



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



*Department of Process Engineering*

The Date

Ref :...../U.M/F.S.T/2023

قسم هندسة الطرائق

التاريخ :

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2023

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie des procédés**

**Option : Génie Chimique**

**Thème**

**Application d'une nouveau adsorbant préparé pour la dépollution de  
l'eau**

Présenté par

**1- BELKHELFA BEDA**

**2- BENDJELIDJEL IKRAM**

Soutenu le 18/06/ 2023 devant le jury composé de :

Présidente :	M <sup>me</sup> MEKIBES Zohra	MCB	Université de Mostaganem
Examinatrice :	M <sup>me</sup> DELALI Halima	MAA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	M <sup>r</sup> BENZEKRI BEALLOU Mokhtar	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

## REMERCIEMENT

En premier lieu, nous tenons à remercier le bon Dieu le tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la patience pour mener à bon terme ce travail.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Structure, Elaboration et Applications des Matériaux Moléculaires (S.E.A.2.M) de l'Université Abdelhamid IBN BADIS de Mostaganem.

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur BENZEKRI BENALLOU Mokhtar Maître de Conférences A à l'Université de Mostaganem pour ses précieux conseils et son aide durant notre stage.

Nous exprimons également nos sincères remerciements à Mme MEKIBES Zohra, Maître de Conférences B à l'Université de Mostaganem, pour avoir eu l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nous sommes très reconnaissants à Mme DELALI Halima, Maître Assistant classe A, Université de Mostaganem, pour le privilège d'examiner ce mémoire.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à tous les membres du laboratoire de recherche SEA2M pour leur travail d'équipe et leur gentillesse.

Enfin, nous tenons à remercier tous les professeurs du Département de génie des procédés et toute personne ayant contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

## *Dédicace*

*Je tien dédie ce modeste travail à tous ceux qui sont chers à mon cœur*

*A mon cher père, pour son soutien, son affection et la confiance qu'il  
ma accordée*

*A ma chère mère pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices*

*La lumière qui me montre le chemin quand je me sens perdue, mes  
chères sœurs « Ahlem et Zaza » ; est mes frères « NOR Eddine et  
Ibrahim El Khalil »*

*A Toute la famille, BELKHELFA*

*A Tous mes amis*

*A Tous mes collègues de ma promotion 2<sup>ème</sup> année master  
génie chimique*

*A Tous les enseignants qui m'ont aidée de près ou de loin dans ma  
formation M<sup>me</sup> DOUARA, Mr TERMOUL, et les doctorants « Asma ;  
Fatma ; Saleh ; Allal ».*

*Belkhefha Beda*

## *Dédicace*

*Je dédie modeste travail à mes très chers parents, pour leurs soutiens, leurs encouragements, leurs sacrifices, eux qui m'ont guidé durant toute mes années d'études et ma vie vers le chemin de la réussite.*

*A mes chers frères : Abderrahmane ; Youcef*

*A mes chères sœurs : Maroua ; Safaa*

*A mes chères amies à tous ceux que je connais qui m'ont souhaité la réussite et à toute la promotion 2023 de génie chimique à qui je souhaite une bonne réussite.*

***Bendjelidjel Ikram***

## Résumé

Le but de cette étude est de protéger l'environnement et la santé humaine, nous avons étudié l'application de charbon actif préparé en laboratoire (SEA2M) et son adsorption du colorant Jaune Bemacide E.T.L dans le contrôle de la pollution. Pour élucider le processus de fixation de la couleur de ce produit, des expériences par lots ont été réalisées pour étudier l'effet des paramètres de fonctionnement sur le processus d'adsorption, tels que : le temps d'équilibre, le dosage de l'adsorbant, le pH, la température et la concentration initiale de colorant.

Les résultats expérimentaux montrent que l'adsorption du colorant Jaune Bemacide E.T.L sur le charbon actif dépend du temps d'équilibre de 60 min, du dosage de 7 g/L et du pH de la solution de 2. Pour décrire l'équilibre d'adsorption, les données expérimentales sont illustrées par les modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin. Le modèle de Langmuir avec un coefficient de corrélation de 0,99 décrit parfaitement l'équilibre. Les valeurs des paramètres thermodynamiques  $\Delta G$ ,  $\Delta H$  et  $\Delta S$  indiquent que la réaction d'adsorption est spontanée et endothermique.

**Mots clés :** Adsorption, Jaune Bemacide E.T.L, charbon actif.

## **Abstract**

The purpose of this study is to protect the environment and human health, we studied the application of activated carbon prepared in the laboratory (SEA2M) and its adsorption of the dye Yellow Bemacid E.T.L in pollution control. To elucidate the color fixing process of this product, batch experiments were performed to study the effect of operating parameters on the adsorption process, such as: equilibrium time, dosage of adsorbent, pH, temperature and initial dye concentration.

The experimental results show that the adsorption of Yellow Bemacid E.T.L dye on activated carbon depends on the equilibrium time of 60 min, the dosage of 7g/L and the pH of the solution of 2. To describe the equilibrium of adsorption, the experimental data are illustrated by the models of Langmuir, Freundlich and Temkin. Langmuir's model with a correlation coefficient of 0.99 perfectly describes the equilibrium. The values of the thermodynamic parameters  $\Delta G$ ,  $\Delta H$  and  $\Delta S$  indicate that the adsorption reaction is spontaneous and endothermic.

**Keywords:** Adsorption, Yellow Bemacid E.T.L, Activated Carbon.

## ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو حماية البيئة وصحة الإنسان، قمنا بدراسة تطبيق الكربون المنشط المحضر في المختبر وامتصاصه للصبغة اصفر بيماسيد في مكافحة التلوث. لتوضيح عملية تثبيت اللون لهذا المنتج، تم إجراء تجارب على دفعات لدراسة تأثير معاملات التشغيل على عملية الامتزاز، مثل: وقت التوازن، وجرعة الممتزات، ودرجة الحموضة، ودرجة الحرارة، وتركيز الصبغة الأولي. أظهرت النتائج التجريبية أن امتصاص صبغة اصفر بيماسيد على الكربون المنشط يعتمد على زمن التوازن 60 دقيقة والجرعة 7 جم / لتر ودرجة الحموضة 2

لوصف توازن الامتزاز، تم توضيح البيانات التجريبية من خلال نماذج لانجموير وفريوندليش وتيمكين. نموذج لانجموير مع معامل ارتباط 0.99 يصف التوازن تمامًا. تشير قيم المعلمات الديناميكية الحرارية  $\Delta S, \Delta H, \Delta G$  إلى أن تفاعل الامتزاز تلقائي وممتص للحرارة.

**الكلمات المفتاحية:** الامتزاز، اصفر بيماسيد، الكربون المنشط.

## Table des matières

*Remerciement*

*Dédicace*

*Résumé*

*Table des matières*

*List des figures*

*List des tableaux*

Introduction générale ..... 1

### **Chapitre I : Généralités sur l'adsorption et charbon actif**

I.1. Adsorption .....	4
I.1.1. Introduction.....	4
I.1.2. Définition .....	4
I.1.3. Types d'adsorption.....	5
I.1.3.1. Adsorption physique .....	5
I.1.3.2. Adsorption chimique .....	5
I.1.4. Description du mécanisme d'adsorption .....	6
I.1.5. Différents types d'adsorbants .....	7
I.1.6. Cinétique d'adsorption.....	7
I.1.6.1. Modèle de diffusion intra particulaire.....	7
I.1.6.2. Modèle pseudo-premier ordre.....	8
I.1.6.3. Modèle pseudo-second ordre .....	8
I.1.7. Isothermes d'adsorption.....	9
I.1.7.1. Classification des isothermes d'adsorption.....	9
I.1.8. Modèles des isothermes .....	10
I.1.8.1. Isothermes de Langmuir .....	10
I.1.8.2. Modèle de Freundlich .....	11
I.1.8.3. Modèle de Temkin .....	12
I.1.9. Etude thermodynamique .....	12
I.1.10. Paramètres influençant l'adsorption .....	13
I.2. Charbon actif .....	13
I.2.1. Généralités sur charbon actif .....	13
I.2.2. Définition .....	14
I.2.3. Les types de charbon actif.....	14



I.2.3.1. Charbon actif en poudre (CAP) .....	14
I.2.3.2. Charbon actif en grain (CAG).....	15

**Chapitre II : Généralités sur les colorants**

II. Généralités sur les colorants.....	17
II.1. Définition d'un colorant .....	17
II.2. Classification des colorants .....	17
II.3. Utilisations des colorants.....	21
II.4. Procédés d'élimination des colorants .....	21

**Chapitre III : Étude expérimentale et discussion des résultats**

III. Introduction.....	23
III.1 colorant Jaune Bemacide E.T.L .....	23
III.2 Dosage par spectrophotométrie .....	23
III.2.1. Loi d'absorption .....	23
III.2.2. Loi de BEER LAMBERT .....	23
III.2.3. Détermination de la courbe d'étalonnage.....	24
III.2.4. Etablissement de la courbe d'étalonnage .....	24
III.3. Application de l'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L .....	25
III.3.1. Effet du temps d'équilibre.....	25
III.3.2 Étude de l'effet de dose .....	26
III.3.3. L'effet de pH .....	27
III.3.4. Isotherme d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L .....	28
III.3.5. Étude cinétique d'adsorption.....	31
III.3.6. Étude de l'influence de la température sur processus d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L.....	34
Conclusion générale.....	37
Référence bibliographique .....	39

## List des figures

<b>Figure I.1:</b> Le phénomène d'adsorption. ....	5
<b>Figure I.2:</b> Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau .....	6
<b>Figure I.3:</b> Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al. ....	10
<b>Figure I.4 :</b> Charbon actif en poudre (CAP) .....	14
<b>Figure I.5:</b> Charbon actif en grain (CAG) .....	15
<b>Figure III.1:</b> Principe d'adsorption de la lumière monochromatique par un corps absorbant. ....	24
<b>Figure III.2:</b> Courbe d'étalonnage de Jaune Bemacide E.T.L. ....	25
<b>Figure III.3:</b> Effet du temps sur l'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L. ....	26
<b>Figure III.4:</b> Effet de la dose sur l'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L. ....	27
<b>Figure III.5:</b> Taux d'élimination en fonction de pH. ....	28
<b>Figure III.6:</b> Isotherme d'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L sur le CA avec et sans NaCl. ....	29
<b>Figure III.7:</b> Représentation linéaire du modèle de Langmuir pour l'adsorption de Jaune .....	29
<b>Figure III.8:</b> Représentation linéaire du modèle de Freundlich de l'adsorption du Jaune .....	30
<b>Figure III.9:</b> Représentation linéaire du modèle de Temkin de l'adsorption du Jaune .....	30
<b>Figure III.10:</b> Modèle cinétique du pseudo premier ordre pour les deux concentration (100 et .....	32
<b>Figure III. 11:</b> Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre pour les deux concentration (100.....	32
<b>Figure III.12:</b> Modèle de diffusion intra-particule pour les deux concentrations.....	33
<b>Figure III.13:</b> Effet de température sur le taux d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L .....	34
<b>Figure III.14:</b> Evolution de $\ln(k_d)$ en fonction de $(1/T)$ pour l'adsorption de .....	35

## List des tableaux

<b>Tableau I.1:</b> Différence entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique .	6
<b>Tableau II.1:</b> Classification chimique des colorants	18
<b>Tableau II.2:</b> Classification tinctoriale des colorants	20
<b>Tableau III.1:</b> Etablissement de la courbe d'étalonnage du Jaune Bemacide E.T.L.	25
<b>Tableau III.2:</b> Constantes Langmuir, Freundlich et Temkin d'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L (avec et sans NaCl).	31
<b>Tableau III.3:</b> Tableau récapitulatif des constantes des modèles cinétiques.	33
<b>Tableau III.4:</b> Paramètre thermodynamique d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L.	34

## **Introduction générale**

### Introduction générale

L'eau est nécessaire à la vie sur terre et au développement de l'industrie et de l'agriculture dans la société humaine. Ce développement accéléré s'accompagne souvent d'une pollution de l'air et de l'eau, créant de graves problèmes environnementaux. La pollution de l'eau se produit lorsque des polluants, en particulier des polluants minéraux, sont déversés dans l'eau qui dégradent la qualité de l'eau, la rendent dangereuse à utiliser et perturbent l'environnement aquatique.

