

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Saad DAHLAB - BLIDA 1  
Faculté de Technologie  
Département des Sciences de l'Eau et Environnement

## MEMOIRE DE MASTER

Filière : Hydraulique  
Spécialité : Sciences de l'Eau

**Thème:**

# Elimination du bleu de cibacète en solution synthétique par adsorption sur le charbon actif

Présenté par :  
DIALLO Assa

Devant le jury composé de :

Mr. BESSENASSE M.	Professeur	U. BLIDA 1	Président
Mr. MESSAOUD N.	M.C.A.	U. BLIDA 1	Examineur
Mr. BENSAFIA D.	M.C.B.	U. BLIDA 1	Examineur
Mr. BOUDJADJA A.	Professeur	U. BLIDA 1	Invité
Mme ANSER M.	M.C.A.	U. BLIDA 1	Promotrice

**Promotion 2016 - 2017**

# Dédicaces

**A la mémoire de celui que j'ai aimé, que j'aime, que j'aimerai  
toujours et qui me manquera tout au long de ma vie,  
mon "unique", papa chéri.**

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le  
dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

**A ma mère que j'aime infiniment,**

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon  
éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices  
que tu as consenti pour mon éducation et ma formation.



# Remerciements

## "Alhamdoulilah"

Grâce au Très Haut, j'ai pu acquérir l'expérience nécessaire pour l'élaboration de ce travail, en étant en bonne santé et courageuse.

J'adresse mes sincères remerciements à ma promotrice Mme ANSER Malika, je tiens également à lui témoigner ma gratitude pour sa patience et son soutien qui m'ont été précieux afin de mener mon travail à bon port. Qu'elle trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

J'exprime ma reconnaissance à Mr BENSAFIA D., chef de département des Sciences de l'Eau et Environnement, un enseignant et un conseiller précieux qui a été disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je suis particulièrement redevable à Mr TAIBI ainsi qu'à tous les autres enseignants de m'avoir assisté.

Je remercie vivement mes deux parents, mes oncles, mes tantes, mes frères et sœurs ainsi que mon très cher époux SIDIBE Toumani Baba pour leur soutien moral, leur bénédiction et leur amour.

Je remercie tous mes frères et sœurs de cœur Rokiatou, Djeneba, Selou, China, les étudiants étrangers, mes camarades de classes ainsi que tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de cet projet.

## **Résumé**

Ce présent travail a porté sur l'adsorption d'un colorant (le Bleu de Cibacète) sur le charbon actif en poudre. Les expériences ont été faites en système Batch. L'optimisation des paramètres influençant l'adsorption a été examinée, à savoir, la masse de charbon actif, le temps de contact, la vitesse d'agitation, le pH et la concentration initiale du colorant.

Les résultats expérimentaux ont permis de montrer qu'un rendement de 91,32 % a été obtenu avec une masse de charbon actif de 1 g, une concentration en colorant de 50 mg/l et une vitesse d'agitation de 50 tours/min. De même, une variation de pH a permis de montrer qu'à un pH 2, le rendement d'élimination du bleu de cibacète était de 92,31%, les 30 premières minutes. L'étude cinétique a montré que le temps de contact de 120 minutes était suffisant pour atteindre l'équilibre. Les différents résultats obtenus ont été modélisés en utilisant les modèles d'isothermes de Langmuir et de Freundlich, ce qui nous a montré que le modèle de Freundlich était le plus représentatif.

**Mots clés:** Adsorption, méthode Batch, charbon actif, bleu de cibacète, cinétique, Freundlich, Langmuir.

### **ملخص:**

ان هذا العمل قد ركز على امتصاص صبغة (bleu de cibacète) على مسحوق الكربون المنشط وقد أجريت التجارب في النظام دفعة واحدة. حيث تم فحص الأمثل، وهي كتلة من الكربون المنشط وقت الاتصال، سرعة التحريك، درجة الحموضة وتركيز الأولي للصبغة.

وقد أظهرت النتائج التجريبية أن نسبة 91.32% تم الحصول عليها في كتلة الكربون المنشط من 1 غرام وتركيز الصبغة من 50 ملغم / لتر ومعدل اثاره من 50 دورة / دقيقة.

وكذلك فقد أظهرت تباين درجة الحموضة التي في PH2، نسبة تنحية (bleu de cibacète) ب 92.31 % في أول 30 دقيقة.

وأظهرت الدراسة الحركية أن وقت الاتصال (temps de contact) 120 دقيقة كانت كافية للوصول إلى التوازن.

وعلى غرار نتائج مختلفة باستخدام نماذج الأيسوثرم لكل من انجميور و فروندليتش (langmuir de freundlich)، والتي أظهرت لنا أن النموذج فروندليتش (freundlich) كان الأكثر تمثيلاً.

**الكلمات المفتاحية:** الامتزاز، طريقة دفعة، الكربون المنشط، (bleu de cibacète)، فروندليتش (freundlich)، انجميور (langmuir).

## **Abstract:**

This present work focused on the adsorption of a dye (the blue of cibacete one) on powdered activated charcoal. The experiments were conducted under the batch system. Optimization of the parameters influencing the adsorption was closely examined, namely the active carbon mass, the contact time, the stirring speed, the PH and the initial concentration of the dye.

Experimental results made it possible to show that a yield of 91.32 % was found with an active carbon mass of 1 g, a concentration in dye of 50 mg/l and a stirring speed of 50 t/min. Similarly, a change in PH allowed to show that at a PH = 2, the elimination efficiency of the blue of cibacete was 92.31%, the first 30 minutes. The kinetic study showed that the contact time of 120 minutes was sufficient to achieve equilibrium. The different results obtained were modeled using the Langmuir and Freundlich isotherm model, which proved us that Freundlich model is the most representative model.

**Key Words:** Adsorption, Batch Method, Active Carbon, Blue of Cibacete, Kinetic, Freundlich, Langmuir.

## **SOMMAIRE:**

**Dédicace**

**Remerciements**

**Résumé**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des Abréviations**

**Introduction:.....1**

### **Chapitre I : Généralités sur les colorants industriels.**

**Introduction.....2**

I.1. Définition des colorants :.....2

I.2. Classification des colorants :.....3

I.2.1. Classification chimique :.....3

I.2.1.1. Les colorants azoïques :.....3

I.2.1.2. Les colorants anthraquinoniques :.....4

I.2.1.3. Les phtalocyanines :.....4

I.2.2. Classification tinctoriale :.....5

I.2.2.1. Les colorants acides ou anioniques :.....5

I.2.2.2. Les colorants basiques ou cationiques :.....5

I.2.2.3. Les colorants de cuve :.....6

I.2.2.4. Les colorants directs : .....6

I.3. Domaines d'application des colorants :.....	6
I.4. Effets néfastes des colorants sur l'environnement et le milieu aquatique :.....	7
I.5. Toxicité des colorants sur la santé humaine :.....	9
<b>Conclusion.....</b>	<b>10</b>

## **Chapitre II: Procédés d'élimination des colorants.**

<b>Introduction:.....</b>	<b>11</b>
II.1. Procédés chimiques :.....	11
II.1.1. Les procédés d'oxydation classique :.....	11
II.1.2. Les procédés d'oxydation avancée :.....	12
II.2. Procédés physicochimiques :.....	13
II.2.1. La coagulation-précipitation :.....	13
II.2.2. Les techniques membranaires :.....	14
II.2.3. L'échange d'ions :.....	14
II.2.4. L'adsorption :.....	14
II.3. Procédés biologiques :.....	15
<b>Conclusion:.....</b>	<b>16</b>

## **Chapitre III: Adsorption sur charbon actif.**

III.1. Définition de l'adsorption :.....	17
III.2. Les types d'adsorption :.....	17

III.3. Description du mécanisme d'adsorption :.....	18
III.4. Facteurs influençant l'adsorption : .....	18
III.5. Isothermes d'adsorption : .....	19
III.5.1. Classification des isothermes d'adsorption :.....	20
III.5.2. Modèles d'isothermes :.....	20
III.6. Les principaux adsorbants : .....	22
III.7. Le Charbon actif :.....	23
III.8. Charbon actif et adsorption:.....	25

### **Chapitre IV: Matériels et Méthodes.**

Introduction :.....	27
IV.1. Matériels :.....	27
IV.1.1. Appareillage :.....	27
IV.1.2. Verrerie :.....	27
IV.1.3. Produits utilisés:.....	27
IV.1.4. L'adsorbat (Colorant utilisé) : .....	28
IV.1.5. L'adsorbant (charbon actif) :.....	28
IV.2. Méthodologie : .....	29
IV.2.1. Protocole expérimental d'adsorption:.....	29
IV.2.2. Optimisation des paramètres influençant l'adsorption:.....	32



IV.2.2.1. Optimisation de la masse :	32
IV.2.2.2. Optimisation de la vitesse d'agitation:	32
IV.2.2.3. Optimisation du temps d'agitation (temps de contact):	32
IV.2.3. Influence du pH:	32
IV.2.4. Influence de la concentration initiale du colorant:	32
IV.2.5. Expression des résultats :	33
V.2.5.1. Capacité d'adsorption( $Q_e$ ):	33
V.2.5.2. Rendement de l'absorbance du procédé (R):	33
V.2.5.3. La courbe d'étalonnage du BC:	34
IV.3. Isotherme d'adsorption:	35

## **Chapitre V: Résultats et Discussion.**

Introduction :	36
V.1. Optimisation des paramètres influençant l'adsorption:	36
V.1.1. Optimisation de la masse :	36
V.1.2. Optimisation de la vitesse d'agitation:	37
V.1.3. Optimisation du temps d'agitation (temps de contact):	38
V.2. Influence du pH:	39
V.3. Influence de la concentration initiale du colorant:	40
V.4. Etude de l'isotherme d'adsorption:	40

V.4.1. Modélisation de l'isotherme d'adsorption:.....	41
Conclusion :.....	44
<b>Conclusion générale :.....</b>	<b>45</b>
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexe</b>	

## **Liste des figures**

### **Chapitre I : Généralités sur les colorants industriels.**

<b>Figure I.1:</b> Structure d'un colorant azoïque :.....	4
<b>Figure I.2:</b> Structure d'un colorant anthraquinonique :.....	4
<b>Figure I.3:</b> Structure d'un colorant phtalocyanine :.....	5

### **Chapitre III: Adsorption sur charbon actif.**

<b>Figure III.1:</b> La classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al :.....	20
<b>Figure III.2:</b> Charbon actif en poudre :.....	23

### **Chapitre IV: Matériels et Méthodes.**

<b>Figure IV.1:</b> la solution synthétique du bleu de cibacète (BC) :.....	29
<b>Figure IV.2:</b> La courbe d'absorbance du bleu de cibacète (BC) :.....	30
<b>Figure IV.3:</b> Protocole expérimental d'adsorption :.....	31
<b>Figure IV.4:</b> La courbe d'étalonnage du bleu de cibacète (BC):.....	34

### **Chapitre V: Résultats et Discussion.**

<b>Figure V.1:</b> La variation du rendement d'élimination du BC en fonction du temps et de la variation de la masse :.....	36
<b>Figure V.2:</b> La variation du rendement d'élimination du BC en fonction du temps et de la variation de la vitesse d'agitation :.....	37
<b>Figure V.3:</b> L'efficacité de l'adsorption en fonction du temps de contact :.....	38
<b>Figure V.4:</b> Influence du pH sur l'adsorption :.....	39

<b>Figure V.5:</b> Influence de la concentration initiale du bleu de cibacète (BC):.....	40
<b>Figure V.6:</b> L'isotherme d'adsorption du bleu de cibacète (BC):.....	41
<b>Figure V.7:</b> Linéarisation du modèle de Langmuir : .....	41
<b>Figure V.8:</b> Linéarisation du modèle de Freundlich : .....	42

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau III.1:</b> Les caractéristiques des principaux adsorbants industriels :.....	22
<b>Tableau IV.1:</b> Le tableau des produits utilisés :.....	27
<b>Tableau V.1:</b> Les valeurs des constantes du modèle de l'isotherme d'adsorption de Langmuir :.....	42
<b>Tableau V.2:</b> Les valeurs des constantes du modèle de l'isotherme d'adsorption de Freundlich :.....	43

## **Liste des abréviations:**

**CAP** : Charbon actif en poudre.

**CAG** : Charbon actif en grain.

**BC** : Bleu de Cibacète.

**pH** : Potentiel hydrogène.

**R** : Rendement d'élimination du BC (%).

**%** : Pourcentage.

**T** : Temps (min).

**T<sub>c</sub>** : Temps de contact.

**min** : Minute.

**Abs<sub>0</sub>** : absorbance initiale (à t=0) (DO).

**Abs<sub>f</sub>** : absorbance à l'instant t.

**DO** : Densité optique.

**Q<sub>e</sub>** : Quantité de polluant adsorbée à l'équilibre (mg/g).

**Q<sub>m</sub>** : Capacité maximale d'adsorption.

**C<sub>0</sub>** : Concentration initiale du BC (mg/l).

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

**λ<sub>max</sub>** : Longueur d'onde maximale du colorant.

**m** : Masse du charbon actif en poudre.



**Introduction générale**

## INTRODUCTION:

L'utilisation intensive des colorants dans la vie courante a engendré des problèmes aussi bien dans l'environnement que dans l'alimentation. Il est important de mentionner qu'en environnement, la pollution est due aux rejets d'effluents des industries textiles, et qu'en alimentation, la toxicité est due à l'incorporation de plusieurs colorants synthétiques [1]. Ces rejets présentent un véritable danger pour l'homme et son environnement en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité [2].

