



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE CHIMIQUE**

THÈME

**Valorisation de la poussière de coton comme biosorbant pour
l'élimination des colorants textiles**

Présenté par

1-GUENOUNA Ahlam

2- LAHOUEL Linda

Soutenu le 01 /07 / 2025 devant le jury composé de :

Président : ATTOUTI Salima MCA Université de Mostaganem

Examineur : MELLOUK Senia MCA Université de Mostaganem

Rapporteur : ABDELLI Islam Safia MCA Université de Mostaganem

Remerciements

Ce mémoire a été réalisé au sein du laboratoire pédagogique du Département de Génie des Procédés , appartenant à la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, à laquelle nous exprimons notre profonde reconnaissance.

Nous remercions en premier lieu Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir donné la force physique, morale et intellectuelle nécessaire pour mener à bien ce travail.

Nos sincères remerciements vont à Madame Abdelli Safia, pour son encadrement rigoureux, sa patience, ses conseils précieux et son soutien constant.

Nous exprimons également notre gratitude à Madame Attouti Salima , professeure à l'Université de Mostaganem, pour l'honneur qu'elle nous a fait en présidant notre jury de soutenance et pour son aide scientifique et technique, ainsi que pour sa disponibilité et ses conseils avisés.

Nos remercienment à Madame Mellouk Senia d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Un grand merci au Dr. Mekibes Zohra , chef du Département de Génie des Procédés , pour son soutien institutionnel, sa bienveillance et son encouragement.

Un remerciement particulier à Madame Fouzia , ingénieur du laboratoire pédagogique, pour son accompagnement quotidien et sa rigueur professionnelle loes séances pratiques

Nos remerciements s'adressent aussi aux doctorants du laboratoire STEVA pour leur soutien moral, leurs encouragements et leur esprit collaboratif.

Dédicaces

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

Abstract

The textile industry is one of the main sources of environmental pollution, particularly due to the discharge of wastewater containing synthetic dyes that are difficult to degrade. In view of this issue, the search for economical and sustainable solutions for treating such effluents has become essential. In this context, our work is part of an approach to valorize cotton dust — a commonly overlooked textile waste — as a natural biosorbent for the decolorization of contaminated water.

The experimental study focused on the adsorption of two model dyes: Methylene Blue (MB) and Acid Green 25 (AG25). Parameters influencing the adsorption process, such as biosorbent dosage, contact time, and pH, were evaluated. In addition, adsorption kinetics and isotherms were analyzed in order to identify the most suitable models (pseudo-first order, pseudo-second order, Langmuir, Freundlich, Temkin).

The obtained results show that cotton dust exhibits promising adsorption capacity, with high efficiency for both dyes depending on the experimental conditions. The fitting to kinetic and thermodynamic models also helps to clarify the interaction mechanisms between the biosorbent and the dye molecules.

Keywords : valorization, adsorption, cotton dust, industrial waste, Methylene Blue, AG25

الملخص

تُعتبر صناعة النسيج واحدة من أبرز مصادر التلوث البيئي، وخاصةً من خلال تصريف مياه الصرف الملوثة التي تحتوي على أصباغ صناعية يصعب تحليلها. وفي مواجهة هذه المشكلة، أصبح البحث عن حلول اقتصادية ومستدامة لمعالجة هذه المخلفات أمراً بالغ الأهمية. في هذا الإطار، يندرج عملنا ضمن منهجية لاستغلال "غبار القطن"، وهو نفاية نسيجية غالباً ما تُهمل، كمادة ماصّة طبيعية لتنقية المياه الملوثة.

شملت الدراسة التجريبية إزالة صبغتين نموذجيتين هما: الزرقاء الميثيلينية (BM) والأخضر الحمضي 25 (AG25) تم تقييم مختلف المعايير المؤثرة على عملية الامتصاص مثل كمية المادة الماصة، زمن التماس، ودرجة الحموضة (pH). بالإضافة إلى ذلك، تم تحليل كل من حركية وحيود الامتصاص بهدف تحديد الأنسب من بين النماذج الرياضية المستخدمة (الترتيب الأول الوهمي، الترتيب الثاني الوهمي، لانغموير، فريوندليخ، تمكين).

أظهرت النتائج أن غبار القطن يتمتع بقدرة امتزاز واعدة، مع كفاءة عالية لإزالة الصبغتين حسب الظروف التجريبية. كما ساعدت ملاءمة النتائج مع النماذج الحركية والحرارية في توضيح آليات التفاعل بين المادة الماصة والجزيئات الصبغية.

الكلمات المفتاحية : الاستغلال، الامتزاز، غبار القطن، النفايات الصناعية، الزرقاء الميثيلينية، AG25

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 la décoloration des eaux contaminées.

L'étude expérimentale menée a porté sur l'adsorption de deux colorants modèles : le Bleu de méthylène (BM) et l'Acide vert 25 (AG25). Les paramètres influençant le processus d'adsorption tels que la dose du biosorbant, le temps de contact et le pH ont été évalués. En outre, les cinétiques et les isothermes d'adsorption ont été analysées afin d'identifier les modèles les mieux adaptés (pseudo-premier ordre, pseudo-second ordre, Langmuir, Freundlich, Temkin).

Les résultats obtenus montrent que la poussière de coton présente une capacité adsorbante prometteuse, avec une meilleure efficacité pour les deux colorants selon les conditions expérimentales. L'ajustement aux modèles cinétiques et thermodynamiques permet également d'éclairer les mécanismes d'interaction entre le biosorbant et les molécules colorantes.

Mots Clés : valorisation, adsorption, poussière de coton, déchet industriel, Bleu de méthylène, AG 25

Liste des figures

Figure 01 : Poussière de coton	04
Figure 02 : Domaine d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau	09
Figure 03: Mécanisme d'adsorption	09
Figure 04 : L'isotherme d'adsorption	10
Figure 05 : Classification des isothermes d'adsorption	11
Figure 06 : procédé du prétraitement de bioadsorbant	17
Figure 07 : Matériels et verrires utilisés	18
Figure 08 : L'appareil de spectrophotométrie UV- visible (OPTIZEN)	18
Figure 09 : Principe de Beer Lambert (La cuve)	19
Figure 10 : Les colorants de bleu de méthylène BM et l'acide vert AG25.	20
Figure 11 : Les solutions filles pour l'établissement de la courbe d'étalonnage	22
Figure 12 : Courbe d'étalonnage de BM	26
Figure 13 : Courbe d'étalonnage de AG25	26
Figure 14 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de temps pour l'adsorption de BM	27
Figure 15 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de la dose pour l'adsorption de BM	28
Figure 16 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de pH pour l'adsorption de BM	28
Figure 17 : L'isotherme d'adsorption de BM	29
Figure 18: L'isotherme de Langmuir pour l'adsorption de BM	29
Figure 19 : L'isotherme de Freundlich pour l'adsorption de BM	30
Figure 20 : L'isotherme de Temkine pour l'adsorption de BM	30
Figure 21 : Modèle cinétique de pseudo premier ordre de BM	31
Figure 22 : Modèle cinétique de pseudo deuxième ordre de BM	31

Figure 23 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de temps pour l'adsorption de l'AG25	33
Figure 24 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de la dose pour l'adsorption de l'AG25	34
Figure 25 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de pH pour l'adsorption de l'AG25	34
Figure 26 : L'isotherme d'adsorption de AG25	35
Figure 27 : L'isotherme de Langmuir pour l'adsorption de AG25	35
Figure 28 : L'isotherme de Freundlich pour l'adsorption de AG25	36
Figure 29 : L'isotherme de Temkine pour l'adsorption de AG25	36
Figure 30 : Modèle cinétique de pseudo premier ordre de AG25	37
Figure 31 : Modèle cinétique de pseudo deuxième ordre de AG25	38

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractérisation physico-chimiques du colorant de BM et AG25	20
Tableau 02 : Valeur de l'indice de bleu de méthylène IBM	26
Tableau 03 : Constantes de Langmuir , Freundlich et Temkine pour l'adsorption de BM	31
Tableau 04 : Constantes de Langmuir , Freundlich et Temkine pour l'adsorption de AG25	37

Sommaire

Introduction générale :	1
Partie 01: Présentation du bio-sorbant	4
I.1.2. <i>Présentation de la poussière de coton</i> :(technique d'ingénieur 2018)	4
I.1.4. <i>Pollution de poussière de coton</i> :(Jones, n.d., Sciences direct).....	5
.....	6
I.1.5. <i>Applications de la poussière de coton</i>	6
Partie 02: généralités sur l'adsorption.....	8
<i>Capacité d'adsorption</i>	10
I.2.1.5 <i>Classifications des isothermes d'adsorption</i>	11
I.6.7. Cinétique d'adsorption :	14
II.1. Prétraitement de biosorbant :	17
II.2. Matériel utilisés :	17
II.3. Appareillage :	18
II.4. Colorants utilisés :	19
II.5. Détermination de l'indice de bleu de méthylène (IBM) :	20
II.6. Adsorption de bleu de méthylène (BM) :	22
II.6.2.3. Effet de l'influence de pH	23
II.7. Adsorption de l'acide vert (AG 25):	23
III.1. Caractérisations des biosorbants :	26
Pour établir les courbes d'étalonnage , le domaine des concentrations en colorants variait entre 1 à 6 mg/L pour le BM , et entre 3.11 à 93.33 mg/L pour AG25	26
III.2.3. <i>Effet de pH</i> :	28
III.3. L'adsorption de l'acide vert AG25 :	33
Conclusion générale.....	39

Liste d'abréviation

Tayal :Textile Algérie Yarn Atelier Lissage .

SPA:Société Par Action .

Q_e :Quantité adsorbée par unité de l'adsorbant à l'équilibre en (mg/g).

Q_t:Quantité d'adsorbat par gramme d'adsorbant à un temps t (mg/g).

Q_m:Quantité maximale d'adsorption en (mg/g).

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

C_{éq}:Concentration à l'équilibre de l'adsorbat en (mg/l).

Abs:L'absorbance ou densité optique.

E (%) : Le taux d'élimination en % .

t : Le temps de contact en min .

HCL:Acide chlorhydrique.

NaOH : Hydroxyde de sodiume .

AG25 : L'acide vert .

BM:Bleu de méthylène.

K₁:Constante de vitesse de pseudo premier ordre en min⁻¹.

K₂:Constante de vitesse de pseudo deuxième ordre en g.mg⁻¹.

I₀,I :Intensité du faixeu émergent ei incident .

L:La longueur de la cuve en m

IBM: Indice de bleu de méthylène.

Introduction générale :

Ces dernières années, la pollution environnementale est devenue un enjeu majeur affectant de nombreux secteurs industriels. Parmi eux, l'industrie textile se distingue par la quantité importante de déchets liquides et solides qu'elle génère, souvent chargés de substances polluantes telles que les colorants synthétiques. Ces composés, largement utilisés dans les procédés de teinture, présentent des risques écotoxicologiques importants dus à leur nature complexe et à leur résistance à la dégradation.

Dans ce contexte, la poussière de coton, un sous-produit courant de l'industrie textile, apparaît comme un déchet difficile à valoriser et représente un problème environnemental croissant en raison de ses impacts potentiels sur la santé humaine et l'environnement. Cependant, cette matière possède des caractéristiques physico-chimiques intéressantes qui en font un candidat prometteur pour être utilisé comme biosorbant dans le traitement des eaux usées.

L'adsorption, méthode simple, efficace et économiquement avantageuse, s'impose aujourd'hui comme une solution privilégiée pour l'élimination des polluants, notamment les colorants, présents dans les effluents industriels. Ainsi, notre travail s'inscrit dans une démarche de valorisation de la poussière de coton, souvent négligée, en tant que matériau biosorbant naturel et peu coûteux.

