



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
La République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique  
جامعة محمد السادس بن باديس - مستغانم  
Université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M2 ...../ GPE /2020

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

### Élimination d'un colorant textile par adsorption sur une biomasse locale

Présenté par :

1. *Draifia Nadia*
2. Choulai Cheik Soumia

Soutenu le ..... /07/2020 devant le jury composé de

Président : MEKIBES Zohra	MAA	Université de Mostaganem
Examineur : DOUARA Nadia	MCB	Université de Mostaganem
Encadreur : BENZEKRI BENALLOU M	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2019-2020

## ***Remerciement***

Nous tenons tout d'abord à remercier en premier lieu le bon Dieu de nous avoir mis sur le bon chemin et de nous avoir éclairé la voie du savoir.

Nous présentons aussi nos sincères remerciements à nos mères qui ne cessent de nous porter leur soutien moral et matériel durant toute notre vie.

Ce mémoire n'aurait vu le jour sans la confiance, la patience et la générosité de nos mamans que nous voulons vivement remercier.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements les plus reconnaissants à notre encadreur Mr BENZEKRI B. Mokhtar l'intérêt qu'il a porté à notre travail en nous orientant, conseillant à mieux faire.

Nous remercions vont aussi à madame MEKIBES Zohra qui nous a donné la chance à travailler dans le groupe.

Qu'a contribué à notre travail et à tous les enseignants de la spécialité génie des procédés et environnement.

Nous exprimons notre profonde gratitude à tous les membres de jury qui ont bien voulu présider pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions spécialement, tous les membres de l'laboratoire de recherche.

Nous remercions tous nos professeurs qui ont tous donné pour valoriser nos études et nos recherches.

Nous remerciant tous membres qui ont participés dans notre réussite dans le cursus scolaire.

Enfin, on prie dieu d'accueillir nos pères dans son vaste paradis, et nous les dédions cette réussite, car ils nous ont apprenais à battre dans la vie pour réussir, ils croyaient en nos capacité

***Soumia & Nadia***

# **DEDICACE**

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté : A ma chère maman, source de tendresse, de noblesse et d'affection.

A ma tante Fatma et ma cousine Soheir, à mes frères, et à tous les membres de ma famille.

A ma chère collègue, binôme et sœur Draifia Nadia et sa maman.

A ma mes chères tantes Fatima, Zohra, et ma chère cousine Ahlem.

A mon fiancé et ma future belle-mère, et mes amies Fatima, Nessrine, Marwa, Sara, Ikram et à tous ceux et celles qui me sont chers Avec toute mon affection

**Merci**

Soumia

## ***DEDICACES***

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à tous celui qui a sacrifié pour m'offrir les conditions propices à ma réussite:

A ma mère, qui je dois la réussite, pour l'éducation qu'elle m'prodigué;

Avec tous les moyens et au prix de toutes les sacrifices qu'elle a consentis à mon égard, pour les ans du devoir qu'elle m'a enseigné depuis mon enfance.

A l'âme de mon père

A mon cher frère EL-Hdj.

A mon fiancé Samir et ma future belle-mère.

A mes chères amies Romaiassa, Hafida, Fatima, Ikram, Marwa, Nessrine et Sara.

A mon binôme Soumia.

A toutes m famille sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleurs conditions pour leurs encouragements et leurs soutiens.

Que ce travail soit l'expression de ma grande affection et un témoignage de mon attachement et de mon grand profond amour.

**Merci**

***Nadia***

## **Résumé**

L'objectif de cette étude est caractérisé le Biosorbant et son application dans l'élimination par adsorption du colorant bleu de bimaide connu pour sa toxicité ; contenus dans l'eau. Les essais exercés dans cette expérience ont montré que le Biosorbant peut éliminer Bleu Bimacide. Alors on peut dire que le que le Biosorbant est efficace pour éliminer le colorant avec une microporosité et mésoporosité importante. L'adsorbant utilisé dans cette étude c'est le biosorbant. L'effet de plusieurs paramètres tel que le temps de contact, la concentration initiale de colorant utilisé, et le pH de la solution a été étudié en système en batch. Pour décrire l'équilibre d'adsorption, les données expérimentales ont été analysées par l'isotherme de Langmuir, de Temkin et de Freundlich. L'équilibre est parfaitement décrit par le modèle de Langmuir dont le coefficient de corrélation est supérieur à 0,99.

**Mots clés :** Adsorption, Biosorbant, bleu Bimacide, Colorants.

## **Abstract**

The objective of this study is characterized the Biosorbent and its application in the elimination by adsorption of the blue dye of bimacid known for its toxicity; contained in water. The tests carried out in this experiment have shown that the Biosorbent can eliminate Bimacid Blue. So we can say that the Biosorbent is effective in removing the dye with significant microporosity and mesoporosity. The adsorbent used in this study is the biosorbent. The effect of several parameters such as the contact time, the initial concentration of dye used, and the pH of the solution were studied in a batch system. To describe the adsorption equilibrium, the experimental data were analyzed by the Langmuir, Temkin and Freundlich isotherm. The equilibrium is perfectly described by the Langmuir model whose correlation coefficient is greater than 0.99.

**Keywords:** Adsorption, Biosorbent, Bimacid blue, Dyes.

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو وصف مادة ماص حيوي وتطبيقها في التخلص من الامتزاز للصبغة زرقاء البيماسيد الحمضي المعروف بسميته الموجودة في الماء. أظهرت الاختبارات التي أجريت في هذه التجربة أن الماص الحيوي يمكنه القضاء على Bimacid Blue. لذا يمكننا القول أن الماص الحيوي فعال في إزالة الصبغة ذات الصغر الدقيق و المسامية. الممتز المستخدم في هذه الدراسة هو المادة الماصة الحيوية. تمت دراسة تأثير العديد من المعلمات مثل وقت الاتصال ، والتركيز الأولي للصبغة المستخدمة ، ودرجة حموضة المحلول في نظام دفعي. لوصف توازن الامتزاز ، تم تحليل البيانات التجريبية بواسطة متساوي الحرارة Langmuir و Temkin و Freundlich. يتم وصف التوازن بشكل مثالي بواسطة نموذج Langmuir الذي يكون معامل الارتباط أكبر من 0.99.

الكلمات الرئيسية: الامتزاز ، ماص حيوي ، Bimacid blue ، الأصباغ.

## List des abréviations

**Abs** : Absorbance.

**C** : Concentration molaire de l'espèce absorbante (mol/L).

**C<sub>0</sub>** : Concentration initial du colorant (mg/L).

**C<sub>e</sub>** : Concentration en soluté de la solution à l'équilibre (mg/L).

**C<sub>t</sub>** : Concentration du colorant à l'instant t (mg/g).

**K<sub>1</sub>** : Constante de vitesse du modèle de 1er ordre (min<sup>-1</sup>).

**K<sub>2</sub>** : Constante de vitesse du modèle de 2ème ordre (g.mg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>).

**K<sub>t</sub>** : Coefficient de diffusion interne (mg.g<sup>-1</sup>.min<sup>-1/2</sup>).

**K<sub>F</sub>** : Constante de Freundlich (mg l<sup>-(1/n)</sup> l<sup>1/n</sup> g<sup>-1</sup>).

**K<sub>d</sub>** : Coefficient de distribution externe (cm.s<sup>-1</sup>).

**K<sub>L</sub>** : Constante de Langmuir (L/g).

**K<sub>T</sub>** : Constante de Temkin.

**L** : Longueur de la cuve ou cellule en (cm).

**m** : Masse d'adsorbant (g).

**M** : Masse molaire (g/mol).

**n** : Coefficient de Freundlich.

**q<sub>e</sub>** : Quantité du colorant adsorbée à l'équilibre (mg/g).

**q<sub>max</sub>** : Quantité maximale du colorant adsorbée (mg/g).

**q<sub>t</sub>** : Quantité du colorant adsorbée à l'instant t (mg/g).

**R** : Constante des gaz parfaits (J.mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>).

**R<sup>2</sup>** : Coefficient de corrélation.

**R<sub>L</sub>** : Facteur de séparation ou paramètre d'équilibre de Langmuir.

**S<sub>BET</sub>** : Surface spécifique BET.

**t** : Temps (min).

**T** : Température (°C ou K).

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

**ΔH°** : Variation d'enthalpie standard (J. mol<sup>-1</sup>).

**ΔG°** : Variation de l'enthalpie libre standard (J. mol<sup>-1</sup>).

**ΔS°** : Variation d'entropie standard (J. mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>).

**ε** : Coefficient d'absorption (L/mol.cm).

**λ<sub>max</sub>** : Longueur d'onde maximale (nm).

**BET** : Brunauer, Emmet et Teller.

**pH** : Potentiel Hydrogène.

**BB** : bleu de bimacide.

## Liste des figures

Figure 1: Etapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption.....	7
Figure 2:Types des isothermes d'adsorption. ....	9
Figure 3:Méthode de préparation d'un Biosorbant. ....	29
Figure 4: Détermination de $pH_{PCZ}$ du Biosorbant. ....	32
Figure 5: structure chimique du bleu de bimacide. ....	34
Figure 6: Courbe d'étalonnage Bleu Bimacide. ....	36
Figure 7:Etude du temps d'équilibre de l'adsorption.....	37
Figure 8:Taux d'élimination du Bleu Bimacide .....	38
Figure 9: Taux d'élimination en fonction de pH pour le BB. ....	39
Figure 10: Isotherme d'adsorption du colorant BB. ....	41
Figure 11:Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du colorant BB.....	41
Figure 12: Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du colorant BB. ....	42
Figure 13:Application du modèle de Temkin pour l'adsorption du colorant BB. ....	42
Figure 14: Modèle de la cinétique selon le pseudo-premier ordre. ....	43
Figure 15: Modèle de la cinétique selon le pseudo-second ordre. ....	44
Figure 16: Modèle de la cinétique selon la diffusion intra particulaire. ....	44
Figure 17: Evolution de $\ln(K_d)$ en fonction de $1/T$ pour l'adsorption du BB ( $100 \text{ mg.L}^{-1}$ ).....	46

## Liste des tableaux

Tableau 1: Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante ...	18
Tableau 2: Classification chimique des colorants .....	19
<b>Tableau 3:</b> Résultats de pH initial et pH final.....	31
Tableau 4: Résultats de l'indice d'iode et BM, surface accessible et pHZPC de biosorbant étudié. ....	32
Tableau 5: Groupements chimiques à la surface de biosorbant (méthode de Boehm) .....	33
Tableau 6: Valeurs obtenues pour l'établissement de la courbe d'étalonnage du BB .....	35
Tableau 7: Etude du temps d'équilibre de l'adsorption. ....	36
Tableau 8: Effet de la dose sur l'adsorption du BB .....	37
Tableau 9: Effet du pH sur l'adsorption du BB .....	38
Tableau 10: Les valeurs de l'isotherme d'adsorption du colorant BB sur le Biosorbant. ....	40
Tableau 11: Paramètres de Langmuir, Freundlich et Temkin de l'adsorption du colorant Bleu Bimacide sur un biosorbant. ....	42
<b>Tableau 12:</b> Paramètre cinétiques d'adsorption du Bleu Bimacide. ....	44
Tableau 13: Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du BB. ....	46

# Table des matières

Introduction générale .....	1
Chapitre I : Étude bibliographique.....	4
I.1    Généralités sur les eaux usées.....	4
I.2    Origine des eaux usées .....	4
I.2.1    Les eaux usées urbaines .....	4
I.2.2    Les eaux usées domestiques.....	4
I.2.3    Les eaux usées agricoles .....	5
I.2.4    Les eaux usées industrielles.....	5
I.3    Adsorption sur charbon actif .....	5
I.4    Principe de l'adsorption.....	5
I.5    Types adsorptions.....	6
I.5.1    Chimisorption .....	6
I.5.2    Physisorption.....	6
I.6    Le mécanisme d'adsorption d'un colorant .....	7
I.7    Les facteurs influençant l'adsorption [30 - 32] .....	7
I.7.1    Facteurs liés à l'adsorbant .....	8
I.7.2    Facteurs liés à l'adsorbat .....	8
I.7.3    Facteurs liés aux conditions opératoires .....	8
I.8    Isothermes d'adsorption .....	8
I.8.1    Modélisation des isothermes d'adsorption .....	9
I.8.2    Isotherme de Langmuir .....	10
I.8.3    Isotherme de Freundlich.....	11
I.8.4    Isotherme de Temkin :.....	11
I.9    Cinétique d'adsorption .....	12
I.9.1    Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre .....	12
I.9.2    Modèle de la cinétique du pseudo seconde ordre .....	13

I.10	Les principaux types d'adsorbant .....	13
I.11	Généralités sur le charbon actif .....	14
II.	Chapitre II : les colorants .....	17
II.1	Les colorants .....	17
II.1.1	Définitions .....	17
II.2	Utilisation des colorants .....	18
II.2.1	Classification des colorants .....	18
II.2.2	Classification des colorants selon leurs natures .....	19
II.3	Classification chimique .....	19
II.3.1	Classification tinctoriale .....	22
II.3.2	Toxicités des colorants et danger environnemental .....	23
II.3.3	Procédés d'élimination des colorants .....	23
	Chapitre III : partie expérimentale .....	28
II.4	Préparation de l'adsorbant .....	28
II.5	Techniques de caractérisation .....	29
II.5.1	Indice d'iode .....	29
II.6	Indice de bleu de méthylène .....	30
II.7	Détermination de la surface accessible au bleu de méthylène .....	30
II.8	pH de Point de Charge Zéro ( $pH_{pcz}$ ) .....	31
II.9	Protocole expérimental .....	31
II.10	Méthode de Boehm .....	32
II.11	Application à l'adsorption .....	33
II.11.1	Choix de molécules étudié .....	33
II.12	Principe de la spectrophotométrie UV /Visible .....	34
II.13	Adsorption du colorant BB sur un biosorbant .....	35
II.13.1	Préparation de solution de colorant BB .....	35
II.14	Courbes d'étalonnage .....	35

II.14.1	Détermination du temps d'équilibre d'adsorption de bleu Bimacide .....	36
II.15	L'effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption .....	37
II.16	Influence du pH .....	38
II.16.1	Isotherme d'adsorption du Bleu Bimacide.....	39
II.16.2	Cinétique d'adsorption du Bleu Bimacide.....	43
II.16.3	Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du BB .....	45

## Introduction générale

---

L'Algérie est le pays le plus grand en Afrique, et le plus grand pays du pourtour méditerranéen de 1622 km d'altitude.

Il existe aussi quelque cours d'eau côtiers au centre ou à l'est comme la Soummam, Medjerda, Ain el hammam, magtaa etc. Et elle contient aussi plusieurs barrage Selon le ministère des Ressources en eau : « l'Algérie compte 50 barrages en exploitation, 11 sont en cours de réalisation et 50 autres barrages à l'étude ». Ces derniers devraient être réalisés avant 2021.

