

	الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية	
	People's Democratic Republic of Algeria	
	وزارة التعليم العالي والبحث العلمي	
	Ministry of Higher Education and Scientific Research	
	جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم	
	Abdel Hamid Ibn Badis University - Mostaganem	
	كلية العلوم والتكنولوجيا	
	Faculty of Sciences and Technology	
قسم هندسة الطرائق	Department of Process Engineering	

N° d'ordre : M2...../GP/2025

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie Des Procédés**

**Spécialité : Génie Des Procédés de l'environnement**

### Thème

**Élaboration et régénération d'un adsorbant naturel à base de déchets  
alimentaire pour l'élimination de colorants organiques**

Présenté par :

1- CHAIDA Fatima Zahra

2- SEBAI Chaima

Soutenu le 29/06/ 2025 devant le jury composé de :

Président(e) :	BENIDRIS El Batoul	Maitre de Conférences "B"	Université de Mostaganem
Examineurs :	SALAA Fahima	Maitre de Conférences "B"	Université de Mostaganem
Encadrant (e) :	BENYEKKOU Nabila	Maitre de Conférences "B"	Université de Mostaganem

Année universitaire 2024 / 2025

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents, pour leur amour, leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices et leurs encouragements tout au long de mon parcours.*

*Ma famille, pour leur présence rassurante, leur patience et leur confiance en moi.*

*Mes amis, qui ont su me motiver, me conseiller et m'apporter un soutien précieux dans les moments difficiles.*

*Mes enseignants et encadrants, pour leur disponibilité, leurs conseils avisés et la transmission de leur savoir.*

*À toutes les personnes qui ont cru en moi et m'ont soutenu de près ou de loin : cette réussite est aussi la vôtre.*

*CHAIDA Fatima Zahra*

## *Dédicaces*

*Louange à ALLAH, Le Très-Haut, pour Ses innombrables bienfaits et  
pour la lumière qu'Il a mise sur mon chemin.*

*À ma chère mère, source d'un amour infini et d'un soutien sans faille,  
À l'âme de mon père, que Dieu lui accorde Sa miséricorde et le plus  
haut des paradis.*

*À mon époux bien-aimé Abdallah, mon soutien constant, Merci pour  
ta patience, ta compréhension et ta présence rassurante.*

*À ma tante chérie Khadija et à son époux, Et à toutes mes autres  
tantes bien-aimées, Merci pour votre tendresse, vos prières et votre  
amour sincère.*

*À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma réussite,  
À mes enseignants, depuis l'école primaire jusqu'à l'université, Et tout  
particulièrement à ma directrice de mémoire, Madame BENYEKKOU  
Nabila,*

*Je vous suis profondément reconnaissante pour votre bienveillance et  
votre accompagnement.*

*À tous ceux qui m'ont appris ne serait-ce qu'une lettre,*

*À mes amis et compagnons de route,*

*Je vous dédie ce travail, témoignage de reconnaissance et de fidélité,*

*À tous ceux qui ont laissé une empreinte lumineuse dans mon  
parcours.*

*SEBAI Chaïmaa*

# Remerciements

Avant toute chose, nous exprimons notre profonde reconnaissance et notre gratitude à ALLAH pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail, malgré les difficultés rencontrées tout au long de notre parcours.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à nos chers parents, piliers de notre réussite, pour leur soutien inconditionnel, tant moral que matériel, tout au long de notre parcours académique. Leur présence constante, leurs encouragements et leurs sacrifices sont à la base de tout ce que nous avons pu accomplir jusqu'à ce jour.

Nous souhaitons également rendre hommage à l'ensemble de nos enseignants, depuis l'école primaire jusqu'à l'Université. Chacun d'eux, à sa manière, ont contribué à forger notre esprit et à tracer notre chemin.

Nous exprimons notre plus profonde gratitude à notre encadrante **Dr BENYEKKOU Nabila**, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses conseils avisés et son engagement tout au long de notre stage.

Nos vifs remerciements également aux membres du jury **Dr BENIDRIS**, et **Dr SALAA** pour le temps qu'ils nous ont consacré, leurs remarques constructives et l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

Nos remerciements les plus distingués vont également à **Pr ABDELMALEK**, directrice du laboratoire des sciences et techniques de l'environnement et de la valorisation STEVA, à la faculté des sciences et de la technologie, Université de Mostaganem, pour avoir accepté de nous accueillir et pour avoir mis à notre disposition toutes les conditions nécessaires au bon déroulement de notre stage.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement l'ensemble du personnel du laboratoire, y compris les doctorants, les ingénieurs et les techniciens, pour leur accueil chaleureux, leur assistance précieuse et leur disponibilité.

Enfin, nous n'oublions pas tous ceux et celles qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

*Chaima et Fatima Zahra*

# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> L'impact environnemental des déchets alimentaires. ....	- 13 -
<b>Figure I.2</b> le gaspillage alimentaire. ....	- 14 -
<b>Figure I.3</b> phénomène d'adsorption. ....	- 17 -
<b>Figure I.4</b> Classification des isothermes d'adsorption. ....	- 19 -
<b>Figure II.1</b> Procédé de la préparation de l'adsorbant. ....	- 24 -
<b>Figure II.2</b> Le colorant BM. ....	- 26 -
<b>Figure II.3</b> Solution mère de BM. ....	- 27 -
<b>Figure III.1</b> spectre du BM. ....	- 30 -
<b>Figure III.2</b> La courbe d'étalonnage de BM. ....	- 31 -
<b>Figure III.3</b> Effet de temps sur l'adsorption de BM. ....	- 32 -
<b>Figure III.4</b> Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption du Blue de Méthylène BM-	33 -
<b>Figure III.5</b> Effet de pH sur l'adsorption de BM. ....	- 34 -
<b>Figure III.6</b> Effet de température sur l'adsorption de BM. ....	- 35 -
<b>Figure III.7</b> Evolution de $\ln K_d$ en fonction de $1000/T$ pour l'adsorption de BM. ....	- 36 -
<b>Figure III.8</b> Isotherme d'adsorption Langmuir pour l'adsorption de BM. ....	- 39 -
<b>Figure III.9</b> Isotherme d'adsorption Freundlich pour l'adsorption de BM. ....	- 40 -
<b>Figure III.10</b> La cinétique d'adsorption du pseudo premier ordre. ....	- 42 -
<b>Figure III.11</b> La cinétique d'adsorption du pseudo second ordre. ....	- 43 -
<b>Figure III.12</b> Procédé d'adsorption. ....	- 44 -
<b>Figure III.13</b> Procéder de filtration. ....	- 45 -
<b>Figure III.14</b> procédé de séchage. ....	- 45 -
<b>Figure III.15</b> Procédé de désorption. ....	- 46 -

**Figure III.16** représente le pourcentage de désorption de BM en fonction de plusieurs Eluants.

..... - 46 -

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> Avantages et inconvénients de la régénération d'un adsorption à base de source alimentaire.....	- 23 -
<b>Tableau II.1</b> Les principales propriétés physico-chimiques des colorant de BM.....	- 25 -
<b>Tableau III.1</b> Valeurs obtenue pour l'établissement de la courbe d'étalonnage du Blue de méthylène. ....	- 31 -
<b>Tableau III.2</b> Paramètres Thermodynamique d'adsorption de BM.....	- 36 -
<b>Tableau III.3</b> Les caractéristiques de Langmuir pour l'adsorption de BM. ....	- 39 -
<b>Tableau III.4</b> Les caractéristiques de Freundlich pour l'adsorption de BM.....	- 40 -
<b>Tableau III.5</b> Paramètres de cinétique d'adsorption BM.....	- 43 -

## Liste des abréviations

<b>UMAB</b>	<b>Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem</b>
<b>FST</b>	<b>Faculté des Sciences et de la Technologie</b>
<b>T</b>	<b>facteur de transmission ou transmittance.</b>
<b>A</b>	<b>absorbance ou densité optique.</b>
<b>C</b>	<b>concentration massique du composé dosé.</b>
$\epsilon$	<b>le coefficient d'absorption molaire (L/mol.cm).</b>
$C_{eq}$	<b>Concentration a l'équilibre de l'adsorbat (mg/l)</b>
$K_L$	<b>constante de Langmuir liée à l'affinité de liaison entre adsorbat et adsorbant</b>
$Q_{max}$	<b>La capacité maximale d'adsorption (mg/l)</b>
$K_F$	<b>constante de Freundlich liée à la capacité d'adsorption</b>
$\Delta G^0$	<b>Variation de l'énergie libre (KJ/mol)</b>
$\Delta S^0$	<b>Variation de l'entropie (kJ/mol.K)</b>
$\Delta H^0$	<b>Variation de l'enthalpie ( kJ/mol)</b>
<b>NB</b>	<b>noix brut</b>
$K_1$	<b>constant de vitesse du pseudo premier orde(1/min)</b>
$K_2$	<b>constante de vitesse de pseudo deuxième ordre (g/mg.min)</b>
$1/n$	<b>constant liée à l'intensité de l'adsorption</b>
<b>R</b>	<b>constant des gaz (J/mol.K) parfait</b>
$\lambda_{max}$	<b>la longueur d'onde (g/mol)</b>
<b>BM</b>	<b>bleu méthylène</b>
$I^0$	<b>intensité de faisceau incident</b>

<b>I</b>	<b>intensité du faisceau émergent</b>
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<b>peroxyde d'hydrogène</b>
<b>NaOH</b>	<b>hydroxyde de sodium</b>
<b>HCL</b>	<b>Acide chlorhydrique</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>L'eau</b>
<b>Abs</b>	<b>Abs : absorbance</b>
<b>Abs<sub>i</sub></b>	<b>absorbance avant le traitement</b>
<b>Abs<sub>t</sub></b>	<b>absorbance après le traitement</b>
<b>C</b>	<b>La concentration de BM en mg/l</b>
<b>K<sub>d</sub></b>	<b>le coefficient de distribution</b>
<b>C<sub>0</sub></b>	<b>Concentration initiale de l'adsorbant (mg/l)</b>
<b>V</b>	<b>Volume de l'adsorbant (ml)</b>
<b>m</b>	<b>la masse de l'adsorbant (g)</b>
<b>q<sub>e</sub></b>	<b>la capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g)</b>

# Résumé

## المخلص

تُعالج هذه الدراسة إشكالية التلوث المائي الناتج عن الملوثات العضوية، من خلال اعتماد مقاربة بيئية تهدف إلى تجميع النفايات الغذائية عبر تحويلها إلى مادة ماصة حيوية قابلة لإعادة الاستخدام. تم تحضير هذا الممتز من بقايا غذائية محلية بطريقة بسيطة وفعالة، ثم تطبيقه في إزالة صبغة أزرق الميثيلين، باعتبارها نموذجًا للملوثات الصناعية المتكررة في مياه الصرف. شمل العمل توصيف المادة الماصة من خلال عدة اختبارات فيزيائية وكيميائية، مع دراسة تأثير مجموعة من العوامل التشغيلية مثل كمية الممتز، درجة الحموضة، درجة الحرارة، وزمن التلامس، من أجل تحديد الشروط المثلى للامتزاز.

وقد أظهرت النتائج أن الممتز يتمتع بكفاءة عالية وصلت إلى 96% في إزالة الملوث، مما يدل على فعاليته الكبيرة في التطبيقات البيئية.

كما تم تقييم سلوك المادة الماصة وفق نماذج الامتزاز الإيزوثرمية لكل من Freundlich و Langmuir، حيث تبين أن نموذج Langmuir هو الأكثر تطابقاً مع البيانات التجريبية. أما من حيث الحركية، فقد تمت دراسة نماذج الامتزاز من المرتبة الأولى والثانية، وأثبت نموذج المرتبة الثانية ملاءمته الأفضل لوصف سلوك الامتزاز.

وأخيراً، تناولت الدراسة إمكانية تجديد المادة الماصة باستخدام مذيبات مختلفة، مما يعزز قابليتها لإعادة الاستخدام ويجعلها خياراً مستداماً واقتصادياً لمعالجة المياه.

**الكلمات المفتاحية:** الميثيلين الأزرق، الماص الحيوي، ن.ب.، الامتزاز، التجديد، الصبغة.

## Abstract

This study focuses on the valorization of food waste by transforming it into a natural adsorbent used for the removal of organic pollutants from contaminated water. The prepared adsorbent was obtained from local food residues through a simple and eco-friendly method and was applied to remove methylene blue (BM), a common dye found in industrial wastewater. The material was characterized using various physical and chemical techniques, and the influence of operational parameters such as adsorbent dosage, pH, temperature, and contact time was examined to optimize the adsorption process. The results demonstrated a high removal efficiency reaching 96%, indicating the strong potential of the prepared biosorbent in environmental applications.

The adsorption behavior was modeled using Langmuir and Freundlich isotherms, where the Langmuir model provided the best fit to the experimental data. Additionally, adsorption kinetics were analyzed using pseudo-first-order and pseudo-second-order models, with the pseudo-second-order model offering the most accurate description of the process. Furthermore, regeneration tests were conducted using different solvents to evaluate the reusability of the biosorbent, supporting its potential as a sustainable and cost-effective solution for water treatment.

**Key words:** *Methylene blue, biosorbent, N.B, adsorption, desorption, regeneration, dye.*

## **Résumé**

Cette étude vise à valoriser des déchets alimentaires en les transformant en un biosorbant naturel, destiné à l'élimination du Bleu de méthylène (BM), un polluant organique courant dans les effluents industriels. Le matériau a été préparé à partir de résidus alimentaires locaux selon une méthode simple et respectueuse de l'environnement. La caractérisation du biosorbant a été réalisée par plusieurs techniques physiques et chimiques, et l'effet de paramètres tels que la masse, le pH, la température et le temps de contact a été étudié.

Les résultats ont mis en évidence une efficacité d'adsorption atteignant 96 %, traduisant une performance élevée du matériau. L'étude isothermique a été conduite à l'aide des modèles de Langmuir et Freundlich, avec une bonne adéquation du modèle de Langmuir aux données expérimentales.