L'objectif principal de ce mémoire est d'étudier les capacités adsorbantes de la poussière de coton vis-à-vis de deux colorants modèles : le Bleu de méthylène (BM), colorant cationique, et l'Acide vert 25 (AG25), colorant anionique. Cette étude expérimentale vise à évaluer l'influence des paramètres opératoires tels que la masse du biosorbant, le temps de contact, la concentration initiale des colorants et le pH du milieu aqueux. Par ailleurs, les cinétiques d'adsorption ainsi que les isothermes seront analysées afin d'identifier les modèles les mieux adaptés (pseudo-premier ordre, pseudo-second ordre, Langmuir, Freundlich, Temkin), permettant ainsi de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu.

Le présent mémoire est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique portant sur les différents types d'adsorbants, les mécanismes d'adsorption ainsi que les méthodes de caractérisation des matériaux biosorbants.

Le deuxième chapitre décrit les matériels utilisés ainsi que les protocoles expérimentaux mis en œuvre pour la préparation et la caractérisation du biosorbant.

Le troisième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus lors de l'étude de l'adsorption des deux colorants, accompagnés d'une analyse approfondie des paramètres influençant le processus ainsi que des modèles cinétiques et thermodynamiques appliqués.

Enfin, une **conclusion** générale fait le point sur les principaux résultats obtenus, les perspectives de valorisation du matériau étudié, et propose des axes d'amélioration pour des travaux futurs.

Chapitre I : Synthèse bibliographique



Partie 01: Présentation du bio-sorbant

I.1.1.Présentation « TAYAL industrie » :(TAYAL,n.d.)

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 tricotés 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 ».

I.1.2.Présentation de la poussière de coton :(technique d'ingénieur 2018)

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 est 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 01 : 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.1.3.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 apparente :**Relativement faible (environ 0.4 à 0.6 grames 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 électrostatiques
- **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.1.4.Pollution de poussière de coton :(Jones, n.d.,Sciences direct).

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 fine.

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'installations de systèmes de ventilations et de filtration d'air ,peuvent réduire de 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.

1.1.5.Applications 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 est un biosorbant utilisé dans le traitement des eaux pour éliminer divers polluants.Sa fonctionnels lui permettent de capter efficacement des contaminants tels que **les métaux lourdes,les colorants et les substances organiques**.Cette approche offre une solution écologique et économique pour la purification de l'eau

Production des biocarburants

L'huile extraire des graines de farine de coton peut être transformée en biodiesel,offrant une alternative renouvelable aux combustibles fossile

Industrie chimique et pharmaceutique :

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

Partie 02: généralités sur l'adsorption

1.2.1.L'adsorption :(Heinrich kayser 1881)

Le terme « adsorption » a pour la première fois été utilisé en **1881** par Kayser pour décrire et établir une différenciation entre la condensation d'un gaz à la surface et son adsorption ,processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse.

Le phénomène d'adsorption est devenu aujourd'hui un outil très nécessaire pour la purification et la séparation des substances indésirables .Il est largement répondu pour l'élimination des polluants organiques tels que les colorants ,il a également une applicabilité large dans le traitement d'eaux résiduaires.

L'adsorption est un phénomène physico-chimique qui se manifeste principalement par une modification de concentration à l'interface entre deux phases non miscibles.Ce phénomène de surface ne doit pas être confondu avec l'absorption, qui est un phénomène de volume .On distingue cinq types d'interfaces selon la nature des phases impliqué : (gaz /liquide),(gaz /solide),(liquide /liquide),(liquide /solide)et (solide/solide).Pour chacun de ces types d'interfaces sont pures de celui ou elles forment des mélanges .

1.2.1.1. Définition

L'adsorption est un phénomène de fixation de molécules sur la surface d'un solide,ce phénomène est utilisé pour récupérer les molécules indésirables de fluide (gaz/liquide) dispersées dans un solvant .La phase constitué de molécules absorbées est appelée « **soluté** » ou « **adsorbat** » et le solide nommé “**adsorbant**”

1.2.1.2.Principe de l'adsorption

Le passage des molécules depuis la phase fluide vers l'intérieur de l'adsorbant représente le processus de transfert de masse.Ce phénomène se déroule à l'intérieur d'un grain d'adsorbant .Les matériaux adsorbants sont caractérisé par de grandes surfaces spécifiques ,souvent élaborées à partir de solides poreux industrielles.Durant l'adsorption d'un composé chimique ,tel qu'un polluant présent dans une solution aqueuse,différent étapes interviennent.

Le passage de la phase liquide à la phase solide s'effectue selon plusieurs phases que l'on peut distinguer :

➤ **Diffusion externe** :Elle s'agit du déplacement du soluté (molécules issues d'une phase liquide ou gazeuse) depuis la solution vers la surface extérieur de l'adsorbant.Ce transfert est influencé par le mouvement du liquide autour de la surface.

- **Diffusion interne** : Les molécules présentes dans le liquide s'infiltrent à l'intérieur des pores du matériau.Ce phénomène est guidé par le gradient de concentration du soluté.
- **Diffusion de surface** :Elle désigne l'ancrage des molécules sur les parois internes des pores de l'adsorbant. C'est au terme de ces différents étapes que l'élément à adsorber atteint le site actif,où il retenu selon la nature des interaction mises en jeu (**physiorption** ou **chimisorption**)

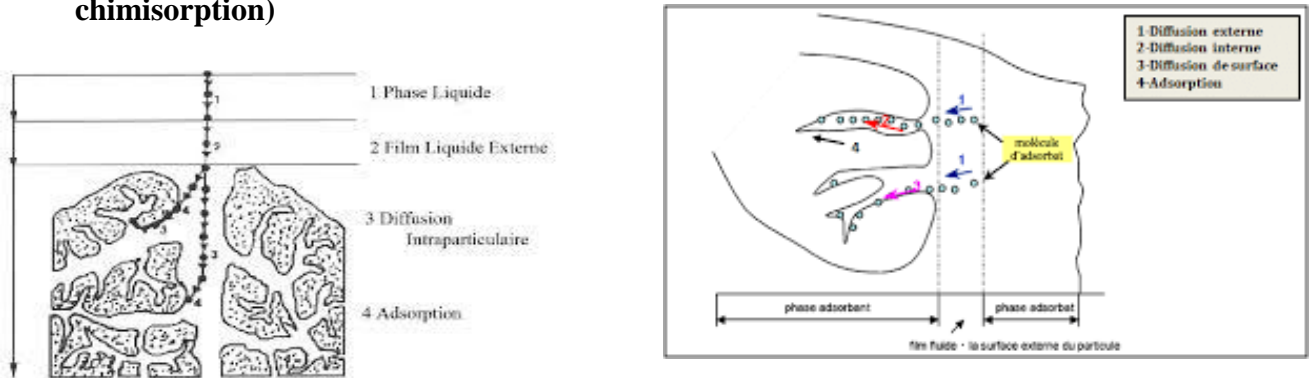


Figure 02 : Domaine d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.

1.2.1.3.Déscription du Mécanisme d'adsorption :

Le transfert d'une phase liquide contenant l'adorbant (molécule qui adsorbe vers une phase solide (l'adsorbant)avec rétention du solité à la surface de l'adsorbant peut être décomposé en quatre étapes :

Etape 01 :transfert de la particule (très rapide).

Etape02 :déplacement de l'eau liée jusqu'à être en contact de l'adsorbant (rapide).

Etape03 :diffusion à l'intérieur de l'adsorbant sous l'influence du gradient de concentration (lente).

Etape04 :adsorption dans un micropore (très rapide).

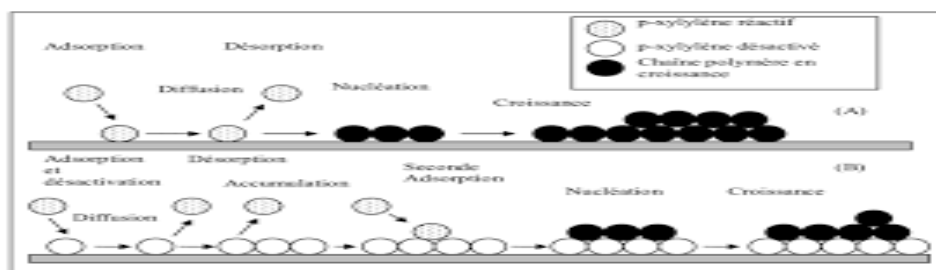


Figure 03: Mécanisme d'adsorption .

1.2.1.4.Isothermes d'adsorption :

Une isotherme d'adsorption est la variation $q_{eq} = F(C_{eq})$ de la quantité adsorbée sur un solide à l'équilibre en fonction de la concentration à l'équilibre du composé adsorbable à une température donnée. la quantité adsorbée à l'équilibre peut s'exprime dans différentes unités ;on utilise principalement dans le cas d'adsorption en phase aqueuse le **mg/g** .La quantité d'adsorption est représentée par une courbe que l'on appelle « **isotherme d'adsorption** » dont l'allure est illustrée sur la figure suivante :

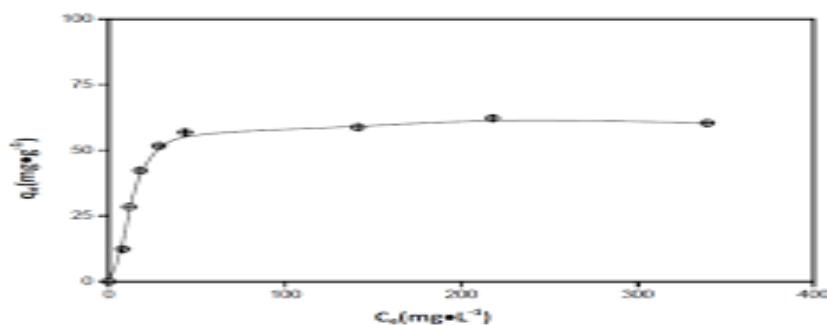


Figure 04 : l'isotherme d'adsorption (quantité adsorbée en fonction de la concentration d'équilibre) .

Capacité d'adsorption

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est définie comme étant la quantité de substrat (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'adsorbant (taille des molécules...etc) que pour l'adsorbant (surface spécifique ,structure et type des molécules...etc).Elle est maximale ,lorsqu'on atteint la saturation ,c'est- à - dire lorsque la concentration d'adsorbant dans la solution reste constante à l'équilibre.

Une courbe isotherme d'adsorption est définie par le tracé de la quantité adsorbée par unité de masse de solide Q_e (**mg/g**) en fonction de la concentration d'adsorbant en équilibre C_e (**mg/L**) dans la solution et à température constante.

Dans tous les cas,la quantité du produit adsorbée par unité de masse du solide à l'équilibre ou autrement dit,la capacité d'adsorption peut être calculée à l'aide de l'équation suivante

$$Q_e = \frac{C_0 - C_{éq}}{m} * v \dots\dots\dots (1)$$

C_0 :Concentration initiale du substrat (mg/L) à $t=0$; Q_e :Capacité d'adsorption du support (mg/g).

$C_{\text{éq}}$:Concentration à l'équilibre (mg/L).

V :Volume de la solution (L).

m: Masse du support (g).

1.2.1.5 Classifications des isothermes d'adsorption

Tous les systèmes adsorbat/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 .

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmöde), L (Langmuir), H(Haute affinité) et C(partition Constante).

- ✓ **Les courbes de type S** :s'obtiennent lors que les molécules du soluté ne s'accrochent au solide, que par l'intermédiaire d'un seul groupement.
- ✓ **Les isothermes de type L** :sont les plus fréquentes .Ce comportement se rencontre dans le cas où l'adsorption est faible et lorsque les molécules de l'adsorbat sont orientées à plat.
- ✓ **Les isothermes de type H** : s'obtiennent lors qu'il y a chimisorption du soluté .
- ✓ **Les isothermes de type C** :sont sous forme de ligne droite, ce type de courbe est obtenu lors qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant.