L'Algérie doit rattraper le retard constaté. Le pays perd 50 % d'eau dans les fuites. Le dessalement est favorisé par l'État. En effet, le gouvernement a installé quelques stations de dessalement à Alger et Tipasa. Plusieurs centres importants, comme à Arzew qui fournit 90 000 m<sup>3</sup> ou le centre de Beni Saf, ont amélioré la situation du manque d'eau dans certaine ville.

Toutes les sources d'eau quand on a cité ne sont pas prête a exploité à cause de leur pollution. Les méthodes de traitement des eaux sont nombreuses, mais l'une des techniques les plus efficaces reste l'adsorption de polluants par des matériaux poreux. Le charbon actif est de loin le matériau poreux [1, 2] le plus utilisé. Dans cette décennie, de nombreuses études ont été faites sur la transformation de déchets solides en matériaux poreux, et surtout en charbon actif [3].

Les eaux résiduaires industrielles chargées en colorants ont été largement étudiées, en vue de les traiter avant leur rejet dans les milieux naturels. L'élimination des colorants dans les solutions aqueuses par adsorption sur différents matériaux solides, en particulier sur le charbon actif, a fait l'objet de beaucoup de travaux [4]. L'adsorption de molécules organiques telles que celles des colorants sur le charbon actif s'est révélée être une technique de traitement très efficace, néanmoins dans le cas de certains colorants récalcitrants, des surdosages de charbon sont exigés pour une meilleure efficacité, ce qui rend le coût de l'opération excessif. Par ailleurs, la régénération du charbon actif est elle aussi une opération délicate et ne fait pas l'unanimité sur son utilité [5].

Durant les deux dernières décennies, de nombreux chercheurs se sont focalisés sur la préparation de certains adsorbants à partir de déchets naturels d'arbres fruitiers [6] ou encore la sciure de bois [7] pour les utiliser en qualité d'adsorbants, en vue de remplacer le charbon actif. Ces biosorbants qui sont disponibles, avec un coût de revient très faible, se sont avérés efficaces vis-à-vis de molécules organiques à l'échelle de laboratoire. À ce titre, nous citons les noyaux de dattes [8], la pulpe d'olive traitée [9], le bois [10], la fougère d'arbres [11] le kudzu [12] et la fibre des palmiers [13].

Pour que l'utilisation de ces adsorbants devienne plus effective, les recherches se sont orientées vers l'étude des mécanismes régissant la fixation des molécules de colorants sur les grains (fibres) des adsorbants. Il est évident que l'interaction entre les colorants et ces adsorbants dépend du type de groupements réactifs sur la molécule du colorant, ainsi que les fonctions de surface que renferme le solide. L'étude des isothermes d'adsorption, d'une part, et la cinétique, d'autre part, permet de contrôler la conception et le dimensionnement des ouvrages assurant l'épuration des eaux usées colorées par adsorption. Le taux de transfert du colorant à partir de la solution jusqu'à l'adsorbant nécessite de savoir la nature de rétention des molécules du colorant : adsorption sur la surface ou diffusion dans les espaces internes de l'adsorbant [14].

Ont utilisé un déchet végétal dans l'élimination de colorants en solution aqueuse et ont montré qu'il pourrait être utilisée en tant qu'adsorbant économique et efficace. À noter tout de même que le déchet végétal contient des groupements fonctionnels tels que les hydroxyles des alcools, et des acides carboxyliques [15].

Dans ce travail, nous avons utilisé un déchet végétal dans l'élimination d'un colorant textile acide : le Bleu Bimacide. Nous nous sommes intéressés particulièrement à étudier l'influence des paramètres physico-chimique de l'adsorption du colorant BB.

## Bibliographie

- [1] Bamba D., Dongui B., Trokourey A., Robert D., Weber V.; J. Soc. Ouest-Afr. Chim (2008) 025, 45–54
- [2] Okamura H., Watanabe T., Aoyama I., Hasobe M.; Chemosphere (2002) 46, 945– 951
- [3] El Madani M., Guillard C., Perol N., Chovelon J. M., El Azzaouzi M., Zrineh A., Herrmann J. M., Applied Catalysis B: Environmental (2006) 65, 70–76
- [4] CHOY *et al.*, 1999; FARIA *et al.*, 2004; GOMEZ *et al.*, 2007; JOHN KENNEDY *et al.*, 2007; KANNAN *et al.*, 2002).
- [5] (KACHA *et al.*, 2003; YU *et al.*, 1995).
- [6] (ARAMI *et al.*, 2005; FORGACS *et al.*, 2004), de palmiers (HAZOURLI *et al.*, 2007)
- [7] (PEKKUZ *et al.*, 2008).
- [8] (HAZOURLI *et al.*, 2007).
- [9] (BANAT *et al.*, 2007).
- [10] : (HO et MCKAY, 1998)
- [11] : HO *et al.*, 2005),
- [12] : (ALLEN *et al.*, 2005)
- [13] : (OFOMAJA, 2007)
- [14] : (HO et MCKAY, 1998).
- [15] : (ELBARIJI *et al.*, 2006).

# Chapitre I : Étude bibliographique

---

## I.1 Généralités sur les eaux usées

Les eaux usées sont des milieux extrêmes complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs [1].

Une eau usée, appelée encore eau résiduaire ou effluent est une eau qui a subi une détérioration après usage. La pollution des eaux dans son sens le plus large est défini Comme « Tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou Physicochimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines » [2].

## I.2 Origine des eaux usées

### I.2.1 Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marches et des cours). Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marches entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules) [3].

### I.2.2 Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses qu'on appelle eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires [1].

### **I.2.3 Les eaux usées agricoles**

Les eaux usées des établissements agricoles concernent toutes les eaux impropres à la consommation ayant fait l'objet d'une utilisation ou ayant subi une transformation, et qui proviennent directement de leurs activités. Il s'agit des eaux usées provenant d'établissements ou sont gardés ou élevés des animaux entraînant une charge polluante globale inférieure à un chiffre maximum fixe par le gouvernement et qui ne sont ni des jardins zoologiques, ni des ménageries permanentes [4].

### **I.2.4 Les eaux usées industrielles**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejet industriel. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales [3].

### **I.3 Adsorption sur charbon actif**

Lors de l'adsorption, le polluant est transféré de la phase liquide vers la phase solide. Le charbon actif est l'adsorbant le plus communément utilisé pour la réduction de la couleur [5], mais il reste très onéreux. Des recherches ont opté pour valoriser ou utiliser certaines matières naturelles (argile, sciure, écorce et farine de bois...) moins onéreuses pour l'élimination des colorants par adsorption [6].

### **I.4 Principe de l'adsorption**

Le mot de l'adsorption a été proposé au début du 20<sup>ème</sup> siècle par le physico-chimiste American Langmuir pour désigner une adsorption des molécules d'un fluide en surface d'un solide, sans pénétration dans la structure même de solide. L'adsorption peut considérer d'une manière plus simple, comme une augmentation de la concentration d'une substance à l'interface solide liquide. Ce phénomène ne devient mesurable à partir d'une modification de la composition du milieu réactionnel que lorsque le solide présente une grande interface avec le fluide avec lequel il est en contact : c'est le cas de solides divisés ou poreux qui possèdent une totale grande surface spécifique ; celle-ci définit la surface par unité de masse du produit, qui est accessible aux atomes ou aux molécules (c'est l'étendue de l'interface d'un gramme de solide). La fixation de ces molécules provient de l'établissement de liaisons de type Van Der Waals entre le solide et les molécules (liaisons de type électrostatique de faible intensité, avec des énergies d'interaction comprises entre 5 et 40 kJ.mole<sup>-1</sup> (production du charbon actif et son application en traitement des eaux) [7].

## **I.5 Types adsorptions**

Selon les forces intervenantes entre les molécules de l'adsorbat et la surface d'adsorption on distingue :

### **I.5.1 Chimisorption**

C'est une adsorption de type chimique, qui résulte des forces de liaison de nature chimique (nettement supérieures aux forces de Van der Waals) avec mise en commun ou transfert d'électrons; il y a donc des ruptures et des créations de liaisons chimiques en surface entre le réactif et les sites actifs de l'adsorbant.

La chimisorption se caractérise par :

- Un équilibre long à atteindre entre la phase adsorbée et le milieu fluide.
- Une augmentation de la quantité de matière adsorbée avec la température.
- Une chaleur dégagée durant l'adsorption comparable aux chaleurs de réaction (de 40 à 100 kJ/mol), environ 10 fois supérieure à l'adsorption physique.
  - La non-réversibilité
  - Une spécificité marquée, dans le sens que sur un adsorbant déterminé se fixent certains adsorbats.
  - d'adsorption se situent souvent autour de 10 kJ/mol [8].

### **I.5.2 Physisorption**

C'est une adsorption de type physique, qui se produit lorsque les forces qui fixent l'adsorbat dans une couche à la surface de l'adsorbant sont du même ordre que les forces de Van der Waals.

Ce type d'adsorption se caractérise par :

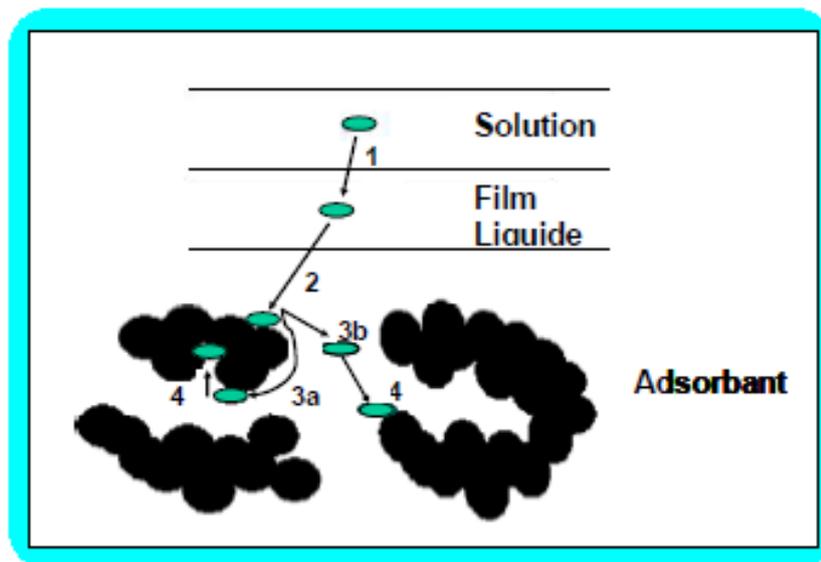
- La rapidité dans l'établissement de l'équilibre entre la phase adsorbée et la phase fluide.
- Une chaleur d'adsorption sensiblement du même ordre que la chaleur de liquéfaction du gaz adsorbé.
- Une réversibilité relativement facile et une absence de spécificité [9].
- Les valeurs d'enthalpie Quand les conditions s'y prêtent, l'adsorption chimique peut assez souvent se superposer à l'adsorption physique [9].
- L'enthalpie relative à la chimisorption est plus grande que celle de la physisorption et les valeurs se situent généralement autour de 200 kJ/mol [8].

## I.6 Le mécanisme d'adsorption d'un colorant

Il s'agit d'un transfert d'une phase liquide ou gaz contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention des solutés à la surface de l'adsorbant [10].

Ce processus se déroule en quatre étapes :

- ❖ **1<sup>ère</sup> étape** : transfert de l'adsorbat de la phase liquide vers la couche limite du film liquide lié à la particule solide (par convection ou diffusion). Etape très rapide.
- ❖ **2<sup>ème</sup> étape** : transfert de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant. Etape rapide.
- ❖ **3<sup>ème</sup> étape** : diffusion à l'intérieur de la particule d'adsorbant selon deux voies, sous l'influence du gradient de concentration. Etape lente.
  - sous l'état adsorbé, par diffusion de surface.
  - à l'état libre, par diffusion de pores.
- ❖ **4<sup>ème</sup> étape** : adsorption dans micropore. Etape très rapide.



**Figure 1:** Etapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption.

## I.7 Les facteurs influençant l'adsorption [30 - 32]

Le processus d'adsorption peut être influencé par différents facteurs, liés soit à l'adsorbant, l'adsorbat ou les conditions opératoires.

### **I.7.1 Facteurs liés à l'adsorbant**

- ✓ la nature des groupements fonctionnels.
- ✓ la surface spécifique.
- ✓ la distribution des diamètres des pores.
- ✓ la masse de l'adsorbant.

### **I.7.2 Facteurs liés à l'adsorbat**

- ✓ la solubilité de l'adsorbat.
- ✓ la polarité.
- ✓ la masse molaire.
- ✓ la taille des particules.

### **I.7.3 Facteurs liés aux conditions opératoires**

- ✓ le pH.
- ✓ La température du milieu.
- ✓ la vitesse d'agitation du milieu réactionnel.
- ✓ le temps de contact entre l'adsorbat et l'adsorbant.

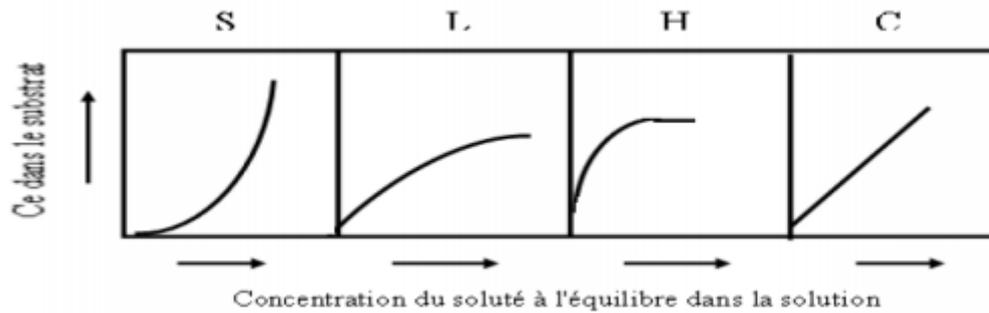
## **I.8 Isothermes d'adsorption**

Le phénomène d'adsorption est généralement représenté par les isothermes d'équilibre sous forme graphique. Il rend compte de la relation entre la concentration en soluté absorbé et la concentration en soluté dans la phase fluide. L'allure de la courbe isotherme varie selon le couple adsorbat –adsorbant étudié, les isothermes d'adsorption de soluté à solubilité limitées ont été classées par Giles et al [11] en quatre principales classes (figure 2) [12, 13].

[14]. Ces isothermes ont été reliées assez précisément à divers modes de fixation [12].

Cette classification tient compte entre autre d'un certain nombre d'hypothèses :

- Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.
- Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente.
- L'orientation des molécules à la surface est prise en considération, le cas, par exemple, où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface.
- Enfin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption [12].