Du point de vue cinétique, le modèle du pseudo-deuxième ordre a montré une meilleure description du processus d'adsorption que celui du premier ordre. Enfin, la régénération du biosorbant a été explorée à l'aide de différents solvants, confirmant son potentiel de réutilisation dans une perspective durable et économique.

**Mots clés :** *Bleu de méthylène, biosorbant, N.B, adsorption, desorption, régénération, colorant.*

# Table des matières

Dédicaces .....	i
Remerciements .....	iii
Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux .....	vi
Liste des abréviations .....	vii
Résumé .....	ix
Introduction Générale.....	- 10 -
Chapitre I : Synthèse bibliographique.....	- 12 -
I.1 Introduction.....	- 12 -
I.2 Généralités sur les déchets alimentaires .....	- 12 -
I.2.1 Définition.....	- 12 -
I.2.2 Les impacts.....	- 12 -
I.3 Les déchets alimentaires dans l'Algérie .....	- 13 -
I.4 Valorisation des déchets .....	- 14 -
I.5 Les eaux polluées.....	- 15 -
I.6 Généralité sur les colorants.....	- 16 -
I.7 Adsorbant issu de déchets alimentaire.....	- 16 -
I.7.1 Définition.....	- 16 -
I.7.2 Caractéristiques d'un adsorbant issu par une source alimentaire.....	- 16 -
I.8 L'adsorption .....	- 17 -

I.8.1	Définition.....	- 17 -
I.8.2	Les types d'adsorption .....	- 18 -
I.8.3	Isothermes d'adsorption .....	- 18 -
I.8.4	Etude thermodynamique.....	- 20 -
I.9	Désorption et régénération.....	- 21 -
I.9.1	Définition.....	- 21 -
I.9.2	La désorption .....	- 21 -
<b>Chapitre II : Matériels et Méthodes .....</b>		<b>- 24 -</b>
II.1	Introduction.....	- 24 -
II.2	Préparation d'adsorbant .....	- 24 -
II.3	Le choix de colorant.....	- 24 -
II.4	Préparation de la solution mère de Bleu méthylène (BM).....	- 26 -
II.5	Spectrophotométrie UV- VIS .....	- 27 -
II.6	Dispositif expérimental de l'adsorption.....	- 28 -
II.7	Dispositif expérimental de désorption .....	- 29 -
<b>Chapitre III : Résultats et discussions .....</b>		<b>- 30 -</b>
III.1	Partie1 : Elimination de Bleu de méthylène par l'adsorbant NB .....	- 30 -
III.1.1	Détermination de $\lambda_{max}$ .....	- 30 -
III.1.2	La courbe d'étalonnage .....	- 31 -
III.2	Les paramètres physico-chimiques .....	- 32 -
III.2.1	Effet du temps sur l'adsorption de BM .....	- 32 -
III.2.2	Effet de la dose de l'adsorbant N.B sur l'adsorption du BM .....	- 33 -
III.2.3	Effet de pH sur l'adsorption de BM .....	- 34 -

III.2.4	Effet de température sur l'adsorption du BM.....	- 35 -
III.3	Les isothermes d'adsorption.....	- 37 -
III.3.1	Isotherme de Langmuir.....	- 38 -
III.3.2	Isotherme de Freundlich.....	- 39 -
III.4	Cinétique d'adsorption.....	- 41 -
III.4.1	Modèle de pseudo premier ordre.....	- 42 -
III.4.2	Modèle de pseudo second ordre.....	- 43 -
III.5	. PARTIE 2 : La régénération de l'adsorbant valoriser (N.B).....	- 44 -
III.5.1	Choix de solvant.....	- 44 -
	Conclusion générale.....	- 49 -
	Bibliographie.....	- 51 -

## Introduction Générale

Au cours des dernières décennies, l'environnement mondial est confronté à de nombreux défis liés à l'industrialisation croissante, à l'expansion démographique rapide et à la surexploitation des ressources naturelles. L'eau, ressource vitale pour toutes les formes de vie, est particulièrement menacée par les diverses formes de pollution issues des activités humaines. Parallèlement, la gestion des déchets solides devient de plus en plus complexe en raison des quantités massives générées chaque jour, représentant un risque environnemental majeur lorsqu'ils ne sont pas traités de manière appropriée.

Dans ce contexte, de nouvelles approches durables ont émergé, visant à combiner la gestion des déchets et la préservation des ressources en eau. L'une des stratégies les plus prometteuses consiste à valoriser certains types de déchets dans les processus de traitement et de filtration de l'eau. Cette approche s'inscrit dans le cadre de l'économie circulaire, qui cherche à transformer les déchets en ressources utiles, réduisant ainsi la pression sur l'environnement tout en offrant des solutions économiquement viables (EAA, 2016).

De nombreuses études ont démontré que certains déchets agricoles, plastiques, organiques, alimentaires, ou industriels possèdent des propriétés adsorbantes ou peuvent être utilisés comme matériaux filtrants dans les procédés de traitement de l'eau. Cette méthode innovante présente non seulement des avantages environnementaux en réduisant la pollution et la consommation de matières premières, mais elle constitue également une alternative peu coûteuse, notamment avantageuse face à la pénurie d'eau et aux contraintes technologiques.

A travers cette étude, nous nous proposons d'examiner les potentialités offertes par la réutilisation des déchets dans le traitement de l'eau, analysant les fondements scientifiques, les usages concrets ainsi que les obstacles techniques, tout en soulignant les retombées positives sur les plans écologique, économique et social qu'une telle démarche peut engendrer (UNESCO, 2020).

Les déchets alimentaires posent un défi en raison de leur teneur en matières organiques biodégradables, entraînant des émissions de gaz à effet de serre, ainsi que le risque de contamination des sols et des eaux. Cependant, ces déchets recèlent également un potentiel considérable de valorisation et peuvent être transformés en ressources précieuses (WRAP,,

2020). Le monde s'oriente de plus en plus vers l'adoption des concepts de l'économie circulaire, qui met l'accent sur la réduction des déchets alimentaires, la réutilisation des ressources et leur transformation en produits à valeur ajoutée tels que les engrais organiques, la bioénergie, les produits chimiques fins et les matériaux adsorbants. Dans ce contexte, la valorisation des déchets alimentaires apparaît comme l'un des piliers essentiels de cette transition (Kumar et al., 2018).

La technique d'adsorption est considérée comme l'une des méthodes prometteuses dans le domaine du traitement de l'eau et de l'air, ainsi que dans la récupération de substances précieuses à partir des déchets. Cette technique repose sur la capacité d'un matériau solide (l'adsorbant) à attirer et à retenir les molécules de polluants ou de substances souhaitées à sa surface. Dans le domaine agroalimentaire, il est possible d'utiliser des adsorbants obtenus à partir de ces déchets ou d'autres substances pour assainir les liquides provenant de la dégradation, ou encore pour isoler certains composés ciblés (Fellahi Zohra Kaouther & Hadroug Nadjat, 2024)

Le processus de régénération des matériaux adsorbants constitue une étape cruciale pour rendre l'adsorption durable et économique. Au lieu d'éliminer le matériau adsorbant après son utilisation, il peut être régénéré et réutilisé plusieurs fois, ce qui réduit les coûts d'exploitation et contribue à la conservation des ressources (Crini & Lichtfouse, 2019).

Notre étude présente un objectif double d'une part, la valorisation des déchets alimentaires et leur application dans la dépollution des eaux par le procédé d'adsorption ; d'autre part l'étude de la régénération d'adsorbant utilisé.

Ce travail repose sur trois chapitres :

- Le premier chapitre présente la partie théorique de toutes les méthodes que nous avons utilisées dans notre étude.
- Le deuxième chapitre expose les matériels et les méthodes allant de la préparation d'adsorbant jusqu'à sa régénération.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation, l'analyse et la discussion des résultats expérimentaux obtenus.

Enfin, nous clôturons par une conclusion générale sur l'ensemble de notre étude.

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

### **I.1 Introduction**

Le potentiel d'adsorption d'un déchet alimentaire pour l'élimination des polluants de l'eau, a été évalué. Ce déchet a été utilisé comme adsorbant à l'état natif (brute). Notre étude vise à tirer de profit du gaspillage alimentaire en utilisant comme matériau adsorbant naturel pour éliminer les polluants de l'eau, pour cela, nous utilisons un colorant de concentration connue, ou nous avons mené une réaction d'adsorption du colorant bleu de méthylène par adsorbant à base de déchet alimentaire.

L'objet de notre travail c'est l'utilisation d'un déchet alimentaire largement rejeté dans notre nature pour la préparation d'un adsorbant, et son application dans l'adsorption des polluants.

Dans cette partie, nous allons découvrir les déchets alimentaires et leurs effets, ainsi que les méthodes pour le valoriser afin de préserver l'environnement d'une part, et la dépollution de l'eau d'autre part.

### **I.2 Généralités sur les déchets alimentaires**

#### **I.2.1 Définition**

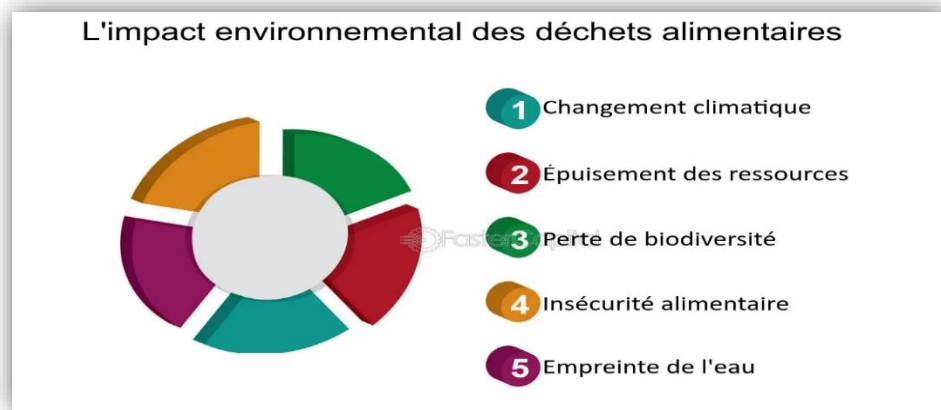
Les déchets alimentaires sont définis comme tous les aliments destinés à la consommation humaine qui sont perdus, gaspillés ou jetés tous au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, de la production primaire jusqu'à la consommation finale des ménages (FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)).

#### **I.2.2 Les impacts**

Les déchets alimentaires ont de nombreuses conséquences négatives sur l'environnement, l'économie et la société :

- **Impacts environnementaux** : émission des gaz à effet de serre contribuant au changement climatique, surexploitation des ressources naturelles (eau, terres, énergie), et la pollution des sols et des eaux due à la décomposition des aliments.
- **Impact économiques** : pertes financières importantes pour les producteurs, les entreprises et le ménages, coûts élevés pour la gestion des déchets, perturbation des chaînes d'approvisionnement alimentaires.
- **Impacts sanitaires** : propagation de maladies causées par la décomposition des déchets, pollution de l'air due aux émissions des gaz nocifs (Bkir leila & Guerriche Amira , 2021)

Ce Schéma illustre les conséquences du gaspillage alimentaire :



**Figure I.1** L'impact environnemental des déchets.

### I.3 Les déchets alimentaires dans l'Algérie

Le gaspillage alimentaire est un enjeu environnemental mondial majeur qui affecte notre planète à plusieurs niveaux. Selon la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), près d'un tiers de la nourriture produite dans le monde est perdue ou gaspillée chaque année, Environ 1,3 milliard de tonnes de déchets alimentaires sont gaspillés chaque année dans le monde, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture (FAO). Mais, le gaspillage alimentaire, c'est quoi en vrai? (cevital-agro-industrie.com, n.d.).

" Le gaspillage alimentaire est défini comme toute nourriture destinée à la consommation humaine qui, à une étape de la chaîne alimentaire, est perdue, jetée ou dégradée" (cevital-agro-industrie.com, n.d.).

En Algérie, comme dans de nombreux autres pays, le gaspillage alimentaire est un problème majeur. Selon une étude récente menée par l'Agence nationale des déchets, près de 9 millions de tonnes de déchets alimentaires sont produits chaque année en Algérie, dont près de 70% sont des pertes alimentaires directes ou indirectes. Ce gaspillage a des conséquences négatives sur l'économie, l'environnement et la sécurité alimentaire (cevital-agro-industrie.com, n.d.) Ces déchets alimentaires sont désormais devenus une menace sérieuse pour les ressources en eau, constituant une source majeure de leur pollution.



**Figure I.2** le gaspillage alimentaire.

### I.4 Valorisation des déchets

C'est tous les processus qui permettent la réutilisation et le recyclage des déchets après leur fin de vie afin d'obtenir de nouveaux matériaux, et s'oppose donc à la notion d'élimination, c'est-à-dire se débarrasser de ces déchets (Hamouda Nada Ichrak ; Mezaouli Yasmine, 2023).

Le principe de la valorisation des déchets est basé sur la maximisation et la création de valeur tout en minimisant le gaspillage des ressources, et parmi les déchets valorisables figurent : les déchets alimentaires, car ils contiennent de nombreux composants naturels valorisables, pour

cette raison il est particulièrement souhaitable dans les processus de valorisation (Hamouda Nada Ichrak ; Mezaouli Yassmine, 2023).

Les déchets alimentaires sont valorisés à partir de l'idée "déchet est une ressource, un gisement en attente d'exploitation", sur laquelle s'appuie l'une des filières de l'économie circulaire (Hamouda Nada Ichrak ; Mezaouli Yassmine, 2023) travers les voies présentées dans le schéma suivant :



**Figure I.3** valorisation des déchets alimentaires.

Parmi les avantages de la valorisation des déchets, nous l'utilisons dans le domaine de la purification et le traitement des eaux polluées.

### I.5 Les eaux polluées

Sont des eaux dont la composition a été altérée par l'ajout de substances physiques, chimiques ou biologique, rendant leur utilisation dangereuse pour la santé humaine, les écosystèmes et l'environnement. Ces polluants peuvent provenir de diverses sources, notamment les industries, les activités humaines... (Rodier,J 2009 . OMS 2022).

Dans le but de limiter ces impacts négatifs, nous avons envisagé diverses approches, dont la valorisation des déchets alimentaires, permettant à la fois une réduction des nuisances et une exploitation bénéfique de ces résidus dans le traitement des eaux.

