

Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

Ref :...../U.M/F.S.T/2026

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : GÉNIE DES PROCÉDÉS

Option: GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT

THÈME

**Valorisation de la poussière de coton comme biosorbant pour le
traitement des eaux usées**

Présenté par

Kihal Fatima Zohra

Soutenu le 28 /06 / 2026 devant le jury composé de :

Président :	Terkhi Mohamed Cherif	MCA	Université de Mostaganem.
Examineur :	Termoul Mourad	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Attouti Salima	Professeur	Université de Mostaganem
Co-Encadreur :	Belhamiti Yasmine	Doctorante	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Remerciements

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à mon encadrante **Pr Atoutti Salima** pour m'avoir dirigé tout au long de la réalisation de ce travail. Ses orientations, ses encouragements, sa compréhension, sa disponibilité constante m'ont été d'une précieuse aide mes sincères remerciements vont au Dr Terkhi Mohamed Cherif pour avoir accepté de présider le jury et à Dr Termoul Mourad pour avoir accepté d'examiner mon travail. Je tiens à remercier également tous mes enseignants pour leurs bonnes orientations et pour leur aide précieuse. Je tiens à remercier la doctorante Belhamiti Yasmine et toute l'équipe de laboratoire SEAMM et de laboratoire STEVA.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

À mes parents, qui ont toujours cru en moi, qui m'ont soutenue dans les moments de doute, encouragée dans les moments de fatigue, et accompagnée à chaque étape de mon parcours. Leur amour, leur patience et leur sagesse ont été une source inestimable de motivation. Merci pour les sacrifices consentis, pour les valeurs transmises, et pour l'éducation exemplaire que vous m'avez offerte.

À mes frères et sœurs, pour votre soutien discret mais constant, votre écoute attentive et votre bienveillance sans faille. Vous m'avez souvent inspirée par votre persévérance et votre courage.

À mes amis proches, véritables piliers de cette aventure. Merci pour votre présence rassurante, vos encouragements, vos conseils précieux, et surtout pour votre compréhension durant mes absences répétées, mes silences et mes moments d'isolement imposés par le travail.

À mes enseignants et encadrants, dont les conseils avisés, les remarques constructives et l'exigence académique ont été essentiels dans la réalisation de ce mémoire. Votre passion pour la connaissance m'a nourrie et inspirée tout au long de ce parcours.

Enfin, je dédie ce travail à moi-même, pour avoir persévéré malgré les difficultés, pour ne pas avoir abandonné face aux incertitudes, et pour avoir cru en la valeur de l'effort. Ce mémoire est aussi le fruit d'un engagement personnel, d'une quête d'apprentissage et d'un désir de grandir intellectuellement et humainement.

Résumé:

L'industrie textile est l'une des principales sources de pollution environnementale, notamment par le rejet d'eaux usées contenant des colorants synthétiques difficiles à dégrader. Face à ce problème, la recherche de solutions économiques et durables pour le traitement de ces effluents s'avère primordiale. Dans cette optique, notre travail s'inscrit dans une démarche de valorisation de la poussière de coton, un déchet textile souvent négligé, en tant que biosorbant naturel pour l'élimination du **Bleu de Méthylène (BM)** des eaux contaminées.

Les analyses de caractérisation ont montré que le biosorbant préparé présente une bonne capacité adsorbante, avec un indice d'iode de **106,62 mg/g** et un indice de **BM** de **178,61 mg/g**. Les meilleures performances d'adsorption ont été obtenues pour un **temps de contact de 30 min**, un **pH de 6** et une **dose de 0,15 g**, conduisant à un rendement d'élimination supérieur à **98 %**. L'étude des isothermes d'adsorption a montré que le modèle de **Freundlich** décrit le mieux les données expérimentales, tandis que le modèle de **Langmuir** a permis d'estimer une capacité maximale d'adsorption (**q_{max}**) de **322,58 mg/g**. Par ailleurs, l'étude cinétique a révélé que le processus suit un modèle de **pseudo-second ordre**, et l'étude thermodynamique a confirmé que l'adsorption est spontanée et favorable.

Mots-clés : Déchets textiles, poussière de coton, biosorbant, **Bleu de Méthylène (BM)**, adsorption, isothermes d'adsorption, Langmuir, Freundlich.

Abstract:

The textile industry is one of the major sources of environmental pollution, particularly due to the discharge of wastewater containing synthetic dyes that are difficult to degrade. In response to this challenge, the search for cost-effective and sustainable solutions for treating these effluents has become essential. In this context, the

present work focuses on the valorization of cotton dust, a commonly neglected textile waste, as a natural biosorbent for the removal of **Methylene Blue (BM)** from contaminated water.

The characterization analyses showed that the prepared biosorbent exhibited good adsorption properties, with an iodine number of **106.62 mg/g** and a methylene blue index of **178.61 mg/g**. The optimum adsorption conditions were achieved at a **contact time of 30 min**, **pH 6**, and a **biosorbent dose of 0.15 g**, resulting in a removal efficiency of more than **98%**. Adsorption isotherm analysis indicated that the **Freundlich model** provided the best fit to the experimental data, while the **Langmuir model** estimated a maximum adsorption capacity (**q_{max}**) of **322.58 mg/g**. Furthermore, the kinetic study revealed that the adsorption process follows the **pseudo-second-order model**, and the thermodynamic study confirmed that the adsorption process is **spontaneous and thermodynamically favorable**.

Keywords: Textile waste, cotton dust, biosorbent, **Methylene Blue (BM)**, adsorption, adsorption isotherms, Langmuir, Freundlich.

الملخص

تُعد صناعة النسيج واحدة من المصادر الرئيسية لتلوث البيئة، وخصوصًا بسبب تصريف مياه عادمة تحتوي على أصباغ صناعية يصعب تحليلها. ولهذا التحدي، أصبح البحث عن حلول فعالة من حيث التكلفة ومستدامة لمعالجة هذه المياه العادمة أمرًا ضروريًا. في هذا السياق، يركز العمل الحالي على استغلال غبار القطن وهو نفايات نسيجية تُهمل من المياه الملوثة (BM) غالبًا كمادة حيوية طبيعية لإزالة صبغة الميثيلين الزرقاء.

أظهرت تحليلات التصنيف أن المادة الامتصاصية الحيوية المستعدة تتمتع بخصائص امتصاص ممتازة، حيث بلغ عدد اليود فيها 106.62 ملغ/غ، ومؤشر أزرق الميثيلين 178.61 ملغ/غ. وقد تم تحقيق الظروف الأمثل للامتصاص تبلغ 6، وجرعة من المادة الامتصاصية الحيوية تبلغ 0.15 غرام، مما pH عند زمن تلامس قدره 30 دقيقة، وقيمة أسفر عن كفاءة إزالة تزيد عن 98%. أظهر تحليل منحنى الامتصاص أن نموذج فرويندلش يتناسب بشكل أفضل مع

بقيمة 322.58 ملغ/غ. علاوةً (qmax) البيانات التجريبية، بينما قدر نموذج لانغموير السعة القصوى للامتصاص على ذلك، كشفت الدراسة الحركية أن عملية الامتصاص تتبع نموذج الترتيب الزائف الثاني، بينما أكدت الدراسة الديناميكية الحرارية أن هذه العملية تحدث تلقائيًا ومتفضلة ديناميكيًا حراريًا.

،الامتصاص (BM) المصطلحات الرئيسية: نفايات النسيج، غبار القطن، مادة الامتصاص الحيوي، أزرق الميثيلين
منحنيات الامتصاص، لانغموير، فرويندلش

Liste des Tableaux

Tableau III.1 : Résultats de l'indice d'iode	20
Tableau III.3 : Effet du temps de contact sur l'adsorption du BM	21
Tableau III.4 : Effet de la dose sur le pourcentage d'élimination	24
Tableau III.5 : Effet du pH sur le pourcentage d'élimination du BM	27
Tableau III.6 : Données de l'isotherme d'adsorption	28
Tableau III.7 : Constantes des modèles de Langmuir et Freundlich	30
Tableau III.8 : Paramètres thermodynamiques de l'adsorption	31
Tableau III.9:les constantes de Langmuir ,Freundlich et pour BM	34
Tableau III.10: Paramètres d'équilibre d'adsorption du BM	35
Tableau III.11: Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du BM	36

Liste des Figures

Figure I.1. Atelier de production de l'entreprise TAYAL Algérie	4
Figure I.2 : Poussière de coton	5
Figure II.1 : Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption	11
Figure II.2 : Types d'isothermes d'adsorption	14
Figure III.1 : Procédés du prétraitement de biosorbant	18
Figure III.2 : Détermination du pH_{PZC}	23
Figure III.3 : Structure du bleu de méthylène	25
Figure III.4 : Courbe d'étalonnage du BM	27
Figure III.5 : Évolution du taux d'élimination en fonction du temps	29
Figure III.6 : Pourcentage d'élimination du BM en fonction de la dose	30
Figure III.7 : Pourcentage d'élimination du BM en fonction du pH	32
Figure III.8 : Isotherme d'adsorption	32
Figure III.9 : Isotherme de Langmuir	33
Figure III.10 : Isotherme de Freundlich	33
Figure III.11 : Modèle cinétique de pseudo premier ordre	34
Figure III.12 : Modèle cinétique de pseudo deuxième ordre	34
Figure III.13 : Thermodynamique d'adsorption	37

sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation de TAYAL et Poussière de coton	
I.1.1 .Présentation (TAYAL industrie)	4
I.1.2.Présentation de la poussière de coton	5
I.1.3.Les caractéristiques de la poussière de coton	6
I.1.4.Pollution de la poussière de coton	7
I.1.5 Valorisation de la poussière de coton	8
Chapitre II:L'adsorption	
Introduction	10
II.1 Définition	11
II.2. Types d'adsorption	11
II.2.1. Adsorption physique	11
II.2.2 Adsorption chimique	12
II.2.3. Facteurs influençant	12
II.2.4.Isotherme de l'adsorption	13
II.2.4.1. Classification des isothermes d'adsorption	13
II.2.5.Modélisation des isothermes d'équilibre d'adsorption	14
II.2.6.Généralités sur les adsorbants	16
Chapitre III:Partie Expérimentale	
Introduction	18
III.1.Préparation de biosorbant	18
III.2.Activation chimique	18
III.3.Caractérisation de biosorbant	19
III.3.1.Indice d'iode	19
III.3.2.pH du point zéro de charge (PH_{pzc})	21
III.3.3.Indice de BM	22

III.4.Application à l'adsorption	23
III.5.Dosage par spectrophotométrie	24
III.6.Optimisation des paramètre d'adsorption	26
III.7.Isotherme de l'adsorption	31
III.8.cinétique d'adsorption	34
III.9.Thermodynamique d'adsorption	35
Conclusion générale	39
 Références bibliographiques	 42

Introduction Générale

Introduction générale:

La croissance démographique, l'urbanisation rapide et le développement industriel ont considérablement accru la consommation de ressources naturelles ainsi que la production de déchets solides et liquides. Cette évolution s'accompagne d'une augmentation des pressions exercées sur l'environnement, notamment par le rejet d'effluents industriels contenant de nombreux contaminants organiques et inorganiques. En l'absence de traitements appropriés, ces rejets contribuent à la dégradation des écosystèmes aquatiques, à la pollution des sols et représentent un risque potentiel pour la santé humaine.[6]

Parmi les secteurs industriels les plus générateurs de pollution figure l'industrie textile. Ce secteur, en pleine expansion pour répondre à la demande croissante de la population mondiale, consomme d'importantes quantités d'eau, d'énergie et de produits chimiques tout au long des procédés de fabrication. Les eaux usées textiles renferment une grande variété de polluants, notamment des colorants, des tensioactifs, des sels, des matières organiques et divers composés chimiques difficiles à biodégrader[2,3]. En parallèle, les différentes étapes de transformation des fibres textiles produisent également d'importantes quantités de déchets solides, souvent éliminés sans valorisation, alors qu'ils représentent une ressource potentielle pour diverses applications environnementales.