Suite à cette grande menace sur l'environnement, de nombreux travaux ont été réalisés sur la dépollution de l'eau au cours de ces dernières années. Plusieurs techniques de dépollution sont développées: l'adsorption, l'échange d'ions, coagulation-floculation [1]...etc., dont l'adsorption est la plus employée. 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 [2]. Elle reste parmi les techniques les plus utilisées et facile à mettre en œuvre. Des chercheurs ont ainsi montré qu'une grande variété de matériaux d'origine naturelle ou biologique avait l'aptitude de fixer des quantités importantes en polluants organiques présents dans l'eau [1]. A l'heure actuelle, le charbon actif est considéré comme l'un des adsorbants les plus polyvalents et de nombreux travaux font ressortir son efficacité, mais son utilisation reste limitée à cause des difficultés de sa régénération et de son coût élevé. En effet, la saturation et la régénération du charbon, son adsorption sélective pose problème aux industriels qui sont en recherche permanente d'adsorbants bon marché [3].

Dans ce présent travail, nous nous sommes intéressées à l'élimination du bleu de Cibacète : un colorant textile par le charbon actif en poudre en utilisant le procédé d'adsorption. Il est constitué de cinq chapitres finalisé par une conclusion générale :

- ✓ Chapitre I: Généralités sur les colorants industriels.
- ✓ Chapitre II: Procédés d'élimination des colorants.
- ✓ Chapitre III: Adsorption sur charbon actif.
- ✓ Chapitre IV: Matériels et Méthodes.
- ✓ Chapitre V: Résultats et Discussion.





**Chapitre I :**

Généralités sur les colorants  
industriels

## Introduction:

Le monde industriel utilise les colorants dans pratiquement tous les domaines que cela soit en textile et tannerie pour colorer tissus et cuirs, ou bien en agroalimentaire pour colorer gâteaux, bonbons, ou encore en papeteries, traitement de surface, fabrication d'encre et de peintures... la particularité de ces polluants est que leur rôle de colorant industriel les contraint à ne pas pouvoir facilement perdre leur couleur par dénaturation de leur structure.

Les industries textiles, et plus particulièrement les phases de teinture et d'ennoblissement, utilisent principalement des produits chimiques, nuisibles pour la santé, comme certains colorants azoïques cancérigènes, et engendrent une pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques [4].

Dans cette partie nous allons définir les colorants en premier lieu, établir la classification des colorants, citer leurs domaines d'application enfin signaler leurs effets néfastes sur l'environnement et leur toxicité sur la santé.

### I.1. Définition des colorants:

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur: appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation auxochromes [5].

Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. Cette propriété résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors des traitements [4].

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. La molécule qui les contient devient chromogène [6]. La molécule chromogène n'a des possibilités tinctoriales que par l'adjonction d'autres groupements d'atomes appelés

«auxochrome». Ces groupes auxochrome permettent la fixation des colorants et peuvent modifier la couleur du colorant. Ils peuvent être acides (COOH, SO<sub>3</sub>, OH) ou basiques (NH<sub>2</sub>, NHR, NR<sub>2</sub>). Le reste des atomes de la molécule correspond à la matrice, la troisième partie du colorant [6].

## I.2. Classification des colorants:

Contrairement à l'usage établi en chimie organique, la terminologie employée dans le domaine des colorants n'obéit à aucune règle absolue. Une classification rationnelle des matières colorantes organiques présente de grandes difficultés. Certains auteurs regroupent ces colorants d'après leur constitution chimique, en tenant compte de la nature des chromophores qui les composent : groupement azoïque, anthraquinone, triarylméthane et phtalocyanine [7]; d'autres les regroupent d'après les diversités des technologies d'application : colorants anioniques (acides, à mordant-acide, directs, réactifs, de cuve, colorants au soufre) ou cationiques (basiques) [8].

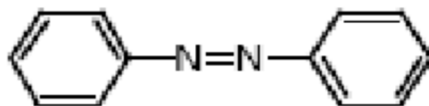
### I.2.1. Classification chimique:

La classification des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupe chromophore.

#### I.2.1.1. Les colorants azoïques:

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques.

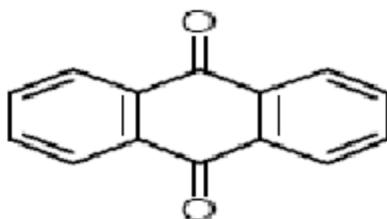
Les colorants azoïques constituent la famille la plus importante tant sur le plan des applications qui représentent plus de 50 % de la production mondiale de matières colorantes, soit 800 000 tonnes [9], que sur celui de la multiplicité des structures étudiées, soit 60 à 70 % des colorants synthétiques [10].



**Figure I.1:** Structure d'un colorant azoïque.

#### I.2.1.2. Les Colorants anthraquinoniques:

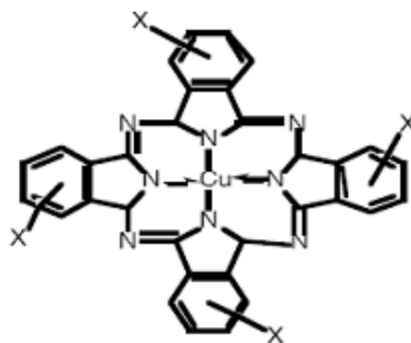
Ils représentent, après les colorants azoïques, le plus important groupe de matières colorantes d'un point de vue commercial. Leur formule générale dérivée de l'antracène, montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino. Ces produits sont utilisés pour la coloration des fibres polyester, acétate et triacétate de cellulose.



**Figure I.2:** Structure d'un colorant anthraquinonique [3].

#### I.2.1.3. Les phtalocyanines :

Ils ont une structure complexe possédant un atome métallique central. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.) [11].



**Figure I.3:** Structure d'un colorant phtalocyanine.

### I.2.2. Classification tinctoriale:

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant 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 types ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes.

#### I.2.2.1. Les colorants acides ou anioniques:

Très solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonate ou carboxylate, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant - fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles.

#### I.2.2.2. Les colorants basiques ou cationiques:

Classe des colorants porteurs d'ions positifs et reconnus pour leurs nuances brillantes. Les colorants basiques se composent de grosses molécules et ce sont des sels solubles dans l'eau. Ils ont une affinité directe pour la laine et la soie et peuvent être utilisés sur le coton. La solidité des colorants basiques sur ces fibres est très faible. Ces colorants ont bénéficié d'un regain

d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur les quelles ils permettent des nuances très vives et résistantes.

#### I.2.2.3. Les colorants de cuve:

Ils sont des colorants insolubles dans l'eau, appliqués sur la fibre après transformation par réduction alcaline en leucodérivés. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation (lavage, rayons solaires), les colorants de cuve sont largement utilisés sur le coton, le lin, la rayonne et autres fibres cellulosiques.

#### I.2.2.4. Les colorants directs:

Ils contiennent ou 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 leur molécule [4].

### I.3. Domaines d'application des colorants:

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont voici quelques unes essentielles:

- Teinture et impression sur fibre et tissus de tous genres;
- Teinture du bain de filage des fibres chimiques;
- Teinture du cuir et des fourrures;
- Teinture du papier et du parchemin;
- Teinture des caoutchoucs, des feuilles et des matières plastiques;
- Colorants pour toutes les techniques de la peinture;
- Préparation des couleurs à la chaux pour les pré-colorations et enduits sur bâtiments;
- Colorants pour l'impression des papiers peints;
- Préparation des encres;
- Colorations des denrées alimentaires ;

- Colorants pour les emplois médicaux et cosmétiques [6].
- Carburants et huiles (industrie automobile etc....) ;
- Colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du transport etc. [12].

#### I.4. Effets Néfastes des colorants sur l'environnemental et le milieu aquatique:

##### I.4.1. Impacts environnementaux:

Les principales questions environnementales soulevées par les activités de l'industrie textile concernent essentiellement les rejets dans l'eau, les émissions dans l'air ainsi que la consommation d'énergie. Parmi celles-ci, l'eau représente la préoccupation première [13]. A l'exception d'une faible quantité d'eau évaporée pendant le séchage, la majeure partie de l'eau utilisée est rejetée sous forme d'effluents aqueux. Par conséquent, la quantité d'eau évacuée et la charge chimique qu'elle véhicule constituent un problème majeur. La charge de pollution produite par les activités de l'industrie textile est majoritairement imputable aux substances contenues dans la matière première avant qu'elle n'entre dans la phase du processus d'ennoblissement. On retrouve généralement les produits d'encollage, de préparation les impuretés des fibres naturelles et matières associées [14].

La quantité de produits chimiques et auxiliaires ajoutée en ennoblissement peut s'élever jusqu'à 1 kg par kilogramme de textiles traités, ce qui s'avère être élevé. Il existe un très grand nombre de substances chimiques parmi les produits utilisés pendant le processus, les impacts les plus importants sur l'environnement sont dus aux sels, détergents et aux acides organiques. Le rejet de ces eaux résiduaires dans l'écosystème source dramatiques de pollution, d'eutrophisation et de perturbation non esthétique dans la vie aquatique et par conséquent présente un danger potentiel de bioaccumulation qui peut affecter l'homme par transport à travers la chaîne alimentaire [3].

#### I.4.2. Toxicité des milieux aquatiques par les rejets industriels:

Les rejets d'effluents des industries textiles, chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire grandement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers micro-organismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité, pourrait être liée à la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Par ailleurs, Leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible [15]. De ce fait, ils peuvent persister longtemps dans ce milieu, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore (pouvoir d'auto épuration des cours d'eau, inhibition de la croissance des végétaux aquatiques...) et dans la faune (destruction d'une catégorie de poissons, de microorganismes...). Dans ces conditions la dose létale (DL50) reste le meilleur paramètre pour évaluer les effets toxiques causés par ces déversements. Ainsi une DL50 signifie la mort de 50% d'espèces animales testés en expérimentation. Les données bibliographiques ont mentionné que :

- Les algues peuvent être inhibés (à 35%) ou stimulés (à 65%) par les rejets d'effluents dans les industries textiles. Ces résultats ont été obtenus lors des prélèvements effectués sur la côte Est des U.S.A.
- Le colorant "noir de l'uxanthol G" est très nocif pour les jeunes guppies à la concentration de 5mg/l.
- La fuchsine inhibe la croissance des algues et des petits crustacés pour des concentrations minimales de 1mg/l et 20mg/l respectivement.
- Le bleu de méthylène est toxique pour les algues et les petits crustacés à partir des concentrations de 0,1 mg/l et 2 mg/l respectivement.
- Le bleu de victoria, le violet de méthyle, le noir anthracite BT et le vert diamant sont très toxiques pour la faune et la flore à partir de concentrations de 1 mg/l.
- les colorants cationiques (ou basiques) sont généralement très toxiques et résistent à toute oxydation. En effet, d'autres études ont montré que le colorant cationique (sandocryl orange)



est très toxique pour les micro-organismes. En effet, après un temps de contact de 5 jours, le taux d'inhibition a été de l'ordre de 96,5%. Ce taux, est cependant plus faible avec le colorant acide, le Lanasyn Black (32,8%) est pratiquement nul avec un autre colorant de cette même famille, le sandolan (3,18). Donc le traitement des effluents chargés en colorants s'avère indispensable pour la sauvegarde de l'environnement [3].

### I.5. Toxicité des colorants sur la santé humaine:

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. En effet, des chercheurs, ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane. Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes (chélite de rouge). Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérogènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie. En 1913, pour la première fois, on se rendit compte qu'il y avait une relation entre la production d'aniline et l'apparition de cancers de la vessie : ces maladies ont particulièrement touché les ouvriers allemands [3]. D'autres recherches ont signalé que la tartrazine développe un certain nombre de réactions adverses chez certains individus comme le prurit, l'oedème, l'urticaire, l'asthme et la rhinite [16]. Les colorants azoïques sont aussi responsables d'apparition de Lépatomes chez l'homme. Les colorants métallifères sont parmi les substances qui représentent de grands risques pour la santé de l'homme. Ils peuvent également causer des dégâts sur les réseaux d'assainissement et des perturbations des traitements biologiques dans les stations d'épuration à cause de leur toxicité élevée [17]. L'utilisation des colorants à base d'arsenic tels que le vert de Scheele (arsénite de cuivre), vert de Schweinfurt (acétoarsénite de cuivre) provoquent des troubles digestifs : digestion pénible, nausées, diarrhée et peuvent être à l'origine des irritations de peau, des muqueuses oculaires et pulmonaires et surtout de cancer. La granulomatose pulmonaire est signalée chez les femmes utilisant des laques colorées et parfumées plusieurs fois par jour pendant des années [3].

## Conclusion :

Les rejets des effluents colorés dans la nature ne sont pas seulement désagréables pour l'environnement mais affectent beaucoup de cycles biologiques. Ces rejets présentent un véritable danger pour l'homme et son environnement en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité [2].

De nombreux scientifiques des différentes disciplines s'intéressent, de plus en plus, à l'identification et à l'élimination des polluants de l'environnement. A cet effet, on a recourt souvent à l'adsorption sur charbon actif, notamment pour l'élimination des produits toxiques, des micropolluants ou inorganiques de l'eau, la décoloration des huiles végétale et la purification de nombreux produits.



Chapitre II:  
Procédés d'élimination des colorants

## Introduction:

De nombreuses techniques de dépollution des effluents chargés en colorants sont développées au cours de ces dernières années. Le but recherché par l'élimination des colorants est essentiellement la protection du milieu naturel, l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejet édictées par la législation, de même qu'une bonne gestion de l'eau en milieu industriel. Ainsi, des systèmes technologiques pour l'élimination des polluants organiques tels que les colorants sont actuellement bien maîtrisés à l'échelle du laboratoire et appliqués à grande échelle incluant les traitements physiques (l'adsorption, les technologies membranaires et les procédés de séparation solide-liquide: précipitation, coagulation, floculation et décantation), chimiques (résine échangeuse d'ions, oxydation par: oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, réduction (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), ...) et biologiques (traitement aérobie et anaérobie). Parmi ces techniques on peut citer quelques procédés chimiques, physico chimique et biologiques :

### II.1. Procédés chimiques:

#### II.1.1. Les procédés d'oxydation classique :

Les techniques d'oxydation classique utilisent des oxydants puissants et variés tels que l'hypochlorite de sodium (NaOCl), l'ozone (O<sub>3</sub>), ou encore le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), en présence ou non de catalyseur. Ces méthodes de traitement sont couramment utilisées pour l'épuration d'effluents contenant des polluants organiques, y compris des colorants, en raison de leur mise en œuvre relativement facile. Dans le cas des colorants toxiques réfractaires à la biodégradation, l'action de ces composés permet l'obtention de sous-produits dégradables par les microorganismes. Enfin, l'oxydation par l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène sont des procédés utilisés en complément ou en concurrence avec l'adsorption sur charbons actifs ou la nanofiltration [18].