## **I.6 Généralité sur les colorants**

Les colorants sont des substances capables de colorer un matériau en s'attachant à lui de manière durable. Ils ont largement été utilisés dans les industries textiles, alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques. Contrairement aux pigments, les colorants sont solubles dans le milieu d'application. Nous avons utilisé ces colorants à des concentrations connues au lieu des eaux polluées de concentrations inconnues pour réaliser notre étude. Ce choix a été motivé par ses bonnes propriétés, notamment sa facilité de solubilité, son affinité chimique, sa stabilité ainsi que sa structure adaptée (Meftah Lamy & Sahoun Khaoula & Sakhari Samya, 2019).

Au cours de notre étude, nous avons utilisé la méthode d'adsorption pour appliquer cet Adsorbant sur le colorant, car il s'agit d'une technique très efficace donnant de bons résultats :

## **I.7 Adsorbant issu de déchets alimentaire**

### **I.7.1 Définition**

Un adsorbant à base de déchet naturel est un matériau d'origine biologique, souvent issu de déchets agricoles, forestiers, ou alimentaires, utilisé pour éliminer des polluants (métaux lourds, les colorants, etc.) présents dans l'eau ou l'air par un mécanisme d'adsorption. Ces matériaux sont considérés comme économique, biodégradables, et écologique (Gharbi Hanane Kheira & Guentrah Khadidja, 2021).

### **I.7.2 Caractéristiques d'un adsorbant issu par une source alimentaire**

L'adsorbant issu d'une source alimentaire possède plusieurs caractéristiques qui influencent son efficacité pour la dépollution des eaux. Ces caractéristiques dépendent de la matière première utilisée (coques de noix, noyaux d'olive, pelures de fruits, marc de café, etc.) (Tadjine, 2015).

#### **1. Structure et porosité :**

- Surface spécifique élevée : un adsorbant alimentaire ayant une grande surface spécifique (500 à 1500), ce qui lui permet d'adsorber efficacement divers polluants.

- Porosité développée : il possède des micropores ( $< 2\text{nm}$ ), de mésopore ( $2 - 50$ ) et des macropores ( $> 50\text{nm}$ ), qui influencent son pouvoir adsorbant.
- 2. **Composition chimique** : Riche en carbone ( $>80\%$ ), groupe fonctionnels actifs, contient des groupes hydroxyle ( $-\text{OH}$ ).
- 3. **Capacité d'adsorption** : Il adsorbe presque tous les polluants, tels que les polluants organiques comme les métaux lourds... (Tadjine, 2015).

## I.8 L'adsorption

### I.8.1 Définition

L'adsorption est un phénomène de surface de dépôt de molécules en phase fluide (liquide ou gaz) (l'adsorbat) sur une surface solide (l'adsorbant) (Hourri Rania ; Kebaili Maroua ; Mogdad Sara, 2020). Elle est largement utilisée pour la dépollution des eaux (Belghoul Meriem Noucieba ; Berrahmoune Hassiba, 2022).

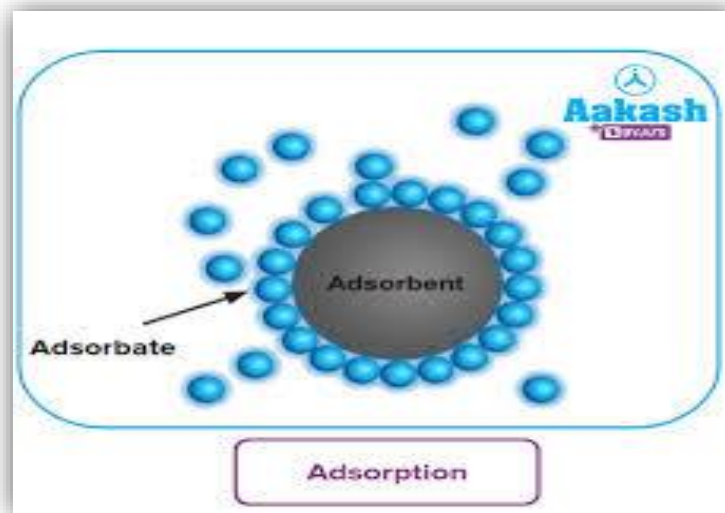


Figure I.3 phénomène d'adsorption.

## I.8.2 Les types d'adsorption

- **Adsorption physique (ou physisorption) :** est un phénomène réversible où les molécules sont retenues à la surface d'un matériau par des forces faibles de van der Waals (Gharbi Hanane Kheira & Guentrah Khadidja, 2021).
- **Adsorption chimique (ou chimisorption) :** est un phénomène de surface impliquant la formation de liaisons chimiques fortes entre l'adsorbat et l'adsorbant, généralement irréversible (Gharbi Hanane Kheira & Guentrah Khadidja, 2021).

## I.8.3 Isothermes d'adsorption

Les processus d'adsorption peuvent être décrits par des isothermes qui permettent d'établir un lien entre la quantité d'adsorbat fixée par l'adsorbant  $Q_e$  [mol/g] ou [mg/g] et la concentration résiduelle de cet adsorbat en solution à l'équilibre  $C_e$  [mol/l] ou [mg/l]. Cette relation, connue sous le nom d'isotherme d'équilibre, est valable lorsque l'expérience est réalisée à température constante (Belghoul Meriem Noucieba ; Berrahmoune Hassiba, 2022).

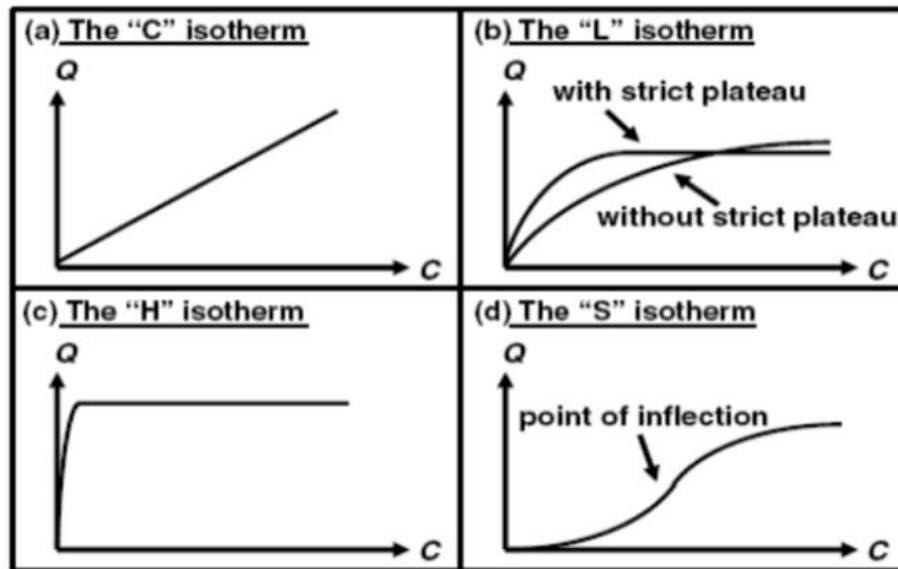
### I.8.3.1 Classification des isothermes d'adsorption

D'un point de vue expérimental, l'analyse de la forme des isothermes permet d'estimer le type d'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant. Selon la classification proposée par Giles et ses collaborateurs, quatre catégories principales sont identifiées : S (sigmoïdale), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition constante).

La figure ci-dessous illustre les formes typiques de chaque classe.

- **Type S :** Ces isothermes apparaissent lorsque les molécules du soluté ont besoin d'un groupement spécifique pour se fixer à la surface de l'adsorbant.
- **Type L :** Il s'agit des courbes les plus fréquentes. Elles traduisent un processus où l'adsorption est initialement faible mais augmente avec la concentration, typiquement lorsque les molécules adsorbées adoptent une orientation parallèle à la surface.
- **Type H :** Ce type reflète une adsorption chimique forte entre le soluté et la surface solide (chimisorption).

- **Type C** : Représenté par une ligne droite, ce profile indique une adsorption constante. Il est souvent observé quand il y a une compétition significative entre le soluté et le solvant pour les sites actifs de l'adsorbant (Belghoul Meriem Noucieba ; Berrahmoune Hassiba, 2022).



**Figure I.4** Classification des isothermes d'adsorption.

### I.8.3.2 La modélisation des isothermes d'adsorption

La modélisation des isothermes d'adsorption est essentielle pour comprendre les mécanismes d'interaction entre un adsorbant et un adsorbat. Plusieurs modèles sont couramment utilisés, chacun basé sur différentes hypothèses physiques ou chimiques :

- **Isotherme de Langmuir** : Ce modèle suppose que l'adsorption se produit sur une surface homogène avec un nombre fini de sites identiques, chaque site pouvant retenir une seule molécule. L'adsorption est donc limitée à une monocouche, sans interaction entre les molécules adsorbées. Il est généralement associé à l'adsorption (Langmuir, 1, 1918).
- **Isotherme de Freundlich** : Ce modèle empirique décrit l'adsorption sur une surface hétérogène. Il n'impose pas de limite à la formation de couches multiples, et l'intensité d'adsorption varie selon la concentration. Il est souvent utilisé pour représenter l'adsorption physique (Freundlich, H, 1909).

**I.8.3.3 Cinétique d'adsorption**

La cinétique d'adsorption étudie la vitesse à laquelle une substance (adsorbat) se fixe à la surface d'un matériau (adsorbant). Elle permet de comprendre le mécanisme d'adsorption et d'optimiser les conditions expérimentales (temps de contact, concentration, température etc...) (Ho, Y. S., & McKay, G 1999).

. Les principaux modèles cinétiques utilisés :

- **Modèle du pseudo-premier ordre (Lagergren) :** Ce modèle suppose que la vitesse d'adsorption est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à un instant donné. Lagergren, 1898. Zur Theorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe).
- **Modèle du pseudo-deuxième ordre (Ho et McKay) :** Ce modèle considère que la vitesse d'adsorption est proportionnelle au carré de la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre et celle à un instant donné. (Ho, Y. S., & McKay, G 1999).

**I.8.3.4 Facteurs influençant le processus d'adsorption**

Le processus d'adsorption est influencé par plusieurs facteurs clés :

- **Propriétés de l'adsorbant :** La surface spécifique, la porosité, la polarité et la chimie de surface de l'adsorbant déterminent sa capacité à adsorber des substances.
- **Caractéristiques de l'adsorbat :** telle que la taille moléculaire, la solubilité, la concentration initiale de l'adsorbat...
- **Condition du milieu :** pH, température, le temps de contact et la vitesse d'agitation (Cours de physico-chimie des interfaces).

**I.8.4 Etude thermodynamique**

L'étude thermodynamique de l'adsorption permet de comprendre la faisabilité, la spontanéité et la nature du processus d'adsorption. Les principaux paramètres thermodynamiques analysés sont :

- Variation de l'enthalpie( $\Delta H^0$ ): Indique si le processus est endothermique ( $\Delta H^0 > 0$ ) ou exothermique ( $\Delta H^0 < 0$ ).
- Variation de l'entropie( $\Delta S^0$ ) Reflète le degré de désorption au niveau de l'interface solide-liquide. Une valeur positive de ( $\Delta S^0$ ) suggère une augmentation du désordre lors de l'adsorption.
- Variation de l'énergie libre de Gibbs ( $\Delta G^0$ ) : Détermine la spontanéité du processus. Une valeur négative de ( $\Delta G^0$ ) indique que l'adsorption est spontanée (Springer Plus 2016.).

Après avoir présenté la méthode principale utilisée pour le traitement de l'eau, nous allons maintenant découvrir la méthode complémentaire qui nous permet de réutiliser l'adsorbant plusieurs fois, c'est la régénération.

## **I.9 Désorption et régénération**

### **I.9.1 Définition**

La régénération est le processus par lequel un adsorbant saturé est restauré à son état initial afin d'être réutilisé. Elle consiste généralement à éliminer les substances adsorbées, souvent par des traitements physiques ou chimiques, permettant ainsi de prolonger la durée de vie et l'efficacité de l'adsorbant (Foo, K. Y., & Hamees, B. H., 2010).

Cette dernière se compose principalement de deux étapes : la première est l'adsorption, dont nous avons déjà parlé précédemment, et la deuxième est la désorption :

### **I.9.2 La désorption**

La désorption est une étape essentielle dans le processus de régénération des adsorbants après qu'ils aient capté des polluants (AMAR A et al, 2023). Elle consiste à libérer les substances appropriées, permettant ainsi de réutiliser l'adsorbant plusieurs fois (Ahmed, A.A., Hameed, B.H, 2010).

Parmi toutes les méthodes, nous avons utilisé la désorption par un solvant :

**I.9.2.1 Principe de la désorption par des solvants**

Le principe de la désorption par solvant repose sur l'utilisation d'un solvant pour extraire des composés adsorbés à la surface d'un solide. Ce procédé permet de régénérer l'adsorbant en dissolvant et en éliminant les substances adsorbées. Il est couramment utilisé dans le traitement des eaux, la purification ou la récupération de produits chimiques (Ruthven, D. M. John Wiley & Sons, 1984)

**I.9.2.2 Facteurs influant la désorption**

- Type de polluant adsorbé (métaux lourds, colorants, pesticides, etc.).
- Nature de l'adsorbant (fibres végétales, coques de fruits, algues, etc.).
- Choix du solvant (acide, base, solvant organique, eau chaude, etc.).
- Température et pH du milieu influençant la cinétique de désorption.
- Durée du contact entre le solvant et l'adsorbant pour une désorption efficace (Volesky, B. (1990) ; Fourest, E., & Roux, J.C. (1992)).

**I.9.2.3 Types des solvants utilisés pour la désorption**

- **Désorption chimique** : utilise principalement les Acides, les bases, ou Agents complexant (EDTA, citrate, etc.)
- **Désorption physico-chimique** : utilise principalement les solvants organiques comme le méthanol, Eau chaude ou vapeur.
- **Désorption biologique** : utilise enzymes ou microorganismes (Ahalya N et al 2003)

**I.9.2.4 Etapes du processus de désorption par un solvant**

- **Saturation du l'adsorbant** : l'adsorbant capte les polluants lors de l'adsorption.
- **Désorption avec un solvant approprié** : le solvant récupère les polluants, libérant l'adsorbant.

