GUERMIT Mounira	MCB	Co-rapportrice

Promotion : JUIN 2023

Dédicaces

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir,

À qui je porte son nom avec toute fierté, à toi mon père Mohammed.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, qui m'a appris à offrir sans attendre; ma mère j'adore.

À mes chère sœurs (soumia et ses enfants (halima et mohammed) et affaf et mon frère mon seul et mon soutien dans la vie el hadj aissa dieu les protège.

À tous ceux familles Ben harzallah et chellali

À mon binôme nessrine

À tous ceux qui m'ont aidé pour préparer ce travail de près ou de loin

Merci également à tous.. ceux qui m'ont offert leur amitié et des moments inoubliable.

À tous les étudiants de la promotion 2023.



Dédicaces

Le voyage n'était pas court et ne devait pas l'être, le rêve n'était pas proche et la route n'était pas pleine d'installations, mais je l'ai fait.

Aujourd'hui, je dédie la joie de mon diplôme au propriétaire de la biographie parfumée et de la pensée éclairée, car il a été le premier crédit pour ma réussite dans l'enseignement supérieur, mon père bien-aimé, à celui qui m'a nourri sur le chemin de la vie et m'a nourri jusqu'à ce que je devienne adulte, ma chère mère.

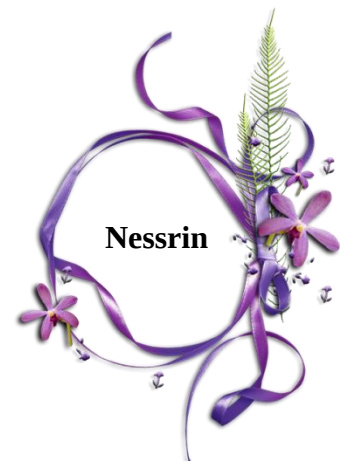
À mon grand-père, ce cheikh, qui est de haut rang dans sa moralité et ses qualités, dont les prières m'ont entouré de tout mal Al-Hadje Ammar Safi.

À ma grand-mère bien-aimée, la fontaine d'amour et de don, Al-Hadja Khaira Harawala

À mes chères sœurs sociables, Riame et Retadje, à mes frères Omar Taher et Moustafa Mouhammad Al-Amin.

A mes amis du long voyage, mes compagnons de fatigue, à mon collègue dans cette recherche, Ben Harzallah Rihab.

À mes honorables professeurs qui nous ont apporté une telle aide et nous avons beaucoup appris d'eux.



Remerciements

Louange à Dieu et grâce à lui pour sa générosité et pour nous avoir accordé le succès dans l'accomplissement de ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude au professeur superviseur pour tous les conseils et orientations qu'elle nous a prodigués, soucieux de mener à bien cette recherche et de la présenter de la manière requise. Que Dieu le récompense par le bien et le perpétue comme un atout pour la nation Dr BOUDAUD Asma et Mme GUERMIT Mounira, Nous remercions les membres du jury Pr BENALIA Mokhtar, Président, et Pr. DJEDID Mebrouk, Examineur, d'avoir accepté et jugé ce modeste travail.

Nous ne manquons pas non plus d'exprimer des remerciements et une gratitude particuliers aux parents qui nous ont donné un coup de main et nous ont soutenus à chaque étape, alors nous avons défié les difficultés.

Et toutes mes salutations et respects à ceux qui nous ont aidés à mener à bien cette recherche, qu'ils soient de près ou de loin.

Sommaire

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction générale 01

Chapitre I : Aperçu Théorique

I.1. Introduction 03

I.2. Généralités sur les colorants 03

I.2.1. Définition des colorants 04

I.2.2. Les type des colorants 04

I.2.3. Nature des colorants 06

I.2.4. Toxicités des colorants 07

I.2.5. Applications industrielles 10

I.3. Généralités sur l'adsorption 11

I.3.1. Définition de l'adsorption 11

I.3.2. Types de l'adsorption 12

I.3.3. Facteurs influençant le phénomène d'adsorption 13

I.3.4. Mécanisme d'adsorption 14

I.3.5. Isotherme d'adsorption 15

Chapitre II : Protocole Expérimental

II.1. Introduction	17
II.2. Appareillage et réactifs	17
II.2.1. Appareillage	17
II.2.2. Réactifs	17
II.2.3. Préparation des réactifs	17
II.2.4 Préparation de l'adsorbant	18
III.3. Techniques d'analyse	19
III.4. Essais d'adsorption	19
II.4.1. Influence de la masse de l'adsorbant	20
II.4.2 Influence du pH	20
III.4.3 Influence de temps de contact	21
III.4.4 Influence de la concentration	21
II.4.5 Influence de la température	21

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Introduction	
III.2. Analyse spectrale	22
III.3. Optimisation des conditions opératoires	22
III.3.1. Effet de la masse d'adsorbant	23
III.3.2. Effet du pH de solution	23
III.3.3. Effet du temps de contact sur l'adsorption	24
III.3.4. Effet de la concentration initiale	24

III.3.5. Effet de la Température	25
III.4. Étude isothermique	26
III.4.1. Modèle de Freundlich	26
III.4.2. Modèle de Langmuir	26
III.5. Étude cinétique	27
III.5.1. Le pseudo-premier ordre (PPO)	29
III.5.2. Le pseudo-second ordre (PSO)	29
III.6. Étude comparative	30
Conclusion générale	32
Références bibliographiques	34
Résumé	

Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
TP	Tiges de palmier
CV	Cristal Violet
C°	Degri celsius
C ₀	Concentration initiale
C _e	Concentration d'équilibre
h	Heure
M	Molarité
m	Masse de l'adsorbant
min	Minute
g	Gramme
mg	Milligramme
pH	Potentiel d'hydrogène
ppm	Partes par million
Q	Quantité d'adsorption
Q _t	Quantité adsorbée de soluté à l'instant t (mg/g)
Q _e	Quantité adsorbée à l'équilibre
Q _{max}	Quantité d'adsorption maximale
R	Rendement
R ²	Coefficient de corrélation
t	Temps
T	Température
UV-vis	Ultraviolet-visible
V	Volume de solution
λ max	Longueur d'onde maximale
K	Kelvin
K _L	Constante d'équilibre relatif au modèle de Langmuir
K _F	Constante de l'équation de Freundlich
nm	Nanomètre
1/n	Paramètre énergétique de freundlich
n	Coefficient de l'équation de Freundlich
l	Litre
ml	Millilitres

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure I.1	Différentes nuances des colorants végétaux selon la société SCRD	5
Figure I.2	Colorants alimentaires synthétiques colorey	5
Figure I.3	La chlorophylle nature et forme	6
Figure I.4	Structure Oxydes de fer	6
Figure I.5	Structure de tatrazine	8
Figure I.6	Structure de rouge allura	8
Figure I.7	Structure de bleu brillant	9
Figure I.8	Structure de caramel	9
Figure I.9	Structure de dioxyde de titane	10
Figure I.10	Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption	12
Figure I.11	Description du mécanisme d'adsorption	15
Figure II.1	Organigramme de la préparation de l'adsorbant	18
Figure II.2	Les tiges des palmiers préparés	19
Figure II.3	Bain thermostaté agitant	19
Figure II.4	Balance électrique de pesée	20
Figure II.5	pH mètre de paillasse	21
Figure III.1	Courbe d'étalonnage du CV par UV-Visible à $\lambda_{\text{max}}=590 \text{ nm}$	22
Figure III.2	Influence du la masse de l'adsorbant sur l'adsorption du CV	23
Figure III.3	Influence du pH de la solution sur l'adsorption du CV	24
	Influence du temps de contact sur l'adsorption du CV	

Figure III.4	Influence du la concentration initiale sur l'adsorption du CV	25
Figure III.5	Influence du la Température sur l'adsorption du CV	25
Figure III.6	Linéarisation d'isotherme d'adsorption de CV, selon le Modèle de Freundlich	26
Figure III.7	Linéarisation d'isotherme d'adsorption de CV, selon le Modèle de Langmuir	27
Figure III.8	Cinétique d'adsorption de CV à l'aide d'un modèle de PPO à 293 K	28
Figure III.9	Cinétique d'adsorption de CV à l'aide d'un modèle de PSO à 293 K	30
Figure III.10		30

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I.1	Différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique	13
Tableau I.2	Les types d'isotherme d'adsorption	16
Tableau III.1	Les constantes de différentes isothermes d'adsorption de CV	29
Tableau III.2	Paramètres cinétiques d'adsorption de CV à 293 K	31
Tableau III.3	Adsorption de CV sur les différents adsorbants	31

Introduction générale

L'eau est notre ressource la plus précieuse, un "or bleu". Elle recouvre 72 % de la surface de globe, auquel plus de 8 milliards de personnes n'ont pas directement accès. Elle est non seulement un enjeu essentiel à la survie, mais aussi un enjeu sanitaire, social et culturel au cœur des sociétés humaines.

Récemment, la pollution de l'eau par des produits chimiques organiques ou inorganiques est une préoccupation environnementale. Les activités humaines, qu'elles soient industrielles, urbaines ou agricoles produisent des quantités de substances polluantes à l'origine de différents types de pollutions : pollutions organiques, chimiques ou biologiques. Ces polluants sont ensuite soit émis dans l'atmosphère, soit évacués dans les eaux usées, soit répandus sur les sols. La plupart de ces polluants finissent par rejoindre les milieux aquatiques, en particulier les eaux de surface et les eaux souterraines qui seront utilisées pour notre consommation.

L'eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantité très importante des substances plus ou moins toxiques d'origine naturelle ou issues d'activités humaines (**J. Rodier, et al. 2005**).

L'un des importants polluants, ce sont les colorants qui sont couramment utilisés dans de nombreuses industries telles que l'alimentation, le papier, les tapis, les caoutchoucs, les plastiques, les cosmétiques et les textiles afin de colorer leurs produits une fois qu'ils sont dissouts dans l'eau, ils seront parfois ardues à traiter car ils ont une origine synthétique et une structure moléculaire complexe qui les rend plus stables et difficilement biodégradables donc peuvent constituer des facteurs de risques pour notre santé et de nuisance pour notre environnement (**B. Djebabra, et al. 2021**).

Des mesures de traitement appropriées doivent donc être mises en place pour limiter au maximum ces contaminants.

Il existe plusieurs méthodes physiques, chimiques et biologiques pour traiter et décolorer les eaux usées contaminées. Parmi eux, la méthode d'adsorption qui traite le cristal violet comme un pigment a été sélectionnée pour la recherche.

Le but de notre travail est d'éliminer le cristal violet par adsorption sur les tiges de palmier, car nous sommes toujours à la recherche de matières naturelles.

Notre travail est organisé de la manière suivante:

Le premier chapitre: consiste à la présentation théorique de l'adsorption et ses types, ainsi que les modèles employés pour décrire la cinétique et l'isotherme d'adsorption et en plus un aperçu sur les colorants.

Le deuxième chapitre: est consacré à la description la méthodologie suivie et matériels utilisés pour réaliser ce travail.

Le troisième chapitre: est consacré à la présentation et à la discussion des différents résultats obtenus.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion et perspectives qui rappelle les principaux résultats obtenus dans ce travail.