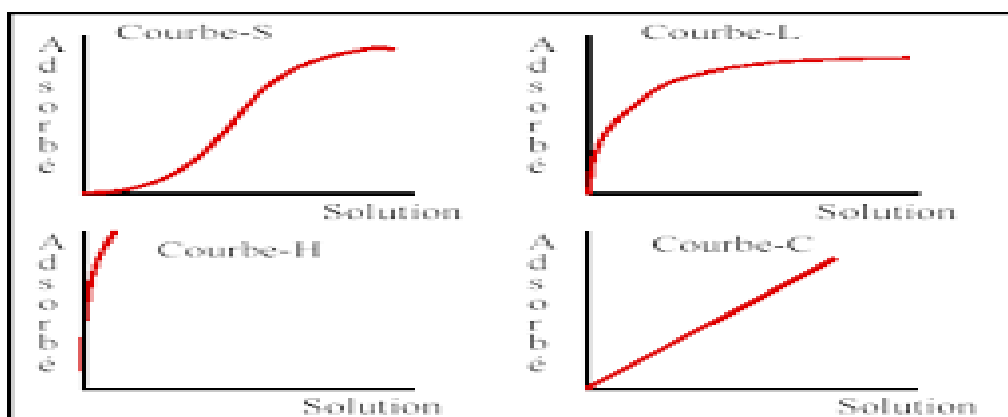


Figure 05: Classification des isothermes d'adsorption .

1.2.1.6.Modèles d'isothermes d'adsorption

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

❖ Isotherme de Langmuir

L'isotherme de Langmuir constitue un moyen pratique pour étudier l'adsorption sur une surface.Il considéré que l'adsorption de molécules au contact d'une surface sur laquelle ils peuvent s'adsorber aura les caractéristiques suivantes :

- ✓ Il n'ya qu'un composé qui peut s'adsorber.
- ✓ Les molécules sont adsorbées sur des sites identiques.
- ✓ Les molécules sont adsorbées seulement en une seule couche.
- ✓ L'adsorbant comporte un nombre déterminé et constant de sites d'adsorption.
- ✓ Il n'ya pas d'interctions entre les molécules adsorbées .

Dans ce cas d'adsorption en monocouche ,l'équation de Langmuir à l'équilibre s'écrit :

$$Q_e = Q_{max} * \frac{KL C_e}{1+KL C_e} \dots\dots\dots (2)$$

Où :

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

Q_{max} = b:quantité adsorbée à saturation (capacité d'une monocouche)(mg/g).

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

K_L :constante d'équilibre d'adsorption , dépendant de la température et des conditions expérimentales(L/mg).

La forme linéaire de l'isotherme de Langmuir est représentée par l'équation suivante :

$$\frac{éq}{Q_e} = \frac{1}{KL b} + \frac{1}{b} C_{éq} \dots\dots\dots (3)$$

Si cette équation est vérifiée, on doit obtenir en coordonnées $C_{\text{éq}}/Q_e = f(C_{\text{éq}})$ une droite de pente $1/Q_{\text{max}}$ et l'ordonnée à l'origine $1/Q_{\text{max}} * K_L$.

❖ **Isotherme de Freundlich**

Ce modèle est très utilisé dans le traitement des eaux de rejet. C'est un modèle à deux paramètres qui relie la concentration de la phase adsorbée (Q_e) à une concentration à l'équilibre de l'adsorbant ($C_{\text{éq}}$) selon l'équation suivante :

$$Q_e = K_F * C_{\text{éq}}^{1/n} \dots\dots\dots(4)$$

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

$C_{\text{éq}}$: concentration du soluté à l'équilibre (mg/L).

K_F : constante tenant compte de la capacité d'adsorption (L/g)

n : constante tenant compte de l'intensité d'adsorption.

Les valeurs de $n > 1$, indiquent une adsorption favorable, des valeurs de $n < 1$ révèlent une faible adsorption.

Les deux paramètres de Freundlich K_F et n peuvent être déterminés expérimentalement par le passage au logarithmique de l'expression pour donner :

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_{\text{éq}} \dots\dots\dots(5)$$

❖ **Isotherme de Temkin**

Cette isotherme contient un facteur qui prend explicitement en compte l'adsorbant-adsorbant interaction. En ignorant la valeur extrêmement faible et élevée des concentration, le modèle suppose que la chaleur de l'adsorption (en fonction de la température) de toutes les molécules de la couche diminuerait linéairement plutôt que logarithmique avec le taux recouvrement. Comme implicite dans l'équation, sa dérivation est caractérisée par une distribution uniforme des énergies de liaison (jusqu'à une certaine énergie de liaison

maximale) , Ont été effectuées en traçant la quantité adsorbée Q_e contre $\ln(C_e)$ et les constantes ont été déterminées à partir de la pente et de l'interception .

Le modèle d'isotherme de Temkin est généralement appliqué sous la forme suivante :

$$Q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T C_e \dots\dots\dots (6)$$

Sa linéarisation nous donne :

$$Q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e$$

$$B_T = \frac{RT}{b} \dots\dots\dots (8)$$

R : Constante de gaz parfait (**J/mol.k**).

T : La température en **K°**.

1.6.7. Cinétique d'adsorption :

Dans la littérature différents modèles cinétiques ont été utilisés pour évaluer le processus d'adsorption. Deux modèles ,pseudo- premier ordre et pseudo-deuxième ordre, sont les plus étudiés à fin de modéliser la cinétique d'adsorption et de déterminer certains paramètres cinétiques comme la constante de vitesse et la quantité adsorbée à l'équilibre.

1.6.7.1. Modèle cinétique pseudo-premier ordre :

Il est exprimé par la relation suivante :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 * (Q_e - Q_t) \dots\dots\dots (9)$$

Avec :

K₁ :la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo-premier ordre (min⁻¹).

Q_t :la capacité d'adsorption à l'instant « t » (mg/g).

Q_e :la capacité d'adsorption à l'équilibre.

L'intégration de l'équation pour les conditions aux limites q_t=0 à t=0 et q_t=q_t à t=t devient ;

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 * t$$

Où : (10)

K₁ : C'est la constante de vitesse d'adsorption de pseudo 1^{er} ordre (**min⁻¹**).

1.6.7.2 Modèle cinétique pseudo- deuxième ordre :

Le modèle cinétique du pseudo 2^{ème} est donné par l'équation suivante :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (Q_e - Q_t)$$

Après linéarisation sa forme devient $\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 * Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t$

K₂ : C'est la constante de vitesse d'adsorption de pseudo 2^{ème} ordre (**g.mg⁻¹**)

Chapitre II : Matériels et Méthodes



Ce chapitre a pour but de présenter les moyens et les méthodes expérimentales que nous avons utilisés pour la réalisation de notre étude . Cela passe par prétraitement de biosorbant ,les matériels et les appareils utilisés et nous avons decrivé les caractéristiques des colorants, notre stage est basé sur l'étude de l'influence de quelques paramètres (temps,pH,dose...etc) sur l'adsorption .

II.1. Prétraitement de biosorbant :

Les déchets sont lavés à l'eau de robinet puis à l'eau distillée plusieurs fois avant l'utilisation ,puis séchés dans une étuve à **105°C** pendant **24 h**, et enfin broyés et tamisés (tamis à maille égale à **0.14 mm**) pour avoir une poudre fine.

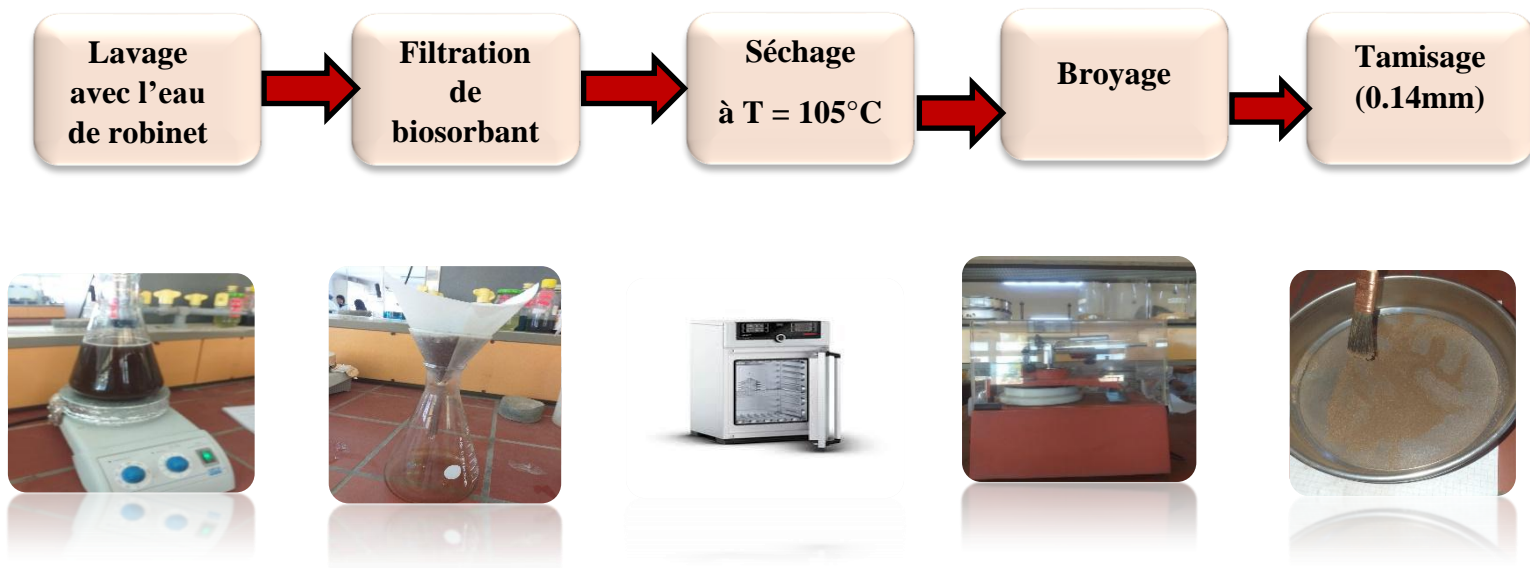








Figure 06: Procédés du prétraitement de biosorbant.

II.2. Matériel utilisés :

					
Erlenmeyer	Eprouvette	Pro-pipette	Verre de montre	Barreu magnétique	Papier filtre

					
Papier PH	Pissette	Bécher	Tubes à essais	Balance électrique	Centrifugeuse
					
Agitateur magnétique	Tamiseur	Fioles jaugées	Etuve	Spatule	Pipette

Figure 07: matériel et verreries utilisés

II.3.Appareillage :

Un spectrophotomètre est une méthode analytique **quantitative** qui consiste à mesurer l'**absorbance** ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution . Plus cette espèce est concentrée plus elle adsorbe la lumière dans les limites de proportionnalités énoncées par la **loi de Beer-Lambert**.

L'absorbance mesure la capacité d'un milieu à adsorber la lumière qui le traverse . On utilise aussi les termes **densité optique** , **opacité** ou d'**extinction** selon les domaines.

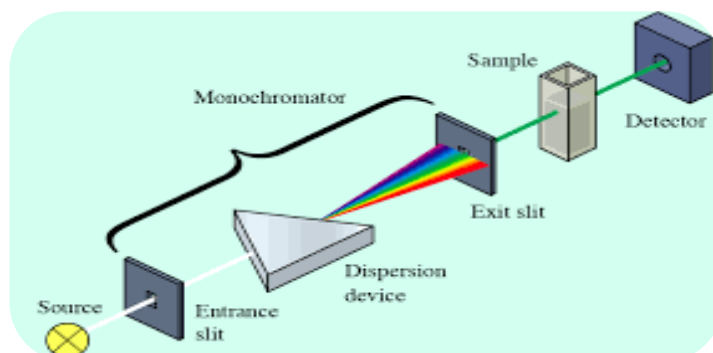


Figure 08 : l'appareil de spectrophotométrie (UV – visible) OPTIZEN.