**Figure 2:**Types des isothermes d'adsorption.

- ✚ **La classe L :** Les isothermes de classe L se rencontrent lorsque le solide adsorbe une seule couche d'adsorbant et en adsorption chimique [15]. Ce type d'isotherme présente, à faible concentration en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption [16].
- ✚ **La classe S :** Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative) [16].
- ✚ **La classe H :** La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes [16].
- ✚ **La classe C :** Les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libres reste constant au cours de l'adsorption [16].

### I.8.1 Modélisation des isothermes d'adsorption

La capacité des adsorbants à adsorber les différents constituants d'un mélange, constitue le facteur le plus déterminant pour la performance de la majorité des procédés d'adsorption. Il est Par conséquent, essentiel de bien connaître les propriétés de l'équilibre adsorbant-adsorbant pour Pouvoir concevoir et dimensionner correctement les procédés d'adsorption [17].

Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_r)}{m} * V$$

Sachant que :

- $q_e$  : Capacité d'adsorption du support (mg/g),

- $C_0$  : Concentration initiale du substrat (mg/L) à l'instant  $t = 0$ ,
- $C_t$  : Concentration du substrat (mg/L) à l'instant  $t$  du processus d'adsorption,
- $V$  : Volume de la solution (L),
- $m$  : Masse du support (g).

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui représentent les variations du substrat adsorbé par poids d'adsorbant en fonction de la concentration ou de la pression. Elles sont exprimées généralement sous formes d'équations mathématiques, lesquelles sont obtenues à partir d'expériences réalisées en réacteur statique [17]. Elles permettent essentiellement :

- De déterminer le taux de recouvrement de la surface d'un support par un substrat.
- D'identifier le type d'adsorption pouvant se produire.
- De choisir l'adsorbant qui conviendrait le mieux à la rétention de l'adsorbat.

Cependant, il convient de mentionner que les isothermes d'adsorption n'expliquent pas les mécanismes d'adsorption. Ils conduisent seulement à une comparaison de différents systèmes entre eux [17].

L'utilisation d'isotherme d'équilibre permettra d'atteindre les valeurs thermodynamiques induites par le phénomène. Plusieurs isothermes, citées par [18] sont établies de façon théorique ou empirique par Freundlich en 1906, Langmuir en 1915, Temkin en 1941, Hill en 1946, De Boer en 1953, Kiselev en 1958. Les plus utilisés sont les deux modèles de Langmuir et de Freundlich.

### **I.8.2 Isotherme de Langmuir**

L'isotherme de Langmuir repose sur plusieurs hypothèses lesquelles sont [17]:

- L'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie,
- L'adsorption se produit en monocouche,
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées à la surface,
- La réaction est réversible (c'est-à-dire qu'il y a un équilibre entre l'adsorption et la désorption),
- Le nombre de sites d'adsorption sur la surface est limité. L'isotherme est représentée par l'équation suivante :

$$q_s = \frac{b \times K_L \times C_s}{1 + K_L \times C_s}$$

Avec :

- $C_e$  : Concentration à l'équilibre, exprimée en (mg/L),
- $q_e$  : Quantité du produit adsorbée par unité de masse d'adsorbant exprimée en (mg/g),
- $b$  : Capacité maximale d'adsorption théorique exprimée en (mg/g),
- $K_L$  : Constante de l'équilibre thermodynamique d'adsorption.

La viabilité d'une adsorption  $R_L$  est définie par Hall et al [19] : peut encore se définir à partir du facteur de séparation adimensionnel  $R_L$  :

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L \times C_0}$$

### I.8.3 Isotherme de Freundlich

Le modèle de Freundlich est un modèle non linéaire dont l'équation est donnée par la forme suivante [20] :

$$q_e = K_F \times C_e^{1/n}$$

Avec :

- $C_e$  : Concentration à l'équilibre, exprimée en (mg/L),
- $q_e$  : Quantité du produit adsorbée par unité de masse d'adsorbant exprimée en (mg/g),
- $K_F$  : Constante de Freundlich caractérisant le pouvoir adsorbant du solide,
- $\frac{1}{n}$  : Constante de Freundlich caractérisant l'affinité du produit pour adsorbant.

### I.8.4 Isotherme de Temkin :

Le modèle de Temkin est un modèle semi-empirique qui est beaucoup plus utilisé dans le cas de l'adsorption chimique. Dans ce modèle on considère que la chaleur d'adsorption décroît de manière linéaire avec le degré de recouvrement [21].

L'isotherme de Temkin a été généralement présentée par équation suivante [22] :

$$q_e = \left( \frac{R \times T}{b_T} \right) \ln(K_T \times C_e)$$

Où :

$b_T$  et  $K_T$  sont des constantes d'isotherme de Temkin ;  $R$ : constante de gaz l'universel (8,314 J/mol<sup>-1</sup> .K<sup>-1</sup>),  $C_e$  : la concentration à l'équilibre des ions métallique (mg.L<sup>-1</sup>) ;  $T$  : la température absolue.

## I.9 Cinétique d'adsorption

Dans un système d'adsorption, la vitesse de réaction aboutissant à l'équilibre thermodynamique entre l'adsorbant en phase liquide et l'adsorbant fixé sur le solide [23]. La définition de la cinétique d'adsorption est le taux d'approche de l'équilibre, l'équilibre d'adsorption n'apparaît pas instantanément car le taux d'adsorption est habituellement limité par le transport de masse suivant mécanismes et dépend à la fois des propriétés de l'adsorbant et de l'adsorbant [23].

Le but de cette étude est de déterminer les quantités fixées de l'adsorbant choisi depuis sa mise en contact jusqu'à l'atteinte de l'équilibre thermodynamique. Tandis que les prélèvements des échantillons sont réalisés avec des intervalles de temps variables [23].

### I.9.1 Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre

Dans le cas de réaction d'ordre pseudo premier, La constante de vitesse est déduite à partir du modèle établi par Lagergren.

Ce modèle mathématique a été choisi d'une part pour sa simplicité et d'autre part par son application dans le domaine d'adsorption des composés organiques sur différents adsorbants [24].

La vitesse d'adsorption est proportionnellement à  $(q_e - q_t)$  et peut donc être décrit par la relation suivant :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1 (q_e - q_t)$$

Ou :

- $q_e$  (mg/g) : quantité adsorbée à l'équilibre
- $q_t$  (mg/g): quantité adsorbée à l'instant  $t$ .
- $K_1$ : constante de vitesse de Lagergren

L'intégration de l'équation (5) entre 0 et  $t$  pour le temps et entre 0 et  $q_t$  pour la quantité adsorbée permet d'obtenir la forme linéaire de Lagergren:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - K_1 t$$

Le tracé la courbe  $\ln(q_e - q_t)$  en fonction de  $t$  permet de déterminer la constante  $K_1$  et la quantité adsorbée à l'équilibre  $q_e$  [25].

### I.9.2 Modèle de la cinétique du pseudo seconde ordre

La vitesse de réaction pour la pseudo-second-ordre dépend de la quantité adsorbée sur la surface de l'adsorbant et de la quantité adsorbée à l'équilibre. L'équation de la cinétique de pseudo-second-ordre obéit à la relation suivant :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2$$

Tel que:

- $q_e$  (mg/g) : quantité adsorbée à l'équilibre.
- $q_t$  (mg/g): quantité adsorbée à l'instant t.
- $K_2$ : constante de vitesse du modèle cinétique du 2<sup>ème</sup> ordre ( $\text{mg.g}^{-1}.\text{min}$ )

L'intégration de l'équation (7) entre 0 et t pour le temps et entre 0 et  $q^l$  pour la quantité adsorbée permet d'obtenir la forme linéaire du modèle de pseudo seconde ordre :

$$\left(\frac{t}{q_t}\right) = \left(\frac{t}{q_e}\right) + \left[\frac{1}{K_2 \cdot q_e^2}\right]$$

Le tracé la courbe  $\frac{t}{qt}$  en fonction de t permet de déterminer la constante  $K_2$  et la quantité adsorbée à l'équilibre.

### I.10 Les principaux types d'adsorbant

On distingue cinq grands types d'adsorbant : les zéolithes, les alumines, les gels de silice, les argiles activées et les charbons actifs

- ❖ **Les zéolithes** : les zéolithes sont des aluminosilicates cristallisés microporeux de formule globale  $\text{AlO}_2\text{MnSiO}_2$  ou  $\ll M \gg$  représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalinoterreux et  $n \geq 1$ .
- ❖ **Les alumines**: les alumines activées sont des produits de composition approximative  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , possèdent une structure poreuse résultant du départ des molécules d'eau. La surface des pores est couverte de groupement  $\text{Al}(\text{OH})_3$  l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène.
- ❖ **Les gels de silice** : les gels de silice sont préparés à partir de  $\text{Si}(\text{OH})_4$  en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice
- ❖ **Les argiles activées** : sont des alumino de formule brute proche des zéolithes, mais de structure cristalline différente ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage.

- ❖ **Les charbons actifs** : le charbon actif est historiquement parlent, le premier matériau adsorbant.il a été utilisé depuis des milliers d'années pour améliorer le gout de Léau et pour enlever les odeurs désagréables.

### **I.11 Généralités sur le charbon actif**

Le charbon actif est un matériau carboné poreux. Il peut être préparé à partir de plusieurs types de matières premières telles l'anhracite [26]. Les schistes bitumineux, le bois, la lignine, la bagasse, la mélasse, la coque de noix de coco, et autres [27].

Tous ces matériaux peuvent servir à produire, après carbonisation, le charbon brut ce dernier est activé pour dégager les cavités remplies de goudron issues de la carbonisation et pour développer des pores ; ce qui augmente la surface spécifique et le volume poreux du matériau.

## **Bibliographies**

- [1] METAHRI. M (2012) « Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la Step est la ville de Tizi-ouzou » Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou. Thèse de doctorat.
- [2] ATTAB. S, (2011). Amélioration de la qualité microbiologique des eaux usées épurées par boues activées de la station d'épuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local.
- [3] DJEDDI H , (2006) « Utilisation des eaux d'une station d'épuration pur irrigation des essences forestière urbaines ».Université Mentouri Constantine. Thèse de magistère.
- [4] V. Gomez, M.S. Larrechi, M.P (2007).Callao, Kinetic and adsorption study of acid dye removal using activated carbon, Chemosphere 69 1151–1158.
- [5] BenMansour. H, Boughzala .O.U et al (2011). Les colorants textiles sources de contamination de l'eau: criblage de la toxicité et des méthodes de traitement." Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science 24(3): 209-238.
- [6] MERZOUG. N, (2014) « Application des tiges de dattes dans l'adsorption des polluants organiques », Mémoire Magister, Université de Souk Ahras .
- [7] Khezami L (2010) Total valorisation of red cedar saw mills wastes by Instantaneous controlled pressure drop process .isolation of extractive and production of Active carbon from the solide residue .
- [8] Bouaziz A (2009) Biosorption du nickel par la biomasse Pleurotusmutilus, Ecole Nationale polytechnique.
- [9]: Sedira.N (2013). Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras.
- [10] BOUZIANE N. (2007) Élimination du 2 mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur le bentonit et le charbons actif en poudre ,Mémoire de master UniversitéMentouri Constantine.
- [11] Giles,C. H ,D.Smith ,et al.(1974).
- [12] AKSAS H, (2013) Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds parl'utilisation des adsorbants naturels », Thèse Doctorat, Université Boumerdes.
- [13] Giles. C. H, D. Smith, "A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical." Journal of Colloid and Interface Science 47(3): 755-765, (1974).
- [14] S(Sigmoïde), L(Langmuir) , H(Haute affinité) et C(Paration Constante).

- [15] L. Mouni, D. Merabet, (2013) .Removal of Pb(II) from aqueous solution by adsorption using activated carbon developed from Apricot stone», *Desalination and Water Treatment*, 276, p148–153.
- [17] Meunier N (2003) Fast photospheric flow and magnetic field in a flaring active region.
- [18] Masel, 1996 ; Slejko et Dekker, 1985.
- [19] K. V. Kumar, S. Sivanesan, et V. Ramamurthi, « Adsorption of malachite green onto *Pithophora* sp., a fresh water algae: Equilibrium and kinetic modelling », *Process Biochem.*, vol. 40, n o 8, p. 2865- 2872, juill. 2005, doi: 10.1016/j.procbio.2005.01.007.
- [20] BELKEBIR. Z, (2007) Valorisation des déchets Agro\_Alimentaire cas des grignons d'olive, Mémoire de Magister, Université de Boumerdes.
- [21] K. G. Bhattacharyya et A. Sarma, « Adsorption characteristics of the dye, Brilliant Green, on Neem leaf powder », *Dyes Pigments*, vol. 57, n o 3, p. 211- 222, juin 2003, doi: 10.1016/S0143-7208(03)00009-3.
- [22] M. I. TEMKIN, « Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalysts », *Acta Physicochim URSS*, vol. 12, p. 327- 356, 1940.
- [23] IBN GHAZALA.M, 2009. synthèse des complexes organo et inorgano-pyrophyllite et leur application dans le traitement des eaux chargées en métaux lourds », Thèse Doctorat, Université Agdal,
- [24] : KHAMLA N, 2015. couplage coagulation-floculation suivi par l'adsorption sur charbon actif pour élimination du Zinc (II) chargée dans l'eau saumâtre », Mémoire de Master, Université Biskra.
- [25] AKSAS. H, 2013 . Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels », Thèse Doctorat, Université Boumerdes.
- [26] CASTELLO D.L., RODENS M. A. et al (2001). Preparation of activated carbons from Spanish anthracite, I. Activation by KOH. *Carbon*. Vol.39, 741-749.
- [27] EL-HENDAWY A. A. (2003). Influence of HNO<sub>3</sub> oxidation on the structure and adsorptive properties of corn-cob-based activated carbon. *Carbon*, Vol.41, 713-722.

## II. Chapitre II : les colorants

---

### II.1 Les colorants

La couleur et le colorant ont toujours joué un rôle important dans la vie de l'homme depuis des époques préhistoriques. Nous devons seulement ouvrir nos yeux et regarder autour pour observer l'importance de la couleur dans nos vies quotidiennes et rendre compte qu'elle a de l'influence sur nos modes et sur nos émotions. Elle augmente généralement la manière dont nous apprécions notre environnement.

En outre, il y a une infinité d'exemples de couleurs synthétiques, produits de l'industrie chimique. Ces couleurs ont généralement un but purement décoratif ou esthétique, mais les couleurs dans certains cas spécifiques peuvent être employées pour donner l'information essentielle, par exemple en feux de signalisation et câbles électriques de code à couleur.

#### II.1.1 Définitions

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable [1]. En générale, il consiste en un assemblage de groupes chromophores (qui lui confèrent la couleur), auxochromes (qui permettent sa fixation) et de structures aromatiques [2].