Face à ces enjeux, le concept d'économie circulaire encourage la transformation des déchets industriels en matières premières secondaires, permettant ainsi de réduire les impacts environnementaux tout en créant de la valeur ajoutée. Dans cette perspective, la valorisation des déchets issus de l'industrie textile constitue une approche prometteuse, conciliant gestion durable des déchets, préservation des ressources naturelles et développement de matériaux écologiques destinés au traitement des effluents[15-16-25-27].

Parmi les différentes techniques de traitement des eaux, l'adsorption est reconnue comme l'une des méthodes les plus performantes en raison de sa simplicité de mise en œuvre, de son efficacité vis-à-vis d'un large éventail de polluants et de son faible coût d'exploitation. Le charbon actif demeure l'adsorbant de référence grâce à sa grande surface spécifique et à ses excellentes capacités d'adsorption[20-21-22-33]. Toutefois,

son coût élevé de production et de régénération limite son utilisation à grande échelle, notamment dans les pays en développement. Cette contrainte a conduit les chercheurs à explorer de nouveaux matériaux adsorbants issus de ressources naturelles ou de déchets industriels, plus abondants, moins coûteux et respectueux de l'environnement.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail, qui vise à valoriser la poussière de coton, un déchet généré par l'industrie textile, en la transformant en un biosorbant destiné au traitement des eaux contaminées. Ce matériau, disponible localement en grande quantité, présente des caractéristiques physicochimiques susceptibles de favoriser l'adsorption des polluants présents dans les effluents aqueux. Le bleu de méthylène a été retenu comme polluant modèle afin d'évaluer les performances du biosorbant préparé.

L'étude expérimentale est réalisée en mode batch afin d'examiner l'influence des principaux paramètres opératoires, notamment le temps de contact, le pH de la solution, la dose d'adsorbant et la concentration initiale du colorant. Les données expérimentales seront interprétées à l'aide des principaux modèles d'isothermes d'adsorption, notamment ceux de Langmuir et de Freundlich, afin de mieux comprendre les mécanismes d'interaction entre le biosorbant et le colorant[28-29-30].

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique portant sur présentation de la société de textile **TAYAL** et les déchets textiles, les biosorbants et les principes de l'adsorption. Le deuxième chapitre présente la valorisation de la poussière de coton pour la préparation du biosorbant ainsi que Enfin, le troisième chapitre expose les méthodes expérimentales et les techniques de caractérisation mises en œuvre ainsi que les résultats obtenus, leur analyse ainsi que leur interprétation et enfin on termine par une conclusion générale.

Chapitre I:

Présentation de

TAYAL

I.1.Présentation « TAYAL industrie » :

TAYAL S.P.A (Textile Algérienne) est une entreprise algérienne spécialisée dans l'industrie textile, issue d'un partenariat entre des sociétés publiques algériennes et le groupe textile Turc TAYPA. Fondée en décembre 2013, TAYAL a pour objectif de devenir l'un des plus grands complexes intégrés de production textile en Afrique et dans la région méditerranéenne.

Le complexe industriel de TAYAL est situé dans la zone industrielle de Sidi khettab dans la wilaya de Relizane, TAYAL transforme le coton brut en produits et des vêtements prêt- à-porter, l'entreprise consomme environ 40000 tonnes de coton et prévoit une capacité de production annuelle de 36000 tonnes de fil, 50 millions de mètres de tissus tissés, 5000 tonnes de tissus tricotes et jusqu'à 30 millions de pièces de vêtements prêt-à-porter.

En effet, selon le ministre de l'industrie qui se trouvait sur les lieux, la finalité de ce projet est de « faire revivre l'industrie du textile en Algérie » avant d'être interrompu par le premier responsable de TAYAL pour dire que « l'objectif est de faire de Relizane le nouveau hub du textile sur le plan international ».



Figure I.1. Atelier de production de l'entreprise TAYAL Algérie

La production de coton représente une activité importante dans l'industrie textile mondiale. Cependant, les différentes étapes de transformation du coton, notamment la filature, le tissage et la confection, génèrent des déchets solides et des particules fines appelées poussières de coton. Ces déchets peuvent constituer une source de pollution environnementale et présenter des risques pour la santé des travailleurs en raison de leur

accumulation dans l'air. La valorisation de ces résidus représente donc une solution intéressante dans une démarche de développement durable.

I.2.Présentation de la poussière de coton :

La poussière de coton désigne des particules fines de fibres de coton en suspension dans l'air, générées principalement lors des processus de manipulation , de traitement et de filature de coton .Elle connue pour être un facteur de risque professionnel dans l'industrie textile, car une exposition prolongée peut entraîner des maladies respiratoires ,notamment la byssinose ,une affection pulmonaire chronique.



Figure I.2 : Poussière de coton.

La poussière de coton contient des endotoxines et d'autres substances biologiques susceptibles de provoquer une inflammation des voies respiratoires et une altération de la fonction pulmonaire chez les travailleurs exposés.

I.3. Les Caractéristiques de poussière de coton

La poussière de coton est un mélange complexe de fibres de coton, de cires, de protéines, de pectines, ainsi que de divers contaminants tels que des résidus de pesticides et des microorganismes .Ses caractéristiques chimiques varient en fonction de plusieurs facteurs ,notamment la variété du coton ,les traitements post-récolte et l'environnement de stockage .

➤ **Propriétés physiques générales**

- **Taille des particules:** Micrométrique (de quelques microns à plusieurs dizaines de microns).
- **Masse volumique apparent:** Relativement faible (environ 0.4 à 0.6 grammes par centimètres).
- **Couleur :** Blanc à beige, parfois grisâtre selon la contamination.
- **Texture :** Légère et fibreuse, avec des particules fines en suspension dans l'air.
- **Hygroscopicité :** Absorbe facilement l'humidité de l'air.

➤ **Propriétés physico-chimiques**

- **pH :** Légèrement acide à neutre (5.5.....7).
- **Solubilité :** Insoluble dans l'eau et la plupart des solvants organiques ,mais soluble dans l'acide sulfurique concentré.

➤ **Propriétés thermiques :**

- **Faible densité :** Les particules sont légères et facilement dispersées.
- **Adhérence :** Peut s'accrocher aux surfaces en raison de charges électrostatique
- **Inflammabilité :** Hautement inflammable en suspension dans l'air (risque d'explosion de poussière).

➤ **Propriétés mécaniques**

- **Faible conductivité thermique :** Agit comme un isolant thermique naturel. Elle agit comme un isolant thermique naturel.
- **Point d'auto-inflammation :** Environ (250-300 °C) sous certaines conditions.

I.4. Pollution de poussière de coton

La pollution due à la poussière de coton est un problème environnemental et de santé publique qui résulte des processus de récolte, de transformation et de filature du coton, cette poussière est constituée de petites particules provenant des fibres de coton ainsi que d'autres substances chimiques utilisées dans le traitement de coton, elle peut avoir des effets néfastes sur la santé des travailleurs des résines de coton et des communautés proches, en particulier en augmentant les risques des maladies respiratoires

telles que la pneumoconiose (une maladie pulmonaire liée à l'inhalation de poussières, et des allergies).

➤ **Sources de pollution :**

Les usines de filature du coton, où les fibres sont transformées en fil, produisent une grande quantité de poussières fines.

La récolte du coton et son traitement préliminaire génèrent également de la poussière.

➤ **Effet sur la santé :**

Cela peut également provoquer des irritations des yeux, du nez et de la gorge, des troubles de la peau et des problèmes allergiques.

➤ **Solutions et pratiques durables**

Des mesures de contrôles de la poussière, comme l'installation de systèmes de ventilations et de filtration d'air, peuvent réduire la pollution dans les usines de coton. L'adoption de techniques agricoles plus propres et l'utilisation de coton biologiques peuvent également réduire la quantité des produits chimiques libérés dans l'environnement.

I.5. Valorisation de la poussière de coton

La poussière de coton, sous-produit de l'industrie textile, offre diverses applications industrielles innovantes et écologiques. Voici quelques-unes de ces utilisations :

➤ **Production d'énergie**

La poussière de coton peut être utilisée comme biomasse dans des processus de combustion ou de gazéification pour produire de l'énergie, contribuant ainsi à la réduction de la dépendance aux combustibles.

➤ **Alimentation animale**

Après traitement pour éliminer les substances potentiellement nocives, la poussière de coton peut être incorporée dans l'alimentation animale, notamment pour les ruminants, en raison de sa teneur en protéines et en fibres.

➤ **Traitement des eaux**

La poussière de coton peut être utilisée comme biosorbant dans le traitement des eaux pour éliminer divers polluants. Ces propriétés lui permettent de capter efficacement des contaminants tels que les métaux lourds, les colorants et les substances organiques. Cette approche offre une solution écologique et économique pour la purification de l'eau.

➤ **Industrie chimique et pharmaceutique :**

Extraction de la cellulose pour produire du nitrocellulose (utilisé dans les explosifs et les vernis). Production de médicaments et de cosmétiques contenant des dérivés de la cellulose.

Chapitre II

Valorisation de la poussière de coton

. Introduction:

Dans cette partie, nous exposons la suite de la synthèse bibliographique se rapportant à :

- Les adsorbants , dans lequel nous allons présenter les caractéristiques et traitements de surface des charbons actifs.
- L'application des adsorbants dans le processus de rétention des composés organiques.
- Le processus d'adsorption et les paramètres la gouvernant. Des modèles d'isothermes d'adsorption simples comme ceux de Langmuir, Freundlich seront exposés.

II.2.6. Généralités sur les adsorbants

Les adsorbants sont des matériaux solides caractérisés par une structure poreuse développée, leur permettant de retenir des molécules présentes dans une phase liquide ou gazeuse par un phénomène d'adsorption. Ils peuvent se présenter sous différentes formes telles que des poudres, des granulés ou des particules de tailles variables. Les performances d'un adsorbant dépendent principalement de sa surface spécifique, de son volume poreux, de la distribution de la taille des pores ainsi que des propriétés chimiques de sa surface.

Les matériaux adsorbants utilisés dans le traitement des eaux comprennent plusieurs familles, notamment les argiles, les zéolithes, les gels de silice, les alumines activées et surtout les charbons actifs. Ces derniers occupent une place importante grâce à leur grande capacité d'adsorption et leur efficacité dans l'élimination de nombreux polluants organiques.