- **Lavage et neutralisation** : élimination des résidus de solvant pour éviter toute contamination.
- **Séchage et réactivation** : préparation de l'adsorbant pour un nouveau cycle d'adsorption.

Cela rend le processus d'adsorbant plus économique et compétitif (Wang J & chen C 2009).

**Tableau I.1** Avantages et inconvénients de la régénération d'un adsorption à base de source alimentaire.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Coût faible et disponibilité abondante	Capacité d'adsorption parfois inférieure à celle des matériaux synthétiques
Matériau biodégradable et respectueux de l'environnement	Risque de désorption sous certaines conditions (pH, température, etc.)
Régénération facile (alcool, eau salée, etc.)	Stabilité chimique et mécanique parfois limitée
Utilisable pour divers polluants (métaux, colorants, etc.)	Perte d'efficacité après plusieurs cycles de régénération

- Ce premier chapitre a permis de poser les bases théoriques nécessaires à la compréhension des adsorbants, notamment ceux issus de sources alimentaires. Ces matériaux, grâce à leur abondance, leur faible coût et leurs propriétés adsorbantes intéressantes, représentant une alternative prometteuse pour le traitement des eaux contaminées. Cette étude introductive ouvre ainsi la voie à l'approfondissement expérimental qui sera abordé dans les chapitres suivants.

## Chapitre II: Matériels et Méthodes

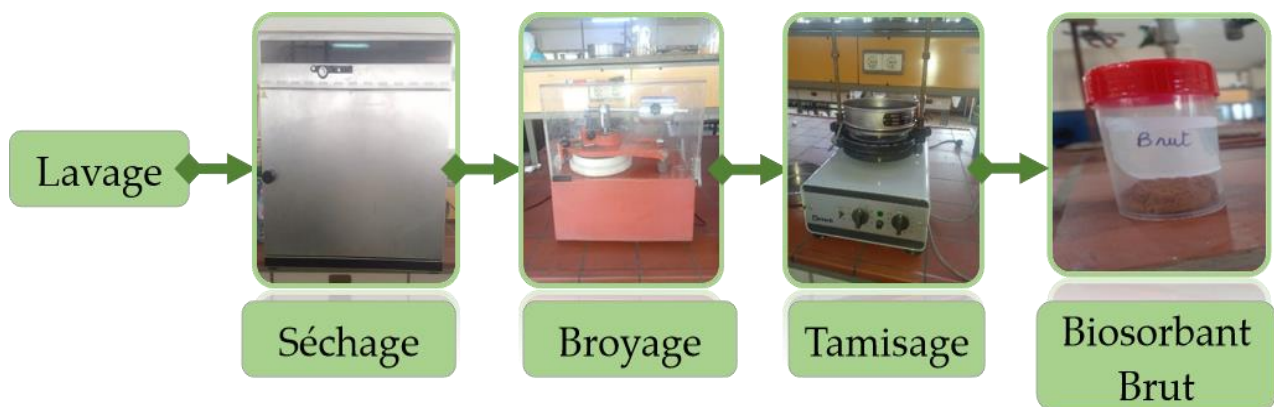
### II.1 Introduction

Ce chapitre constitue l'une des parties essentielles de ce mémoire, car il traite des moyens et les méthodes expérimentales sur lesquelles repose notre travail. L'objectif est d'expliquer notre étude sur la protection de l'environnement, qui est notre spécialité, et de montrer comment les déchets ont été exploités dans le domaine de la purification de l'eau. Nous allons présenter en détail toutes les étapes que nous avons suivies.

### II.2 Préparation d'adsorbant

Les déchets alimentaires sont lavés d'abord avec de l'eau du robinet, puis plusieurs fois avec de l'eau distillée afin d'éliminer toutes les impuretés. Ensuite, ils sont séchés dans une étuve à une température de 105°C pendant 24 heures, et dans la dernière étape, ils sont broyés et tamisés (tamis à mailles 0.14µm) pour avoir une poudre fine qui est notre NB.

**Figure II.1** Procédé de la préparation de l'adsorbant.



### II.3 Le choix de colorant

Notre étude a été réalisée en se basant sur le colorant de Bleu de Méthylène (BM), par rapport à son utilisation intensive par les industries et leur présence dans les rejets industriels. De plus, ils sont considérés comme des polluants majeurs pour l'environnement, en particulier pour l'eau (Belghoul Meriem Noucieba ; Berrahmoune Hassiba, 2022). D'autre part, leur

stabilité chimique, de leur facilité de détection par spectrophotométrie, et de leur représentativité des polluants organiques cationiques.

Le tableau suivant représente les principales caractéristiques physico-chimiques de ce colorant :

**Tableau II.1** principales propriétés physico-chimiques du colorant de BM.

<b>Propriétés</b>	<b>BM</b>
<b>Numéro de CAS</b>	<b>61-73-4</b>
<b>Formule chimique</b>	<b>C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>CIN<sub>3</sub>S</b>
<b>Masse moléculaire</b>	<b>319,86 g/mole</b>
<b>Point de fusion</b>	<b>180 °C</b>
<b>Densité</b>	<b>400- 600</b>
<b>λ max</b>	<b>664 nm</b>
<b>Etat</b>	<b>poudre</b>
<b>Couleur</b>	<b>bleu foncé</b>
<b>Odeur</b>	<b>Inodore</b>
<b>Solubilité dans l'eau</b>	<b>50 g/L à 20 °C</b>



**Figure II.2** Le colorant BM.

#### **II.4 Préparation de la solution mère de Bleu méthylène (BM)**

Pour préparer la solution mère, une masse de 0,1 g de bleu de méthylène (BM) a été pesée avec précision, puis introduite dans une fiole jaugée d'un litre contenant une petite quantité d'eau distillée. Le mélange a été agité manuellement jusqu'à dissolution complète du colorant. Le volume a ensuite été complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, ce qui a permis d'obtenir une solution mère de concentration 100 mg/L.



Figure II.3 Solution mère de BM.

## II.5 Spectrophotométrie UV- VIS

La spectrophotométrie est une technique analytique qui permet de mesurer l'absorbance ou la transmission de la lumière par une solution en fonction de la longueur d'onde. Elle est utilisée pour déterminer la concentration d'une substance dissoute dans un solvant, en se basant sur la loi de Beer-Lambert (Skoog D. A., Holler F. J., & Crouch S. R. 2014).

### a. Loi de Beer Lambert :

Est une relation fondamentale en spectrophotométrie, qui lie l'absorbance d'une solution à la concentration de l'espèce absorbante, à son longueur du trajet optique.

#### ✓ La formule de la loi de Beer-Lambert :

$$A = \log \left( \frac{I^0}{I} \right) = \log \left( \frac{1}{T} \right) = \epsilon \cdot c \cdot l \quad \text{Eq(1)}$$

Avec :

**T** : facteur de transmission ou transmittance.

**A** : absorbance ou densité optique.

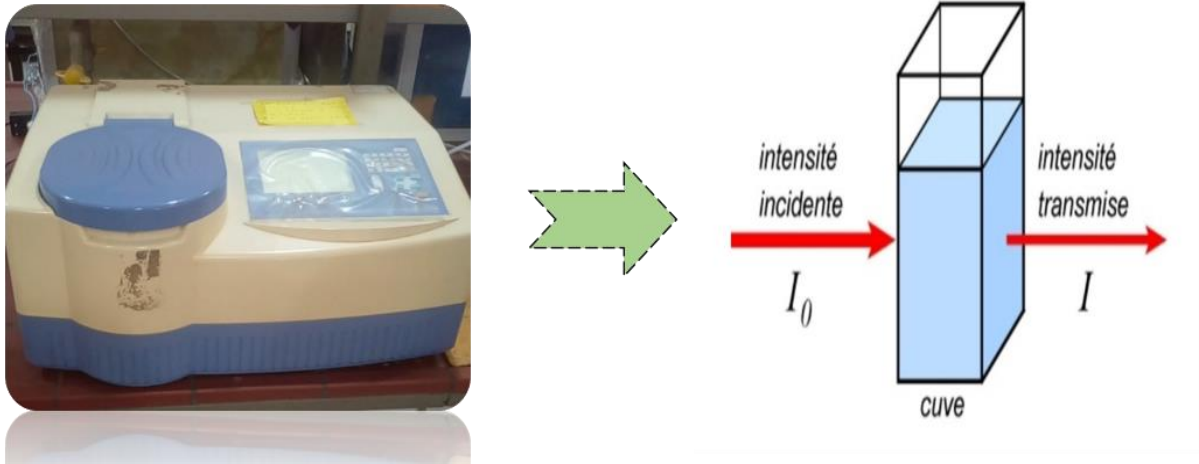
**C** : concentration massique du composé dosé.

**I<sub>0</sub>** : intensité du faisceau incident.

**I** : intensité du faisceau émergent.

**ε** : le coefficient d'absorption molaire (L/mol.cm).

**l** : épaisseur de la cuve (cm).



**Figure II.4** La spectrophotométrie et le principe de Beer Lambert.

## **II.6 Dispositif expérimental de l'adsorption**

Le dispositif expérimental utilisé est une cellule de réaction en mode réacteur batch en système fermé. La réaction se déroule entre des grains d'adsorbant dispersé dans la solution et les molécules de polluant à éliminer. La différence de concentration entre l'entrée et la sortie du réacteur dans un temps  $\Delta t$  donne le taux d'élimination du polluant selon l'équation (Eq 2.)

$$\%ABS = \frac{(Abs_i - Abs_t)}{Abs_i} \times 100 \quad \text{Eq (2)}$$

Où: ABS (%): le taux d'élimination du polluant ;

$Abs_i$  : Absorbance mesurée a une longueur d'onde a  $\lambda$  t=0 (échantillon non traité) ;

$Ab_{S_t}$  : Absorbance mesurée a une longueur d'onde  $\lambda$  a l'instant t (échantillons traités pendant un temps t).

## **II.7 Dispositif expérimental de désorption**

Le dispositif expérimental de désorption consiste à mettre en contact une masse connue d'adsorbant saturé avec un volume déterminé de solvant (eau, NaOH, HCl, solvants organiques...) dans un bécher, sous agitation pendant un temps donné. Après séparation de la phase solide et liquide par filtration ou centrifugation, la concentration du polluant désorbé est analysée par spectrophotométrie. Le pourcentage de désorption est ensuite calculé afin d'évaluer l'efficacité du solvant utilisé et la capacité de régénération de l'adsorbant, l'opération est répétée jusqu'à ce que l'adsorbant perde son efficacité d'adsorption (AMAR A et al, 2023).

$$\% \text{ de désorption} = \frac{\text{La quantité desorbée}}{\text{la quantité adsorbée}} \times 100 \quad \text{(Eq 3)}$$

## Chapitre III: Résultats et discussions

### III.1 Partie1 : Elimination de Bleu de méthylène par l'adsorbant NB

Dans ce chapitre, nous allons présenter et discuter les résultats obtenus à travers notre étude, qui consiste principalement en l'utilisation d'un adsorbant naturel pour la purification de l'eau. Et à la place de l'eau contaminée réelle, nous avons utilisé le bleu de méthylène comme polluant organique. Nous introduisons aussi l'impact de plusieurs paramètres physico-chimiques sur la performance d'adsorption et l'efficacité d'élimination du colorant. Ces paramètres incluent notamment, le temps de contact, le pH, la concentration initiale du colorant, la température, ainsi que l'analyse des isothermes et la cinétique d'adsorption. Et outre, nous incluons les résultats de la régénération de notre adsorbant.

#### III.1.1 Détermination de $\lambda_{max}$

Le spectre d'adsorption de BM est réalisé à une longueur d'onde comprise entre 200 et 800 nm. Le résultat obtenu et présenté sur la figure suivante :

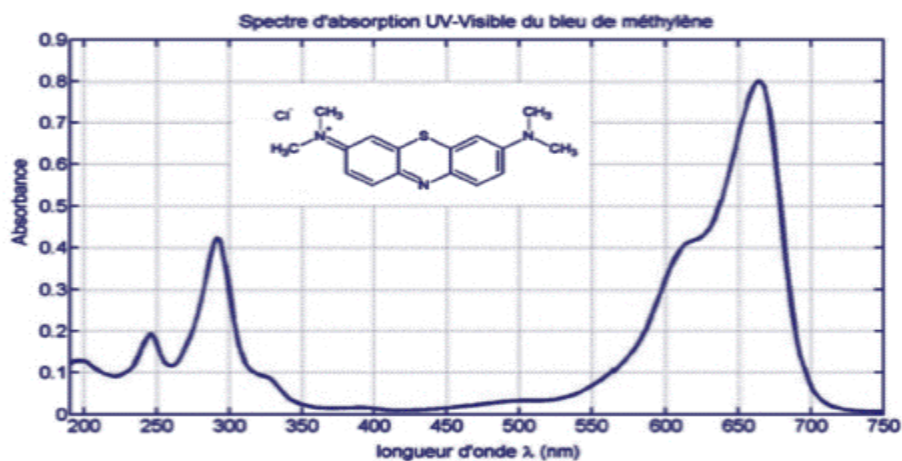


Figure III.1 spectre du BM.

D'après la Figure III.1, la valeur de la longueur d'onde maximale du colorant BM est égale à 664 nm.