Le chromophore désigne le groupement d'atomes au sein de la molécule responsable de sa faculté d'absorption dans l'UV/visible. Il est constitué en général d'un groupement d'atomes présentant des doubles liaisons chimiques. Les électrons des liaisons moléculaires sont capables d'absorber certaines radiations visibles. L'œil perçoit le mélange des radiations qui n'ont pas été absorbées [3].

L'auxochromes est la partie ayant la capacité d'enrichir ou d'appauvrir le chromophore en électrons. De ce fait, il peut modifier la longueur d'onde (donc la couleur) de la radiation absorbée par le groupement chromophore et/ou modifier l'intensité de l'absorption. De plus, il permet de fixer avec efficacité le colorant souhaité sur un support, peut améliorer la solubilité du colorant et peut être appliqué en milieu aqueux [3].

Les colorants sont caractérisés par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans spectre visible (380 à 750 nm) [4].

Dans l'ultraviolet, on observe une absorption associée à la présence de groupes chromophores non saturés présentant des électrons  $\pi$  et / ou des doublets libres d'électron dits non liants situés sur des hétéroatomes comme l'oxygène ou l'azote. De plus, les spectres sont fortement modifiés par des particularités de structure comme la conjugaison de liaison multiples qui

simultanément déplace le maximum d'absorption vers les grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire vers le visible, et augmente l'intensité d'absorption [2].

**Tableau 1:** Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante [2].

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amine tertiaire (-NR <sub>2</sub> )
Azométhine (-CH=N-)	Amine secondaire (-NHR)
Azoxy (-N=N=O)	Amine primaire (-NH <sub>2</sub> )
Nitro(-NO <sub>2</sub> ou =NO-OH)	Hydroxyl (-OH)
Nitroso (-N=O ou -N-OH)	Metoxy (-OCH <sub>3</sub> )
Carbonyl (=C=O)	Iode (-I)
Thio (>C=S)	Brome (-Br)
Ethényl (-C=C-)	Chlore (-Cl)

## II.2 Utilisation des colorants

L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés, principalement :

- ✓ Dans l'industrie des matières plastiques (pigments).
- ✓ Dans l'industrie agro-alimentaire (colorants alimentaires).
- ✓ Dans l'industrie des cosmétiques (dont les colorants capillaires).
- ✓ Dans l'industrie pharmaceutique (colorante et conservatrice).
- ✓ Dans l'imprimerie (encre, papier).
- ✓ Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigments), matériaux de construction, céramiques...
- ✓ Dans l'industrie textile, fourrure, cuir (textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, textiles à usage médical...).
- ✓ Dans diverses industries, utilisées pour des carburants et des huiles [5].

### II.2.1 Classification des colorants

D'une façon générale, et d'un point de vue atomistique, les colorants peuvent être soit inorganiques (les atomes de carbone ne sont pas majoritaires dans la composition chimique de la molécule) soit organiques (abondance de carbone dans la formule chimique), d'origine naturelle ou Synthétique.

La classification des colorants peut être faite selon leur structure chimique, ou selon le domaine d'application [5].

### II.2.2 Classification des colorants selon leurs natures

Le colorant, qu'il soit organique ou inorganique, peut être d'origine naturelle ou synthétique [6].

#### a) Colorants naturels

Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, ils sont extraits des plantes, des fruits, des arbres, des lichens, des insectes ou des mollusques par procédés simples comme le chauffage ou le broyage.

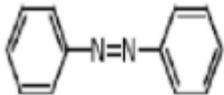
#### b) Colorants synthétiques

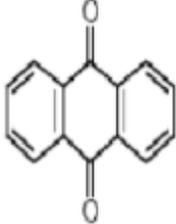
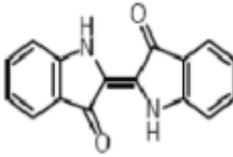
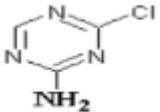
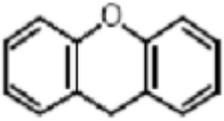
Ce sont des composés ayant comme matières premières des molécules telles que le benzène, issu de la distillation de la houille. A partir des matières premières, et grâce à une série de procédés chimique, qui correspondent en général au remplacement d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux particuliers on peut avoir ce qu'on appelle les intermédiaires qui serviront à la fabrication du colorant final.

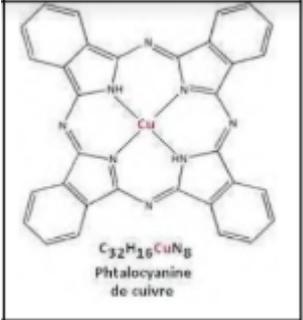
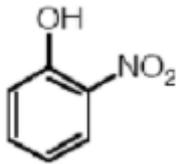
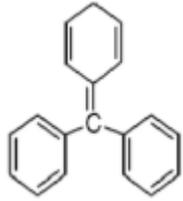
### II.3 Classification chimique

Le classement d'après la structure chimique s'appuie principalement sur la nature du chromophore, qui constitue le squelette nécessaire à la coloration de la molécule [5].

**Tableau 2:** Classification chimique des colorants.

Colorants	Caractéristiques et propriétés générales	Utilisations	Structures
Azoïques	-Présence du groupe fonctionnel azoïque (-N=N-) qui peut être répété plusieurs fois dans la molécule pour former les mono -azoïque, diazoïque, tri- azoïques,...etc. -Toxiques, cancérogènes et récalcitrant au traitement	-Teinture des fibres cellulosiques	

	<p>biologique.</p> <p>-Constituent 50% de la production mondiale des colorants.</p> <p>-Se répartissent en colorants acides, basiques, directs et réactifs solubles dans l'eau, dispersés....etc.</p>		
Anthraquinoniques	<p>-Les plus importants après les colorants azoïques.</p> <p>-Forme générale dérive de l'anthracène.</p> <p>-Leur chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles et amino.</p> <p>-Couvre toute la gamme de nuance jaune-orange-rouge.</p> <p>-Solidité à la lumière et vivacité des coloris surtout dans le bleu et le turquoise.</p>	- Teinture de textile	
Indigoïdes	<p>-Forme générale dérivée de l'indigo.</p> <p>-Résistance remarquable aux traitements de lavage.</p> <p>-Faible solidité à la lumière.</p>	- Appliqués sur la fibre (Nylon, soie, laine et le coton) par un procédé de cuve	
Thiazines	-Présence d'un anneau de quatre carbones, un azote et un atome de soufre.	<p>-Textile</p> <p>- médecine</p> <p>- pharmacie</p> <p>- peinture</p>	 Monochlorotriazine
Xanthènes	<p>-Intense fluorescence.</p> <p>-Marqueurs lors d'accident maritime ou traceurs</p>	<p>- Teinture de textile</p> <p>- fongicide</p>	

	d'écoulement pour des rivières souterraines		
Phtalocyanines	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Structure complexe basée sur l'atome central de cuivre.</li> <li>-Employés dans l'industrie des pigments pour peinture et dans la teinture des fibres textiles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colorants</li> <li>- pigments</li> </ul>	 <p><math>C_{32}H_{16}CuN_8</math> Phtalocyanine de cuivre</p>
Nitrés et nitrosés	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Présence d'un groupe nitro (<math>NO_2</math>) en position ortho par rapport à un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupes aminés).</li> <li>-Structure simple, très limitée en nombre et relativement pas cher.</li> </ul>	- Coloration de Papier	
Polyméthinique	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Présence de groupements hétérocycliques donneurs et accepteurs d'électrons aux extrémités d'une chaîne polyméthinique.</li> <li>-Faible résistance à la lumière</li> <li>bonne sensibilisatrice photographique (particulièrement les cyanines).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colorants textile</li> <li>- Indicateur de pH</li> </ul>	

### **II.3.1 Classification tinctoriale**

Si la classification chimique présente un intérêt pour les fabricants de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. Il y a différentes catégories définies cette fois par les auxochromes [8].

#### **a) Colorants réactifs**

Les colorants réactifs sont caractérisés par la présence de groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines et par la présence d'une fonction chimique réactive de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Ces colorants sont solubles dans l'eau.

#### **b) Colorants directs**

Les colorants directs sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leurs molécules. [9].

#### **c) Colorants dispersés**

Les colorants dispersés (ou dispersifs) sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer [9].

#### **d) Les colorants acides ou anioniques**

Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates. Ils possèdent une affinité élevée aux fibres textiles et ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide.

#### **e) Les colorants basiques ou cationiques**

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres et possèdent une faible résistance à la lumière.

#### **f) Les colorants à mordants**

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.

### **g) Colorants de cuve**

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau et ils sont utilisés pour l'application de l'indigo qui nécessite la préparation d'une cuve de bonne résistance aux agents de dégradations.

## **II.3.2 Toxicités des colorants et danger environnemental**

### **a) Dangers évidents**

L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielles et colorations anormales. Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et d'eaux stagnantes [4].

### **b) Dangers à long terme**

Si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leurs métabolites l'est. Leurs effets mutagènes, tératogène ou cancérigène apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation : amine cancérigène pour les azoïques, leuco-dérivé pour les triphénylméthanés [4].

## **II.3.3 Procédés d'élimination des colorants**

Les rejets des effluents colorés dans la nature n'est pas désagréable pour l'environnement mais ils présentent un véritable danger pour l'homme et son environnement en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité.

Plusieurs techniques ont été utilisées pour diminuer l'effet néfaste des effluents rejetés.

Les procédés traditionnels tels que les procédés biologiques (comme la décomposition microbienne...etc.) donnent des résultats non satisfaisants, du fait que beaucoup de colorants ont une origine synthétique et une structure moléculaire complexe qui les rend plus stables et difficiles à être biodégradé [19]. D'autres procédés physiques et chimiques, incluant l'adsorption, biosorption, coagulation/floculation, oxydation, ozonation, filtration sur membrane et l'extraction liquide-liquide...ect ; ont été largement étudiés et chaque technique présente des inconvénients, soit par rapport à la complexité, le cout élevé, la mauvaise rentabilité [9].

### **a) Traitement physique :**

- Méthodes de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation): processus physico- chimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en fine

suspension sont transformés par des flocculants chimiques en espèces plus visibles et séparables (les floccs). Les floccs formés sont ensuite séparés par décantation et filtration puis évacués. Les coagulants inorganiques tels que l'alun donnent les résultats les plus satisfaisants pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants dispersés, de cuve et au soufre, mais sont totalement inefficace pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques [9]. Par ailleurs, la coagulation - flocculation ne peut être utilisée pour les colorants fortement solubles dans l'eau.

D'importantes quantités de boue sont formées avec ce procédé : leur régénération ou réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires.

- Adsorption (sur charbon actif): l'adsorption est transfère de pollution de la phase liquide vers la phase solide. Le charbon activé est l'adsorbant le plus utilisée pour la réduction de la couleur, mais cette technique n'est efficace que sur certaines catégories de colorants (cationiques, à mordant, colorants dispersés, de cuve et réactifs, pour un type donné de carbone, dans une certaine gamme de pH [9] et pour une concentration en impuretés relativement constante afin de prévenir un relargage dans l'effluent. De plus, ces techniques non destructives requièrent des opérations postérieures onéreuses de régénération et de post traitement des déchets solides. Dans la plupart des cas, les résidus solides sont répandus dans de remblais, mais des dispositions particulières doivent être prises à l'égard des organiques qui peuvent lixivier avec le temps.
- Osmose inverse, filtration: la filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique sen décline en microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse. L'effluent passe à travers une membrane semi perméable qui retient en amont les contaminants de taille supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméat purifié et un concentré qui reçoit les impuretés organiques.
- Filtration sur membrane : dans ce procédé, les polluants sont retenus par une membrane semi perméable dont le diamètre des pores est inférieur à celui des molécules à éliminer. Cette technique est largement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer. Selon la qualité de l'eau désirée, on distingue la microfiltration, l'ultrafiltration ou la nanofiltration ou encore l'osmose inverse.

#### **b) Traitement chimique :**

Dans la littérature, les techniques d'oxydation chimiques sont généralement appliquées pour le traitement des produits organiques dangereux présents en faibles concentrations, en prétraitement avant des procédés biologiques, traitement d'eaux usées chargées de

constituants résistants aux méthodes de biodégradation et en post-traitement pour réduire la toxicité aquatique [7].

Les méthodes chimiques les plus utilisées sont:

-Oxydation (oxygène, ozone, oxydants tels que,  $H_2O_2$ )

-Réduction ( $Na_2S_2O_4$ )

-Méthode compléxométrique

-Résine échangeuse d'ions

### **c) traitement biologique :**

Par épuration biologique des eaux, on entend la décomposition des polluants organiques dans l'eau par les microorganismes. Les procédés biologiques se partagent en deux catégories : les traitements aérobies en présence d'oxygène et anaérobies sans oxygène. Ces techniques sont adaptées à un grand nombre de polluants organiques, elles ne sont pas suffisamment efficaces pour les rejets textiles. De nombreuses classes de colorants telles que les azoïques, les colorants acides (à cause des groupes sulfonés) et les colorants réactifs y sont récalcitrants [9]. Seuls les colorants de structure chimique simple et de faible poids moléculaire et faiblement substitués ont des taux de décoloration importants [9].

