



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 :**

- Maache Rania

- Bendjeddou Fatna Amal

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie des Procédés

OPTION : Génie Pétrochimique

Thème

**Etude de l'équilibre cinétique d'élimination
d'un Polluant en milieu aqueux par un
matériau non conventionnel**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Pr. BENALIA MOKHTAR	Professeur	Président
Dr. ASMAA BOUDAUD	MCA	Examinatrice
Dr. ABBASSI MOUNA SOUAD	MCB	Rapportrice
Mlle.SOLTANI AMEL	MAA	Co-rapportrice
Pr. DJEDID MEBROUK	Professeur	Invité

Promotion : JUILLET 2022

Remerciement

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de recherche de Génie Des procédés de l'Université de Laghouat.

Au premier lieu, nous tenons à remercier dieu qui nous a donné Le courage et la volonté pour terminer ce travail.

*Nous tenons à remercier très sincèrement notre encadreur Mme **Abbassi Mouna Souad** pour son aide, Son œil critique qui nous a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différentes sections de notre mémoire*

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent à notre Co-encadreur Mlle **SOLTANI Amel** pour sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce mémoire, pour ses encouragements, ses conseils, pour son aide, ses critiques et ses suggestions.*

*Nos sincères remerciements et respects vont au **Pr Benalia Mokhtar**, chef de département de génie des procédés, pour le grand honneur d'accepter de présider le jury de soutenance de ce mémoire.*

*Nous tenons bien à exprimer nos sincères reconnaissances et remerciements au **Dr. Asmaa Boudaoud** et l'invite le professeur **Pr. DJEDID MEBROUK**, enseignant chercheur au département de génie des procédés pour le grand honneur qu'il nous fait d'accepter d'examiner notre travail et de l'enrichir par ses propositions.*

Nous tenons également à remercier tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire et pour les conseils qu'ils nous ont donné.

Nous voudrions remercier aussi les ingénieurs et les techniciens du Laboratoire de recherche et pédagogique du département de Génie des Procédés à l'Université de Laghouat.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et à notre formation. Un grand merci

Rania et Amal

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents Maache Abdelkader et Bedraoui Fatima, qui ont toujours été là pour moi Je dédie ce mémoire qui traduit un travail que j'ai mis à terme pour vous et grâce à vous c'est vous qui m'avez appris à avoir confiance en moi et à aller toujours de l'avant dans mes études. vous m'avez aidé en m'ouvrant toutes les portes du bien et en me protégeant de tout mal

Grâce à Dieu et à vous en suivant tous vos précieux conseils, j'ai pu terminer mes projets

A mes chères sœurs Sarah et Ibtissem , et mon cher frère Soheb pour leurs encouragements.

Enfin, je remercie mes amis et a mon binôme Amal .qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

A tous les membres de ma promotion Génie pétrochimique 2022.

Surtout a mon Co-encadreur Mlle Soltani Amel et mon encadreur Dr Abbassi Mouna Souad

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

M. Rania



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à tous

ceux qui me sont chers :

A ceux qui ont fait de moi ce que je suis :

*Mes très chers parents pour qui je
n'oublierai jamais leur grande affection ;
leur soutien et leur encouragements tout*

le long de me étude.

□

□ *A mon très cher petits frère KHEIREDDINE .*

A mes très chères sœurs : Nour et Salsabile.

A mes très cher mes amis (es), mon binome Rania.

toute la famille BENDJEDDOU et CHOURANA.

A tout mes collègues de la promotion 2022.

A tout les profs et mon encadreure Abbassi Mouna Souad et Soltani Amel.

Merci

B. Amal

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des Abréviations	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Introduction générale.....	1
<i>Chapitre I : Étude Bibliographique</i>	
I.1.Définition de la pollution.....	3
I.2. les différentes sources de Pollution des eaux.....	3
I.3.méthodes de traitement des eaux usées :	4
I.4.les colorants	5
I.4.1-Définition	5
I.4.2-Classification des colorants	5
I.4.2-1-Classification chimique	5
I.4.2.2-Classification tinctoriale	7
I.5.Généralités sur l'adsorption et les adsorbants.....	8
I.5.1.Introduction.....	8
I.5.2. Définition de l'adsorption.....	8
I.5.3. Types de l'adsorption.....	8
I.5.4. Description du mécanisme de l'adsorption	9
I.6. Définition d'un adsorbant	9
I.6.1. les types des adsorbants industriels.....	9
I.6.2. Cinétique d'adsorption	12
I.6.3. Les isothermes d'adsorption	13

I.6.4. Classification des isothermes d'adsorption	13
I.6.5. Modèles d'isothermes d'adsorption	14
I.6.6.1. Modèle de Langmuir	14
I.6.5.2. Modèle de Freundlich	15
I.6.5.3. Modèle de Temkin	15

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Introduction	17
II.2. Matériels et réactifs	17
II.2.1. Réactifs utilisés	17
II.2.2. Matériel et verreries	18
II.3. Préparation du Biosorbant	18
II.3.1. Préparation du Biosorbant Brut	18
II.3.2. Modification chimique du Biosorbant	20
II.3.2.1. Préparation de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH)	20
II.3.2.2. Etapes de modification	20
II.4. Préparation de l'adsorbat	21
II.4.1. Le bleu de crésyl brillant (BCB)	21
II.4.2. Caractéristiques Générales du bleu de crésyl Brillant	21
II.4.3. Préparation de la solution de bleu de crésyl brillant	22
II.5. Méthodes d'analyse	22
II.5.1. Spectroscopie Infra Rouge	22
II.5.2. Spectroscopie UV-visible	22
II.6. Mesure du pH du point de charge nulle	24
II.7. Essai d'adsorption	24
II.7.1. Mesure de la capacité d'adsorption	24
II.7.2. Mesure du rendement d'adsorption	25
II.7.3. Effet de la masse	25
II.7.4 Effet du temps de contact et de la concentration de l'adsorbat	25

II.7.5. Effet du pH de la solution	26
II.7.6. Effet de la Température	26
II.7.7. Effet de la force ionique	26

Chapitre III :Résultats et Discussion

III.1. l’objectif de travail	28
III.2.Caractérisation biosorbant par spectroscopie infra rouge IR	28
III.3. mesure du pH de point de charge nulle (pH)	29
III.4. Etude de la courbe d’étalonnage du colorant	30
III.5. Optimisation des conditions opératoires	31
III.5.1. Effet de masse	31
III.5.2. Effet du temps de contact et de la concentration initiale de l’adsorbat.	32
III.5.3. Effet du pH de l’adsorbat	34
III.5.4. Effet de température	35
III.5.5. Effet de la force ionique	36
III.6.Modélisation de la cinétique d’adsorption	37
III.6.1.Modèle cinétique de pseudo-premier ordre de l’adsorbant brute	37
III.6.2. Modèle cinétique de pseudo-second ordre de l’adsorbant brute	38
III.6.3. Modèle cinétique de pseudo-premier ordre de l’adsorbant modifiée	39
III.6.4 modèle cinétique de pseudo-second ordre de l’adsorbant Modifiée	40
III.7. Etude des isothermes d’adsorption du BCB sur l’Halfa brute et modifiée	41
III.7.1.Modélisation de l’isotherme de Langmuir du BCB sur l’Halfa brute:	42
III.7.2.Modélisation de l’isotherme de Freundlich du BCB sur l’Halfa brute	44
III.7.3.Modélisation de l’isotherme de Langmuir du BCB sur l’Halfa Modifiée:	45
III.7.4.Modélisation de l’isotherme de Freundlich du BCB sur l’Halfa Modifiée	46
Conclusion generale	49
Références bibliographiques	
Résumé	

Liste des Abréviations

BCB	Bleu de crésyl brillant
C_0	Concentration initiale
C_e	Concentration à l'équilibre
K_L	Constante de l'isotherme de Langmuir
K_f	Constante de l'isotherme de Freundlich
IR	Infrarouge
L	Litre
M	Masse
Mg	Milligramme
Min	Minute
q_e	La quantité adsorbée à l'équilibre
q_t	La quantité adsorbée à l'instant t
q_{max}	La quantité adsorbée maximale
pH	Potentiel d'hydrogène.
T	Température
Tr/min	Tour par minute
t	Temps
UV	Ultra violet
V	Volume de la solution
ppm	Partie par million
br	constante de Temkin relative à la chaleur de sorption
K_T	constante de l'isotherme de Temkin

Liste des figures

Figure I .1: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux [12].....	9
Figure I.2 : Classes des isothermes d'après Giles coll[19].....	14
Figure II.1: Etapes de préparation du biosorbant Brut	19
Figure II.2: Préparation du biosorbant Modifié.....	20
Figure II.3: Rayonnements de la longueur d'onde UV-Visible.....	22
Figure III.1 : Spectre infra rouge de l'adsorbant brut (Halfa).....	28
Figure III.2 : Spectre infra rouge de l'adsorbant modifié avec NaOH avant et après adsorption.....	29
Figure III.3 : courbe de pH de point de charge nulle de l'adsorbant	30
Figure III.4 : Courbe d'étalonnage de bleu de crésyl brillant.....	31
Figure III.5 : Effet de masse de l'adsorbant brute sur l'adsorption du BCB.....	32
Figure III.6 : Effet de masse de l'adsorbant modifié sur l'adsorption du BCB.....	32
Figure III.7 : Effet du temps de contact de la Plante Brute.....	33
Figure III.8: Effet du temps de contact de la Plante modifié.....	33
Figure III.9: Effet du PH de l'adsorbat (plante Halfa Brute).....	34
Figure III.10: Effet du pH de l'adsorbat (plante Halfa modifiée).....	34
Figure III.11: Effet de température de la plante (Halfa) Brute.....	35
Figure III.12: Effet de température de la plante (Halfa) Modifiée.....	35
Figure III.13 : Effet de la force ionique sur l'adsorption du BCB (plante Halfa Brute).....	36
Figure III.14 : Effet de la force ionique de l'Halfa Modifiée.....	36
Figure III.15 : Cinétique du pseudo premier ordre de l'Halfa brute.....	37
Figure III.16 : Cinétique du pseudo-second ordre de Halfa brute.....	38
Figure III.17 : Cinétique du pseudo premier ordre de l'Halfa Modifiée.....	39
Figure III.18: Cinétique du pseudo-second ordre de l'Halfa Modifiée.....	40
Figure III.19: Isotherme d'adsorption de l'halfa brute.....	42

Figure III.20: Isotherme d'adsorption de l'halfa Modifiée.....	42
Figure III.21 : Modèle linéaire de Langmuir (halfa brute).....	43
Figure III.22 : Modèle linéaire de Freundlich (halfa brute).....	44
Figure III.23 : Modèle linéaire de Langmuir (halfa modifiée).....	45
Figure III.24 : Modèle linéaire de Freundlich (halfa modifiée).....	46

Liste des Tableaux

Tableau N°	Nom de tableau	page
------------	----------------	------

Chapitre I : Etude Bibliographique

Tableau I.1: Principaux groupements chromophores et auxochromes[7]. 5

Tableau I.2: Classification chimique des colorants[8].....6

Tableau I.3: Toxicité des colorants [8]..... 7

Tableau I.4: Matériaux utilisés en tant que bio-adsorbants [2] 11

Chapitre II : Matériels et méthodes

Tableau II.1: réactifs et produits chimiques utilisés. 17

Tableau II.2: Matériel et verreries utilisés..... 18

Tableau II.3: Propriétés physico-chimiques du bleu de crésyl Brillant..... 21

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau III.1: Paramètres cinétiques du modèle pseudo 1 ordre et pseudo 2ème ordre pour l'adsorption du BCB (adsorbant brute).....39

Tableau III.2: Paramètres cinétiques du modèle pseudo 1er ordre et pseudo 2ème ordre pour l'adsorption du BCB (adsorbant modifiée)..... 40

Tableau III.3: Principaux paramètres caractérisant les modèles d'isothermes d'adsorption du BCB sur l'Halfa brute45

Tableau III.4: Principaux paramètres caractérisant les modèles d'isothermes d'adsorption du BCB sur l'Halfa Modifiée : 46

Tableau III.5: comparaison entre la capacité d'adsorption de l'Halfa brute et modifiés 47

Introduction Générale

Introduction général

La problématique actuelle qui se pose dans notre pays est la mauvaise exploitation des sources naturelles des matières premières, pour cela on a choisi le projet de : L'exploitation de la plante d'alfa pour la fabrication de pâte à papier et du papier. Et malgré les avantages multiples de cette matière première (l'alfa), elle est abandonnée et non exploitable, donc on a pensé à investir cette ressource (qui est facile à exploiter, moins chère en terme de coût précieuse en terme de valeur) d'une façon optimale [1].

Parmi les adsorbants couramment utilisés, le charbon actif mais reste très onéreux et nécessite en plus une régénération constituant un facteur limitant. Ceci a donc encouragé des travaux de recherche en les orientant vers des procédés de traitement faisant appel à des matériaux naturels moins coûteux et largement disponibles. En effet la performance et l'efficacité de cette technique d'adsorption dépend d'une façon prépondérante de la nature du support utilisé comme adsorbant, son coût, son abondance, sa régénération, etc....[2].

Afin de contribuer à lutter contre les risques de pollution de l'eau, nous sommes fixés comme objectif d'étudier l'adsorption du bleu de crésyl brillant par le biosorbant (HALFA), qui est un adsorbant naturel. Notre travail est partagé en trois chapitres essentiels :

- Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à des généralités sur la pollution des eaux et les colorants et aborde le procédé d'adsorption, son mécanisme, différents facteurs qui contrôlent ce processus, ainsi que les équations utilisées dans l'étude du phénomène d'adsorption.
- Le deuxième chapitre est consacré essentiellement à la présentation de la procédure expérimentale suivie, pour réaliser l'adsorption du bleu de crésylé par le biosorbant (HALFA).
- 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.

Chapitre I

Étude Bibliographique

I.1. Définition de la pollution:

On appelle pollution de l'eau toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants. En d'autres termes, c'est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et ou 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 [3].

I.2. les différentes sources de Pollution des eaux :

La pollution de l'eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. elle peut avoir des origines diverses :

- **La pollution industrielle** : avec les rejets de produits chimiques comme les hydrocarbures ,les métaux lourds ,les colorants rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines.
- **La pollution agricole** : avec les déjections animales mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais et utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines.
- **La pollution domestique** : avec les eaux usées provenant des sanitaires, les produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), les peintures, solvants, huiles de vidanges, hydrocarbure...etc.
- **La pollution accidentelle** : avec le déversement accidentel de produits toxiques les cours d'eaux.
- **Pollution organique** :C'est les effluents chargés de matières organiques
- **Pollution microbiologique.**
- **Les espèces invasives .**
- **Pollution chimique** :La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux[1].
- **Pollution physique** :Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble.
- **Pollution radioactive** [4].

I.3.méthodes de traitement des eaux usées :

les eaux usées qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel, en station d'épuration les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur [5].

Aujourd'hui les usines de traitement des eaux usées sont devenues des usines de dé pollution compactes couvertes désodorisées automatisées, elles mettent en œuvre des traitements de plus en plus performants assurant un rejet conforme aux normes, les principales techniques de traitement des eaux polluées sont [5]:

✓ **Le prétraitement :**

❖ Le prétraitement consiste en trois étapes principales.