Les charbons actifs sont des matériaux carbonés présentant une structure poreuse très développée, composée principalement de carbone et contenant différents groupes fonctionnels de surface, notamment des fonctions oxygénées. Leur capacité d'adsorption est liée à leur surface spécifique élevée, leur microporosité ainsi qu'aux interactions entre les molécules adsorbées et la surface du matériau.

La production du charbon actif se fait généralement à partir de précurseurs riches en carbone d'origine végétale, animale ou issue de déchets. Elle comprend une étape de carbonisation permettant la formation d'une structure carbonée, suivie d'une activation physique ou chimique ayant pour objectif d'augmenter la porosité et d'améliorer les propriétés adsorbantes du matériau.

Dans le cadre de cette étude, un charbon actif est élaboré à partir d'un déchet textile afin de valoriser ce résidu et de développer un matériau adsorbant efficace pour le traitement des eaux polluées. La valorisation de ces déchets représente une alternative intéressante grâce à la transformation d'un matériau disponible et peu valorisé en un adsorbant à forte capacité d'élimination des polluants, notamment les colorants tels que le Bleu de Méthylène.

Ainsi, le choix d'un adsorbant dépend de plusieurs paramètres, notamment la nature du polluant à éliminer, les conditions opératoires et les caractéristiques physico-chimiques du matériau utilisé.

II.1. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un processus de transfert de matière d'une phase liquide (ou gazeuse) vers une phase solide. Cela peut se traduire par une modification des propriétés de l'interface, c'est-à-dire une variation de la concentration de l'adsorbat et la mise en jeu de types d'interaction entre l'adsorbant et le soluté (potentiel d'adsorption). Il existe deux processus importants: la physisorption et la chimisorption

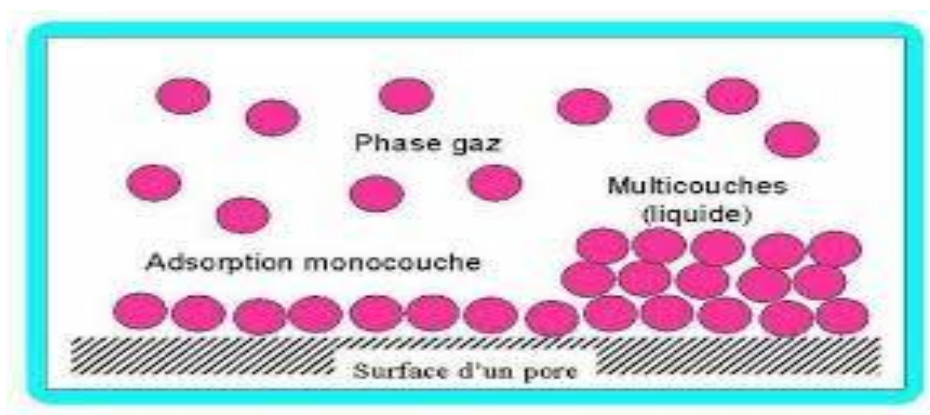


Figure II.1: Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption.

II.2. Types d'adsorption:

I.2.1. Adsorption physique (physisorption):

La physisorption ou adsorption physique est un processus caractérisé par des énergies relativement peu importantes (force de Van Der Waals) entre la matrice solide et le substrat. C'est aussi un processus réversible qui ne s'accompagne d'aucune modification de la molécule adsorbée (son identité est conservée), qui se produit aux basses températures et pour des énergies de l'ordre de 10 Kcal/mole tout au plus. Cependant MATSON et MARK [22] préfèrent utiliser le terme d'adsorption non spécifique qui est due aux forces de Van Der Waals (attraction). Elles interviennent essentiellement entre la surface carbonée du support et le soluté.

II.2.2 Adsorption chimique (chimisorption):

L'adsorption chimique ou chimisorption résulte de la formation d'une liaison chimique entre l'adsorbant et le substrat. Celle-ci peut être covalente ou ionique. Comparativement à l'adsorption physique, elle met en jeu des énergies d'adsorption plus élevées, qui sont de l'ordre de 100 Kcal/mole. Ce processus se produit à des hautes températures et, est caractérisé par son irréversibilité. Comme pour la physisorption Matson et al préfère employer le mot d'adsorption spécifique qui résulte de la présence de groupements fonctionnels oxygénés se trouvant sur les contours de tout le réseau cristallin. Dans ces conditions ils peuvent être à la base d'interaction se produisant entre les diverses molécules organiques et la surface du matériau (charbon actif). Ce qui peut donc conduire à la formation de complexes avec les groupements carbonyles présents à sa surface.

II.2.3. Facteurs influents l'adsorption :

L'équilibre d'adsorption, entre un adsorbant et un adsorbat dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

Les caractéristiques de l'adsorbant: polarité, volume poreux, surface spécifique, fonctions superficielles.

Les caractéristiques de l'adsorbât polarité, solubilité, poids et saturation moléculaire.

Les paramètres physiques: température, pH.

II.2.4. 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. L'allure de la courbe isotherme varie selon le couple adsorbât-adsorbant étudié.

II.2.4.1. Classification des isothermes d'adsorption :

Expérimentalement, on distingue cinq classes principales des isothermes d'adsorptions

II.2.4.1.1. Isotherme de type I:

L'interprétation classique de cette isotherme est qu'elle est relative à une formation d'une couche monomoléculaire complète. Cette isotherme est relative à des solides microporeux de diamètre inférieur à 25 Å.

II.2.4.1.2. Isotherme de type II:

C'est la plus fréquemment rencontrée, quand l'adsorption se produit sur des poudres non poreuses ou ayant des macropores de diamètre supérieurs à 500 Å.

II.2.4.1.3. Isotherme de type III:

Cette isotherme est caractéristique des adsorptions où la chaleur d'adsorption de l'adsorbat est inférieure à la chaleur de liquéfaction. Cette isotherme est relativement rare, elle indique la formation de couches polymoléculaires, dès le début de l'adsorption, et avant que la surface n'ait été recouverte complètement d'une couche mono moléculaire.

II.2.4.1.4. Isotherme de type IV:

Cette isotherme se produit sur des solides ayant des pores, avec des diamètres compris entre 15 et 1000 Å. La pente croît à des pressions relatives élevées, ce qui indique que les pores sont totalement remplis. Comme pour l'isotherme de type II, la polycouche démarre quand la monocouche est totalement réalisée.

II.2.4.1.5. Isotherme de type V:

Cette isotherme donne aussi comme l'isotherme de type IV lieu à une hystérésis, elle est similaire à l'isotherme du type III, c'est-à-dire que la polycouche démarre, bien avant que la monocouche ne soit pas totalement réalisée. Ce type d'isotherme est aussi caractéristique de solides poreux, ayant des diamètres de pores du même ordre que ceux des solides donnant des isothermes de type IV et V présente à la fin, une pente différente attribuée, à la géométrie des pores. De présents cinq types d'isothermes dans la figure (I.3)

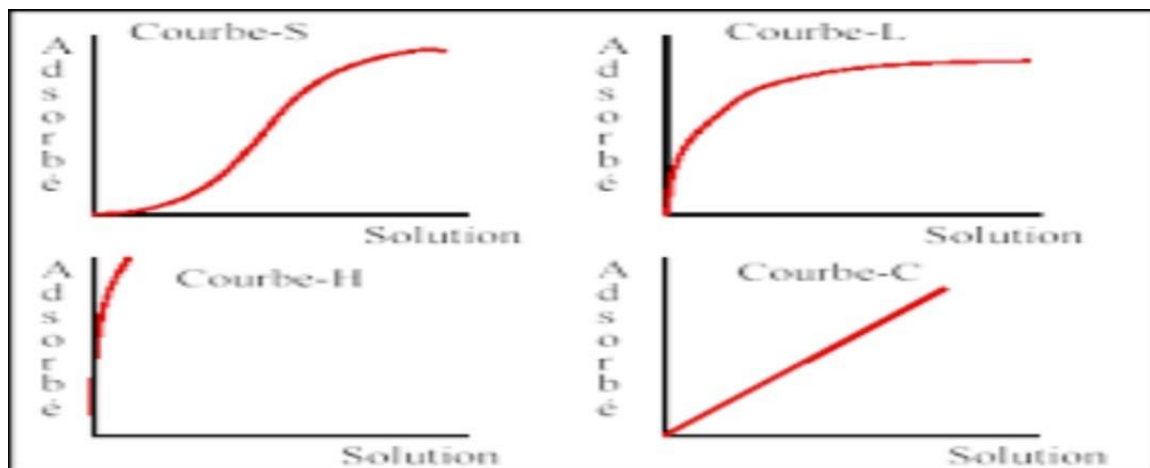


Figure II.2: types d'isothermes d'adsorption.

II.2.5. Modélisation des isothermes d'équilibres d'adsorption:

Les paramètres obtenus à partir de la modélisation des isothermes fournissent des informations importantes sur le mécanisme d'adsorption, les propriétés de surface et les affinités adsorbant-adsorbat. Les trois modèles les plus couramment employés sont les modèles de Langmuir, Freundlich

II.2.5.1. Modèle de Langmuir:

Ce modèle est très utile pour l'adsorption mono-moléculaire d'un soluté en formant une monocouche à la surface d'un adsorbant, ce modèle est utilisé quand les conditions suivantes sont remplies:

L'espèce adsorbée est fixée sur un seul site bien défini, chaque site n'est capable de fixer qu'une seule espèce adsorbée, l'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante des autres espèces déjà adsorbées sur des sites voisins. Il est décrit par l'expression suivante :

$$\frac{x}{m} = \frac{K_m b C_{eq}}{1 + K_L C_{eq}} \quad (II.1)$$

La linéarisation de l'équation (II.2) nous donne:

$$\frac{C_{eq}}{x/m} = \frac{1}{K_L b} + \frac{1}{b} C_{eq} \quad (II.2)$$

Où :

C eq : Concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg / L)

x/m: Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg / g) .

Kl: Constante spécifique à l'adsorbant ayant rapport avec l'énergie d'adsorption.

b: Capacité maximale d'adsorption (mg / g)

II.2.5.2. Modèle de Freundlich:

Le modèle de Freundlich est un modèle semi empirique qui permet de modéliser des isothermes d'adsorption sur des surfaces hétérogènes (dont les sites d'adsorption ne sont

pas tous équivalents). Ce modèle est uniquement utilisable dans le domaine des faibles concentrations car il n'a pas de limite supérieure pour les fortes concentrations, ce qui est contradictoire avec l'expérience. L'expression mathématique associée à ce modèle est donnée par l'équation (II.3)

$$\frac{x}{m} = K_F \cdot Ceq^{1/n} \quad (II.3)$$

Où :

x/m : Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg / g)

K_F : Constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption.

La constante $1/n$ adimensionnelle donne une indication sur l'intensité de l'adsorption.