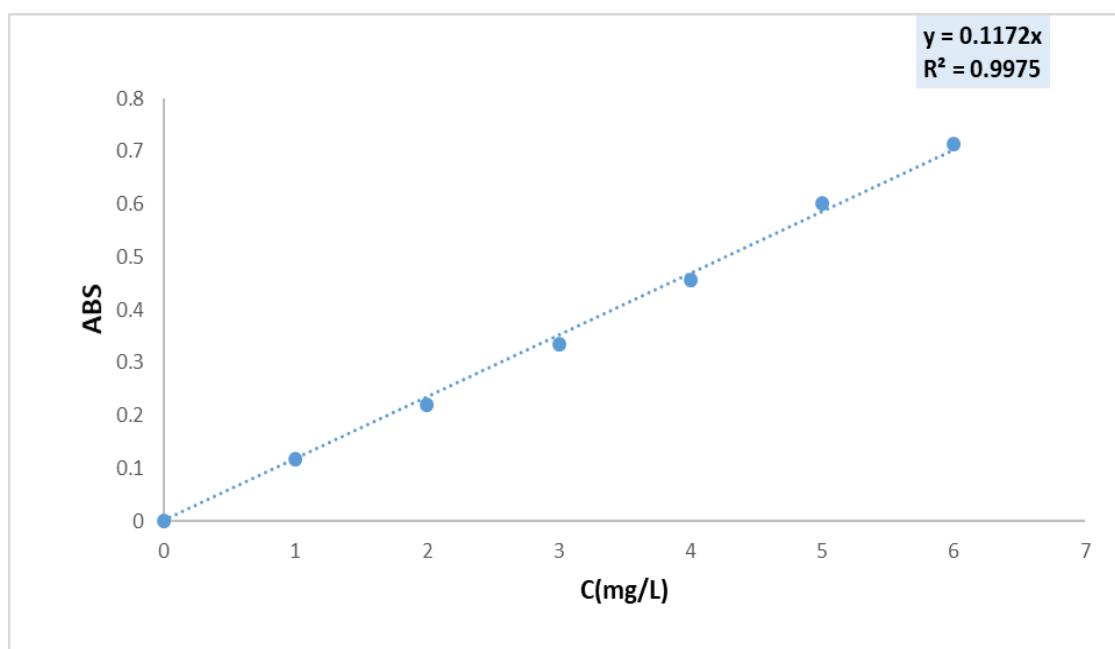
### III.1.2 La courbe d'étalonnage

L'établissement de la courbe d'étalonnage, a été fait par la préparation d'une solution mère de concentration 100mg/l à partir de laquelle une préparation des solutions filles par une dilution successive permet d'obtenir les résultats suivant :

Domaine des concentrations variait entre 1 à 6 mg/l pour le bleu de méthylène.

**Tableau III.1** Valeurs obtenue pour l'établissement de la courbe d'étalonnage du Bleu de méthylène.

C (mg/l)	0	1	2	3	4	5	6
Absorbance	0	0.118	0.22	0.335	0.445	0.6	0.714



**Figure III.2** La courbe d'étalonnage de BM.

Suite à une analyse par régression linéaire, l'équation a été établie. Le coefficient de détermination obtenu, démontre une forte adéquation linéaire des données.

### III.2 Les paramètres physico-chimiques

L'objectif est d'étudier l'influence des paramètres physico- chimiques sur l'adsorption du BM afin d'optimiser les conditions optimales de traitement :

#### III.2.1 Effet du temps sur l'adsorption de BM

Dans le but de déterminer les temps d'équilibre d'adsorption, des volumes de 25 mL de chaque solution de concentration connues, choisie arbitrairement ont été mélangée avec 0,5 g du NB à température ambiante. L'ensemble est agité à des temps d'agitation allant de 5 à 120 min. La séparation est effectuée par centrifugation pendant 15 minutes. Les concentrations résiduelles des polluants ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-VIS.

La Figure III.3 résume les résultats de l'élimination du BM en fonction du temps de contact

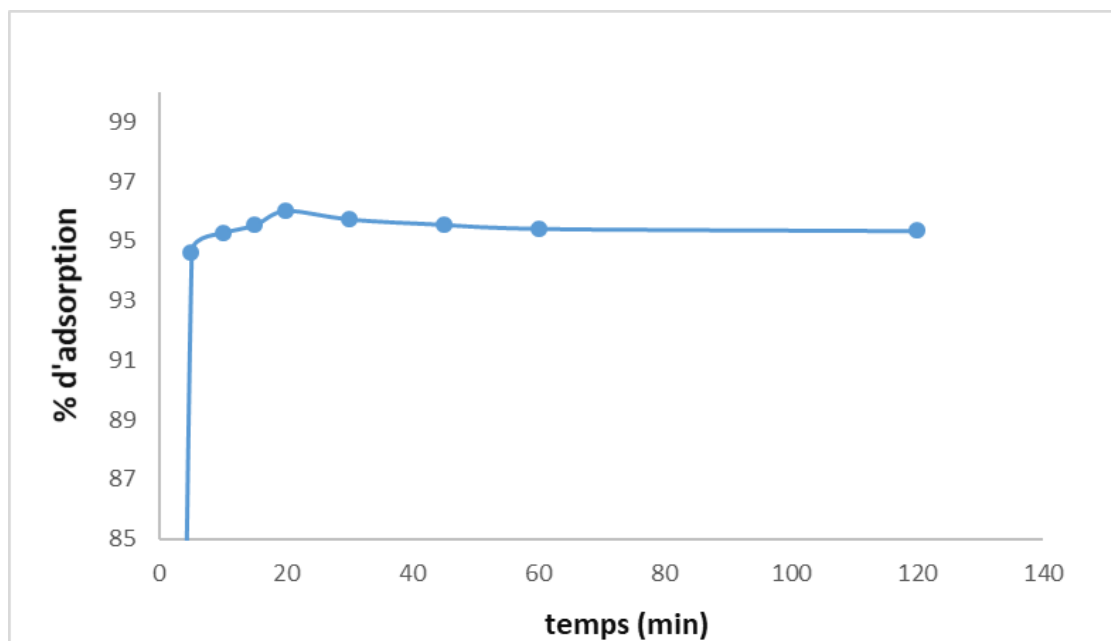


Figure III.3 Effet de temps sur l'adsorption de BM.

La courbe ci-dessus exprimé que l'adsorption du BM est très rapide dans les 10 premières minutes, ce qui montre que les sites sur la surface de l'adsorbant sont libres et facilement accessibles aux molécules de BM. Puis, une augmentation progressive et lente est

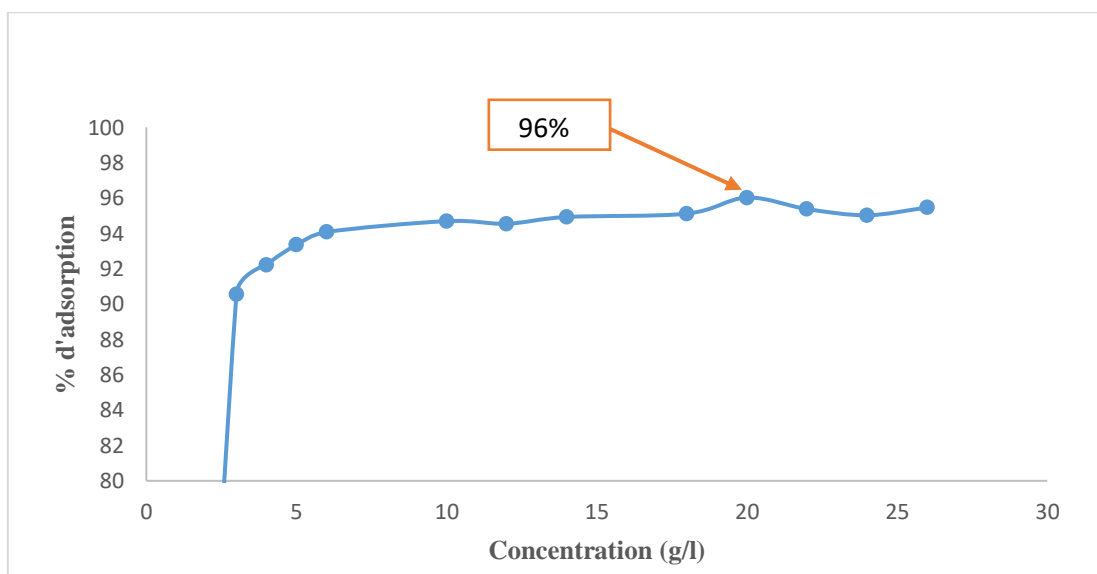
observée jusqu'à atteindre un taux maximal d'adsorption de 96% à 20 minutes, qui est le temps optimal pour une adsorption efficace du BM par notre adsorbant. Nous pouvons noter que plus de la totalité de la capacité d'adsorption, de chaque adsorbant est atteinte après les premiers minutes d'agitation.

### III.2.2 Effet de la dose de l'adsorbant N.B sur l'adsorption du BM

La dose du l'adsorbant est l'un des paramètres qui affectent fortement sur le processus d'adsorption C'est pourquoi nous avons étudié ce paramètre nous permet de comprendre son influence sur l'efficacité du processus d'adsorption et déterminer la dose optimale (Babou Lylia & M'zyene Nacera, 2018).

Dans le but d'étudier l'influence de la dose de l'adsorbant sur la capacité d'adsorption, nous avons suivi les étapes suivantes : dans une série de béchers contenant 100 mL de la solution de concentration connue BM (100 mg/l), et qui ont été mélangés et agités respectivement avec des doses différentes adsorbant allant de 0,1 jusqu'à 2.6 g.

La Figure III.4 représente la variation du % d'adsorption du BM en fonction de la dose du matériau utilisé



**Figure III.4** Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption du Blue de Méthylène (BM).

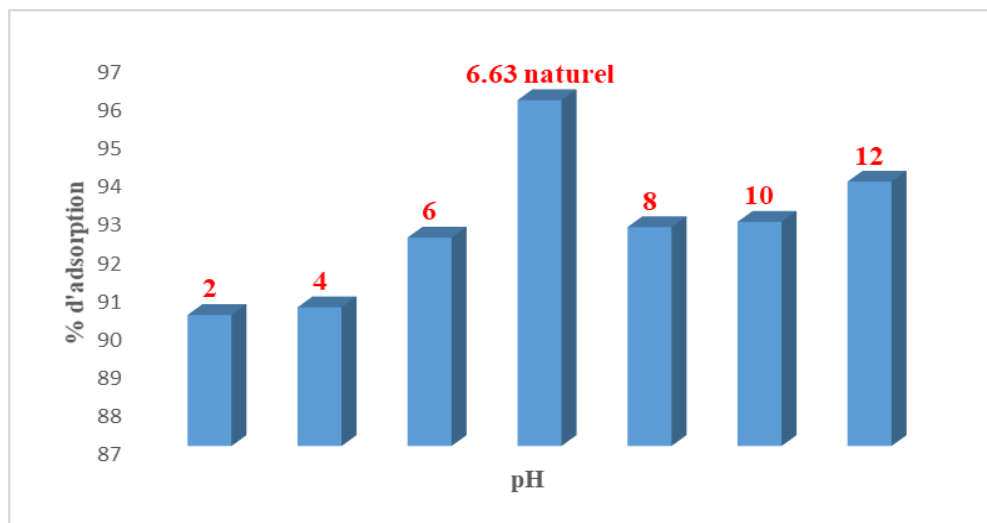
La courbe ci-dessus montre que la dose optimale pour une adsorption efficace de BM par notre adsorbant est de 20 g/l, ou le pourcentage d'adsorption a atteint sa valeur maximale (un pic d'efficacité) de 96%. Cela indique que l'adsorbant est très efficace et atteint une saturation des sites d'adsorption au-delà d'une certaine concentration, soulignant l'importance d'optimiser la dose de polluant.

### III.2.3 Effet de pH sur l'adsorption de BM

Le pH joue un rôle important dans le processus d'adsorption. Beaucoup d'études ont montré que le pH est un facteur important pour la détermination du potentiel d'adsorption des composés organiques cationiques et anioniques (BENYEKKOU, 2022)

Dans une série de béchers, les tests d'adsorption ont été effectués dans des solutions avec différents pH sur une plage de 1 à 12. Le pH a été ajusté par addition d'une solution concentrée de HCl ou de NaOH selon la valeur que l'on veuille imposer ; et c'est avec un pH-mètre que le pH a été contrôlé. Le mélange est agité pendant un temps Et une dose précédemment déterminé, puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie UV/Visible.

La variation de la concentration résiduelle en fonction du temps en présence d'une dose optimale de matériau pour les différentes valeurs de pH est présentée sur la Figure III.5.



**Figure III.5** Effet de pH sur l'adsorption de BM.

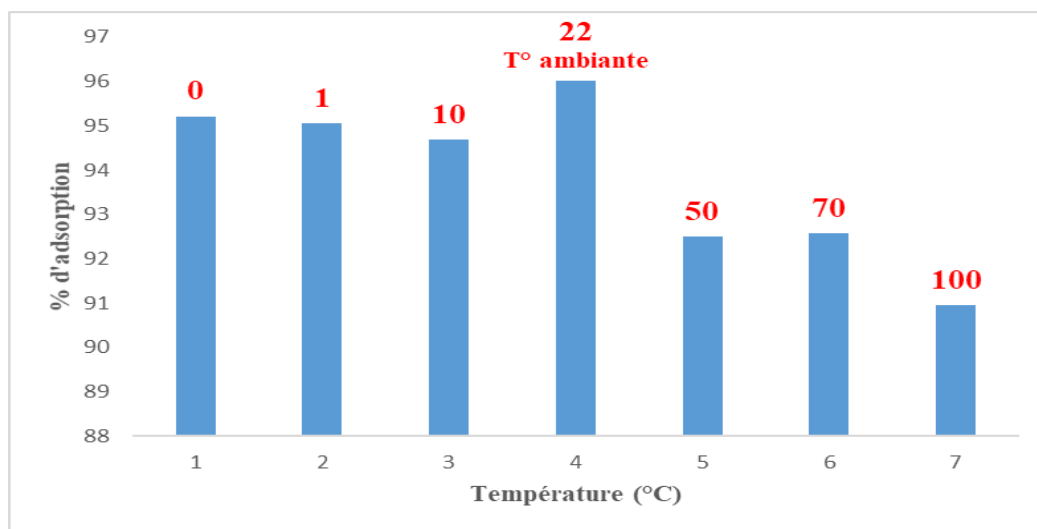
Cette courbe représente le pourcentage d'adsorption de colorant de bleu de méthylène varie en fonction du pH.

On observe une augmentation progressive de l'adsorption de pH 2 à pH 6, atteignant un maximum à pH 6.63 (valeur naturelle), avec un taux d'adsorption d'environ 96.8%.