- Dégrillage et tamisage.
- Dessablage.
- Dégraissage.

✓ **Traitement primaire :**

- La décantation «primaire» s'effectue dans des bassins, le plus souvent de forme cyclonique, mais il existe bien d'autres types de décanteurs, elle permet d'éliminer 70% environ des matières minérales et organiques [6] .

✓ **Traitement secondaire :**

- Le traitement secondaire se fait le plus couramment par voie biologique.

✓ **Traitement tertiaire :**

-Le traitement tertiaire n'est pas toujours réalisé.

✓ **Traitement quaternaire :**

- Élimination des micropolluants .
- Traitement des boues d'épurations[7].

I.4.les colorants :

I.4.1-Définition:

Les colorants synthétiques employés dans l'industrie textile, représentent un principale type de contaminants organiques, les matières colorantes sont un assemblage de groupes chromophores, auxochromes (tableau I.1) et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques anthracène, perylène...)[7].

Tableau I.1: Principaux groupements chromophores et auxochromes[7].

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-NO ou -N-OH) Carbonyl (=C=O)	Méthyl amino (-NHCH ₃)
Vinyl (-C=C-)	Diméthyl amino (-N(CH ₃) ₂)
Nitro (-NO ₂)	Hydroxyl (-OH)
Sulfure (>C=S)	Alkoxy (-OR)
	Groupements donneurs d'électrons(les métaux et les groupes alkyles)

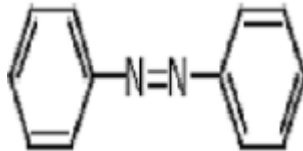
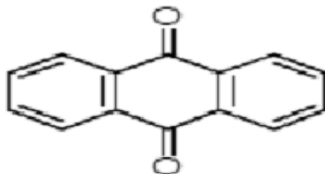
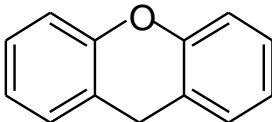
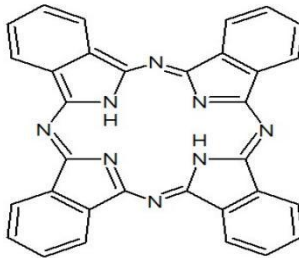
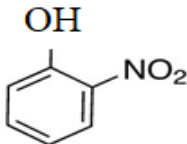
I.4.2-Classification des colorants :

Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, alors que l'on compte des milliers de colorants synthétiques. Les colorants sont classifiés de plusieurs manières, par leur structure chimique et par leur domaine d'application [7].

I.4.2-1-Classification chimique :

La classification chimique est fonction de la structure chimique du colorant, plus précisément de la nature de son groupe chromophore,le tableau présente :

Tableau I.2: Classification chimique des colorant [8] :

Type de colorant	Structure de base
Colorant azoïque	
anthraquinoniques	
xanthènes	
phtalocynines	
nitrés et nitrosés	

I.4.2.2-Classification tinctoriale :

On distingue différentes catégories tinctoriales :

- **Les colorants à mordant** : ces colorants contiennent généralement un ligand fonctionnel susceptible de réagir fortement avec un sel d'aluminium, chrome, cobalt, cuivre, de nickel, ou de fer, pour former différents complexes colorés avec le textile.
- **Les colorants acides ou anioniques** : solubles dans l'eau.
- **Les colorants basiques ou cationiques** : ils sont principalement utilisés pour colorer la laine, les colorants basiques sont des dérivées mono-ou diazoïques .
- **Les colorants de cuve** : colorants insolubles dans l'eau .
- **Les colorants dispersés** : sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture [8].

I.4.3.Toxicité des colorants : Le tableau ci-dessous représente les principaux impacts environnementaux liés à la toxicité des colorants.

Tableau I.2: Toxicité des colorants [8].

Les dangers évidents	Les dangers à long terme
-L'eutrophisation provoquée par l'augmentation de la concentration des nitrates et des phosphates.	-Persistance des composés saturés; tel que les aromatiques, causant principalement le Cancer
- Couleur, turbidité, odeur, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielles et colorations anormales.	-Bioaccumulation

I.5. Généralités sur l'adsorption et les adsorbants :

I.5.1. Introduction

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques. Dans ce chapitre nous allons donner quelques généralités sur l'adsorption pour mieux définir l'importance de ce processus, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les éléments influant l'adsorption [8].

I.5.2. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants selon divers processus plus ou moins intenses. On distingue deux types d'adsorption : la chimisorption et la physisorption. Le phénomène inverse par lequel les molécules se détachent est appelé désorption. De plus, l'adsorption est un phénomène spontané et se produit dès qu'une surface solide est mise en contact avec un gaz ou un liquide. On appelle généralement « adsorbat » la molécule qui s'adsorbe et « adsorbant » le solide sur lequel s'adsorbe la molécule [8].

I.5.3. Types de l'adsorption :

La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption : adsorption physique et adsorption chimique [9].

- ✓ **L'adsorption physique (physisorption) :** qui est un processus mettant en jeu des forces non spécifiques (forces de van der Waals) ; il n'y a aucune altération chimique des molécules adsorbées, et la chaleur d'adsorption est faible, du même ordre de grandeur que la chaleur de condensation (40 kJ / mol) [10].
- ✓ **L'adsorption chimique (chimisorption) :** le processus résulte d'une réaction chimique avec formation de liens chimiques entre les molécules d'adsorbat et la surface d'adsorbant. Des modifications ont lieu dans les structures moléculaires, libérant une énergie comprise entre 40 et 200 KJ/Mol [11].

I.5.4. Description du mécanisme de l'adsorption :

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes (Figure I.1) :

1. Diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
2. Diffusion extra-granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).
3. Transfert intra-granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).
4. Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile [12].

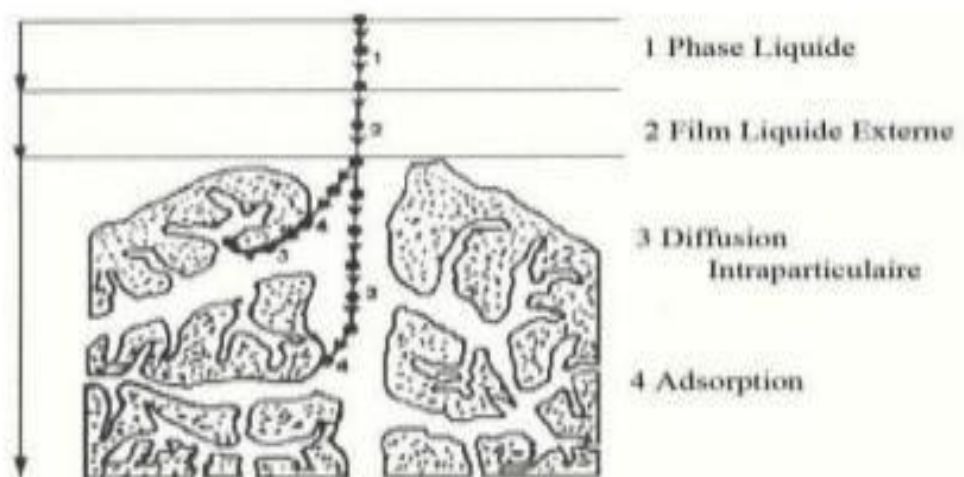


Figure II.1: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux [12].

I.6. Définition d'un adsorbant :

Les adsorbants sont des solides microporeux présentant des surfaces par unité de masse importantes (de $100 \text{ m}^2/\text{g}$ et jusqu'à ou plus de $1000 \text{ m}^2/\text{g}$).

I.6.1. les types des adsorbants industriels :

- **Le Charbon actif :** Les charbons actifs sont préparés par pyrolyse d'une matière contenant du carbone, charbon ou matériau végétal, pour conduire à un charbon de bois qui est ensuite oxydé par la vapeur d'eau dans des conditions contrôlées pour créer une structure microporeuse. On peut trouver des charbons actifs dits «chimiques», car activés à chaud en présence d'agents chimiques déshydratants, comme l'acide phosphorique ou le chlorure de zinc, ce sont des adsorbants hydrophobes dont la surface spécifique se situe entre 500 et

1500 m² /g. Leur porosité, leur vaste domaine d'application et leur coût font des charbons actifs les adsorbants les plus répandus.

- **Les Adsorbants minéraux :** Les adsorbants minéraux peuvent exister à l'état naturel ou synthétisés, on peut citer :

a) **les Argiles :** sont des aluminosilicates, qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbants.

b) **les Zéolithes :** sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres SiO₄ et AlO₄, de formule globale la notralite a pour formule $Na_2(Si_3Al_2O_{10}) \cdot 2H_2O$ et l'heulandite a pour formule $(Ca,Na_2)_2(Si_7Al_2O_{18}) \cdot 6H_2O$. et de formule globale $(AlO_2M, nSiO_2)$ Où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux.. Ils ont une structure microporeuse faite de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés adsorbants. Ils sont sous forme de poudre, granulés ou extrudés ; et présentent une bonne sélectivité [13].

c) **Gels de silice :** sont préparés à partir de Si(OH)₄ en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium. Les groupements Si-OH conduisent à des liaisons hydrogène. Leur surface spécifique peut être de 300 à 800 m² /g [13].

▪ **Les Adsorbants à base de polymères :** Ce sont pour la plupart des produits en développement qui n'ont actuellement que des applications très spécifiques et peu nombreuses. Le plus répandu est un copolymère du styrène et du divinylbenzène: le polystyrène forme des chaînes reliées entre elles par des ponts de divinylbenzène, ce qui confère une porosité inter chaînes à la structure. Une caractéristique importante de ces adsorbants est qu'ils sont très hydrophobes. Ces produits peuvent être utilisés tel quel ou subir une carbonisation [14].

- **Les Adsorbants naturelles :**

La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale. Elle peut être issue de forêts, milieux marins et aquatiques, parcs et jardins, industries générant des coproduits, des déchets organiques, déchets ménagers ou des effluents d'élevage. Cette matière organique est la matière qui compose les êtres vivants et leurs résidus ayant pour particularité d'être toujours composée de carbone. L'idée d'utiliser des substances naturelles appelées bio-adsorbants (bioproduits, bio polymères ...) pour le traitement des eaux , le tableau suivant cite quelques exemples de biosorbants utilisés en littérature [2].

- **L'Halfa** : est une plante herbacée vivace de la famille des poacées, venant des régions arides de l'ouest du bassin de la Méditerranée, elle pousse en touffes d'environ un mètre de haut, formant de vastes « nappes » dans les régions aride et semi-aride, Mais ce sur quoi nous avons travaillé a été collecté dans la région de Djelfa (les steppes) en hiver.

Tableau I.3: Matériaux utilisés en tant que bio-adsorbants [2]:

Polluant(s)	Adsorbants végétaux -Déchets agricoles	Qmax(mg. g ⁻¹)
Bleu de crésylé	Le biosordant Halfa.	80
nylosan blue	pelures d'oranges	65.88
telon blue	résidus de maïs	47.7
safranine	résidus de riz	838
bleu de méthylène	tourbe	238.1
2,4- dichlorophénol	résidus de maïs	17.94
2,4,6- trichlorophénol	enveloppes de noix de coco	716,1
Hg ²⁺	enveloppes de noix de coco	151,1
Pb ²⁺	bagasse de canne à sucre	189
Pb ²⁺	résidus de café	63
Polluants	Déchets et sous produits industriels	Qmax(mg. g ⁻¹)
vat red 10	boues d'épuration	73.1
remazol Black B	déchets de coton	35.7
indigo carmine	boues d'épuration	16.1
reactive blue MR	déchets de coton	12.9
Cd ²⁺	boues de purations	36.23

I.6.2. Cinétique d'adsorption :

La cinétique d'adsorption est un paramètre indicateur de la performance épuratoire d'un adsorbant. Elle permet d'estimer la quantité de polluants adsorbée en fonction du temps. La cinétique fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide. La cinétique d'adsorption d'un matériau peut être modélisée. A cet effet, la littérature rapporte un certain nombre de modèles tels que le modèle de Lagergren (modèle de pseudo-premier ordre) et le modèle cinétique de pseudo-second ordre [5].

- a- **Le modèle de pseudo-premier-ordre** : la vitesse d'adsorption de l'adsorbat est donnée par l'équation de Lagergren sous la forme [15]:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (\text{I.1})$$

Où :

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

q_e (mg/g) : la quantité adsorbée à l'équilibre;

q_t (mg/g) : la quantité adsorbée à l'instant t ;

t (min) : le temps de contact. Après intégration avec les conditions initiales $q_t = 0$ à $t = 0$,

La linéarisation de l'équation précédente donne:

$$(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (\text{I.2})$$

la vitesse d'adsorption peuvent être trouvés en traçant $\ln (q_e - q_t) = f(t)$ à partir de la transformée linéaire de l'équation (Eq.2).

Le graphe de $\ln (q_e - q_t)$ en fonction de t devrait donner une droite où k_1 et q_e peuvent être déterminées à partir de la pente et l'intersection à l'origine respectivement.

- b- **Le modèle de pseudo-second-ordre** : Ce modèle est donné par l'expression suivante [16]:

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (\text{I.3})$$

Où

k_2 (g/mg.min) : est la constante de vitesse de réaction de pseudo-second ordre, après intégration on obtient:

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + K_2 \cdot t \quad (\text{I.4})$$

Des réarrangements conduisent à la forme linéaire suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (\text{I.5})$$

La quantité adsorbée q_e (mg/g), la vitesse d'adsorption peuvent être trouvés en traçant $t/q_t = f(t)$ à partir de la transformée linéaire de l'équation.

Le graphe de $t/q_t = f(t)$ devrait donner une droite où k_2 et q_e peuvent être déterminées à partir de la pente et l'intersection à l'origine respectivement.

I.6.3. Les isothermes d'adsorption :

Tous les systèmes adsorbant/adsorbât ne se comportent pas de la même manière. Les phénomènes d'adsorption sont souvent abordés par leur comportement isotherme. Les courbes isothermes décrivent la relation existante à l'équilibre d'adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant donné à une température constante [17].

I.6.4. Classification des isothermes d'adsorption :

La classification tient compte, entre autres d'un certain nombre d'hypothèses :

- Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.
- Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente.
- L'orientation des molécules à la surface. On peut citer le cas où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface.
- Enfin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption. Giles et coll ont divisé les isothermes d'adsorption en quatre classes principales S (Sigmoïde), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante), qui sont représentées sur la figure suivante [18]:

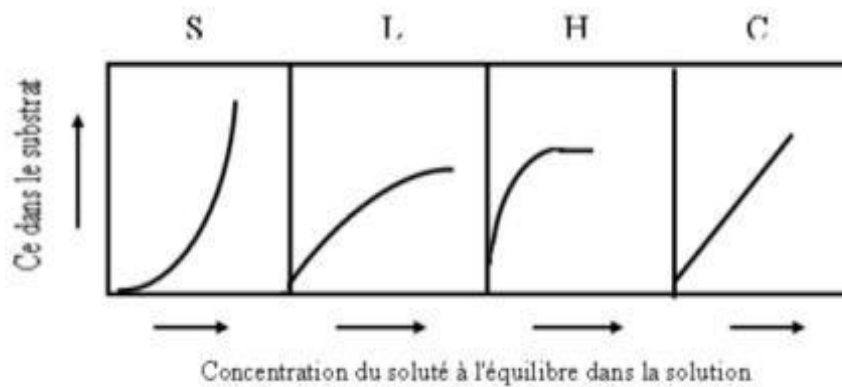


Figure II.2: Classes des isothermes d'après Giles et coll [19].