La relation entre K_F la capacité maximale d'adsorption b est:

$$K_F = \frac{q_m}{C_0^{1/n}} \quad (II.4)$$

Il est généralement admis que des faibles valeurs de $1/n$ ($0.1 < 1/n < 0.5$) sont caractéristiques d'une bonne adsorption, alors que des valeurs plus élevées révèlent une adsorption modérée ($0.5 < 1/n < 1$) ou faible ($1/n > 1$). Il faut noter que si $1/n$ tend vers 1, l'isotherme devient linéaire donc de type C .

La linéarisation de l'équation (II.4) nous donne :

$$\log \frac{x}{m} = \log K_F + \frac{1}{n} \log Ceq \quad (II.5)$$

Chapitre III :

Partie expérimentale

Introduction

Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi de valoriser un déchet textile provenant des résidus et chutes de tissus issus des activités de confection et de l'industrie textile. Ces déchets textiles sont souvent rejetés ou incinérés, ce qui représente une source importante de pollution environnementale. Grâce à leur richesse en matières carbonées, ils peuvent constituer un bon précurseur pour la préparation d'un charbon actif présentant une bonne résistance mécanique et une capacité d'adsorption élevée.

Dans ce chapitre nous allons présenter l'origine d'adsorbant utilisé, le protocole de sa préparation, l'étude d'adsorption (optimisation et isotherme) du colorant choisi et nous terminerons par une petite étude comparative des résultats trouvés et ceux d'adsorption du bleu de méthylène (BM) par un biosorbant .

III.1 Préparation du biosorbant:

Les déchets sont lavés à l'eau de robinet puis à l'eau distillée plusieurs fois avant l'utilisation pour l'élimination des impuretés ,puis séchés dans l' étuve à 105°C pendant 24 h, et enfin broyés et tamisés à un diamètre de 0,14 mm pour avoir une poudre fine.

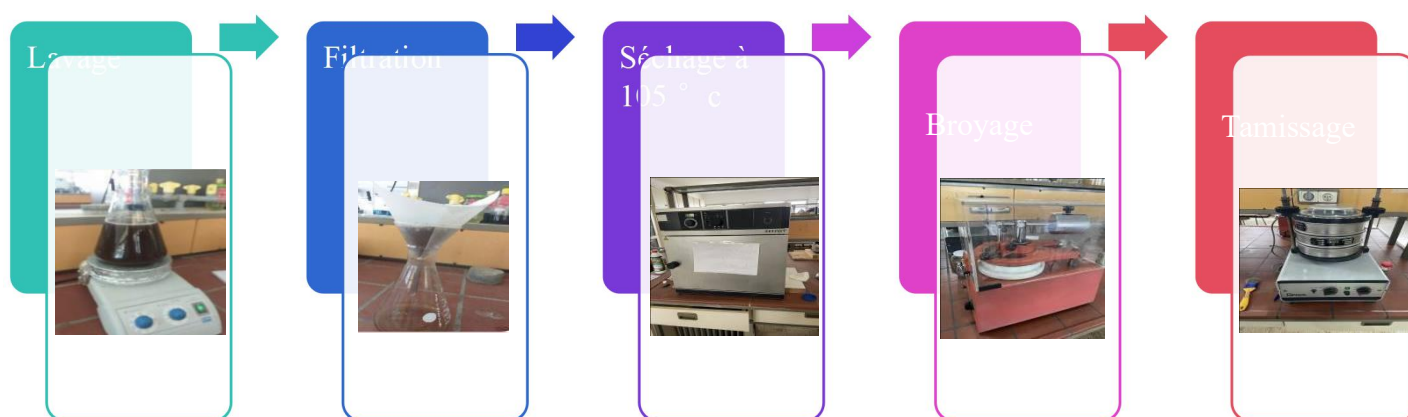


Figure III.1: Procédés du prétraitement de biosorbant .

III.2 Activation Chimique

III.2.1. Activation chimique Par l'acide chlorhydrique (HCl)

Un échantillon de 5 g de chaque poussière de coton lavée, séchée et broyée à une dimension comprise entre 0,14 et 1,0 mm de diamètre puis traitée chimiquement avec 200 mL de HCl (0,1 N) sous agitation pendant 3 heures puis filtrée et lavée avec de l'eau

distillée. Le matériau a ensuite subi un séchage à 60°C dans l'étuve pendant une nuit. Le précurseur obtenu subit un deuxième traitement par 800 mL de HCl (0,1 N) avec agitation pendant 3 heures à température ambiante puis filtré, lavé avec de l'eau distillée et séché à 60°C dans l'étuve pendant 24 heures.

III.2.2. Activation chimique par le chlorure de calcium (CaCl_2)

Un échantillon de 5 g de poussière de coton lavée, séchée et broyée de dimension de 0,14 - 1,0 mm de diamètre est traitée chimiquement avec 200 mL de CaCl_2 (0,2 N) sous agitation pendant 24 heures, puis filtré et lavé avec de l'eau distillée chaude jusqu'à élimination du calcium. Le matériau a ensuite subi un séchage à 60°C dans l'étuve pendant une nuit.

III .3.Caractérisations de biosorbant:

III.3.1. Indice d'iode

III.3.1.1. Définition

L'indice d'iode fournit une indication sur la microporosité du biosorbant. C'est le nombre de milligrammes d'iode adsorbé par gramme d'adsorbat à une concentration résiduelle de 0,02N.

III.3.1.2. Préparation des solutions

Pour préparer une solution d'iode de concentration 0,1 N. On pèse 19,1 g d'iodure de potassium cristallisé et on les dissout dans la quantité d'eau, la plus faible possible. Après, on pèse 12,69 g d'iode sublimé et on le rajoute à l'iodure de potassium se trouvant dans la fiole jaugée, ensuite on agite, la fiole étant fermée, jusqu'à ce que l'iode se dissolve, on complète alors avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (1 L). Enfin, on laisse la solution à l'abri de la lumière.

Pour préparer une solution de thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, de concentration 0,1 N, on introduit 24,817 g de ce sel dans une fiole jaugée à 1 litre. On ajoute un peu d'eau distillée jusqu'à ce que le thiosulfate se dissolve, puis on complète jusqu'au trait de jauge.

III.3.1.3 Détermination de l'indice d'iode

Pour déterminer l'indice d'iode de chaque adsorbants, il faut :

- Une solution d'acide chlorhydrique de concentration 5%.
- Une solution d'iode 0,1 N.
- Une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0,1 N.
- Amidon

Peser 0,2g de l'échantillon qui a été séché auparavant à 150°C dans l'étuve pendant 3heures, le transposer dans un flacon, ajouter 10 ml de HCl et remuer doucement jusqu'à ce que l'échantillon soit complètement mouillé, porter à ébullition pendant 30 secondes, laisser refroidir à température ambiante, transposer 100 mL de la solution d'iode dans le flacon, le boucher immédiatement et agiter pendant 30 secondes rigoureusement, filtrer, ensuite écarter les 20 à 30 mL du filtrat et récupérer le reste dans un bécher. Pipette 50mL du filtrat dans un erlenmeyer propre, titrer avec $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ jusqu'à ce que la solution devienne jaune pâle, ajouter 2 mL d'amidon et titrer goutte à goutte jusqu'à ce que la solution devienne transparente, noter le volume V' .

Calculer l'indice d'iode par la relation suivante :

$$\text{Indice d'iode (mg/g)} = \frac{[(V_2 - V_1) \cdot N \cdot 126,93]}{m} \quad (\text{III.1})$$

m : la masse de biosorbant (1g).

N : normalité de thiosulfate (0,1N).

V_2 : le volume de thiosulfate pour le titrage à blanc.

V_1 : le volume de thiosulfate après adsorption.

Le tableau III.1 et la figure III.1. Ci-dessous résume les valeurs d'indice d'iode pour différents adsorbants préparé.

Tableau III.1. Résultats de l'indice d'iode.

adsorbant	Poussière brute	Poussière traitée par HCl	Poussière traitée par CaCl_2
Indice d'iode (mg/g)	106.62	116.77	102.813

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les valeurs de l'indice d'iode pour les trois adsorbants poussières brute et poussières traités se rapprochent ce qui

indique que la méthode de traitement n'est pas significative et les adsorbants étudiés présentent une faible microporosité nous avons choisis d'appliquer la poussière brut comme biosorbant..

III. 4. .Le pH du point de charge zéro (pH Pzc)

Le pH_{pcz} est défini comme étant le pH pour lequel il y a absence de charge positive ou négative à la surface du charbon actif.

Une masse de 0.15 mg de adsorbant étudiier a été introduite dans une solution aqueuse de NaCl (50 ml à 0,01 mol/L) et le pH a été ajusté à des valeurs initiales successives entre 2 et 12.

Les suspensions ont été agitées durant 48h et la variation du PH a été calculer et tracé en fonction du pH initial. Le pH pzc est déterminé à la valeur pour laquelle le pH final est égal au pH initial

Tableau III.2. Résultats du pH du point zéro (pH_{PZC})

pHi	2,32	4	6	8	10	12
pHf	2,49	7,55	7,75	8,15	8,45	11,61

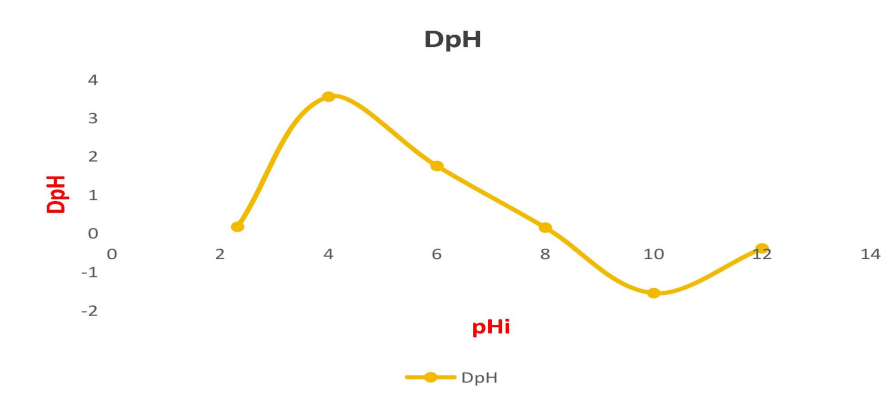


Figure III.2: pH du point de charge zéro

D'après la figure III.2 le pH_{pcz} du biosorbant est égal à 8,1. Lorsque le pH de la solution est inférieur au pH_{pcz} ($pH < 8,1$), la surface du biosorbant est chargée positivement.

Toutefois, dans les conditions optimales de cette étude ($pH=6$), l'adsorption du BM reste favorable.

III .5.1. Indice de bleu de méthylène (IBM):

L'indice du bleu de méthylène est le nombre de milligrammes du bleu de méthylène adsorbé par un gramme de biosorbant. L'indice de Bleu de Méthylène a été déterminé suivant la norme Chemviron-Carboncompany méthode TM-11 dans laquelle on détermine la concentration du filtrat contenant la concentration résiduelle du BM après un contact avec le biosorbant de 30 minutes. L'indice de BM représente la quantité en mg/g adsorbée par le biosorbant testé.

III .5.2. Préparation des solutions

Pour préparer une solution d'acide acétique (0,25%). On prend 2,5mL d'acide acétique fumant dans 900mL d'eau distillée dans une fiole de 1L et diluer jusqu'à trait de jauge.