En effet, il existe de nombreuses technologies de traitement des eaux usées domestiques ou industrielles. Ils diffèrent les uns des autres et comprennent, par exemple, l'adsorption, l'électrolyse, la solubilisation, la flottation, la précipitation, l'échange d'ions, l'extraction liquide-liquide, etc.

Parmi ces technologies, l'adsorption, qui fait l'objet de cette étude, a montré une forte capacité à épurer les eaux usées, en particulier les eaux usées industrielles. Parce qu'il s'est avéré très simple et efficace pour éliminer certains métaux lourds véhiculés dans certaines eaux usées industrielles.

Cependant, la performance et l'efficacité de cette technique dépendent largement des propriétés des supports utilisés comme adsorbants, notamment leur coût, leur disponibilité, leur renouvelable. Dans ce contexte, nous nous sommes concentrés sur le développement de supports naturels comme adsorbants moins chers et efficaces [1].

Le charbon actif présente les avantages d'une grande surface, d'une structure microporeuse, d'une capacité d'adsorption élevée, d'une chimie de surface et d'une régénération relativement facile, ce qui en fait un adsorbant potentiel pour l'élimination des colorants des eaux usées. Cependant, les inconvénients du charbon actif commercial, tels que son coût élevé et sa difficulté à se régénérer après avoir été saturé de contaminants, ont conduit les chercheurs à rechercher d'autres matériaux [2].

Le charbon actif peut être fabriqué à partir d'une variété de matériaux à haute teneur en carbone. Ces matériaux sont souvent des précurseurs organiques et beaucoup ont été testés pour l'élimination des contaminants organiques. Exemples : coques d'amande, paille, coques de noix de cajou, coques de riz, coques de thé, coques de café, coques de noisette, coques

d'abricot, noyaux d'olive, noyaux de palmier dattier, boues, clarifications et, plus récemment, algues [3].

L'objectif de cette étude était l'adsorption du colorant acide ou anionique Jaune Bemacide E.T.L sur le charbon actif Préparé au laboratoire SEA2M. A cette fin, les principaux paramètres affectant l'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L ont été étudiés. Les isothermes appliquées ont été établies et la cinétique d'adsorption a été étudiée.

Ce mémoire, est structuré selon trois chapitre :

- Dans le premier chapitre traite les phénomènes d'adsorption et des généralités sur le charbon actif.
- Le deuxième chapitre nous donnons quelques rappelés sur les colorants.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude expérimental, il porte sur l'influence de divers paramètres réactionnels qui sont (la masse d'adsorbant, la concentration initiale du colorant, pH, le temps de contact et la température) sur l'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L. la validation les différents modèles des isothermes et cinétique d'adsorption ont été aussi étudiées.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur l'adsorption et charbon actif**

### I.1. Adsorption

#### I.1.1. Introduction

L'adsorption est largement utilisée dans la séparation et la purification de liquides et de gaz dans divers domaines tels que les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, les applications environnementales et pharmaceutiques.

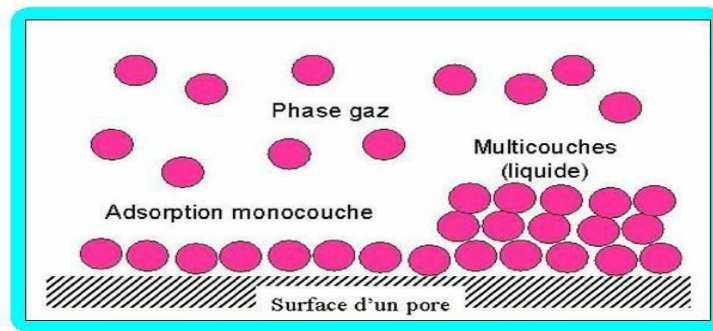
Malgré des recherches récentes dans le domaine du traitement des eaux usées et malgré l'application de nouveaux procédés dans ce domaine, l'adsorption reste une méthode disponible et a obtenu de bons résultats dans l'élimination des substances organiques toxiques telles que les colorants des eaux usées. Dans le domaine du traitement des eaux usées, l'adsorption consiste à extraire les polluants résiduels solubles de l'eau en utilisant les propriétés adsorbants des matériaux argileux (argile ou argile modifiée) ou d'autres matériaux tels que le charbon actif, la silice, l'alumine et les tamis moléculaires [4].

#### I.1.2. Définition

L'adsorption est le phénomène qui consiste l'accumulation d'une substance à l'interface entre deux phases (gaz-solide, gaz-liquide, liquide-solide, liquide-liquide, solide-solide). Il a son origine dans les forces d'attraction moléculaires, de nature et d'intensité variées, qui sont responsable de la cohésion des phases condensées (liquide ou solide). La surface de la phase qui attire les constituants de l'autre phase sera appelée l'adsorbant, les molécules ainsi adsorbées constituent l'adsorbat [5].

L'adsorption d'une substance sur la surface d'un solide dépend principalement des propriétés texturales et structurales de ce dernier, et en particulier le nombre et la forme des pores ainsi que la nature des fonctions de surface. On appelle désorption la transformation inverse de l'adsorption, par laquelle les molécules ou les atomes adsorbés se détachent du substrat [6].





**Figure I.1:** Le phénomène d'adsorption [7].

### I.1.3. Types d'adsorption

Toute molécule ou atome qui s'approche d'une surface subit une attraction qui peut conduire à la formation d'une liaison par deux possibilités, physique ou chimique.

#### I.1.3.1. Adsorption physique

L'adsorption physique ou physisorption met en jeu de très faibles interactions entre entités moléculaires comme les forces d'attraction de van der Waals et des forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation. Elle est réversible et peu spécifique. L'adsorption physique est rapide et généralement limitée par les phénomènes de diffusion. La force des interactions mises en jeu peut être estimée par l'énergie d'adsorption qui est comprise entre 5 et 40 kJ/mol et considérée comme faible : la désorption peut donc être totale [8].

#### I.1.3.2. Adsorption chimique

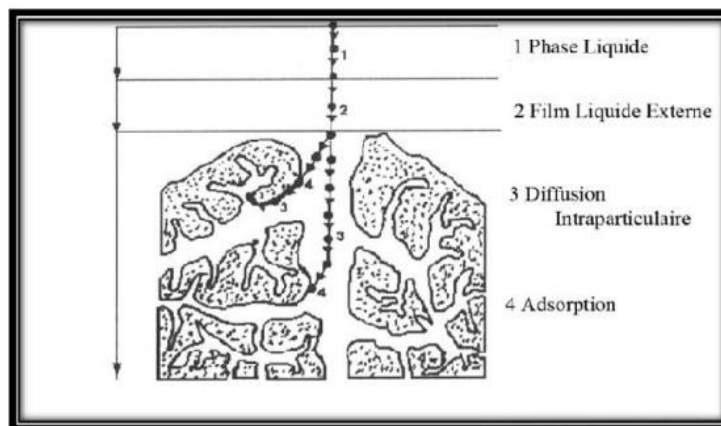
Dite chimisorption, résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à l'adsorbant. Elle met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbât et l'adsorbant. La chimisorption est généralement irréversible, produisant parfois une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Seules sont concernées par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide [9]. Le tableau I.1 présente les différences entre les deux types d'adsorption.

**Tableau I.1:** Différence entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [10].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	Inférieure à 40 kJ/mole	40 à 200 kJ/mole
Température de processus	Inférieure à la température d'ébullition de l'adsorbant	Elevée
Nature de liaison	Physique (Van der Waals)	Chimique
La désorption	Plus, ou moins parfaite	Difficile
Energie d'activation	Non appréciable	Peut être mise en jeu
La cinétique	Très rapide	Lente
Etat de surface	Formation de multicouches	Conduit tout ou plus à une monocouche

### I.1.4. Description du mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure I.2 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.



**Figure I.2:** Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux [11].

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

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

### I.1.5. Différents types d'adsorbants

Tous les solides agissant comme adsorbants sont caractérisés par une structure microporeuse qui leur confère une très grande surface active par unité de masse. Les adsorbants utilisés dans la pratique sont soit de nature organique (végétale ou animale), soit de nature minérale. Ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but d'augmenter la porosité. Les adsorbants les plus utilisés dans les applications de traitement des eaux sont les suivants : charbon active, Argile, gel de silice, zéolite et les oxydes métalliques [13].

### I.1.6. Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption dépend de l'interaction adsorbant-adsorbât et de la condition du système. Deux éléments essentiels d'évaluation pour une unité d'opération de processus sont : le mécanisme, et le taux de rétention dont il détermine le temps de séjour exigé pour accomplir la réaction d'adsorption.

Pour l'étude de la cinétique d'adsorption de l'adsorbât, on détermine la capacité de fixation  $q_t$  en fonction du temps, qui peut être énumérée à partir de l'analyse cinétique. L'équilibre de fixation est pratiquement atteint après un certain temps de contact adsorbant adsorbât. La constante de vitesse est déduite à partir des modèles mathématiques [14].

Les modèles suivants sont utilisés pour décrire le comportement cinétique d'adsorption

#### I.1.6.1. Modèle de diffusion intra particulaire

Le modèle de diffusion intra particulaire est proposé par Weber et Morris. Utilisé pour déterminer le phénomène limitant le mécanisme d'adsorption.

Il est représenté par l'équation suivante :

$$q_t = k_{in} \times t^{1/2} + C \quad eq. 1$$

Avec :

$k_{int}$  : constante de diffusion inter particulaire ( $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1/2}$ ).

$C$  : constante qui fournit une indication de l'épaisseur de la couche limite.

$t^{1/2}$  : le temps de demi-réaction (réaction d'adsorption à l'équilibre).

Généralement il existe quatre étapes dans le processus d'adsorption par les solides poreux et qui sont les suivantes :

- 1- Le transfert du soluté de la solution vers la couche limite entourant la particule.
- 2- Le transfert du soluté vers les sites adsorbants : diffusion dans les micro- et macropores.
- 3- Interactions entre les molécules du soluté et les sites actifs de la surface : adsorption, complexation et précipitation [15].

### I.1.6.2. Modèle pseudo-premier ordre

Ce modèle a été proposé par Lagergreen, il est exprimé par la relation suivante [16].

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad eq. 2$$

Avec :

$q_e$  : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre ( $\text{mg/g}$  d'adsorption ( $\text{mg/g}$ ).

$q_t$  : quantité de soluté adsorbé à l'instant  $t$  ( $\text{mg/g}$ ).

$k_1$  : Constante de vitesse de premier ordre ( $\text{min}^{-1}$ ).