- **L'hypochlorite de sodium :**

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) s'attaque en particulier à la fonction amine des colorants, il enclenche et accélère la destruction du motif azoïque. Cependant, l'hypochlorite de sodium est de moins en moins utilisé dans les processus de traitement des eaux usées, en raison des effets négatifs qu'il induit [19], notamment par la formation d'amines aromatiques et d'organochlorés qui sont des composés cancérigènes. Ces inconvénients ont motivé son remplacement par l'ozone ou d'autres oxydants.

- **L'ozone :**

L'ozone est un oxydant très puissant, particulièrement en raison de sa grande instabilité, l'ozonation est surtout adaptée à la dégradation des molécules de colorants ayant une double liaison, dont la destruction conduit à la formation de molécules plus petites. Les sous-produits d'oxydation à l'ozone présentent l'avantage d'être biodégradables [20].

- **Le peroxyde d'hydrogène :**

Le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) est utilisé dans la plupart des procédés de décoloration par oxydation. Cependant, en raison de la stabilité de ce composé à l'état pur, il est nécessaire de l'activer [19] Le rendement des méthodes d'oxydation à base de peroxyde d'hydrogène diffère en fonction de l'agent d'activation, les plus utilisés étant l'ozone, les rayons UV et les sels ferreux.

### II.1.2. Les procédés d'oxydation avancée:

Les procédés d'oxydation avancée regroupent des méthodes chimiques, photochimiques ou électrochimiques. Le développement de ces méthodes est en plein essor depuis environ trois décennies. Ces méthodes de traitement consistent à dégrader les molécules de colorants en  $CO_2$  et  $H_2O$  au moyen du rayonnement UV en présence d'hydrogène peroxyde [20].

- **Procédé d'oxydation avancée chimique: réaction de Fenton**

La possibilité d'utilisation du réactif de Fenton dans le domaine de l'environnement, en particulier dans le traitement des eaux usées, a été abordée durant les deux dernières décennies. Le réactif de Fenton n'est autre que le peroxyde d'hydrogène activé au moyen d'un sel ferreux et constitue un agent oxydant adapté au traitement d'effluents contenant des colorants résistants à la biodégradation ou toxiques vis-à-vis des microorganismes [19].

- **Procédés d'oxydation avancée électrochimique:**

Traitement des effluents colorés par électrochimie semble être plus intéressant, dans la mesure où le procédé dans ce cas fait preuve d'une bonne efficacité technique et économique. En effet, les effluents recueillis en sortie ne présentent généralement aucun danger pour les organismes vivants et la mise en œuvre de ce procédé nécessite très peu ou pas du tout de réactifs chimiques [20].

- **Procédés d'oxydation avancée photochimique:**

La photodégradation des colorants peut avoir lieu en présence ou non de catalyseurs et/ou d'agents oxydants, tels que le peroxyde d'hydrogène, ou l'ozone. La réaction peut conduire à la minéralisation complète de la molécule polluante. Ce phénomène est dû en particulier à l'action des radicaux hydroxyles [20].

## II.2. Procédés physicochimiques:

### II.2.1. La coagulation-précipitation :

Cette technique permet l'élimination des colorants par coagulation-floculation-filtration, grâce à l'ajout de cations trivalents, tels  $Fe^{3+}$  ou  $Al^{3+}$  [20]. Cette méthode consiste en une annulation du potentiel zêta (coagulation) par l'ajout d'un réactif chimique, ce qui entraîne la déstabilisation des particules colloïdales, suivie de leur agglomération (floculation) en microflocs, puis en flocons volumineux et décantables. La neutralisation de la charge superficielle (Potentiel zêta) est réalisée au moyen de coagulants minéraux à base de cations

trivalents, tels que sulfate et chlorure d'alumine, chlorure et sulfate ferrique, ou organiques de synthèse à caractère cationique, tel que l'épichlorhydrine diméthylamine.

### II.2.2. Les techniques membranaires :

Les procédés membranaires sont des techniques de séparation par perméation à travers une membrane, sous l'action d'un gradient de pression. La séparation se fait en fonction des tailles moléculaires des composés, mais aussi de leur forme, leur structure, leur polarisabilité, leur solubilité, de la présence de co-solutés, du matériau et de la configuration de la membrane, des paramètres opératoires, des phénomènes de colmatage, etc... Les techniques membranaires regroupent la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse. Parmi eux, l'ultrafiltration et nanofiltration [20,21] sont des techniques efficaces pour l'élimination de toutes classes des colorants.

### II.2.3. L'échange d'ions:

L'échange d'ions est un procédé par lequel, dans certaines conditions, un matériau solide (résines échangeuses d'ions) attire un ion positif ou négatif d'une solution et rejette un autre ion de même signe. Le procédé de traitement des eaux par échange d'ions s'applique aux effluents contenant des colorants [20].

### II.2.4. L'adsorption:

L'adsorption est un procédé de transfert de matière entre une phase liquide (ou gazeuse) chargée en composés organiques ou inorganiques et une phase solide, l'adsorbant. Pendant des décennies, les charbons actifs commerciaux ont été les principaux, voire les seuls adsorbants utilisés dans les filières de traitement d'eaux. En effet, l'adsorption sur charbons actifs présente de nombreux avantages : elle permet l'élimination d'une large gamme de polluants, dont différents types de colorants, mais aussi d'autres polluants organiques et inorganiques, tels que les phénols, les ions métalliques, les pesticides, les substances humiques, les détergents, ainsi que les composés responsables du goût et de l'odeur. A l'inverse de la précipitation, l'adsorption est plutôt efficace dans le domaine des faibles concentrations [22].

- Adsorption sur charbon actif :

Le charbon actif ou d'autres matériaux adsorbants peuvent être utilisés pour éliminer plusieurs colorants des eaux usées. Comme les colorants ne sont pas tous ioniques, la plupart des adsorbants ne peuvent pas réduire tous les colorants. Le charbon actif, adsorbant le plus communément utilisé pour la réduction de la couleur (à cause de sa capacité d'adsorption élevée), est capable d'adsorber la plupart des colorants. Toutefois, cette technique ne résout pas le problème, elle ne fait que déplacer la pollution de l'état liquide à l'état solide. De plus, ces techniques, non destructives, nécessitent des opérations postérieures onéreuses de régénération et de post traitement des déchets solides [23].

### II.3. Procédés biologiques:

Les procédés d'épuration par voie biologique sont basés sur la biotransformation microbienne des colorants. En outre, la majorité des colorants sont très stables et non biodégradables. Néanmoins, beaucoup de recherches ont démontré la biodégradation partielle ou complète des colorants par voie biologique. Si ces techniques sont adaptées à un grand nombre de polluants organiques, elles ne sont pas toujours applicables sur les effluents industriels en raison des fortes concentrations de polluants, de leur toxicité qui entraînerait la mort des microorganismes ou de leur très faible biodégradabilité. De plus, ces techniques génèrent des quantités importantes de boues biologiques à retraiter. Selon Loehr [23] la biodégradation est favorable pour les eaux usées présentant un rapport DCO/DBO5 > 0,5, par contre elle est très limitée lorsque ce rapport dépasse 0,2. Le rapport DBO5/DCO, appelé degré de dégradation biochimique, sert de mesure pour la dégradation biochimique des polluants dans les eaux usées. Les eaux usées biorécalcitrantes nécessitent alors d'autres techniques d'épuration [23].



## Conclusion:

Parmi les procédés d'élimination des colorants, les traitements physico-chimiques traditionnels (adsorption, coagulation/floculation, précipitation etc.) sont couramment utilisés pour la dépollution des effluents industriels.

Bien qu'elles soient rapides, ces méthodes s'avèrent généralement peu efficaces vis-à-vis de leur élimination par des boues et des rejets finaux en nombreux produits chimiques.

Il apparaît donc intéressant de mettre au point des traitements alternatifs, notamment par voie biologique, qui ont l'avantage d'être moins coûteux, moins polluants et plus efficaces car plus spécifiques [24].



**Chapitre III: Adsorption sur  
charbon actif**

### III.1. Définition de l'adsorption:

L'adsorption est la rétention, sous forme concentrée d'un soluté (une substance dissoute) à l'interface entre un solide (adsorbant : charbon actif par exemple) et un fluide (liquide) ; la concentration du polluant à cette interface est supérieure à celle qui est présente dans la masse du fluide. C'est un procédé de traitement, employé pour éliminer de nombreux composés toxiques [25].

Il s'agit d'un processus de la plus grande importance en ce qui concerne le comportement des substances tant inorganiques qu'organiques dans les eaux naturelles car il influe tant sur la distribution des substances dissoutes et particulaires que sur les propriétés des particules en suspension. L'adsorption joue également un rôle majeur dans le comportement des polluants dans les milieux aquatiques [26].

### III.2. Les types d'adsorption:

Les molécules s'approchant d'une surface solide, peuvent s'adsorber de deux manières différentes :

#### III.2.1. Adsorption physique (ou physisorption):

Nommé aussi l'adsorption non spécifique, qui ne modifie pas la structure chimique de la molécule. On parle des forces de Van der Waals qui agissent entre le composé adsorbé et l'adsorbant.

La physisorption est prédominante à de basses températures et est caractérisée par une énergie d'adsorption faible (la molécule adsorbée n'est pas donc fortement liée) [6]. Elle est rapide et réversible [20].

#### III.2.2. L'adsorption chimique (ou chimisorption):

Qui est une adsorption spécifique due à des sites chargés sur la surface de l'adsorbant. En chimisorption, un lien chimique s'établit entre la substance adsorbée et l'adsorbant. La chimisorption génère de fortes énergies d'adsorption et est favorisée par les températures élevées [6]. Elle est généralement irréversible [20].

Les techniques d'oxydation chimique sont généralement appliquées quand les procédés biologiques sont inefficaces. Elles peuvent être ainsi utilisées en étape de prétraitement pour

les procédés biologiques. L'oxydation chimique est souvent appliquée pour le traitement des eaux usées contenant des polluants non biodégradables et /ou toxiques et de fortes concentrations que les autres procédés ne peuvent pas traiter ou transformer en produits biodégradables et/ou non toxiques. Ainsi, l'oxydation chimique se révèle un procédé efficace de traitement des eaux usées. On distingue: les procédés classiques d'oxydation chimique et les procédés d'oxydation avancée [27].

### III.3. Description du mécanisme d'adsorption:

C'est un transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention de soluté à la surface de charbon actif dénommée adsorbant. Ce processus se fait en quatre étapes :

**Etape 1:** C'est le transfert du soluté de la phase liquide vers la surface externe du solide (charbon actif), elle est très rapide.

**Etape 2:** C'est la migration ou le déplacement de l'eau liée jusqu'au contact du charbon, cela dépendra de l'agitation du milieu et de la taille de la particule, elle est rapide.

**Etape 3:** Diffusion dans le film ; c'est une réaction de surface entre l'adsorbant (charbon actif) et l'adsorbat (micropolluant), elle est lente.

**Etape4:** Diffusion interne ou diffusion à travers les pores ; il y'a emprisonnement de l'adsorbat au sein du micropore, elle est très rapide [28].

### III.4. Facteurs influençant l'adsorption:

L'efficacité de l'adsorption d'un soluté sur le charbon actif dépend de plusieurs facteurs :

- **La vitesse d'agitation:**

L'agitation mécanique augmente le transfert vers le charbon actif ; c'est-à-dire que le processus de transfert de matières par diffusion augmente par agitation ce qui entraîne une augmentation de la capacité d'adsorption [28].

- **Le pH de la solution aqueuse:**

Le pH a parfois un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles [29].

- **La concentration initiale du soluté dans l'eau:**

L'adsorption dépend considérablement de la concentration du soluté, le rendement sera meilleur pour une concentration initiale non élevée de l'adsorbat.

- **La température :**

L'adsorption est un processus exothermique.

Pour des raisons économiques, l'adsorption s'effectue à température ambiante c'est-à-dire celle de l'eau brute [29] (dans notre cas celle du laboratoire).

- **La masse de charbon actif injectée :**

L'augmentation de la masse de charbon actif entraîne un décroissement très rapide (du rendement) puis une stabilisation de la quantité de colorant, par contre une diminution de la masse donne de meilleurs rendements.

- **Le temps de contact:**

Si le temps de contact est trop court, tous les sites du charbon n'auront pas le temps de se charger. Mais après un certain temps, tous les sites seront saturés et le charbon n'interagira plus avec les molécules présentes dans l'eau.

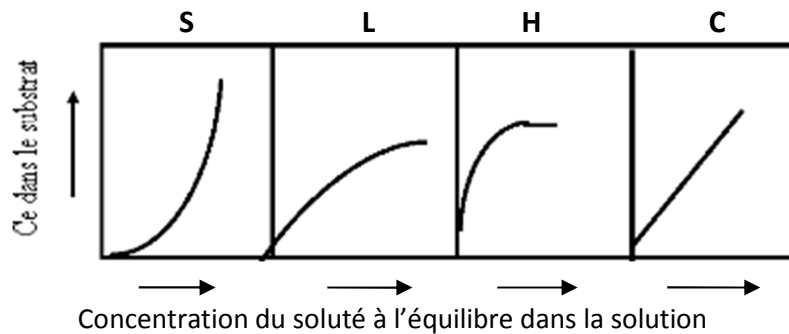
Dans ce cas on doit faire attention au possible phénomène de désorption après un temps élevé [30].