I.6.5. Modèles d'isothermes d'adsorption :

I.6.6.1. Modèle de Langmuir :

Le modèle le plus communément utilisé est celui de Langmuir. Les hypothèses initiales sont [20]:

- ✓ le solide adsorbant présente une capacité d'adsorption limitée (q_{\max});
- ✓ tous les sites actifs sont identiques;
- ✓ Les sites actifs ne peuvent complexer qu'une seule molécule de soluté (adsorption monocouche);
- ✓ il n'y a pas d'interactions entre les molécules adsorbées. Ce modèle est représenté par la relation suivante :

$$q_e = \frac{q_{\max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (\text{I.6})$$

Où :

q_e : quantité adsorbée à l'équilibre, en (mg/l) ;

q_{\max} : est la quantité d'adsorption maximale (mg/g) ;

C_e : concentration à l'équilibre, exprimé en (mg/l) ;

K_L : est la constante d'équilibre d'adsorption dite constante de Langmuir.

L'équation de Langmuir peut être écrite aussi sous cette forme :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{\max}} + \frac{1}{K_L q_{\max}} \quad (\text{I.7})$$

On détermine la valeur de la capacité maximum d'adsorption de la monocouche q_{\max} et la constante de Langmuir K_L en traçant la droite: $C_e/q_e = f(C_e)$ ou $1/q_e = f(1/C_e)$ [20].

I.6.5.2. Modèle de Freundlich :

Le modèle de Freundlich, donne une indication sur l'hétérogénéité de la surface de l'adsorbant, il est défini par la relation suivante [21]:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (\text{II.8})$$

K_f et n sont des constantes de Freundlich reliées à la capacité d'adsorption et l'intensité d'adsorption. La forme linéaire de l'équation de Freundlich peut être écrite sous forme logarithmique selon la relation suivante [21] :

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{I.9})$$

I.6.5.3. Modèle de Temkin :

Temkin et Pyzhev considèrent l'effet des interactions entre adsorbant/adsorbant sur l'isotherme d'adsorption, et suggèrent que, à cause de ces interactions, la chaleur d'adsorption décroît linéairement avec la croissance du taux de recouvrement de la surface de l'adsorbant selon cette formule [21]:

$$q_e = B \cdot \ln K_T \cdot C_e \quad (\text{I.10})$$

Linéarisée sous la forme :

$$q_e = \frac{R \cdot T}{b_t} \ln C_e + \frac{R \cdot T}{b_t} \ln K_T \quad (\text{I.11})$$

Où

K_T : constante de l'isotherme de Temkin (L/mg).

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

$B = R \cdot T / b_t$: la constante de Temkin relative à la chaleur de sorption (J/mol).

Chapitre II
Matériels et méthodes

II.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous exposons les réactifs et les matériels, ainsi que les méthodes expérimentales et analytiques, propres à l'élimination du colorant basique le bleu de crésyl brillant.

Notre travail expérimental consistait à l'application d'un matériau non conventionnel « les fibre d' Halfa » comme adsorbant naturelle pour éliminer le bleu de crésyl brillant d'une solution aqueuse

II.2.Matériels et réactifs :

II.2.1. Réactifs utilisés:

Le tableau suivant représente les réactifs et produits chimiques utilisés dans le protocole opératoire

Tableau II.1: réactifs et produits chimiques utilisés.

Produits	Formule	Masse molaire (g/mol)	Pureté	Densité (g/cm ³)	Fournisseur
Acide sulfurique	H ₂ SO ₄	98.079	98 %	1.83	Merck
Eau distillée	H ₂ O	18.018	-	1	Laboratoire pédagogique
Bleu de crésyl brillant	BCB	385.96	/	-	Sigma-Aldrich
Chlorure de sodium	NaCl	58.44	99 %	-	Sigma-Aldrich
Chlorure de potassium	KCl	74.55	99 %	-	Sigma-Aldrich
Hydroxyde de sodium	NaOH	39.997	98.8%	-	Biochem

II.2.2. Matériel et verreries :

le tableau suivant représente la liste de matériels et les verreries utilisés dans la partie expérimentale :

Tableau II.2: Matériel et verreries utilisés :

Verreries	Matériel
<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 ▪ Barreau magnétiques ▪ Bécher (1000, 500,25ml) ▪ Cristallisoir 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermomètre ▪ PH mètre. ▪ Etuve. ▪ Micropipette. ▪ Une balance analytique ▪ Spatule ▪ Plaque chauffante magnétique ▪ Spectrophotomètre UV-visible ▪ Bain marie numérique ▪ Tamis ▪ Pissette ▪ Papier filtre ▪ Cuvette Uv-visible

II.3. Préparation du Biosorbant :

II.3.1. Préparation du Biosorbant Brut :

Le schéma en dessous illustre les différentes étapes de préparation du biosorbant « fibre de l'Halfa (Figure II.1) :

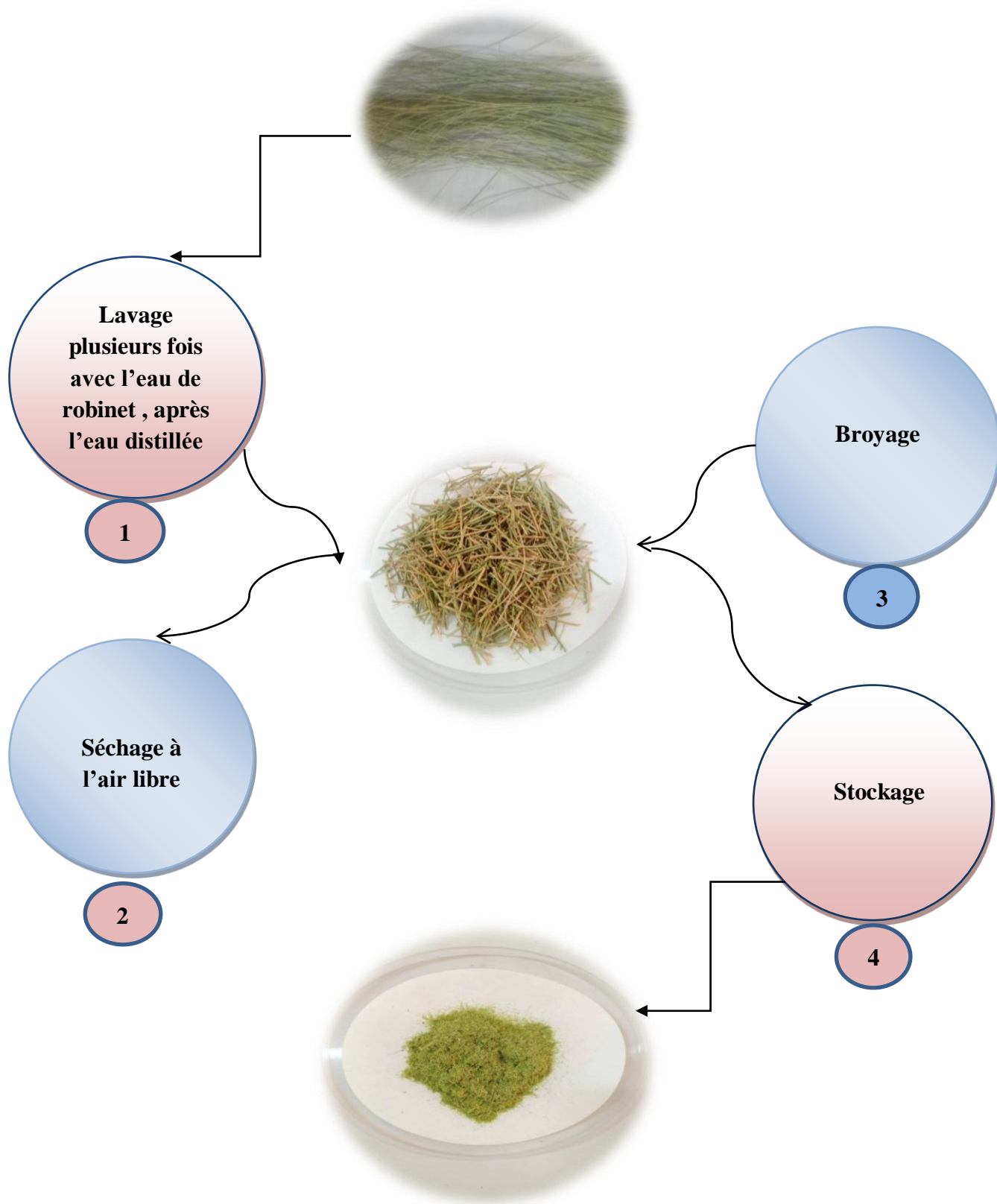


Figure II.1: Etapes de préparation du Biosorbant Brut.

II.3.2. Modification chimique du Biosorbant:

II.3.2.1. Préparation de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) :

Pour préparer la solution de NaOH (0.1M), on pèse 4.047g de NaOH qu'on dissout dans 1000 ml d'eau distillée.

II.3.2.2. Etapes de modification :

Les différentes étapes de modification des fibres de l'Halpa brute sont représentées comme suit :

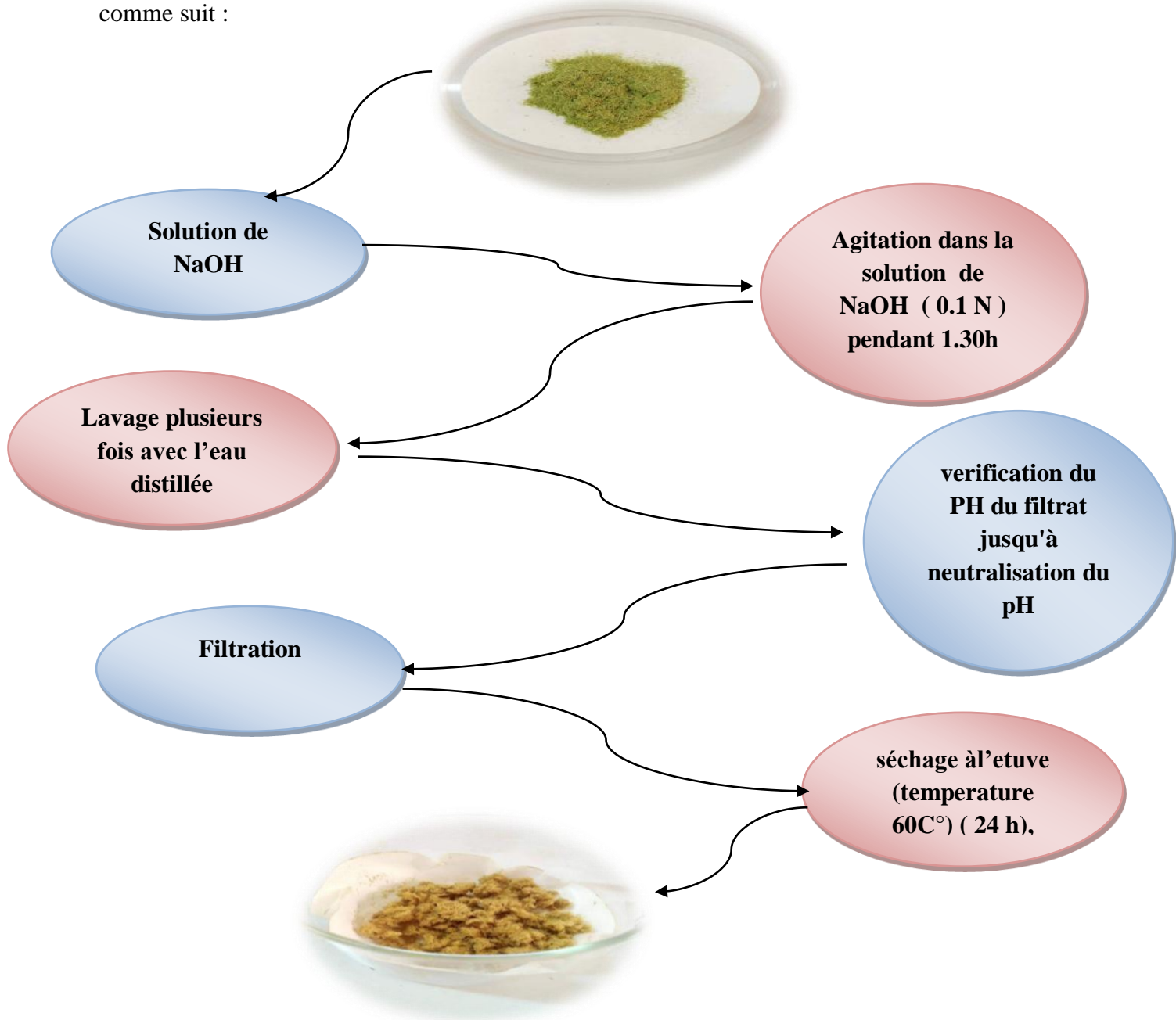


Figure II.2: Préparation du Biosorbant Modifié.

II.4. Préparation de l'adsorbat :

II.4.1. Le bleu de crésyl brillant (BCB):

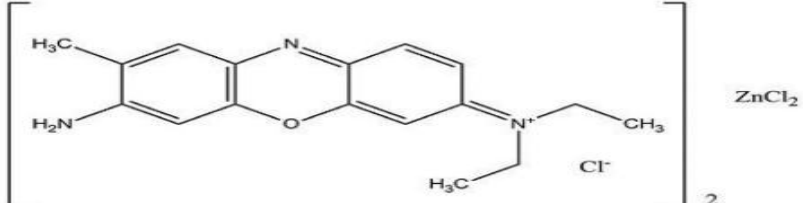
Le bleu de crésyl brillant appartient aux diaminobenzooxazines. Au cours du temps, il y a eu plusieurs structures en circulation, appelées bleu de crésyl brillant, même les oxazines apparentées étaient parfois répertoriées comme bleu de crésyl brillant. Enfin, il a également été partiellement déclaré comme nouveau bleu de méthylène.[22]

C'est un colorant métachromatique, c'est-à-dire qu'il colore différents éléments de la cellule en nuances différentes, considéré comme colorant basique, et se présente sous forme d'une poudre bleue inodore soluble dans l'eau et l'éthanol.[23].

II.4.2. Caractéristiques Générales du bleu de crésyl Brillant :

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

Tableau II.3: Propriétés physico-chimiques du bleu de crésyl Brillant.

Nom IUPAC	(7-Amino-8-methylphenoxazin-3-ylidene)- diethylazanium dichlorozinc dichloride
Solubilité	L'eau (H ₂ O), éthanol (C ₂ H ₅ OH)
λ max	633 nm
Masse molaire	385.96 g / mol
Point de fusion	235°C
La Formule chimique	(C ₁₇ H ₂₀ ClN ₃ O) ₂ ·ZnCl ₂
Structure chimique	

II.4.3. Préparation de la solution de bleu de crésyl brillant :

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 a fait dissoudre 0,5g de BCB dans 500 ml d'eau distillée à fin d'obtenir une concentration $C_0 = 1\text{g/l}$. Le mélange obtenu a été homogénéisé par agitation.