Lorsqu'une lumière d'intensité I_0 passe à travers une solution , une partie de celle –ci est adsorbée par le soluté . L'intensité I de la lumière transmise est donc inférieur à I_0 . On définit l'absorbance de la solution comme le logarithme décimal du rapport entre l'intensité

énergétique I_0 à une longueur d'onde donnée ,avant traversée du milieu , et l'intensité énergétique transmise I , l'équation suivante représente la loi de Beer – Lambert :

$$A = \log (I_0/ I) = \log (1/T) = \epsilon LC \dots\dots\dots (12)$$

Avec :

T : facteur de transmittance.

A : absorbance ou densité optique.

C : concentration massique du composé dossé

I₀ , I :intensité du faisceau émergent et incident.

E : coefficient d'extinction.

L : longueur de la cuve.

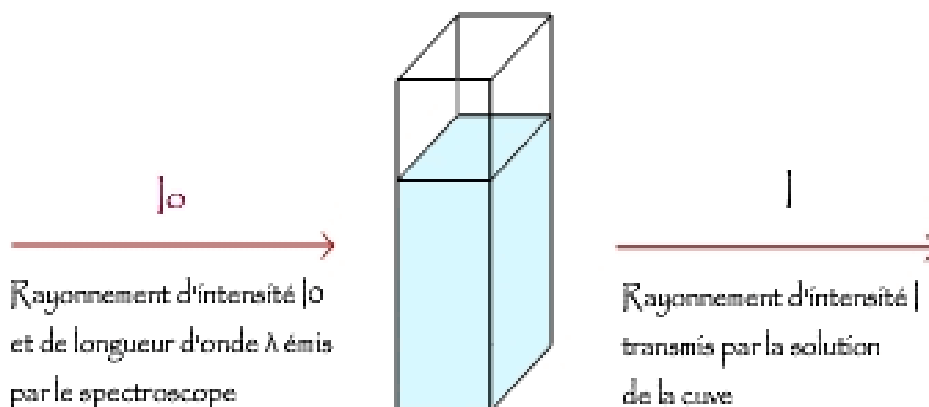


Figure 09 : Principe de Beer Lambert (la cuve) .

II.4. Colorants utilisés :

II.4.1. Bleu de méthylène(BM) :

Le bleu de méthylène est un colorant organique de couleur blue, dont la formule chimique est $C_{16}H_{18}ClN_3S$.

Il appartient à la classe des colorants thiazole et est souvent utilisé dans divers domaines, notamment la biologie , la chimie ,et la médecine ...etc

II.4.2. Acide Green (AG 25) :

Le colorant **AG25**, ou **Acid Green 25**, est un colorant acide de couleur verte de formule chimique $C_{28}H_{20}N_2Na_2O_8S_2$ utilisé principalement pour teindre les fibres comme la laine, la soie ou le nylon. Il est soluble dans l'eau et appartient à la famille des colorants azoïques. Ce type de colorant se fixe bien sur les fibres contenant des groupes basiques grâce à une liaison anionique.

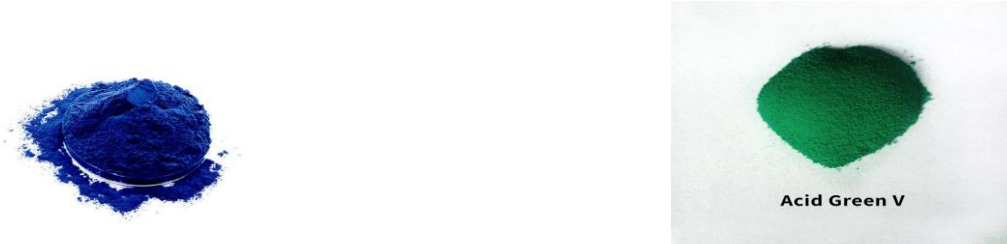


Figure 10 : Les colorants de bleu de méthylène BM et l'acide vert AG25 .

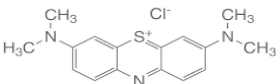
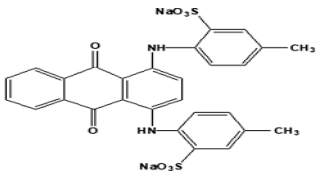
Propriétés	Bleu de méthylène (BM)	Acide green (AG25)
La formule brute	$C_{16}H_{18}ClN_3S$	$C_{28}H_{20}N_2Na_2O_8S_2$
La masse molaire (g/mol)	319.85 g/mol	622.58g/mol
La longueur d'onde(nm)	664	643
La couleur	Blue foncé	Blue-vert foncé
Caractérisation chimique	Le bleu de méthylène est un colorant Cationique hydrosoluble à base d'amine.	L'AG25 est un colorant acide hydrosoluble à structure aromatique et groupe sulfonates.
Structure chimique		

Tableau 01 :Caractérisation physico-chimiques du colorant bleu de méthylène et AG25.

II.5.Détermination de l'indice de bleu de méthylène (IBM) :

Il est une mesure utilisée principalement en chimie analytique pour évaluer la capacité d'un matériau (souvent une argile , un charbon actif ...ect) à adsorber le colorant bleu de méthylène.

Cet indice sert généralement à caractériser la surface spécifique et la capacité d'adsorption d'un solide, reflétant ainsi ses propriétés physico-chimiques.

L'indice de bleu de méthylène est défini comme la quantité (en **mg**) de BM adsorbée par gramme de matériau sec, souvent exprimé en **mg/g**.

II.5.1. Préparation des solutions :

Pour préparer une solution d'acide acétique (**0.25%**). On prend **2.5 mL** de CH₃COOH fumant dans **900 mL** 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 **253.11 mL** de CH₃COOH fumant dans une fiole et diluer jusqu' à trait de jauge .

Pour préparer une solution de **BM** de concentration (**1200 mg**) on pèse **1.2 g** de poudre de **BM** et dissoudre dans **100 mL** d'acide acétique (**50%**) et diluer jusqu' à trait de jauge (**1L**).

II.5.2. Détermination de l'indice de bleu de méthylène :

Pour déterminer l'indice de bleu de méthylène, il faut :

- Une solution d'acide acétique (**0.25%**), une solution d'acide acétique (**50%**) et une solution de BM de concentration (**1200mg/L**).
- Pipeter des concentrations différents de solution de BM (**1200 mg/L**), les mettre dans des fioles **100 mL** et diluer

Il est exprimé par la relation suivante :

$$IBM = \frac{C_0 - C_{\text{éq}}}{m} * V \dots \dots \dots (13)$$

Avec :

C₀ : Concentration initiale de solution en (**mg/L**), **IBM** ; Indice de bleu de méthylène en (**mg/g**)

C_{éq} : Concentration à l'équilibre en (**mg/L**).

V : Volume de solution en (**L**).

M : Masse de bioadsorbant en (**g**).

II.6. Adsorption de bleu de méthylène (BM) :

II.6.1. Etablissement de la courbe d'étalonnage :

A partir de la solution mère ,préparation par dilutions successives d'une série de solutions de concentrations bien déterminées de **1 à 6 mg/L**. Celles - ci sont ,par la suite, analysées par spectrophotométrie **UV- visible** après filtration ou centrifugation. La droite d'étalonnage ainsi établie représente la densité optique , au maximum de la bande d'adsorption en fonction de la concentration qui obéit à la relation de **Beer- Lambert**.



Figure 11 : Les solutions filles pour l'établissement de la courbe d'étalonnage .

Le spectre d'adsorption de (**BM**) présente un pic à la longueur d'onde $\lambda_{\text{max}} = 664 \text{ nm}$, c'est donc cette longueur d'onde qui a été utilisée pour faire les mesures par la suite. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

II.6.2. Optimisation des paramètres d'adsorption

Afin de déterminer les meilleurs conditions d'adsorption du colorant , notre étude a porté sur la variation des paramètres suivants :

II.6.2.1. Effet de temps

Afin d'étudier le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption pour le bleu de méthylène , nous avons préparé deux solutions de concentration de **100 mg/L** et **200 mg/L** et nous avons suivi la procédure suivante :

Dans une série de béchers , on introduit une masse déterminé **m = 0.05g** de bioadsorbant et **25 mL** de la solution préparée . L'ensemble est agité à des temps d'agitation allant de **10 à 120 minutes** , puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie afin de déterminer la concentration restante du colorant.

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

$$E (\%) = \frac{C_0 - C_{\text{éq}}}{C_0} * 100$$

..... (14)

II.6.2.2. Effet de la dose

On introduit dans une série de béchers contenant successivement des masses de **0.025 ; 0.05 ; 0.075 ; 0.1 et 0.15** grammes de bioadsorbant et **25 mL** de la solution de bleu de méthylène de concentrations de **100 mg/L** et **200mg/L**.

L'ensemble est agité pendant **40 min** puis centrifugé et analysés par un spectrophotomètre .

II.6.2.3. Effet de l'influence de pH

Dans une série des béchers , nous avons introduit **25 mL** de solution de **BM** de concentrations **100** et **200 mg/L** à l'un de **pH** dans les cas échéant avec l'hydroxyde de sodium (**NaOH**) **1 N** et l'acide chlorhydrique (**HCl**) **1 N** à des valeurs de pH choisi arbitrairement auxquelles nous avons ajouté une masse de bioadsorbant .

Le mélange est agité pendant un temps déterminé, puis filtré et analysé par spectrophotomètre.

II.6.3. Isothermes d'adsorption

Dans une série de béchers,nous avons introduit successivement une quantité de bioadsorbant **0.1g** et **25ml** des solutions filles connues ,de concentration qui varient entre **100** et **1000 mg/L**..Le mélange est agité pendant un temps déterminé, puis cetrifuger et analysé.On calcule ensuite la quantité adsorbée par la masse d'adsorbant.

II.6.4. Cinétique d'adsorption

Dans une série de béchers,nous avons introduit successivement une quantité d'adsorbant **0.05 g** et **25ml** des solutions de concentrations **200** et **400 mg/L**.Le mélange est agité pendant un temps de **5** jusqu' à **30min**, puis cetrifuger et analysé.

II.7. Adsorption de l'acide vert (AG 25):

II.7.1. Etablissement de la courbe étalonnage:

A partir de la solution mère , préparation par dilutions successives d'une série de solutions de concentrations bien déterminées de **3.11** à **93.33mg/L**. Celles - ci sont ,par la suite, analysées par spectrophotométrie UV visible après filtration ou centrifugation .

II7.2.Optimisation des paramètres d'adsorption:

Afin de déterminer les meilleurs conditions d'adsorption du colorant AG-25 , notre étude a porté sur la variation des paramètres suivants : l'effet de temps, effet de dose et enfin le pH. Pour ce faire, nous avons utilisé les même protocole que BM mais avec une concentrations **75 $\mu\text{mol/L}$** .

II7.3.Isothermes d'adsorption:

Dans une série de béchers,nous avons introduit successivement une quantité de bio-adsorbant de **0.1g** et **25ml** des solutions filles connues de concentration qui varient entre **25** et **200 $\mu\text{mol/L}$** . Le mélange est agité pendant un temps déterminé, puis cetrifuger et analysé .



Dans ce chapitre , nous exposons les résultats d'une recherche portant sur l'efficacité d'adsorption de deux types de colorants le bleu de méthylène (**BM**) et l'acide vert (**AG25**) considérés comme polluants organiques par un matériau naturel , on a étudié plusieurs méthodes pour caractériser le matériau . Une étude expérimentale a été menée considérant l'influence de quelques paramètres physicochimiques sur la capacité d'adsorption et le taux d'élimination du matériau utilisé , à savoir le temps de la mise en équilibre , le pH , la concentration initiale du colorant , la dose et la nature de l'isotherme et la cinétique d'adsorption .