### III.5. Isothermes d'adsorption:

Le processus d'adsorption peut être décrit à l'aide d'une isotherme d'adsorption. Cette isotherme est une courbe qui représente la relation entre la quantité d'impuretés adsorbées ( $Q_e$ ) par unité de masse de charbon activé et la concentration finale d'impureté en solution ( $C_e$ ). De telles courbes sont obtenues en laboratoire à température constante. Il existe trois lois isothermiques différentes : la loi Linéaire, la loi de Langmuir et la loi de Freundlich. Ce dernier isotherme est le plus utilisé dans le cas des charbons actifs [31].

### III.5.1. Classification des isothermes d'adsorption:

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées: **S** (Sigmoide), **L** (Langmuir), **H** (Haute affinité) et **C** (partition Constante). La figure ci dessous illustre la forme de chaque type d'isothermes.



**Figure III.1:** La classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al. [32].

Les courbes en **S** montrent une augmentation de l'affinité pour les molécules après une adsorption initiale. Il y'a des liaisons intermoléculaires. Les courbes **L**, l'adsorption diminue au fur et à mesure que les sites sont occupés. Les courbes **H** pour les faibles valeurs, on a une adsorption totale. Les courbes **C** montrent une partition constante entre la solution et l'adsorbant [33].

### III.5.2. Modèles d'isothermes:

- Isotherme de Langmuir :

C'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse.

A une température constante, la quantité adsorbée ( $Q_e$  en mg/g) est liée à la capacité maximale d'adsorption ( $Q_m$ ), à la concentration à l'équilibre ( $C_e$  en mg/l) du soluté et à la constante d'affinité  $K$  par l'équation:

$$Q_e = \frac{Q_m K C_e}{1 + K C_e} \quad \text{III.1}$$

La transformée linéaire de ce modèle a pour équation [34]:

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{KQ_m} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m} \quad \text{III.2}$$

En portant  $1/Q_e$  en fonction de  $1/C_e$  on obtient une droite de pente  $1/KQ_m$  et d'ordonnée à l'origine  $1/Q_m$ , cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation  $Q_m$  et  $K$ .

Parmi les caractéristiques de l'isotherme de Langmuir, on peut citer sa simplicité et le fait que les paramètres  $Q_m$  et  $K$  qu'il permet d'évaluer, ont un sens physique. La valeur de  $K$  est liée à la force d'interaction entre la molécule adsorbée et la surface du solide ; la valeur de  $Q_m$  exprime la quantité de soluté fixée par gramme de solide dont la surface est considérée comme totalement recouverte par une couche monomoléculaire. Cette simplicité est une conséquence des hypothèses restrictives qui permettent d'établir ce modèle [35]: l'équivalence de tous les sites d'adsorption et la non-dépendance de l'énergie d'adsorption avec le taux de couverture de la surface. Ceci se traduit par l'absence des interactions entre des espèces adsorbées et adjacents sur la surface.

- Isotherme de Freundlich:

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle ne repose sur aucune base théorique. Toutefois l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles [36]. Elle se présente sous la forme:

$$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n_f}} \quad \text{III.3}$$

$Q_e$ : Quantité adsorbée par gramme du solide.

$C_e$ : Concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption.

$K_f$  et  $1/n_f$ : constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné.

La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique [34]:

$$\ln Q_e = \ln K_f + 1/n_f \ln C_e \quad \text{III.4}$$

En traçant  $\ln Q_e$  en fonction de  $\ln C_e$  on obtient une droite de pente  $1/n_f$  et d'ordonnée à l'origine  $\ln K_f$  [5].

### III.6. Les principaux adsorbants :

Plusieurs matériaux sont utilisés en traitement de l'eau pour les techniques de l'adsorption : alumine ( $Al_2O_3$ ), gel de silice, terre de Fuller, terre à diatomées, tamis moléculaires, résines à macropores, résines à macropores échangeuses d'ions, dioxyde de manganèse et même « floccs de sulfate d'aluminium » et silice activée. Cependant, plus que toutes ces matières, c'est le charbon actif qui est le plus adsorbant [29].

Toutefois les principaux adsorbants employés dans l'industrie sont les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silices, les aluminés activées dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau suivant :

Adsorbants	Surface spécifique ( $m^2.g^{-1}$ )	Taille des pores (nm)	Porosité interne
Charbon actif	400 à 2000	1.0 à 4.0	0.4 à 0.8
Zéolithes	500 à 800	0.3 à 0.8	0.3 à 0.4
Gels de silice	600 à 800	2.0 à 5.0	0.4 à 0.5



Alumines activées	200 à 400	1.0 à 6.0	0.3 à 0.6
-------------------	-----------	-----------	-----------

**Tableau III.1:** Les caractéristiques des principaux adsorbants industriels [37].

### III.7. Le Charbon actif:

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. Il peut être préparé à partir de divers matériaux comme la tourbe, le lignite, la houille bitumineuse, le charbon de bois, le bois et la coque de noix de coco [29].

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement afin d'augmenter sa surface interne. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 500 à 1500 m<sup>2</sup> par gramme de charbon actif. Cela lui permet d'avoir une grande capacité d'adsorption et de faciliter les réactions chimiques [30]. On peut le trouver sous forme de charbon actif en poudre (CAP) ou de charbon actif en grains (CAG) qui sont les formes de charbon actif les plus utilisés. Dans notre cas on a utilisé le charbon actif en poudre :



**Figure III.2:** Charbon actif en poudre.

Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100µm avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25µm. Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion, ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide [38].

## Structure et Texture du charbon actif :

- Sa structure est proche de celle du graphite, ordonné sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone disposés en hexagones réguliers.
- La texture du charbon actif se caractérise essentiellement par deux paramètres qui sont l'aire spécifique et la porosité. Ils sont essentiels pour la détermination des capacités et des cinétiques d'adsorption. Une classification simple permet de distinguer trois sortes de pores [39]. Il s'agit des :

**Macropores:** ils possèdent un rayon moyen compris entre 500 et 1000 Å et peut atteindre jusqu'à 20000 Å. L'ordre de grandeur de leurs aires massiques ( $0,5$  à  $2 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) montre qu'ils influencent faiblement la capacité d'adsorption.

**Mésopores:** ils ont un rayon compris entre 18-20 Å et 500-1000 Å. Leurs surfaces spécifiques ( $25$  à  $75 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) montrent qu'ils peuvent influencer moyennement la capacité d'adsorption. En effet, les phénomènes de condensation capillaire ne peuvent se dérouler qu'à l'intérieur de ces mésopores. Ils sont considérés comme des pores de transition en contrôlant le passage des adsorbats vers les micropores.

**Micropores:** ils constituent pratiquement l'essentiel de la surface spécifique totale (95%). Leur rayon qui est inférieur à 18-20 Å (de l'ordre de la taille des molécules simples) leur confère un très grand rôle dans le processus d'adsorption.

Concernant le pouvoir adsorbant du charbon actif, il a été clairement établi que la porosité peut limiter les capacités de ce matériau vis-à-vis des molécules complexes, principalement celles à haut poids moléculaire. Ce qui va contrôler la vitesse de diffusion des substrats à l'intérieur des particules du charbon actif [39].

## L'utilisation du charbon actif :

De nos jours, le charbon actif est utilisé dans un grand nombre de domaines différents.

Dans le domaine de l'eau et de l'environnement, on l'utilise dans différents contextes comme pour :

- le traitement de l'air afin d'enlever les vapeurs d'huiles,

- les odeurs et autres hydrocarbures,
- le traitement des eaux potables ou des eaux industrielles,
- décoloration des eaux : eau potable et autres liquides alimentaires (bières, boissons gazeuses, etc.).
- la purification de l'eau au niveau domestique ou municipal etc. **[30]**.

D'autres secteurs utilisent le charbon actif comme pour l'industrie alimentaire, la médecine, l'industrie chimique etc. Il est particulièrement utilisé pour ses propriétés de forte porosité et de grande adsorption.

Quelques historiques :

Première utilisation : 2000 ans avant J.C. par les médecins égyptiens.

En 1773 : premières utilisation pour la purification des gaz.

En 1785 : première utilisation pour la décoloration des liquides.

1924 : utilisation du charbon actif en poudre pour l'élimination des goûts et odeurs.

1960 : utilisation du charbon actif en grains pour éliminer le chlore.

1970 : utilisation du charbon actif comme adsorbant.

1976 : utilisation du charbon actif biologique **[33]**.

### **III.8. Charbon actif et adsorption:**

Les charbons actifs qui sont employés comme adsorbants, ne sont pas utilisés uniquement pour enlever ou éliminer les différents types de colorants mais sont également employés pour enlever d'autres polluants organiques et inorganiques tels que les ions en métal, les phénols, les hydrocarbures chlorés, les substances humiques, les composés organiques qui causent le goût et l'odeur...etc. Il est bien connu que l'adsorption par le charbon actif est une méthode efficace et commercialement applicable pour enlever la couleur et d'autres polluants des pertes de textile **[20]**. Par contre il est malheureusement éliminer avec des boues, de ce fait il est préférable d'utiliser des charbons actifs synthétisés à partir *des matériaux naturels ou des résidus d'agriculture*, en voici quelques études réalisées:

**Ruiti Manel et Bechir Ben Thayer [40]** après avoir fait l'élimination du fer par procédés d'oxydation sur charbon de pin d'Alep, les essais d'adsorption ont montré que l'équilibre est atteint après 10 minutes. L'étude des facteurs qui influent sur la cinétique d'adsorption sur le charbon du bois de pin d'Alep révèlent que le rendement d'adsorption augmente avec l'augmentation de pH (97% à pH=9), l'adsorption du fer sur le charbon de bois de pin d'Alep est un phénomène rapide, efficace et moins coûteuses pour la rétention du fer des eaux naturelles. L'isotherme d'adsorption obéit le modèle de Freundlich.

**Djilani et al. [41]** ont démontré que les résidus d'agriculture, résidus du café, graines de melon et de peau orange, peut-être employés comme les matières premières pour produire les charbons actifs peu coûteux et efficaces. L'efficacité de ces matériaux a été examinée en utilisant deux polluants organiques communs: o-nitrophénol et p-nitrotoluène. L'élimination de ces composés s'est étendue de 70 à 90% pour tous les adsorbants, le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption est entre 75 et 135 minutes. Une analyse cinétique a prouvé que le mécanisme de l'adsorption dépend de l'adsorbant et que chacun des trois matériaux montre des capacités très semblables d'adsorption [20].

**F. Sakr et all [2]** sur étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus, les essais ont montrés une élimination remarquable dès les 10 premières minutes. L'influence de différents paramètres expérimentaux a été étudiée : masse d'adsorbant, pH et température. Les résultats expérimentaux ont montré que l'adsorption du colorant Bleu de Méthylène sur le Cactus atteint **61%** à pH initial et à température ambiante. L'étude de l'isotherme montre que le modèle de Freundlich décrit bien le processus de l'adsorption du BM sur la poudre de Cactus.



**Chapitre IV:**  
Matériels et Méthodes

## Introduction:

Les essais expérimentaux ont été réalisés au niveau du laboratoire de traitement des eaux, département des sciences de l'Eau et Environnement à l'Université Saad DAHLAB – BLIDA 1 du 16 avril au 17 mai 2017.

### IV.1. Matériels:

#### IV.1.1. Appareillage:

- Balance électronique de marque **Sartorius** portable.
- Agitateur magnétique **IKAMAG**.
- pH-mètre **HANNA instruments**.
- Jar test **Supplied by armfield** de type **PWT**.
- Centrifugeuse **Hettich ZENTRIFUGER EBA 3S**, maximum: 6000t/min.
- Spectrophotomètre **UV/VISIBLE (SEQUOIA - TURNER)**, modèle **340**.
- Thermomètre.

Les photos des différents appareils et produits utilisés seront présentés dans l'**annexe I**.

#### IV.1.2. Verreries:

Les verreries utilisées sont :

Béchers, fioles jaugées, seringue, pipette, propipette, pissette, tubes etc....

#### IV.1.3. Produits utilisés:

<b>Produits</b>	<b>Formules</b>	<b>Utilisations</b>
Acide chlorhydrique	HCl	Ajustement du pH
Hydroxyde de sodium	NaOH	Ajustement du pH
Charbon actif	–	Adsorbant

**Tableau IV.1:** Le tableau des produits utilisés.

#### IV.1.4. L'adsorbat (Colorant utilisé):

Le colorant (Bleu de Cibacète) a été gracieusement offert par l'entreprise des textiles **SOTRADAL** de BOUFARIK ; la solution synthétique colorée a été préparée par dissolution du colorant (BC) dans de l'eau distillée, il a les caractéristiques suivantes :

- **Nom commercial** : Bleu de cibacète (**BC**).
- **Nom chimique** : 1-méthylamino-4-ethanolamino anthraquinone.
- **Classe** : Colorant anthraquinone.
- **Formule chimique** :  $C_{17}H_{16}N_2O_3$ .
- **PM**=296,325 g/mol.
- **Ionisation** : Basique.
- **Point de fusion** : 332°C.
- **Solubilité** : soluble dans l'eau, acétone, éthanol, benzène, alcool.
- **Couleur** : Bleu.
- **Stabilité** : ce produit est instable dans les conditions suivantes : lorsqu'il est chauffé, le produit émet des fumées toxiques.
- **Application** : il est employé comme colorant de tissu pour le nylon, cellulose, acétate et polyester.

#### IV.1.5. L'adsorbant (charbon actif):

**Charbon activé (en poudre):** Réactif de laboratoire

**Code produit:** 503011000

**C.A.S. :** 7440-44-0

**Numéro de lot:** B7440440-1104-1

**Puissance de collage :** dépassé

**Solubilité dans acide :** Max 0,8 %

**Solubilité dans l'alcool :** Max 0,2 %

**Perte de séchage :** Max 10,0 %

**Chlorure (Cl) :** Max 0,025 %

**Soufre (SO<sub>4</sub>):** Max 0, 10 %

**Fer (Fe):** Max 0, 02 %

**Métaux lourds (Pb) :** Max 0,005 %

**Zinc(Zn) :** Max 0,05 %.

## IV.2. Méthodologie:

### IV.2.1. Protocole expérimental d'adsorption:

- Préparation de la solution synthétique du Bleu de Cibacète:

Elle a été préparée dans une fiole jaugée par dissolution de 50 mg/l du bleu de cibacète dans l'eau distillée, agitée avec l'agitateur magnétique pendant une quinzaine de minutes.