Pour préparer une solution d'acide acétique (50%). on prend 253,11mL d'acide acétique fumant dans une fiole et diluer jusqu'à trait de jauge.

Pour préparer une solution de BM de concentration (1200mg). on pèse 1,2g de BM et dissoudre dans 100mL d'acide acétique (50%) et diluer jusqu'à trait de jauge (1L).

D'après cette solution du BM on prépare une solution intermédiaire de 120mg /L (100mL), on dilue avec la solution d'acide acétique de (0,25%).

III .5.3. Détermination de l'indice de BM

Pour déterminer l'indice de BM de biosorbant, il faut :

- 1- une solution d'acide acétique (0,25%).
- 2- une solution d'acide acétique (50%).
- 3- une solution de BM de concentration (1200mg /L)
- 4- Pipeter des concentrations différentes de solution de BM (120mg/L), les mettre dans des fioles 100 mL et diluer avec acide acétique (0,25%) jusqu'à trait de jauge (1L).

Pour déterminé l'indice de BM on pèse 0,1g de biosorbant et introduire 25 ml de solution de BM de la concentration 1200 mg /L, puis on fait l'agitation pendant 30 min .

Calculer l'indice de BM par la relation suivante :

$$I_{BM} = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (III.2)$$

m : la masse du biosorbant (0,1g).

V : le volume de solution (25mL).

Après réalisation de l'expérience les résultat ont montré que le biosorbant persernt une valeur de 178.61 mg/g pour l'indice de BM, ce qui confirme l'aptitude du biosorbant à adsorber ce colorant .

III.6. Application à l'adsorption :

Nous avons examiné l'adsorption d'un colorant cationique qui est le BM sur un seul adsorbant . Le choix de cette molécule a été motivé, d'une part, par leur caractère nocif pour l'environnement et d'autre part Le bleu de méthylène constitue en outre un colorant exemplaire pour la caractérisation et l'étude de la performance des charbons actifs.

La nomenclature chimique du bleu de méthylène est le chlorure de méthylthionium ou thiazine, et sa formule brute est $C_{16}H_{18}Cl.N_3S$. La figure III.4 représente la formule chimique du bleu de méthylène et le tableau III.4 regroupe quelques caractéristiques de ce colorant.

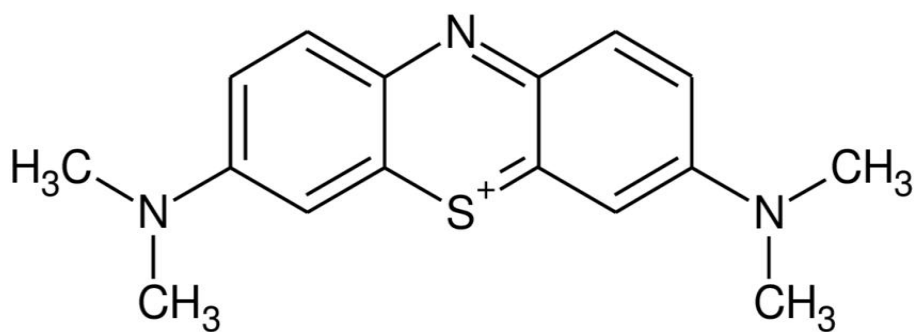


Figure III.3 : Structure du bleu de méthylène.

Tableau III.4: Quelques caractéristiques du bleu de méthylène

Propriétés	Bleu de méthylène (BM)
La formule brute	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
Provenance	Merck
Masse molaire (g/mol)	319,86
PH de solution aqueuse	6,8 environ
La longueur d'onde (nm)	664
La couleur	Bleu foncé
Solubilité dans l'eau (g/l) à 25°C	50
Type	Colorant Cationique

III.7.Dosage par spectrophotométrie :

L'analyse spectrophotométrie est fondée sur l'étude du changement d'absorption de la lumière par un milieu, en fonction de la variation de la concentration d'un constituant.

En analyse spectrophotométrie, on utilise une lumière sensiblement monochromatique. Cette méthode d'analyse est intéressante car elle permet de travailler

sur de faibles quantités de substance et est non destructive vis-à-vis de l'échantillon : elle s'applique à un très grand nombre de dosages.

II.7. 1. Loi d'absorption :

Les lois générales d'absorption sont valables pour les spectres d'absorption dans les domaines ultraviolets et visibles.

II.7.2. Loi de BEER LAMBERT :

Soit un faisceau de lumière monochromatique traversant une épaisseur l de solution d'un corps adsorbant. Soit I_0 la puissance rayonnante à l'entrée de la solution et I la puissance rayonnante à la sortie, C la concentration du corps absorbant et ℓ l'épaisseur de la cuve.

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

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \log\left(\frac{1}{T}\right) = kCl \quad (\text{III.3})$$

III.4 bande d'absorption en fonction de la concentration C , et elle suit la relation de Beer-Lambert.

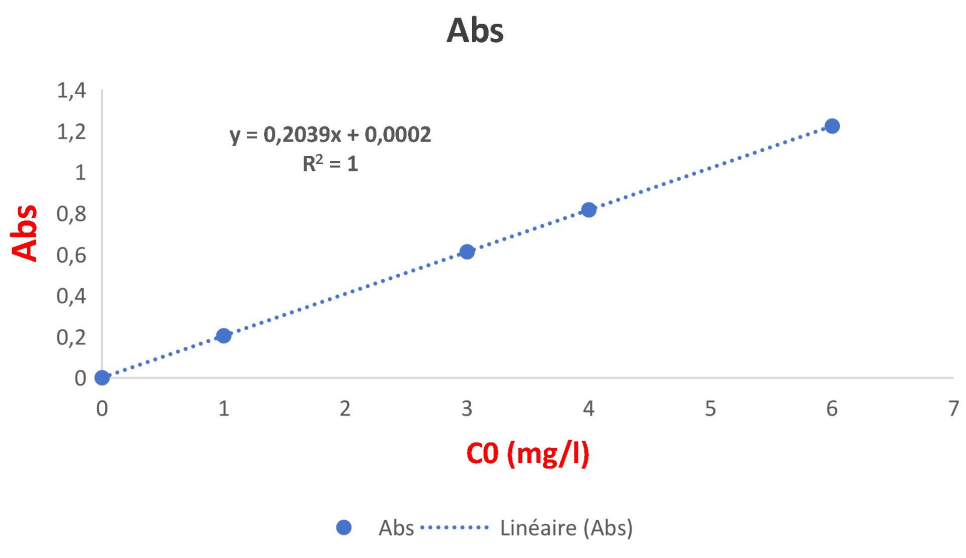


Figure III.4: courbe d'étalonnage de BM

L'équation de la droite donnant l'absorbance A en fonction de la concentration du Bleu de Méthylène est : $A = 0,2039 \times C$ avec un coefficient de régression $R^2 = 0,99$ ce qui peut être considéré comme un bon ajustement linéaire. Cette équation est utilisée pour calculer la concentration d'une solution donnée

III.8. Optimisation des paramètres d'adsorption :

Dans notre étude, nous avons examiné la variation des paramètres suivants temps ,pH et dose afin de déterminer les meilleures conditions de l'adsorption du BM sur le biosorbant préparé

III .8.1.Effet de temps

Afin d'étudier le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption du BM, deux solutions de concentrations initiales de 100 mg/L et 200 mg/L ont été préparées. La procédure expérimentale suivie est la suivante :

Dans une série de béchers, une masse de 0,05 g de biosorbant a été mise en contact avec 25 mL de la solution de BM. Les mélanges ont été agités pendant des durées variant de 5 à 60 minutes. À la fin de chaque temps de contact, les échantillons ont été centrifugés puis analysés par spectrophotométrie afin de déterminer la concentration résiduelle du colorant en solution.

Le taux d'élimination est calculé par la relation suivante :

$$E(\%) = \frac{C_0 - C_{eq}}{C_0} * 100 \quad (III.4)$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau et graphiquement sur la figure ci-dessous:

Tableau III.5: résultats de l'effet du temps de contact pour l'adsorption du BM sur le biosorbant étudié

	$C_{BM}=100 \text{ mg/l}$		$C_{BM}=200 \text{ mg/l}$	
Temps (min)	Ceq	%	Ceq	%
5	3,94	96,05	18,19	90,90
10	3,32	96,67	17,31	91,34
15	3,37	96,62	14,22	92,88
20	2,84	97,15	13,68	93,15
25	2,72	97,27	12,06	93,96
30	2,68	97,31	11,96	94,01
45	2,82	97,17	16,77	91,61
60	2,76	97,23	11,77	94,11

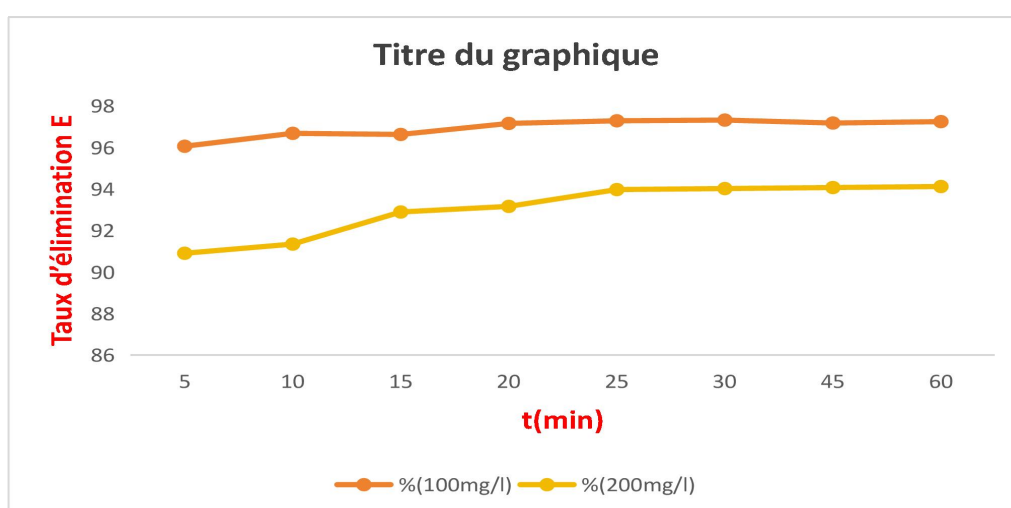


Figure III.5 : l'évolution de taux d'élimination en fonction de temps .

La figure III.5 montre l'augmentation du taux d'élimination E (%) de BM par le temps jusqu'à obtention un palier d'équilibre à un temps de de 30 minutes pour les deux concentrations étudiés.

III .8.2.Effet de la dose:

On a introduit dans une série de béchers successivement des masses de 0.01 ;0.02 ; 0.05 ; 0.07 ;0.1 , 0.15 et 0.2 grammes de bioadsorbant et 25 mL de la solution de BM de concentrations de 100 mg/L et 200mg/L.

L'ensemble est agité pendant 30 min puis centrifugé et analysés par un spectrophotomètre .

Les résultats obtenu sont représentés dans le tableau le tableau ci-dessous et sur la figure III.6.