Après intégration, l'équation s'écrit :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \times t \quad eq. 3$$

On peut vérifier l'application de ce modèle pour un système donné en examinant la linéarité de la droite obtenue en portant  $\ln(q_e - q_t) = f(t)$ . L'ordonnée à l'origine et la pente de la droite nous permettent de calculer  $q_e$  et  $k_1$ .

### I.1.6.3. Modèle pseudo-second ordre

4- L'équation du pseudo-second ordre est utilisée pour décrire la cinétique de la réaction de fixation des adsorbats sur l'adsorbant. Le modèle de pseudo-second ordre permet de Le transfert du soluté de la couche limite vers la surface adsorbant. Caractériser la cinétique

d'adsorption en prenant compte, le cas d'une fixation rapide des adsorbats sur les sites les plus réactifs et celle de la fixation lente sur les sites d'énergie faible [17] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad eq.4$$

Après intégration, l'équation s'écrit

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \times q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad eq.5$$

### I.1.7. Isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption est une représentation graphique de la quantité adsorbée par unité de masse en fonction de la concentration du soluté à l'équilibre. Cette représentation permet de caractériser les interactions adsorbant/adsorbat en étudiant l'effet de la concentration initiale du soluté sur la capacité d'adsorption des adsorbants [18].

La quantité adsorbée par unité de masse peut être calculée selon l'équation suivante :

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \quad eq.6$$

Et le pourcentage d'adsorption :

$$R\% = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \times 100 \quad eq.7$$

Avec :

**q<sub>e</sub>** : Quantité adsorbée exprimée en mg de soluté par gramme d'adsorbant (mg/g).

**C<sub>i</sub>** : Concentration initiale de soluté en (mg/l).

**C<sub>e</sub>** : Concentration du soluté à l'équilibre en (mg/l).

**V** : Volume du soluté en litre (l).

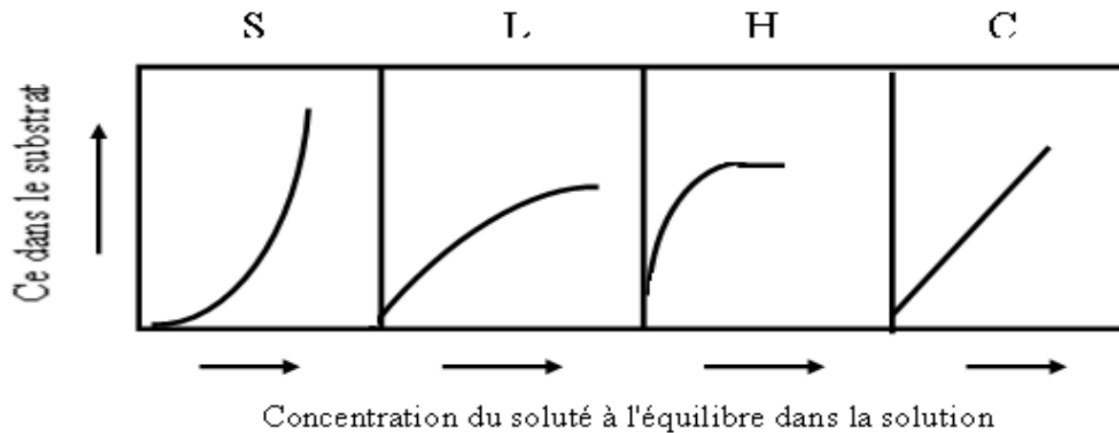
**m** : masse d'adsorbant en gramme (g).

**R%** : pourcentage d'adsorption.

#### I.1.7.1. Classification des isothermes d'adsorption

Gilles et coll. (1974) ont proposé les modèles d'adsorption, dont quatre types particuliers sont maintenant considérés comme les quatre formes principales d'isothermes généralement

observées [19]. Ces classes sont représentées sur la Figure I.3. Le type d'isotherme obtenu permet de tirer des conclusions qualitatives sur les interactions, entre l'adsorbat et l'adsorbant



**Figure I.3:** Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al [20].

**S** (Sigmoide), **L** (Langmuir), **H** (Haute affinité) et **C** (partition Constante)

**Classe L :** Les isotherme de classe L présentent, à faible concentration en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur à mesure de la progression d'adsorption.

**Classe S :** Les isothermes de cette classe présentent, concentration, une concavité tournée vers le haut.

**Classe H :** La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparait importante à concentration quasiment nulle de soluté dans la solution.

**Classe C :** Les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier.

### I.1.8. Modèles des isothermes

Les adsorptions isothermes jouent un rôle important dans la détermination des capacités maximales et dans l'identification du type d'adsorption devant se produire. Donc les courbes des isothermes d'adsorption décrivent la relation existante à l'équilibre d'adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté donné à une température constante. Elles représentent le partage à l'équilibre d'un soluté entre le solvant et la phase adsorbant [21].

Parmi les modèles les plus répandus, on distingue :

#### I.1.8.1. Isothermes de Langmuir

L'isotherme de Langmuir a été proposée en 1918, elle repose sur les hypothèses suivantes

- L'espèce adsorbée est située sur un site bien défini de l'adsorbant (adsorption localisée).
- Chaque site n'est susceptible de fixer qu'une seule espèce adsorbée [22].
- L'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante de la présence des espèces adsorbées sur les sites voisins (surface homogène et pas d'interactions entre espèces adsorbées).

A l'équilibre on a la relation suivante :

$$q_e = \frac{k_L \times b \times C_e}{1 + (k_L \times C_e)} \quad eq. 8$$

La linéarisation de l'équation (8) conduit à l'équation suivante :

$$q_e = \frac{1}{(k_L)b} + \frac{C_e}{b} \quad eq. 9$$

Avec :

**q<sub>e</sub>** : la quantité du soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

**b** : capacité maximale d'adsorption (mg/g).

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

**k<sub>L</sub>** : coefficient d'adsorption (l/mg), c'est également la constante d'adsorption spécifique de l'adsorbat sur l'adsorbant. Cette constante est liée à la température et au système (adsorbant adsorbat) [23].

L'équation obtenue est celle d'une droite de pente  $1/b$ .  $1/(K_L)b$  et d'ordonnée à l'origine, ce qui permet de déterminer deux paramètres d'équilibre de la relation :  $b$  et  $1/(K_L)b$ .

### I.1.8.2. Modèle de Freundlich

Il s'agit d'une équation qui est souvent employée dans la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption entre le soluté et la surface d'un adsorbant. Elle se présente sous la forme :

$$q_e = k_F(C_e)^{1/n} \quad eq. 10$$

La linéarisation de l'équation précédente nous donnera :

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \times \ln C_e + \ln k_F \quad eq. 11$$

Où :

$q_e$  : la quantité du soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

$k_F$  : constante de Freundlich correspondant à l'énergie d'adsorption.

$C_e$  : concentration en soluté de la solution à l'équilibre (mg/l).

$n$  : représente l'intensité d'adsorption et indique si l'adsorption est favorable.

Si  $n=1$  adsorption linéaire, si  $n<1$  adsorption chimique et si  $n>1$  adsorption physique est favorable [24].

### I.1.8.3. Modèle de Temkin

Le modèle de Temkin repose sur l'hypothèse que, lors de l'adsorption en phase gazeuse, la chaleur d'adsorption due aux interactions avec l'adsorbat décroît linéairement avec le taux de recouvrement.

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(k_T \times C_e) \quad eq. 12$$

Sous sa forme linéaire

$$q_e = B_T \times \ln k_T + B_T \ln C_e \quad eq. 13$$

$$\text{Avec : } B_T = \frac{R \times T}{b_T}$$

$q_e$  : la quantité d'ions métalliques adsorbés (mg/g).

$C_e$  : concentration en soluté de la solution à l'équilibre (mg/l).

$R$  : constante universelle des gaz parfait (J/mol. K)

$T$  : température absolue (K).

$b_T$  : variation de l'énergie d'adsorption (J/mol.g.mg).

$k_T$  : constante d'équilibre (l/mg).

### I.1.9. Etude thermodynamique

Les paramètres thermodynamiques mettant en évidence le changement de l'énergie libre de Gibbs  $\Delta G$ , de l'enthalpie  $\Delta H$  et de l'entropie  $\Delta S$ , permettent de prévoir la spontanéité d'un processus. D'une façon générale, le phénomène d'adsorption est toujours accompagné d'un effet thermique qui peut être, soit exothermique ( $\Delta H < 0$ ) ou, endothermique ( $\Delta H > 0$ ).

La mesure de la chaleur  $\Delta H$  est le principal critère qui permet de différencier la chimisorption de la physisorption.

Les grandeurs thermodynamiques sont déterminées à partir de l'équation de Van 't Hoff :



$$\ln k_d = \left( \frac{-\Delta H}{RT} \right) + \left( \frac{\Delta S}{R} \right) \quad eq. 14$$

Avec :

**k<sub>d</sub>** : coefficient de distribution.

**ΔH** : Enthalpie (kJ/mol).

**ΔS** : Entropie (kJ/mol).

**ΔG** : Energie libre (J/mol).

**R** : constante des gaz parfaits (8.314J/mol. K).

**T** : température (K).

Le coefficient de distribution représente le rapport entre la quantité adsorbée à l'équilibre et la concentration dans la solution, soit :

$$k_d = \frac{q_e}{C_e} \quad eq. 15$$

A partir du tracé de Ln k<sub>d</sub> en fonction de 1/T, ΔH et ΔS sont déduites respectivement, de la pente et l'ordonnée à l'origine.

L'équation suivante donne l'énergie libre de Gibbs, ΔG :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad eq. 16$$

### I.1.10. Paramètres influençant l'adsorption

La capacité d'adsorption d'un matériau est influencée par les propriétés physicochimiques de l'adsorbant (surface spécifique, granulométrie, fonctions de surface, porosité...), de l'adsorbat (concentration dans la solution, solubilité, taille, fonctions chimiques présentes, compétition entre les différentes molécules...) et celles du milieu (force ionique, pH, température, agitation, caractéristiques hydrodynamiques...) [25].

## I.2. Charbon actif

### I.2.1. Généralités sur charbon actif

Le charbon actif est l'adsorbant le plus utilisé industriellement. Il est caractérisé par une surface quasi non polaire, qui lui permet d'adsorber préférentiellement les composés organiques ou non polaires par rapport aux composés polaires tels que l'eau. Il peut ainsi être utilisé pour des opérations de séparation/purification de gaz sans déshumidification préalable contrairement à la plupart des autres adsorbants.

L'énergie de liaison adsorbat/ adsorbant est généralement plus faible pour le charbon actif que pour les autres adsorbants, ce qui diminue la quantité d'énergie nécessaire pour la phase de régénération [26].

### I.2.2. Définition

Le charbon actif (CA) est constitué d'un matériau carboné essentiellement amorphe, doté d'une porosité très développée avec une capacité d'adsorption qui est définie par le volume poreux et les groupes fonctionnels, principalement oxygénés, qui se trouvent à la surface. Il est obtenu à partir d'un grand nombre de matériaux contenant du carbone d'origine végétale, animale ou minérale carbonisé, puis activé [27]. Le charbon actif a tout d'abord été utilisé pour améliorer les qualités organoleptiques d'une eau en éliminant les matières organiques responsables des mauvais goûts et odeurs, ainsi que les couleurs. Avec l'accroissement de la pollution son emploi s'est étendu à l'élimination de nombreux polluants tels que les hydrocarbures, les pesticides et même certains métaux lourds [28].

### I.2.3. Les types de charbon actif

Il existe différents types de charbons actifs, selon le matériau source et selon leur forme physique. Le charbon actif peut être produit à partir de toute matière organique végétale riche en carbone : bois, écorces, lignite, résidus pétroliers. On peut le trouver sous forme de charbon actif en poudre (CAP), de charbon actif en grains (CAG) [29].