Chapitre I

Aperçu théorique

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous avons essayé de donner en premier lieu un aperçu général sur les colorants, les types et Les Causes et nature des colorants et Applications industrielles et leur impact sur la santé et l'environnement. Et ensuite nous avons donné des définitions sur le phénomène d'adsorption et mentionnée en plus de mentionner les facteurs affectant le processus d'adsorption et de certains modèles

I.2. Généralités sur les colorants

Les colorants ont été appliqués dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne, Les premiers colorants employés par l'Homme semblent avoir été d'origine minérale (terres colorées). Quand celui-ci a maîtrisé la technique du tissage, il s'est servi de teintures d'origine végétale ou animale. L'industrie des colorants constitue aujourd'hui un domaine capital de la chimie.

Les colorants sont largement utilisés pour la teinture des fibres textiles, des papiers, des cuirs, des fourrures, des bois, des matières polymères. De plus, Ils servent à la préparation des peintures, des encres d'imprimerie, des vernis et, comme additifs, à colorer des produits alimentaires et pharmaceutiques. Ils sont utilisés dans l'industrie des cosmétiques, la coloration des métaux, la photographie, la biologie, les indicateurs colorés.

La production mondiale des colorants synthétiques est estimée à 700 000 tonnes/an en 1991 (pas de données récentes sur la production actuelle). La consommation de colorants ; produits chimiques auxiliaires atteint 1 622 t/an. Quant à la consommation de l'eau dans ce secteur, il semble que le secteur de l'ennoblissement consomme 11 418 m³ (**H. Zollinger et al. 1991**).

La toxicité des différents types de colorants (mortalité, effet mutagénique et cancérigène) a été étudiée par plusieurs travaux de recherche. En outre, des recherches ont été effectuées pour étudier l'effet des colorants sur l'activité des bactéries aérobies et anaérobies dans des systèmes de traitement des eaux résiduaires. (**S. Benkhaya et al. 2020 ; F.B. Mezioud et al. 2017 ; S. Hammami et al .2008**).

Les colorants peuvent être toxiques et causer des problèmes de santé s'ils sont utilisés de manière inappropriée. Il est important de suivre les directives de sécurité lors de l'utilisation de colorants.

I.2.1. Définition des colorants

Les colorants sont des substances chimiques qui ont la propriété de donner de la couleur à un matériau ou un objet. Ils sont utilisés pour colorer des textiles, des aliments, des produits cosmétiques, des peintures, des encres d'impression et bien d'autres produits. Une substance colorée qui interagit avec le milieu dans lequel elle est introduite, et le colore en s'y dissolvant et/ou dispersant.

Les colorants peuvent être d'origine naturelle ou synthétique, et ils sont disponibles sous forme de poudres, de liquides ou de granulés.

Les colorants peuvent être classés en fonction de leur solubilité dans l'eau en colorants solubles dans l'eau (par exemple les colorants acides, basiques et directs) et les colorants insolubles dans l'eau (par exemple les pigments). Les colorants solubles dans l'eau sont souvent utilisés dans l'industrie textile et de l'impression, tandis que les pigments sont utilisés pour la fabrication de peintures et de cosmétiques.

Les colorants sont choisis pour leurs propriétés de teinture, telles que leur stabilité à la lumière et à la chaleur, leur pouvoir colorant et leur solubilité. Ils sont également réglementés pour assurer leur sécurité et leur innocuité pour l'utilisation prévue, en particulier dans les produits destinés à la consommation humaine. (**Openai. 18/ 3/ 2023**).

I.2.2. Les type des colorants

Il existe plusieurs types de colorants, notamment:

a. Colorants naturels

La majorité des colorants (Figure 1) utilisés sont d'origine végétale, extraits des plantes, des arbres ou des lichens, ou bien d'origine animale extraite de plantes, de minéraux ou d'animaux. Exemples: le curcuma, la betterave, le jus de myrtille (**K. Sehailia et al.2019**).

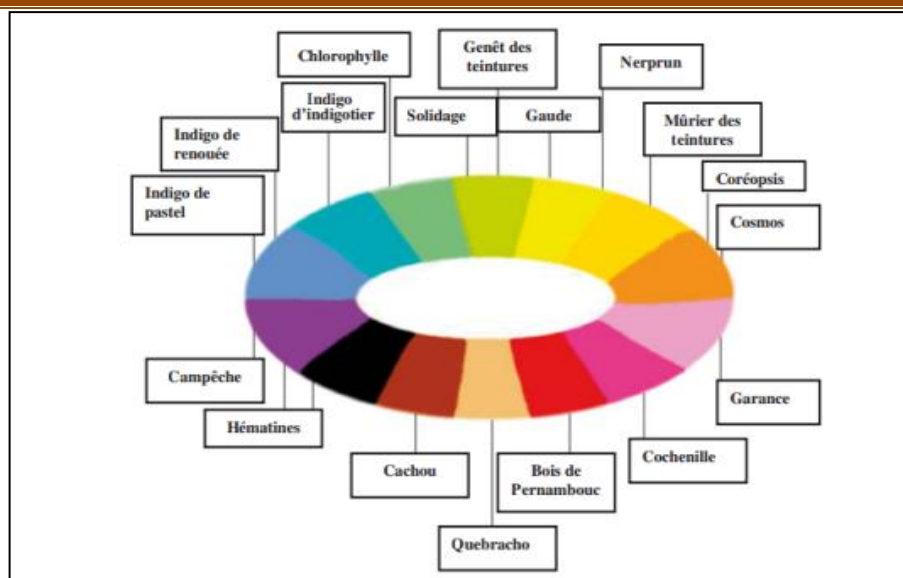


Figure I.1: Différentes nuances des colorants végétaux selon la société SCRD (**R. Duval. 2023**)

b. Colorants synthétiques

Produits chimiques fabriqués en laboratoire pour imiter les couleurs naturelles ou créer des couleurs artificielles. Les colorants de synthèse ont progressivement supplanté les colorants naturels.

Les recherches, menées depuis le milieu du XIX^e siècle, ont débouché sur la fabrication de très nombreuses familles de colorants, où l'on trouve souvent des imitations de la structure chimique des colorants naturels.

Cette recherche a joué également un rôle important dans l'essor de la chimie organique et dans la compréhension de la nature des molécules. Exemples: les colorants alimentaires E102, E129. (**H. Chenini et al. 2003**).



Figure I.2 : Colorants alimentaires synthétiques colorey

c. Colorants organiques

Composés chimiques contenant des atomes de carbone. Ils peuvent être naturels ou synthétiques (Figure I.3).

Exemples: le carotène, la chlorophylle, les colorants azoïques.

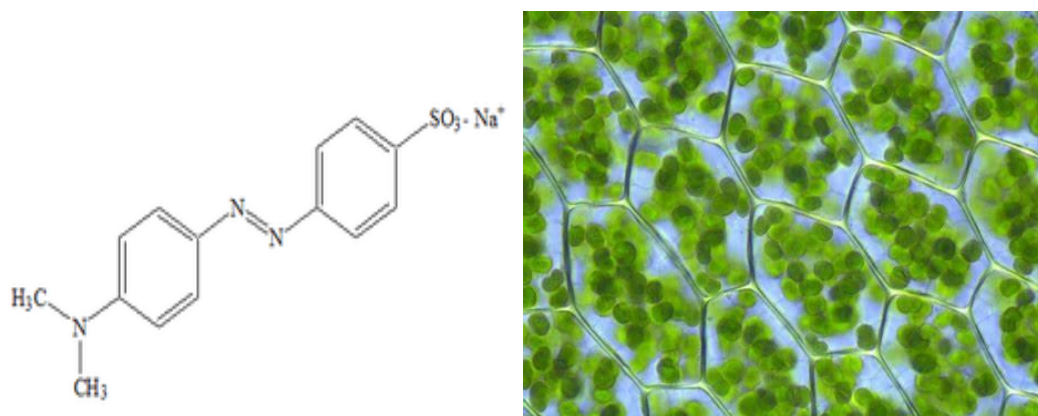


Figure I.3 : La chlorophylle nature et forme.

d. Colorants inorganiques

Composés chimiques ne contenant pas d'atomes de carbone. Ils sont souvent utilisés pour créer des couleurs vives et lumineuses. Exemples: le dioxyde de titane, l'oxyde de fer et le chromate de plomb. (H. Chenini et al.2003).

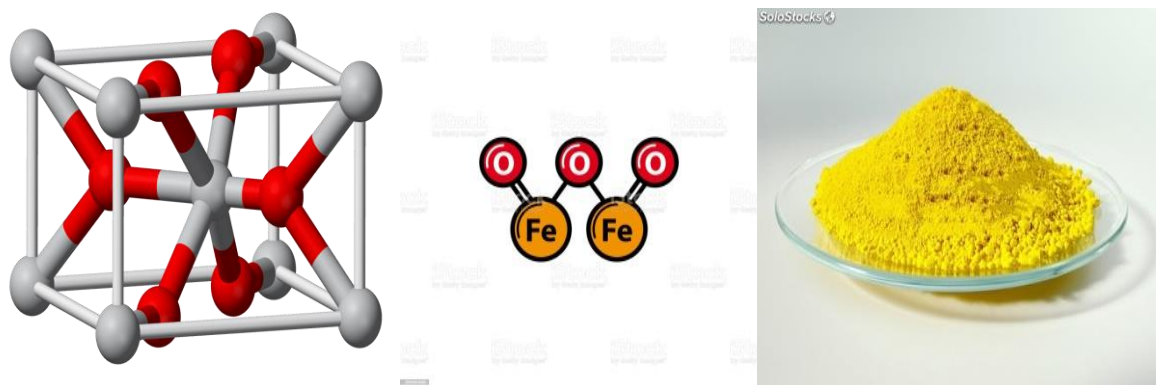


Figure I.4 : Structure Oxydes de fer.

Il est important de noter que tous les colorants ne sont pas sûrs pour la consommation humaine, et certains peuvent être toxiques en quantités élevées. Les colorants alimentaires sont réglementés dans de nombreux pays pour garantir leur sécurité et leur innocuité.

I.2.3. Nature des colorants

On distingue deux grandes familles de colorants : les colorants naturels (extraits de matières minérales ou organiques) et ceux issus de la synthèse chimique.

Dans le contexte actuel de sensibilisation croissante des consommateurs à l'environnement, les colorants naturels devraient prendre de plus en plus d'importance sur ce marché en tant qu'alternative aux colorants synthétiques potentiellement dangereux.

Les colorants naturels peuvent fournir des produits de bioressources renouvelables et durables avec un impact minimal sur l'environnement. Certains chercheurs considèrent que les besoins d'un marché en expansion pour les colorants ne pourraient pas être satisfaits uniquement par la production de plantes bien connues qui ont historiquement été utilisées comme sources naturelles de colorants les colorants naturels peuvent non seulement améliorer l'attrait des produits commerciaux, mais également fournir des effets biologiques bénéfiques tels que des propriétés antioxydantes et anticancéreuses. **(M. Andriamanantena et al. 2019).**

1.2.4. Toxicités des colorants

Les colorants sont des substances ajoutées aux aliments, aux médicaments, aux produits de beauté et à de nombreux autres produits pour leur donner une couleur spécifique. Certains colorants ont été associés à des effets indésirables sur la santé, notamment des réactions allergiques, des problèmes respiratoires, des troubles neurologiques, des problèmes de comportement et des effets cancérigènes potentiels.