Tableau III.6 :résultats du l'effet de dose

	C(BM)= 100 mg/l		C(BM)= 200 mg/l	
Dose (g/l)	Ceq	E%	Ceq	E%
0,4	14,66	85,33	59,34	70,32
0,8	11,91	88,08	34,52	82,73
2	3,11	96,88	24,86	87,56
2,8	3,65	96,34	16,92	91,53
4	1,34	98,65	3,46	98,26

6	1,21	98,78	3,25	98,37
8	1,03	98,96	2,26	98,86

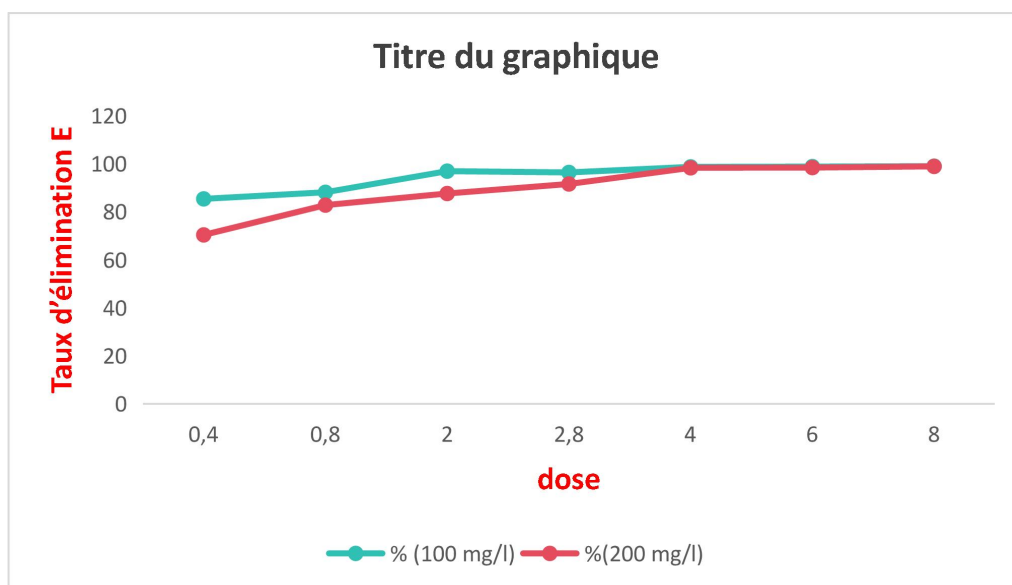


Figure III.6:Le pourcentage d'élimination de BM en fonction de la dose de biosorbant .

On remarque que le pourcentage d'élimination augmente avec l'augmentation de la dose jusqu' à atteindre un palier d'équilibre . Le taux d'élimination maximale pour la concentration 100 mg/L est de 98.65 % et de 98.78 % pour la concentration 200 mg/L correspond à une dose .

II .8.3.Effet de l'influence de pH :

Le pH initial de la solution est un paramètre important qui doit être pris en considération pendant une étude d'adsorption. L'effet de ce facteur sur l'évolution de la capacité d'adsorption a été analysé sur une gamme de pH allant de 2 à 10 y compris le pH normal (pH= 6.07) de la solution polluée du BM. Les expériences ont été réalisées en ajoutant 0.05g de l'adsorbant à 25 ml de la solution de BM (100 et 200 mg.L⁻¹)à température ambiante .

Enfin, nous avons utilisé la spectrophotométrie UV/VIS pour mesurer la concentration résiduelle du bleu de méthylène.

Tableau III.7: Effet de PH sur le pourcentage d'élimination du bleu de méthylène par les deux concentration

	$C_{BM} = 100 \text{ mg/l}$		$C_{BM} = 200 \text{ mg/l}$	
PH	Ceq	%	Ceq	%
2	1,85	98,14	5,29	97,35
4	2,02	97,97	4,001	97,99
6	1,95	98,04	3,42	98,28
8	1,81	98,19	3,24	98,37
10	1,88	98,11	3,08	98,45
12	1,1	98,89	2,94	98,52

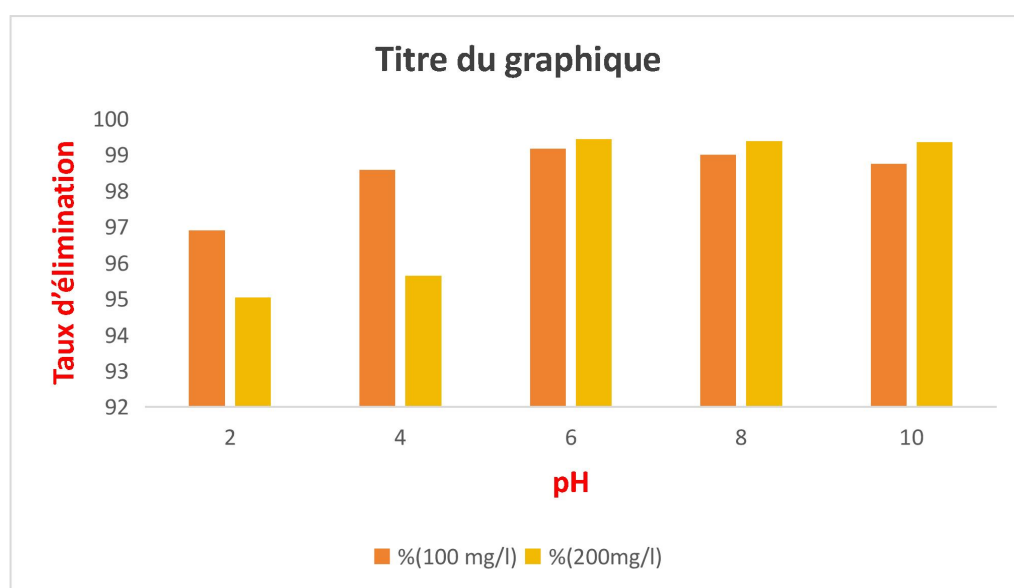


Figure III.7: Le pourcentage d'élimination en fonction PH pour l'adsorption du BM

III .8.4.Isothermes d'adsorption :

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique qui représente l'équilibre thermodynamique adsorbant-adsorbat. Il exprime la quantité d'adsorbat présente sur l'adsorbant q_e (mg.g^{-1}) en fonction de la quantité d'adsorbat restant en solution C_e (mg.L^{-1}).

Pour étudier l'isotherme d'adsorption, on prépare une série des béchers contenant 25 ml de solution de concentration qui varient entre 10 et 1500 mg.L^{-1} auxquelles on a ajouté la dose de l'adsorbant trouvée auparavant et dans le pH de solution. L'ensemble des béchers sont agités pendant 30 min, puis centrifugés et analysés.

Tableau III.8 : Donnée expérimentale de l'isotherme d'adsorption de BM

C0	Ceq	qe	Ceq/qe	Ln Ceq	Ln qe
10	0.01	2.49	0.003	-4.62	0.91
25	0.17	6.20	0.027	-1.76	1.82
50	0.48	12.37	0.039	-0.72	2.51
75	1.01	18.49	0.054	0.01	2.91
100	1.71	24.57	0.069	0.54	3.20
200	4.12	48.97	0.084	1.41	3.89
300	14.51	71.37	0.203	2.67	4.26
400	18.63	95.34	0.195	2.92	4.55
500	19.22	120.19	0.159	2.95	4.78
600	29.18	142.70	0.204	3.37	4.96
700	38.11	165.47	0.230	3.64	5.10

800	50.76	187.31	0.271	3.92	5.23
900	64.24	208.93	0.307	4.16	5.34
1000	79.32	230.16	0.344	4.37	5.43
1200	157.18	260.70	0.602	5.05	5.56
1500	286.91	303.27	0.946	5.65	5.71

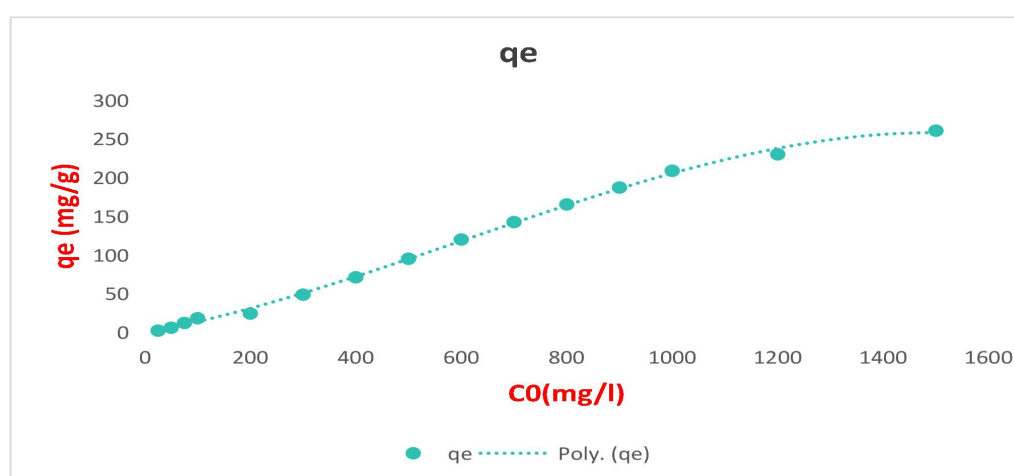


Figure III.8: Isotherme d'adsorption

Nous observons d'après la figure III 8 que la quantité adsorbée augmente (q_e) avec l'augmentation de la concentration. Cette présentation graphique montre que les molécules du colorant sont progressivement fixées sur les sites actifs du biosorbant, l'allure de cet isotherme d'adsorption dans la classification de Giles et Coll pour le BM..de plus, le modèle de Freundlich décrit mieux le processus d'adsorption, indiquant une surface adsorbante hétérogène avec des sites d'adsorption de différentes énergies.

La modélisation des isothermes d'adsorption est représentée par les modèles suivants :

✧ Isotherme de Langmuir :

Le tracé de la courbe $C_e/q_e = F(C_e)$

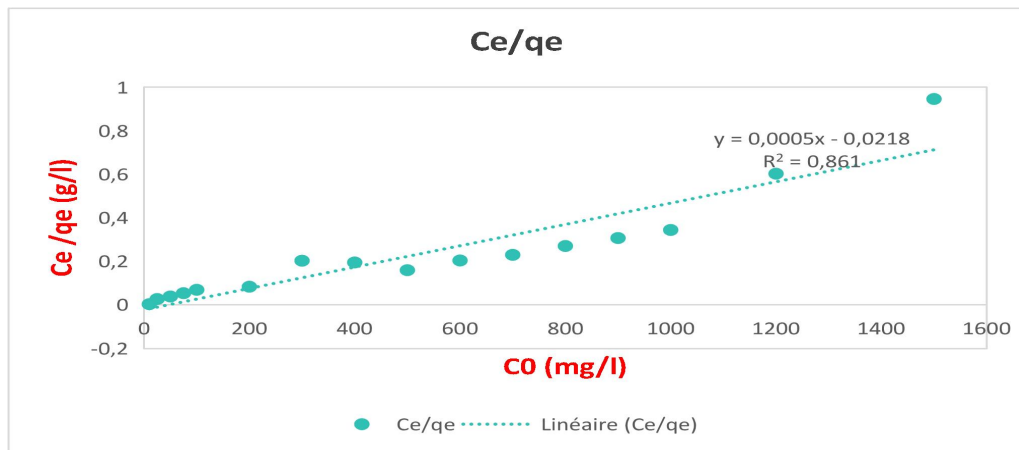


Figure III.9 : L'isotherme de Langmuir .