II.5. Méthodes d'analyse :

II.5.1. Spectroscopie Infra Rouge :

La spectroscopie infrarouge (IR) est une technique utilisée pour la détermination de la structure moléculaire et les fonctions principales de l'adsorbant. Des tables permettent d'attribuer les absorptions aux différents groupes chimiques présents. Les spectres infra-rouge des composés étudiés dans la zone centrale ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) ont été mesurés à l'aide d'un spectromètre à transformée de fourier IR modèle FT/IR-4200 [24].

II.5.2. 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.3).

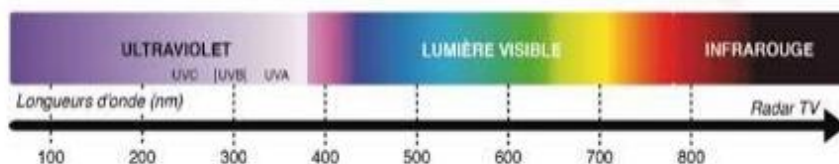


Figure II.3: Rayonnements de la longueur d'onde UV-Visible

Pour chaque longueur d'onde, l'absorbance est mesurée et les données recueillies sont utilisées pour tracer les variations de l'absorbance (en ordonnées) en fonction de la longueur d'onde (en abscisse). Le graphique ainsi obtenu constitue un spectre UV-visible [25].

Le principe général de fonctionnement d'un spectrophotomètre uv visible est : une source de lumière blanche émet un rayon lumineux ; celui-ci passe dans un monochromateur permettant de sélectionner une longueur d'onde, puis est séparé en deux faisceaux, l'un est

dirigé vers la cuve de référence contenant le solvant, l'autre traverse l'échantillon à analyser. Deux photorécepteurs permettent de mesurer l'intensité lumineuse de chaque faisceau[25].

Les différents éléments constituant un spectrophotomètre UV-visible sont :

➤ **Source de lumière monochromatique :**

- **Visible :** Lampe à incandescence à Tungstène et iode.
- **UV :** Lampe à arc à Deutérium ou à Xenon , ou mercure.

➤ **Monochromateur (sélection de la longueur d'onde)**

- Prisme.
- Réseau.

➤ **La cuve**

- **Visible :** Verre.
- **UV :** Quartz

➤ **Détecteur Photomultiplicateur ou photopiles.**

A)- Loi de Beer-Lambert:

. Lorsque la cuve contenant la solution est placée dans un spectroscope, elle reçoit un rayonnement monochromatique d'intensité I_0 , une partie de cette lumière incidente notée I_0 est absorbée par le milieu, et le reste noté I , est transmis. L'intensité(I) du rayonnement issu de la cuve est donc inférieure à l'intensité du rayonnement initial (I_0) .La fraction de la lumière incidente absorbée par une substance de concentration C contenue dans une cuve de longueur l est donnée par la loi de Beer-Lambert [26]:

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

Le coefficient ϵ est un coefficient intrinsèque du composé et dépend de la longueur d'onde, de la température et du solvant. Des écarts par rapports à cette loi peuvent se produire, à cause des interactions moléculaires, des formations de complexes, ou encore à une insuffisance de résolution ou à des problèmes instrumentaux [27].

B)-La courbe d'étalonnage des colorants :

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

- 1)- détermination 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 $\lambda_{\max} = 633\text{nm}$.
- 2)- mesure de l'absorbance des solutions filles préparées à partir de la solution mère du colorant bleu de crésyl brillant BCB à différentes concentrations de (2-15 mg/l), et le tracé de la courbe d'étalonnage appropriée.

II.6. Mesure du pH du point de charge nulle :

Le pH_{pzc} ou pH du point de charge zéro ou nulle, correspond à la valeur de pH pour laquelle, la charge nette de la surface des adsorbants est nulle. Ce paramètre est très important dans les phénomènes d'adsorption, surtout quand des forces électrostatiques sont impliquées dans les mécanismes. Une façon simple et rapide pour déterminer le pH_{pzc} est de placer 50 ml de NaCl en flacons fermés et ajuster le pH de chacun (valeurs comprises entre 2 et 12) par addition de solution NaOH et HCL (0.1 N) . On ajoute ensuite à chaque flacon 25 mg d'échantillon de (plante brute de l'Halfa), Les suspensions doivent être maintenues en agitation, à température ambiante, pendant 24 h, et le pH final est alors déterminé.

II.7. Essai d'adsorption :**II.7.1. Mesure de 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 [7] :

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

Sachant que :

q : Capacité d'adsorption de l'adsorbant
(mg.g⁻¹).

C₀ : 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).

II.7.2. Mesure du 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 :

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

Où C₀: Concentration initiale de l'adsorbat (mg/l).

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

II.7.3. Effet de la masse :

L'effet de la masse de L'Halfa sur l'adsorption du colorant bleu de crésyl Brillant (BCB) a été étudié en variant la masse de l'adsorbant de 0,1 à 4 g. Le volume de la solution et la concentration initiale sont de 50mL et 50 mg/L . Le mélange obtenu a été ensuite agité à Température ambiante de 25°C pendant 2 heures, après filtration. les solutions obtenus ont été analysés par spectrophotométrie UV-Visible pour déterminer la concentration résiduelle du colorant en fonction de la masse de l'adsorbant ajouté.

II.7.4 Effet du temps de contact et de la concentration de l'adsorbant :

La cinétique d'adsorption est définie par l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps de contact adsorbant/adsorbant..

Dans cette étape les expériences ont été menées dans les mêmes conditions opératoires trois solutions de l'adsorbant ont été préparé avec différentes concentrations 20,50 et 120

mg/l, ensuite l'ajout d' une masse optimale et un volume de 50 ml de solution de BCB après l'agitation, les échantillons ont été prélevés à des intervalles de temps réguliers de 5 min jusqu'à de 3 heures, en vu de déterminer l'absorbance de l'effet de contact par spectrophotométrie UV-Visible.

II.7.5. Effet du pH de la solution :

Le pH est un paramètre qui joue un rôle fondamental dans le processus d'adsorption. L'étude de l'influence du pH sur l'adsorption du BCB par le biosorbant est effectuée à pH différents (2 jusqu'à 11), le réglage du pH de l'adsorbat est réalisée par l'ajout d'acide sulfurique H_2SO_4 (0.1N) ou d'hydroxyde de sodium (NaOH) (0.1N) selon le pH voulu. Sous ces conditions de pH, une masse de l'adsorbant a été agitée dans 50mL de la solution colorée de BCB à 50 mg/L. Le mélange est soumis à une agitation pendant un temps de contact. Après filtration, le filtrat est récupéré et analysé par UV-Visible.

II.7.6. Effet de la Température :

L'adsorption est un phénomène qui peut être endothermique ou exothermique. L'adsorption du colorant BCB par le biosorbant à différentes températures a été étudiée dans un intervalle allant de 25 à 60°C. Les essais ont été réalisés sur des solutions colorées de 50 mL à la concentration de 50 mg/l ,avec une masse optimale de l'adsorbant . Ces mélanges sont maintenus sous agitation constante pendant 2 heures .

II.7.7. 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 BCB à concentration de 50 mg /l et une masse optimale .On ajoute aux solutions du BCB des concentrations croissantes de 20,40, 60 de chlorure de sodium (NaCl) et de chlorure de potassium (KCl), On agite la solution pendant 2h ,après filtration mesure de l'absorbance par uv -visible .

Chapitre III
Résultats et Discussion

III.1. l'objectif de travail :

L'objectif de cette étude expérimentale est de tester le pouvoir d'adsorption du bleu de crésyl par le biosorbant (halfa). En première étape nous avons mis en évidence la caractérisation spectroscopique du matériau étudié ainsi que la mesure du pH de point de charge nulle.

Des études paramétriques d'adsorption de ce polluant ont été réalisées dans le but de déterminer les conditions optimales d'adsorption en milieu aqueux, puis nous avons exploité les résultats expérimentaux de cette étude par la modélisation cinétique et des isothermes d'adsorption.

III.2. Caractérisation biosorbant par spectroscopie infra rouge IR:

Cette technique peut donner des informations sur la nature, la réactivité et l'arrangement des groupes fonctionnels de surface. La figure III.01 représente le spectre IR de l'adsorbant brut, comme le montre la figure, le spectre de l'halfa fait apparaître une large bande vers 3300 cm^{-1} qui peut être due à la vibration d'élongation des groupements hydroxyles OH qui pourrait être attribué aux composés alcooliques, phénoliques et carboxylique. Les pics d'absorption à $(2900 - 2840)\text{ cm}^{-1}$ caractérise généralement les vibrations d'élongation des groupements alkyle C-H aliphatiques présente dans la cellulose et hémicellulose dans les fibres végétales agricoles.

Le pic d'adsorption à 1600 cm^{-1} correspond à la vibration de valence de C=O des acides carboxyliques, des cétones, d'esters ou d'aldéhyde, alors que celui à 1059 cm^{-1} correspond à la vibration de valence des groupements carboxyliques et alcooliques ou éther (C-O).

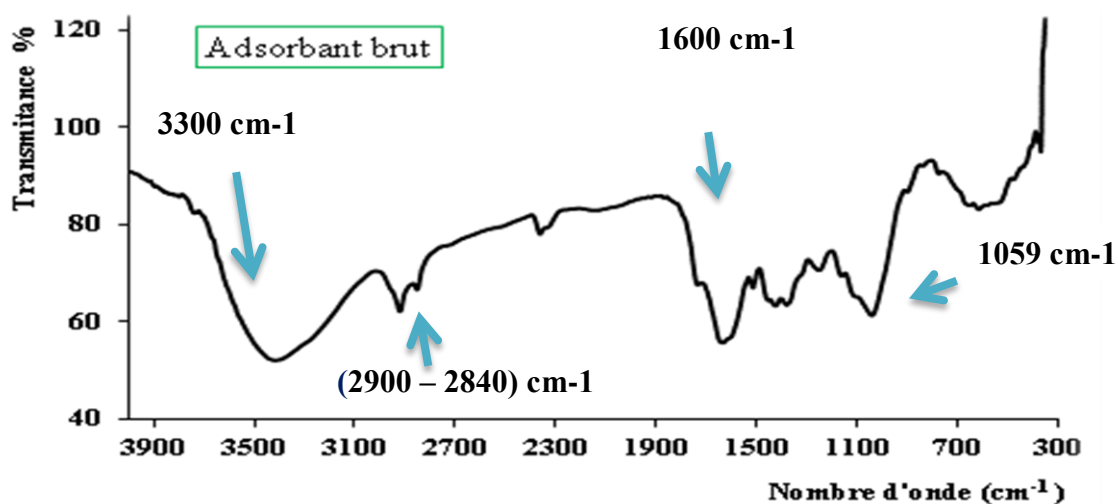


Figure III.1: Spectre infra rouge de l'adsorbant brut (Halfa).

La figure III.02 présente l'ensemble des bandes caractéristiques du spectre IR du biosorbant modifié avec NaOH avant et après adsorption du bleu de crésyl brillant, on remarque que le traitement du matériau avec une base montre des changements dans les pics ci-dessus étant décalés à 3400; 1560 ; et 1445 cm^{-1} respectivement, suggérant que les modifications de surface a eu lieu. Les changements dans le pic qui est apparu à environ 3400 cm^{-1} peut être attribué à des changements dans l'environnement chimique des groupements -OH, en raison de la déprotonation des groupes d'acide carboxylique pendant le traitement par NaOH.

Aussi en comparant entre le spectre de l'adsorbant modifié avant et après adsorption, on remarque une diminution dans l'intensité des bandes, les décalages des pics dans ce cas fournissent une bonne indication que le processus d'adsorption du colorant bleu de crésyl a eu lieu.

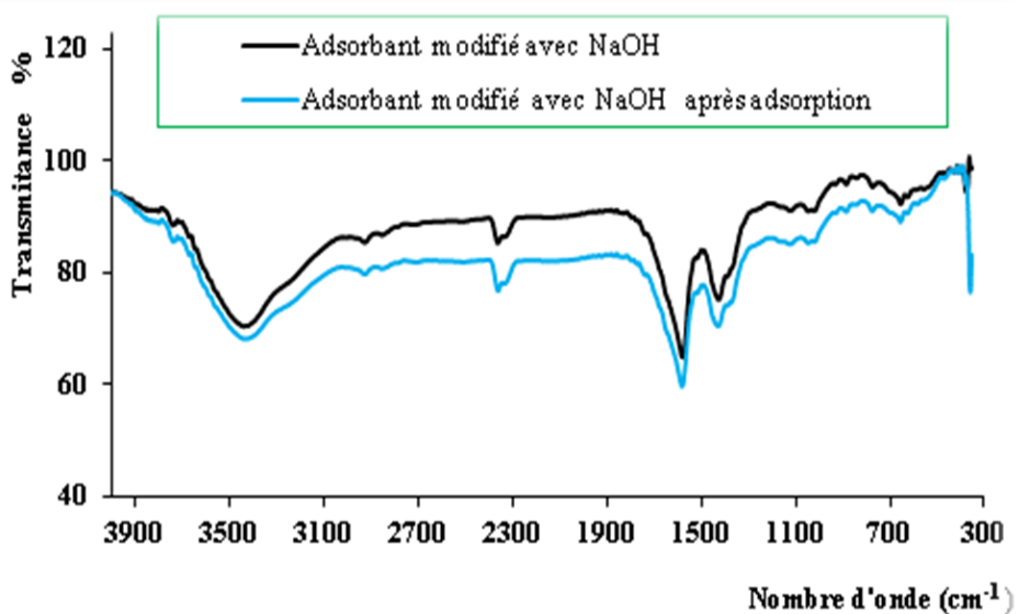


Figure III.2: Spectre infra rouge de l'adsorbant modifié avec NaOH avant et après adsorption.

III.3. mesure du pH de point de charge nulle (pH) :

La charge de surface d'un matériau sorbant donné, résultant des équilibres acido-basiques, dépend du pH et de la force ionique de la solution avec laquelle le matériau est en contact. ,cette charge peut être positive, négative ou nulle selon les conditions du milieu[4].