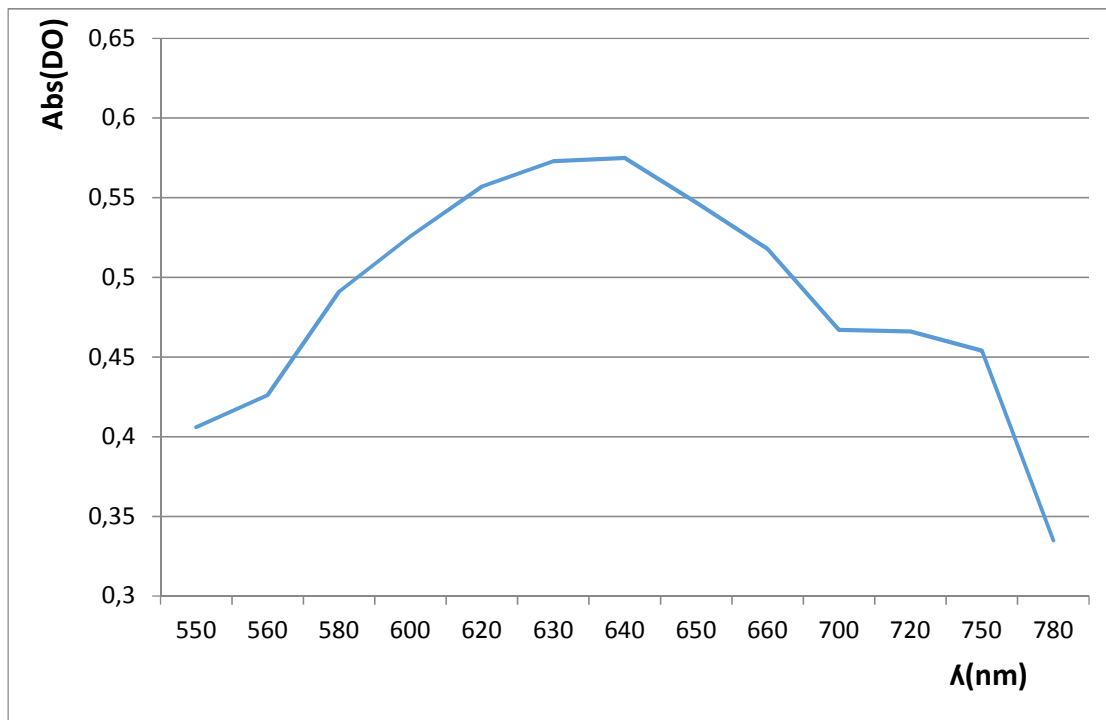
**Figure IV.1:** la solution synthétique du Bleu de cibacète (BC).



➤ Détermination de la longueur d'onde maximale du colorant BC:

Pour la détermination de l'absorbance (ou de la longueur d'onde) maximale " $\lambda_{\max}$ " de la solution du **BC** de 50 mg/l de concentration, nous avons procédé à un balayage entre 550 et 780 nm. D'après les résultats du balayage,  $\lambda_{\max} = 640 \text{ nm}$ .

La **figure IV.2** représente  $\text{Abs} = f(\lambda)$ .



**Figure IV.2:** La courbe d'absorbance du **BC**.

➤ Méthode d'adsorption :

L'expérience a été faite en système discontinue « Batch » (par un jar test à quatre agitateurs avec une vitesse de rotation individuelle variant entre 0 à 180 tours/min) : nous avons ajouté à 1 litre de la solution à analyser une masse de charbon actif de 1g/l, puis nous avons agité pendant 180 min (trois heures) à une vitesse de 100tours/min à une température ambiante. Durant le jar test, nous avons effectué des prélèvements d'échantillons de 20 ml à l'aide d'une seringue toutes les :

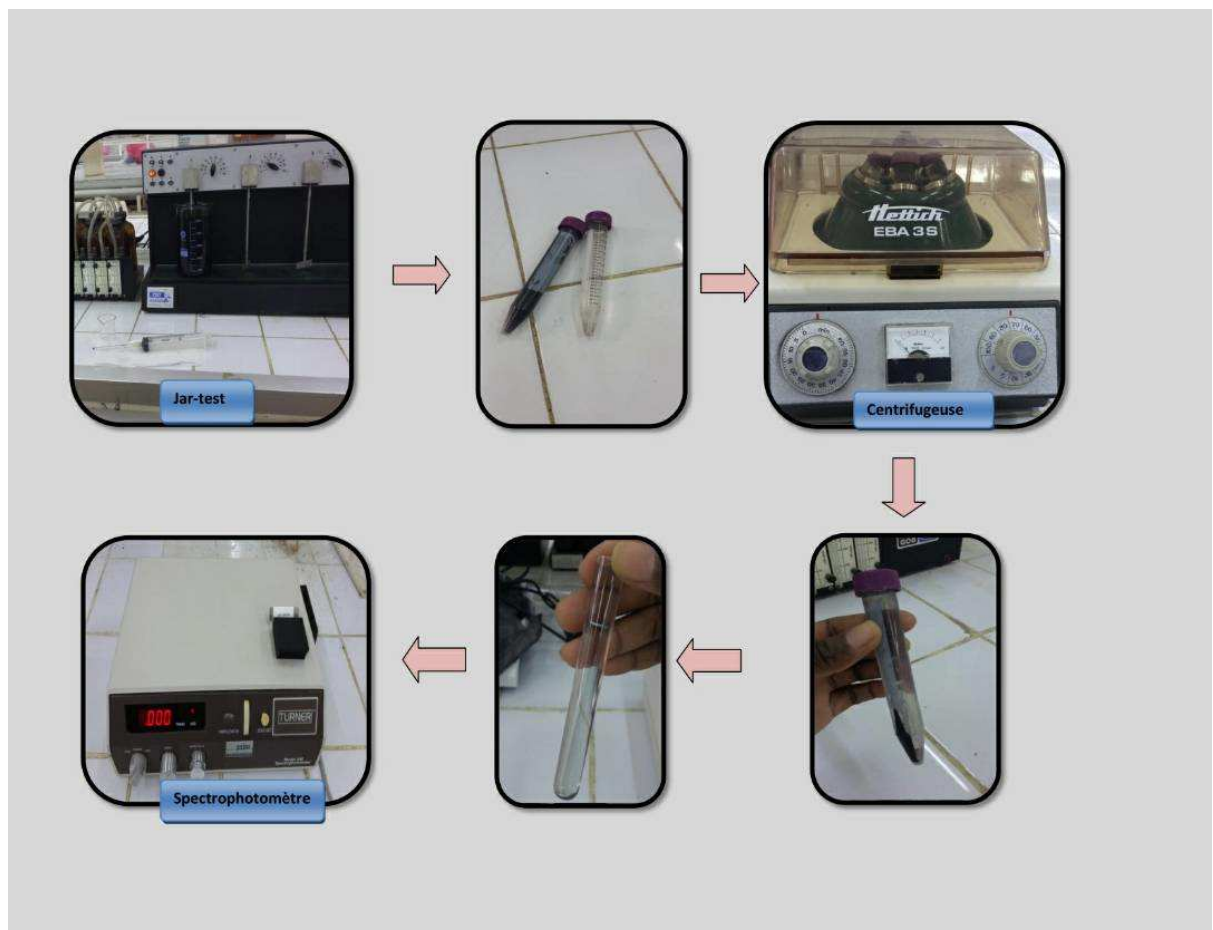
10 min – 20 min – 30 min – 60 min – 90 min – 120 min – 150 min et 180 min et l'échantillon a été introduit dans un tube de la centrifugeuse pour la centrifugation pendant 20 min à 4000 tours/min.

Après ceux-là, les solutions obtenues ont été analysé par spectrophotomètre UV/Visible.

➤ Analyse par spectrophotomètre UV/Visible :

C'est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution [20]. Les analyses ont été effectuées sur le spectrophotomètre UV/Visible à une longueur d'onde de **640 nm**.

La détermination des concentrations du colorant a été obtenue par extrapolation à l'aide de la courbe d'étalonnage.



**Figure IV.3:** Protocole expérimental d'adsorption.

➤ Mesure du pH :

La mesure du pH de la solution préparée a été réalisée à l'aide du pH-mètre. Au préalable, l'étalonnage du pH-mètre a été effectué à l'aide de solutions tampons commerciales de pH 4 et 7.

#### IV.2.2. Optimisation des paramètres influençant l'adsorption:

##### IV.2.2.1. Optimisation de la masse :

Nous avons fait varier la masse du charbon actif de 0,3 g à 6 g ; en maintenant constant la concentration du colorant à 50 mg/l et la vitesse d'agitation à 50 tours/min avec un temps de contact de 120 min, le pH étant de l'eau distillée (variant de 4,68 à 5,78).

##### IV.2.2.2. Optimisation de la vitesse d'agitation:

En maintenant la concentration du colorant à 50 mg/l, la masse du charbon actif à 1 g/l (après optimisation), le temps de contact à 180min, nous avons varié la vitesse d'agitation de 50 tours/min, 100 tours/min et 180 tours/min, pour obtenir la vitesse optimale.

##### IV.2.2.3. Optimisation du temps d'agitation (temps de contact):

Afin d'optimiser le temps d'agitation, nous avons maintenu constant les autres paramètres (les valeurs optimisées).

##### IV.2.3. Influence du pH:

On a maintenu constant : le temps d'agitation à 120 min (temps optimal), la vitesse d'agitation à 50 tours/min (vitesse optimale) et la masse du charbon actif à 1 g/l (masse optimale) avec toujours une concentration du colorant de 50 mg/l. Nous avons fait varier le pH de 2 à 10. Le pH est ajusté à la valeur désirée par de l'acide chlorhydrique (5N) ou de l'hydroxyde de sodium (1N), normalité de l'acide et de la base.

##### IV.2.4. Influence de la concentration initiale du colorant:

Nous avons varié la concentration du colorant de 20 mg/l à 300 mg/l, en maintenant constant les autres paramètres.

#### IV.2.5. Expression des résultats:

##### IV.2.5.1. Capacité d'adsorption( $Q_e$ ):

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est définie comme étant la quantité de substrats (masse ou volume) ou d'impuretés adsorbées par unité de poids d'adsorbant pour une température donnée. Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres aussi bien pour l'adsorbat (taille des molécules, solubilité dans l'eau, etc...) que pour l'adsorbant (surface spécifique, structure et type de particules, le constituant etc...).

Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante [42,43]:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad \text{IV.1}$$

Sachant que :

$Q_e$  : Capacité d'adsorption du charbon actif ( $\text{mg.g}^{-1}$ ).

$C_0$  : Concentration initiale en impureté ou du substrat ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) à  $t = 0$ .

$C_e$  (ou  $C_t$ ): Concentration finale en impureté ou du substrat ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) à l'instant  $t$  du processus d'adsorption.

$V$  : Volume de la solution de colorant (litre).

$m$ : Masse du charbon actif (g).

**On peut également quantifier la Capacité d'adsorption par le rendement (R).**

##### IV.2.5.2. Rendement de l'absorbance du procédé:

Le rendement d'élimination des colorants est défini par:

$$R(\%) = \frac{(Abs_0 - Abs_f)}{Abs_0} \times 100 \quad \text{IV.2}$$

**R(%)** : le pourcentage de la quantité de colorant éliminé.

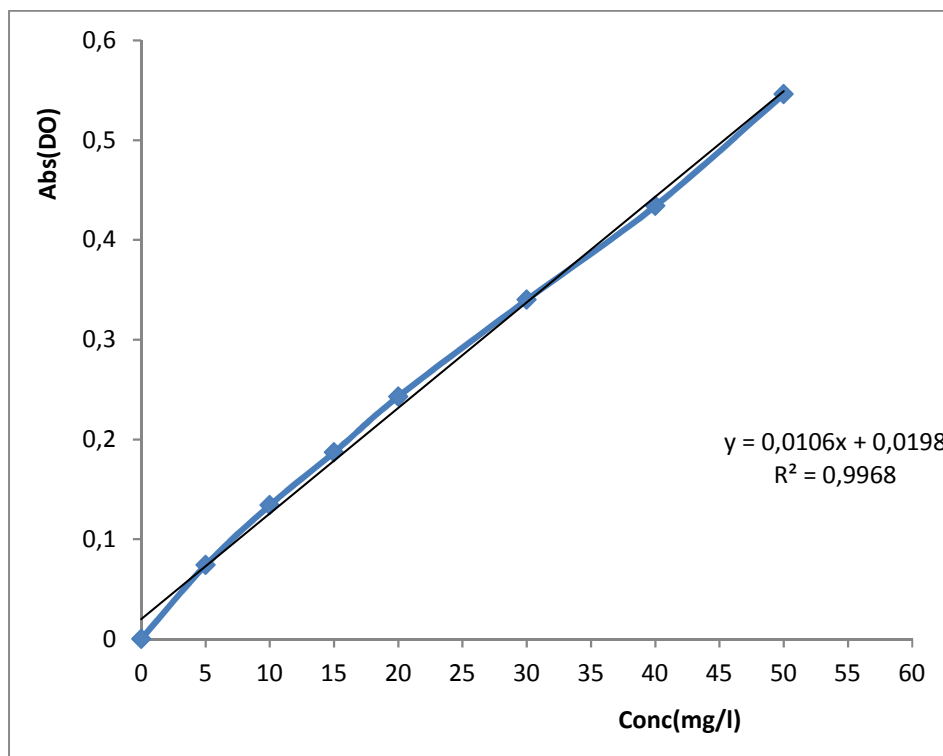
**Abs<sub>0</sub>**: absorbance à  $t=0$  (densité optique) et **Abs<sub>f</sub>**: absorbance à l'instant  $t$ . **L'analyse de l'absorbance initiale et finale (Abs<sub>0</sub> et Abs<sub>f</sub>) est effectuée par spectrophotomètre UV-Visible.**

#### IV.2.5.3. La courbe d'étalonnage du BC:

La détermination des concentrations du colorant a été obtenue par extrapolation à l'aide de la courbe d'étalonnage.