#### I.2.3.1. Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif en poudre ou CAP prend la forme de grains, 95-100 % de ces particules traverseront un tamis de maille donnée. Par exemple la norme ASTM D5158 classe les particules de diamètre inférieur ou égal à 0.177 mm [30].



**Figure I.4 :** Charbon actif en poudre (CAP)

### I.2.3.2. Charbon actif en grain (CAG)

Ce type de charbon présente une granulométrie plus grande et une surface spécifique un peu moins importante. Ils sont préconisés de préférence pour l'adsorption des gaz et des vapeurs. Les charbons actifs en grains sont généralement préparés par activation physique à partir de différents matériaux comme le bitume et le lignite [31].



**Figure I.5:** Charbon actif en grain (CAG)

**Chapitre II :**  
**Généralités sur les colorants**

### II. Généralités sur les colorants

#### II.1. Définition d'un colorant

Un colorant est une matière colorée par elle-même, capable de se fixer sur un support. La coloration plus ou moins intense des différentes substances est liée à leur constitution chimique [32]. En fait, un colorant est un corps susceptible d'absorber certaines radiations lumineuses et de réfléchir alors les couleurs complémentaires [33].

Ce sont des composés organiques comportant dans leurs molécules trois groupes essentiels : le chromophore, l'auxochrome et la matrice [34]. Le site actif du colorant est le chromophore, il peut se résumer à la localisation spatiale des atomes absorbant l'énergie lumineuse. Le chromophore est constitué de groupes d'atomes dont les plus classiques sont le nitro ( $-\text{NO}_2$ ), le diazo ( $-\text{N}=\text{N}-$ ), le nitroso ( $-\text{N}=\text{O}$ ), le thiocarbonyl ( $-\text{C}=\text{S}$ ), le carbonyl ( $-\text{C}=\text{O}$ ), ainsi que les alcènes ( $-\text{C}=\text{C}-$ ). L'absorption des ondes électromagnétiques par le chromophore est due à l'excitation des électrons d'une molécule [34].

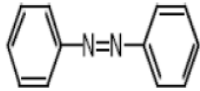
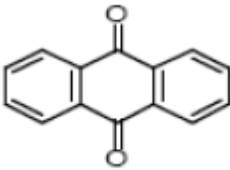
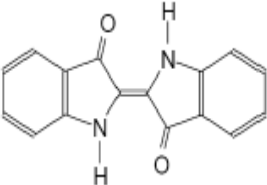
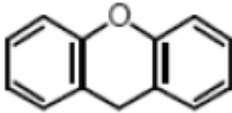
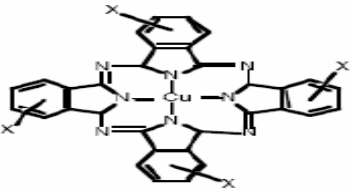
La molécule qui les contient devient chromogène. La molécule chromogène n'a des possibilités tinctoriales que par l'adjonction d'autres groupements d'atomes appelés « auxochrome » [33]. Ces groupes auxochrome permettent la fixation des colorants et peuvent modifier la couleur du colorant. Ils peuvent être acides ( $\text{COOH}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{OH}$ ) ou basiques ( $\text{NH}_2$ ,  $\text{NHR}$ ,  $\text{NR}_2$ ) [35]. Le reste des atomes de la molécule correspond à la matrice, la troisième partie du colorant [34].

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie.

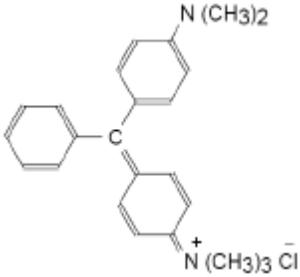
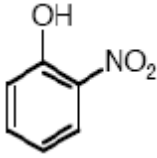
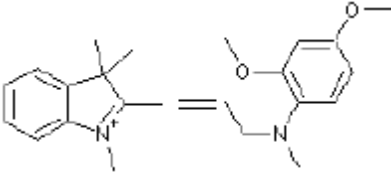
#### II.2. Classification des colorants

Les principaux modes de leur classification reposent soit sur leur constitution chimique qui s'appuie principalement sur la nature du chromophore (Tableau II.1), soit sur leurs méthodes d'application aux différents substrats que sont les fibres textiles, le papier, le cuir, les matières plastiques, etc. (Tableau II.2).

**Tableau II.1:** Classification chimique des colorants [36-41].

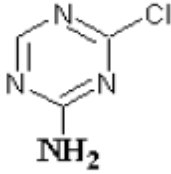
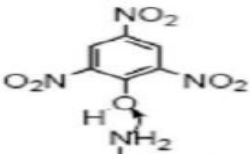
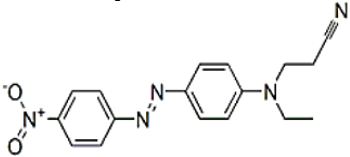
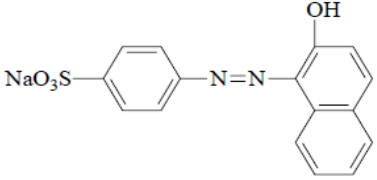
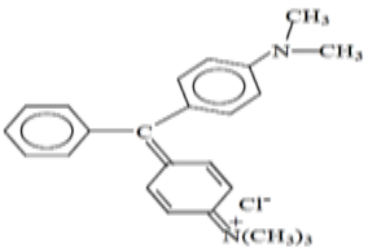
Description	Colorants
<p>-Deux noyaux benzéniques reliés par un groupement azoïque (N=N-) ;</p> <p>-50% de la production mondiale de matières colorantes ;</p> <p>-10 à 15% de pertes durant les procédures de teinture, évacués sans traitement préalable dans les effluents ;</p> <p>-Cancérogènes, réfractaires aux procédés de traitements, très résistants à la biodégradation.</p>	<p align="center"><b>Azoïque</b></p> 
<p>-Deux noyaux benzéniques entourant un noyau porteur de 2 fonctions cétones ;</p> <p>-23 % de la production des colorants synthétiques ;</p> <p>-Très bonne stabilité à la lumière et aux agents chimique ;</p> <p>-Permet l'obtention des nuances : Orange, rouge, brun, vert et bleu.</p>	<p align="center"><b>Anthraquiniques</b></p> 
<p>-Résistance remarquable aux traitements de lavage ;</p> <p>-Solidité à la lumière très moyenne.</p>	<p align="center"><b>Indigoïdes</b></p> 
<p>-Intense fluorescence ;</p> <p>-Utilisé en tant que marqueur lors d'accidents maritimes et traceur d'écoulement pour des rivières souterraines.</p>	<p align="center"><b>Xanthène</b></p> 
<p>-Structure complexe basée sur l'atome central de cuivre</p> <p>-Très stable et très utilisés.</p>	<p align="center"><b>Phtalocyanines</b></p> 

## Chapitre II : Généralités sur les colorants

<ul style="list-style-type: none"> <li>-Plus ancienne classe des colorants synthétiques ;</li> <li>-Couvre la totalité de la gamme des nuances.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Triphénylméthanés</b></p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ancienne classe de colorants, limitée en nombre ;</li> <li>-Structure moléculaire simple ;</li> <li>-Prix modéré.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Nitrés et nitrosés</b></p> 
<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 et bons sensibilisateurs photographiques (particulièrement les cyanines).</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Polyméthiniques</b></p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Structure basée sur les aryles substitués de n-quinoléine et n-quilondiamine.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Quinoléique</b></p>

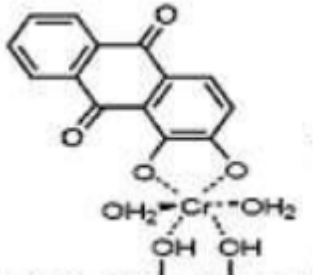
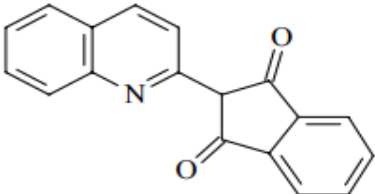
Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application.

**Tableau II.2:** Classification tinctoriale des colorants [36], [38], [41].

Description	Colorants
<p>-Dernière classe de colorant apparue sur le marché ;                      -Contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanine.</p>	<p align="center"><b>Réactifs</b></p> 
<p>-Caractères anioniques ;                      -Contiennent ou sont capables de former des charges positives ou négatives électro statiquement attirées par les charges des fibres ;                      -Prix modéré, facilité d'application et faible solidité aux traitements de lavage.</p>	<p align="center"><b>Directs</b></p> 
<p>-Non-ioniques, insolubles dans l'eau ;                      -Donnent des couleurs stables à la lumière, aux acides, au formaldéhyde et aux actions thermiques ;                      -Essentiellement adsorbés sur la fibre polyamide.</p>	<p align="center"><b>Dispersés</b></p> 
<p>-Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates ;                      -Permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide).</p>	<p align="center"><b>Acides ou anioniques</b></p>  <p align="center">(C.I Acide Orange 7)</p>
<p>-Bonne solubilité dans l'eau ;                      -Nuances très vives et résistantes sur les fibres acryliques ;                      -Liaisons entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres.</p>	<p align="center"><b>Basiques ou cationiques</b></p>  <p align="center">(C.I Basic green 4)</p>



## Chapitre II : Généralités sur les colorants

<p>-Les colorants à mordants ont 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.</p>	<p><b>A mordants</b></p> 
<p>-Insolubles dans l'eau, sauf sous action d'un réducteur (dithionite de sodium) ; -Appartiennent à la classe chimique des anthraquinones et à celle des indigoïdes ; -Bonne résistance aux agents de dégradation.</p>	<p><b>De cuve</b></p> 

### II.3. Utilisations des colorants

Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants [42] :

- ✓ Textiles 60% ;
- ✓ Papiers 10% ;
- ✓ Matières plastiques et élastomères 10% ;
- ✓ Cuirs et fourrures 3% ;

Les autres applications concernent les produits alimentaires, le bois et la photographique.

### II.4. Procédés d'élimination des colorants

De nombreuses techniques de dépollution des effluents chargés en colorants sont développées au cours de ces dernières années [43]. Dans notre étude on s'intéresse par un procédé très important qui est le phénomène d'adsorption.

**Chapitre III :**  
**Étude expérimentale et discussion des résultats**

### III. Introduction

Pour étudier l'adsorption de jaune bemacide sur un charbon actif nous avons fait une série d'expérience à savoir : l'étude des paramètres influençant l'adsorption (l'effet de temps de contact, l'effet de la dose, l'effet de pH, l'effet de température), l'étude des isothermes et l'étude cinétique.

#### III.1 colorant Jaune Bemacide E.T.L

Jaune Bemacide c'est un colorant industriel de synthèse destinés à la teinture des textiles chimiques de nature polyamide et qui nous ont été fournis par la SOITEX de Tlemcen. Les colorants Bemacid sont des colorants acides, solubles dans l'eau ont été classés en groupes E, N ou F en fonction de leurs propriétés tinctoriales et de leurs solidités. Le colorant utilisé dans ce présent travail, appartient au groupe E qui se distingue par un niveau élevé de solidité à la lumière, un bon pouvoir de migration, un bon pouvoir couvrant les striures d'origine cinétique, une bonne combinabilité, un épuisement rapide même à basse température et une fixation rapide à la vapeur saturée.