Beaucoup d'étude sont montré les effets toxiques et/ou carcino-géniques des colorants azoïques, ce qui signifie que les effluents contenant ces colorants doivent être traités avant d'être rejetés en milieu naturel. Leur toxicité est en fait due à la teneur en groupements cancérigènes tels que les groupements aromatiques, phtalogènes, cyanurés, sel de barium et de plomb. Ces groupements cancérigènes (sous forme électrophile ou radicalaire) attaquent les bases pyrimidiques de l'ADN et de l'ARN et causent par conséquent, une altération du code génétique avec mutation et risque de cancer. **(A. Medekhel et al. 2018).**

Voici quelques exemples de colorants qui ont été associés à des effets indésirables:

a. Le tartrazine (E102)

Ce colorant jaune est souvent utilisé dans les boissons gazeuses, les gâteaux, les confiseries et les desserts. Il a été associé à des réactions allergiques chez certaines personnes, ainsi qu'à des troubles du comportement chez les enfants.



Figure I.5 : Structure de tartrazine

b. Le rouge allura (E129)

Ce colorant rouge est souvent utilisé dans les boissons, les desserts, les bonbons et les gâteaux. Il a été associé à des réactions allergiques chez certaines personnes et à des effets cancérigènes potentiels chez les animaux.

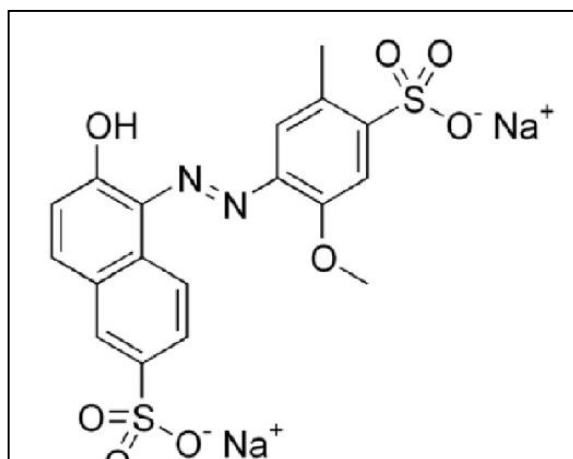


Figure I.6 : Structure de rouge allura

c. Le bleu brillant FCF (E133)

Ce colorant bleu est souvent utilisé dans les boissons, les bonbons, les gâteaux et les desserts. Il a été associé à des troubles du comportement chez les enfants et à des effets cancérigènes potentiels chez les animaux.

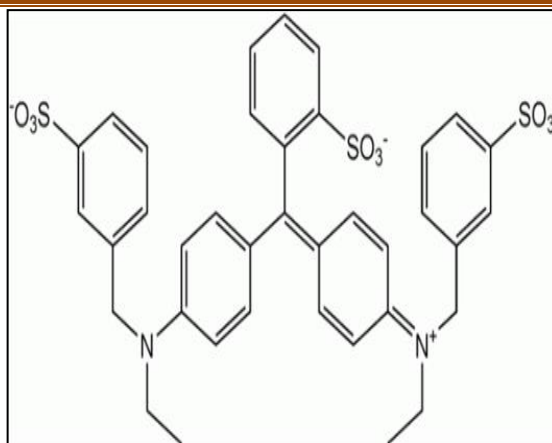


Figure I.7 : Structure de bleu brillant.

d. Le caramel (E150)

Ce colorant brun est souvent utilisé dans les boissons gazeuses, le café, le thé et les sauces. Il a été associé à des effets cancérogènes potentiels chez les animaux.

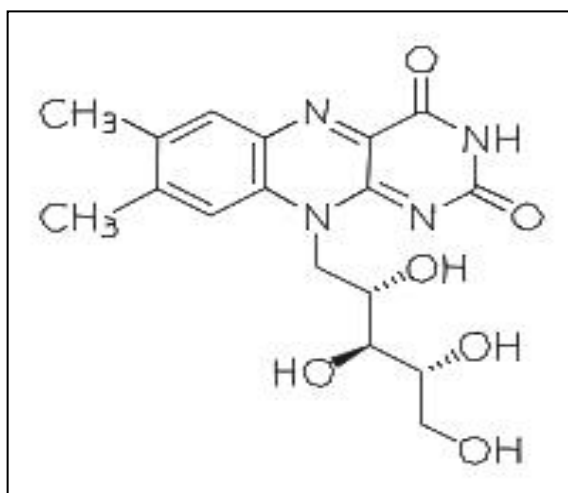


Figure I.8 : Structure de caramel.

e. Le dioxyde de titane (E171)

Ce colorant blanc est souvent utilisé dans les bonbons, les gommes à mâcher et les produits de boulangerie. Il a été associé à des effets sur la santé, notamment des troubles de la reproduction chez les animaux.

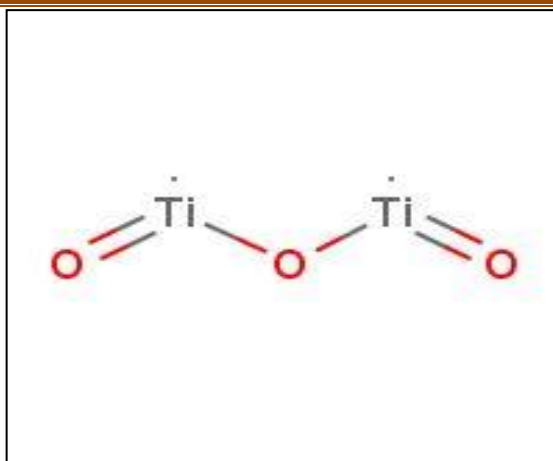


Figure I.9: Structure de dioxyde de titane

Il est important de noter que certains colorants sont interdits ou réglementés dans certains pays en raison de leur toxicité. Il est donc conseillé de lire attentivement les étiquettes des produits et de limiter la consommation de produits contenant des colorants potentiellement toxiques.

I.2.5. Applications industrielles

L'industrie des colorants constitue aujourd'hui un secteur capital de la chimie. Les colorants ont pour but d'améliorer l'aspect des produits mis en marché, ils sont employés pour la teinture des fibres textiles, que l'industrie de textile reste l'un des principaux secteurs d'utilisation (La gamme produite est complète, unique et identifiable. Les supports naturels (soie, coton, laine) valorisent admirablement ces colorants et offrent aux coloristes un vaste champ de possibilités) (S. Chetioui et al. 2010).

Ils servent aussi à préparer des peintures, des vernis et trouvent un emploi comme additifs de produits alimentaires (Une alimentation sans additifs est désormais inconcevable. Les aliments à l'état brut paraîtraient aux yeux des consommateurs comme « moins bons ». La couleur, l'aspect de la nourriture ont une influence psychologique sur le goût perçu des aliments).

L'industrie alimentaire mondiale utilise une quantité de plus en plus importante de colorants naturels ou artificiels (en France, de 100 à 150 t par an), notamment dans les conserves, les confiseries, les boissons, mais aussi dans les fruits et légumes, les matières grasses (huiles, beurre, fromages) et le sucre.

Les colorants ont parfois une utilité autre que commerciale comme le caroténoïde qui est transformés en vitamine A₁. La tartrazine stabilise la vitamine C dans les boissons. Les couleurs sombres font office d'écran solaire et protègent les éléments photosensibles.

Ils sont utilisés aussi dans l'industrie des cosmétiques, la coloration des métaux (aluminium anodisé), la photographie (sensibilisateurs), la biologie (colorations des préparations microscopiques), les indicateurs colorés de pH, et certains d'entre eux sont employés en thérapeutique (antiseptiques, antimalariques, etc.) (**M. Flett et al. 1948**).

I.3. Généralités sur l'adsorption

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier une condensation de gaz à la surface et d'une adsorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse.

L'adsorption est un phénomène de surface universel. En effet, toute surface est constituée. D'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant les atomes et molécules passant à proximité. Les chimistes travaillant sur des réactifs de très haute pureté savent bien la difficulté qu'il y a à éliminer les impuretés adsorbées sur la surface interne de leur montage.

L'adsorption permet de purifier les gaz jusqu'à des niveaux inférieurs à la partie par millions (ppm). L'adsorbant et les conditions de sa mise en œuvre dépendent du gaz et des impuretés à traiter. (**N. Bacha et al. 2018**).

I.3.1. Définition de l'adsorption

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide) viennent se fixer sur la surface d'un solide. La phase constituée des molécules adsorbées est appelée « soluté » ou « adsorbat » et le solide est nommé « adsorbant ». La surface du solide comprend les surfaces externes et internes engendrées par le réseau de pores et cavités à l'intérieur de l'adsorbant.

L'adsorption est un phénomène de surface universel. En effet, toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant les atomes et molécules passant à proximité.

L'adsorption est la fixation d'une substance sur une surface (d'un matériau adsorbant filtrant par exemple). Ne pas confondre avec absorption. Le phénomène physico-chimique

interracial est réversible provoquant l'accumulation des molécules de soluté dans l'interface solide-liquide(ou solide-gaz). (M. Sabri et al. 2014).

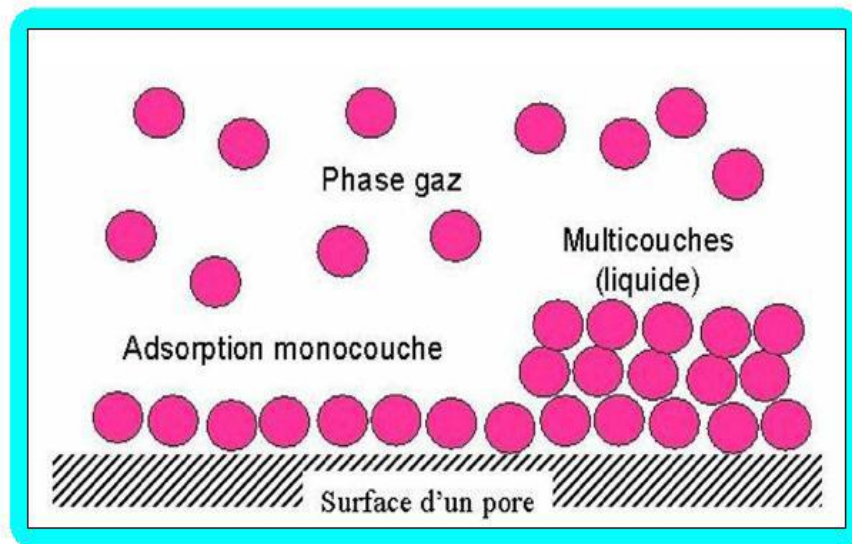


Figure I.10: Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption

I.3.2. Types d'adsorption

On distingue les types d'adsorption suivante (Y. Ancer, N. Gouam et al. 2016) :

a. Adsorption physique

L'adsorption physique se fait par des forces d'interactions physique .elle se produit sans modification de la structure moléculaire.

La molécule adsorbée est retenue sur le substrat par des liaisons de faible intensité de type Van der Waals; l'adsorption physique conduit à la formation de plusieurs couches de substance condensée sur la surface du substrat; l'adsorption physique est exothermique; si la substance adsorbée est gazeuse, la chaleur dégagée est équivalente à la chaleur de condensation de la substance (10 à 40 kJ/mole).