Pour calculer la concentration du colorant (BC) restante après l'adsorption, on utilise la courbe d'étalonnage. On commence par établir une droite d'étalonnage : **Absorbance (DO) = f(Concentration)** à partir des dilutions successives de la solution mère. La solution mère de bleu de cibacète a été préparée à partir de 1 g, que l'on a dissout dans un litre d'eau distillée.

Après l'adsorption, on mesure l'absorbance de la solution et à partir de la courbe d'étalonnage, la concentration de la solution peut être déduite par extrapolation.



**Figure IV.4:** La courbe d'étalonnage du BC.

### IV.3. Isotherme d'adsorption:

Elle joue un rôle important dans la détermination des capacités maximales et dans l'identification du type d'adsorption devant se produire. Elle est obtenue d'abord, par la connaissance du temps de contact et ensuite, par la représentation graphique de  $Q_e=f(C_e)$  où  $Q_e$  et  $C_e$  sont respectivement la quantité de colorant adsorbé par g d'adsorbant et la concentration à l'équilibre de ce colorant.

On a alors varié la concentration du colorant de 20 mg/l à 300 mg/l, en maintenant la masse du charbon actif à 1 g/l, la vitesse d'agitation à 50 tours/min et le temps de contact à 120 minutes avec le pH de l'eau distillée; afin de pouvoir déterminer les différentes  $C_e$  à un temps de pseudo équilibre d'équilibre et de calculer les  $Q_e$  correspondantes.



**Chapitre V:**  
**Résultats et Discussion**

## Introduction:

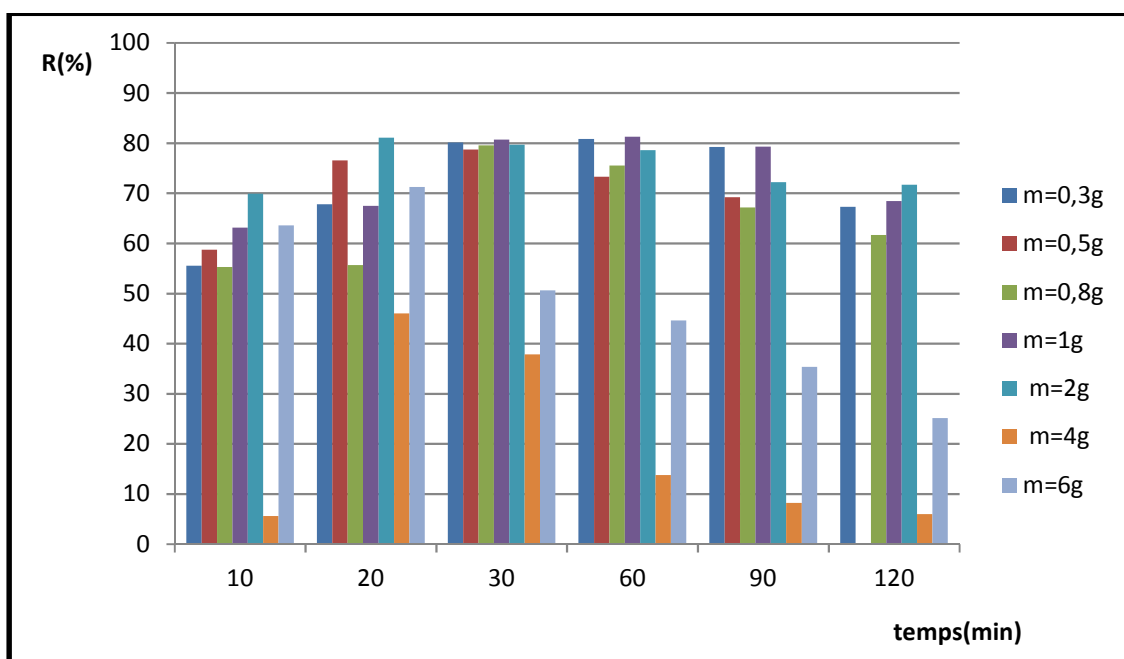
L'expérimentation a permis de réaliser l'adsorption du BC sur le charbon actif en poudre.

L'objectif principal de telles expériences est l'optimisation des différents paramètres de l'adsorption qui sont, à savoir la masse du charbon actif, la vitesse d'agitation, le temps d'agitation et l'influence du pH et de la concentration initiale du colorant.

### V.1. Optimisation des paramètres influençant l'adsorption:

#### V.1.1. Optimisation de la masse:

La plupart des charbons actifs ayant des propriétés alcalines, la concentration de cette boue de charbon ne doit pas être trop élevée afin d'éviter que le carbonate de calcium ne précipite et n'obstrue les conduites d'amenée. La recherche de la masse optimale (minimale nécessaire) pour adsorber un polluant donné, est alors une étape primordiale à toute étude sur l'adsorption.



**Figure V.1:** La variation du rendement d'élimination du BC en fonction du temps et de la variation de la masse.

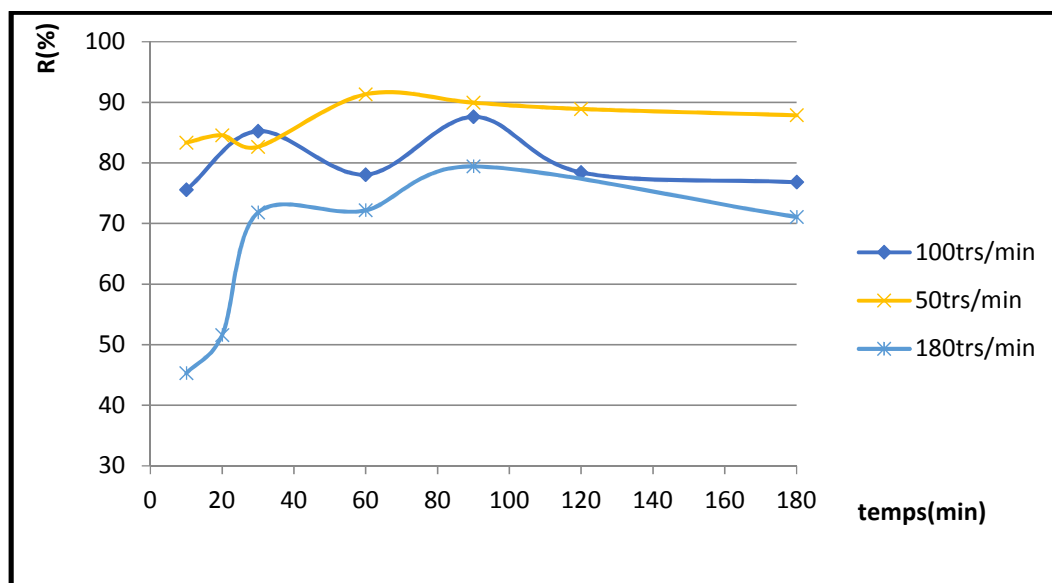


On remarque sur les courbes de la **figure V.1** qu'une masse optimale de 1 g de charbon actif en poudre est suffisante pour atteindre le meilleur rendement et avoir une adsorption efficace. Cette masse de charbon actif de 1 g est aussi la masse prise habituellement dans plusieurs recherches, comme par exemple pour [1,44].

On constate également l'efficacité de ce charbon actif par la plus faible quantité de masse utilisée :  $m = 0,3$  g qui a déjà un bon rendement de **80,83 %** à  $t = 60$  min.

Par contre pour les masses supérieures à 2 g (4 g et 6 g), on observe ainsi une diminution rapide du rendement d'élimination du BC. Cette dégradation du rendement peut être justifiée par la diminution des sites d'adsorption (saturation) avec l'augmentation de la masse.

### V.1.2. Optimisation de la vitesse d'agitation:

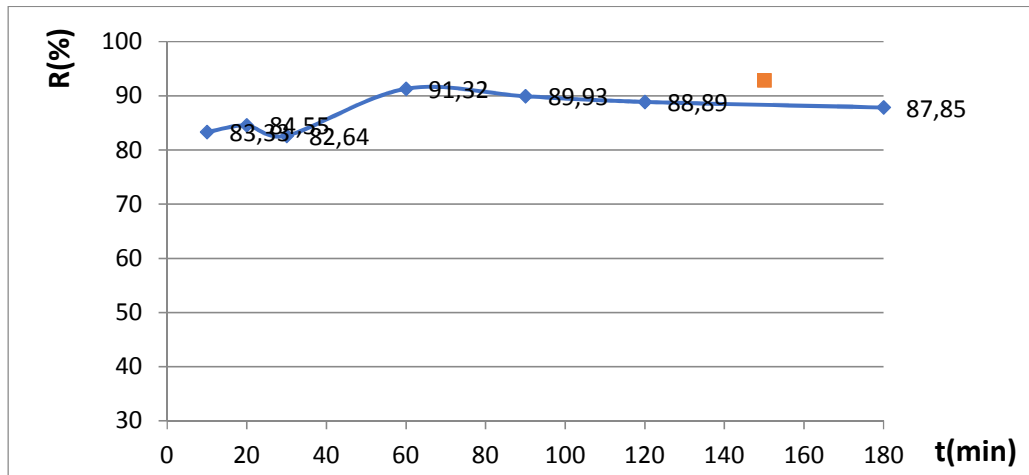


**Figure V.2:** La variation du rendement d'élimination du BC en fonction du temps et de la variation de la vitesse d'agitation.

Les résultats obtenus montrent sur la **figure V.2** que l'augmentation progressive de la vitesse d'agitation fait diminuer le rendement d'élimination du BC ; la faible vitesse d'agitation 50 tours/min favorise le bon contact adsorbant/ adsorbat.

### V.1.3. Optimisation du temps d'agitation (temps de contact):

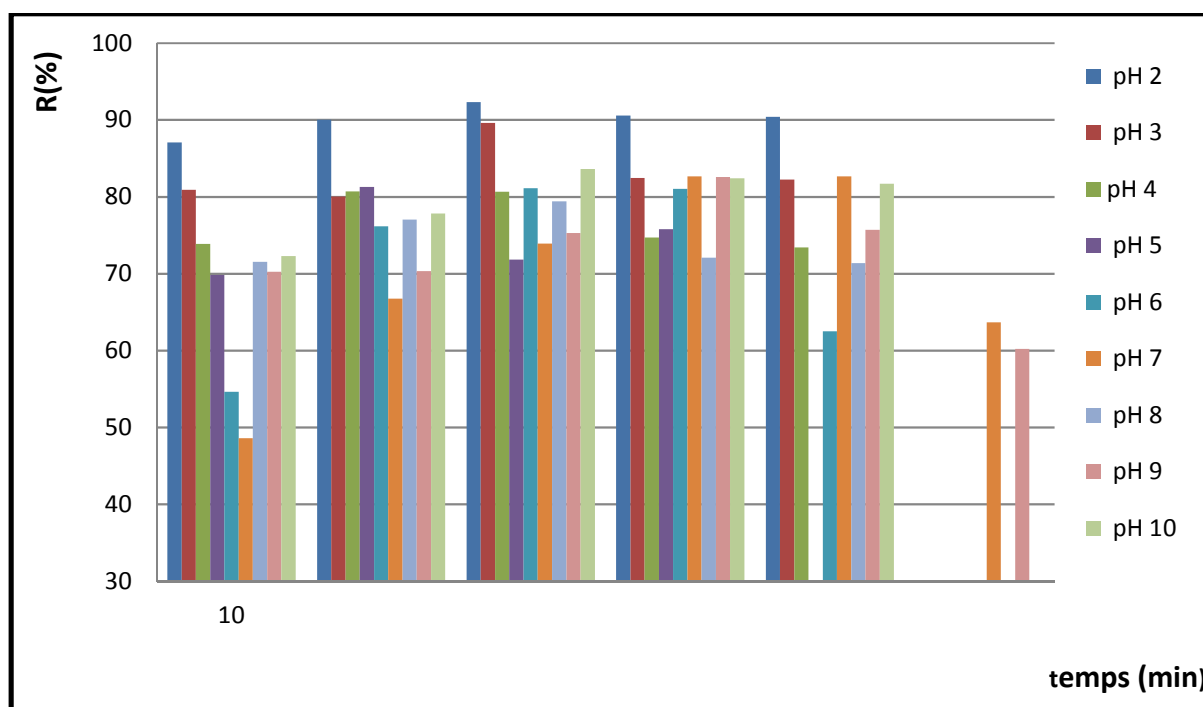
Le temps d'équilibre est l'un des facteurs les plus importants du point de vue économique pour les systèmes de traitement des eaux pollués [45].



**Figure V.3:** L'efficacité de l'adsorption en fonction du temps de contact.

Les résultats obtenus ont montré que le temps de contact optimal peut être estimé à 60 minutes, correspondant au rendement maximal de **91,32%**, par contre l'accroissement de ce temps jusqu'à 180 minutes ne conduit pas à une amélioration significative du rendement d'élimination du BC. Alors on peut en déduire que le temps de contact ou temps d'équilibre adéquat se trouve au-delà de 60 minutes et pour s'assurer du bon choix du temps de contact on a opté alors pour 120 minutes d'agitation. Ce qui justifie bien, la prise en compte de ce temps de contact pour les autres expériences d'adsorption.