## Bibliographie

- [1] F. Benamraoui. «Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture.» (2009).
- [2] H. Ben Mansour, O. Boughzala. D. Dridi. D. Barillier. L. Chekir Ghedira. R. Mosrati. «Les colorantes textiles sources de contamination de l'eau : Criblage de la toxicité et des méthodes de traitement». *Journal of Water Science* 24,209-238. (2011)
- [3] Sophie De Reguardati et William Barthe. «Les colorants organiques utilisés en teinturerie». *Museum National d'Histoire Naturelle* (2012)
- [4] N. Alaounia. Dégradation photocatalytique de polluants organique «Méthyle orange. Pentachlorophénol et Acide benzoïque» en présence du dioxyde de titane nanocristallin élaboré par la méthode sol-gel. (2009).
- [5] N. Djebbari, A. Benkerrou. «Préparation et caractérisation des microsphères base de PEEK- WC/D2EHPA, appliquées à l'adsorption de la Rhodamine B et de Bleu de Méthylène ». *Mémoire de Master. Université de Bejaia* (2016).
- [6] N. BOUKAOUS. «Extraction du colorant noir bleu naphthol et du médicament ibuprofène en milieu aqueux par membrane liquide émulsionnée». *Université d'ANNABA*. (2014)
- [7] P.A. Bolotin, S.F. Baranovsky, M.P. Evstigneev: «Spectrophotometric investigation of the hetero-association of Caffeine and thiazine dye in aqueous solution». *Spectrochimica Acta Part A* 64 , 693–697. (2006)
- [8] J. Shour. Colorants and auxiliaries. Organic chemistry and application properties. Colorant BTTG Shirley. Society of dyers and colourists. Angleterre 1(1990).
- [9] M.J. Ahmed. S.K. Dhedan. «Equilibrium isotherms and Kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural Wastes-based activated carbons». *Flui. Phas. Equil.* 317, 9-14. (2012)
- [10] Mohd. Rafatullaha, O. Sulaimana, R. Hashima, A. Ahmad: «Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents»: A review; *Journal of Hazardous Materials* 177, 70–80. (2010)
- [11] F. Huang, L. Chen, H. Wang, Z. Yan: «Analysis of the degradation mechanism of methylene blue by atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *Chemical Engineering Journal*» 162 , 250–256. (2010)
- [12] Md. T. Uddin, Md. A. Islam, S. Mahmud, Md. Rukanuzzaman: «Adsorptive removal of methylene blue by tea waste. *Journal of Hazardous Materials*» 164, 53–60. (2009)
- [13] V. S. Sukumaran, A. Ramalingam: «Third order optical nonlinearities and spectral characteristics of methylene blue». *Journal of Quantum Information Science* 1, 69-72. (2011)

- [14] P.A. Bolotin, S.F. Baranovsky, M.P. Evstigneev: «Spectrophotometric investigation of the hetero-association of Caffeine and thiazine dye in aqueous solution. Spectrochimic Acta Part» A 64, 693–697.(2006)
- [15] J. Cenens, R. A. Schoonheydt: «Visible spectroscopy of methylene blue on hectorite laponite b, and barasym in aqueous suspension » Clays and Clay Minerals 36,214- 224.(1988)
- [16] P. Barriot,V. Danel : «Intoxications aiguës en réanimation; Groupe liaisons S.A» 2<sup>ème</sup> édition (1999)
- [17] J.J. Lefrère; Transfusion sanguine: Une approche sécuritaire. Jhon Libbey Eurotext (2000).
- [18] K. Gobi, M.D. Mashitah, V.M. Vadivelu: «Adsorptive removal of methylene blue using novel adsorbent from palm oil mill effluent waste activated sludge: Equilibrium, thermodynamics and kinetic studies.» Chemical Engineering Journal 171,1246-1252. (2011)
- [19] Zawlotski G V. Traitement des polluants organique en milieu aqueux par procédé électrochimique.

## Chapitre III : partie expérimentale

---

Cette partie est consacrée à la description de l'ensemble des expériences effectuées ainsi que les méthodes d'analyses utilisées. On s'est intéressé à l'extraction liquide-solide du Bleu Bimacide par un déchet végétal.

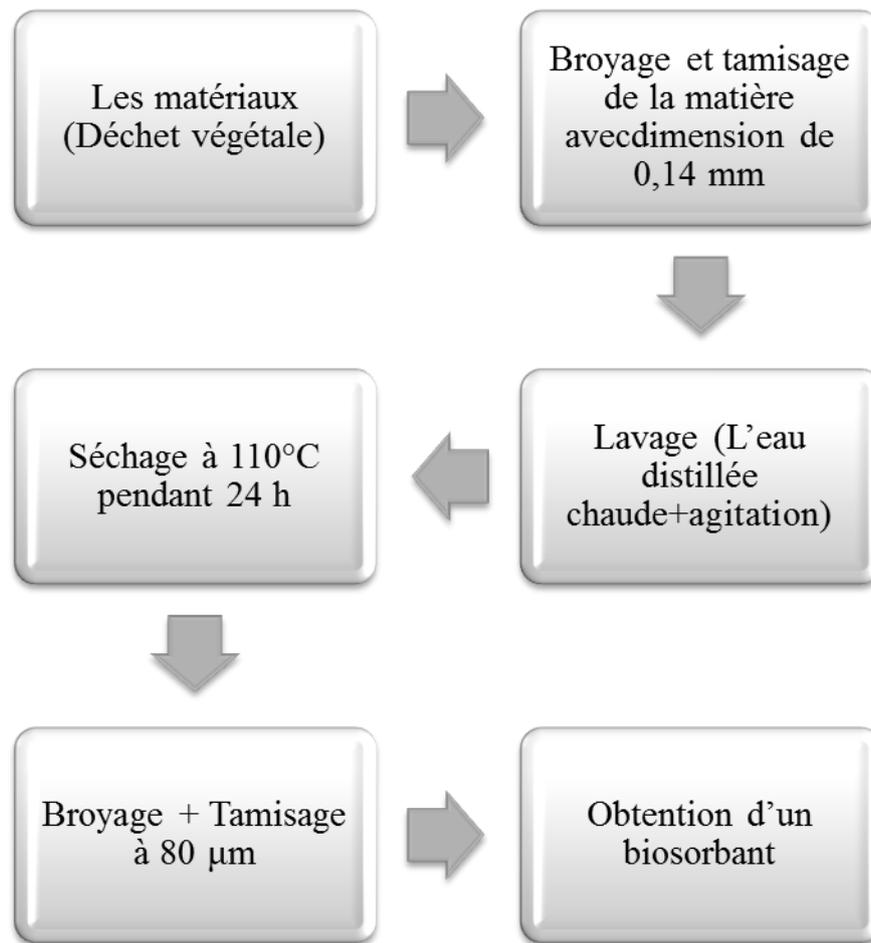
Le but de ce chapitre est d'étudier l'influence des paramètres physico-chimique tels que la concentration initiale du colorant, la masse de l'adsorbant, le pH de la solution et la cinétique de l'adsorbant du colorant BB.

### II.4 Préparation de l'adsorbant

Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi de valoriser un déchet végétal local en vue de l'élimination de certains polluants organiques. Le biosorbant utilisé dans cette étude a été préparé selon le protocole expérimental mis au point au laboratoire.

La matière a été broyée et tamisée à un diamètre 0,14 mm puis lavée avec de l'eau distillée.

Puis, on a séchés dans l'étuve pendant 24 h à 110 °C. Après séchage à l'étuve, les matériaux qu'on a broyés et tamisés à un diamètre <80 µm, du fait qu'il présente une granulométrie la plus fine disponible au laboratoire. Finalement, la matière a été gardée dans un récipient hermétique.



**Figure 3:** Méthode de préparation d'un Biosorbant.

## II.5 Techniques de caractérisation

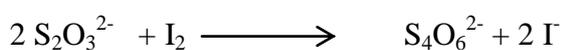
### II.5.1 Indice d'iode

L'indice d'iode est le nombre de milligrammes d'iode adsorbé par gramme d'adsorbant à une concentration résiduelle de 0,02 N [1] a été déterminé par iodométrie.

L'iodométrie concerne la réaction avec une solution titrée d'iode. L'iodométrie est reliée au titrage de l'iode libéré dans les réactions chimiques :



Des agents fortement réducteurs tels que le chlorure stanneux, l'acide sulfureux, le sulfure d'hydrogène et le thiosulfate de sodium réagissent avec l'iode même en solution acide.



Réactifs: solution d'iode (0,1 N); Solution thiosulfate de sodium pentahydraté (0,1N) ;

Solution d'amidon (1 %) dans l'eau bouillante; Acide chlorhydrique (5 %); Solution Bichromate de potassium (0,1 N) ; Solution d'iodure de potassium (0,1 N).

**Mode opératoire:** Pour déterminer l'indice d'iode de nos biosorbant nous avons suivi le protocole ci-dessous: Peser avec précision 0,2 gramme du biosorbant et l'introduire dans un erlenmeyer de 250 ml. Ajouter 10 mL d'acide chlorhydrique et agiter jusqu'à ce que le biosorbant soit mouillé. Ensuite, placer l'erlenmeyer sur une plaque chauffante, au début de l'ébullition on compte 30 seconde. Laisser refroidir, à puis ajouter 100 ml de la solution titrée de l'iode 0,1 N, boucher le flacon immédiatement et agiter vigoureusement pendant 30 secondes. Ensuite, nous le liquidons par papier Whatman N° 2. Prélever 50 ml de solution filtrante et placera dans un autre flacon d'erlenmeyer de 250 ml puis titrer avec la solution de thiosulfate. Ajouter à la fin du titrage 2 ml d'empois d'amidon. Enregistrer le volume final de thiosulfate ajouté et calculer l'indice d'iode comme suit :

$$\text{Indice d'iode} = \frac{[(V_2 - V_1) \times N \times 126,93]}{m}$$

Où m : La masse de charbon actif (g).

V1 : Volume de thiosulfate pour le titrage après adsorption (mL).

V2 : Volume de thiosulfate pour le titrage à blanc (mL).

N : La normalité de la solution de thiosulfate utilisée (eq-g.L<sup>-1</sup>).

La valeur de l'indice d'iode est regroupée dans le tableau.

## II.6 Indice de bleu de méthylène

L'indice de bleu de méthylène est un paramètre très important dans la caractérisation de biosorbant, il caractérise les méso pores existant à la surface du biosorbant.

**Mode de travail :** Dans un bécher, nous mettons une quantité de Biosorbant d'une valeur de 0,2 g, puis nous ajoutons 25 ml de solution de Bleu de Méthylène de concentration 1200 mg.L<sup>-1</sup>.

Ensuite, on mettre notre échantillons sur un agitateur pendent 30 min, puis centrifuger et le filtrat obtenu a été analysé par spectrophotométrie UV-visible à une longueur d'onde maximale 620 nm.

## II.7 Détermination de la surface accessible au bleu de méthylène

Le bleu de méthylène est un colorant type qui sert à calculer la surface accessible aux molécules assez grandes. Une masse de 0,2 g de matériau étudié est agité avec 25 ml de

solution de bleu de méthylène à des concentrations différentes, le mélange est agité pendant une heure puis filtré et analysé. L'isotherme de Langmuir, peut être utilisée pour calculer la surface disponible au bleu de méthylène par l'équation suivante :

$$S_{BM} = \frac{b \times N \times S}{Mm}$$

Avec:

$S_{BM}$  : surface spécifique ( $m^2 \cdot g^{-1}$ ).

$b$  : capacité maximale d'adsorption ( $mg \cdot g^{-1}$ ) (obtenue à partir de l'isotherme de Langmuir).

$N$  : nombre d'Avogadro ( $6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ).

$S$  : surface occupée par une molécule de bleu méthylène ( $119 \text{ \AA}^2$ ).

$Mm$  : masse molaire du bleu de méthylène hydraté ( $319,86 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

## II.8 pH de Point de Charge Zéro ( $pH_{pcz}$ )

Le  $pH_{pcz}$  ou pH du point de charge zéro ou nulle correspond à la valeur de pH pour laquelle la charge nette de la surface du charbon est nulle. Ce paramètre est très important dans les phénomènes d'adsorption, surtout quand des forces électrostatiques sont impliquées dans les mécanismes, ce qui est le cas avec les CA.

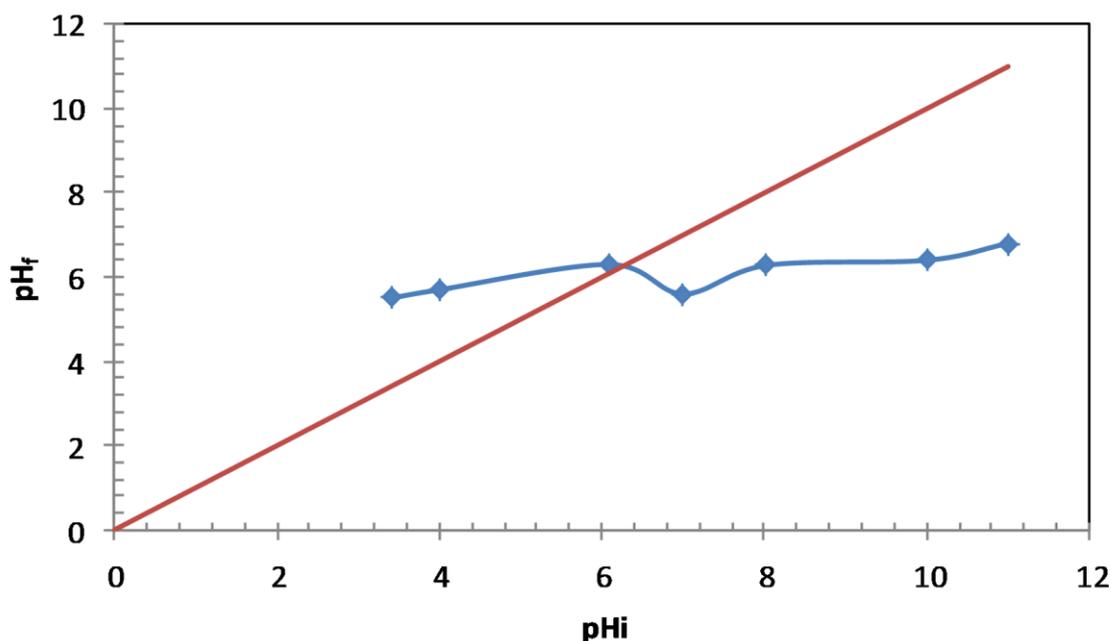
## II.9 Protocole expérimental

Un volume de 50 ml d'une solution de NaCl (0,01 M) est placé dans de flacons à bouchons, le pH est ajusté de 2 à 12 en ajoutant l'hydroxyde de sodium ou l'acide chlorhydrique concentré ; 0,15 g de adsorbant est ensuite ajouté aux solutions de NaCl. Après 48 heures d'agitation le  $pH_f$  (final) est mesuré. On trace le  $pH_f$  (final) en fonction du  $pH_i$  (initial). Le pH qui correspond au point d'intersection avec la ligne  $pH_f = pH_i$  est le  $pH_{pzc}$  du biosorbant.

Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau (4) et la Figure

**Tableau 3:** Résultats de pH initial et pH final.

$pH_i$	3,4	4	6,1	7	8,03	10	11
$pH_f$	5,5	5,7	6,3	5,6	6,28	6,4	6,8



**Figure 4:** Détermination de  $pH_{PCZ}$  du Biosorbant.

La valeur de pH au point de charge zéro ( $pH_{pzc}$ ) est obtenue à l'intersection du pH initial avec le pH finale. La figure (4) montre que le  $pH_{PZC}$  de biosorbant étudié est 6,25.

À pH inférieur à 6,25 la surface de biomasse a une charge positive, tandis qu'au-dessus de pH 6,25 la surface a une charge négative.

**Tableau 4:** Résultats de l'indice d'iode et BM, surface accessible et  $pH_{ZPC}$  de biosorbant étudié.

<i>Indice d'iode (<math>mg.g^{-1}</math>)</i>	<i>Indice de BM (<math>mg.g^{-1}</math>)</i>	<i>Surface accessible au BM (<math>m^2.g^{-1}</math>)</i>	<i><math>pH_{zpc}</math></i>
425,2	119,5	640,2	6,25

Le test de caractérisation à l'indice d'iode (tableau 4), montrent une microporosité impotente ( $425,2 mg.g^{-1}$ ). L'indice de BM et la surface accessible au BM cités dans le tableau (5) indiquent que le biosorbant a une mésoprosité importante.