Le pH influence significativement l'efficacité d'adsorption. Le pH naturel 6.63 est optimal pour une adsorption maximale du Bleu de méthylène par NB.

### III.2.4 Effet de température sur l'adsorption du BM

Afin d'étudier l'influence de la température sur l'adsorption du BM par notre adsorbant NB. Des flacons contenant 25mL de solution de concentration connue de BM, auxquelles nous avons ajouté une masse connue de l'adsorbant étudié, sont placés dans un bain-marie doté d'un thermostat réglé successivement de 0 jusqu'à 100°C, l'ensemble est agité pendant un temps déterminé puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.



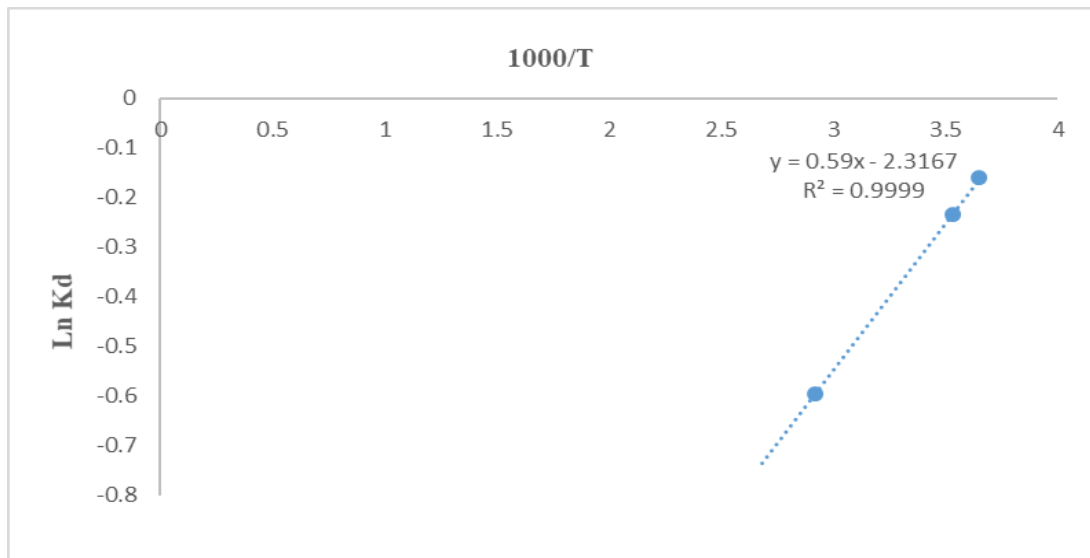
**Figure III.6** Effet de température sur l'adsorption de BM.

La Figure ci-dessus illustre l'effet de la température sur l'adsorption du BM par notre adsorbant.

Le taux d'adsorption est maximal atteint 96% à température ambiante 22°C. En dessous de cette température, l'adsorption reste relativement élevée mais légèrement inférieure à celle

de T° ambiante. De l'autre, une augmentation processive de la température au-delà de T° ambiante entraîne une diminution notable de la capacité d'adsorption, avec une valeur minimale enregistrée à 100°C.

Nous en déduisons que la température optimale pour l'adsorption de BM par notre NB est atteinte à 22°C, ce qui suggère que le processus est plus efficace à température modérée ou basse.



**Figure III.7** Evolution de Ln Kd en fonction de 1000/T pour l'adsorption de BM.

La Figure ci-dessus représente l'évolution de Ln Kd en fonction de 1/T pour l'adsorption de BM par N.B.

A partir de cette courbe de Van't Hoff (la pente et l'ordonnée à l'origine) et l'équation ci-dessous, est possible de déterminer les paramètres thermodynamique suivants : la variation d'entropie standard, et la variation d'enthalpie standard :

$$\ln Kd = -\frac{\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad \text{Eq (4)}$$

**Tableau III.2** Paramètres Thermodynamique d'adsorption de BM

$\Delta G^\circ$ (KJ/mol)			$\Delta H^\circ$ (KJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (KJ/mol.k)
T=295 K	T=303 K	T=313 K		
5.73458	5.8088	6.02348	-0.00490526	-0.019261044

D'après ces résultats obtenus, nous pouvons conclure que le processus d'adsorption étudié est faiblement exothermique ( $\Delta H^\circ < 0$ ), et s'accompagne d'une diminution de l'entropie ( $\Delta S^\circ < 0$ ), ce qui est typique d'un mécanisme de physisorption, cela reflète une organisation accrue des molécules adsorbées à la surface du matériau. De plus la valeur positive de  $\Delta G^\circ$  indique que l'adsorption n'est pas spontanée dans ces conditions, le processus est plus favorable à des températures plus faible, conformément à la nature exothermique de la réaction (Ruthven 1984 et Foo & Hameed 2010).

### III.3 Les isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont souvent exploitées pour la détermination des capacités maximales de fixation des polluants et pour l'identification du type d'adsorption. Les modèles de Langmuir et Freundlich, nous ont permis de calculer la capacité maximale d'adsorption ainsi que les paramètres d'adsorption (A. Aarfane; A. Salhi; M. El krati; S. Tahiri; M. Monkade; E.K. Lhadi; M. Bensitel, 2014). Pour la réalisation des isothermes, en variant la concentration des solutions en BM (Belghoul Meriem Noucieba ; Berrahmoune Hassiba, 2022) de 10 à 300 mg/l. On calcule la quantité adsorbée à travers de l'équation suivants :

$$\frac{x}{m} = \left[ \left( \frac{C_0 - C_{eq}}{m} \right) \times 1000 \right] \times V \quad \text{Eq (5)}$$

Avec :

$C_0$  : Concentration initial de l'adsorbant (mg/l)

$C_{eq}$  : Concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/l)

$V$  : Volume d'adsorbant (ml)

$m$  : masse de l'adsorbant (g)

g/l. Dans le but d'étudier l'isotherme d'adsorption, nous avons étudié deux modèles les plus couramment employée : le modèle de Langmuir et Freundlich.

Dans une série de béchers, nous avons introduit successivement la quantité optimisée de N.B et 25ml de solution de polluant de concentration variant de 10 à 700 mg/L. les mélanges sont agités pendant un temps déterminé, puis filtrés et analysés. On calcule ensuite la quantité adsorbée. Ensuite, nous traçons les courbes des modèles de Freundlich et Langmuir, puis choisissons celui qui s'ajuste le mieux aux données expérimentales.

### III.3.1 Modèle de Langmuir

C'est le premier modèle que nous avons étudié, son équation linéaire est donnée par la formule suivante :

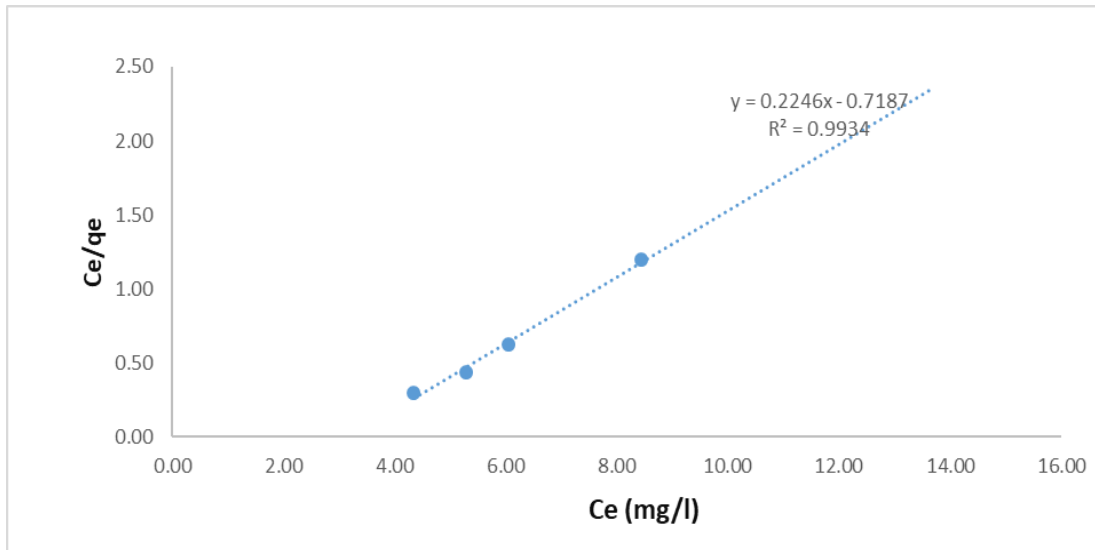
$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{max}K_L} + \frac{C_e}{Q_{max}} \quad \text{Eq(6)}$$

Avec :

**K<sub>L</sub>** : constante de Langmuir liée à l'affinité de liaison entre adsorbat et adsorbant

**Q<sub>max</sub>**: La capacité maximale d'adsorption (mg/l)

La Figure III.8 représente l'isotherme d'adsorption Langmuir pour l'adsorption de BM par notre adsorbant



**Figure III.8** Isotherme d’adsorption Langmuir pour l’adsorption de BM.

A partir de la courbe ci-dessus, il est possible de déterminer la capacité maximale et les constantes d’équilibre de Langmuir à l’aide de l’interception et la pente, respectivement (Fellahi Zohra Kaouther & Hadroug Nadjjet, 2024).

Le tableau ci-dessous indique leurs valeurs :

**Tableau III.3** Les caractéristiques de Langmuir pour l’adsorption de BM.

Equation de Langmuir	$Q_{max}$ (mg/g)	$K_L$ (mg/g)	$R^2$
$y=0.2246x-0.7182$	4.452359751	0.312508696	0.9934

### III.3.2 modèle de Freundlich

C’est le deuxième modèle que nous avons étudié, son équation linéaire est donnée par la formule suivante :

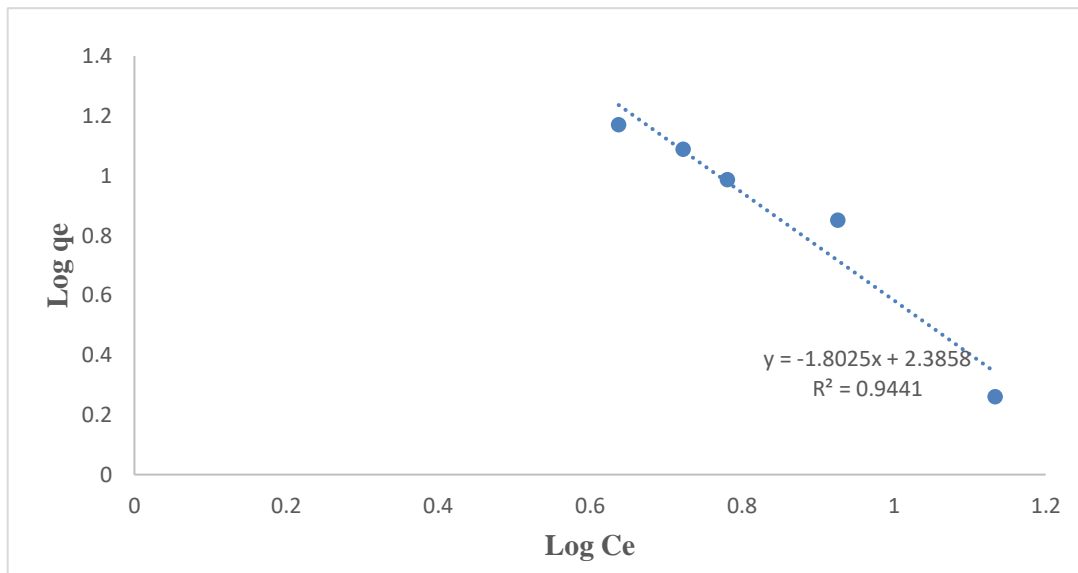
$$\text{Log}Q_e = \frac{1}{n} \text{log}C_e + \text{log}K_F \quad \text{Eq(7)}$$

Avec :

$K_F$  : constante de Freundlich liée à la capacité d’adsorption

$\frac{1}{n}$  : Constante liée à l’intensité de l’adsorption

La Figure III.9 représente l’isotherme d’adsorption Freundlich pour l’adsorption de BM par NB.



**Figure III.9** Isotherme d’adsorption Freundlich pour l’adsorption de BM.

A partir de la courbe ci-dessus, il est possible de déterminer la capacité d’adsorption et les constantes de Freundlich à l’aide de la pente et l’interception, respectivement.

Le tableau ci-dessous indique leurs valeurs :

**Tableau III.4** Les caractéristiques de Freundlich pour l’adsorption de BM.

Equation de freundlich	n	$K_F$ (mg/g)	$R^2$
$y = - 1.8025x + 2.3858$	-0.554785021	10.86775339	0.9441

D'après les résultats obtenus concernant le coefficient de détermination  $R^2$  et les constantes de chaque modèle, nous concluons que le modèle de Freundlich n'est pas adapté à notre processus d'adsorption ( $R^2=0.9441$ ).

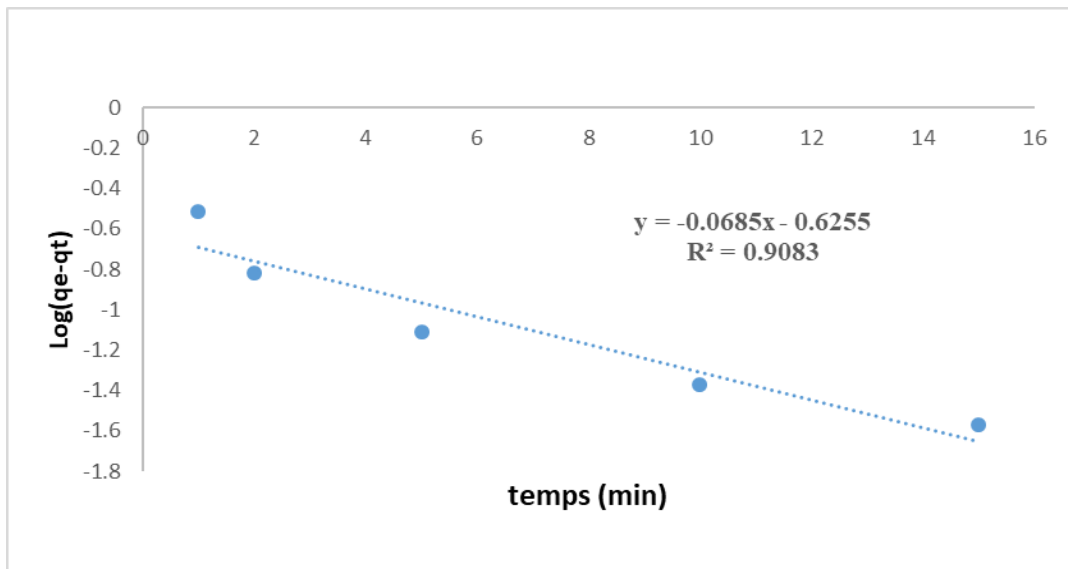
L'ajustement des données au modèle de Freundlich a conduit à une pente négative ( $1/n < 0$ ), ce qui est physiquement incohérent. Cette anomalie confirme que le modèle de Freundlich ne décrit pas adéquatement notre processus d'adsorption.