#### V.4. Influence du pH:



**Figure V.4:** Influence du pH sur l'adsorption.

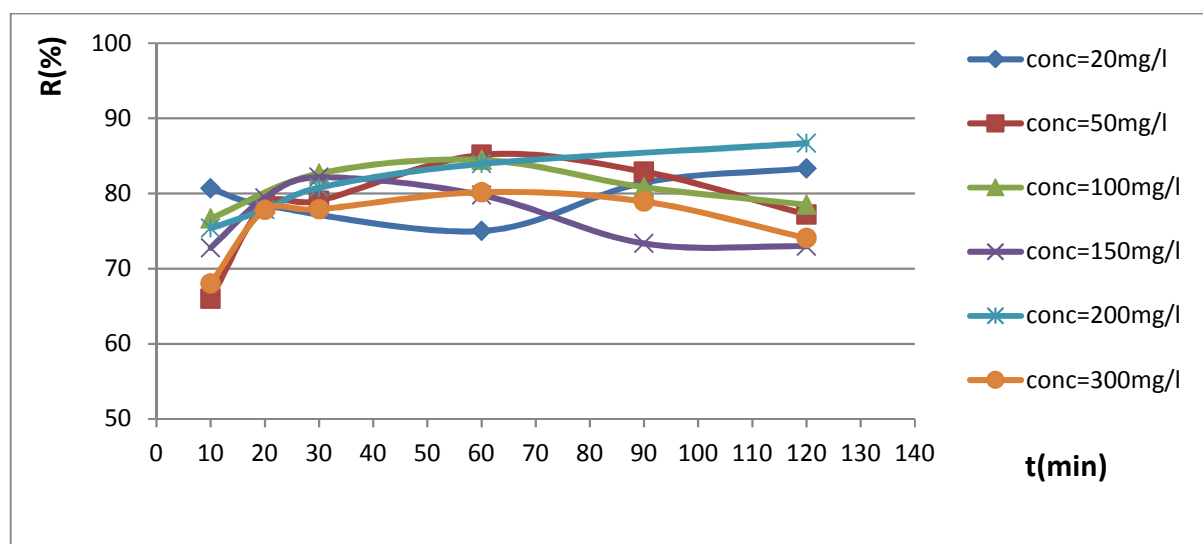
L'influence du pH sur l'adsorption du BC montre qu'à pH acide (pH=2) (**figure V.4**), on a de meilleurs résultats d'élimination du BC avec un rendement de **92,31%**. Ce résultat est observé aussi dans d'autres études [**29, 46, 44**].

Les résultats présentés sur **les figures V.4** montrent que le temps d'équilibre peut être estimé à 60 minutes.

Au-delà de ce temps, nous pouvons observer une diminution du rendement d'élimination du BC en solution, caractérisé par une désorption du polluant par le charbon actif en poudre quelque soit le pH de traitement.

La diminution du rendement d'élimination du BC au-delà du temps d'équilibre peut être expliquée par la saturation des sites d'adsorption de CAP. Ceci rejoint l'étude de [**44**].

### V.5. Influence de la concentration initiale du colorant:



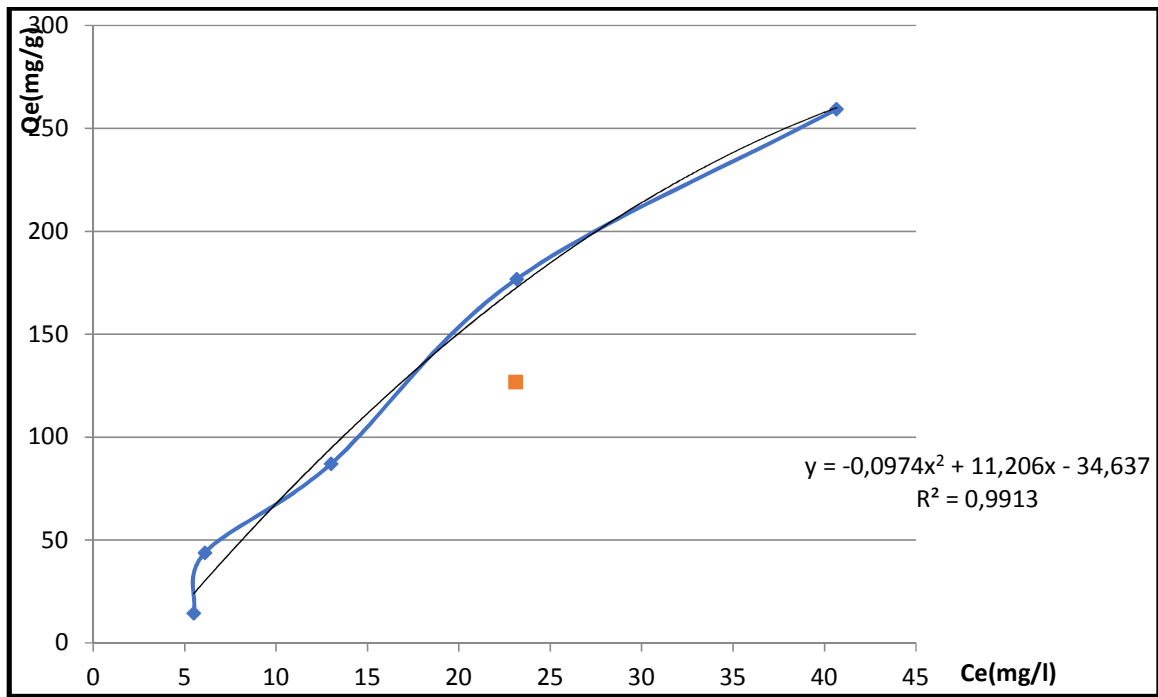
**Figure V.5:** Influence de la concentration initiale du BC.

Il apparait clairement sur la **Figure V.5** que la concentration de 50mg/l a le meilleur rendement d'élimination du BC.

D'après les courbes, on observe qu'une concentration initiale élevée du colorant soit une valeur supérieure à 50 mg/l, n'a pas assez d'influence sur les rendements d'élimination du BC.

### V.4. Etude de l'isotherme d'adsorption:

La courbe de l'isotherme est présentée sur la **figure V.6**. Son allure ressemble à celle de type L d'après la classification de [47] pour l'adsorption liquide-solide.



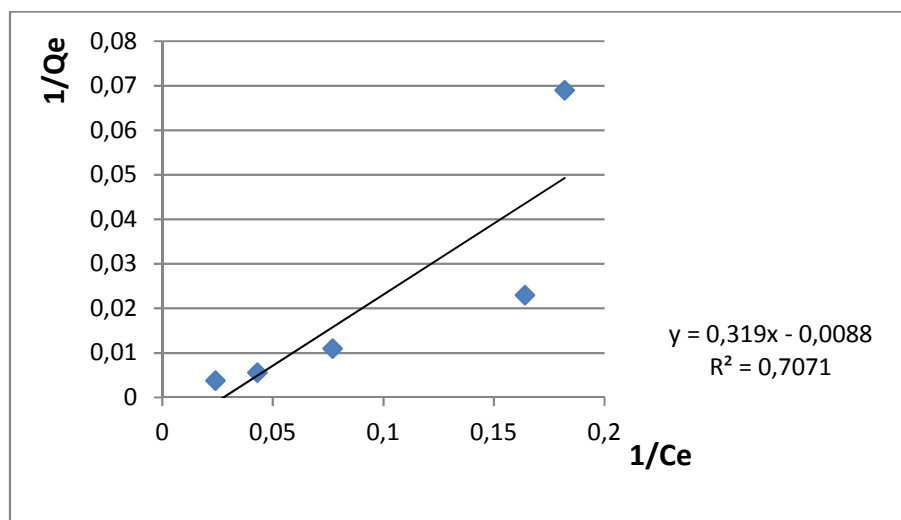
**Figure V.6:** L'isotherme d'adsorption du BC.

#### V.4.1. Modélisation de l'isotherme d'adsorption:

On a voulu appliqué les modèles de Langmuir et de Freundlich, afin d'étudier le pouvoir adsorbant de nos échantillons.

Les valeurs des constantes des deux modèles ainsi que les coefficients de régression sont présentés dans les **Tableaux V.1** et **V.2**.

##### ✓ Modèle de l'isotherme de Langmuir:



**Figure V.7:** Linéarisation du modèle de Langmuir.

L'équation de Langmuir étant:

$$Q_e = \frac{Q_m K C_e}{1 + K C_e} \quad \text{V.1}$$

La linéarisation de l'équation donne [20]:

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K Q_m} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m} \quad \text{V.2}$$

Y = A X + B, avec

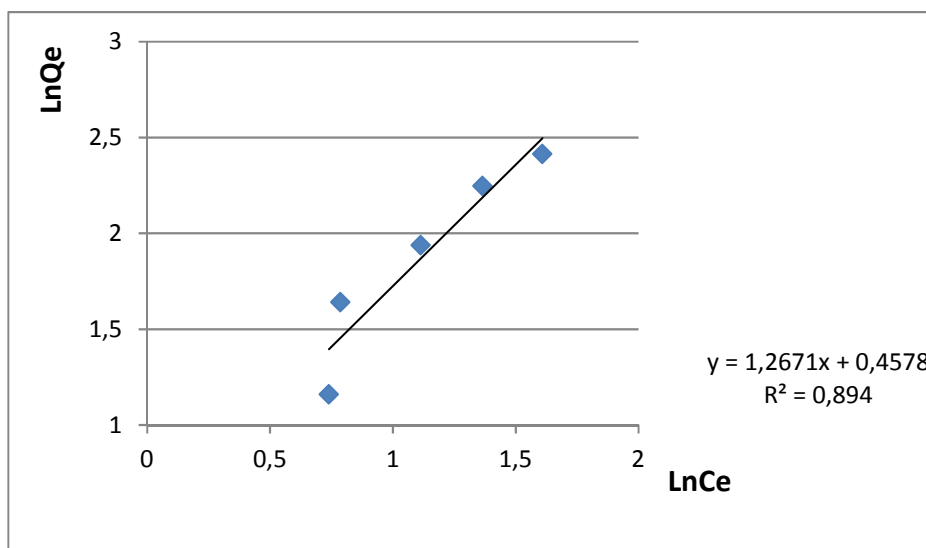
$$\left\{ \begin{array}{l} A = \frac{1}{K Q_m} \\ B = \frac{1}{Q_m} \end{array} \right.$$

En portant  $1/Q_e$  en fonction de  $1/C_e$  on obtient une droite de pente  $1/KQ_m$  et d'ordonnée à l'origine  $1/Q_m$ , cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation  $Q_m$  et  $K$ .

$Q_m$	$K$	$r^2$
113,64	0,028	0,84

**Tableau V.1:** Les valeurs des constantes du modèle de l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

✓ Modèle de l'isotherme de Freundlich:



**Figure V.8:** Linéarisation du modèle de Freundlich.

L'équation de Freundlich étant:

$$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n_f}} \quad \text{V.3}$$

La transformée linéaire est obtenue par passage en échelle logarithmique [20]:

$$\text{Ln } Q_e = 1/n_f \text{ Ln } C_e + \text{Ln } K_f \quad \text{V.4}$$

$$Y = A X + B, \text{ avec } \begin{cases} A = 1/n_f \\ B = \text{Ln } K_f \end{cases}$$

En traçant **Ln Q<sub>e</sub>** en fonction de **Ln C<sub>e</sub>** on obtient une droite de pente **1/n<sub>f</sub>** et d'ordonnée à l'origine **Ln K<sub>f</sub>**, cela permet la détermination des deux paramètres de l'équation **1/n<sub>f</sub>** et **Ln K<sub>f</sub>**.

1/n <sub>f</sub>	LnK <sub>f</sub>	r <sup>2</sup>
1,27	0,46	0,94

**Tableau V.2:** Les valeurs des constantes du modèle de l'isotherme d'adsorption de Freundlich.

Au vu des deux dernières **figures (V.7 et V.8)**, on remarque que les valeurs du coefficient de détermination **R<sup>2</sup>** ne sont pas identiques. La valeur du coefficient de corrélation **r<sup>2</sup>** (dans le **tableau V.2**) du modèle de Freundlich est plus proche de 1 que celui de Langmuir (dans le **tableau V.1**).

D'après la pente **1/n<sub>f</sub>** qui est un indice de l'intensité de l'adsorption ou de l'hétérogénéité de la surface. Une situation telle que **1/n<sub>f</sub> < 1** est la plus commune et correspond à une isotherme de Langmuir normale de type L où l'adsorption s'avère favorable, la capacité d'adsorption augmente et de nouveaux sites d'adsorption apparaissent [48].

Visiblement, on peut dire que le modèle de l'isotherme de Freundlich s'approche plus des résultats expérimentaux.

## Conclusion:

Les résultats de L'étude expérimentale obtenues dans ce chapitre montrent que :

- ✓ La masse optimale de 1 g/l de charbon actif en poudre est suffisante pour parvenir au meilleur rendement d'élimination du BC.
- ✓ Le rendement d'élimination du BC n'est pas assez influencé par la concentration initiale élevée du colorant (pour des valeurs supérieures à 50 mg/l), ni par la vitesse d'agitation (pour des valeurs supérieures à 50 tours/min).
- ✓ L'équilibre de la cinétique d'adsorption du BC sur le CAP a été atteint à 120 minutes d'agitation (temps de contact).
- ✓ L'adsorption du BC sur CAP est influencée par la variation du pH, et les meilleurs rendements sont obtenus à pH acide (pH=2).

L'adsorption du BC sur le charbon actif en poudre est décrite par les deux modèles d'isothermes : Freundlich et Langmuir, et le modèle de l'isotherme de Freundlich semble le plus satisfaisante.





**Conclusion générale**

## CONCLUSION:

Dans cette étude, nous avons opté pour le procédé d'adsorption sur le charbon actif qui est considéré comme l'une des techniques de traitement les plus utilisées pour enlever de l'eau les composés organiques telles que les colorants notamment le bleu de cibacète (BC). Le choix du matériau adsorbant dans ce type de traitement est primordial ; c'est le bon choix qui conditionne l'efficacité et la rentabilité du procédé.