## II.10 Méthode de Boehm

Parmi les nombreuses méthodes de détermination des groupements fonctionnels à la surface des charbons actifs, nous avons choisi celle de Boehm, car elle est facile à mettre en œuvre tout en nécessitant peu de produits. Elle permet de doser pratiquement tous les groupements

acides oxygénés. Boehm a mis en évidence quatre groupes de fonction acides sur les charbons actifs. La distinction entre les acides de force différente se fait au moyen de bases de basicité croissante ; les bases sont  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ , et  $\text{NaOC}_2\text{H}_5$  [1].

Les adsorbants ont été réduits sous forme de poudre, puis mis en contact avec l'une des quatre bases suivantes :  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaOC}_2\text{H}_5$ . Après la filtration de la suspension, on dose l'excès de base en retour par une solution d' $\text{HCl}$  (0,1N). A partir des courbes de titrages, on déduit par la classification de Boehm, le type de site contenu dans le charbon actif. Des masses de 0,15 g de l'adsorbant testé ont été mises successivement dans des fioles jaugées de 50 mL. Dans chaque fiole, 50mL de chaque base de concentration 0,1 N sont ajoutés et l'agitation est maintenue pendant 48 heures à la température de  $(25 \pm 2)$  °C. Après filtration, la quantité de base consommée par le Biosorbant est déterminée par titrage d'un volume connu de filtrat (10 mL) par l'acide chlorhydrique (0,1 N).

La concentration de surface des groupes fonctionnels basiques a été directement obtenue à partir du titrage en retour, celles des groupes acides ont été évaluées en faisant les hypothèses suivantes :

- La solution de  $\text{NaOH}$  neutralise les groupes carboxyliques, phénoliques et lactones.
- la solution de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  neutralise les groupes carboxyliques, et lactones.
- la solution de  $\text{NaHCO}_3$  neutralise les groupes carboxyliques.

**Tableau 5:** Groupements chimiques à la surface de biosorbant (méthode de Boehm)

Carboxyliques (meq-g.g <sup>-1</sup> )	Lactoniques (meq-g.g <sup>-1</sup> )	Phénoliques (meq-g.g <sup>-1</sup> )	Acides (meq-g.g <sup>-1</sup> )	Basiques (meq-g.g <sup>-1</sup> )
0,010	0,001	2,779	2,789	0,012

## II.11 Application à l'adsorption

### II.11.1 Choix de molécules étudié

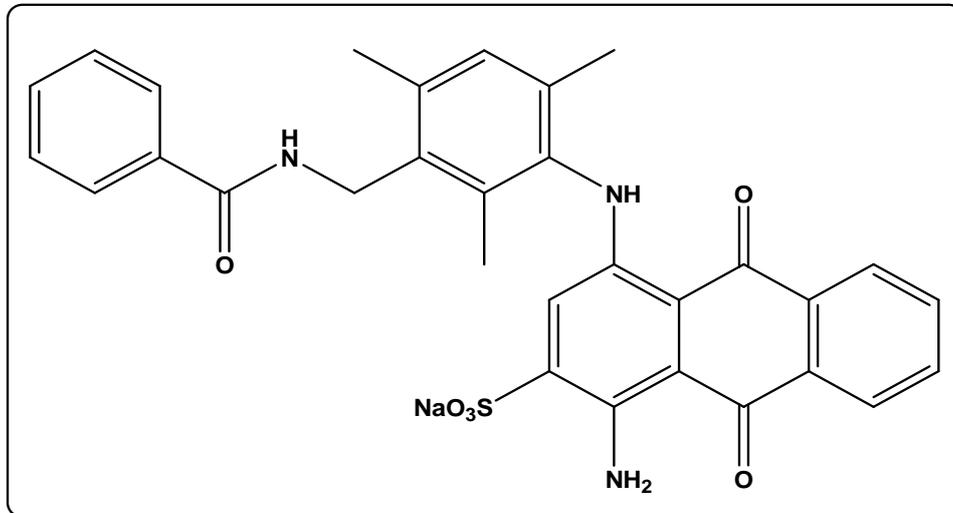
Notre choix s'est porté un colorant textile qui est le Bleu Bimacide.

➤ **Bleu Bimacide:** Le bleu Bimacide c'est un colorant de type anthraquinone, et résistant à la biodégradation.

Les colorants anthraquinoniques sont caractérisés par un chromophore (liaison  $\text{C}=\text{O}$ ) et représentent la deuxième classe des colorants utilisés dans l'industrie après les colorants azoïques [2].

Le colorant acide est utilisé sous forme de sel (poudre très fine) appartenant à la catégorie des colorants solubles dans l'eau, ils nous ont été fournis par la société de production de soie artificielle à SOITEX Tlemcen, en Algérie.

Ce colorant est destiné à la teinture des textiles et surtout pour les fibres polyamides. La structure chimique du bleu Bimacide est présentée sur la Figure 5.

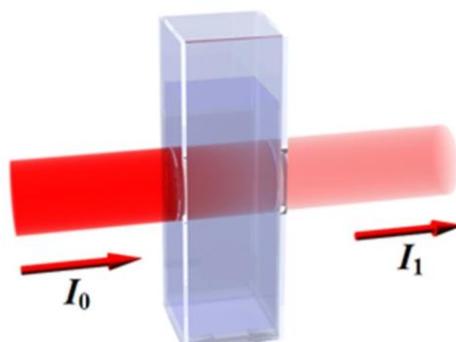


**Figure 5:** structure chimique du bleu de bimacide.

## II.12 Principe de la spectrophotométrie UV /Visible

La spectrophotométrie 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 absorbe la lumière dans les limites de la proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert [3].

➤ **Loi de Beer-Lambert:** Soit un faisceau de lumière monochromatique traversant une épaisseur  $l$  de solution d'un corps adsorbant. Soit  $I_0$  la puissance rayonnante à l'entrée de la solution et  $I$  la puissance rayonnante à la sortie,  $C$  la concentration du corps absorbant et  $l$  l'épaisseur de la cuve.



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

$$Abs = \log \left( \frac{I_0}{I} \right) = \log \left( \frac{1}{T} \right) = \epsilon_\lambda \times l \times C = k \times C$$

**Avec :**

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

**Abs :** absorbance ou densité optique.

**C :** concentration massique du composé dosé (mg.L<sup>-1</sup>).

**I<sub>1</sub>, I<sub>0</sub> :** intensité du faisceau émergent et incident.

**ε<sub>λ</sub> :** coefficient spécifique d'absorbance (dm<sup>2</sup>.mg<sup>-1</sup>).

**l:** épaisseur de la cuve (dm).

## II.13 Adsorption du colorant BB sur un biosorbant

### II.13.1 Préparation de solution de colorant BB

Pour préparer le Bleu Bimacide en utilisant la matière de colorant poudre et L'eau distillée.

Pour avoir une bonne reproductibilité des résultats des études d'adsorption, nous avons préparé la solution mère à une concentration de 1000 mg.L<sup>-1</sup> pour le colorant.

Pour cela, on a fait dissoudre 1000 mg de colorant BB dans 1L d'eau distillée. Le mélange obtenu a été homogénéisé par agitation. Les solutions fille ont été préparées à partir d'une solution mère.

### II.14 Courbes d'étalonnage

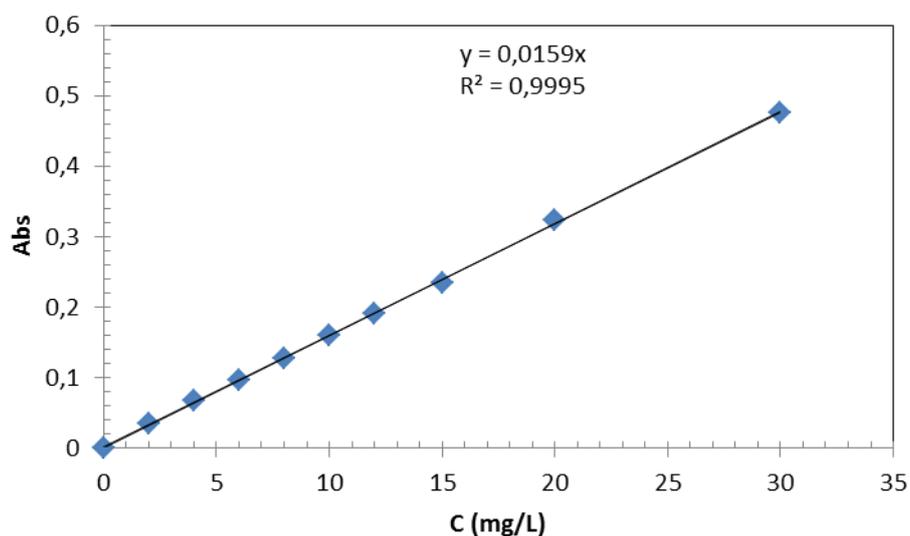
Avant d'établir les courbes d'étalonnage du Bleu Bimacide par spectrophotométrie, un balayage est nécessaire pour déterminer la longueur d'onde maximale (λ<sub>max</sub>) de colorant est 609 nm.

Pour effectuer l'étalonnage nous avons préparé par dilution des solutions de concentration croissante à partir d'une solution mère de concentration 1000 mg.L<sup>-1</sup> pour le colorant.

Le résultat obtenu de la courbe d'étalonnage pour le bleu bimacide est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau 6:** Valeurs obtenues pour l'établissement de la courbe d'étalonnage du BB

C(mg/L)	2	4	6	8	10	12	15	20	30
Abs(BB)	0,035	0,068	0,097	0,128	0,16	0,191	0,234	0,324	0,475



**Figure 6:** Courbe d'étalonnage Bleu Bimacide.

La régression linéaire a été donnée pour Bleu Bimacide,  $Abs = 0,0159 \cdot C$  avec un coefficient de détermination  $R^2 = 0,9995$  ce qui représente un très bon ajustement linéaire.

L'équation est utilisée pour calculer la concentration de solution donnée.

#### II.14.1 Détermination du temps d'équilibre d'adsorption de bleu Bimacide

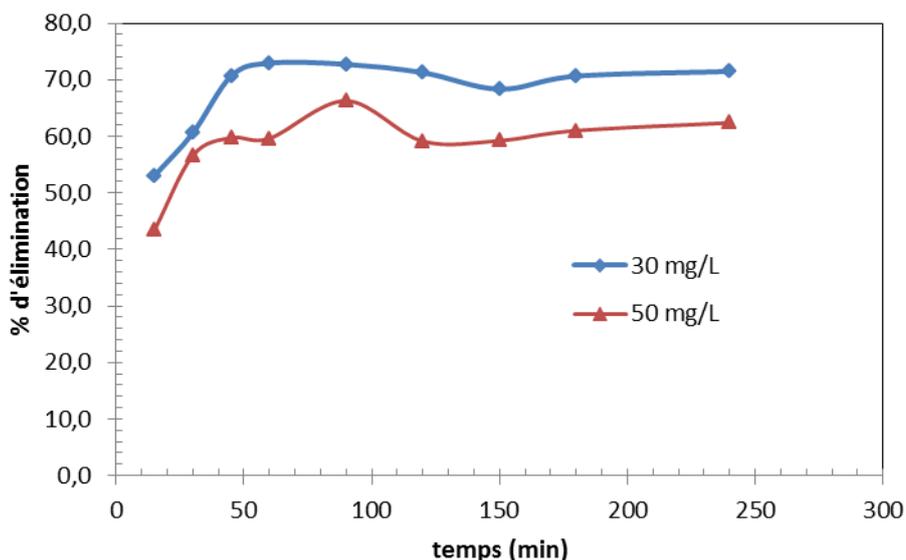
Le temps de contact est nécessaire pour établir l'adsorption entre l'adsorbant et l'adsorbé. Afin d'étudier le temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption du bleu bimacide (BB), nous avons préparé deux solutions filles de concentration  $30 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  et est suivi par la procédure suivante :

- ✓ Dans une série des béchers, nous mettons dans chaque bécher 0,1g de biosorbant et 25 mL de solution de l'adsorbant étudié;
- ✓ L'ensemble est agité à des temps d'agitation de 15 à 240 minute, puis centrifuger et analyser par spectrophotométrie.

Le résultat obtenu est regroupé dans le tableau et représenté graphiquement sur la figure 7.

**Tableau 7:** Etude du temps d'équilibre de l'adsorption.

Temps (min)	15	30	45	60	90	120	150	180	240
%d'élimination ( $30 \text{ mg.L}^{-1}$ )	53,0	60,6	70,6	73	72,7	71,3	68,3	70,6	71,5
%d'élimination ( $50 \text{ mg.L}^{-1}$ )	96,4	97,5	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,8	97,7



**Figure 7:** Etude du temps d'équilibre de l'adsorption.

La figure 7) montre le résultat obtenu pour l'adsorption BB. Le taux d'élimination du bleu de bimaide (BB) par le biosorbant augmente avec le temps pour les deux concentrations choisies avec l'obtention d'un palier de saturation au bout de 90 min pour le BB.

### II.15 L'effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption

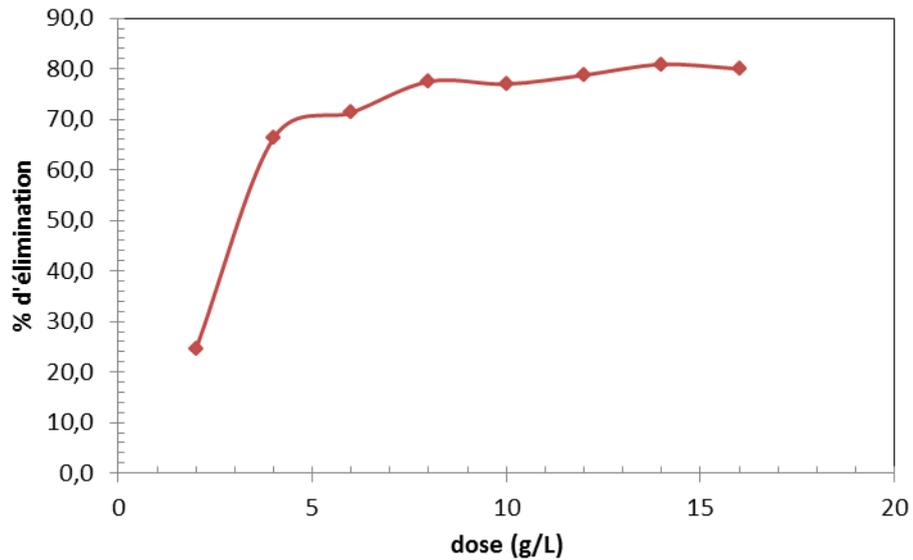
Un autre facteur influençant les propriétés de l'adsorption est la dose de biosorbant qui est particulièrement importante parce qu'elle détermine le degré de l'adsorption.