Pour déterminer le pH de point de charge nulle, on porte sur un graphe $\text{pH}_i = (\text{pH}_f - \text{pH}_i)$, l'intersection de la courbe avec l'axe des abscisses donne le point du pH à charge nulle , d'après la courbe (figure III.3) , la valeur de pH_{PZC} est égale à 6,26.

donc que la surface est chargée positivement pour les solutions de pH inférieur à cette valeur et elle est chargée négativement lorsque les pH des solutions sont supérieurs au pH_{PZC}

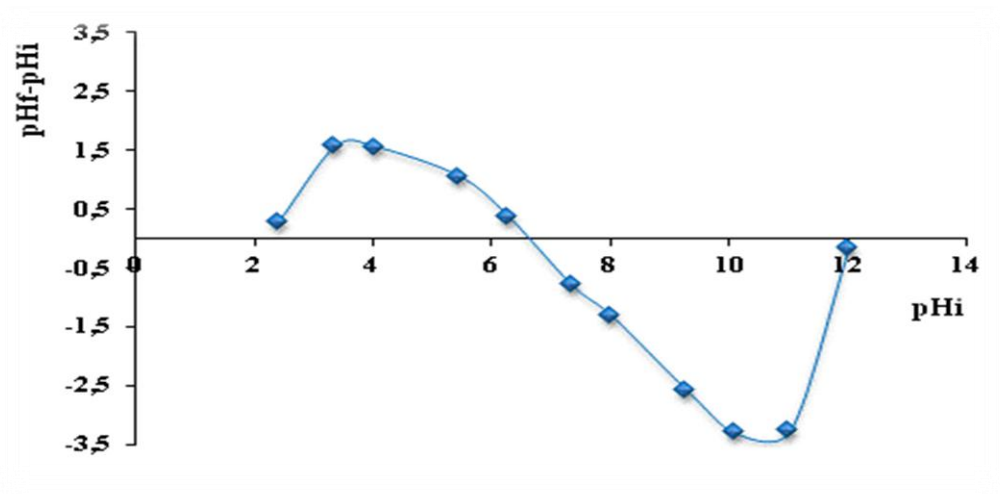


Figure III.3: courbe de pH de point de charge nulle de l'adsorbant

III.4. Etude de la courbe d'étalonnage du colorant :

En adsorption lorsqu'on a un composé à doser, la spectrométrie UV-Visible est la méthode la plus facile. C'est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Pour calculer la concentration de BCB restante après l'adsorption à longueur d'onde $\lambda_{max} = 633 \text{ nm}$, on utilise la courbe d'étalonnage, on commence par établir une droite d'étalonnage ($\text{Absorbance} = f(C)$) qui présente une relation linéaire avec un coefficient de corrélation R^2 à partir de solutions de concentrations connues du composé à doser pour un pH normale. Après l'adsorption, on mesure l'absorbance de la solution, et à partir de la courbe d'étalonnage on exploite sa concentration. Au cours de l'analyse des solutions, si l'absorbance mesurée se trouve hors du domaine de linéarité défini, les solutions seront diluées.

Au cours de l'analyse des solutions, si l'absorbance mesurée se trouve hors du domaine de linéarité défini, les solutions seront diluées.

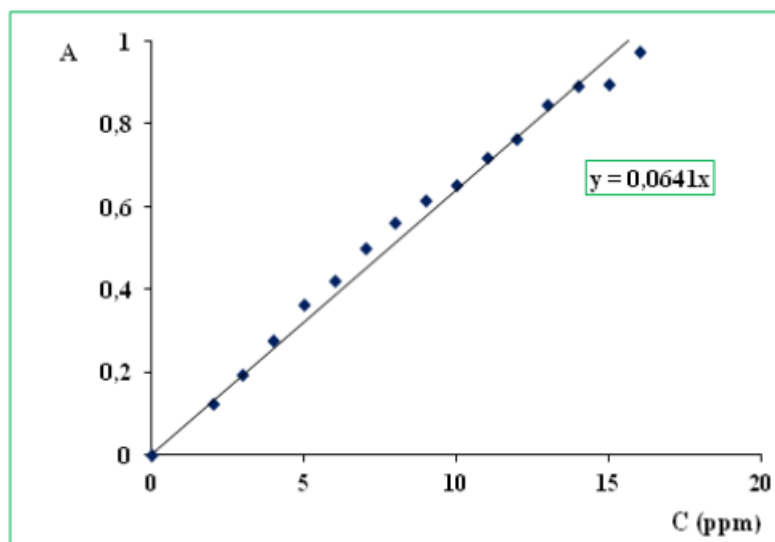


Figure III.4: Courbe d'étalonnage de bleu de crésyl brillant.

L'équation de la droite de la courbe d'étalonnage (Figure III.4) donnant l'absorbance en fonction de la concentration pour le bleu de crésyl (BCB) est $A = 0,0641.C$ tel que A est l'absorbance et C est la concentration, avec un facteur de corrélation qui est égal à $R^2 = 0,9839$.

III.5. Optimisation des conditions opératoires :

III.5.1. 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 bleu de crésyl brillant (BCB) .

Dans cette étude, nous fixons le volume de la solution (50 ml) tous en faisant varier la masse du biosorbant. Les résultats obtenus sont représentés dans les figures **III.5** et **III.6**

Les figures montrent que le rendement d'adsorption du BCB en fonction de la masse augmente jusqu'au maximum grâce au nombre de molécules diffusées dans la phase liquide. ce dernier augmente avec l'augmentation de la masse de l'adsorbant jusqu'à l'élimination presque totale de la solution du colorant pour une masse de l'adsorbant de 0.5g pour la plante brute et

0.15g pour la plante Modifiée . Ce résultat pourrait être attribué à l'augmentation de la surface de contact et donc à une plus grande disponibilité des sites de contact.

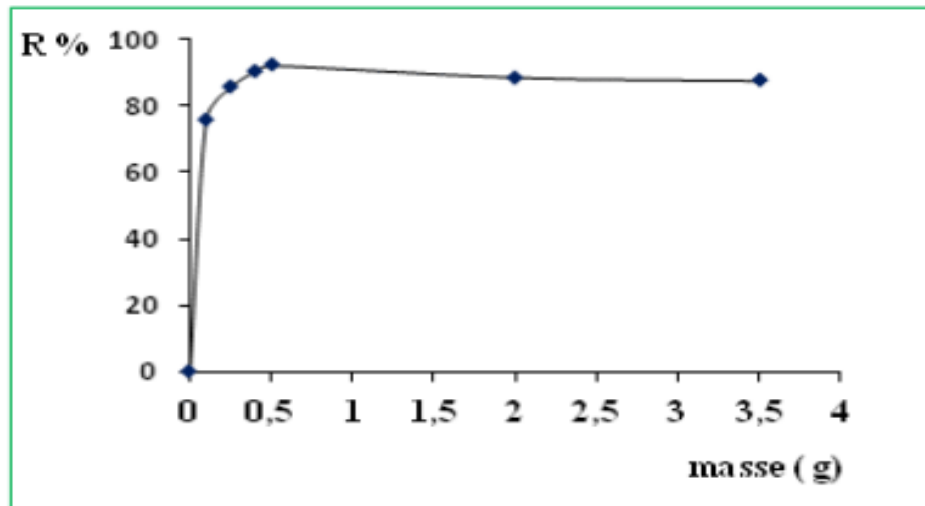


Figure III.5: Effet de masse de l'adsorbant brute sur l'adsorption du BCB.

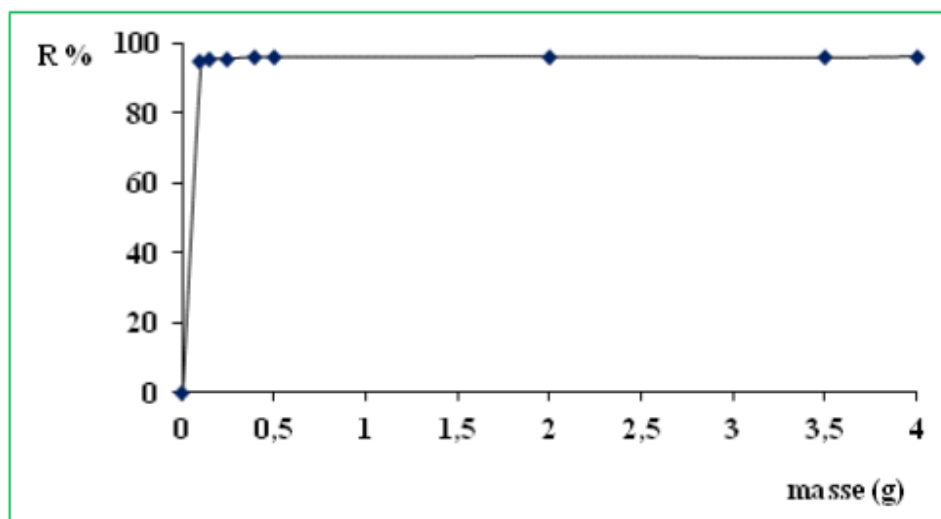


Figure III.6: Effet de masse de l'adsorbant modifié sur l'adsorption du BCB.

III.5.2. Effet du temps de contact et de la concentration initiale de l'adsorbant :

Les essais relatifs pour déterminer l'effet du temps de contact et de la concentration ont été réalisés à température ambiante et à pH de la solution. La concentration initiale en colorant est $C_0=20, 50, 120$ ppm, dans un volume de 50mL et une masse d'adsorbant 0.5g pour la plante brute et 0.15g pour la plante Modifiée . L'ensemble est mis sous une agitation de 180min . Les résultats obtenus sont représentés dans la figure III.7 et III.8.

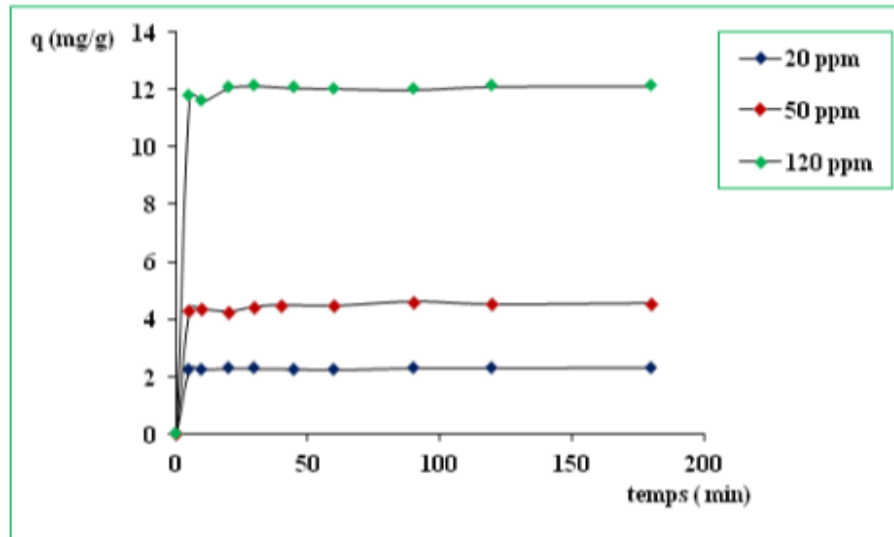


Figure III.7 : Effet du temps de contact de la Plante Brute

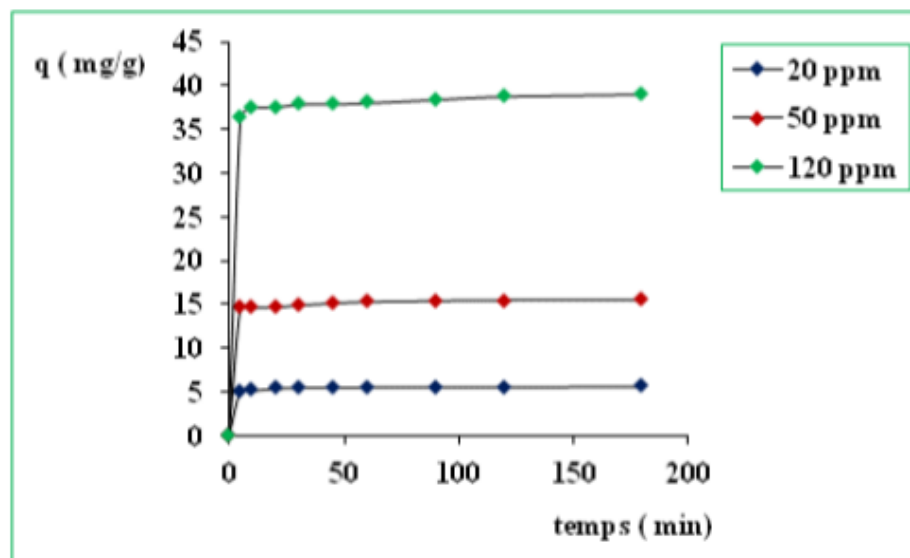


Figure III.8 . Effet du temps de contact de la Plante modifiée.

. Le rendement d'adsorption du BCB en fonction du temps de contact illustre que la réduction du colorant augmente avec l'augmentation du temps de contact, l'adsorption est constante à sa valeur maximale. On peut en déduire que le temps de contact ou temps d'équilibre adéquat se trouve au-delà de 30min, aussi étant donné que la vitesse d'agitation est constante, la diffusion des molécules de colorants vers la surface active du matériau adsorbant est affectée par la concentration initiale de l'adsorbat. L'augmentation de la concentration du colorant, accélère la diffusion de celui-ci en raison de l'augmentation de forces d'attractions du gradient de concentration.

III.5.3. Effet du pH de l'adsorbat :

Le pH joue un rôle primordial dans l'étude des phénomènes d'adsorption, nous avons étudié l'efficacité d'adsorption de colorant à des pH différents (2,3,4, 5,7,8, 10 et 11). Les résultats obtenus lors de ces essais, sont présentés sur la figure III.9 et la figure III.10.

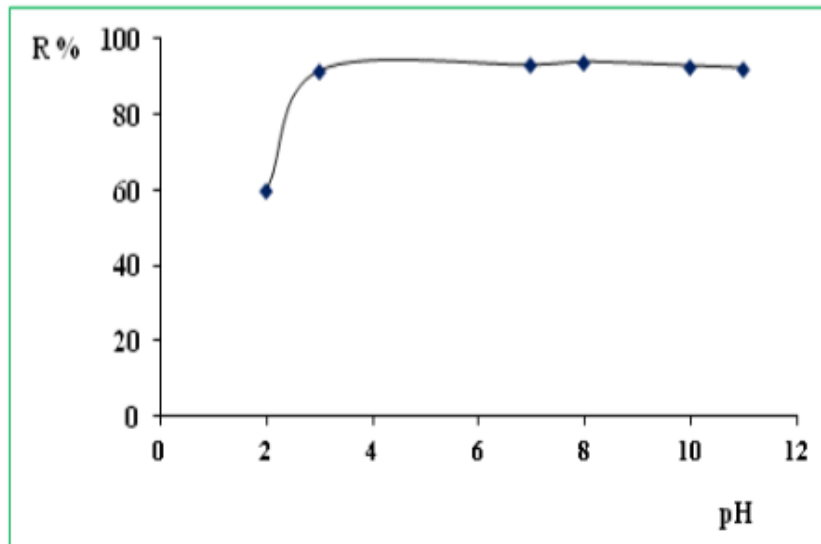


Figure III.9 : Effet du PH de l'adsorbat (plante Halfa Brute).