✧ Isotherme de Freundlich :

Le tracé de la courbe $\ln q_e = f(\ln C_e)$:

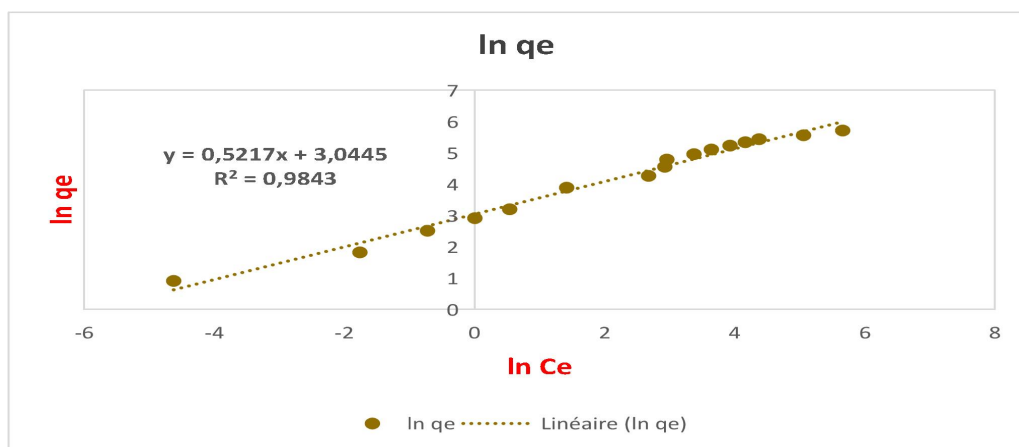


Figure III.10 : L'isotherme de Freundlich .

Tableau III.9:les constantes de Langmuir , Frenlich et pour BM

Model de Langmuir	Model de Freundlich
$Y=0,0031x+0,0834$	$Y= 0,521x+3,0445$
$R^2=0,9696$	$R^2=0,9843$
$K_L=0,0372$	$K_F=21$
$b= 322,58$	$n=1,917$

A partir des résultats de modélisation des isothermes donnés dans le tableau III.9 nous observons que l'isotherme le plus acceptable c'est le modèle de Freundlich car le coefficient de corrélation ($R^2 = 0.9843$) est proche de 1

III.8.4 Cinétique d'adsorption :

L'étude cinétique a été réalisée en agitant la masse optimale de l'adsorbant, préalablement déterminée, dans la solution aqueuse de BM à 200 et 250 mg.L⁻¹

L'élimination de BM a été suivie durant différents temps de contact avec l'adsorbant, (de 5 jusqu'à 30 minutes).

Les solutions ont été centrifugées et la concentration résiduelle du polluant a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre UV/ visible.

Modèle cinétique de pseudo 1ère ordre

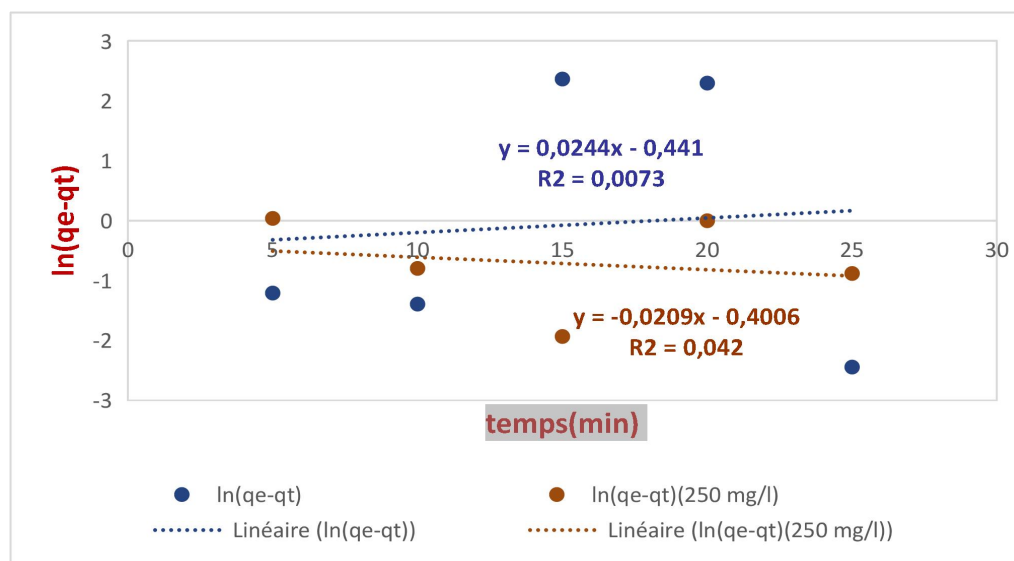


Figure III.11: Modèle cinétique de pseudo première ordre pour le BM

III.8.4.2 Modèle cinétique de pseudo 2ème ordre

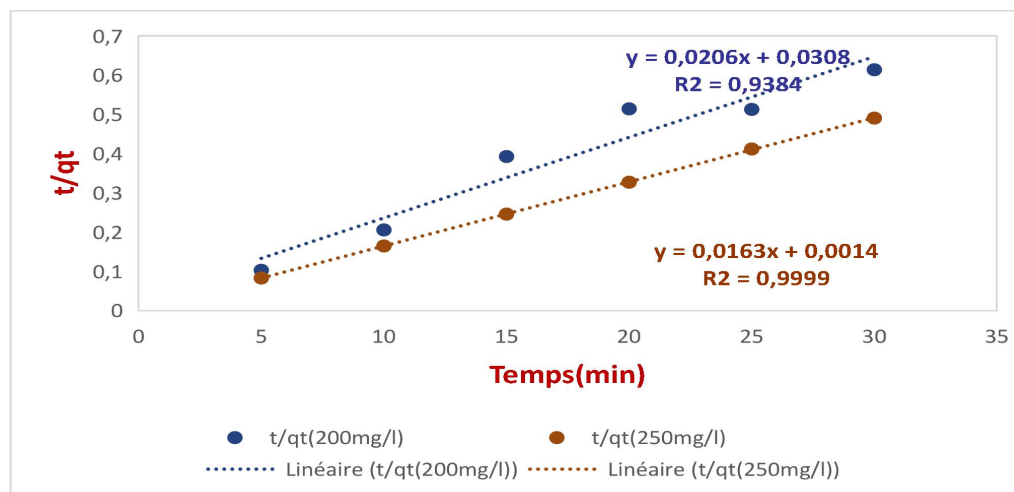


Figure III.12: Modèle cinétique de pseudo deuxième ordre pour le BM

En analysant les graphes représentant les modèles cinétiques de pseudo-premier ordre et de pseudo-second ordre (Figures III.11 et III.12), il apparaît que le modèle de pseudo-premier ordre présente un très faible ajustement des données expérimentales avec des coefficients de corrélation faibles ($R^2 = 0,0073$ pour 200 mg/L et $R^2 = 0,042$ pour 250 mg/L). Cela indique que ce modèle ne décrit pas correctement la cinétique d'adsorption du BM sur le biosorbant.

En revanche, le modèle cinétique de pseudo-second ordre montre un meilleur ajustement, avec des coefficients de corrélation élevés ($R^2 = 0,9384$ pour 200 mg/L et $R^2 = 0,9999$ pour 250 mg/L). Ce résultat suggère que la cinétique d'adsorption est mieux décrite par ce modèle, indiquant probablement l'implication d'interactions chimiques entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant, avec une disponibilité des sites actifs contrôlant le processus d'adsorption.

II.8.5: Thermodynamique d'adsorption:

L'étude thermodynamique de l'adsorption nous permet de mieux comprendre la nature du processus (spontanéité, caractère endothermique ou exothermique, et variation de l'ordre au cours de l'adsorption). Elle repose sur la détermination de trois paramètres

principaux : l'enthalpie standard (ΔH°), l'entropie standard (ΔS°) et l'énergie libre de Gibbs (ΔG°).

L'effet de la température sur le phénomène d'adsorption a été étudié en variant ce paramètre de 20 à 40°C à l'aide d'un bain thermostat pour maintenir la température à la valeur désirée. Les essais ont été réalisés en agitant 0.15 g d'adsorbant dans 25 ml de la solution de BM de concentration 200 et 250mg.L⁻¹

L'équation de Van't Hoff :

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (III.5)$$

Tableau III.10: Paramètres d'équilibre d'adsorption du BM

T(K)	1/T(K ⁻¹)	Abs	Ce(mg/l)	qe(mg/g)	Kd	ln Kd
298	0,003356	0,799	3,92	32,68	8,34	2,12
303	0,003300	0,743	3,64	32,73	8,99	2,20
313	0,003194	0,793	3,89	32,68	8,40	2,13

Tableau III.11: Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du BM

	ΔG° (KJ/mol)			ΔH° (KJ/mol)	ΔS° J/mol.K)
T(K)	298	303	313	-0,345	16,72
200(mg/l)	-5,24	-5,52	-5,52		
250(mg/l)	-4,93	-5,47	-5,45	3,83	29,88

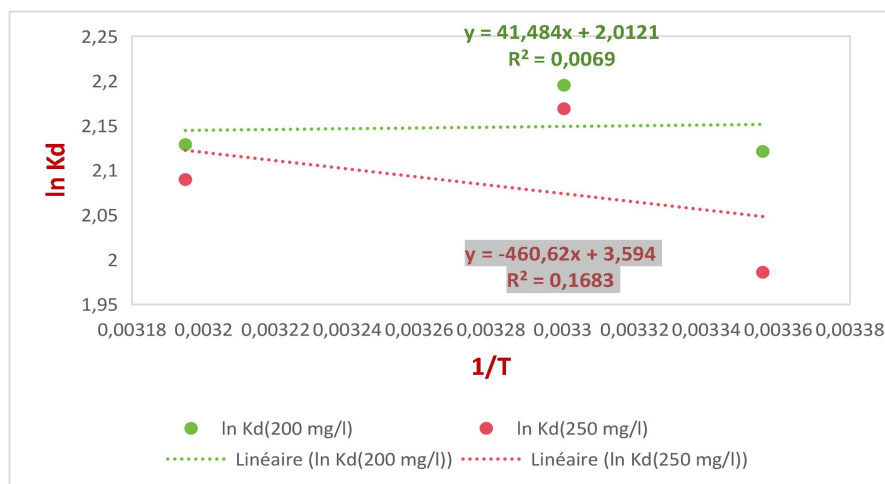


Figure III.13:La thermodynamique d'adsorption

L'étude thermodynamique de l'adsorption montre que les valeurs de l'énergie libre de Gibbs (ΔG°) sont négatives pour toutes les températures étudiées, ce qui indique que le processus d'adsorption est spontané et favorable thermodynamiquement.