Un volume de 25 ml de solution à étudier de concentration connue  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  pour le BB a été mélangé et agité respectivement avec 0,05 ; 0,1 ; 0,15 ; 0,2 ; 0,25 ; 0,3 ; 0,35 et 0,4 g de biosorbant étudié pendant un temps qui a été déterminé préalablement. Après filtration, la solution a été analysée afin de déterminer sa concentration qui permettra la détermination du pourcentage d'élimination de la substance à fixer.

Les résultats de la dose de l'adsorbant sont regroupés dans le tableau (8) et représentés graphiquement sur le figure (8).

**Tableau 8:** Effet de la dose sur l'adsorption du BB

Dose ( $\text{g.L}^{-1}$ )	2	4	6	8	10	12	14	16
%d'élimination	24,5	66,3	71,3	77,3	77,0	78,7	80,9	80,0



**Figure 8:**Taux d'élimination du Bleu Bimacide

La Figure (8) montre qu'une augmentation de la concentration de l'adsorbant cause une augmentation du taux d'élimination de l'adsorbant et que l'adsorption est maximale pour une dose d'adsorbant de  $8 \text{ g.L}^{-1}$  pour bleu bimacide. Par conséquent nous allons prendre cette dose optimale pour toutes les expériences d'adsorption.

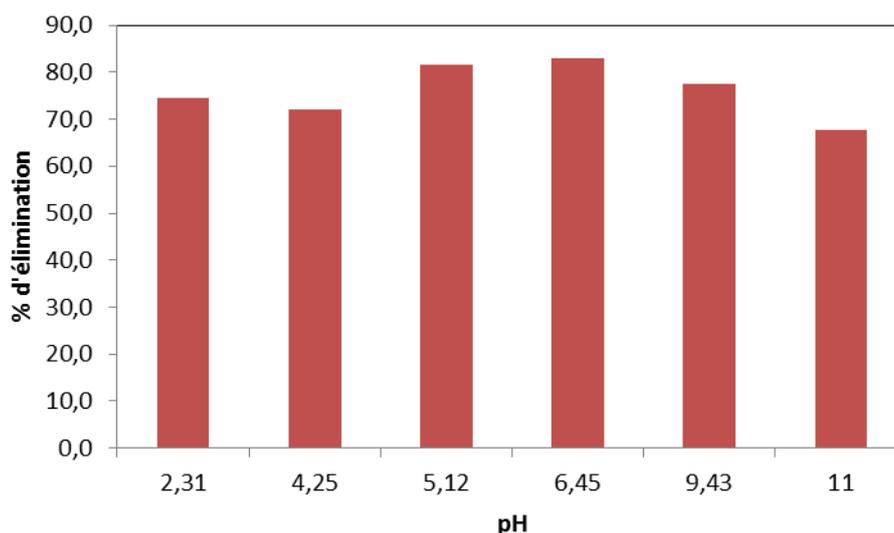
### II.16 Influence du pH

Le pH de la solution est un facteur qui permet le contrôle de processus d'adsorption [16,17]. Important pour déterminer le potentiel d'adsorption des composés organiques, cationiques et anioniques.

Dans notre étude, nous avons suivi l'effet du pH (2 à 11) sur l'adsorption du colorant pour une concentration initiale de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  BB un rapport de  $8 \text{ g.L}^{-1}$  de biosorbant en ajustant le pH initial des solutions du colorant en utilisant les solutions de NaOH (0,1 N) et HCl (0,1 N), pour les différentes valeurs de pH étudiées pour bleu bimacide.

**Tableau 9:** Effet du pH sur l'adsorption du BB.

pH	2,31	4,25	5,12	6,45	9,43	11
%d'élimination	74,6	72,1	81,5	82,9	77,5	67,7



**Figure 9:** Taux d'élimination en fonction de pH pour le BB.

Les résultats d'adsorption sont résumés dans le tableau (9) et représentés graphiquement par la figure (9). On peut observer sur cette figure que le meilleur taux d'élimination sont obtenu à  $\text{pH} = 6,45$  pour le BB

On pourrait expliquer ce phénomène par le fait qu'à une forte valeur acide du pH, une attraction électrostatique importante existe entre la surface de l'adsorbant chargé positivement et le colorant acide anionique. Quand le pH du système augmente, le nombre de sites chargés négativement augmente et ceux chargés positivement diminuent. Aussi, l'adsorption du colorant acide à des pH alcalin est due à la présence d'un excès d'ions hydroxyles, qui sont en compétition avec les anions du colorant acide pour les sites d'adsorption [19, 20] comme c'est le cas avec biosorbant.

L'adsorption des cations est favorisée à  $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pcz}}$  ; l'adsorption des anions est favorisée à  $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pcz}}$ . Dans ces conditions l'adsorption du colorant anionique est soutenue par un environnement acide [21].

### II.16.1 Isotherme d'adsorption du Bleu Bimacide

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique représentative de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbat et un adsorbant. Il caractérise le processus d'adsorption, et exprime la quantité d'adsorbat présente sur l'adsorbant  $q_e$  (exprimée en  $\text{mg.g}^{-1}$  d'adsorbant).

Dans une série de béchers contenant 25 ml de solution de concentration qui varient entre  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ , l'ensemble est agité pendant un temps de contact déterminé, puis centrifuger et analyser.

On fait cette expérience avec le colorant Bleu Bimacide.

La quantité  $q_e$  (masse adsorbée par gramme d'adsorption) est déterminée par l'équation suivante:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m * 1000} * V$$

OÙ :

$C_0$  : concentration initiale de l'adsorbat ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) ;

$C_e$  : concentration à l'équilibre de l'adsorbat ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

$m$  : masse d'adsorbat (g) ;

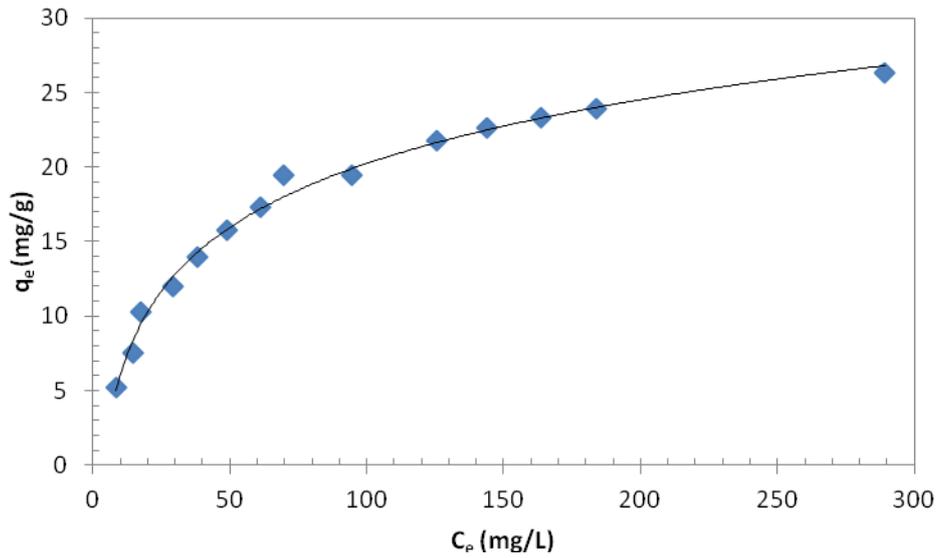
$V$  : volume d'adsorbat (ml) ;

1000 : coefficient de conversion.

Les valeurs de cette étude sont récapitulées dans le tableau (10) et représentées graphiquement sur les figures (10) et (11).

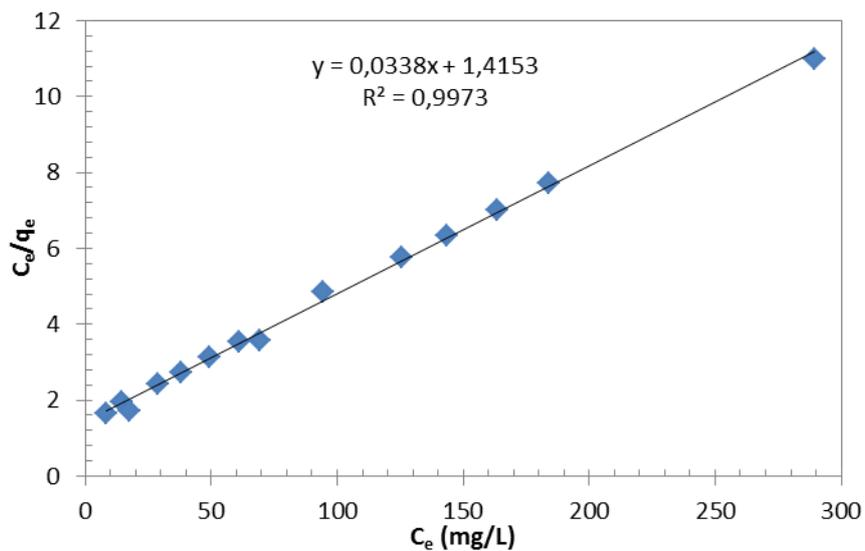
**Tableau 10:** Les valeurs de l'isotherme d'adsorption du colorant BB sur le Biosorbant.

$C_0$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$C_e$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$q_e$ ( $\text{mg.g}^{-1}$ )
100	8,6	5,2
200	14,7	7,5
300	17,7	10,3
400	29,1	12,0
500	38,0	14,0
600	49,2	15,7
700	61,3	17,3
800	69,5	19,4
900	94,3	19,5
1000	125,8	21,8
1200	143,7	22,7
1400	163,5	23,3
1600	184,0	23,9
2200	289,3	26,3

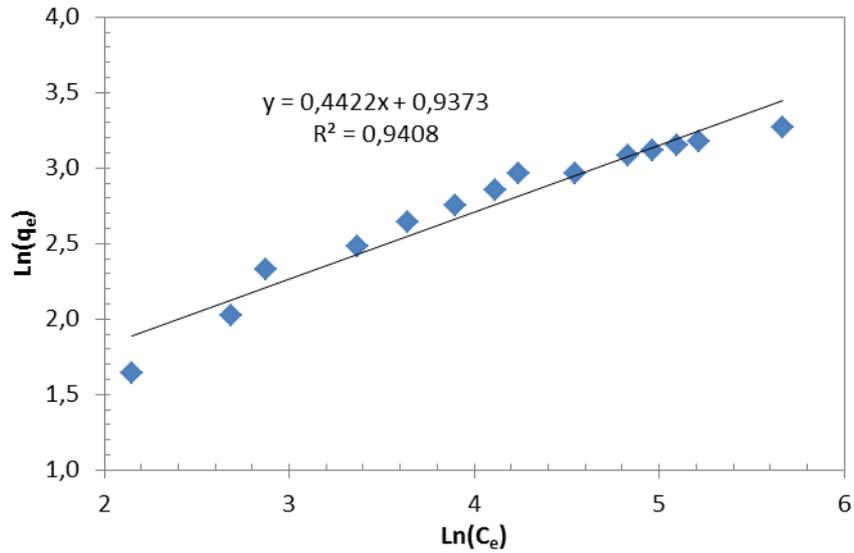


**Figure 10:** Isotherme d'adsorption du colorant BB.

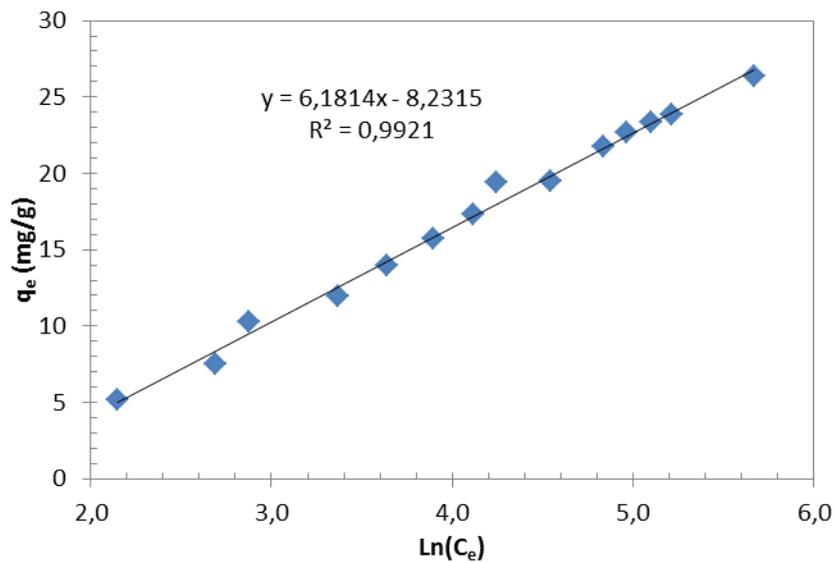
D'après la figure 10, nous observons qu'à partir des isothermes d'adsorption du BB sur un biosorbant, la quantité des polluants augmente plus au moins rapidement pour de faibles concentrations en solution, puis s'atténue pour atteindre un plateau formé correspondant à une saturation des sites d'adsorption, et traduisant une adsorption en monocouche. L'isotherme obtenu est de type L d'après la classification de Giles [22].



**Figure 11:** Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du colorant BB.



**Figure 12:** Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du colorant BB.



**Figure 13:** Application du modèle de Temkin pour l'adsorption du colorant BB.

**Tableau 11:** Paramètres de Langmuir, Freundlich et Temkin de l'adsorption du colorant Bleu Bimacide sur un biosorbant.

b(mg.g <sup>-1</sup> )	Langmuir		Freundlich			Temkin		
	K <sub>L</sub>	R <sup>2</sup>	1/n	K <sub>F</sub>	R <sup>2</sup>	B <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	R <sup>2</sup>
34,60	0,0168	0,9813	0,4378	2,616	0,9491	6,181	0,2640	0,992

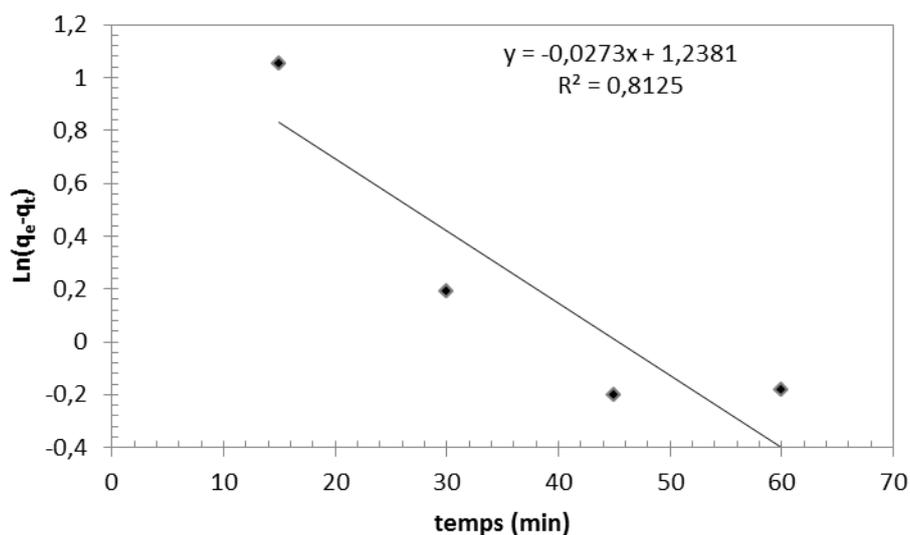
La linéarité de droite de la figure (11) avec un coefficient de régression  $R^2=0,9973$  pour le Bleu Bimacide montre que le système étudié suit le modèle de Langmuir pour la couleur étudiée.