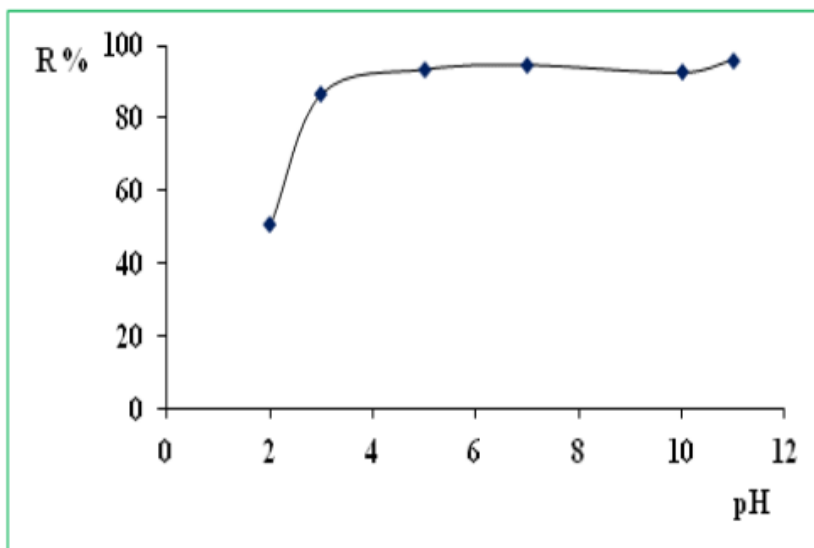


Figure III.10 : Effet du pH de l'adsorbat (plante Halfa modifiée).

nous avons pu observer que le taux d'élimination de la plante (Halfa) brute et modifiée à l'équilibre est au maximum à pH supérieur à 3 et reste constant jusqu'à la limite de l'étude à pH 11, cela peut être expliqué que la capacité d'adsorption obtenue de 80% à pH < 3 au lieu de 100% peut être remarqué, par le fait qu'à pH < 3, la charge de surface de la plante brute et modifiée devient positive en présence d'excédent d'ions H^+ en solution qui rentrent en compétition avec le BCB qui est un colorant cationique.

III.5.4. Effet de température :

Pour étudier l'effet de la température sur l'adsorption du BCB, nous avons choisi quatre températures différentes pour mener nos expériences : (25 ; 40 ; 50 et 60 , 70 °C). Les résultats sont présentés dans la figure III.11 et Figure III.12 :

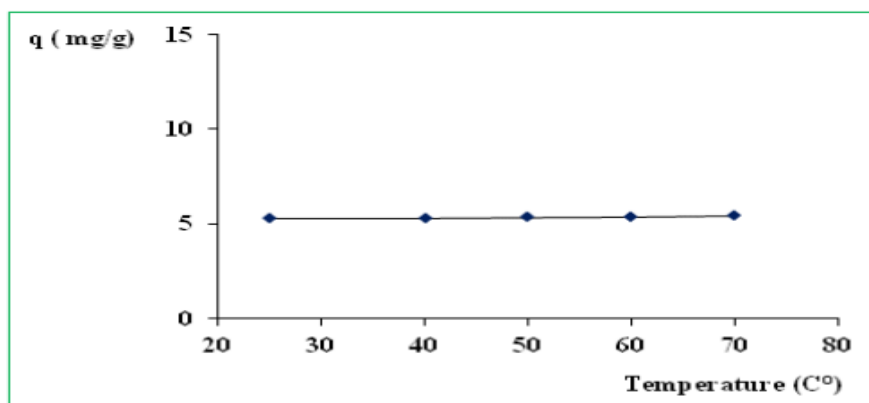


Figure III.11: Effet de température de la plante (Halfa) Brute

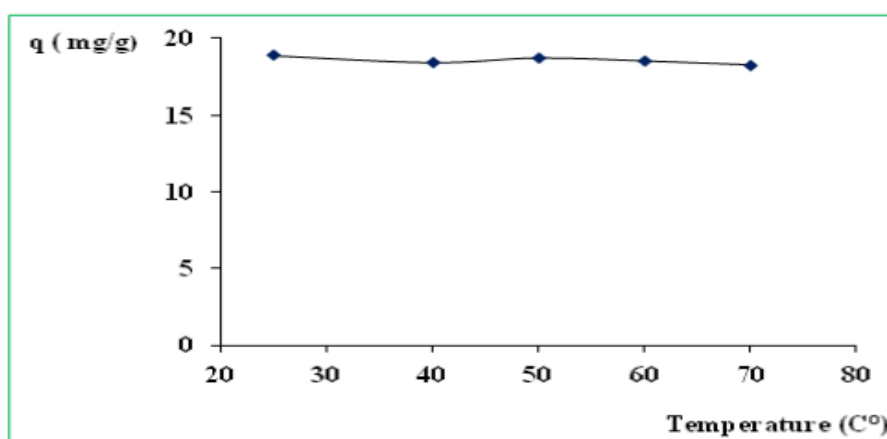


Figure III.12: Effet de température de la plante (Halfa) Modifiée .

Les résultats obtenus montrent que le facteur de température ne semble pas avoir une grande influence sur la quantité du colorant adsorbée sur la plante brute et modifiée, on peut remarquer que dans la figure III.11 « plante brute » l'intervalle de température de 25 jusqu'à 60 °C, la structure de l'adsorbant n'est pas affectée et il en est de même pour la stabilité du colorant.

III.5.5. 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 et de potassium (NaCl , KCl) comme modèle pour étudier l'influence de la solution saline sur l'adsorption du BCB (figure III.13 et la figure III.14) :

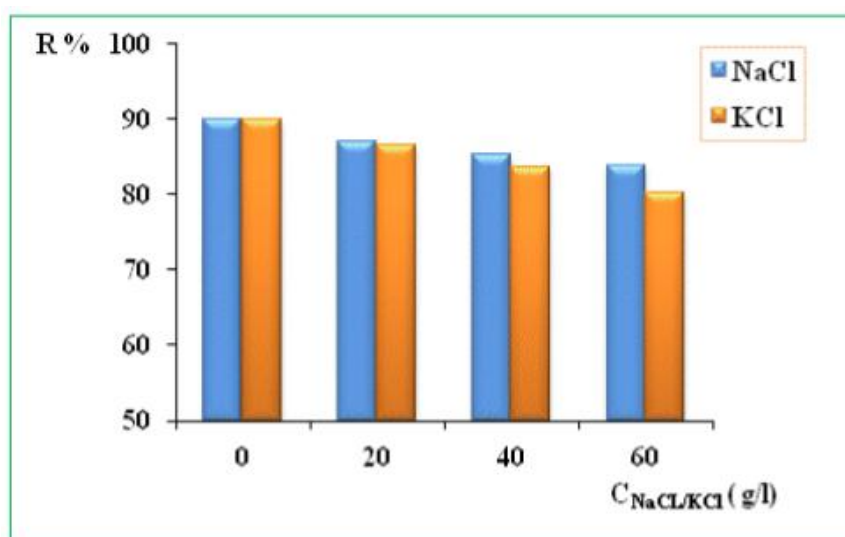


Figure III.13: Effet de la force ionique sur l'adsorption du BCB (plante Halfa Brute).

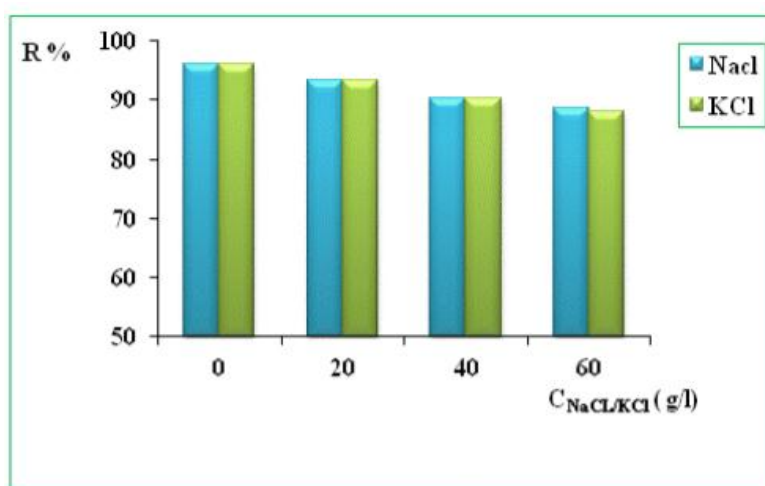


Figure III.14: Effet de la force ionique sur l'adsorption du BCB l'Halfa Modifiée.

D'après les figures on remarque qu'il y a une légère diminution de la quantité adsorbée avec l'augmentation de la concentration du sel NaCl et du sel KCl pour le colorant BCB, cette diminution est remarquée d'autant plus avec le chlorure de potassium (KCl), en comparant les taux de rendement d'élimination obtenus pour le bleu de crésyl par exemple pour le chlorure de potassium, on constate que le pourcentage d'élimination de BCB passe de 90.09 % jusqu'à 80% dans la plante brute et de 96.09 % jusqu'à 88% dans la plante modifiée.

III.6.Modélisation de la cinétique d'adsorption :

Le but de cette partie est de modéliser les cinétiques d'adsorption d'un polluant organique BCB sur la plante (L'Halfa) brute et modifiée. Deux modèles cinétiques d'adsorption ont été utilisés, Ces modèles sont le modèle du pseudo premier ordre et le modèle du pseudo second ordre.

III.6.1.modèle cinétique de pseudo-premier ordre de l'adsorbant brute :

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 BCB adsorbée à l'équilibre (mg/g), q_t : quantité adsorbée du BCB à l'instant t (mg /g), k_1 : constante de vitesse de réaction de premier ordre d'adsorption du BCB (min^{-1}), t : temps de contact (min).

Le tracé de la courbe : $\ln (q_e - q_t)$ en fonction du temps permet de déterminer la constante k_1 et la quantité adsorbée à l'équilibre q_e (Figure III.15).

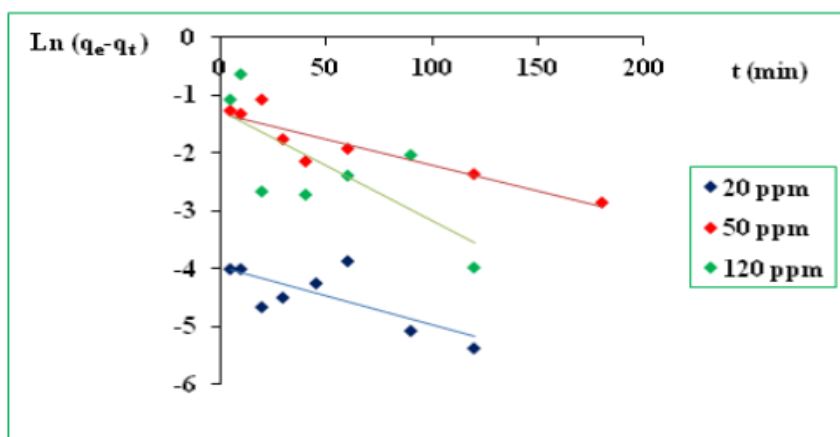


Figure III.15: Cinétique du pseudo premier ordre de l'Halfa brute.

III.6.2. modèle cinétique de pseudo-second ordre de l'adsorbant brute :

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

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

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

On trace la courbe t/qt en fonction de t , on obtient une droite qui détermine la constante k_2

(Figure III.16).

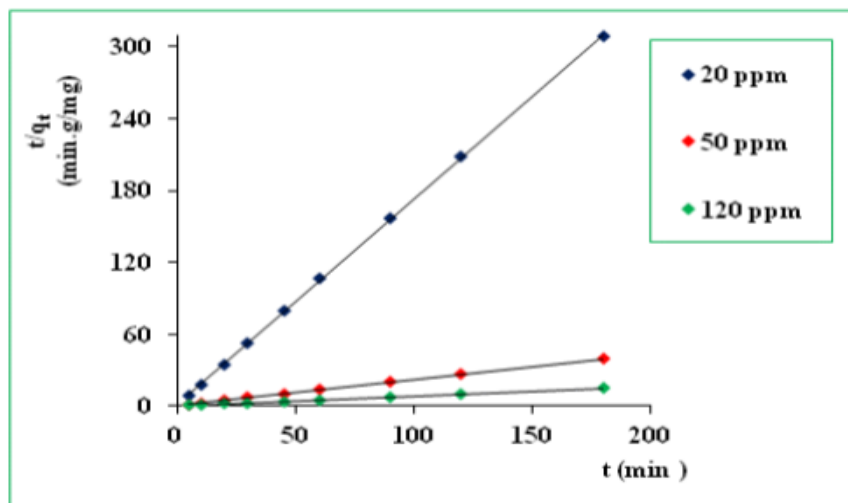


Figure III.16 : Cinétique du pseudo-second ordre de Halfa brute.

Le tableau suivant représente les paramètres cinétiques du modèle pseudo 1er ordre et pseudo 2ème ordre pour l'adsorption du BCB sur les fibres de l'halfa brute.

Tableau III.1: Paramètres cinétiques du modèle pseudo 1 ordre et pseudo 2éme ordre pour l'adsorption du BCB (adsorbant brute).

Model cinétique	Constantes	20 ppm	50 ppm	120 ppm
Modèl pseudo premier ordre	qe exp (mg/g)	0,583	4,597	12,126
	qe cal (mg/g)	0.018	0.269	0.281
	k ₁ (min ⁻¹)	0.01	0.009	0.019
	R ²	0,55	0,82	0,55
Modèl pseudo deuxième ordre	qe exp (mg/g)	0,583	4,597	12,126
	qe cal (mg/g)	0.583	4.557	12.121
	k ₂ (g/mg. min)	2.285	0.290	0.275
	R ²	0,99	0,99	1

III.6.3. Modèle cinétique de pseudo-premier ordre de l'adsorbant modifiée :

Le tracé de la courbe : $\ln(q_e - q_t)$ en fonction de t est représenté dans la figure suivante :

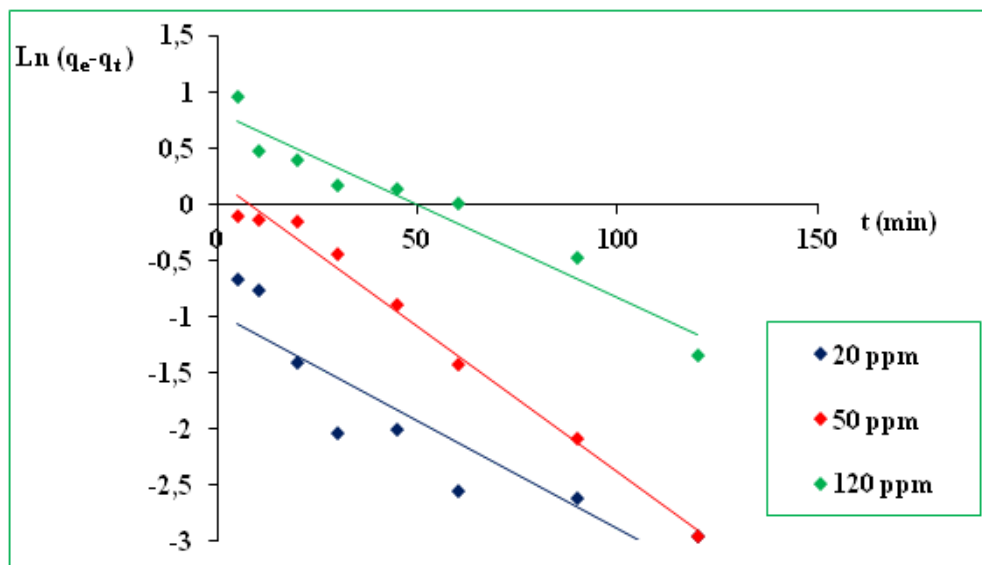


Figure III.17: Cinétique du pseudo premier ordre de l'Halfa Modifiée.