III.1.Caractérisations des biosorbants :

III.1.1.Indice de bleu de méthylène (IBM):

La résultat obtenue est représenté dans le tableau 02.

Tableau 02 : Valeur d'indice de bleu de méthylène.

<i>Caractérisation</i>	<i>Indice de bleu de méthylène (mg/g)</i>
<i>Bio-sorbant</i>	102.3676

On remarque que plus l'indice est élevé , plus le matériau a une grande capacité à retenir des molécules organiques ou des colorants en solution , et une surface spécifique importante avec des sites actifs ou des pores adaptés pour capturer les molécules de bleu de méthylène.

III.1.2.Courbes d'étalonnage des solutions :

Pour établir les courbes d'étalonnage , le domaine des concentrations en colorants variait entre 1 à 6 mg/L pour le BM , et entre 3.11 à 93.33 mg/L pour AG25

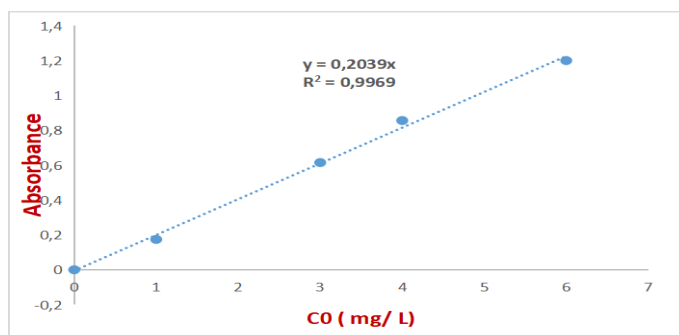


Figure 12 : Courbe d'étalonnage de BM

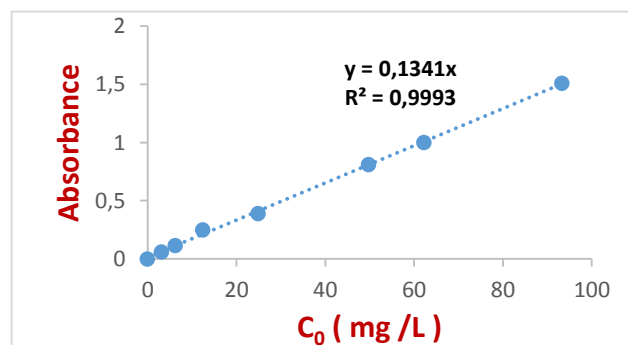


Figure 13 : Courbe d'étalonnage de AG25

III2.1.Effet de temps

Les résultats obtenus sont représentés par la figure ci-dessous:

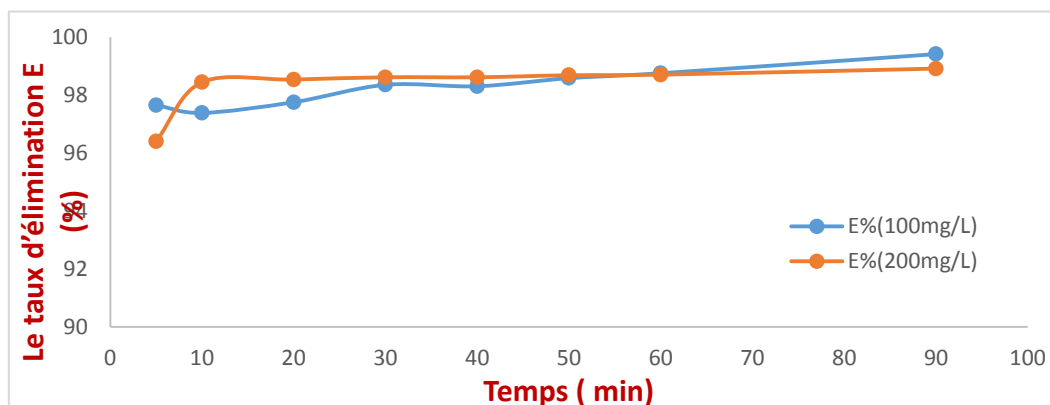


Figure 14 : l'évolution de taux d'élimination en fonction de temps .

La figure montre les résultats obtenus pour l'adsorption de bleu de méthylène (BM). On remarque que le taux d'élimination E (%) augmente avec le temps jusqu'à obtention d'un palier de saturation. Le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre est d'environ **30 minutes** pour les deux concentrations.

III2.2.Effet de dose :

La dose d'adsorbant est l'un des facteurs qui influent sur les performances d'adsorption, à cet effet, on a mélangé une solution de bleu de méthylène de concentration avec des différentes masses d'adsorbant allant de **0.025** à **0.15 g**, puis agitées à un temps déterminé, après agitation, les suspensions sont centrifugées pendant **5min** puis analysés par spectrophotométrie .

La figure suivante représente le taux d'élimination de BM en fonction de la masse d'adsorbant :

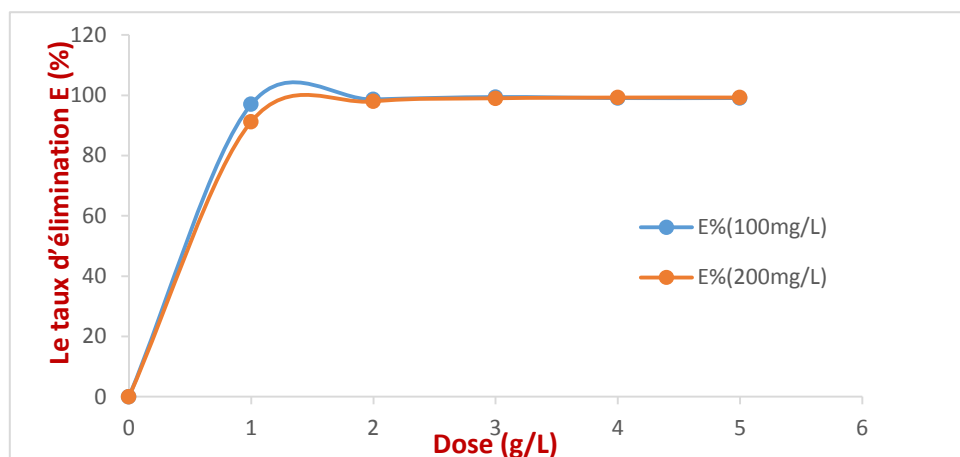


Figure 15 : évolution de taux d'élimination en fonction de la dose .

Les résultats présentés par la figure montrent que le pourcentage d'élimination augmente avec l'augmentation de la dose (masse de bio-adsorbant) jusqu' à un palier de saturation.

Le taux d'élimination maximale pour la concentration 100 mg/L est (99.073 %) et (99.25 %) pour la concentration 200 mg/L d'adsorption de bleu de méthylène est atteint pour une dose déterminé (2 g/L) .

III.2.3.Effet de pH :

Le pH joue un rôle important dans le processus d'adsorption. Les résultats de cette étude sont mentionnés dans la figure 16 qui représente l'évolution de taux d'élimination de BM en fonction de pH.

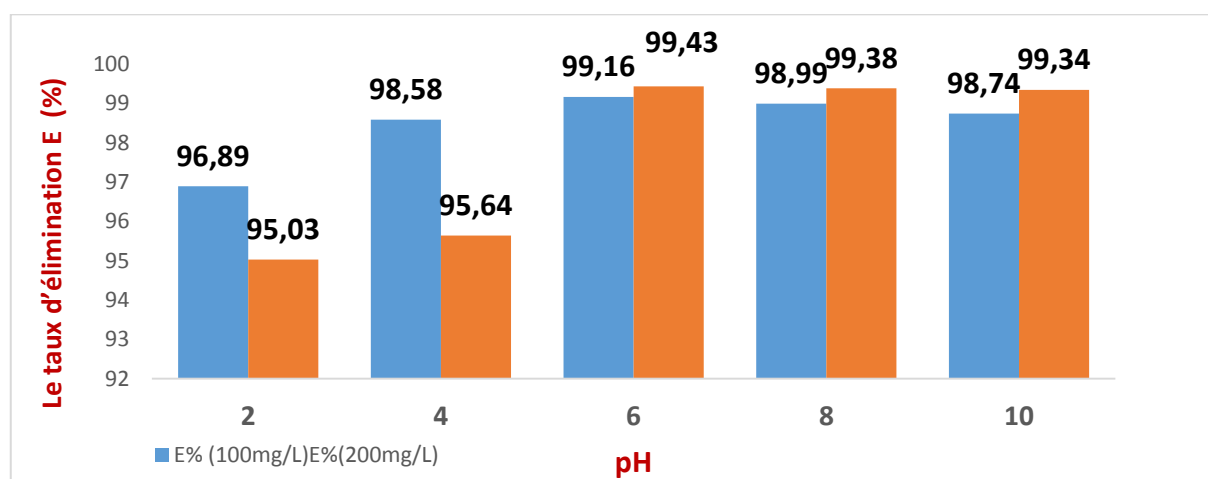


Figure 16 : l'évolution de taux d'élimination en fonction de pH

Le tracé de la courbe du pourcentage d'élimination en fonction du pH nous a permis de déterminer le milieu optimal de l'adsorption du colorant BM. D'après le graphe, on constate

que le taux d'élimination maximale est (99.16 %) pour la concentration 100 mg/L et de (99.43 %) pour la concentration 200 mg/L sont observés pour une valeur de pH optimal égale à 6 . Ce pH va être établi l'isotherme d'adsorption .

3.2.4. Capacité d'adsorption :

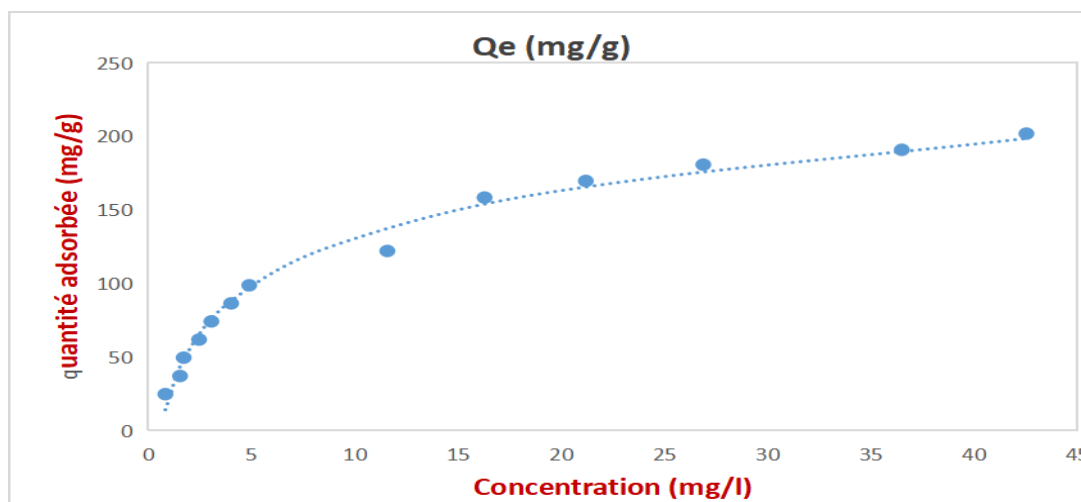


Figure 17 : Isotherme d'adsorption (la quantité adsorbée en fonction de la concentration).

Nous observons d'après la figure 17 que la quantité adsorbée augmente (Q_e) avec l'augmentation de la concentration. Ces présentations graphiques montrent que l'allure de cet isotherme adsorption s'approche beaucoup plus du type L dans la classification de Giles et Coll pour le BM.