#### III.2 Dosage par spectrophotométrie

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

En analyse spectrophotométrique, on utilise une lumière sensiblement monochromatique.

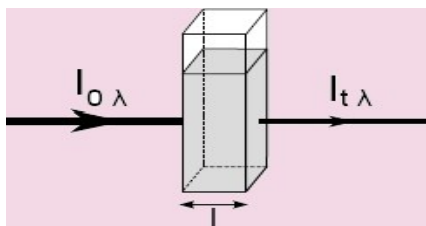
Cette méthode d'analyse est intéressante car elle permet de travailler sur de faibles quantités de substance et est non destructive vis-à-vis de l'échantillon : elle s'applique à un très grand nombre de dosages.

##### III.2.1. Loi d'absorption

Les lois générales d'absorption sont valables pour les spectres d'absorption dans les domaines ultraviolets et visibles [44].

##### III.2.2. Loi de BEER LAMBERT

Soit un faisceau de lumière monochromatique traversant une épaisseur  $l$  de solution d'un corps adsorbant. Soit  $I_0$  la puissance rayonnante à l'entrée de la solution et  $I$  la puissance rayonnante à la sortie,  $C$  la concentration du corps absorbant et  $l$  l'épaisseur de la cuve [45].



**Figure III.1:** Principe d'adsorption de la lumière monochromatique par un corps absorbant.

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

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{1}{T} = \varepsilon \times l \times C \quad \text{eq. 17}$$

Avec :

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

**A** : absorbance ou densité optique

**C** : concentration massique du composé dosé

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

**ε** : coefficient spécifique d'absorbance

**l** : épaisseur de la cuve.

### III.2.3. Détermination de la courbe d'étalonnage

**Préparation des solutions mères (SM) :** Une solution mère a été préparé en pesant 1g de colorant Jaune Bemacide E.T.L dans une fiole de 1000 ml, et on a complété avec de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge, la concentration correspondante est de 1000 mg/l.

**Préparation des solution filles :** A partir de la solution SM, des étalons avec des concentration allant de 1 à 30 mg/l ont été préparés.

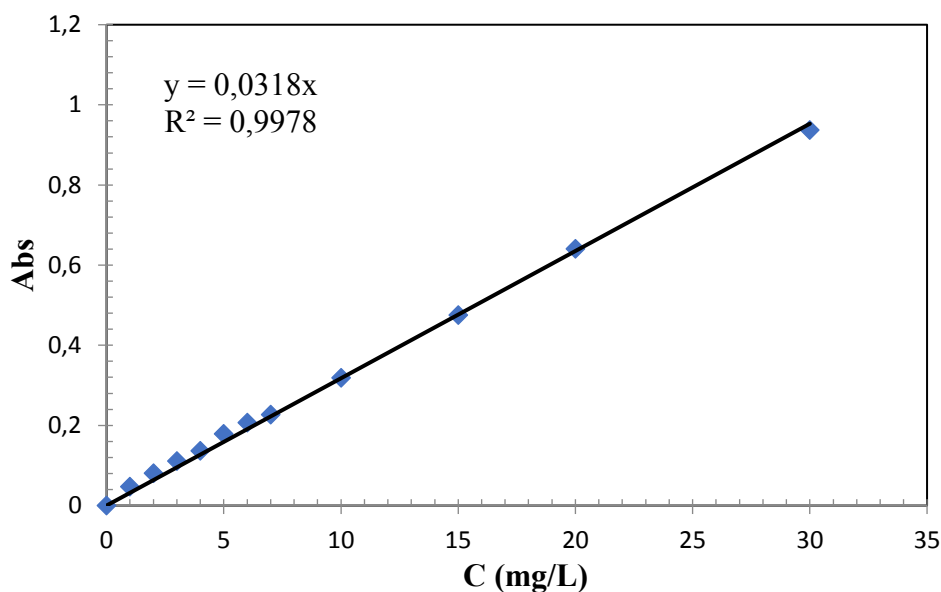
### III.2.4. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Chaque étalon a été analysé dans le domaine du visible par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 393 nm, déterminée par balayage.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.1, et représentés graphiquement sur la figure III.2.

**Tableau III.1:** Etablissement de la courbe d'étalonnage du Jaune Bemacide E.T.L.

C(mg/l)	0	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30
Abs	0	0,047	0,081	0,111	0,137	0,179	0,207	0,227	0,319	0,475	0,641	0,937



**Figure III.2:** Courbe d'étalonnage de Jaune Bemacide E.T.L.

On constate que la courbe est une droite avec un coefficient de régression égale à  $R^2=0.9978$  Représentant un bon ajustement linéaire. L'équation de la droite donnant l'absorbance en fonction de la concentration du jaune bemacide  $Abs = 0.0318 \times C$ . Cette équation est utilisée pour calculer les concentrations inconnues de Jaune Bemacide E.T.L.

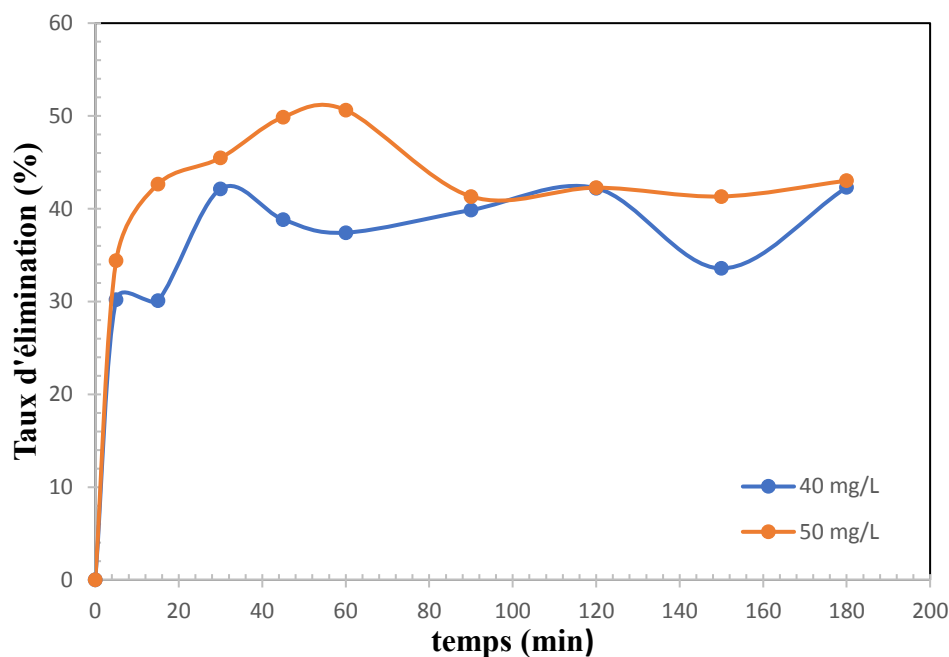
### III.3. Application de l'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L

#### III.3.1. Effet du temps d'équilibre

Afin d'étudier le temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption nous avons préparé des solutions de concentration 40 et 50 mg/L.

Dans une série de béchers, on a introduit successivement 0.1 g de charbon actif et 25 ml de solution de colorant Jaune Bemacide E.T.L. L'ensemble est agité à des temps d'agitation de 5 ; 15 ; 30 ; 45 ; 60 ; 90 ; 120 ; 150 et 180 minutes, puis centrifuger et analyser par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 393 nm.

Les résultats obtenus se représentent graphiquement sur la figure III.3.



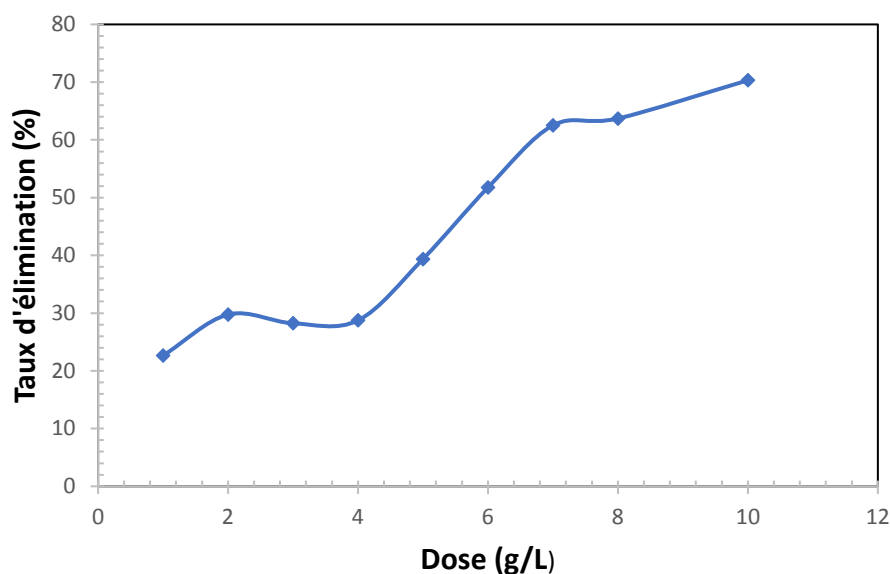
**Figure III.3:** Effet du temps sur l'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L.

On constate d'après figure III.3 que le taux d'élimination d'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L. augmente avec le temps jusqu'à atteindre une valeur constante, le temps nécessaire pour atteindre cet état d'équilibre est égale à 1 heure pour les deux concentrations étudiées.

Toutes les expériences d'adsorption suivantes seront faites avec un temps de contact adsorbant / adsorbant de 1 heure.

### III.3.2 Étude de l'effet de dose

On introduit dans une série de béchers contenant successivement des masses de 0,025 ; 0,05 ; 0,075 ; 0,1 ; 0,125 ; 0,150 ; 0,175 ; 0,2 et 0,25 gramme de notre charbon actif et 25 ml de concentration 50 mg/L de la solution de Jaune Bemacide E.T.L., l'ensemble est agité pendant 1 heure puis centrifuger et analysé. Les résultats de ses mesures sont représentés graphiquement sur la figure III.4.



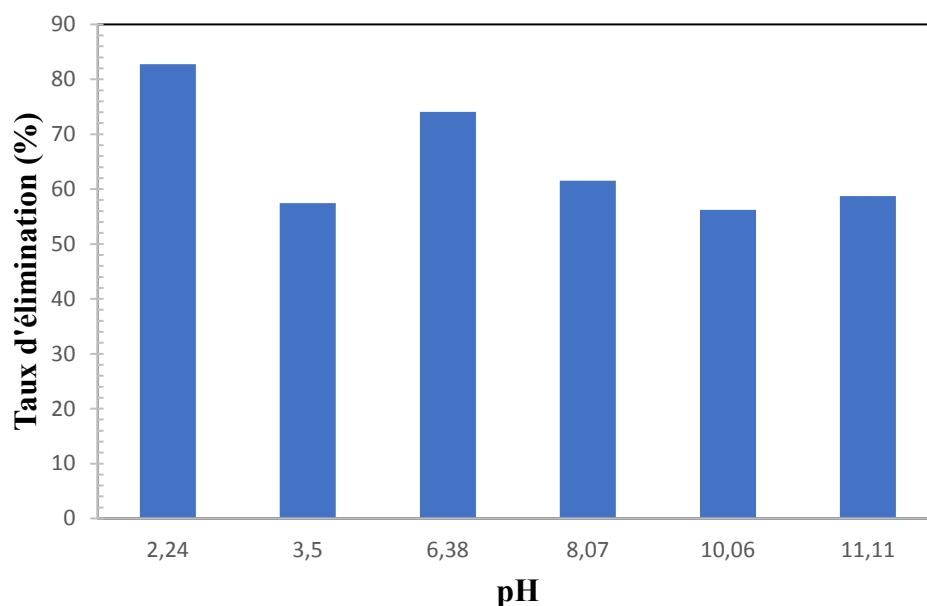
**Figure III.4:** Effet de la dose sur l'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L.