III.6.4 modèle cinétique de pseudo-second ordre de l'adsorbant Modifiée :

La Figure III.18 représente le model de pseudo 2 éme ordre de l'adsorbant modifié :

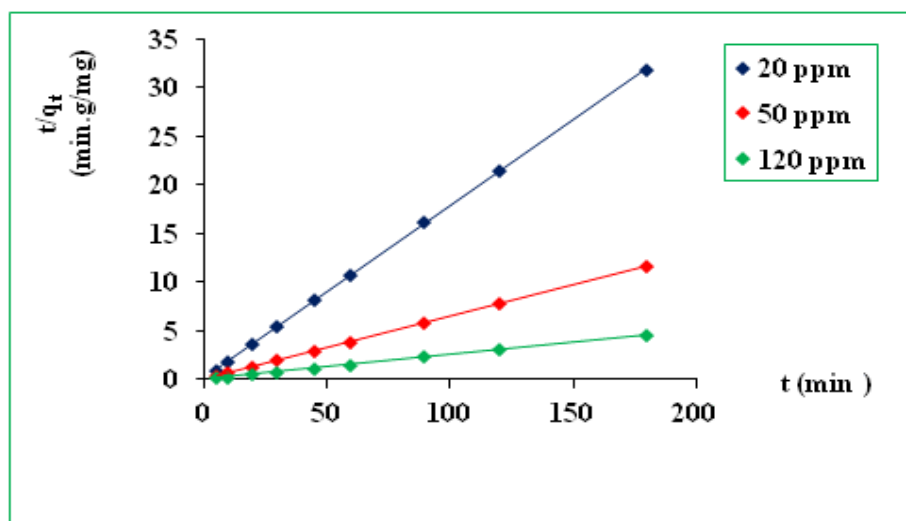


Figure III.18: Cinétique du pseudo-second ordre de l'Halfa Modifiée.

Le tableau suivant représente les paramètres cinétiques du modèle pseudo 1er ordre et pseudo 2ème ordre pour l'adsorbant modifié.

Tableau III.2: Paramètres cinétiques du modèle pseudo 1er ordre et pseudo 2ème ordre pour l'adsorption du BCB (adsorbant modifiée).

Model cinétique	Constantes	20 ppm	50 ppm	120 ppm
Modèle pseudo premier ordre	$q_{e \text{ exp}} \text{ (mg/g)}$	5,642	15,496	39,079
	$q_{e \text{ cal}} \text{ (mg/g)}$	0.380	1.224	2.228
	$k_1 \text{ (min}^{-1}\text{)}$	0.019	0.025	0.016
	R^2	0.82	0.98	0.93
Modèle pseudo deuxième ordre	$q_{e \text{ exp}} \text{ (mg/g)}$	5,642	15,496	39,079
	$q_{e \text{ cal}} \text{ (mg/g)}$	5.656	15.576	39.21
	$k_2 \text{ (g/mg. min)}$	0.187	0.062	0.026
	R^2	1	1	0.99

Dans l'étude de la cinétique d'adsorption nous dépendons du facteur de corrélation. Plus ce facteur entre $0.9999 \leq R^2 \leq 1$ est élevé plus le modèle est favorable pour l'étude du processus d'adsorption.

D'après les résultats illustrés dans les tableaux ci-dessus nous remarquons que le modèle qui présente un facteur de corrélation le plus élevé est celui le modèle de pseudo second ordre.

En prenant par exemple la concentration de 20 ppm, nous remarquons que le facteur de corrélation est ($R=0.99$) pour l'adsorption de BCB dans l'Halfa brute, est ($R=1$) pour l'Halfa modifiée, on peut déduire donc que le modèle de pseudo-second-ordre est celui qui décrit mieux le processus d'adsorption du bleu de crésyl sur l'adsorbants l'Halfa brute et modifiée.

III.7. Etude des isothermes d'adsorption du BCB sur l'Halfa brute et modifiée :

L'isotherme d'adsorption est une étape très importante pour la caractéristique de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbant et un adsorbat, Les isothermes d'adsorption sont souvent exploitées pour la détermination des capacités maximales de fixation des polluants et permet aussi de donner des informations sur le mode d'adsorption (adsorption en monocouche ou en multicouches). Elle exprime la quantité d'adsorbat présent sur l'adsorbant q_e (exprimée en mg/g d'adsorbant) en fonction de la quantité d'adsorbat restant en solution C_e (exprimée en mg. L^{-1}).

Les isothermes d'adsorption représentés sur les Figures III.19 et e III.20 montre que l'isotherme est de type L selon la classification de Giles indiquant une affinité relativement élevée entre l'adsorbat et l'adsorbant.

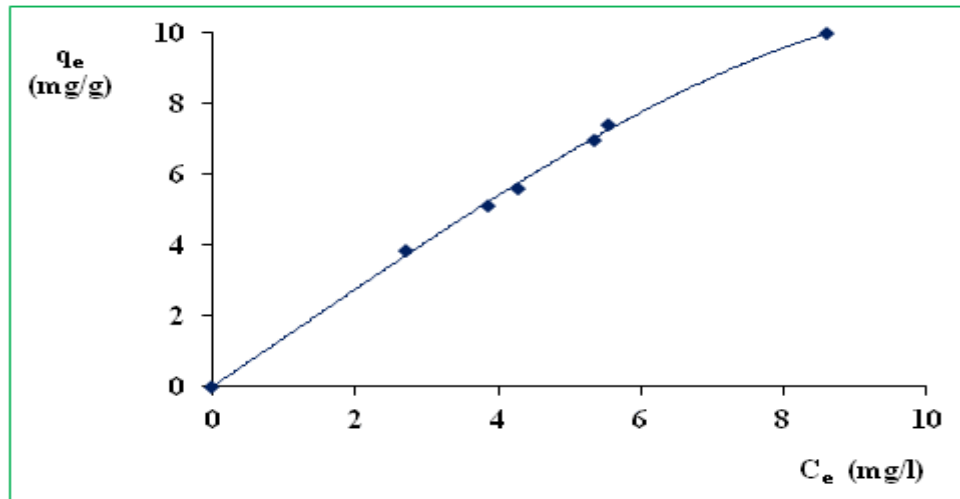


Figure III.19: Isotherme d'adsorption de l'halfa brute.

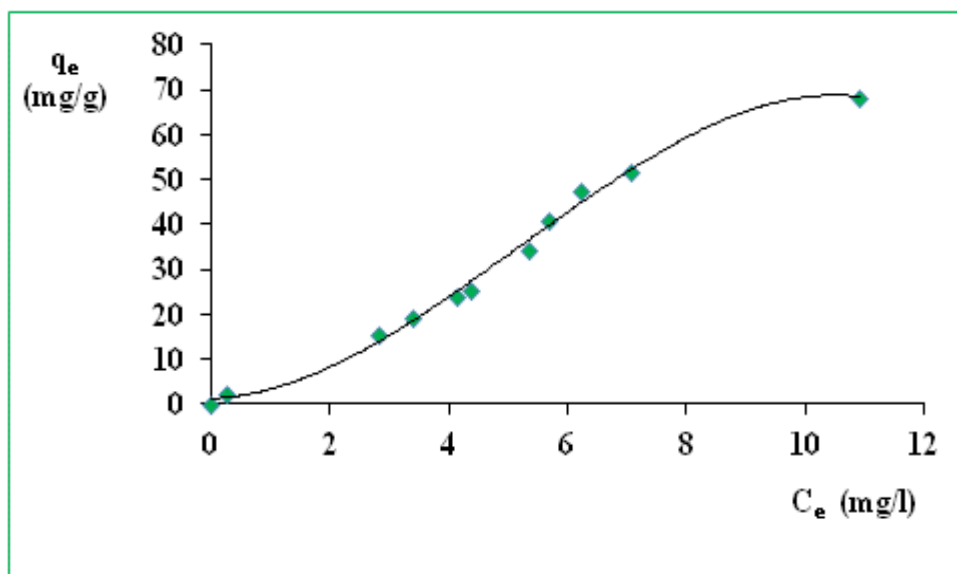


Figure III.20: Isotherme d'adsorption de l'halfa Modifiée.

III.7.1. Modélisation de l'isotherme de Langmuir du BCB sur l'Halfa brute:

Le modèle de Langmuir est valide pour une couverture monocouche d'adsorption de chaque molécule sur une surface complètement homogène. Selon ce modèle, une fois qu'une molécule de colorant occupe un site, aucune autre adsorption ne peut avoir lieu sur ce site.

✓ La forme linéaire de l'isotherme de Langmuir :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max} \cdot K_L C_e} + \frac{1}{q_{max}}$$

q_e : Quantité du BCB adsorbé par gramme de sorbant à l'équilibre (mg/g).

q_{max} : Capacité maximale d'adsorption (mg/g).

K_L : Constante d'équilibre de Langmuir relative à l'intensité d'adsorption (l/mg).

C_e : Concentration du BCB à l'équilibre (mg/g).

Le tracé de la courbe $1/q_e$ en $=f(1/c_e)$ permet d'obtenir une droite d'ordonnée à l'origine $1/q_{max}$ (Figure III.21).

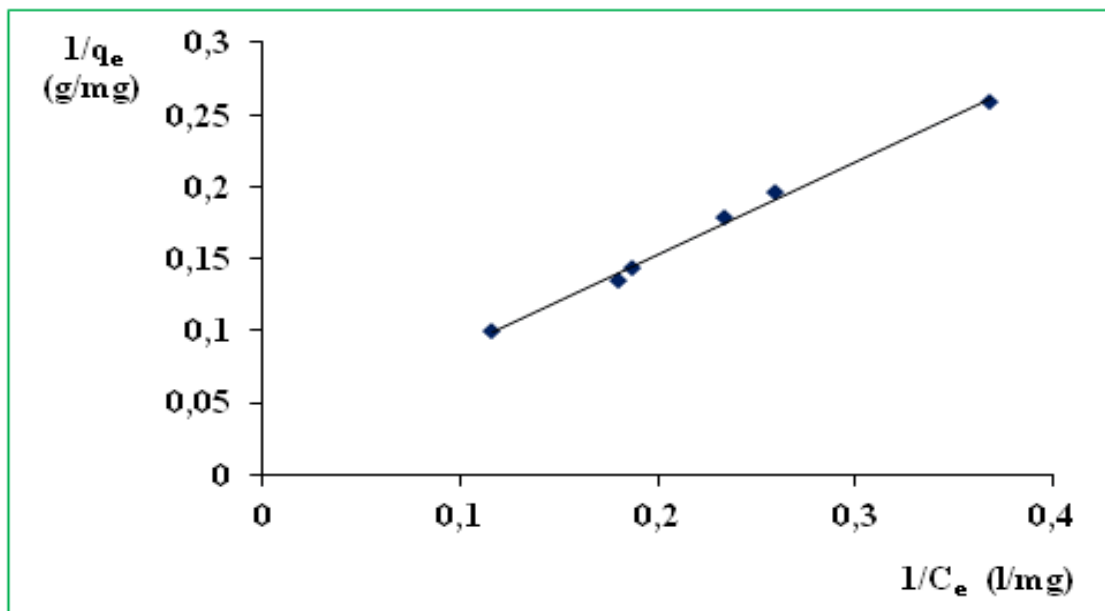


Figure III.21: Modèle linéaire de Langmuir (halfa brute) .

III.7.2. Modélisation de l'isotherme de Freundlich du BCB sur l'Halfa brute :

L'isotherme de Freundlich est le plus ancien des isothermes non linéaires, il est appliqué à de nombreux cas notamment dans l'adsorption multicouche avec possibilité d'interactions entre les molécules adsorbées.

✓ La forme linéaire de l'isotherme de Freundlich :

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln C_e + \ln K_F$$

K_F : constante de Freundlich (l/g).

n : (sans dimension) est un indicateur de l'affinité et de la capacité de chaque couple.

C_e : Concentration à l'état d'équilibre de soluté (mg. l⁻¹).

Le tracé de la courbe $\ln q_e = f(\ln C_e)$ est représenté ci-dessous (Figure III.22) :

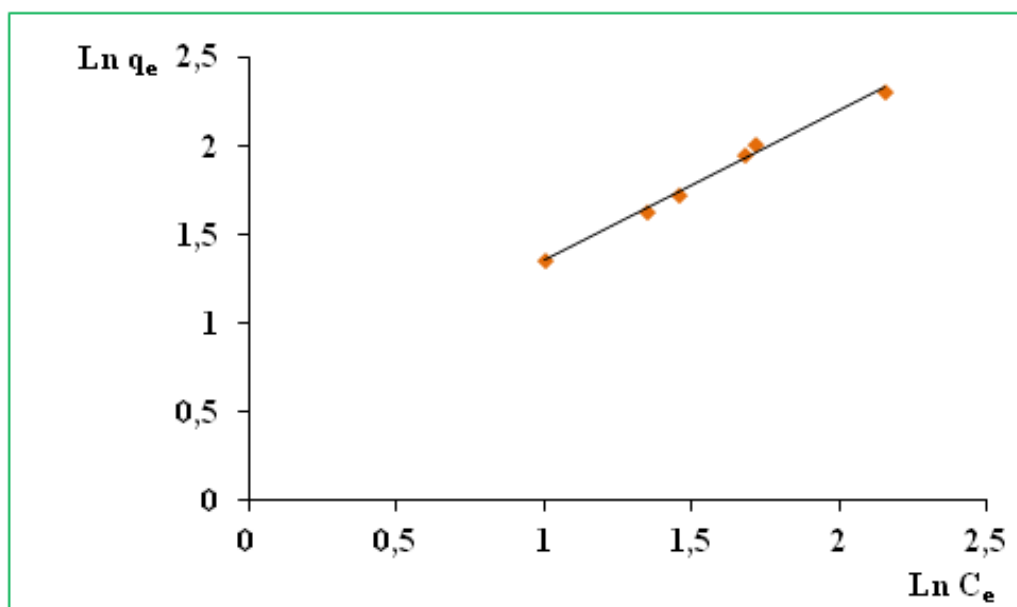


Figure III.22: Modèle linéaire de Freundlich (halfa brute) .

Les Principaux paramètres caractérisant les modèles d'isothermes d'adsorption du BCB sur l'Halfa brute sont illustrés dans le tableau III.3 .

Tableau III.3: Principaux paramètres caractérisant les modèles d'isothermes d'adsorption du BCB sur l'Halfa brute .

Modèle	Paramètres	Les valeurs
Langmuir	R^2	0.994
	K_L (L/mg)	0.038
	q_{max} (mg/g)	40.81
Freundlich	R^2	0.992
	K_F	1.674
	$1/n$	0.841

III.7.3. Modélisation de l'isotherme de Langmuir du BCB sur l'Halfa Modifiée:

La représentation graphique du modèle de Langmuir $1/q_e = f(1/c_e)$ de l'élimination du bleu de crésyl brillant sur la surface du biosorbant modifiée est présentée dans la figure III.23

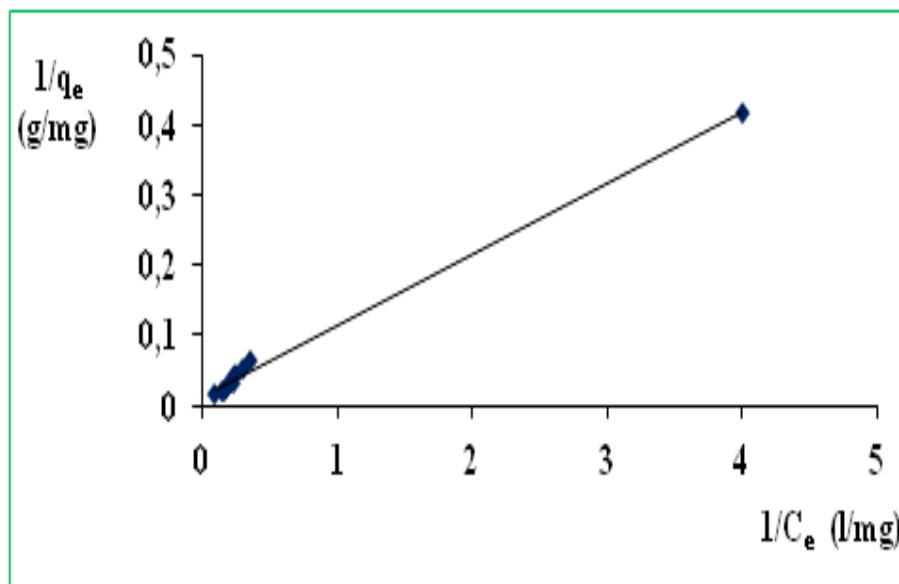


Figure III.23 : Modèle linéaire de Langmuir (halfa modifiée) .