L'isotherme d'adsorption présente un palier indiquant la saturation des sites de la surface et donc formation de la monocouche.

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

❖ Isotherme de Langmuir :

Le tracé de la courbe $C_e/Q_e = F(\ln C_{\text{éq}})$

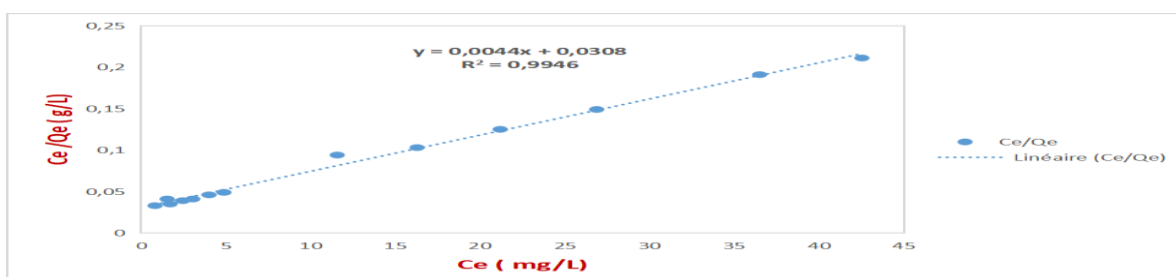


Figure 18 : L'isotherme de Langmuir .

❖ Isotherme de Freundlich :

Le tracé de la courbe $\ln Q_e = F(\ln C_e)$:

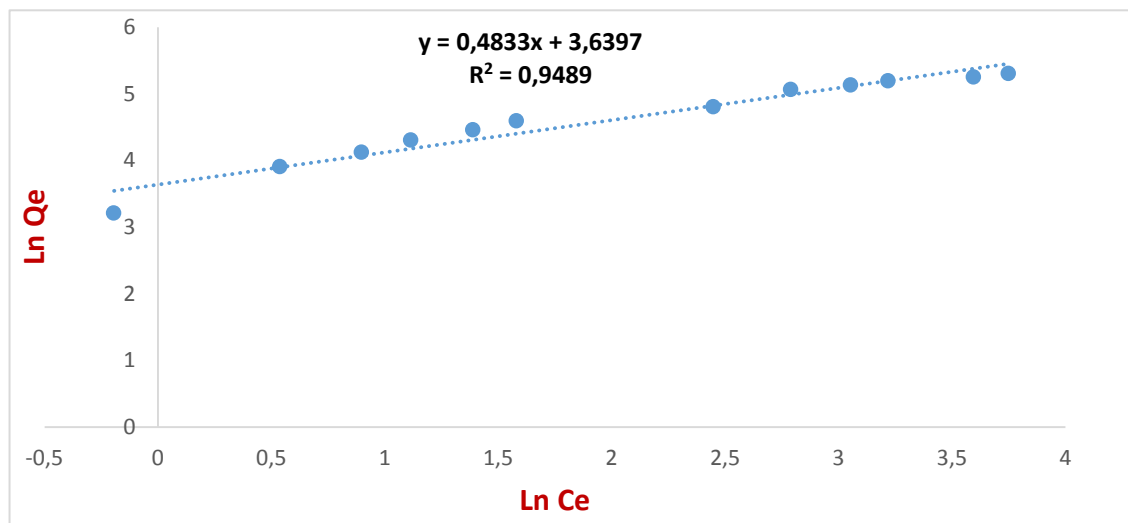


Figure 19 : L'isotherme de Freundlich .

❖ *Isotherme de Temkin :*

Le tracé de $Q_e = F(\ln C_e)$:

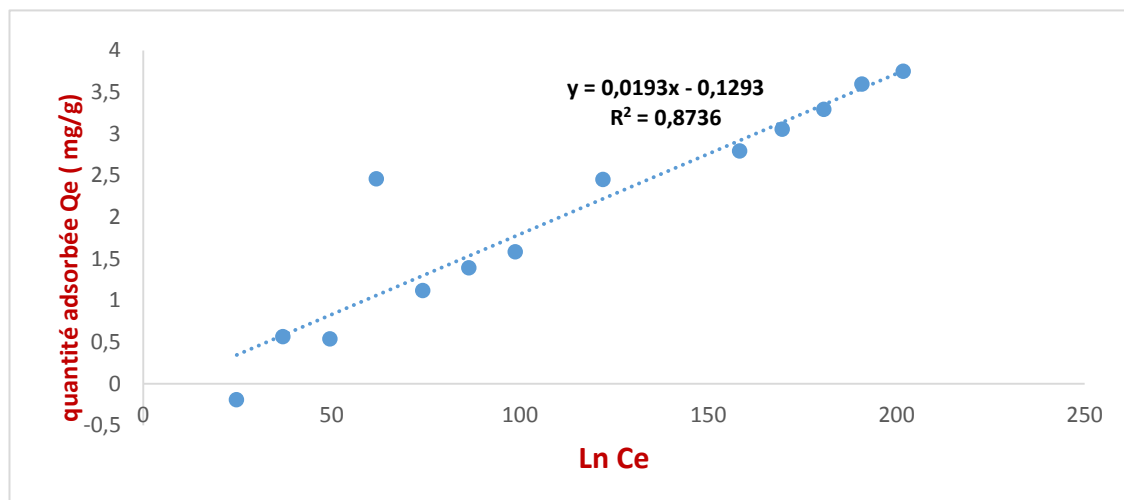


Figure 20 : L'isotherme de Temkin

A partir des résultats de modélisation des isothermes donnés dans le tableau nous observons que l'isotherme le plus acceptable c'est le modèle de **Langmuir** car le coefficient de corrélation ($R^2 = 0,9946$) est proche de 1.

<i>Modèle</i>	<i>Langmuir</i>		<i>Freundlich</i>		<i>Temkin</i>	
<i>Constantes</i>	b	K_L	K_F	n	B_T	K_T
	227.272	0.014	9.893	2.069	0.0193	-18.209

Tableau 03 : Les constantes de Langmuir , Freundlich et Temkein pour BM.

III.2.5. Cinétique d'adsorption :

III.2.5.1. Modèle cinétique de pseudo 1^{er} ordre :

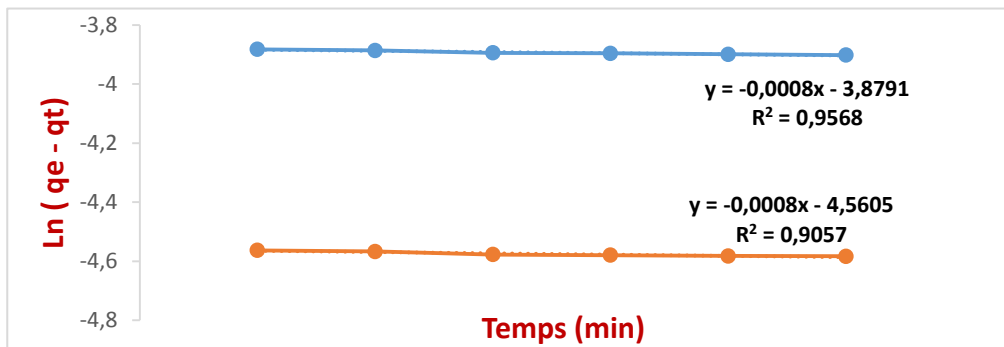


Figure 21 : Modèle cinétique de pseudo première ordre pour le BM.

III.2.5.2. Modèle cinétique de pseudo 2^{ème} ordre :

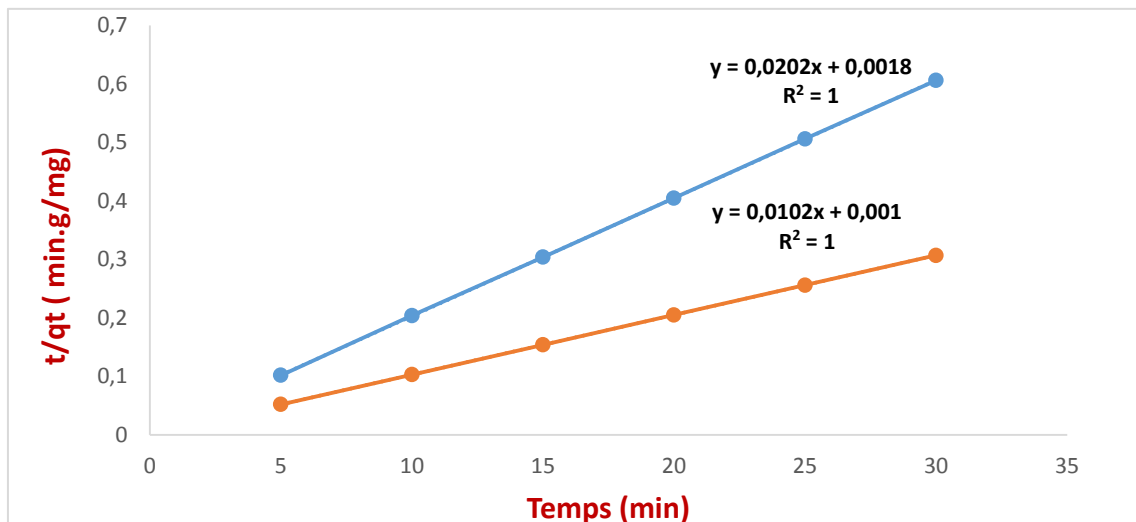


Figure 22 : Modèle cinétique de pseudo deuxième ordre pour le BM.

En analysant les graphiques représentant les modèles cinétiques de pseudo-premier ordre et de pseudo-second ordre (figure 25 et 26), il ressort que ces deux modèles s'ajustent bien aux données expérimentales. Toutefois, le modèle de pseudo-second ordre se distingue par un

ajustement parfait avec un coefficient de corrélation $R^2=1$ pour les deux courbes, ce qui indique qu'il décrit de manière optimale la cinétique d'adsorption. Ce modèle, basé sur une dépendance de la vitesse vis-à-vis de la disponibilité des sites actifs, suggère un mécanisme chimique dominant, impliquant probablement la formation de liaisons entre l'adsorbat et le bio-adsorbant.

En revanche, le modèle de pseudo-premier ordre présente également un bon ajustement ($R^2=0.9568$ pour la concentration 100 mg /l et $R^2=0.9057$ pour la concentration 200 mg/l), mais il est moins précis que le modèle de pseudo-second ordre. Il reflète plutôt un mécanisme contrôlé par diffusion ou des interactions physiques.

III.3.L'adsorption de l'acide vert AG25 :

III.3.1.Effet de temps :

De la même procédure que le BM , nous avons étudié l'influence de temps de contact , les résultats obtenus sont représentés par la figure suivante le taux d'élimination E (%) en fonction de temps :

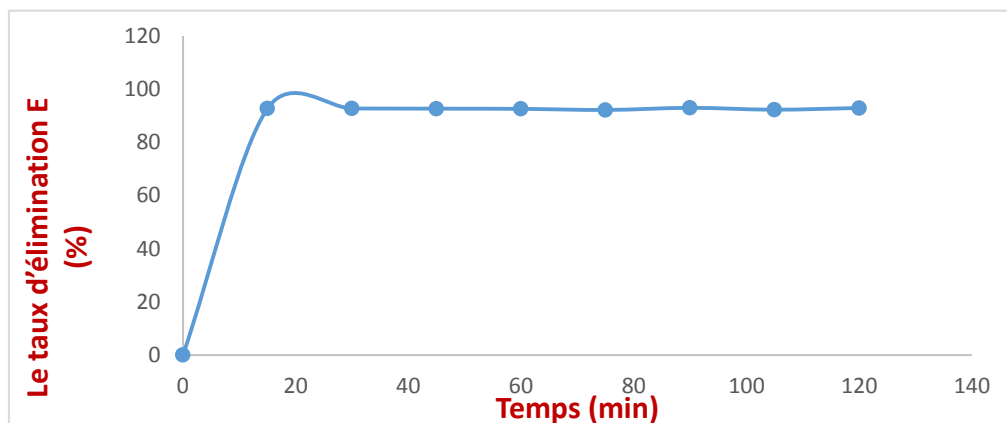


Figure 23 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de temps de l'AG25.