L'adsorption physique est sensible à la température elle diminue lorsque la température augmente.

b. Adsorption chimique

La molécule est retenue sur le substrat par des liaisons chimiques ou des attractions fortes pour des liaisons chimiques du type liaisons covalentes, ionique ou métalliques entre les espaces chimiques adsorbées et l'adsorbant

L'adsorption chimique conduit à la formation d'une couche monomoléculaire de la substance adsorbée sur la surface du substrat, l'adsorption chimique est très exothermique, environ 10 fois plus élevée que l'adsorption physique.

Tableau I.1: Différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique (I. Khair, R. Zabar et al. 2021).

Adsorption physique	Propriétés	Adsorption chimique
Liaison de Van Der Waals	Nature de liaison	Liaison chimique
Inférieur à la température d'équilibre	Températures du processus	Élevé
L'individualité des molécules est conservée	Individualité des molécules	Destruction de l'individualité des molécules
Facile	Désorption	Difficile
Rapide.	Cinétique	Très lente
Inférieur à 10Kcal/mol	Chaleur d'adsorption	Supérieure à 10kcal/mol
Faible	Énergies mises en jeu	Élevées
Formation en multicouches et monocouche	Type de formation	Formation en mono-couche

I.3.3. Facteurs influençant le phénomène d'adsorption

L'équilibre d'adsorption, entre un adsorbant et un adsorbat dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont: (H. Maiza et al. 2009).

a. Température

L'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique) alors que l'absorption chimique demande des températures plus élevées (phénomène endothermique). Ce qui nécessite de fixer la température du Processus dès le départ. En pratique, il n'y a pas de modification significative dans l'intervalle 5-20°C.

b. pH de solution

Le pH a parfois un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'absorption dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique particulièrement à l'absorption de substances acides.

c. La surface spécifique

La quantité adsorbée est proportionnelle à la surface de l'adsorbant accessible à l'adsorbat qui est souvent différent de la surface spécifique total du matériau. L'adsorption n'est donc souvent pas proportionnelle à la surface spécifique du solide. Elle dépend donc de la surface accessible du matériau qui est parfois difficile à estimer.

d. La solubilité

Plusieurs chercheurs ont montré que les constantes d'adsorption ont tendance à être plus importants quand la solubilité du composé diminue. D'autres chercheurs, présentent un certain nombre de relations entre la constante d'adsorption et diverses propriétés de la molécule organique.

La solubilité d'un adsorbat joue un rôle important lors de son adsorption, de plus la solubilité est grande, plus faible sera l'adsorption.

e. La porosité

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

La porosité d'un matériau adsorbant joue un rôle très significatif dans l'adsorption des composés organiques aromatiques, le charbon macroporeux a une meilleure capacité, d'adsorption que le charbon méso poreux dans le cas de macromolécules.

f. La polarité

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant polaire. il faut que l'adsorbant et l'adsorbat soient de polarité voisine.

g. La structure de l'adsorbant

Elle joue un rôle déterminant dans la fixation du substrat, par la taille de ses particules. En effet plus la taille est petite, plus la surface de contact sera grande. Ce qui va alors augmenter son pouvoir de rétention. En outre, cette surface s'accroît lorsque le support est poreux. Les adsorbants industriels (essentiellement les charbons actifs) développent des surfaces spécifiques énormes (600 à environ 1200 m².g⁻¹).

I.3.4. Mécanisme d'adsorption

Le principe de l'adsorption repose sur la propriété qu'ont les solides (adsorbant) de fixer sur leur surface certains gaz (adsorbat). Les interactions entre adsorbant et adsorbat sont le plus souvent de nature électrostatique donc faible et réversible.

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des ions ou des molécules (gaz, métaux, molécules organiques...) d'une manière plus ou moins réversible. Il y a transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide (N. Ettlili et al. 2008).

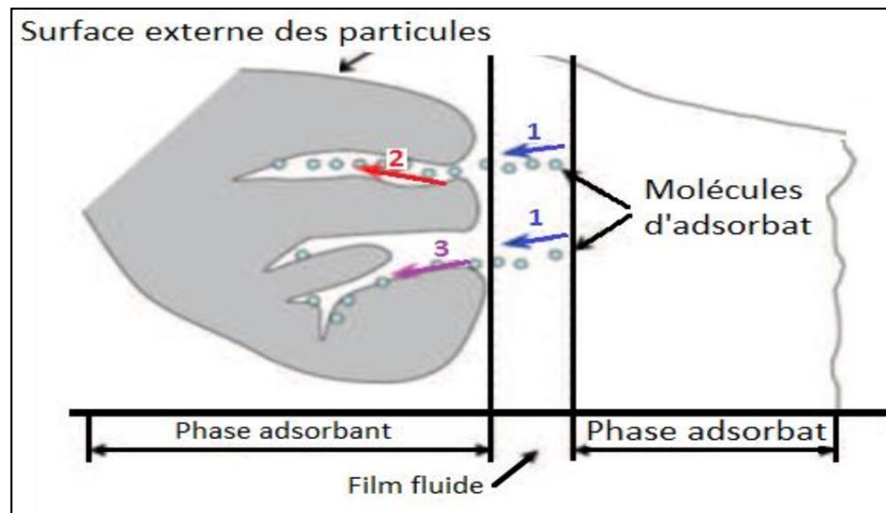


Figure I.11:Description du mécanisme d'adsorption (Z. Ghaddab, C.H. Ghaddab et al. 2021).

I.3.5. Isotherme d'adsorption

Un moyen d'étude des phénomènes d'adsorption consiste à déterminer et à tracer des isothermes: courbes donnant à température constante, la quantité adsorbée en fonction de la pression du gaz en équilibre ou la concentration de liquide en équilibre avec la phase adsorbée. On peut alors accéder aux grandeurs thermodynamiques caractérisant cette phase adsorbée, telles que l'enthalpie et l'entropie différentielles d'adsorption, la chaleur d'adsorption, ainsi que la surface spécifique de l'adsorbant.

La plupart des courbes tracées par les différents chercheurs concernant le phénomène d'adsorption se ressemblent plus ou moins dans un premier stade. En effet toutes ces courbes ont une forme moyenne identique.

La capacité d'adsorption est souvent représentée par des courbes isothermes qui peuvent également renseigner sur le mécanisme d'adsorption nous sommes classés dans le tableau suivante (N. Djakmo, K. Bettayb et al. 2021):

Tableau I.2: Les types d'isotherme d'adsorption.

Types d'isotherme	Les courbes de types d'isotherme
Isotherme de type I: Représente une adsorption physique mono couche q_m : charge maxi de l'adsorbant en monocouche . P, C: pression partielle ou concentration de la substance visée.	
Isotherme de type II: Représente une adsorption physique d'abord mono couche pour les faibles pressions. P_s, C_s : pression de vapeur saturante ou limite de solubilité de la substance visée.	
Isotherme de type III: Adsorption multi couche exclusivement. P_s, C_s : pression de vapeur saturante ou limite de solubilité de la substance visée.	
Isotherme de type IV: Adsorption mono couche suivie d'une adsorption multi couche avec une condensation capillaires obstruant les pores	

Chapitre II

Protocole Expérimental

II.1 Introduction

Dans cette partie, on a procédé en premier lieu la préparation des tiges de palmier et on a effectué des essais en batch classique de l'adsorption de Cristal Violet (CV) sur les tiges de palmier (TP).

Cette étude a été initiée pour mettre en évidence l'efficacité, la rapidité et la faisabilité de cet adsorbant utilisé.

II.2. Appareillage et réactifs

II.2.1. Appareillage

- ❖ Agitateurs magnétiques (AGIMATIC-N).
- ❖ pH-mètre.
- ❖ Bain agité (ST 30)
- ❖ Étuve (MEMMERT).
- ❖ Balance analytique de précision (SCALTEC).
- ❖ Spectrophotomètre UV-Visible (SECOMEM).

II.2.2. Réactifs

- ❖ Cristal Violet (99%).
- ❖ L'acide sulfurique (95%).
- ❖ Hydroxyde de sodium (98%).

II.2.3. Préparation des réactifs

Pour ajuster le pH on a préparés des solutions de NaOH et H₂SO₄, comme suite:

Préparation de la solution NaOH (0.1M)

Pour préparer la solution de NaOH (0.1 M), on pèse 2.04 g de NaOH (M= 40 g/mol, 98%) qu'on dissout dans 500 mL d'eau distillée. Cette solution est employée pour ajuster le pH.

Le pH de la solution est fixé par l'ajout de H₂SO₄ (0,1 M) ou de NaOH (0,1 M), sous agitation.

Préparation de la solution H₂SO₄ (0.1M)

Pour préparer la solution de H₂SO₄ (0.1 M), on prend 1.4025 mL de H₂SO₄ (M= 98 g/mol, 95%, ρ = 1.84) concentré dans 500 ml d'eau distillée. Cette solution est employée pour ajuster le pH de solution.

Préparation de la solution Cristal Violet

Pour préparer la solution mère de Cristal Violet ($M=407.5$ g/mol, 99%) qu'on dissout dans un volume d'eau distillée afin d'obtenir une concentration $C_0=1$ g/l. Cette solution contient le polluant étudié.

II.2.4. Préparation de l'adsorbant

Le protocole de préparation des tiges palmier (TP) est présenté par la Figure II.1. Environ 1 kg de matériau a été préparé en vue de la réalisation des essais de caractérisation et d'adsorption dans le cadre de ce mémoire. La préparation de TP comporte 5 étapes : lavage séchage, broyage et tamisage (S. Kalia et al. 2009).

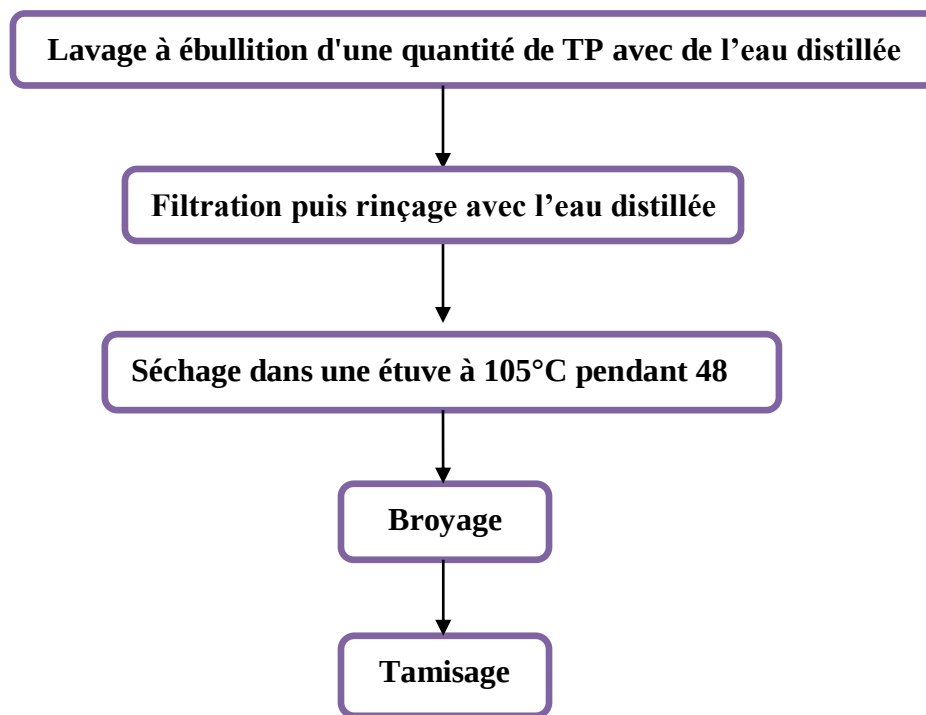


Figure II.1 : Organigramme de la préparation de l'adsorbant.

