

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



UNIVERSITE AHMED DRAIA

جامعة أحمد دراية- أدرار

-ADRAR-

Année / 2022

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en

Chimie Option : Chimie de l'Environnement

## Thème

**Elimination d'un colorant textile par un biosorbant naturel**

Présenté Par :

*Mlle. Rahma AMMAR*

*et*

*Mlle Safia BENHOSNI*

Devant le jury composé de:

**Dr.ARROUSSI Abdelaziz**

Encadreur

MCA

Université Ahmed Draïa-Adrar

**Dr.HABCHI Abdelmadjid**

Président

MCB

Université Ahmed Draïa-Adrar

**Dr GAAFOUR Hafida**

Examinateur

MCB

Université Ahmed Draïa-Adrar

**Année Universitaire 2021/2022**



## شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): عروسي عبدالعزيز

المشرف مذكرة الماستر الموسومة — : Elimonation d'un colorant textile par un biosorbant naturel

من إنجاز الطالبة: بن حسني صفية

و الطالبة: عمار رحمة

كلية: العلوم والتكنولوجيا

القسم: علوم المادة

التخصص: كيمياء المحيط

تاريخ تقييم / مناقشة: 07/06/2022

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين  
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.  
ويامكنهم إيداع النسخ الورقية (02) والأليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

AROUSS

ادرار في :.....16/06/2022



ملاحظة: لا تقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.



# Remerciement

JE TIENS TOUT D'ABORD À REMERCIER MON  
ENCADREUR, MONSIEUR **DR. ARROUSSI ABDELAZIZ**  
MAÎTRE DE CONFÉRENCES CLASSE A À  
L'UNIVERSITÉ D'ADRAR POUR TOUTE LA  
DILIGENCE QU'IL M'A CONSENTIE TOUT AU  
LONG DE L'ÉLABORATION DE CE MÉMOIRE PAR  
SES ENCOURAGEMENTS ET SES PRÉCIEUX  
CONSEILS.

ENFIN, JE VOUDRAIS ÉGALEMENT  
REMERCIER MON AMIE **MERABTI KHADIDJA** DE  
NOUS AVOIR AIDÉ AVEC UNE NOTE ET TOUS LES  
AMIS DU LABORATOIRE DE CHIMIE ET DE  
L'ENVIRONNEMENT POUR LES MERVEILLEUX  
JOURS PASSÉS ENSEMBLE, ET EN PARTICULIER  
**BOUKHETACHE ISHAK**. ET À TOUS CEUX QUI ONT  
CONTRIBUÉ À CE TRAVAIL DE PRÈS OU DE LOIN

# Dédicace

أهدي هذا العمل المتواضع  
إلى أمي الغالية رمز العطاء والتضحية ...  
إلى أبي سندي ودليلي في الحياة...  
إلى خطيبي ب.ج ....  
إلى إخوتي وأخواتي وزوج أختي د. غيتاوي توهامي على  
دعمهم لي ....  
إلى صديقاتي لدعمهم الذي لا ينسى في ذكرى كل هذه السنوات  
التي قضيناها معا ...  
إلى صديقتي ورفيقة عملي عمار رحمة ....  
إلى أستاذي الفاضل عروسي عبد العزيز  
بن حسني صافية



# Dédicace

أهدي هذا العمل

إلى الراحل والباقي في قلبي أبي...

إلى أمي الغالية التي علمتني كيف يكون الصبر طريق

النجاح...

إلى خالي وعمتي الغاليين...

إلى إخواني وأخواتي شقائق النعمان...

إلى خطيبي ب.م...

لكل عائلتي الكريمة التي ساندتني ولا تزال...

إلى صديقتي في الحياة والعمل "بن حسني صافية"

كما نتوجه لخالص الشكر إلى الأستاذ "عروسي عبد

العزيز"

إلى أعز أصدقائي

عمار رحمة

## الملخص

التلوث هو أحد الموضوعات الأولى التي ناقشها العلماء في مجال التلوث ، وخاصة مياه الصرف الصحي الغنية بالصبغة. في هذا العمل ، نهتم بالأصباغ العضوية الاصطناعية ، حيث تمت معالجتها بعملية الامتزاز على مادة ماصة طبيعية وهي مخلفات نخيل التمر. تمت دراسة تأثير معاملات التشغيل المختلفة مثل (وقت التلامس ، كمية المادة الماصة ، تركيز الصبغة الأولى ، درجة حموضة المحلول ، درجة حرارة المحلول). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من الامتزاز الحيوي للصبغة نتائج جيدة مع قدرة امتزاز قصوى بلغت 497 مجم / جم - بالنسبة لأوراق النخيل الجافة وبتلات الأوراق .

**الكلمات المفتاحية:** مياه الصرف الصحي , الاصباغ , الامتزاز , الكفاف , الفدام

## RESUME

La pollution est l'un des premiers sujets abordés par les scientifiques dans le domaine de la pollution, en particulier les eaux usées riches en colorants. Dans ce travail, nous nous intéressons aux colorants organiques synthétiques, où ils ont été traités par le processus d'adsorption sur un biosorbant naturel qui est un déchet de palmier dattier. L'effet de divers paramètres opératoires a été étudiés tels que (le temps de contact, la quantité de matériau d'absorption, la concentration initiale du colorant, le pH de la solution, la température de la solution).