La courbe de la figure , montre que l'adsorption du colorant l'AG25 augmente pendant les premières minutes jusqu' à atteindre un état d'équilibre .

Le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre est d'environ **30 minutes**.

III.3.2.Effet de dose :

De la même procédure que le **BM** , nous avons étudié l'influence de la masse d'adsorbant sur l'élimination de l'AG25 .

Les résultats d'élimination de l'AG25 par différents biosorbants sont représentées graphiquement

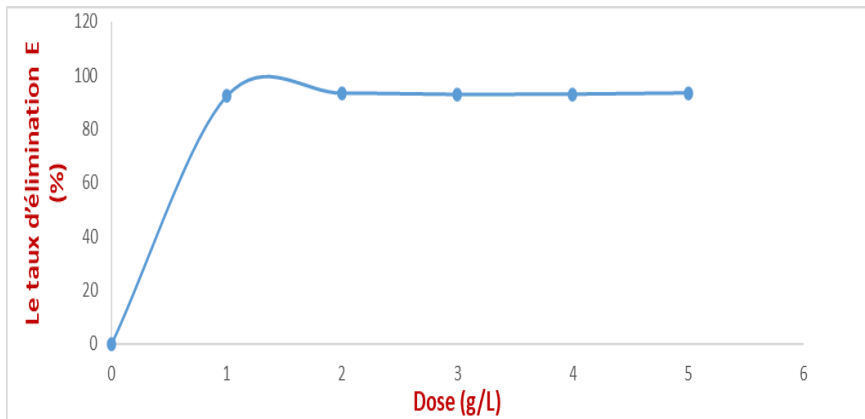


Figure 24 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de dose de l'AG25.

Ce graphe représente l'évolution de taux d'élimination en fonction de masse de biosorbant . On remarque que le taux d'élimination de l'AG25 augmente avec la dose de de biosorbant jusqu'à environ **1g/L** , où il atteint un maximum . Au- delà de cette dose, le taux reste presque stable . Cela montre qu'après une certaine quantité , ajouter plus de biosorbant n'améliore pas beaucoup l'élimination .

III.3.Effet de pH :

Cette figure représente l'évolution de taux d'élimination en fonction de pH pour l'adsorption de l'acide vert :

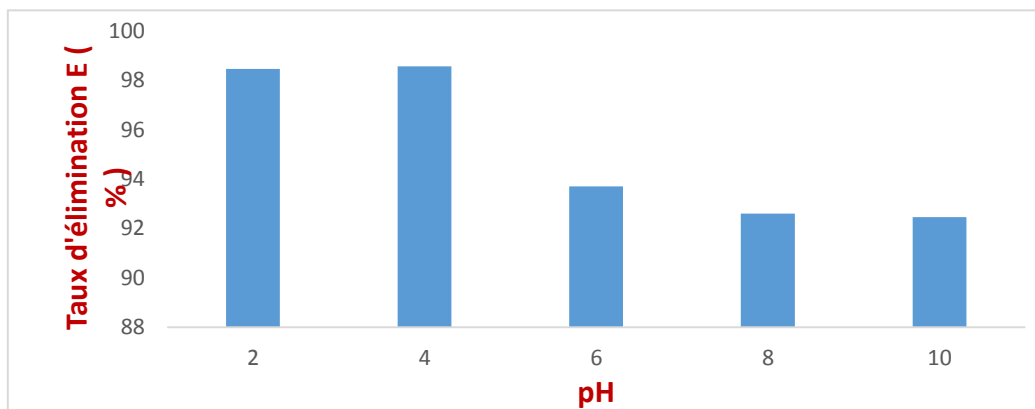


Figure 25 : L'évolution de taux d'élimination en fonction de pH de l'AG25

Ce graphe représente l'évolution de taux d'élimination en fonction de pH . On observe que le taux d'limination de l'AG25 est plus élevé à pH acide (**2 et 4**) , puis il diminue quand le pH augmente . Cela montre que l'élimination est favorisée en **milieu acide**

III.3.4. Isotherme d'adsorption :

III.3.4.1. Capacité d'adsorption :

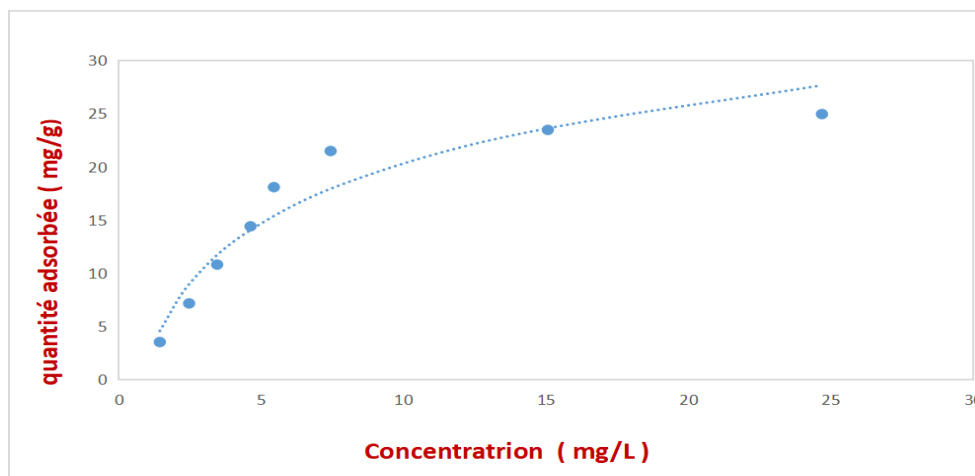


Figure 26: L'isotherme d'adsorption pour l'adsorption de l'AG25.

L'isotherme montre que la quantité adsorbée augmente avec l'augmentation de la concentration, puis elle se stabilise. Cela signifie que les sites d'adsorption deviennent saturés à un certain moment. Donc, l'adsorption suit un comportement typique, ce qui indique une bonne interaction entre l'adsorbant et l'adsorbat au début.

III.3.4.2. Modèles de l'isotherme d'adsorption de l'AG25 :

❖ *Modèle de Langmuir :*

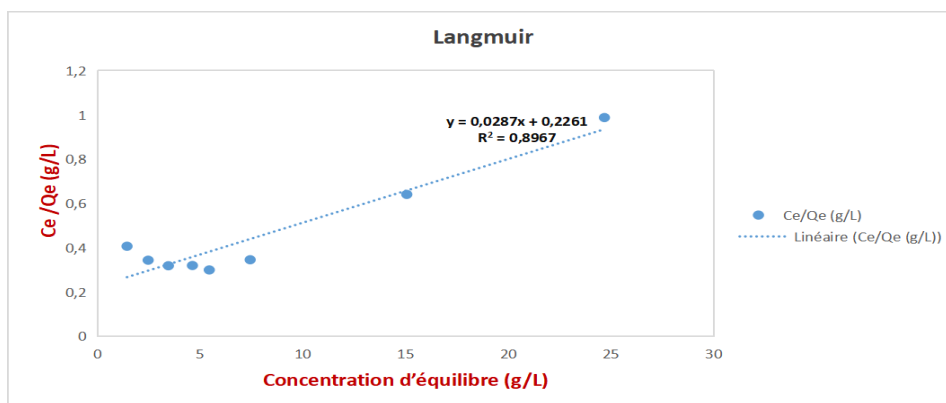


Figure 27 : L'isotherme de Langmuir pour l'AG25

Ce graphique représente l'application du modèle de Freundlich à l'adsorption de l'AG 25 sur le bio-adsorbant (poussière de coton).

❖ *Modèle de Freundlich :*

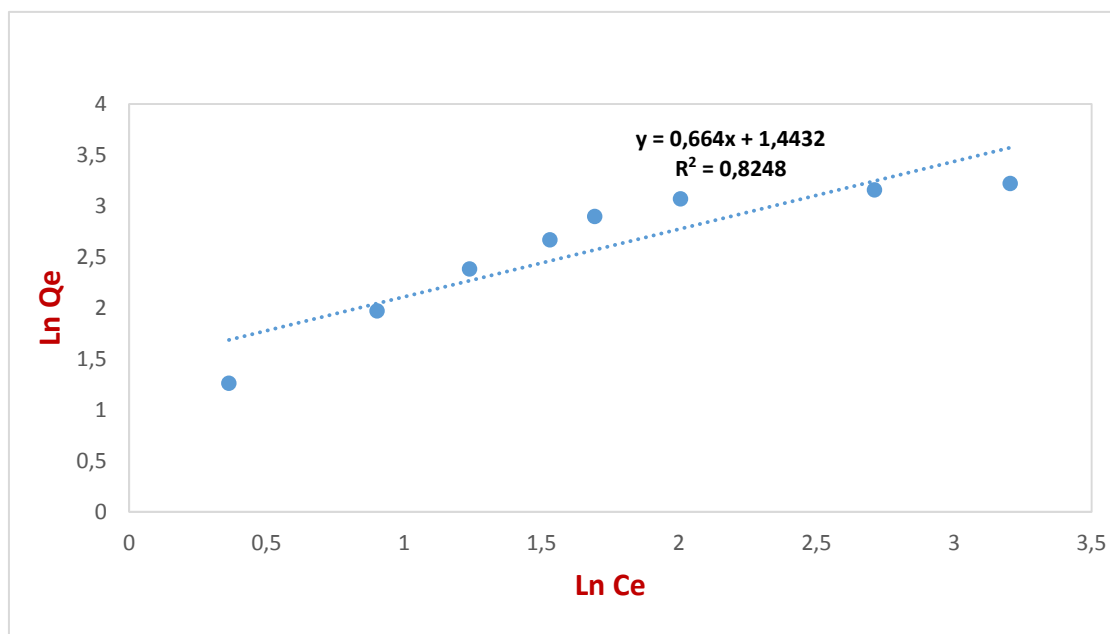


Figure 28 : L'isotherme de Freundlich pour l'AG25

La courbe est linéaire , ce qui confirme que les données suivent bien ce modèle. Cela signifie que le processus d'adsorption se fait sur une surface homogène, multicouche avec une forte concentration

❖ *Modèle de Temkin :*

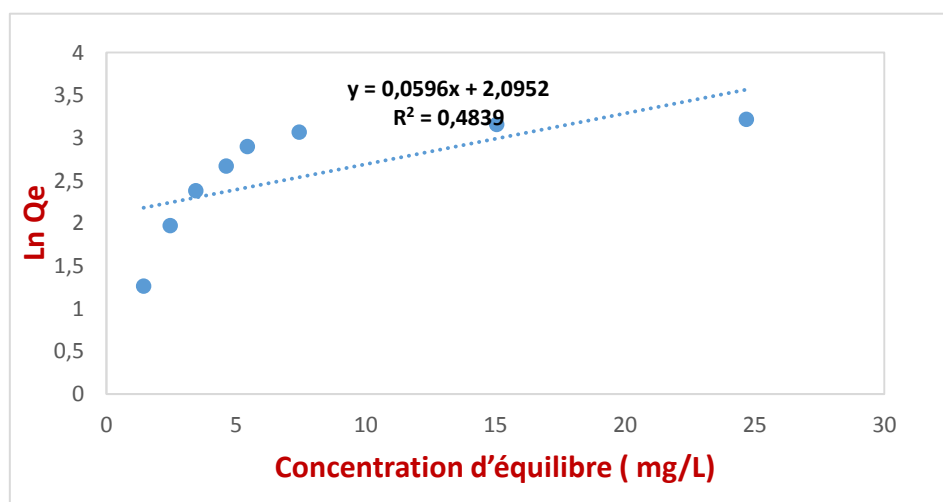


Figure 29 : L'isotherme de Temkin pour l'AG25

Ce graphe représente l'application du modèle de Temkin à l'adsorption de l'AG 25 sur le bio-adsorbant (poussière de coton).