Les TP collectées de la région de Laghouat en Algérie, a été ensuite coupé en petits morceaux puis lavé avec de l'eau distillée pour enlever le sable et les poussières. Puis le matériau a été séché à l'étuve à 105 °C pendant 24 h pour évaporé l'humidité. La masse séchée a été broyée, puis conservée pour les essais d'adsorption (figure II.2) (C. Ad et al. 2018, A. Boudaoud et al. 2017).



Figure II.2: Les tiges des palmiers préparés.

III.3. Techniques d'analyse

L'analyse des échantillons de CV a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible de type SECOMEM au Laboratoire de département de génie des procédés de l'université Amar Telidji de Laghouat.

III.4. Essais d'adsorption

Les expériences d'adsorption ont été effectuées en système batch dans des béchers de 150 mL. Dans chaque bécher une masse optimisée d'adsorbant a été soigneusement mélangée avec 100 mL de la solution CV. Les effets de pH, le temps de contact, la masse d'adsorbant, la température et la concentration initiale du CV ont été étudiés (S. Ghali, 2008).

Le maintien de la température a nécessité l'emploi d'un bain-marie (Figure II.3), après chaque essai, les échantillons sont filtrés pour mesurer la concentration résiduelle du CV à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.



Figure II.3 : Bain thermostaté agitant.

Dans ce bain, à température et agitation réglables, on dépose des erlenmeyers contenant 100 ml de solution de CV de concentration 50 ppm, Le mélange est maintenu sous agitation de telle façon que les grains de TP se répartissent uniformément dans toute la solution. La concentration du CV en solution est suivie en fonction du temps, pour les températures 293, 303, 313 et 323 K.

II.4.1. Influence de la masse de l'adsorbant

Pour déterminer la masse favorable de l'adsorbant dans l'adsorption du CV, le protocole expérimentale a été effectué en prenant différentes pesées de l'adsorbant TP à l'aide d'une balance électrique précise (Figure II.4), et cela afin de chercher la masse optimisée pour une adsorption maximale du CV.



Figure II.4 : Balance électrique de pesée.

II.4.2 Influence du pH

Dans le but de connaître l'effet de la variation du pH sur l'adsorption du CV, nous avons effectué plusieurs essais à des différents pH. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un pH mètre de paillasse (Figure II.5), afin de connaître le pH qui convient pour une adsorption optimale.



Figure II.5 : pH mètre de paillasse

III.4.3. Influence de temps de contact

Nous pouvons déterminer à quel moment l'adsorption sera plus acceptable et favorable du CV à l'aide de ce biosorbant.

La prise des échantillons durant les différents essais a été effectuée à des moments précis à savoir: 0, 1, 3, 5, 10 min... etc (A. Sebiai, 2011).

III.4.4. Influence de la concentration

Dans le but de connaître l'effet de la variation de la concentration sur l'adsorption du CV, nous avons préparé des solutions de concentrations différentes effectuées à partir d'une solution mère de $C=1$ g/l, puis effectué plusieurs expériences à ces concentrations différentes.

II.4.5. Influence de la température

Pour optimiser la température, nous avons effectué plusieurs essais tout en variant ce paramètre où les différentes températures sont maintenues à l'aide d'un bain thermostaté (Figure II.3).

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous introduit et discuté de tous les résultats expérimentaux obtenus. Le résultat de l'optimisation de divers paramètres influents est l'adsorption de cristal violet (CV), tels que: la masse de l'adsorbant, le temps de contact, la concentration initiale de CV, le pH solution et la température, puis déterminent la cinétique et l'isotherme de l'adsorption et leurs modèles.

III.2. Analyse spectrale

La spectrophotométrie UV-Visible est la méthode d'analyse utilisée pour déterminer les concentrations de cristal violet (CV) avant et après l'adsorption par l'adsorbant étudié les tiges des palmiers (TP).

Après avoir effectué le travail expérimental nécessaire pour établir la courbe d'étalonnage du (CV). Les résultats trouvés d'absorbance en fonction de la concentration du (CV) ont permis de tracer cette courbe d'étalonnage (figure III.1).

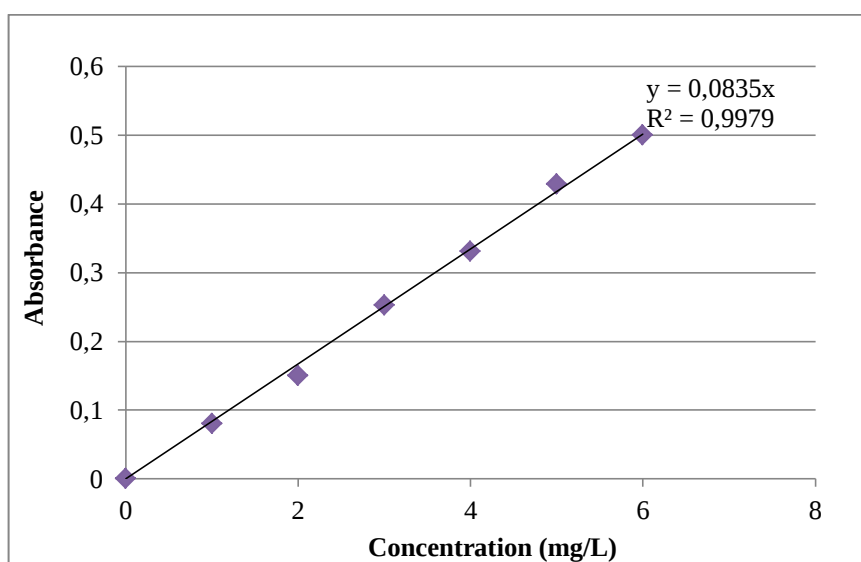


Figure III.1: Courbe d'étalonnage du CV par UV-Visible a $\lambda_{\max}=590$ nm

La figure III.1 montre une allure linéaire passant par l'origine, il s'agit de la courbe d'étalonnage du (CV) dont l'équation est la suivante: **$Y = 0,0835 X$**

En se basant sur cette équation, pour déterminer les concentrations du (CV) des différents essais d'adsorption.

III.3. Optimisation des conditions opératoires

L'adsorption dépend de quelques facteurs importants à considérer lors de l'optimisation des conditions nécessaires à l'adsorption.

III.3.1. Effet de la masse d'adsorbant

L'effet de la masse d'adsorbant dépend du système d'adsorption considéré. En général, une augmentation de la masse d'adsorbant entraîne une augmentation de la quantité d'adsorbant disponible pour l'adsorption, ce qui peut conduire à une augmentation de la capacité d'adsorption. Cependant, cela peut également entraîner une diminution de l'efficacité de l'adsorption en raison de l'augmentation du temps nécessaire pour atteindre l'équilibre, ce qui peut limiter la vitesse de transfert de masse.

Il est également important de noter que la masse d'adsorbant peut avoir un impact sur la densité de l'adsorbant, ce qui peut affecter la capacité d'adsorption et la vitesse de transfert de masse. Des études expérimentales sont donc nécessaires pour déterminer l'effet optimal de la masse d'adsorbant pour chaque système d'adsorption particulier (A. Medekhel et al. 2018).

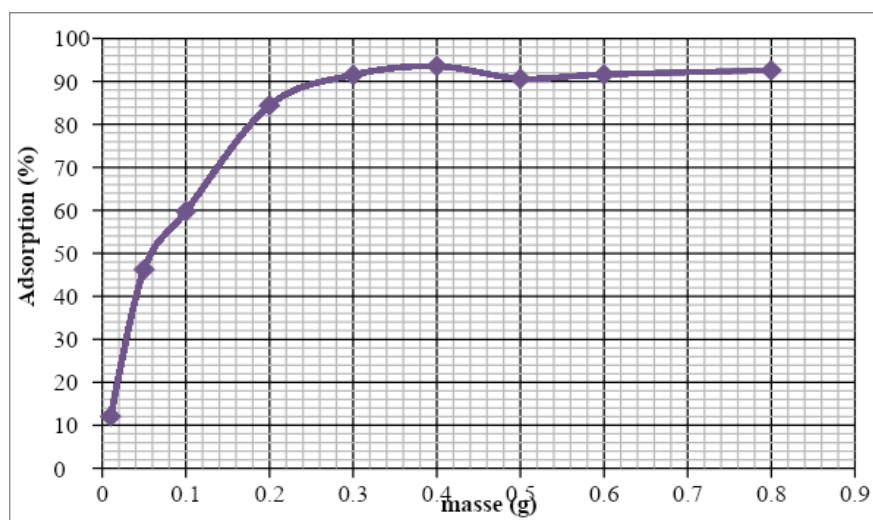


Figure III.2: Influence de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption du CV.

[CV] = 50 mg/l, temps de contact = 120 min et $T=20^{\circ}\text{C}$, $tr=150$ tr/min.

À partir de la figure III.2, on observe que le taux d'élimination augmente jusqu'à la masse de 0.4 g correspondant à un taux de l'ordre de 93 % et reste presque constant avec l'augmentation de la masse de l'adsorbant TP, donc on peut conclure que la masse optimale est de 0.4 g.

III.3.2. Effet du pH de solution

Le pH d'une solution peut avoir un impact significatif sur les processus d'adsorption: Dans certains cas, un changement de pH peut favoriser la précipitation ou la dissolution de polluant ionique, et le pH peut affecter la charge de surfaces des adsorbants, Il est donc important de contrôler le pH pour optimiser l'adsorption. (E. Darmois et al. 1923).

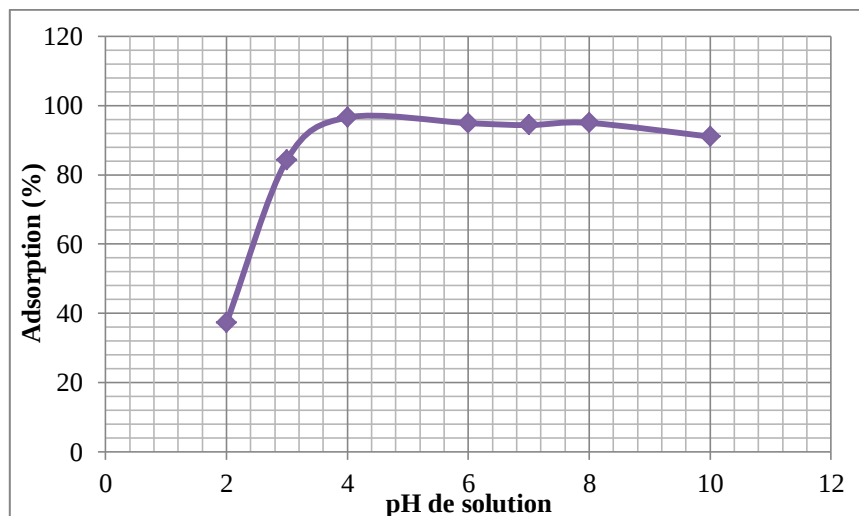


Figure III.3: Influence du pH de la solution sur l'adsorption du CV

[CV] = 50 mg/l, temps de contact = 120 min, m = 0.4 g et T=25°C, tr=150 tr/min.