La figure III.4 montre que le pourcentage d'élimination augmente avec l'augmentation de la dose de l'adsorbant jusqu'à atteindre un palier d'équilibre. La dose optimale pour l'adsorption du colorant étudié 7 g/L. par conséquent nous allons prendre cette dose pour toutes les expériences d'adsorption suivante.

### III.3.3. L'effet de pH

Le pH de la solution est un paramètre important qui doit être pris en considération pendant une étude d'adsorption [46,47].

Dans le but d'étudier l'influence du pH de la solution sur la capacité d'adsorption, on a mis en contact, dans une série de béchers, successivement 0,175 g du charbon actif avec 25 mL de la solution de Jaune Bemacide E.T.L de concentration 50 mg/L à différent pH. Le pH de ces solutions varie entre 2 et 12. L'ajustement du pH est fait avec l'acide chlorhydrique pour les pH acides et l'hydroxyde de sodium pour les pH basiques. Le mélange est agité pendant 1 heure, puis filtré et analysé. Les résultats obtenus sont représentés graphiquement dans la figure III.5.



**Figure III.5:** Taux d'élimination en fonction de pH.

D'après la figure III.5, on constate que le meilleur taux d'élimination est obtenu d'une manière générale à pH acide, et que le taux d'élimination atteint son maximum à un pH égal à 2 pour le Jaune Bemacide E.T.L.

### III.3.4. Isotherme d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique représentative de l'équilibre thermodynamique entre adsorbant, adsorbat.

Dans une série de béchers on a introduit successivement 0,175g de charbon actif (sans NaCl) et (avec NaCl de concentration 1M et de masse 1,4615g), avec 25 mL de Jaune Bemacide E.T.L de concentration initiale  $C_0$  allant de 50 à 600 (mg/L) de pH égal à 2, et agité pendant un temps de contact 1 heure pour les deux mélanges, puis centrifuger et analysé.

Les résultats sont représentés graphiquement sur la figure III.6



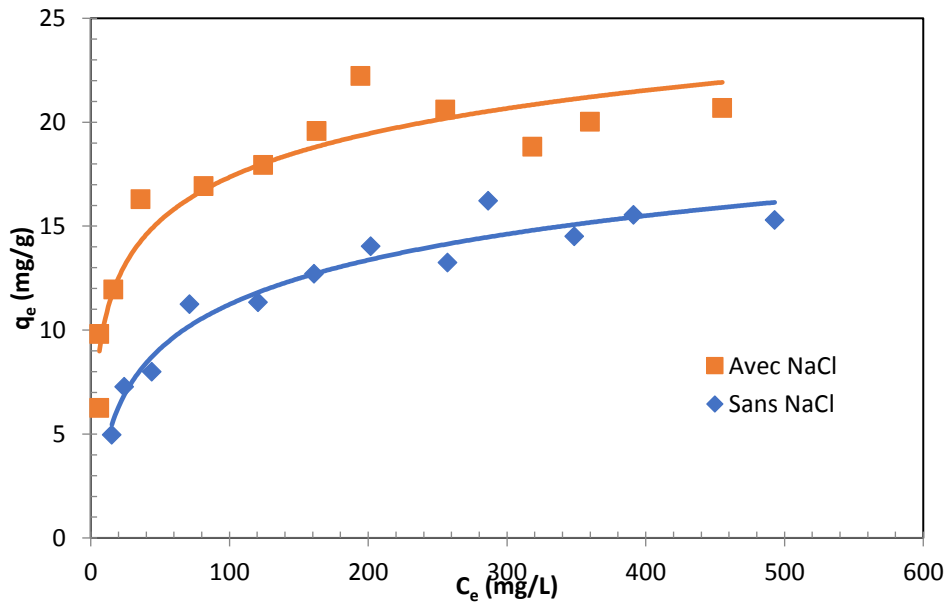


Figure III.6: Isotherme d'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L sur le CA avec et sans NaCl.

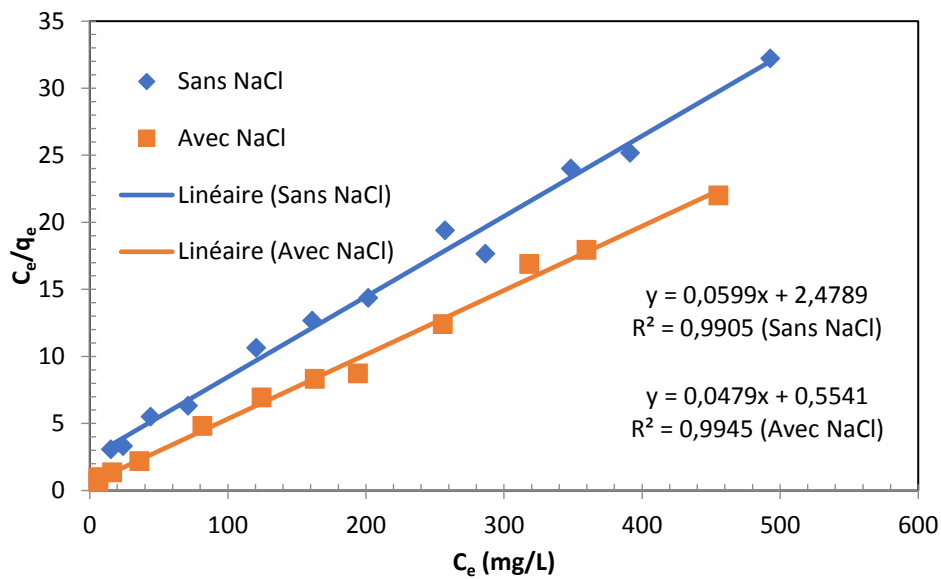


Figure III.7: Représentation linéaire du modèle de Langmuir pour l'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L sur le CA avec et sans NaCl.

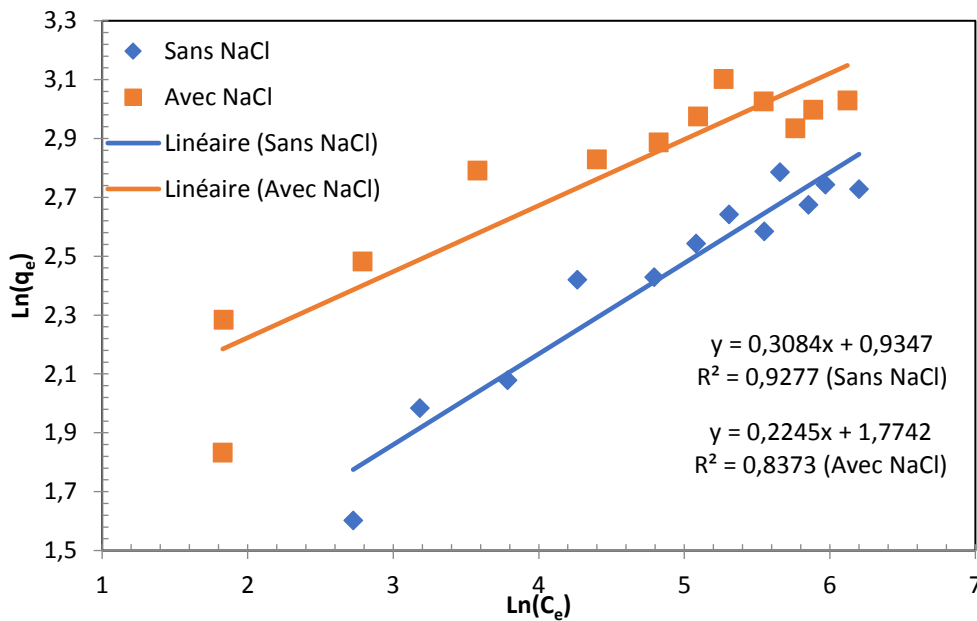


Figure III.8: Représentation linéaire du modèle de Freundlich de l'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L sur le CA avec et sans NaCl.

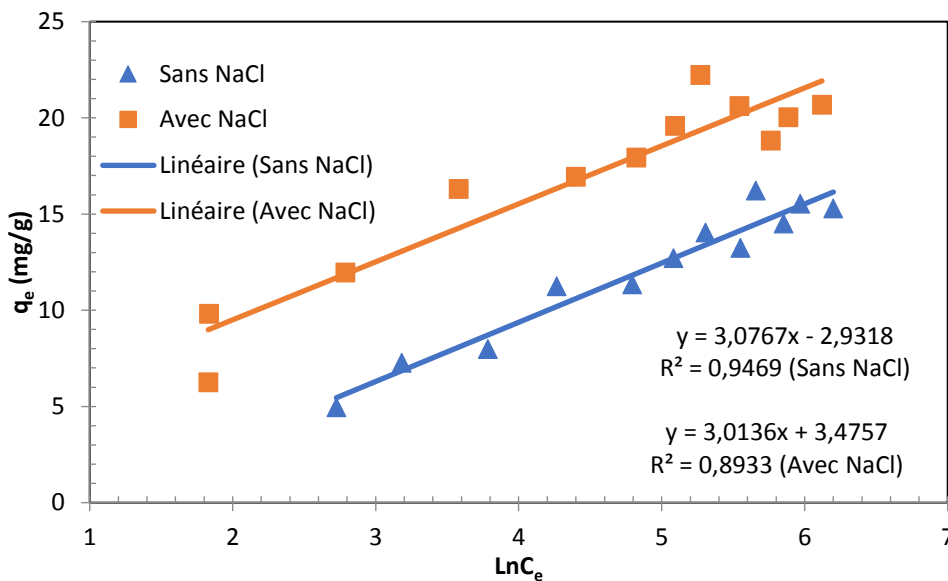


Figure III.9: Représentation linéaire du modèle de Temkin de l'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L sur le CA avec et sans NaCl.

Deux isothermes d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L avec et sans NaCl (Fig. III.6) montre que la quantité de colorant adsorbé augmente avec l'augmentation de la concentration à l'équilibre. Pour les deux courbes, la partie initiale de l'isotherme est presque verticale. Puis il augmente progressivement jusqu'à atteindre un niveau d'équilibre.

### Chapitre III : Étude expérimentale et discussion des résultats

De la figure III.6 précédente, on remarque que l'isotherme est en forme de L (selon la classification de Giles et al.) [20], ce qui indique que l'adsorption se produit sur une surface homogène avec des sites actifs d'énergie équivalente, chacun portant même nombre de molécules sans aucune interaction entre elles.

Les résultats de la modélisation sont regroupés dans le tableau (III.2) et représentés sur les figure (III.7,8 et 9). A partir des résultats obtenus, après la modélisation des isothermes d'adsorption (Langmuir, Freundlich, Temkin), on observe que le coefficient de corrélation de Langmuir en présence NaCl c'est le meilleur (0,9945) pour l'isotherme d'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L. La valeur de la capacité d'adsorption maximale calculée est de 20,880 mg/g est proche de la valeur déterminée expérimentalement  $q_{e,exp}$  (20,687mg/g).

**Tableau III.2:** Constantes Langmuir, Freundlich et Temkin d'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L (avec et sans NaCl).