Tandis que le modèle de Langmuir est le plus appropriée avec un coefficient de détermination ( $R^2=0.9934$ ). Cela indique que l'adsorption se fait en monocouche sur une surface homogène, et signifie que tous les sites actifs ont la même énergie d'adsorption et qu'il n'y a pas d'interaction significative entre les molécules adsorbées.

### **III.4 Cinétique d'adsorption**

Dans ce travail, pour étudier le mécanisme d'adsorption et analyser les résultats expérimentaux, deux modèles cinétiques ont été appliqués (1) pseudo premier ordre, (2) pseudo second ordre (Babou Lylia & M'zyene Nacera, 2018).

Il s'agit d'effectuer les tests d'adsorption en prenant des temps de contact inférieure au temps d'équilibre, avec la dose et le pH optimal trouvée (Benyekkou, 2022). Nous traçons les courbes de premier et second ordre, puis choisissons le meilleur modèle pour l'adsorption du polluant étudié.



**Figure III.10** La cinétique d'adsorption du pseudo premier ordre.

#### III.4.1 Modèle de pseudo premier ordre

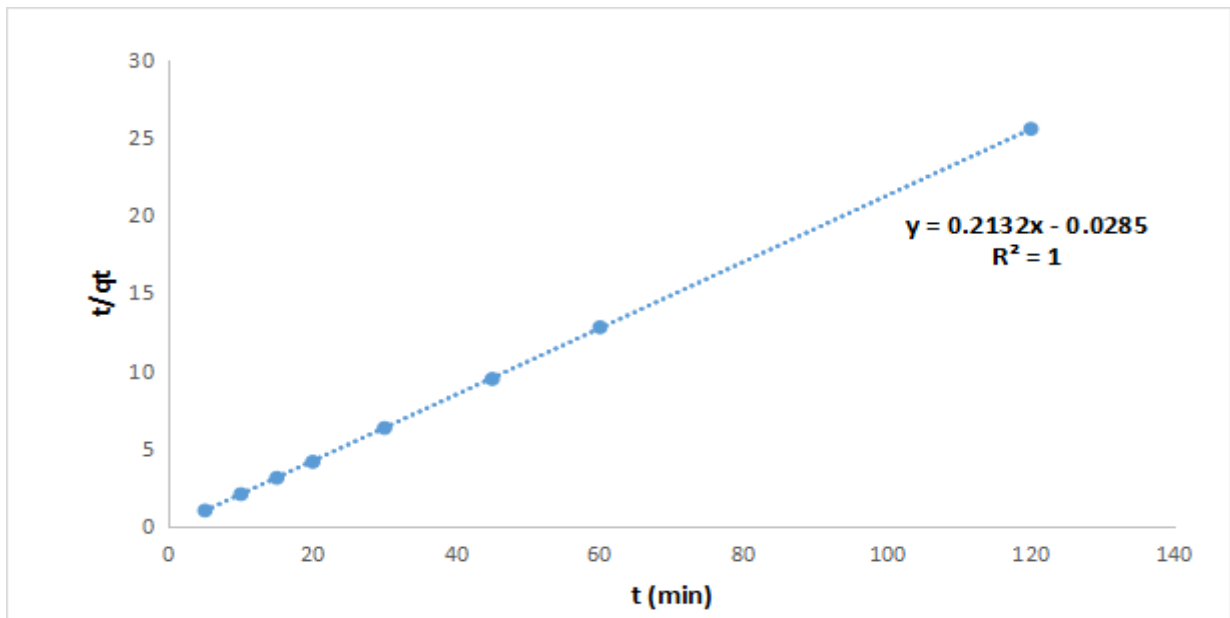
La courbe ci-dessus représente  $\log(q_e - q_t)$  en fonction du temps. On peut déterminer les constantes de la cinétique d'adsorption du pseudo premier ordre à partir de la pente et l'interception, ainsi que l'équation suivante :

$$\mathbf{\text{Log}(q_e - q_t) = \log(q_e) - K_1 \cdot t} \quad \mathbf{\text{Eq(8)}}$$

Avec :

$\mathbf{K_1}$  : constante de vitesse du pseudo-premier ordre (1/min)

Les résultats obtenus sont représentés le tableau III.5 :



**Figure III.11** La cinétique d'adsorption du pseudo second ordre.

#### III.4.2 Modèle de pseudo second ordre

La courbe ci-dessus représente  $t/q_t$  en fonction de temps. On peut déterminer les constantes de la cinétique d'adsorption du pseudo second ordre à partir de la pente et l'interception, ainsi que l'équation suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \text{Eq(9)}$$

Avec :

$K_2$  : constante de vitesse du pseudo second ordre (g/mg.min)

Les résultats obtenus sont représentés le tableau ci-dessous :

**Tableau III.5** Paramètres de cinétique d'adsorption BM.

pseudo premier ordre			pseudo second ordre		
$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$q_e$ (mg/g)	$R^2$	$K_2$ (g/mg.min)	$q_e$ (mg/g)	$R^2$
0.0685	0.534	0.9083	1.59	4.699	1

A partir des résultats obtenus pour les deux modèles cinétiques étudiés, il apparaît que la cinétique pseudo-second ordre est le modèle le plus favorable pour l'étude de la cinétique d'adsorption du colorant BM ( $R^2=1$ ) (Babou Lylia & M'zyene Nacera, 2018).

Une fois l'étude du processus d'adsorption achevée, nous abordons la deuxième partie de notre travail, consacrée à la régénération de l'adsorbant. Cette étape nécessite la sélection d'un solvant optimal pour la désorption.

### III.5. PARTIE 2 : La régénération de l'adsorbant valorisé (N.B)

#### III.5.1 Choix de solvant

##### a) Adsorption

Avant de lancer la série de huit cycles de désorption, les adsorbants biosourcés ont d'abord été chargés en bleu de méthylène au cours d'une étape d'adsorption standardisée. Pour chaque cycle, 0,5 g d'adsorbant sec ont été ajoutés à 50 mL de solution de bleu de méthylène BM ( $100 \text{ mg L}^{-1}$ ) dans un réacteur batch, puis agités à  $200 \text{ tr min}^{-1}$  à température ambiante ( $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pendant 20 minutes, afin de garantir le contact maximal entre les sites actifs du solide et les molécules colorantes. À l'issue de cette phase, le solide chargé a été séparé de la solution par centrifugation ( $5 \text{ min}$  à  $4000 \text{ tr min}^{-1}$ ), et la concentration résiduelle de BM dans le surnageant a été mesurée par spectrophotométrie UV-Vis à  $664 \text{ nm}$ . La quantité adsorbée a ainsi été calculée, et l'adsorbant saturé, a été isolé et séché avant d'être soumis à l'étape de désorption pour évaluer sa régénération au fil des huit cycles. Les figures ci-dessous illustrent ce procédé :

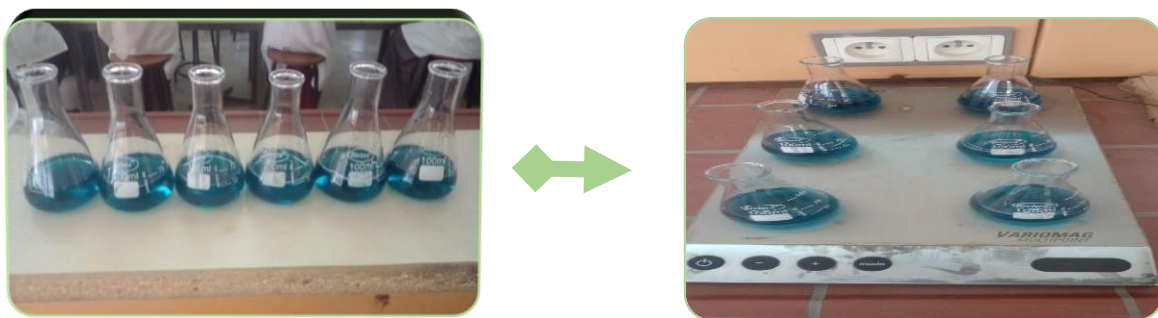


Figure III.12 Procédé d'adsorption.

**b. Filtration**

Dans cette étape, les solutions préalablement agitées sont soumises à une opération de filtration.

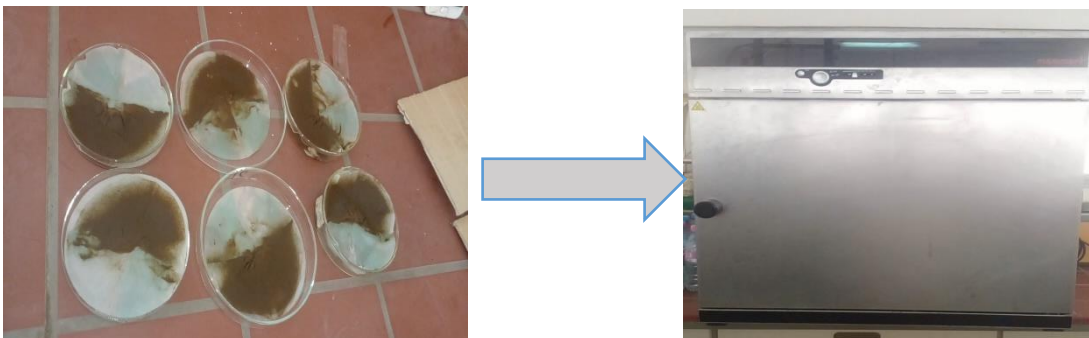


**Figure III.13** Procéder de filtration.

Après la filtration, les échantillons sont centrifugés pendant 5 min, afin de mesurer l'absorbance.

**c. Séchage**

D'un autre côté, nous plaçons l'adsorbant retenu sur le papier filtre dans l'étuve à 105°C.



**Figure III.14** procédé de séchage.

#### d. Désorption

Pour déterminer le solvant de désorption le plus efficace pour la régénération de notre adsorbant, huit solvants ont été testés (méthanol, éthanol, acétone, butanol,  $H_2O_2$ , HCl 1 N, eau distillée et NaOH 1 N). Après un cycle d'adsorption, les biosorbants séchés ont été mis en contact avec un volume de solvant équivalent à celui utilisé précédemment, agités pendant 20 minutes, puis filtrés et centrifugés. L'absorbance de chaque solution récupérée a ensuite été mesurée pour évaluer et comparer l'efficacité de désorption de chacun des solvants.

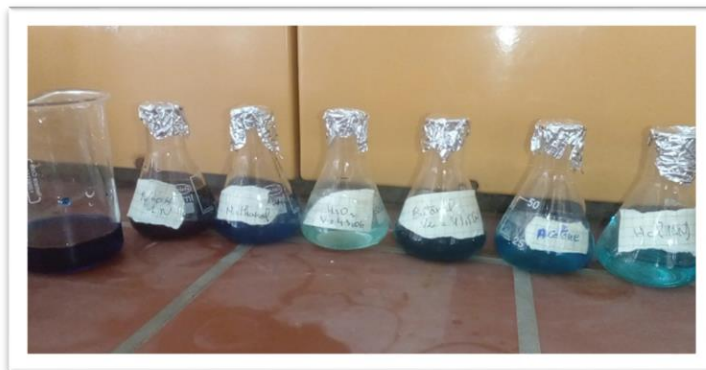


Figure III.15 Procédé de désorption.

La Figure III.16 représente le pourcentage de désorption de BM en fonction de plusieurs solvants.

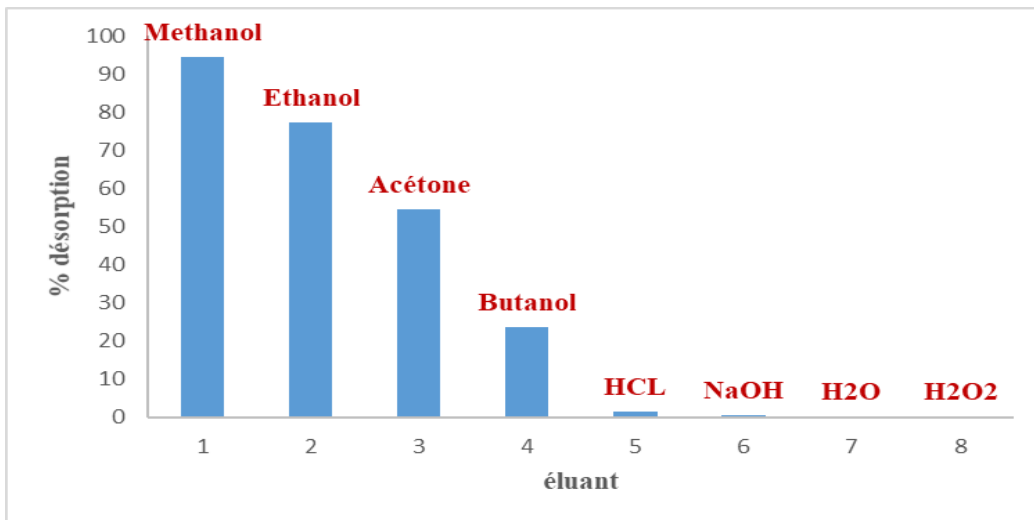


Figure III.16 Choix de solvant pour la désorption de BM.