La valeur positive de l'enthalpie standard pour 250 mg/l ($\Delta H^\circ > 0$) suggère que le processus est légèrement endothermique, et pour 200 mg/l ($\Delta H^\circ < 0$) suggère que le processus est légèrement exothermique.

Par ailleurs, la valeur positive de l'entropie ($\Delta S^\circ > 0$) indique une augmentation du désordre à l'interface solide-solution, probablement due à la libération des molécules d'eau lors de la fixation de l'adsorbant sur la surface de l'adsorbant. Enfin, les faibles valeurs de ΔH° suggèrent que le mécanisme d'adsorption est principalement de nature physique (physisorption).

Conclusion générale

Conclusion générale:

L'objectif principal de ce travail était l'étude de la valorisation d'un déchet textile par la production d'un charbon actif, dans le but de valoriser un résidu industriel à faible coût et de proposer une solution écologique pour le traitement des eaux contaminées.

Ce travail a été réalisé en deux parties principales. La première partie a concerné la préparation, l'activation et la caractérisation du biosorbant obtenu à partir des déchets textiles. La seconde partie a porté sur l'étude des paramètres influençant l'adsorption du bleu de méthylène ainsi que sur la modélisation de l'équilibre, de la cinétique et de la thermodynamique du processus d'adsorption.

Les principaux résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

- Les analyses de caractérisation ont montré que le matériau préparé possède une bonne capacité adsorbante, confirmée par les valeurs obtenues de l'indice de bleu de méthylène et de l'indice d'iode, traduisant le développement de la microporosité du matériau et une structure poreuse favorable à l'adsorption .
- La valeur du pH au point de charge nulle ($pH_{pZC} \approx 8,1$) indique que la surface de l'adsorbant devient favorisant à l'adsorption des espèces cationiques telles que le BM
- L'étude de l'effet du temps de contact a montré que l'équilibre d'adsorption est atteint après environ 30 minutes, ce qui traduit une adsorption rapide du colorant sur le matériau préparé.
- L'augmentation de la masse d'adsorbant améliore significativement le rendement d'élimination grâce à l'augmentation du nombre de sites actifs disponibles à la surface du biosorbant.
- L'influence du pH a révélé que l'adsorption du bleu de méthylène est efficace sur une large gamme de pH, avec des rendements d'élimination supérieurs à 98 %.

- L'étude des isothermes d'adsorption a montré que la quantité adsorbée augmente avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant, ce qui traduit une forte affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat.
- Parmi les modèles d'isothermes étudiés (Langmuir, Freundlich), le modèle de Freundlich a fourni le meilleur ajustement des données expérimentales, indiquant que l'adsorption se déroule principalement sous forme d'une multicouche à la surface du matériau.
- L'étude cinétique a montré que le modèle de pseudo deuxième ordre décrit convenablement le phénomène d'adsorption, ce qui confirme la bonne concordance entre les données expérimentales et le modèle théorique.
- L'étude thermodynamique a révélé que les valeurs négatives de l'énergie libre de Gibbs ($\Delta G^\circ < 0$) indiquent que l'adsorption est spontanée et thermodynamiquement favorable.
- La valeur positive de l'enthalpie standard ΔH° montre que la Nature thermique du processus , tandis que la valeur positive de l'entropie ($\Delta S^\circ > 0$) traduit une augmentation du désordre à l'interface solide-solution au cours de l'adsorption.
- Les faibles valeurs de ΔH° suggèrent que le mécanisme dominant est principalement une physisorption.

En conclusion, les résultats obtenus démontrent que le biosorbant élaboré à partir de déchets textiles constitue un adsorbant performant, économique et respectueux de l'environnement pour l'élimination du bleu de méthylène des eaux polluées. Cette étude ouvre ainsi des perspectives intéressantes pour la valorisation des déchets textiles dans le domaine du traitement des eaux usées.

Références Bibliographique

- [1] F.Benamraoui. «Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs Synthétisés à partir des résidus de l'agriculture.» (2009).
- [2] H. Ben Mansour, O. Boughzala. D. Dridi. D. Barillier. L. Chekir Ghedira. R. Mosrati. «Les colorantes textiles sources de contamination de l'eau: Criblage de la toxicité et des méthodes de traitement». Journal of Water Science 24,209-238. (2011).
- [3] Sophie De Reguardati et William Barthe. «Les colorants organiques utilisés en Teinturerie». Museum National d'Histoire Naturelle (2012).
- [4] N. Alaounia. Dégradation photocatalytique de polluants organique «Méthyle orange. Pentachlorophénol et Acide benzoïque» en présence du dioxyde de titane nanocristallin élaboré par la méthode sol-gel. (2009).
- [5] N. Djebbari, A. Benkerrou. «Préparation et caractérisation des microsphères base de PEEK- WC/D2EHPA, appliquées à l'adsorption de la Rhodamine B et de Bleu de Méthylène >». Mémoire de Master. Université de Bejaia (2016).
- [6] D.Chebli, Traitement des eaux usées industrielles: Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique, Thèse de Doctorat, Université Farhat Abbas-Sétif-Algérie, 2012.
- [7] F.Benamraoui, Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture, Diplôme de Magister, Université Ferhat Abbas -Sétif- Algérie, 2014.
- [8] Madani M.A. Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) Sur différents adsorbants (charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite), Mémoire de Master, Université Mohamed khaidr-Biskra, Juin 2014.
- [9] Zhenwang L. Zhenluc L. Jranjan L. The pt dye molecular structure and its Chromophoriclumnesences mechanisme, 15th word conference on non-destructive testing 15-21 October (2000), Rome.
- [10] Melle Fatima Zahra SAIDI. Elimination du Bleu de Méthylène par des Procédés d'Oxydation Avancée. Mémoire de magister en chimie (Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen-); 2013; p11.
- [11] K.T.Chung., G.E. Fulk., A.W. Andrew. Mutagenicity testing of some commonly

used dyes. Appl. Environ. Microbiol., vol 42, 1981. p 641-648.

[12] H. Zollinger. Color Chemistry syntheses, proprieties and applications of organic dyes and pigments. VCH Publications, New York, N.Y(1991).

[13] A.Boulal, Bouachma Mustapha, Etude cinétique de la dégradation d'une colo rant par oxydation, Diplôme de Master, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf- Oran-Algérie, 2014.

[14] BAGHRICVHE O (2005). Contribution de méthodes destructives (Photolyse et P.O.A's) et non destructives à l'élimination de deux colorants (bleu de méthylène et rouge Congo) en solution aqueuse. Mémoire de magister en science exacte, option chimie, université deCONSTANTINE, pp : 3,9,10.

[15] BOUMCHITA S, LAHRICHI A, BENJELLOUN Y, LAIRINI S, NENOV v, ZERROUQ F (2016). Elimination d'un colorant cationique dans une solution aqueuse par un déchet alimentaire : Epluchure de pomme de terre. J Mater. Environ. Sci. 7 (1):73-84, ISSN: 2028-2508.

[16] KHALFAOUI A (2012). Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange et de Banane. Thèse de doctorat en sciences, option génie des procédés, université de CONSTANTINE, pp: 130-132.

[17] BALITI J, ASNAOUI A, ABOUARNADASSE S (2014). L'élimination du bleu de méthylène par une argile naturelle de Taza en milieu aqueux. International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) ISSN: 2349-2163, Volume 1 Issue 6: 314.

[18] XIULI H, WEI W, XIAOJIAN M (2011). Adsorption characteristics of methylene blue onto low cost biomass material lotus leaf. Chemical Engineering Journal. Vol171: 1-8.

[19] HAO C, JIE Z, GUOLIANG D (2011). Silkworm exuviae: A new non-conventional and low- cost adsorbent for removal of methylene blue from aqueous solutions. Journal of Hazardous Materials; 186: 1320-1327.

[20] DeLaat J., Contribution à l'étude du mode de l'élimination de molécules organiques modèles sur le charbon actif en grain. Interaction entre les processus d'adsorption et de

- biodégradation. Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université de Poitiers (1988).
- [21] Cookson J.T., Adsorption Mechanismes: the chemistry of organic adsorption on activated carbon, in carbon adsorption Handbook. Edited by Chrismon P. N. and Ellerbusch F ; Ann Arbor science, USA, (1978).
- [22] Matson J. S. and Mark H. B., Activated carbon. Surface chemistry and adsorption from solution. Marcel Dekker, Inc. New York (1971).
- [23] DeLaat J., Contribution à l'étude du mode de l'élimination de molécules organiques modèle sur le charbon actif en grain. Interaction entre les processus d'adsorption et de biodégradation Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université de Poitiers (1988).
- [24] A. Boucif (2009). Etude de la co-adsorption de deux pesticides (Diuron et Metribuzine) sur un charbon actif en poudre, Mémoire de magister, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, p. 10.
- [25] M.O. Benabderrahmane (2006). Biosorption du plomb sur une biomasse (*Pleurotus Mutilus*). Ingénieur d'état, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, p. 2.
- [26] I. Bounour (2000), Modélisation des isothermes d'adsorption dans le cas de : phénol et de bleu de méthyle sur le charbon actif en grain, Ingénieur d'Etat, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, p.6.
- [27] Babakhouya N. Récupération des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels, Mémoire de Magister, Université M'hamed Bougara- Boumerdes, 2009-2010.
- [28] CHITOUR C. Physico-chimie des surfaces << l'adsorption gaz-solide et liquide solide>>, Tome 2, office des publications Universitaires, Edition n°4556,09/2013.
- [29] AKSAS H (2013). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels. Thèse de doctorat en génie des procédés, option génie de l'environnement, université de BOUMERDES, pp 23, 24, 93, 120.
- [30] M. R. Samarghandi, M. Hadi, S. Moayedi, and F. B. Askari, "Two-parameter isotherms of methyl orange sorption by pinecone derived activated carbon," Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, vol. 6, no. 4, pp. 285-294, 2009.
- [31] M.O. Benabderrahmane (2006), Biosorption du plomb sur une biomasse (*Pleurotus*

Mutilus), Ingénieur d'état, Ecole Nationale Supérieure polytechnique, p. 2.

[32] J. Omlin, L. Chesaux, Evaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 2010 [33] R.C. Bansal, J.B. Donnet, F. Stoeckli. Active Carbon, New York, (1988).

[34] R. Malik, D.S. Ramteke, S.R. Wate. Adsorption of malachite green on groundnut shell waste

based powdered activated carbon. Waste Management, 27 (2007) 1129-1138.

[35] S. Hazourli, « adsorption et électrosorption de composés organiques sur charbon actif m grains », Thèse de doctorat, USTHB 1991.

[36] I. Bounour (200), Modélisation des isothermes d'adsorption dans le cas de phénol et de bleu de méthyle sur le charbon actif en grain, Ingénieur d'Etat, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, p.6.

[37] E. Fernandez Ibañez (2002), Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux durs et mous, Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, p.12-16.

[38] Benderdouche, N. Activation d'un précurseur naturel en vue de l'adsorption de cuivre, nickel et acide acétique, Ph.D. Thèse, Département De Chimie, Université de L'U.S.T- ORAN.2004.