La courbe de la figure III.3, montre que le taux d'absorption de CV augmente jusqu'à 95% si le pH augmente de 2 à 4, puis il est quasi constant à partir de pH égal 4 à 10. Alors l'adsorption de CV par les TP est optimale à pH = 4.

III.3.3. Effet du temps de contact sur l'adsorption

Le temps de contact, ont un effet important sur le phénomène d'adsorption. Les résultats de cet essai ont permis de tracer les courbes de la figure III.4 pour l'adsorption des différentes concentrations de 15, 30, et 50 mg/L en fonction de temps à un intervalle de 1 à 180 min.

Donc cette figure représente l'effet temps de contact de l'adsorbat coloré (CV) et l'adsorbant TP.

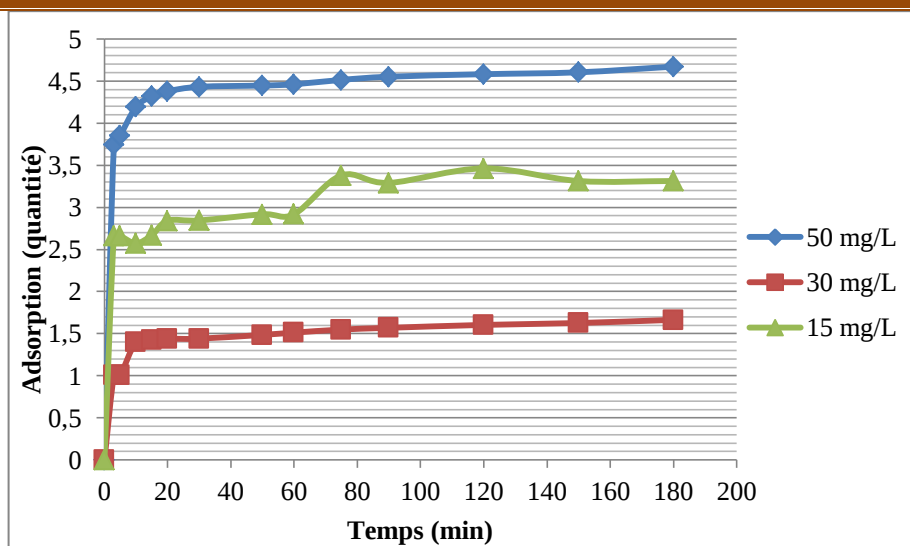


Figure III.4: Influence du temps de contact sur l'adsorption du CV

$m = 0.4 \text{ g}$ et $T=25^{\circ}\text{C}$, $tr=150\text{tr/min}$.

Les courbes de la figure III.4 montrent qu'il y a une augmentation très rapide de les premières minutes d'agitation puis se stabilisent après 20 minutes pour la plupart des concentrations initiales de CV. Ce qui signifie que le nombre de sites actifs disponibles à la surface de l'adsorbant jusqu'au temps d'équilibre équivaut à 20 minutes.

III.3.4. Effet de la concentration initiale

Afin de déterminer la concentration initiale optimale de CV pour l'adsorption de CV sur les TP, nous suivons le (CV) de différentes concentrations initiales de 15, 30 et 50 ppm pendant la période d'équilibre, Les résultats obtenus sont présentés dans la figure III.5.

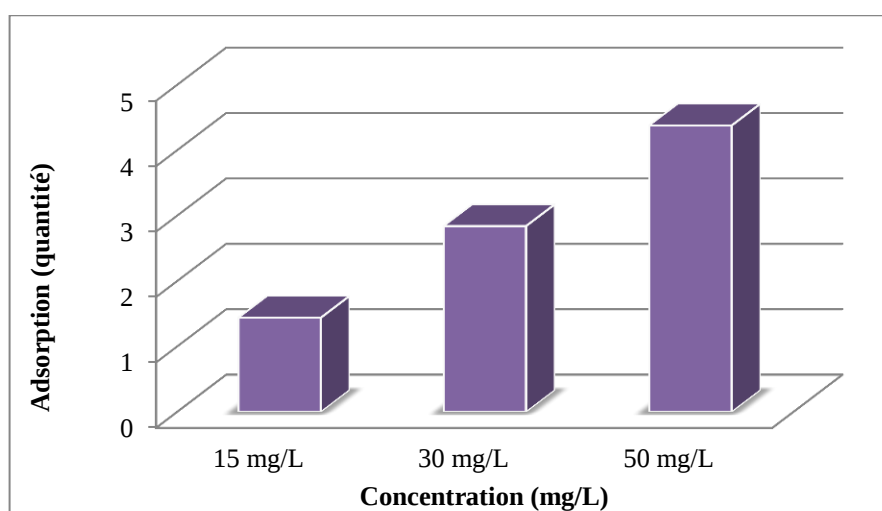


Figure III.5: Influence de la concentration initiale sur l'adsorption du CV.

L'histogramme de la figure III.5 montre que la quantité d'adsorption (CV) augmente avec la concentration initiale de (CV).

III.3.5. Effet de la Température

L'adsorption est un phénomène qui peut être endothermique ou exothermique selon le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées (G. Rytwo, E. Ruiz-Hitzky et al. 2003). Nous avons effectué des expériences de décoloration en variant la température des solutions colorées de 293 à 323 K.

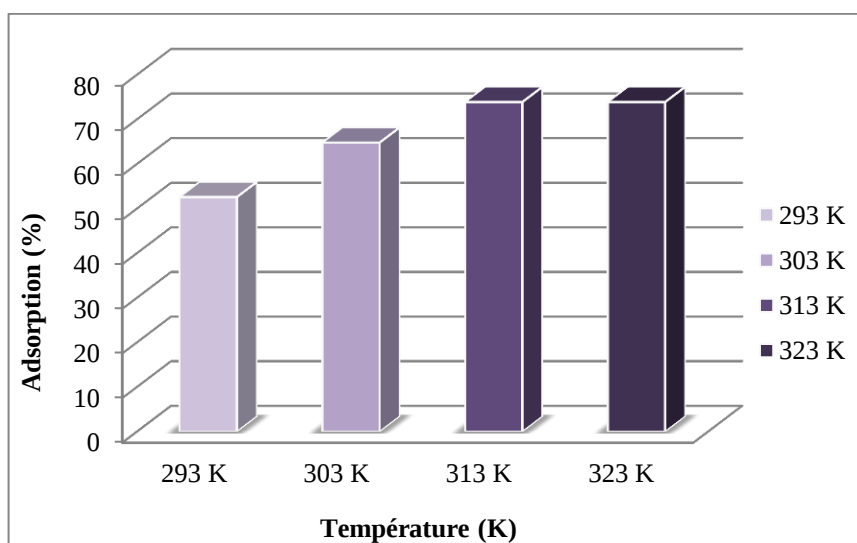


Figure III.6: Influence de la Température sur l'adsorption du CV.

[CV] = 50 mg/l, temps de contact = 120 min, $m=0.4$ g, $\tau=150$ tr/min.

L'histogramme de la figure III.6 montre que le volume d'adsorption (CV) augmente avec l'augmentation de la température, où le meilleur taux d'élimination de (CV) est à une température de 50 °C (323 K). Nous pouvons dire que le processus d'adsorption de CV sur les TP est exothermique (K. Fethi, et al. 2015).

III.4. Étude isothermique

L'isotherme d'adsorption est fondamentalement importante pour le design des systèmes d'adsorption. Les études d'équilibre d'adsorption donnent la capacité d'adsorption à l'équilibre.

Nous avons appliqué les deux modèles isothermique les plus utilisés pour développer pour l'adsorption des fluides sur un adsorbant solide, à savoir les modèles de Langmuir et Freundlich.

III.4.1. Modèle de Freundlich

L'isotherme de Freundlich est une équation d'adsorption établie empiriquement par Herbert Freundlich en 1909.

L'isotherme de Freundlich suppose que l'adsorption est multicouche et la surface de l'adsorbant hétérogène. (S Chouchane et al. 2016). Ce modèle est exprimé par l'équation suivante (III.1) :

$$Q_e = k_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (III.1)$$

La linéarisation par changement d'échelle de la relation de Freundlich conduit à L'équation suivante (III.2):

$$\ln Q_e = \ln K_F + \frac{\ln C_e}{n} \quad (III.2)$$

Avec: K_F : constante de l'équation de Freundlich

n : coefficient de l'équation de Freundlich

La figure (III.7) représente, la présentation graphique de $\ln Q_e$ en fonction de $\ln C_e$.

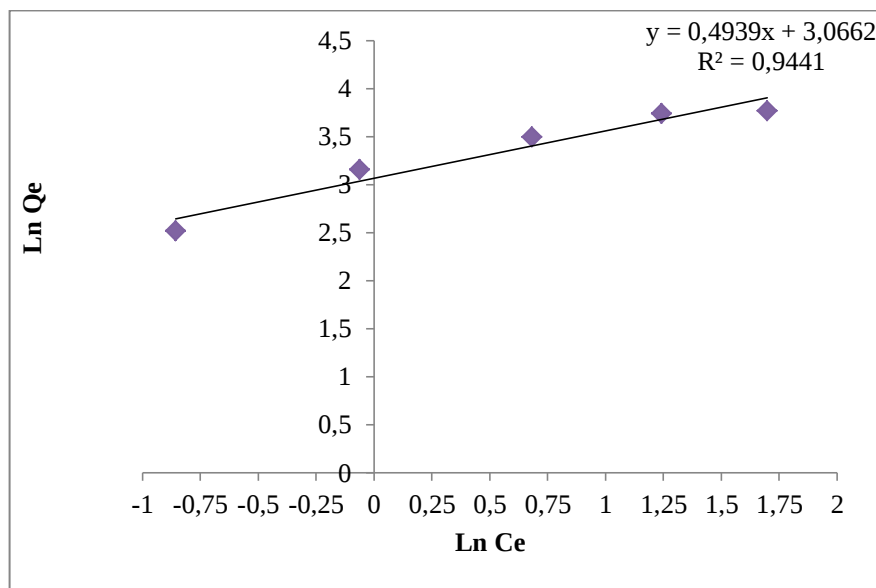


Figure III.7: Linéarisation d'isotherme d'adsorption de CV, selon le Modèle de Freundlich.

III.4.2. Isotherme de Langmuir

La théorie de l'isotherme de Langmuir suppose que l'adsorption est monocouche et a lieu aux sites homogènes spécifiques de l'adsorbant (N. Boualla, A. Benziane et al. 2011). La forme générale de l'équation de modèle Langmuir est comme suite (III.3):

$$Q_e = Q_{max} \frac{K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (III.3)$$

Dans le cas d'une faible quantité de soluté adsorbé, le terme $(K_L C_e)$ peut être très inférieur à 1 et il alors négligé.

$$Q_e = Q_{max} \cdot K \cdot C_e \quad (III.4)$$

Dans le cas d'une forte quantité de soluté adsorbé, le terme ($K_L C_e$) devint largement supérieur à 1. Cela implique que Q_e tend vers $Q_{\max}$. Par ailleurs, la linéarisation de la fonction de saturation par passage aux inverses donne (III.5):

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K_L Q_{\max}} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_{\max}} \quad (\text{III.5})$$

Avec: C_e : est concentration d'équilibre(en mg/L)

Q_e : est la quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g)

K_L :est constante d'équilibre relatif au modèle de Langmuir

$Q_{\max}$: est la quantité maximale adsorbée (mg/g)

Pour déterminer les paramètres de la relation linière de modèle de Langmuir $Q_{\max}$ et K_L , On a tracé la courbe de $1/Q_e$ en fonction de $1/C_e$ (Figure III.8).