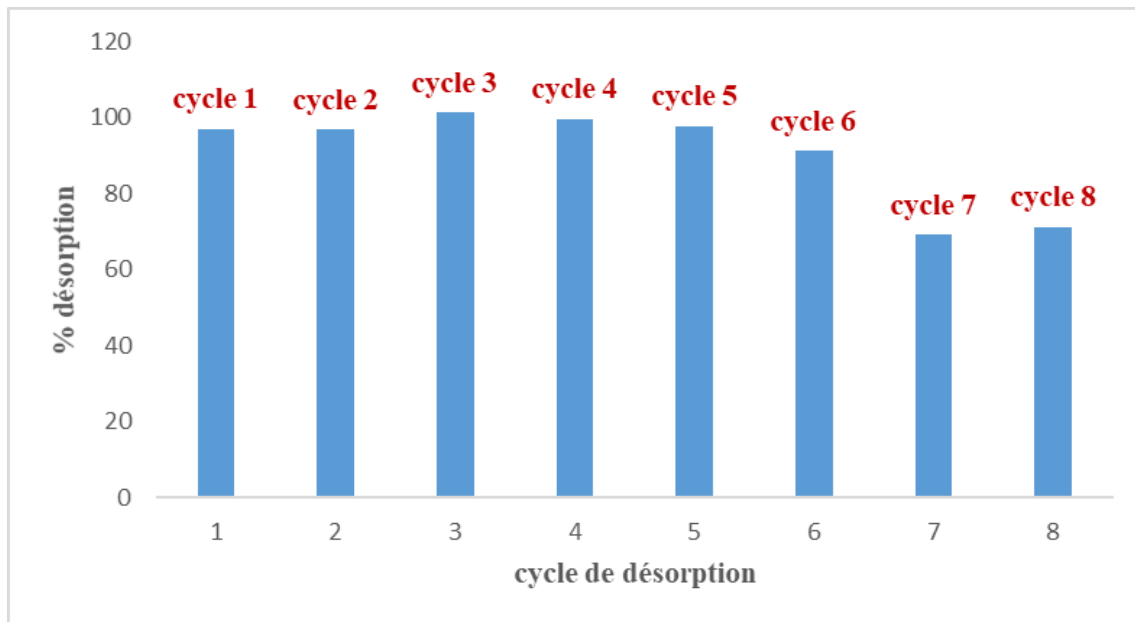
A partir des résultats ci-dessus, nous constatons que les alcools, en particulier le méthanol, présentent un pic d'efficacité dans la désorption du bleu de méthylène.

Le méthanol a permis d'atteindre un taux de désorption élevé de 94,4%, ce qui témoigne de sa grande capacité à extraire le colorant adsorbé. Cependant, les autres solvants testés se sont révélés moins efficaces. Ce pic de désorption par le méthanol indique qu'il y a une forte affinité entre ce solvant et le bleu de méthylène, ainsi qu'une capacité de ce dernier à rompre les interactions entre les molécules adsorbées et la surface de l'adsorbant (SALAA F et al, 2020)

Nous pouvons alors conclure que le méthanol est le solvant le plus efficace et le plus adapté pour réaliser le processus de régénération.

Après avoir sélectionné le solvant optimal, la régénération du biosorbant (NB) a été réalisée afin d'évaluer sa réutilisabilité sur plusieurs cycles d'adsorption, tout en maintenant une performance, une durabilité et une efficacité durables. Pour cela, nous avons suivi l'évolution du taux de désorption au fil des cycles de régénération.

La Figure **III.17** représente l'évolution du pourcentage de désorption de BM en fonction des cycles de régénération.



**Figure III.17** Les cycles de régénération de NB.

Ces résultats montrent que notre adsorbant possède une bonne stabilité et une forte capacité de réutilisation, atteignant jusqu'à huit cycles avec une efficacité élevée notamment durant les six premiers cycles, les taux de désorption ont dépassé les 90%.

La diminution de l'efficacité observée dès le sixième cycle, nous a conduits à arrêter au huitième cycle.

## Conclusion générale

Ce travail a été réalisé en deux étapes : La première a porté sur la préparation d'un adsorbant à partir de déchets alimentaires, et son application à l'élimination du bleu de méthylène, un colorant cationique, largement utilisé. L'étude a porté sur l'influence de plusieurs paramètres physico-chimiques sur l'efficacité de l'adsorption, notamment la masse de l'adsorbant, le temps de contact, le pH, la concentration du polluant et la température (Jianyang Gao, 2022).

La seconde étape s'inscrit dans une démarche de développement durable, et contribue à la préservation de l'environnement, la régénération du biosorbant afin de permettre sa réutilisation au lieu de le jeter après saturation. Cette approche contribue à la réduction des déchets et à la préservation de l'environnement.

Les résultats obtenus ont montré qu'une adsorption efficace du bleu de méthylène est atteinte dans les conditions optimales suivantes : une dose de 20 g/L d'adsorbant, un temps de contact de 20 minutes, un pH naturel de 6,63 et une température de 22 °C. La cinétique du processus est mieux décrite par le modèle du pseudo-deuxième ordre, tandis que les données d'équilibre s'ajustent le mieux au modèle d'isotherme de Langmuir.

Sur le plan thermodynamique, la valeur négative de  $\Delta H^\circ$  indique un processus faiblement exothermique, tandis que la positivité de  $\Delta G^\circ$  traduit une adsorption non spontanée dans les conditions expérimentales, probablement influencée par l'effet de la température. La valeur négative de  $\Delta S^\circ$  typique d'un mécanisme de physisorption, qui reflète une organisation accrue des molécules adsorbées à la surface du matériau.

Parmi les solvants testés pour la désorption, le méthanol s'est révélé être le plus efficace pour initier le processus de régénération. Grâce à ce solvant, plusieurs cycles de réutilisation de l'adsorbant ont pu être réalisés avec des rendements satisfaisants.

En conclusion, l'adsorbant développé s'est montré initialement performant pour l'élimination du bleu de méthylène, grâce à sa stabilité, sa capacité à être régénéré, son faible

coût et son impact environnemental réduit. Ces caractéristiques en font une solution prometteuse, à la fois efficace, économique et durable, pour le traitement des eaux polluées.

Pour la continuité de ce travail, nous recommandons d'effectuer des caractérisations structurales approfondies de l'adsorbant par des techniques telles que : la spectroscopie infrarouge FTIR, l'analyse BET de la surface spécifique, la microscopie électronique SEM et la diffraction des rayons X DRX, afin de mieux comprendre les mécanismes d'adsorption en jeu.

Par ailleurs, il serait intéressant d'envisager des voies de valorisation supplémentaires, notamment en modifiant la surface du biosorbant (activation chimique ou thermique) ou en le combinant à d'autres matériaux pour améliorer ses performances. Ces approches permettraient d'optimiser l'efficacité globale du procédé, tout en renforçant sa viabilité économique et environnementale à plus grande échelle (BENYEKKOU.N et al, 2020).

## Bibliographie

**Aarfane, A.; Salhi, A.; El Krati, M.; Tahiri, S.; Monkade, M.; Lhadi, E.K.; Bensitel, M.** (2014). Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers.

**Adegoke, K. A., & Bello, O. S.** (2015). Dye sequestration using agricultural wasyes as adsorbents. *Water Resources and Industry*, 12, 8-24.

**Ahalya, N., Ramachandra, T. V., & Kanamadi, R. D.** (2003). Biosorption of heavy metals. *Ree J Chemistry and Environment* 7, 71-78.

**Ahmed, A.A, &Hameed,B.H.**(2010). Fixed-bed adsorption of reactive azo dye onto granular activated carbon prepared from waste. *Journal of hazardous Materials*, 175(1-3) 298-303.

**Amar, A., Khelifa, M., Batonneau-Gener, I., & Lacomte-Nana, G.** (2023, décembre). Élimination améliorée de la ciprofloxacine par une nouvelle organohalloysite obtenue par intercalation d'acide phénylphosphonique. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.

**Babou Lylia & M'zyene Nacera.** Suivi des paramètres physico-chimique et biologique des eaux brutes et traitées de la STEP de Tizi Ouzou, Département des sciences agronomiques, Université Mouloud Mammerie de Tizi-Ouzou Faculté des sciences biologique et des des sciences agronomiques.

**Babel, S., & Kurniawan, T. A.** (2003) Low- cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated Water: a review. *Journal of hazardous Materials B97* (1-3), 219-243..

**Belghoul, M. N; Berrahmoune, H.** (2022). Étude et caractérisation d'un biosorbant pour l'élimination d'un polluant organique. Université de Mostaganem.

**Benyekkou, N.** (2022). Valorisation d'un déchet pour la dépollution des eaux, laboratoire Steva, Université de Mostaganem.

**Benyekkou, N., Redouane, G. M., Abdelmalak, F., & Addou, A.** (2020, décembre). Élimination du paracétamol de l'eau par un biomatériau à base de marc de café usagé.

## BIBLIOGRAPHIE

---

Université de Mostaganem. [https://www.researchgate.net/publication/347573783\\_Elimination\\_of\\_paracetamol\\_from\\_water\\_by\\_a\\_spent\\_coffee\\_grounds\\_biomaterial](https://www.researchgate.net/publication/347573783_Elimination_of_paracetamol_from_water_by_a_spent_coffee_grounds_biomaterial).

**Benkartroussa, M.** (2021). Utilisation de bio-sorbants dans l'adsorption de plus d'un polluant [Thèse de doctorat, Université de Constantine 3, Faculté de Génie des Procédés, Département de Génie de l'Environnement].

**Chadad H; Louannas S; Aguedal, H.** (2021). Étude du potentiel adsorbant d'un matériau naturel. Université Ahmed Draïa, Adrar.

**Crini, G., & Lichtfouse, E** (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*.

**EAA Report No 2** (2016). European Accounting Association. Annual Congress 2016: Programme and collected papers. Maastricht, Pays-Bas.

**FAO** – Food and Agriculture Organization (s.d). Gestion des déchets solides.

**Foo, K. Y., & Hameed, B. H** (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10.

**Freundlich, H.** (1909). *Kapillarchemie: Eine Darstellung der Chemie der Kolloide und verwandter Gebiete*. Leipzig : Akademische Verlagsgesellschaft.

**Fellahi Zohra Kaouther & Hadroug Nadjet;** 2024 Application d'un matériau argileux dans l'élimination d'un polluant minéral par photo catalyse hétérogène sous irradiation de la lumière visible. Université Abdelhamid Ibn Badis ; faculté des sciences et de la technologie département génie des procédés.

**Gharbi Hanane Kheira & Guentrah Khadidja** 2021 Isotherme d'adsorption d'un polluant de L'industrie Textile Université Abdelhamid ibn badiss mostaganem Faculté des sciences et de la technologie.

**Gao, J., Zheng, X., Meng, Z., & Feng, L.** (2022). Adsorption de la ciprofloxacine et de la tétracycline des eaux usées par de la vermiculite modifiée par des hydroxydes doubles lamellaires. *Journal of Porous Materials*. Université des Géosciences de Chine (Pékin).

**Hamouda Nada Ichrak & Mazouli Yasmine.** Valorisation des déchets agroalimentaire domestiques et industriels. Département D'hydrocarbures et Énergies Renouvelables Université Ahmed Draia Adrar.

**Hamouda, N. I. ; Mezaouli, Y.** (2023). Valorisation des déchets domestiques et industriels. Université Ahmed Draïa, Adrar.

**Ho, Y. S., & Mckay, G.** (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451-465.

**Hoornweg, D, & Bhada-Tata, P** (2012). *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. World Bank.

**Houri, R. ; Kebaili, M. ; Mogdad, S.** (2020). Élaboration d'un biofiltre pour la dépollution des eaux contaminées par des colorants. Université Kasdi Merbah Ouargla.

Cevital Agro-Indutrie. Présentation de l'entreprise.

**Kumar et al.** (2018). Development of hybrid adsorbent for effective aqueous phase sorptive removal of copper. *Surface and Interface Analysis*.

**Lagergren, S.** (1898). Zur Theorie der sogenannten Adsorption gelöster Stoffe.

**Langmuir, I.** (1918). L'adsorption des gaz à la surface plane du verre, du mica et du platine. *Journal of the American Chemical Society*.

**Meftah Lamia & Sahoun Khaoula & Sakhari Samya 2019.** Exploitation des propriétés adsorbantes de la vermiculite dans le domaine de traitement des eaux. Université mohamad bodiaf M'sila.

**Rodier, J. (2009)**, L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, l'agriculture et les rejets domestiques. Directives pour la qualité de l'eau potable.

**Ruthven, D. M 1984 et Foo & Hameed (2010)**. Approches pour modéliser les isothermes d'adsorption.

**Ruthven, D. M.** (1984). John Wiley & Sons. Principes d'adsorption et procédés d'adsorption. New York.

**ScienceDirect, Atkins, P. J.** (2010).

**Sebrou, W; Sebgag, S.** (2021). Simulation et modélisation d'élimination d'un colorant Bleu de méthylène par un déchet agroalimentaire. Université de Ghardaïa.

**Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R.** (2014). Principles of Instrumental Analysis (7e éd.).

**SpringerPlus, 5** (2016). Vivek Vardhan, C.M, & Srimurali M. Elimination du fluorure de l'eau à l'aide d'un sorbant innovant à base de bauxite imprégnée de lanthane.

**Salaa, F., Bendenia, S., Khelifa, A., & Lecomte-Nana, G.** (2020, avril). Élimination améliorée du diclofénac par une organohalloysite intercalée selon une nouvelle voie : performance et mécanisme. *Journal of Chemical Engineering*.

**Tadjine** (2015). Adsorption sur supports biologiques : biosorption. ENP.

**UNESCO** (2020). United Nations World Water Development Report.

**Volesky, B.** (1990); Fourest, E., & Roux, J.C. (1992). Biosorption of heavy metals. CRC Press.

**Wang, J., & Chen, C.** (2009). Biosorption for heavy metals removal and their future. pp. 195–226.

**WRAP** (2020, 24 septembre). Waste and Resources Action Programme. Food Waste Reduction Roadmap Progress Report.