	Modèle de Langmuir			Modèle de Freundlich			Modèle de Temkin		
	b(mg/g)	$k_L$	$R^2$	$k_F$	1/n	$R^2$	$B_T$	$k_T$	$R^2$
Avec	20,88	0,0864	0,9945	5,8956	0,2245	0,8373	3,0136	3,1688	0,8933
Sans	16,69	0,0242	0,9905	2,5464	0,3084	0,9277	3,0767	0,3856	0,9469

#### III.3.5. Étude cinétique d'adsorption

Afin d'identifier la nature de la cinétique nous avons étudié trois modèles cinétiques : modèle de pseudo premier ordre, modèle de pseudo second ordre et la diffusion intra particulaire.

Pour cela, dans une série de bécher on introduit 0.175 g du charbon actif et avec 25 mL solution de Jaune Bemacide E.T.L de concentration 100 mg/L et 150 mg/L de pH égal à 2

L'ensemble est agité pendant 5 ; 10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 50 ; 60 ; 70 ; 80 et 90 minute puis centrifuger et analyser par spectrophotomètre.

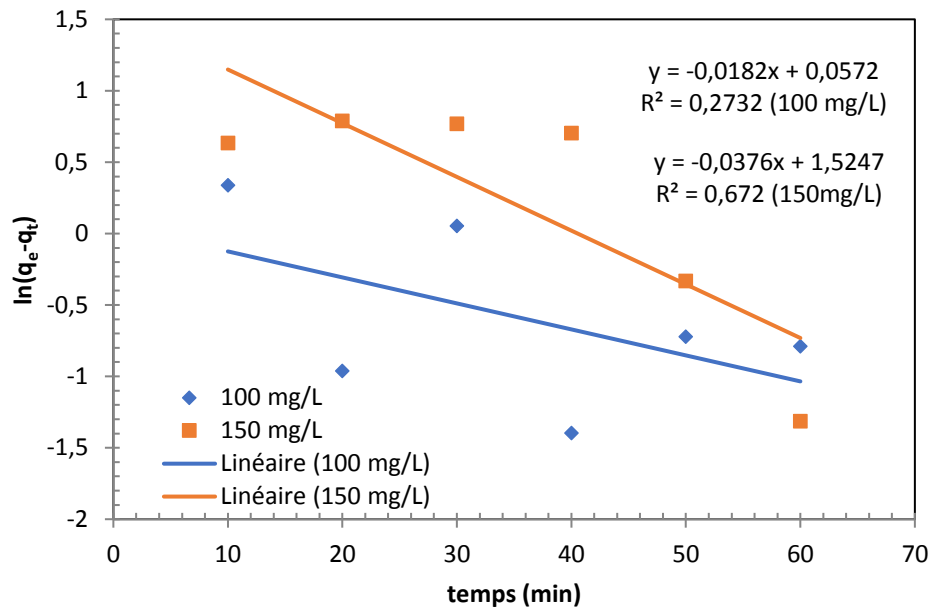


Figure III.10: Modèle cinétique du pseudo premier ordre pour les deux concentration (100 et 150 mg/L).

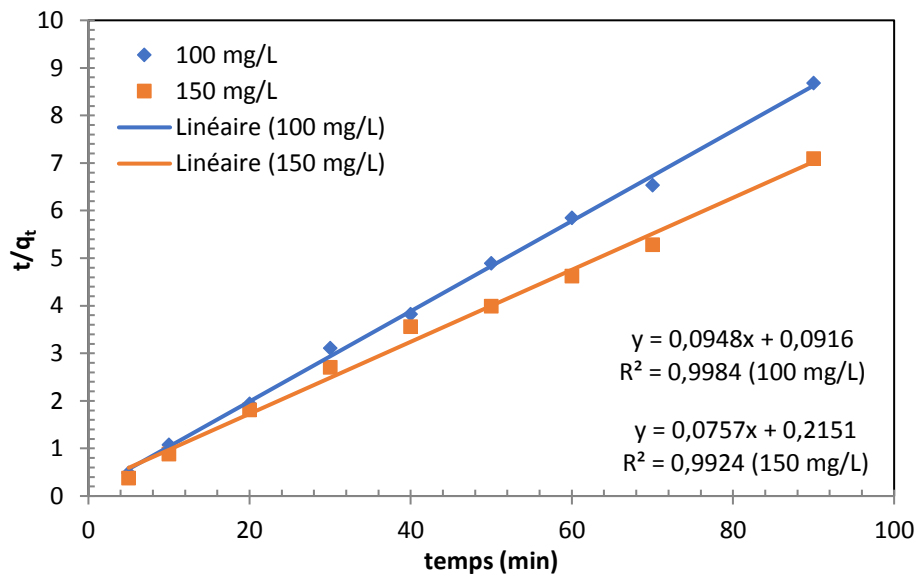


Figure III. 11: Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre pour les deux concentration (100 et 150 mg/L).

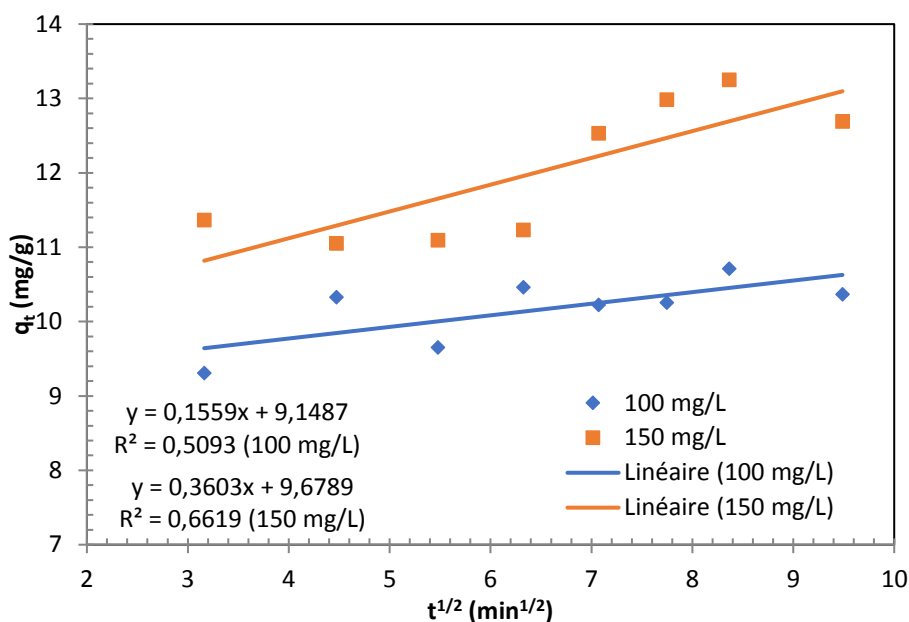


Figure III.12: Modèle de diffusion intra-particule pour les deux concentrations (100 et 150 mg/L).

Tableau III.3: Tableau récapitulatif des constantes des modèles cinétiques.

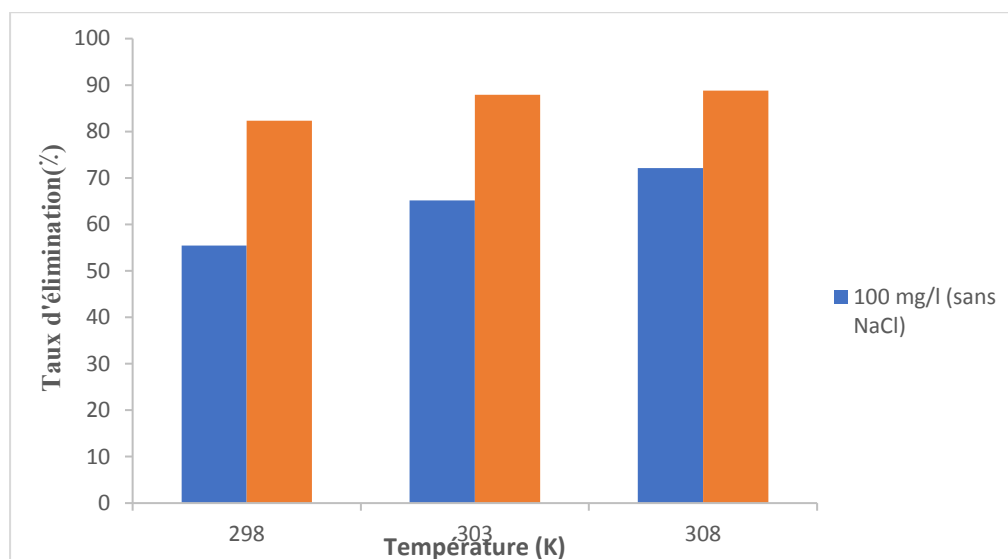
		Pseudo premier ordre			Pseudo deuxième ordre			Diffusion intra-particule		
$C_0$ (mg/L)	$q_{e \text{ exp}}$ (mg/g)	$q_{e \text{ cal}}$ (mg/g)	$k_1$	$R^2$	$q_{e \text{ cal}}$ (mg/g)	$k_2$	$R^2$	$k_{\text{int}}$	C	$R^2$
100	10,710	1,0589	0,0182	0,2732	10,549	0,0981	0,9984	0,1559	9,1487	0,5093
150	13,252	4,5938	0,0376	0,672	13,210	0,0266	0,9924	0,3603	9,6789	0,6619

D'après les résultats regroupés dans le tableau III.3 et d'après la représentation graphique de chaque cinétique, on remarque que la cinétique d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L ne convient pas au pseudo-premier ordre. Le modèle cinétique pseudo-deuxième ordre donne une meilleure description du processus de la réaction du Jaune Bemacide E.T.L avec coefficient de corrélation ( $R^2$ ) supérieur à 0.99 pour les deux concentrations initiales. Les quantités adsorbées calculées à partir du modèle cinétique sont presque égales à celles trouvées expérimentalement. Donc d'après les résultats on peut conclure que la cinétique d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L par charbon actif suit bien le modèle du pseudo-second-ordre.

### III.3.6. Étude de l'influence de la température sur processus d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L

Afin d'étudier l'influence de la température sur l'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L par charbon actif, Ces études ont montré que la relation entre la température et l'adsorption dépende essentiellement du couple adsorbant/adsorbat.

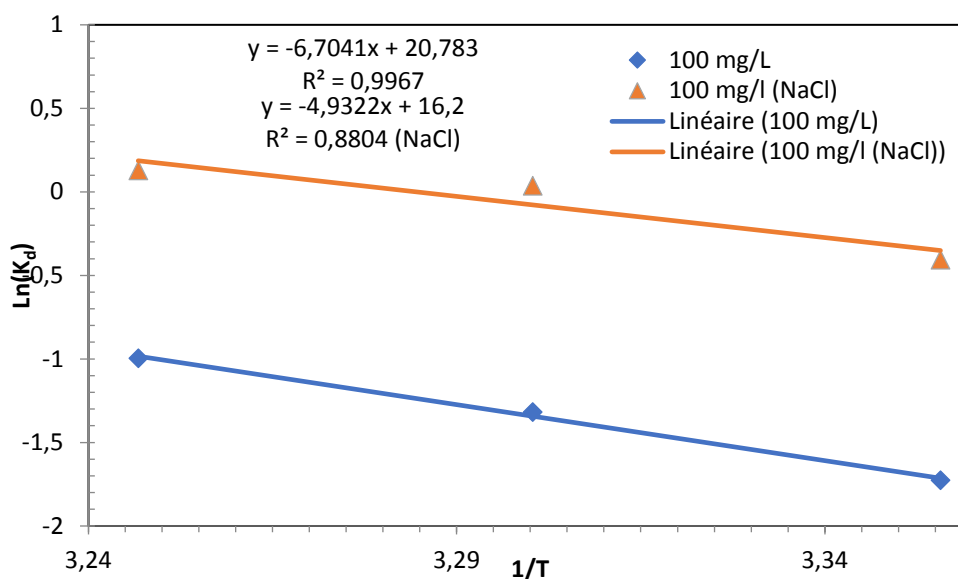
Dans des flacons contenant 25 mL de solution de Jaune Bemacide E.T.L de concentration 100 mg/L régler le pH égale à 2, puis 0.175g de l'adsorbant (sans et avec NaCl de 0.14615g), Le flacon de la concentration de 100mg/L placés à des températures 25 ; 30 ; 35 °C dans un bain marie muni d'un thermostat permettant de contrôler la température, chaque flacon est agité pendant 1 heure puis centrifuger et analyser par spectrophotométrie. Les résultats et représenté sur les figure III.13 et 14.