III.7.4. Modélisation de l'isotherme de Freundlich du BCB sur l'Halfa

Modifiée :

Le model lineaire de Freundlich de l'elimination du BCB est illustré en figure III.24 ci-dessous :

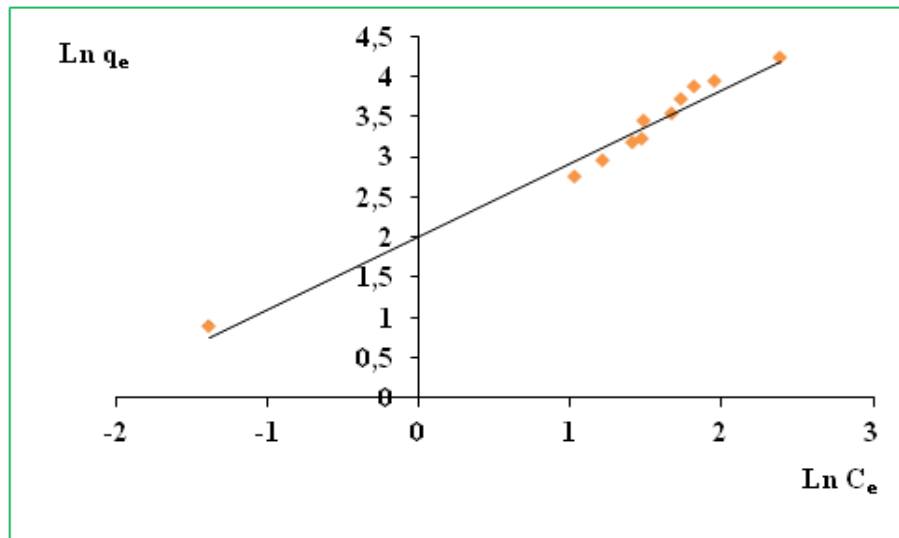


Figure III.24 :Modèle linéaire de Freundlich (halfa modifiée) .

Aussi , le tableau III.4 récapitule les paramètres de Langmuir et Freundlich après adsorption du bleu de crésyl brillant sur le biosorbant modifié étudié :

Tableau III.4: Principaux paramètres caractérisant les modèles d'isothermes d'adsorption du BCB sur l'Halfa Modifiée :

Modèle	Paramètres	Les valeurs
Langmuir	R^2	0.995
	K_L (L/mg)	0.123
	q_{max} (mg/g)	80
Freundlich	R^2	0.975
	K_F	7.519
	$1/n$	0.908

Ces résultats montrent que les paramètres des isothermes et les coefficients de corrélation R^2 du modèle de Langmuir est plus élevé par rapport au modèle de Freundlich.

Donc Le modèle de Langmuir est le plus satisfaisant par rapport à l'autre modèle pour la description du processus d'adsorption du BCB sur l'Halfa brute et modifiée, car le coefficient de corrélation trouvé par Langmuir est le plus proche de 1.

Au vu de ces résultats dans les tableaux au dessus, on remarque que la capacité maximale d'adsorption q_{max} de la plante (Halfa) modifiée 80mg/g est plus élevé que la plante brute 40.81 mg/g , donc Les performances de l'adsorbant étudié à l'état brut et sa forme modifiée, préparé par traitement avec du NaOH aqueux indique une forte affinité des deux adsorbants. Plus important encore, la version modifiée forme NaOH-adsorbant, s'avère supérieure à l'amélioration de l'équilibre cinétique et du transfert du colorant BCB vers la phase adsorbante ; Augmentation de 50% de la capacité d'adsorption.

En outre, le transfert de molécules de colorant BCB de la phase solution à la phase adsorbante se produit favorablement (Tableau III.5).

Tableau III.5: comparaison entre l'Halfa et les autre biosorbant dans le bleu de crésylé :

Biosorbant	l'adsorbant	$Q_{max}(mg/g)$
Charbon actif	BCB	180.831
Argile	BCB	250.72
Halfa	BCB	80
Chêne	BCB	35.46

Conclusion

Conclusion générale

L'heure ou les pays du monde sont conscients de la nécessité de protection de la qualité de l'environnement, de plus de travaux sont mis en œuvre pour trouver des solutions économiquement, socialement et environnementalement rentables.

Notre étude s'inscrit dans ce contexte, gestion durable de l'environnement, d'une part parce qu'elle prétend dépolluer des eaux contaminées et d'autre part parce qu'elle permet de valoriser le patrimoine végétal abondamment disponible dans notre pays.

En conclusion on peut dire que cette étude avait comme principal objectif de tester la capacité et l'efficacité du biosorbant (HALFA) en vue de la dépollution des eaux usées chargées en colorant du bleu de crésyl par la technique de l'adsorption.

De ce fait, la partie expérimentale a englobé deux parties; la première partie a été consacrée à la caractérisation du matériau naturel utilisé dans cette étude. Dans la seconde partie, on présente tous les résultats issus des essais de l'adsorption du colorant sur le la plante (halfa) ainsi que leurs interprétations.

A travers tous les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Le taux d'élimination du BCB augmente avec l'augmentation de la masse de l'adsorbant dans la solution aqueuse (la masse optimale est de 0.5g pour l'adsorbant brut et de 0.15 g pour l'adsorbant modifié).
- L'adsorption est proportionnellement liée avec l'augmentation de la concentration, de l'adsorbat.
- Le pH du milieu n'a pas d'influence notable sur le taux d'adsorption.
- L'augmentation de la salinité du milieu entraîne une diminution minimale de l'adsorption.
- La cinétique d'adsorption pour le colorants suit le modèle cinétique du pseudo second ordre avec un coefficient de corrélation $R^2 \geq 0.999$.
- Les résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption montrent que le modèle de Langmuir est le plus représentatif du phénomène d'adsorption pour l'adsorbant brut et modifié.
- La capacité d'adsorption a nettement augmenté après modification chimique avec l'hydroxyde sodium avec $q_{\max} = 80 \text{ mg/g}$.

Après cette étude, nous pouvons dire la plante HALFA peut être utilisée comme un support adsorbant efficace pour l'élimination du colorant cationique le bleu de crésyl brillant,

Comme perspective, on favorise d'autre procédures d'activation chimique du biosorbant afin d'améliorer plus encore son pouvoir d'élimination, des caractérisations plus approfondies de notre adsorbant par différentes techniques, on propose aussi la diversification des applications du matériau comme adsorbant pour l'élimination d'autres polluants (métaux lourds, pharmaceutiques, etc.).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Agoudjil Aimen,, Adsorption d'un colorant bleu de methylene en solution aqueuse sur un bioadsorbant issu de dechets agricoles (ecorces d'orange), mémoire de master, universite l'Arbi Ben M'hidi Oum El bouaghi ,(2020).
- [2] Bernou Oussama, Adsorption de la fuchsine basique sur des adsorbants naturels ,mémoire de de master , Université A. M. Oulahdj - Bouira, (2020).
- [3] Didier Gaujous, La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire (2ème éd.), Paris, (1999).
- [4] Khoualdi Azzedinne, Adsorption du bleu de methylene par le charbon actif et l'argile, mémoire de master ,Universite Larbi Ben M'Hidi Oum el Bouaghi ,(2017),page 29.
- [5] McKay G., Ramprasad G., Mowli P, Water Res. 21 375-377.
- [6] TOUATI Laid, Cours de pollution des eaux, Niveau Master 1 Écologie Fondamentale & Appliquée, Université Frères Mentouri Constantine 1,(2021).
- [7] Henri Aussel, Le point des connaissances le traitement des eaux usées, institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, (2004).
- [8] Marillys Macé, Des traitements multiples adaptés à la qualité de la ressource en eau,le centre d'information sur l'eau, (2021).
- [9] William Henry Perkin, Utilisation des colorants en dermatologie , PARIS,(1838 – 1907).
- [10]: J.A. Moore, Chimie organique moderne, Travaux pratiques», édition Masson.
- [11]: K. Mehdjoubi, M.Belmimouni , Essais d'élimination d'un colorant basique en solution aqueuse synthétique par certains matériaux déchets traités», Université de Tlemcen, (2010)
- [12]: F. Ramade , Dictionnaire encyclopédique des pollutions, Editions Ediscience International, Paris, ,(2000),p 110.
- [13]: Berrazoum Abdelkader, Application des Biomasses à la Récupération des Polluants des Eaux Usées, These de Doctorat de 3ème Cycle, Université Mustapha Stambouli Mascara, (2017),page31.

- [14]: T.R. Wallace, Biological Treatment of a Synthetic Dye Water and an Industrial Textile Wastewater Containing Azo Dye Compounds , Institut Polytechnique , (2001).
- [15]: Van Der Bruggen B, Lejon L, Vandecasteele C., Reuse, Sci. Techn,(2003) 37 3733-3738,
- [16]: Anselme C., Jacobs E.P, Water treatment membrane processes, New York, McGraw Hill Mallevalle, (2002), pp. 401-1087.
- [17]: Papic S., Koprivanac N., Bozic A. L. C, Removal of reactive dyes from wastewater using Fe(III) coagulant, Color. Technol, (2000), 116, 352-358.
- [18]: Adosinda M, Martins M, Nelson L, Silvestre A. J.D, Queiroz M. J,Chemosphere 52 ,(2003) , page 967–973.
- [19]: R.D. Combes., R.B. Haveland-Smith. Mutation Research/Reviews in genetic toxicology, 98(2),(1999), 101-243.
- [20]: M. Hedyatullah. Les colorants synthétiques. 4^{ème} trimestre, 1^{ère} édition, (2001).
- [21]: René Moletta, Marion Guillou, La méthanisation, Paris , (2011).
- [23] <https://www.aquaportail.com/definition-420-bleu-de-cresyl.html>
- [24] Djuade Samira , Université Miloud Maameri , mémoire de master, (2018).
- [25] Université Ferhat Abbas Sétif -1 , Cour Spectroscopie UV-Visible, (2020).
- [26] B. M. Groy , spectroscopie d'absorption dans l'ultraviolet et le visible, Techniques de l'ingénieur,(1978).
- [27] D,Méthodes Spectroscopique,Edition Masson.

عنوان المذكرة: دراسة التوازن الحركي لإزالة صبغة نسيجية في وسط مائي بواسطة مادة غير اعتيادية .

المؤطر: عباسي منى سعاد

الإسم: رانيا

اللقب: معاش

مساعد المؤطر: سلطاني أمال

الإسم: فاطنة امل

اللقب: بن جدو

ملخص : الهدف من عملنا هو دراسة قدرة إزالة الملوث العضوي الأزرق الكريزبل اللامع بواسطة ألياف الحلفاء الخام والمعدلة بواسطة هيدروكسيد الصوديوم ، في البداية تم توصيف للمادة المازة بواسطة التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء متبوعًا بقياس الأس الهيدروجيني عند نقطة الصفر شحنة . تم تقييم عدة عوامل تجريبية مثل تأثير الكتلة، زمن التلامس، التركيز، درجة الحرارة ، الأس الهيدروجيني والقوة الأيونية. أظهرت الدراسة الحركية أن نموذج الدرجة الثانية مناسب تمامًا لعملية إمتزاز أزرق الكريزبل اللامع على النبات الخام والمعدّل . وكشفت نمذجة إيزوتارم ال إمتزاز أن نموذج لانجموير هو الأكثر تمثيلًا لوصف ال إمتزاز بـ عامل إرتباط عالي R^2 ، وقدرة إمتزاز مساوية ل 40.81 مغ / غ ، 80 مغ / غ للمادة المازة الخام والمعدلة على التوالي.

كلمات مفتاحية: الإمتزاز، ملوث أزرق الكريزبل، الحلفاء ، الحركية، إيزوتارم.

Memory title: Study of the kinetic equilibrium of elimination of a textile dye in an aqueous solution by an unconventional material.

Name: Maache

First name: Rania

Directed by: Abbassi Mouna Souad

Name: Bendjeddou

First name: Fatna Amal

Co-supervisor: Soltani Amel

Abstract : The aim of our work is the study of the capacity of elimination of an organic pollutant the brilliant cresyl blue by the fibers of raw halfa and modified with sodium hydroxide, initially a structural characterization of the adsorbent by infrared spectroscopy followed by measurement of the zero charge point pH was carried out. Several experimental factors such as the mass effect, the contact time, the concentration, the temperature, the pH and the ionic strength were evaluated. The kinetic study showed that the pseudo-second-order model is well suited for the brilliant cresyl blue adsorption process on the raw and modified plant (Halfa). And the adsorption isotherm modeling revealed that the Langmuir model is the most representative to describe the adsorption with a high correlation factor R^2 , the maximum adsorption capacity q_{max} determined is 40.81 mg/g, 80 mg/g for the raw and modified adsorbent respectively.

Key words: : Adsorption, pollutant , brilliant cresyl blue, Halfa, kinetics, isotherm.

Titre du mémoire : étude de l'équilibre cinétique d'élimination d'un colorant textile en milieu aqueux par un matériau non conventionnel.

Nom : Maache

Prénom : Rania

Encadreur : Abbassi Mouna Souad

Nom : Bendjeddou

Prénom : Fatna Amal

Co-encadreur: Soltani Amel

Résumé : Le but de notre travail est l'étude de la capacité d'élimination d'un polluant organique le bleu de crésyl brillant par les fibres de l'halfa brute et modifiée par l'hydroxyde de sodium ,initialement une caractérisation structurale de l'adsorbant par spectroscopie infrarouge suivi par mesure du pH de point de charge nul a été réalisé .Plusieurs facteurs expérimentaux tel que l'effet de masse , le temps de contact , la concentration, la température , le pH et la force ionique ont été évalué . L'étude cinétique a montré que le modèle de pseudo-second ordre est bien adapté pour le processus d'adsorption du bleu de crésyl brillant sur la plante (l'Halfa) brute et modifiée. Et la modélisation d'isotherme d'adsorption a révélé que le model de Langmuir est le plus représentatif pour décrire l'adsorption avec un facteur de corrélation R^2 élevé, la capacité maximale d'adsorption q_{max} déterminée est de 40,81 mg/g , 80 mg/g pour l'adsorbant brute et modifié respectivement .

Mots clés : adsorption, polluant , bleu de crésyl brillant , Halfa , cinétique, isotherme.