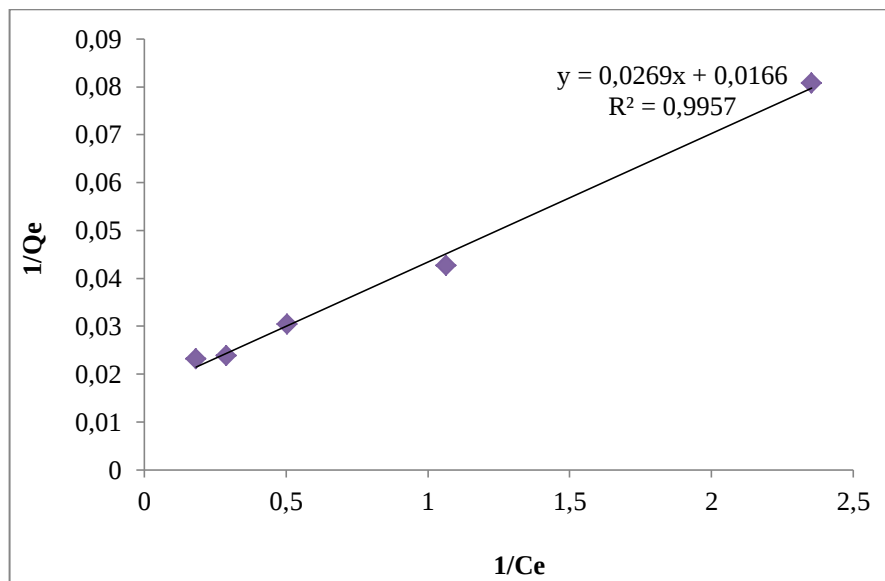


Figure III.8: Linéarisation d'isotherme d'adsorption de CV, selon le Modèle de Langmuir.

Les courbes linéaires des figures (III.8) et (III.9) ont permis de calculer les différentes constantes des deux modèles isothermique, qui sont regroupés dans le tableau (III.2).

Tableau III.2 : Les constantes de différentes isothermes d'adsorption de CV.

T (K)	Langmuir			Freundlich		
	$Q_{\max}$ (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	1/n	K_F ($\text{mg}^{1-n} \cdot \text{l}^n \cdot \text{g}^{-1}$)	R^2
323	60.2409	0.6171	0.9951	0.4939	8.3347	0.9441

Les coefficients de corrélation R^2 pour les isothermes d'adsorption de Langmuir et Freundlich étaient 0.9951 et 0.9441 respectivement, indiquant que les données obtenues conviennent mieux au modèle d'adsorption Langmuir avec un coefficient de corrélation plus élevé ($R^2 = 0.9951$), ce qui signifie que c'est une adsorption monocouche ayant une capacité d'adsorption maximale calculée de 60.24 mg/g.

III.5. Étude cinétique

Le meilleur modèle établi pour l'étude de la cinétique d'adsorption est choisi selon le coefficient de corrélation (R^2). Plus ce coefficient est élevé plus le modèle est favorable pour l'étude du processus d'adsorption. L'ordre de la réaction est un paramètre très important dans la détermination des mécanismes réactionnels.

Les modèles cinétiques concernant l'adsorption sur les adsorbants les plus cités dans la littérature sont: le pseudo-premier ordre et le pseudo-second ordre (**K Benchala et al. 2020**).

III.5.1. Le pseudo-premier ordre (PPO)

Le modèle PPO est exprimé par l'équation de Lagergren (III.6) (**C. Muthukumaran, et al. 2016**)

$$\frac{dQ_t}{dt} = K_1(Q_e - Q_t) \quad (\text{III.6})$$

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

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln(Q_e) - K_1 t \quad (\text{III.7})$$

Le tracé de $\ln(Q_e - Q_t)$ en fonction de t donne la droite avec la pente égale à K_1 et l'ordonnée à l'origine égale à $\ln Q_e$ (Figure III.9).

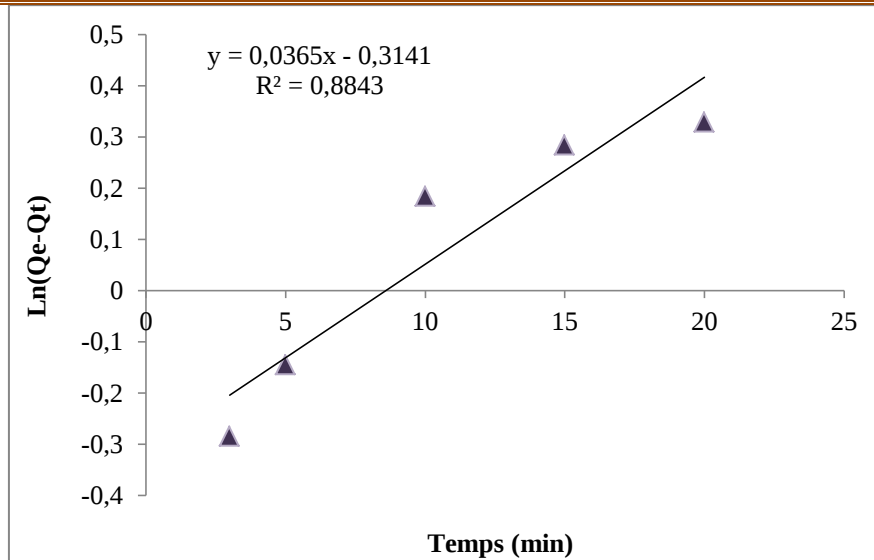


Figure III.9: Cinétique d'adsorption de CV à l'aide d'un modèle de PPO à 293 K.

III.5.2. Le pseudo-second ordre (PSO)

Le modèle PSO est exprimé par l'équation (III.8) (S Bentahar, et al. 2017):

$$\frac{dQ_t}{dt} = K_2(Q_e - Q_t)^2 \quad (III.8)$$

Après intégration entre $t = 0$ et t , d'une part, et $Q_t = 0$ et Q_e , on obtient la forme linéaire (III.10).

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (III.9)$$

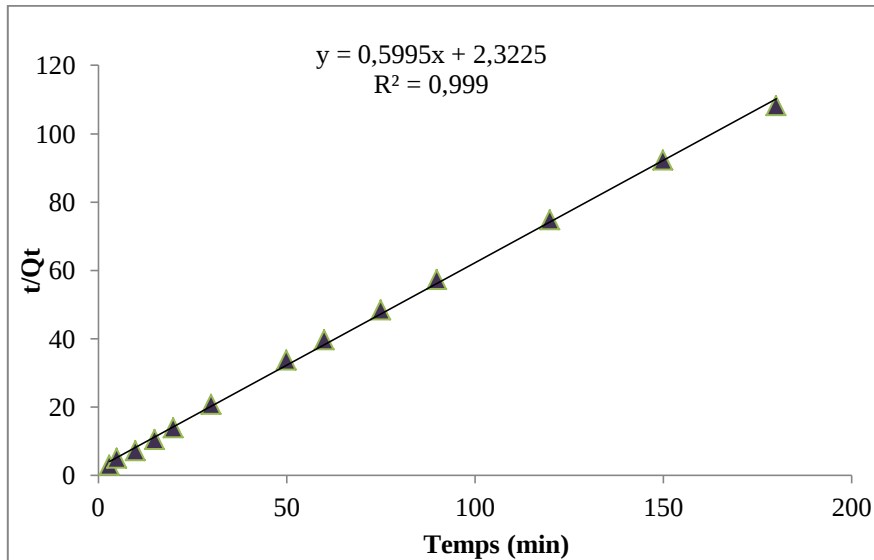


Figure III.10: Cinétique d'adsorption de CV à l'aide d'un modèle de PSO à 293 K.

Les figures (III.6) et (III.7), montrent une linéarité des différentes courbes obtenues, qui ont permis par la suite de calculer les différents paramètres cinétiques, qui sont rassemblés au tableau (III.3).

Tableau III.3: Paramètres cinétiques d'adsorption de CV à 293 K.

	Pseudo- premier ordre			Pseudo-second ordre		
C_0 (mg/L)	Q_e (mg/g)	K_1 (g/min)	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (g/mg min)	R^2
50	0.7304	0.0365	0.8843	1.6680	0.1547	0.9990

La valeur du coefficient de corrélation R^2 (0.9990) pour le modèle de pseudo second ordre est très élevée et proche de 1, ce qui est supérieur à la valeur obtenue avec le modèle de pseudo premier ordre. Cette dernière observation nous amène à penser que le processus d'adsorption de CV sur les TP suit le modèle de pseudo-second ordre.

III.6. Étude comparative

Le résultat de cette étude, portant sur la capacité d'adsorption de cristal violet CV sur les tiges de palmier a été ensuite comparé aux autres études utilisant le même polluant (CV).

Le tableau III.3 regroupe quelques paramètres comparatifs d'adsorption tels que la quantité d'adsorption maximal Q_{max} , et la nature de l'isotherme.

Tableaux III.4: Adsorption de CV sur les différentes adsorbants.

Matériaux adsorbants	Q_{max} (mg/g)	Isotherme	Référence
Les tiges de palmier	60.24	Langmuir	Cette étude
Zéolite a synthétisé de la mouche du charbon Cendre	10.67	Langmuir	E. Kusumastuti, et al. 2017
Feldspath d'Ain Barbar	13.99	Langmuir-Freundlich	S. Fafa, et al. 2021
TLAC/Chitosan composite	0.26	Langmuir	H. Jayasantha, et al. 2017
Charbon Actif	2.49	Langmuir	T.H. Nazifa, et al. 2017

Les valeurs données dans le tableau (III.4) montrent que l'adsorbant utilisé dans notre étude, les tiges de palmier ont une meilleure capacité d'adsorption (60.24 mg/g) par rapport aux autres adsorbants ce qui donne un avantage économique et technique à leur utilisation en l'absence d'autres meilleurs adsorbants.

Conclusion générale

Les colorants sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que les teintures du textile, du papier, du cuir et dans les industries alimentaires et cosmétiques. Les colorants ont la réputation d'être des substances toxiques et non persistantes dans l'environnement, ils nécessitent des techniques physico-chimiques pour les dégrader et la mise au point de les procédés de dépollution efficaces vise à réduire le pouvoir toxique des polluants.

Les procédés utilisant l'adsorption ont constitué alors souvent une technique de traitement des eaux de choix, car ils sont très efficaces et simples dans son utilisation.

Dans ce travail, nous avons souligné la pollution des milieux aqueux par le colorant de cristal violet et leur élimination par le procédé d'adsorption en mode batch sur les tiges de palmier.