Les résultats obtenus dans cette étude, ont montré l'efficacité du charbon actif par la plus faible quantité de masse utilisée :  $m = 0,3$  g qui a déjà un rendement d'élimination du BC bien acceptable de 80,83 % à  $t = 60$  min, ainsi nous pouvons conclure que le charbon actif en poudre utilisé présente un pouvoir adsorbant important pour l'élimination du Bleu de Cibacète. Cette étude a mis en évidence l'influence du pH sur l'adsorption du BC, avec de meilleurs résultats de rendement d'élimination du BC de 92,31 % à  $\text{pH} = 2$ . Une masse optimale de charbon actif en poudre de 1 g, une concentration initiale en colorant de 50 mg/l et une vitesse d'agitation de 50 tours/min sont suffisantes pour parvenir au meilleur rendement d'élimination du BC de 91,32 %, avec temps de contact optimal de 120 minutes d'agitation. Les résultats ont été modélisés par les deux modèles d'isothermes : Langmuir et Freundlich, ce qui nous a montré que le modèle d'isotherme de Freundlich est le plus représentatif avec une valeur du coefficient de corrélation  $r^2 = 0,94$  et l'indice de l'intensité de l'adsorption (la pente) :  $1/n_f = 1,27$  proche de 1.

Bien que l'adsorption sur le charbon actif en poudre soit efficace, cette méthode est éliminée par des boues et des rejets finaux en nombreux produits chimiques. Il serait certainement intéressant de mettre au point des traitements alternatifs, notamment par voie biologique, qui ont l'avantage d'être moins coûteux et moins polluants.



## **Références bibliographiques**

## **Références Bibliographiques:**

**[1]: O. Baghriche, K. Djebbar, T. Sehili, (2008).** « Etude cinétique de l'adsorption d'un colorant cationique (vert de méthyle) sur du charbon actif en milieu aqueux ». Sciences & Technologie A – N°27, Volume-B, pp. 57-62.

**[2]: F. Sakr, A. Sennaoui, M. Elouardi, M. Tamimi, A. Assabbane, (2015).** « Etude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus (Adsorption study of Methylene Blue on biomaterial using cactus) ». *ISSN : 2028-2508. J. Mater. Environ. Sci. 6 (2) pages : 397-406.*

**[3]: Nait Merzoug Nesrine, (2014).** «Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques ». Mémoire de Magister département, Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras, Département des Sciences de la matière page : 6-7.

**[4] : Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir-Ghedira et Ridha Mosrati, (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*, vol. 24, n° 3, pages : 209-238.

**[5] : Lamri Naidja, (2010).** « Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption ». Mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine (ALGERIE), Département de Chimie, page : 7-8.

**[6]: Benaissa Asma, (2012).** « Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle ». Mémoire de Master, Université Abou Bakr Balkaid, Département de Chimie, Tlemcen – Algérie, pages : 14-36.

**[7]: Seyewetz A. et P. Sisley, (1896).** *Chimie des matières colorantes artificielles*. Libraires de l'Académie de Médecine, Paris Masson, France.

**[8]: Venkataraman K., (1901).** *The analytical chemistry of synthetic dyes*. National Chemistry Laboratory, Poona, India ISBN 0-471-90575-5.

**[9]: Pandey, A., P. Singh ET L. Iyengar, (2007).** Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *Int. Biodeter. Biodegrad.*, vol. 59, pages: 73-84.

**[10]: Zollinger H., (1987).** *Colour chemistry-synthesis, properties and applications of organic dyes and pigments*. VCH Publishers Inc., New York, NY, USA.

**[11] : Barka N., (2008).** « L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO<sub>2</sub> supporté ». Thèse de Doctorat, Université Ibn zohr Agadir (Maroc), N°65, pages 40-65.

**[12] : Korichi Assia, (2013).** « Traitement d'une eau chargée en colorant de l'industrie des textiles par le procédé d'électrocoagulation comparaison avec la coagulation-floculation ». Mémoire de Master, Université de Blida 1(ALGERIE), Département des Sciences de l'Eau et Environnement. Page: 8-9.

**[13]: Chowdhury A K., SARKAR A D., Bandyopadhyay A., (2009).** Rice husk ash as a low cost adsorbent for the removal of methylene blue and Congo red in aqueous phases, *Clean*, Vol 37, pages 581–591.

**[14] : Bouafia S., (2010).** « Dégradation des colorants textiles par procédés d'oxydation avancée basée sur la réaction de fenton, application à la dépollution des rejets industriels ». Thèse de Doctorat, Université PARIS-EST, pages : 75-101.

**[15]: Rais A., Rajeev K., (2010).** Adsorptive removal of congo red dye from aqueous solution using bael shell carbon, *Applied Surface Science*, Vol 257, pages 1628–1633.

**[16]: Han R., Ding D., XU Y., Zou W., Wang Y., Li Y., ZOU L., (2008).** Use of rice husk for adsorption of Congo red from aqueous solution in column mode, *Bioresour. Technol*, Vol 99, pages 2938–2946.

**[17]: Norseth T., (1981).** The carcinogenicity of chromium, *Environ. Health prospect*, Vol 15, pages 255-270.

**[18]: S.R. Shirsath, A.P. Patil, R. Patil, J. B. Naik , P.R. Gogate. S.H. Sonawane., (2013).** 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, pages: 914–923.

**[19]: M.P. Tavlieva, S. D. Genieva, V.G. Georgieva, L.T. Vlaev., (2013).** Kinetic study of brilliant green adsorption from aqueous solution onto white rice husk ash. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 409, pages: 112–122.

**[20] : Benamraoui Faouzia, (2014).** « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture ». Mémoire de Magister, Université FERHAT ABBAS SETIF-1 UFAS (ALGERIE), Département de génie des procédés, page: 7-11.

**[21]: M. Ghaedi, H. Hossainian, M. Montazerzohori, A. Shokrollahi. F. Shojaipour, (2011).** A novel acorn based adsorbent for the removal of brilliant green. *Desalination*, Vol. 218, pages: 226-233.

**[22]: A.R. Dincer, Y. Guner, N. Karakaya, (2006).** Coal-based bottom ash (CBBA) waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution, *Colloid and interface science*, Vol. 293, pages: 303-311.

**[23]: Boulal Abdessalam, Bouachema Mustapha, (2014).** « Etude cinétique de la dégradation d'un colorant par oxydation ». Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF(ALGERIE), Département de Génie Chimique. Pages : 13-15.

**[24]: Moutaouakkil M., Y. Zeroual, F.Z. Dzayri, M. Talbi, K. Lee, M. Blghen (2004).** Decolorization of azo dyes with *Enterobacter agglomerans* immobilized in different supports by using fluidized bed bioreactor. *Current Microbiol.*, Vol. 48, pages: 124–129.

**[25]: T.A. Kurniawant, G.Y.S. Chan, W.-H. LO, S. Babel, (2006).** Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. *Science of the Total Environment*, Vol. 366, page: 409-426.

**[26]: F. Ramade, « Dictionnaire encyclopédique des pollutions ». Editions Ediscience International, Paris, 2000, 110.**

**[27]: Madani Med amine, (2014).** « Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) sur différents adsorbants (charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite) ». Mémoire de Master, Université Mohamed Khaider – Biskra(ALGERIE), Département de Chimie industrielle. Page : 21-22.

**[28]: Mme ANSER M., (2016).** Chapitre II : Adsorption et charbon actif. Cours de Master 1: Traitement des eaux, Université de Blida 1(ALGERIE), Département des Sciences de l'Eau et Environnement.

**[29]: W. J. Masschelein, (1992), traduit par H. Chevolet, (1996).** Processus unitaires du traitement de l'eau potable. CEBEDOC. Page : 345-358.

**[30]: Julien Omlin, Lydie Chesaux, (2010).** « Évaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines ». Rapport sur l'Analyse d'une STEP, Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANNE. Pages: 9-18.

**[31]: Najm I.N., Snoeyink V.L., Richard Y. (1991).** Effect of initial concentration of a SOC in natural water on its adsorption by activated carbon, Journal of the American Water Works Association, Vol 83 N<sup>o</sup>8, pp.57-63.

**[32]: C.H. Giles, D. Smith, J. (1974).** Colloid. Interf. Sci. Vol 47, pages : 755-765.

**[33]: Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris, (2006).** « Traitement de potabilisation des eaux de surface : adsorption sur charbon actif ». Conférence, page: 2-21.

**[34]: W. Stumm, J.J. Morgan, (1981).** Aquatic chemistry. Wiley inter-science J., Wiley & sons, Ed.2.

**[35]: Benefield L. D, Judkins J.F., Weand B. L., Prendice Hall Inc, (1982).** Englewood Cliff (N.J) 07632, p: 510.

**[36]: Memento technique de l'eau. 9ème Edition (1989).**

**[37]: L.M. Sun et F. Meunier, (2007).** Adsorption: aspects théoriques Techniques de l'ingénieur. J 2 730.

**[38]: YAHIAOUI Nouara, (2012).** « Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxapatite et charbon actif ». Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou (ALGERIE).

**[39]: Messemeche Faiza, (2014).** « Mémoire de Master en Chimie fondamentale et appliquée Intitulé : Etude qualitative et quantitative de l'adsorption d'un colorant organique sur le charbon actif ». Université Med Khider Biskra (ALGERIE), Département des Sciences de la Matière. page : 22-23.

**[40]: Ruiti Manel et Bechir Ben Thayer, (2015).** « Elimination du fer par procédés d'oxydation et d'adsorption sur charbon de pin d'alep ». International Journal of innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324, Vol.10, No. 2, pp 694-700.

**[41]: C. Djilani, R. Zaghdoudi, A. Modarressi, M. Rogalski, F. Djazi, (2012).** « Elimination of organic micropollutants by adsorption on activated carbon prepared from agricultural waste ». Chem. Engin. J. 189-190, pages : 203-212.

**[42]: Bellir K., (2002).** Caractérisation de la rétention du cuivre par des matériaux naturels utilisés dans l'imperméabilisation des décharges, Université Mentouri Constantine (ALGERIE), Mémoire de Magister.

**[43]: Monarrez I. M., (2004).** Rétention de pesticides dans les sols des dispositifs tampon, enherbés et boisés rôle des matières organiques. Thèse de Doctorat, institue agronomique Paris – Grignon.

**[44]: ABD El Kader Ouakouak, Leila Youcef, Samia Achour, (2013).** « Elimination des nitrates par adsorption sur charbon actif en poudre ». Courrier du Savoir – N°17, pp. : 93-97.

**[45]: M. Ghaedi, H. Hossainian, M. Montazerozohori, A. Shokrollahi. F. Shojaipour, (2011).** A novel acorn based adsorbent for the removal of brilliant green. Desalination, Vol. 218, pages: 226-233.



**[46]: Annadurai G., R-S Juang., D-J Lee., (2002).** « Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions, J. Hazard. Mater ». Vol. B 92, pages: 263–27

**[47]: C.H. Gilles, T.H. Mac Ewan, S.N. Nakhwa, D.J. Smith, Studies in adsorption. Part XI, (1960).** «A system of classification of solution adsorption isothermes, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and measurements of specific areas of solids», Journal of Chemical Society, Vol. 10, pages: 3973-3993.

**[48]: Hasnain Isa M., Lang L.S., Faridah A.H., Asaari, Hamidi A., Aziz, Azam Ramli N., Jaya Paul A., Dhas, (2007).** *Dyes and pigments* 74 446.



**Annexe**

**Annexe I:** Matériels et produits utilisés



Verreries



Balance électrique



Jar-test



PH-mètre



Spectrophotomètre



Centrifugeuse

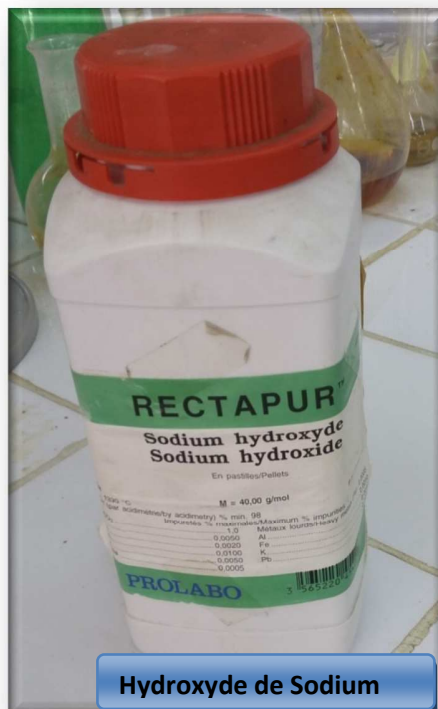


Agitateur magnétique

Bleu de cibacète

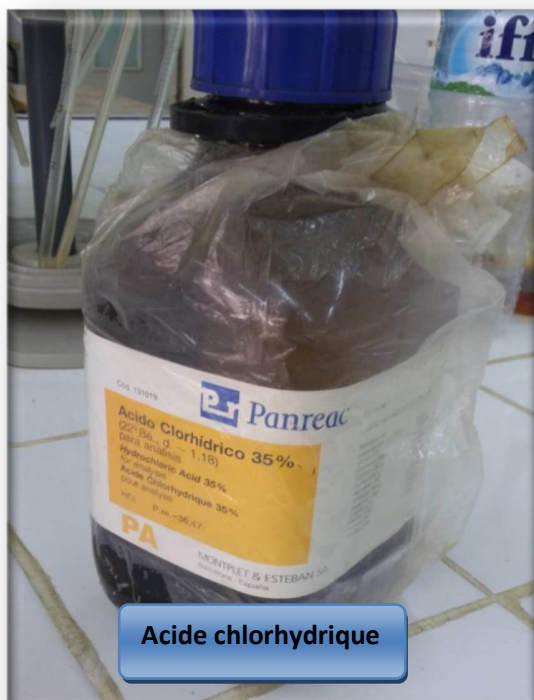


RECTAPUR<sup>TM</sup>  
Sodium hydroxyde  
Sodium hydroxide



Hydroxyde de Sodium

Acide chlorhydrique



Charbon actif en poudre