Modèle	<i>Langmuir</i>		<i>Freundlich</i>		<i>Temkein</i>	
<i>Constantes</i>	b	K_L (L/mg)	K_f	n	B_T	K_T
	370.370	0.017	3.923	1.506	0.0596	95.558

Tableau 04: Les constantes de Langmuir, Freundlich et Temkin pour AG25

Au vu des droites obtenues dans les figures (31,32 et 33) leurs facteurs de corrélation R^2 qui sont respectivement 0,462 ; 0,824 et 0,483, on peut déduire que le modèle le plus adéquat est celui de Freundlich donc l'adsorption est physique et se produit sur une surface hétérogène .

En effet, le modèle de Freundlich s'applique généralement aux adsorptions réalisées sur des surfaces non uniformes, où l'énergie d'adsorption varie en fonction de la position des sites actifs. La valeur de $n = 1,506$, supérieure à 1, indique que l'adsorption est favorable. De plus, la constante $K_f = 3,923 \text{ (mg/g)(L/mg)}^{1/n}$ reflète une bonne capacité d'adsorption de AG 25 sur la poussière de coton .

Contrairement au modèle de Langmuir, qui suppose une monocouche avec une énergie constante d'adsorption (caractéristique d'une surface homogène), et au modèle de Temkin qui prend en compte la variation linéaire de l'énergie d'adsorption avec l'occupation de la surface, le modèle de Freundlich s'ajuste mieux à ces données expérimentales, ce qui traduit une interaction entre l'adsorbat et un matériau poreux ou hétérogène, souvent rencontré dans les cas d'adsorption sur des biosorbants ou des solides naturels.

III.5. Cinétique d'adsorption pour l'AG25 :

III.5.1. Modèle cinétique de pseudo 1^{er} ordre :

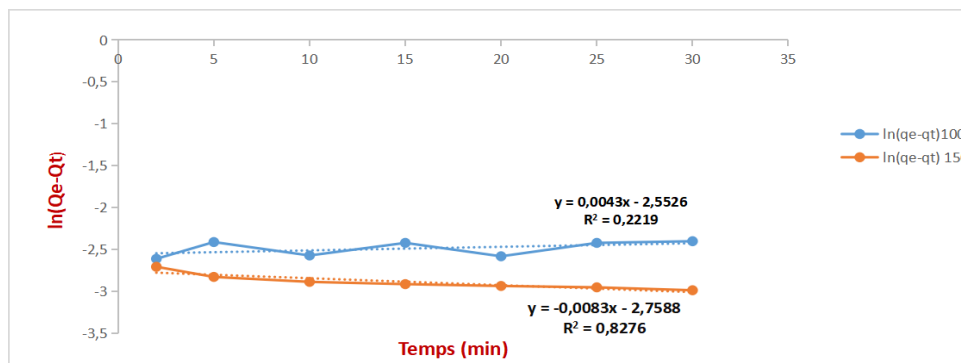


Figure 30 : Modèle cinétique de pseudo premier ordre pour l'AG25.

III.5.2. Modèle cinétique de pseudo 2^{ème} ordre

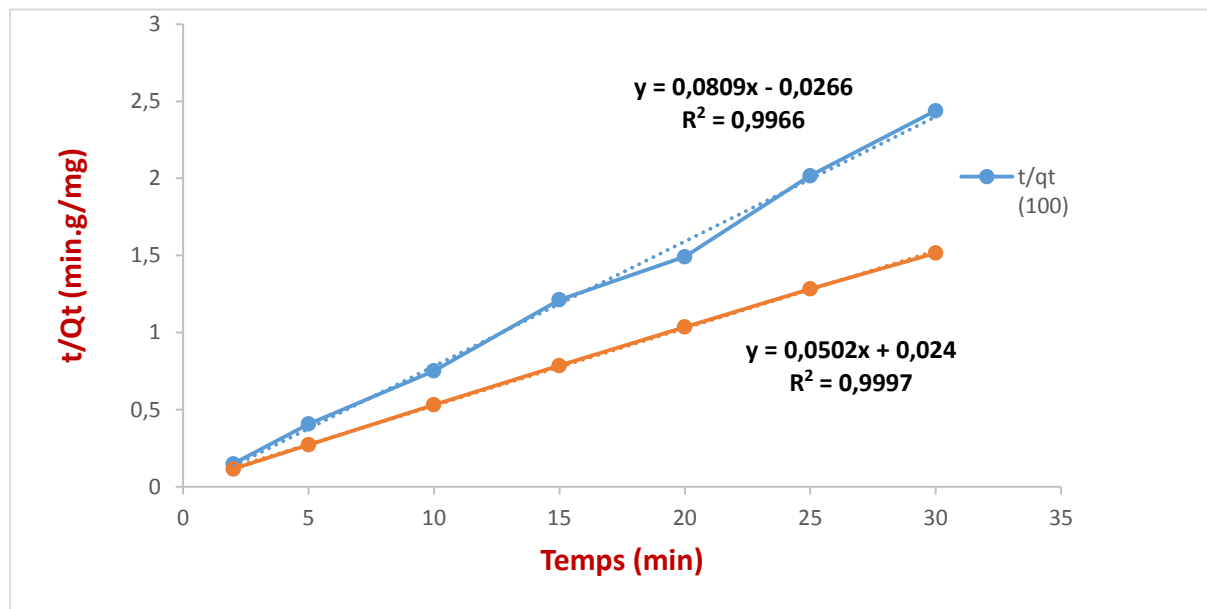


Figure 31:Modèle pseudo deuxième iordre pour AG25

Apartir des figures des modèles cinétiques de pseudo premier ordre et pseudo deuxième ordre, on remarque que le modèle cinétique de pseudo deuxième ordre donne une très bonne corrélation avec les résultats expérimentales avec un coefficient de corrélation (0.99660 – 0.9997). La constante de vitesse d'adsorption est $K_1 = 0.0809 \text{ g.mg}^{-1}$ pour la cocentration $100 \mu\text{mol/L}$ et $K_1 = 0.0502 \text{ g.mg}^{-1}$ pour la concentration $150 \mu\text{mol/L}$

Conclusion générale

L'objectif fixé de ce travail était l'étude de l'élimination de deux colorants, bleu de méthylène (**BM**) et l'acide vert (**AG25**) de nature basique (cationique) et acide (anionique) présent dans les effluents des différentes industries par la technique d'adsorption sur un support à base de déchets appelé la poussière de coton.

Ce travail a été réalisé en deux étapes. La première étape concernant la préparation et la caractérisation des biosorbants.

Dans la première partie nous avons mis l'accent sur l'étude de la nature physico-chimique de la surface des biosorbants, pour cela en utilisant l'indice de bleu de méthylène comme un paramètre de caractérisation.

La deuxième étape consiste à étudier l'influence de quelques paramètres sur l'adsorption des colorants bleu de méthylène et l'acide vert, tels que : masse d'adsorbant, temps de contact, pH, concentration initiale etc

Les résultats obtenus montrent que :

- Quand l'indice de bleu de méthylène est élevé, la capacité de matériau augmente, la surface spécifique est importante.
- Les courbes d'étalonnage donnent un bon ajustement linéaire pour les deux colorants.
- Le temps de contact est de **30 minutes** pour les deux colorants bleu de méthylène et l'acide vert.
- Pour l'influence de pH, les meilleurs taux d'élimination du **BM** sont obtenus à la valeur de **pH =6** (avec taux d'élimination égale à **99.43%** et à **pH= 4** pour l'élimination d'**AG25** (Avec Taux d'élimination égale à **98.578 %**).
- L'étude de l'effet dose a révélé l'augmentation de la masse de biosorbant améliore significativement l'efficacité d'adsorption, ce qui s'explique par la disponibilité accrue des sites actifs.
- L'isotherme d'adsorption montre que la quantité adsorbée augmente avec l'augmentation de la concentration d'équilibre, ce qui indique une bonne interaction entre l'adsorbant et l'adsorbé.
- Lors l'étude de l'adsorption nous avons appliqué trois modèles d'isothermes Langmuir, Freundlich et Temkin, Parmi ces modèles c'est le modèle de Langmuir qui a donné les meilleurs résultats avec un coefficient de corrélation **R² = 0.99** proche de l'unité, ce qui indique une très bonne adéquation avec nos données expérimentales.

➤ La cinétique d'adsorption montre que le modèle de pseudo deuxième ordre proches de l'unités pour les deux colorants ($R^2 = 1$), C'est -à- dire ce modèle est adapté pour concevoir la cinétique et le taux d'élimination .

Ces résultats montrent que la poussière de coton adsorbe bien , elle pas chère et représente une solution économique et efficace .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] TAYAL, S.P.A.(2013). About Us. The Agérien for textile industries.
- [2] Parnel, C.B.,Niles,G.A.& Rutherford,R.D. (1986).
«cotton dust concentration and particle size distributions associated with genotypes.
Environmental Health Perspectives, 66.167-172.
- [3] Commission des normes,de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail(CNEST).
(2023.11 décembre).Fiche «Coton brut, poussière de coton».
- [4] Removal of lead from waste water using chemical modified cotton dust « journal of environmental sciences and technology.
- [5] Ibrahim ,N.A.,et al.(2018). «Polyfunctional cotton fabrics with catalytic activity and antibacterial capacity.
«Chemical Engineering Journal»
- [6] Charbi Hanane Kheira et Guentrah khadidja . Université de mostaganem (2021.2022).
- [7] Sebastien B et Al (2017) « chemical characterization of cotton dust :A Review « journal of textiles sciences.34(2).89-102.
- [8] Davenport ,A.,& Paton,W.D.M.(1962).The pharmacological activity of extracts of cotton dust.British Journal of industrial Médecine, 19(1).19_32.
- [9] Morin Crini N et Crini G (2013) « Les matériaux biosorbants pour l'élimination des polluants de l'eau « Technique d'ingénieur J6 150.
- [10] Phénomène d'adsorption (Université El Oued).
- [11] Fiala .H (2022) « Adsorption des micropolluants organiques et minéraux par certains déchets d'origine naturelle et industrielle pour le traitement des eaux usées » (Université de Souk Ahras).
- [12] Mesbah .Hi et Sebsadji S (2017) valorisation de la zéolite dans le domaine du traitement des eaux polluées (Université de Mouloud Maammeri).
- [13] Qu,J (2008).Research progress of novel adsorption processes in water purification :A review.Journal of environmental Sciences. 20(1) , 1-13.
- [14] Albid HABIBA « adsorption de colorants (BM) par la plante charbon 2017.2018)
- [15] Wright .J.E et al (2001) Hi technological application of acid green other synthetic Dyes.
- [17] Belghol Meriem Nouceiba et Berrahmoune Hassiba « Etude et caractérisation d'un biosorbant pour l'élimination d'un polluant organique ».(université de mostaganem 2021.2022).
- [18] journal of Occupational Medicine and Technology (2007).
- [19] Techniques d'ingénieur .fr.

[20] Hamoudi Amira ezt Salhi Abir « Etude bibliographique sur l'adsorption de quelques colorants par des bio –adsorbant (Université de Kasdi Merbah Ouargla)(2019/2020).

[21] Benfredj Loubna et Smaali Nedjm Eddine « les isothermes d'adsorption » .(2017.2018).

[22] Pollution de poussière de coton « Siences directs » .

[23] Ahmed .S.Khan .M et Al Methtaseb .A.(2020) « Adsorption of blue Using Activated cotton dust .