Le tableau (11) donne les équations des droites obtenues ainsi que les constantes Coefficients de corrélation et confirme que ce système est bien décrit par le modèle de Langmuir pour le colorant avec une capacité maximale d'adsorption est de  $34,60 \text{ mg.g}^{-1}$  pour le Bleu Bimacide. L'application du modèle de Temkin pour le résultat expérimentale obtenu en traçant  $q_e$  en fonction de  $\ln(C_e)$  donne un bon ajustement linéaire avec de coefficient de corrélation  $R^2$  entre 0,92 et 0,99 les constantes de Temkin  $K_T$  qui est la constante de liaison à l'équilibre et la constante BT liée à la chaleur d'adsorption sont calculée à partir du tracé  $q_e$  en fonction  $\ln(C_e)$  d'après les résultats reportés dans le tableau (11) l'adsorption est considérée chimisorption. Des observations similaires ont été rapportées dans la littérature [23].

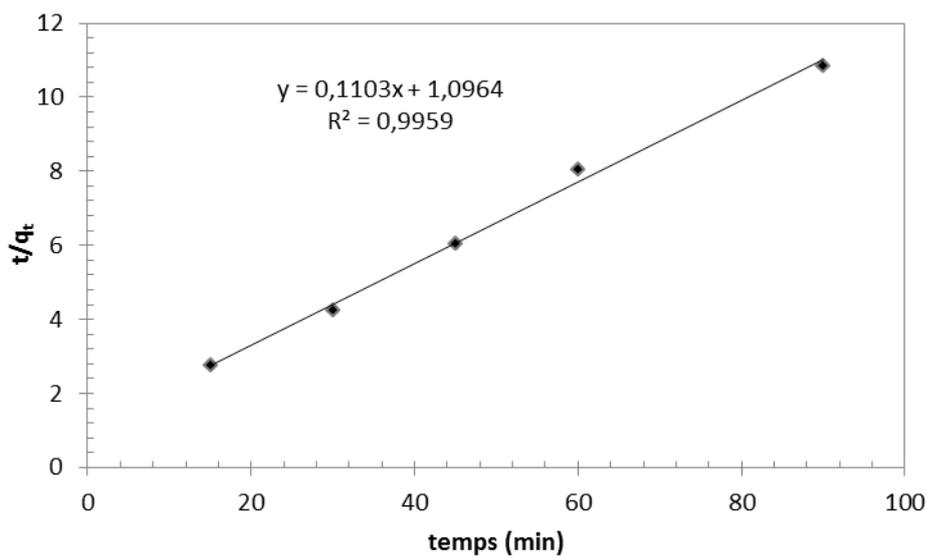
### II.16.2 Cinétique d'adsorption du Bleu Bimacide

Le modèle cinétique est prié en considération afin d'étudier le processus d'adsorption du Bleu Bimacide. Il s'agit d'effectuer les tests d'adsorption en prenant des temps de contact inférieurs au temps d'équilibre pour le Biosorbant modèles cinétiques sont utilisés afin d'étudier le processus d'adsorption de colorant précédant.

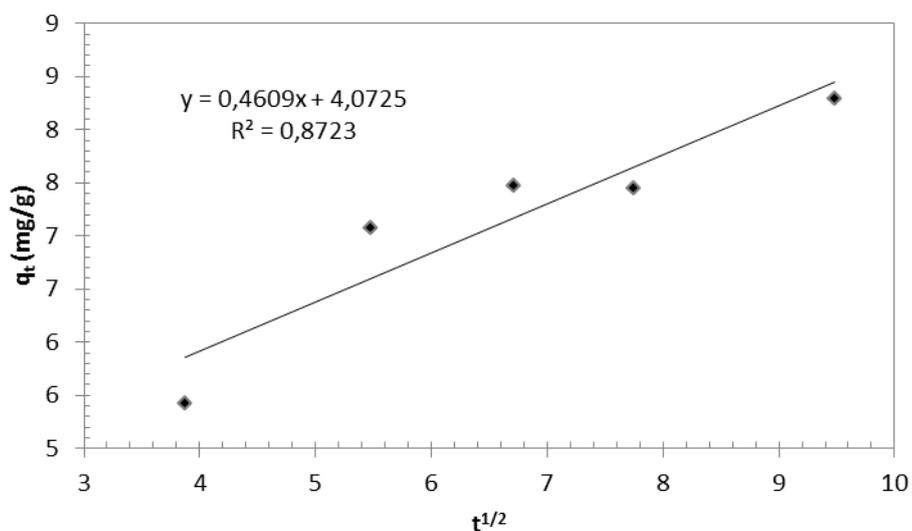
Pour cela, nous avons suivi la cinétique d'adsorption pour un colorant(BB) avec une concentration initiale de  $30 \text{ mg.L}^{-1}$  en contact avec une masse de 0,1 g de Biosorbant.



**Figure 14:** Modèle de la cinétique selon le pseudo-premier ordre.



**Figure 15:** Modèle de la cinétique selon le pseudo-second ordre.



**Figure 16:** Modèle de la cinétique selon la diffusion intra particulaire.

**Tableau 12:** Paramètre cinétiques d'adsorption du Bleu Bimacide.

Pseudo-premier ordre		Pseudo-second ordre			Diffusion intra particule				
$q_{(exp)}$	$q_{(cal1)}$	$K_1$	$R^2$	$q_{(cal2)}$	$K_2$	$R^2$	$K_{in}$	$C$	$R^2$
7,453	3,449	0,0273	0,8125	9,0661	0,011	0,9959	0,4609	4,0725	0,08723

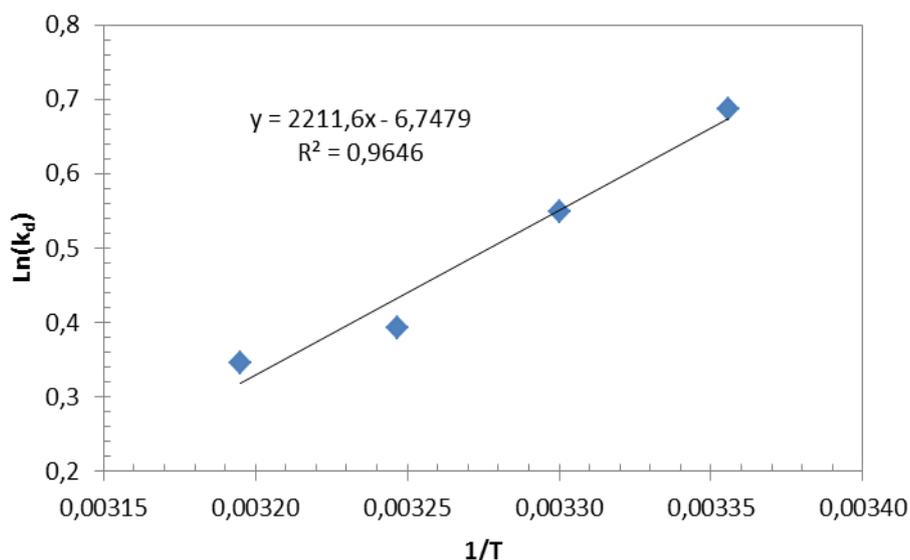
D'après ces résultats nous remarquerons que, l'adsorption du colorant par notre biosorbant prend la cinétique d'adsorption pseudo deuxième ordre avec des coefficients de corrélation sont supérieure à 0,997 ; et une capacité expérimentale est très proche à celle déterminée expérimentalement implique que tous cela justifient encore que la cinétique d'adsorption de BB utilisés par un biosorbant est de cet ordre.

Les résultats de la cinétique d'adsorption des dans certains travaux récents pour d'autres systèmes montrent que le pseudo-deuxième ordre représente parfaitement les données expérimentales dans beaucoup de cas [24]. Les valeurs de  $q_e$  calculées avec l'équation de pseudo-premier ordre sont aussi largement différentes de celles obtenues expérimentalement, ce qui confirme que le modèle de premier ordre n'obéit pas cette cinétique. Au contraire, des celles calculées selon l'équation de pseudo-deuxième ordre sont assez proches des résultats expérimentaux. Cela révèle une étape limitante du processus d'adsorption, et que le mécanisme d'adsorption est caractérisé par le transfert de masse à la surface de l'adsorbant [25].

Les valeurs de la constante de diffusion externe  $k_{id}$ , ainsi que celles de  $R^2$  sont données sur le tableau. À partir de cette figure, il est aisé de voir que la diffusion intra particulaire est une étape non négligeable dans le processus de l'adsorption pour le BB sur le biosorbant. La réaction chimique de surface, qui commence dès les premières minutes de contact et dont les points expérimentaux s'alignent au pseudo-second ordre avec de très hauts coefficients de régression  $R^2$ , indique que l'étape la plus influente dans l'adsorption du colorant sur le biosorbant reste le processus de diffusion intra particulaire, puisqu'il peut être considéré comme étape limitative qui contrôle le taux de transfert du colorant à chaque instant  $t$ .

### **II.16.3 Etude de l'influence de la température sur le processus d'adsorption du BB**

Bien que l'influence de la température sur l'adsorption a été étudiée soigneusement, pour étudier l'effet de la température sur d'adsorption du colorant étudié, nous avons choisi les températures suivantes : 25, 30, 35, 40 °C.



**Figure 17:** Evolution de  $\text{Ln}(K_d)$  en fonction de  $1/T$  pour l'adsorption du BB ( $100 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

**Tableau 13:** Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du BB.

T (K°)	$C_e$ (mg/L)	$q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )	$K_d$	$\Delta G$ (kj.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta H$ (kj.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S$ (kj.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$R^2$
298	33,5	8,3	1,898	-1,70			
303	36,6	7,9	1,732	-1,38			
308	40,3	7,5	1,480	-1,00	-18,39	-0,056	0,9646
313	41,4	7,3	1,413	-0,90			

La figure 17 et le tableau13 construisent les résultats obtenus pour le colorant bleu de bimacide sur le Biosorbant, et ce dernier nous montre que l'augmentation de la température a provoqué une diminution de la capacité d'adsorption pour le BB. L'élévation de la température défavorise le déroulement du phénomène d'adsorption [26]. L'évolution de  $\text{Ln}(K_d)$  en fonction de  $(1/T)$  (figure17) nous a permis de déduire les grandeurs thermodynamiques relatives aux systèmes adsorbant/adsorbat étudiés.

Les valeurs négatives des trois paramètres  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta G^\circ$  et  $\Delta S^\circ$  du système biosorbant/adsorbat indiquent que la réaction est spontanée et exothermique et que l'ordre de distribution des molécules du colorant sur l'adsorbant est important par rapport à celui dans la solution.

## Bibliographies

- [1] T. Rager, A. Geoffroy, R. Hilfikera, John M. D. Storey, (2012) The crystalline state of methylene blue: a zoo of hydrates, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 14 8074–8082.
- [2] N. SAÏM, (2016), Traitement des liquides toxiques en écoulement film par GLIDARC, thèse doctorat à Université de Mostaganem.
- [3] S. Attouti, (2013) Activation de deux algues méditerranéennes par diverses méthodes pour l'élimination de colorants, Thèse doctorat université de Mostaganem.
- [4] W. R. Roy, I. G. Krapae, Adsorption and desorption of atrazine and deethylatrazine by low organic carbon geologic materials, *J. Environ. Qual.*, 23 (1994) 549-556.
- [5] J. P. Gao, J. Maguhn, J. Spitzauer, A. Kettrup, Sorption of pesticides in the sediment of the Teufelsweiher Pon (Southern Germany): Equilibrium assessments, effect of organic carbon content and pH, *Water Res.*, 32 (1998) 1662-1672.
- [6] A. Khenifi, Z. Boubarka, F. Sekrane, M. Kameche, Z. Derriche, Adsorption study of an industrial dye by an organic clay, *Adsorption*, 13 (2007) 149-158.
- [7] Z. Boubarka, A. Khenifi, N. Benderdouche, Z. Zoubir, Adsorption of Supranol Yellow 4GL from aqueous solution by surfactant-treated aluminum/chromium-intercalated bentonite, *Journal of Hazardous Materials*, 162 (2009) 378-385.
- [8] S. Ozcan, A. Ozcan, Adsorption of acid dyes from aqueous solutions onto acid-activated bentonite, *Journal of Colloid and Interface Science*, 276 (2004) 39-46.
- [9] Giles, C.H, Smith, D, Huitson, A, A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical, *J. Colloid, Int, Sci*, 47 (3), (1974) 755-765.
- [10] Crini, G., Peindy, H.N., Gimbert, F., Robert, C., Removal of C.I. Basic Green 4 (malachite green) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: kinetic and equilibrium studies. *Separation and Purification Technology*. 53 (1), (2007), 97–110.
- [11] Azam T. Mohd Din, B.H. Hameed, Abdul L. Ahmad. Batch adsorption of phenol onto physiochemical-activated coconut shell. *Journal of Hazardous Materials* 161 (2009) 1522–1529.
- [12] G. McKay, Y.S. Ho. The sorption of lead (II) on peat. *Water Res*, 33, 578–584. (1999).
- [13] Djamel Belaid, K., Kacha, S., Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois, *Journal of Water Science*. 24 (2) (2011) 131.

## Conclusion

L'étude des mécanismes de l'adsorption du bleu de bimaide sur le déchet végétale a fait l'objet de ce travail. Les résultats obtenus relatifs à la cinétique, la thermodynamique et les isothermes d'adsorption ont été exploités pour éclaircir le mode de fixation du colorant sur l'adsorbant. L'étude de l'influence de la concentration initiale sur la cinétique a montré que le processus d'adsorption suit le modèle de pseudo-second ordre. La capacité d'adsorption d'une masse de déchet augmente avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant dans la solution. Par ailleurs, la diffusion intraparticulaire semble être une étape non négligeable dans le processus de l'adsorption, en particulier après les 90 premières minutes de la réaction. Les valeurs négatives des trois paramètres thermodynamiques indiquent que la réaction est une chimisorption spontanée, exothermique et que l'ordre de distribution des molécules du colorant sur le déchet augmente par rapport à celui dans la solution. Le modèle de Langmuir exprime mieux le type d'adsorption; les molécules du colorant sont alors adsorbées en monocouches, sans qu'il y ait d'interactions colorant-colorant, ce qui fait augmenter l'ordre de leur distribution sur la surface du bioadsorbant.