Les résultats obtenus, nous a permis d'avancer les points suivants:

- L'influence de la masse: l'augmentation de taux de l'adsorption jusqu'à un taux maximal a une masse optimale de 0.4 g.
- L'influence du pH: l'étude montre que le taux d'élimination de CV est maximum à pH=4
- L'influence du temps de contact et de la concentration initiale: La vitesse d'adsorption est rapide dans les premières minutes puis atteint l'équilibre après 20 minutes d'agitation pour la plupart des concentrations initiales L'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration initiale de CV.
- L'influence de la température: la température influe sur ce processus d'adsorption, par une relation proportionnelle du taux d'élimination de CV et de la température.
- Étude cinétique: montre que la rétention est le modèle de pseudo second ordre est le modèle qui contrôle la cinétique de cette adsorption.
- Étude isothermique: les résultats sont bien décrits par l'isotherme de Langmuir autrement dit une adsorption monocouche, avec une importante quantité d'adsorption maximales égale à 60.24 mg/g.

À travers l'étude comparative, on peut dire que l'adsorbant utilisé dans notre étude a une capacité d'adsorption plus favorable par rapport aux autres adsorbants.

On peut dire que les résultats de notre étude, est qualifiés d'importants notamment qu'ils mettent l'accent sur la valorisation des tiges de palmier dans le traitement des eaux usée et par conséquent la préservation de l'environnement.

Enfin, pour enrichir ce travail, on recommande:

- Caractérisation par différentes techniques d'analyses (analyse par microscopie optique, analyse par infrarouge, ... etc.).
- Utilisation de cet adsorbant pour l'élimination d'autres polluants organiques et inorganiques.
- Amélioration de la capacité de cet adsorbant par des traitements thermique, chimique, et bactériologique.

Références bibliographiques

- A. Medekhel, 2018, Adsorption du bleu de méthylène par charbon actif, Mémoire de Master, Université Echahidhamma La khdar -El oued ,6-44.
- A. Boudaoud , M. Djedid ,M. Benalia ,C. Ad, N. Bouzar, H. Elmsellem, 2017, Removal of nickel (ii) and cadmium (ii) ions from wastewater by palm fibers, Scientific Study & Research, Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, 18(4), 391-406.
- A. Sebiai, 2011, Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres de palmier dattier, effet de l'oxydation au temps, Mémoire de doctorat, INSA de Lyon.
- C. Ad, M. Djedid, M. Benalia, H. Elmsellem, A. Boudaoud, 2018, Adsorptive removal of nickel using luffa cylindrica: Effect of NaCl concentration on equilibrium and kinetic parameters, Scientific Study & Research. Chemistry& Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, 19(2), 211-222.
- C. Muthukumar; M.V. Sivakumar, M. Thirumarimurugan, 2016, Adsorption isotherms and kinetic studies of crystal violet dye removal from aqueous solution using surfactant modified magnetic nanoadsorbent, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers,7, 354-362.
- C. Openai, 2023, <https://chat.openai.com/chat>[Online][cited:18,3,2023]].
- E. Darmois, 1924, Procédés d'étude des corps actifs. Application aux composés de l'acide malique, du cuivre et des bases. J. Phys. Radium, 5 (8), 225-237.
- E. Kusumastuti, S.J. Santosa, 2017,Adsorption of crystal violet dye using zeolite A synthesized from coal fly ash. IOP conference series: Materials Science and Engineering, 6, 1-8.
- G. Rytwo, E. Ruiz-Hitzky , 2003, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 71 - 751.
- H. Chenini, (2003), Etude de la dégradation par voie photochimique de polluant organique «ORANGEG» en milieu aqueux homogène et hétérogène, Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine, 5-8.
- H. Maiza, 2009,Modelisation des cinetiques d'adsorption dans le cas du phenol et du bleu de methyle sur le charbon actif en grain, Mémoire du projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme D'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, École Nationale Supérieur Polytechnique, 6, 1-44.
- H. Zollinger, 1991, Color Chemistry. Synthesis, Properties and Applications of Organic, Dyes and Pigments, 2nd Ed, V.C.H., 55-71.

H.J. Kumari., P. Krishnamoorthy, T.K. Arumugam., S. Radhakrishnan, D. Vasudevan, 2017, An efficient removal of crystal violet dye from waste water by adsorption onto TLAC/Chitosan composite: A novel low cost adsorbent, *International Journal of Biological Macromolecules*, 324-333.

I. Khair, R. Zebbar, 2021, Élimination des micropolluants organiques par l'adsorption sur les argiles, *Mémoire de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila*, 18,1-69.

K. Benchala, 2020, Examen sur l'élimination des colorants par adsorption-cristal violet, *Mémoire de master en chimie de eaux ,Université Mohamed Bougra Boumerdas*,48,1-53.

K. Fethi, L. Yan, R. Al-Faze, A. Awadh, 2015. Effect of acid activation of Saudi local clay mineral on removal properties of basic blue 41 from an aqueous solution, *J. Applied Clay Science*, 116-117.

K. Sehailia, F. Talbi, 2019, Etude d'adsorption du Rouge Congo en phase aqueuse sur les feuilles de palmier, *Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla*, 4-19.

M. Andriamanantena, P. Danthu, 2019, Chemistry & biodiversity, *Malagasy Dye Plant Species: A Promising Source of Novel Natural*, 16, 12.

M. Flett, 1948, *Journal of the Chemical Society, (Resumed)*, 1441-1448.

M. Sabri, 2014, Caractérisation à base de d'amines et étude de leur adsorption sur le quartz, *Mémoire de Master Université Larbi ben M'hidi (Oum El Bouaghi)*, 10.

N. Bacha, 2018, Utilisation de l'extrait aqueux de la plante Schinus molle comme inhibiteur de corrosion de l'acier au carbone un milieu acide, *Mémoire de Master, Université Tebessa*, 1-70.

N. Boualla, A. Benziane, 2011, Étude expérimentale sur l'élimination des nitrates par adsorption sur des argiles activées et non activées de la sebkha d'Oran, *Afrique Science*, 56-73.

N. Boualla, A. Benziane, 2011, Étude expérimentale sur l'élimination des nitrates par adsorption sur des argiles activées et non activées de la sebkha d'Oran, *Afrique SCIENCE*, 56-73.

N. Djakmo, K. Bettayb, 2021, Optimisation de l'isotherme d'adsorption du 2-Mercaptbenzothiazole sur le charbon actif à base de marc de raisin par la méthode linéaire et non-linéaire, *Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem*, 1-44.

N. Ettlili, 2008, Procédé d'adsorption avec régénération électrothermique pour la capture du dioxyde de carbone en postcombustion, *Institut National Polytechnique de Lorraine, Français*, 1-213.

S. Bentahar, A. Dbik, M. Khomri, N. Messaoudi, A. Lacherai, 2017, Adsorption of methylene blue, crystal violet and congo red from binary and ternary systems with natural clay: Kinetic, isotherm, and thermodynamic, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5921-5932.

S. Fafa., S. Dehmen, 2021, Etude de l'adsorption du Crystal Violet par le feldspath d'Ain Barbar (Annab), Mémoire de Master, Université Mohamed Seddik Ben Yahya –Jijel, 43-44.

S. Benkhaya, S. Mrabet, A. El Harfi, 2020, A Review On Classifications, Recent Synthesis And Applications Of Textile Dyes, *Inorganic Chemistry Communications*, 107891.

S. Chetoui, 2010, Structures et propriétés physico- chimiques de substances colorantes de synthèse, Mémoire Présenté pour l'Obtention du Diplôme de Magister en Chimie ,19-20.

S. Chouchane, 2016, Adsorption du cuivre en solution par le kaolin adsorption of the copper in solution by the kaolin, Article in *journal of materials and environmental science*, Université Annaba, 2831-2832.

S. Kalia, B. Kaith, I. Kaur, 2009, Pretreatments of natural fibres and their application as reinforcement in polymer composites, a review. *Polym. Eng. Sci.* 49 (7) ,1253-1272.

S.S. Ghali, 2008, Étude de la carbonisation d'un précurseur végétal, les noyaux d'olives. Utilisation dans le traitement des eaux, Mémoire de Magister, Université 20 août 1955, Skikda (2008).

T.H. Nazifa, N. Habba, T. Hadibarata, 2017, Adsorption of Procion Red MX-5B and Crystal Violet Dyes from Aqueous Solution onto Corn cob Activated Carbon, *Journal of the Chinese Chemical Society*, 10, 1-12.

Z. Ghaddab, C.H. Ghaddab, 2021, Étude de l'adsorption d'un polluant sur la surface d'adsorbant préparé à partir de la sciure de bois, Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, 1-68.

عنوان المذكرة: دراسة إزالة ملوث سام باستخدام مادة حيوية محلية

اللقب: بن حرز الله الاسم: رحاب المؤطر: د. بوداود اسماء

اللقب: صافي الاسم: نسرين مساعد المؤطر: د. قريمط منيرة

ملخص: يركز هذا العمل على دراسة الامتزاز باستخدام سيقان النخيل المحلية كمتز لإزالة أيونات الكريستال البنفسجي في الماء. أجريت هذه الدراسة باستخدام اختبارات التحسين المختلفة لمعاملات التشغيل. أظهرت نتائج النمذجة الحركية أن النموذج الزائف الثاني الترتيب هو الأنسب لوصف حركية هذا الامتزاز، في حين أن دراسة النمذجة المتساوي الحرارة أثبتت أن هذا الامتزاز يتم في طبقة أحادية وعلى سطح متجانس وفقا لنموذج لانجموير، بسعة امتصاص قصوى تبلغ 60.24 مجم /جم في ظل ظروف التشغيل المثلى.

كلمات مفتاحية: سيقان النخيل، الكريستال البنفسجي، الامتزاز، المياه العادمة، الحركية، والمتساوي الحرارة.

Memory title: Study of the Removal of a Toxic Pollutant using a Local Biomaterial.

Name: Ben harzallah First name: Rihab Directed by: Dr Boudaoud Asma

Name: Safi First name: Nessrine Co-Directed by: Dr Guermi Mounira

Abstract: This work focuses on the study of adsorption using local palm stems as an adsorbent to remove crystal violet ions in water. This study was carried out using various tests to optimize operating parameters. The results of the kinetic modeling showed that the pseudo-second-order model is the most suitable for describing the kinetics of this adsorption, while the study of the isothermal modeling proved that this adsorption takes place in a monolayer and on a homogeneous surface, according to the Langmuir model, with a maximum adsorption capacity of 60.24 mg/g under operating conditions.

Key words: Palm Stems, Violet Crystal, Adsorption, Wastewater, Kinetics, and Isotherm.

Titre du mémoire : Étude de l'élimination d'un polluant toxique par biomatériau local

Nom : Ben harzallah Prénom : Rihab Encadreur : Dr BOUDAUD Asma

Nom : Safi Prénom : Nessrine Co-Encadreur : Mme GUERMIT Mounira

Résumé: Ce travail se concentre sur l'étude de l'adsorption en utilisant des tiges de palmier locales comme adsorbant pour éliminer les ions cristal violet dans l'eau. Cette étude a été réalisée à l'aide de différents tests d'optimisation des paramètres de fonctionnement. Les résultats de la modélisation cinétique ont montré que le modèle pseudo second ordre est le plus adapté pour décrire la cinétique de cette adsorption, tandis que l'étude de la modélisation isotherme a prouvé que cette adsorption se fait en monocouche et sur une surface homogène selon le Langmuir modèle, avec une capacité d'adsorption maximale de 60,24 mg/g dans les conditions de fonctionnement.

Mots clés : Tiges de palmier, Cristal violet, Adsorption, Eaux usées, Cinétique, et Isotherme.