**Figure III.13:** Effet de température sur le taux d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L (100 mg/L sans et avec NaCl).

**Tableau III.4:** Paramètre thermodynamique d'adsorption du Jaune Bemacide E.T.L (100 mg/L avec est sans NaCl).

	$\Delta G$ (kJ/mol)			$\Delta H$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (kJ/mol.K)	$R^2$
	298 K	303 K	308 K			
Sans	-51,44	-52,3	-53,16	0,0557	0,1728	0,9967
Avec	-40,1	-40,77	-41,44	0,041	0,1347	0,8804



**Figure III.14:** Evolution de  $\ln(k_d)$  en fonction de  $(1/T)$  pour l'adsorption de (100 mg/L sans et avec NaCl).

D'après les résultats du colorant jaune Bemacide E.T.L sur charbon actif de la figure III.13 et du tableau III.4, dans les deux cas (avec ou sans NaCl), il a été montré qu'une augmentation de la température entraînait une augmentation du pourcentage d'élimination de Jaune bemacide E.T.L.

L'examen de ces paramètres thermodynamiques dans les deux cas a révélé que le processus d'adsorption sur les espèces étudiées s'est effectué par une réaction favorable spontanée.

Les valeurs de  $\Delta H$ , montrent que les réactions sont endothermiques ( $\Delta H > 0$ ) et les valeurs négatives  $\Delta G$  montrent que la réaction entre l'adsorbant et adsorbé est spontanée.

## **Conclusion générale**



### Conclusion générale

Grâce aux recherches que nous avons menées dans notre laboratoire, nous avons constaté que le charbon actif est efficace et considéré comme l'un des meilleurs adsorbants dans le domaine de la dépollution de l'eau.

L'étude comprenait plusieurs effets variables sur le charbon actif et la substance adsorbée qui est le Jaune Bemacide E.T.L, afin de déterminer les résultats les meilleurs et les plus idéaux pour une adsorption et une purification complète de l'eau contaminée par un colorants.

Les résultats de ces effets sont :

- Le temps de contact pour une adsorption le plus complet est de 60 minutes
- La masse idéale du charbon actif pour une meilleure adsorption est 0.175 g
- L'influence du pH, les résultats étaient meilleurs pour un pH = 2
- Le taux d'élimination augmente avec l'augmentation de la température.

Les résultats obtenus sont soumis à la modélisation cinétique et celle de l'isotherme, pour connaître les meilleurs modèles qui étaient :

- Pour le modèle pseudo-second ordre a été le meilleur pour la modélisation cinétique ;
- Pour l'isotherme c'était le modèle de Langmuir dans cas en présence NaCl et la capacité d'adsorption maximale est de 20.880 mg/g et coefficient de détermination  $R^2=0,9945$  ;
- Les valeurs des paramètres thermodynamiques ( $\Delta G$ ,  $\Delta H$  et  $\Delta S$ ) ont montré que l'adsorption de Jaune Bemacide E.T.L sur le charbon actif est spontanée et endothermique.

## **Références bibliographiques**

## Référence bibliographique

- [1] Boulkrah H. (2008). Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants Mémoire de Magister Faculté des sciences et sciences de l'ingénierat Pollution chimique et environnement.
- [2] Khelifi O. (2018). Etude de l'adsorption du nickel et du cuivre sur un charbon actif préparé à partir des boues de station d'épuration. Thèse de Doctorat en Génie des Procédés. Université 8 mai 1945 – Guelma.
- [3] Brouk.A. (2021). Etude de l'adsorption du cuivre et cadmium sur une algue marine et sur le charbon actif. Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 – Guelma.
- [4] Belaid A. Préparation et caractérisation d'argile modifiée -Application à l'adsorption de colorants, mémoire de master, Abou Bekr Belkaid- Tlemcen, 25 juin 2018.
- [5] Hamouche A. Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels ; thèse de Doctorat. Boumerdes, 2013.
- [6] Ainane T. Valorisation de la biomasse algale du Maroc : Potentialité pharmacologique et application environnementales. Thèse de Doctorat. Hassan II Casablanca, 2011.
- [7] Guesmia S. l'adsorption des colorants (bleu de méthylène et chrome III), mémoire de master, Université Mohamed Khider – Biskra, Juin 2015.
- [8] Chouchane T. synthèse, caractérisation et application de matériaux catalytiques Thèse de Doctorat, université badji Mokhtar-Annaba, 2009.
- [9] Meroufel B. Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes, thèse de Doctorat, Université de Lorraine, 2015.
- [10] Bougdah rN. Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite, Mémoire de Magister, Université 20 Août 55, Skikda, 2007.
- [11] J. P Laffranque, N. Pollet, B. Garforth, Phytoma, 449, 49-51, 1993.
- [12] ZAHAF F. Etude Structurale des argiles modifiées Appliquées à l'adsorption des polluants, thèse de Doctorat en sciences, université Mustapha stambouli-Mascara, 2016.
- [13] Abssi A. Optimisation d'adsorption du Zn (II) sur la bentonite de Maghnia, Diplôme de Master, Université Mohamed Khider- Biskra-Algérie, 2015.
- [14] Mehdi F. Modification de la bentonite par un sel de diphosphonim – Applications à l'adsorption des colorants textiles (rouge, bleu et jaune Bemacide), mémoire de master en Chimie, université Abou bekr belkaid-Tlemcen, 2014.

- [15] Weber J. Jr. Adsorption in physicochemical process for water quality control, Ed. By Metcalf R L. et Pitts J N, Wiley interscience, N Y, Chap. 5, 199-259, 197
- [16] Hamouche A. Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels ; thèse de Doctorat. Boumerdes, 2013.
- [17] Mahammed F. adsorption des polys organique en solution aqueuse par des argiles naturelles de la région de Tlemcen, thèse de Doctorat, université Abou bekr belkaid-Tlemcen, 2017.
- [18] Bentahar Y. Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse thèse de doctorat en Sciences, université de Nice-Sophia Antipolis, 2016.
- [19]. N. Naib. Etude de la propriété d'adsorption du phénol sur du charbon actif à base de grignon d'olive, modélisation par les plans d'expérience. Mémoire de Magister. Boumerdes ,2006.
- [20] C.H. Giles, D. Smith, J. Colloid Interf. Sci. 47 (1974) 755-765.
- [21] Zen S. Etude des propriétés physico-chimiques des argiles de l'Est Algérien. Application à l'adsorption des colorants de tannerie, thèse de Doctorat, Université 8 mai 1945 de Guelma, 2016.
- [22] Mehdi F. Modification de la bentonite par un sel de diphosphonim – Applications à l'adsorption des colorants textiles (rouge, bleu et jaune Bemacide), mémoire de master en Chimie, université Abou bekr belkaid-Tlemcen, 2014.
- [23] Azzouz A. « Etude comparative de la capacité d'adsorption des matériaux naturel vis-à-vis de certains polluants », Mémoire de magister. Université De Med- Boudiaf d'Oran, Algérie.2011.
- [24] Benamraoui F. « Elimination des colorants cationiques par des charbon actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture », Mémoire de magister en génie chimique, 2014.
- [25] Abouzaid A, « Etude de différents traitements des effluents de l'industrie textile », Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali, Maroc, 2001.
- [26] M. Clause, « Etude d'un procédé d'adsorption TSA (température swing adsorption) à chauffage et refroidissement indirects », Mémoire de doctorat, 2008.
- [27] S. Bashkova, F.S. Baker, X. Wu, T. R. Armstrong, and V. Schwartz, « Activated carbon catalyst for selective oxidation of hydrogen sulphide : of the influence of pore structure, surface characteristics, and catalytically-active nitrogen , » carbon, vol. 45, no.6, pp. 1354-1363,2007.
- [28] L. Robert, « Généralités sur l'adsorption, » p. J2780-2040,1997.

- [29] Etudiants : Juliene Omlin, Lydie Chesaux, « Evaluation de charbon actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines ».
- [30] D. Tadjia, « Etude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels », Mémoire de magister, 2011.
- [31] C. Marjorie, « Chimie organique moderne », Editions Inter, Paris, 1977.
- [32] J. MAJAULT, « Textiles chimiques, fibres modernes ». Editions Eyrolles, 161.
- [33] M. Flandrin-Bletty, « Technologie et chimie des textiles ». 2ème Editions CEPADUES, Toulouse, 1991, 185.
- [34] A.D. Laurent, V. Whathelet, M. Bouhy, D. Jacquemin, E. Perpète, « Simulation de la Perception des couleurs de colorants organiques ». Techniques de l'Ingénieur, AF 6810, 2010, 3-4.
- [35] « Les hommes et les colorants », site internet.
- [36] A. Benaissa, Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle, Tlemcen, Mémoire de fin d'étude, Université AbouBakr Belkaid, 2012.
- [37] W. Lemikchi, Elimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de Co précipitation, Tizi Ouzou, TH+èse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [38] E. Errais, Réactivité des surfaces d'argiles naturelles - étude de l'adsorption des colorants, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 2011.
- [39] Survey of azo-colorants in Denmark - toxicity and fate of azo dyes, Danish Environmental Agency, 2000.
- [40] A. Colin, Chimie organique, Ed. Paris, Tome 2, 1970.
- [41] F. Vandeseer, Anaerobic azo dye reduction, Pays-bas, Thèse de Doctorat, Wageningen University, 2002.
- [42] Chimie industrielle, 2ème édition ed., Dunod, 1999.
- [43] S. R. Shirsath, A. P. Patil, R. Patil, J. B. Naik, P. R. Gogate, and S. H. Sonawane, « Removal of Brilliant Green from wastewater using conventional and ultrasonically prepared poly (acrylic acid) hydrogel loaded with kaolin clay, a comparative study, » ultrasonics Sonochemistry, vol.20, no. 3, pp. 914-923, 2013.
- [44] F.Z.Zitouni et Z.Benchaa, « Étude de fixation de colorants de l'industrie textile par un charbon actif préparé, » Mémoire de Master Environnement, Université des Sciences et Technologies de Mostaganem, 2019. [45] D. Tadjia, « Étude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels, » Université Mohamed Bou-diaf des Sciences et de la Technologie, 2011.

[45] D. Tadjia, « Étude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels, » Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie, 2011.

[46] N.Fayoud, S. A. Younssi, S. Tahiri, et A. Albizane, « Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur les cendres de bois (Kinitic and thermodynamic study of the adsorption of methylene blue on wood ashes), » J. Mater. Env. Sci, vol. 6, no. 11, pp. 3295-3306, 2015.

[47] W. Zhang et al., « Removal of dyes from aqueous solutions by straw based adsorbents : Batch and column studies, » Chem. Eng. J., vol. 168, no. 3, pp.1120-1127,2011.