Les résultats obtenus à partir de la bioadsorption du colorant SBR ont montré des bons résultats, avec une capacité d'adsorption maximale de 497 mg/g pour palm sèche et pétiole .

**Mots clés :** eau usée, colorant, adsorption, biosorbant, PTL, PLS.

## ABSTRACT

Pollution is one of the first topics discussed by scientists in the field of pollution, especially dye-rich wastewater. In this work, we are interested in synthetic organic dyes, where they have been treated by the process of adsorption on a natural biosorbent which is a date palm waste. The effect of various operating parameters was studied such as (contact time, amount of absorbent material, initial dye concentration, solution pH, solution temperature).

The results obtained from the biosorption of the SBR dye showed good results, with a maximum adsorption capacity of 497 mg/g for dry palm and petiole.

**Keywords:** wastewater, dyes, adsorption, biosorbant, PTL, PLS.

## Liste des figures

Figure I- 1: Structure générale des colorants azoïques.....	14
Figure I- 2: Structure d'un colorant anionique .....	16
Figure I- 3: Para-aminoazobenzène.....	17
Figure I- 4: Structure générale un colorant rouge(le lycopéne) de code E160d.....	17
Figure I- 5: Structure générale un colorant bleu patenté V de code E131 .....	18
Figure I- 6: Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure .....	25
Figure I- 7: Modélisation de l'adsorption selon Langmuir .....	27
Figure I- 8: Représentation graphique de l'isotherme de freundlich .....	28
Figure I- 9: Modèle d'adsorption en multicouche selon Freundlich.....	28
Figure II-1: Schéma de principe du spectrophotomètre. ....	32
Figure III-1: Courbe d'étalonnage du rouge télon lumière. ....	33
Figure III-2 :Effet le temps de contact (Pétiole et palm sèche).....	37
Figure III- 3 :Effet de la masse de biosorbant (PTL et PLS) sur l'adsorption du SBR.....	38
Figure III- 4: Courbe de point de charge nulle de PTL . ....	39
Figure III-5: Courbe de point de charge nulle de PLS. ....	39
Figure III-6: Effet de PH sur l'adsorption de SBR pour (PTL et PLS) . ....	40
Figure III-7: Effet de la C0 du colorant sur la quantité d'adsorption par PTL et PLS.....	41
Figure III-8: Effet de la température sur l'adsorption du SBR. ....	42
Figure III-9: Variation de LnKd en fonction de 1/T(k-1) "PTL" .....	43
Figure III-10: Variation de LnKd en fonction de 1/T (k-1) "PLS" .....	43
Figure III-11: L'isothermes d'équilibre d'adsorption(PTL) .....	45
Figure III-12: L'isothermes d'équilibre d'adsorption(PLS).....	45
Figure III-13: Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du SBR par PTL, selon le modèle de Langmuir.....	47
Figure III-14: Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du SBR par PLS, selon le modèle de Langmuir.....	47
Figure III-15: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PTL selon le modèle de Freundlich .....	48
Figure III-16: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PLS selon le modèle de Freundlich .....	49

Figure III-17: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PTL selon le modèle de Tekmin.....	50
Figure III-18: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PLS selon le modèle de Tekmin.....	50



## Liste des tableaux

Tableau I- 1: Principaux types de pollution des eaux continentales, nature des produits polluants et leurs origines (12) .....	8
Tableau I- 2: Distinctions entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique (58). .....	23
Tableau II-1 Les valeurs d'étalonnages du SBR .....	33
Tableau III-1: Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du SBR surPTL.....	44
Tableau III-2 : Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du SBR sur PLS.....	44
Tableau III-3: Les paramètres des essais de modélisation des trois isothermes d'adsorption du PTL par le SBR .....	51
Tableau III-4: Les paramètres des essais de modélisation des trois isothermes d'adsorption du PLS par le SBR .....	51

## LISTE ABREVIATIONS

- CE** : Conductivité Électrique
- DBO<sub>5</sub>** : Demande Biochimique en Oxygène
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène
- MES** : Les matières en Suspension
- MMS** : Les matières minérales
- MO** : Matière organique
- MVS** : Les matières volatiles en suspension
- UV-visible** : Ultra-violet visible
- PCN** : Le point de charge nulle
- PH** : Le potentiel d'Hydrogène
- PTL** : Pétiole
- PLS** : Palm sèche
- SBR** : Colorant industriel

# SOMMAIRE

## LISTE DES FIGURE

## LISTE DES TABLEAUX

## LISTE ABREVIATIONS

<b>INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>CHAPITRE I : Etudes bibliographiques</b>	<b>4</b>
<b>I. La pollution</b>	<b>5</b>
<b>I.1.Types de pollution</b>	<b>5</b>
<b>I.1.1.pollution de l'air</b>	<b>5</b>
<b>I.1.2.Pollution de sol</b>	<b>5</b>
<b>I.1.3.La pollution de l'eau</b>	<b>6</b>
<b>I.1.3.1. Classification de la pollution de l'eau</b>	<b>7</b>
<b>I.1.3.1.1. La pollution domestique</b>	<b>7</b>
<b>I.1.3.1.2. La pollution industrielle</b>	<b>7</b>
<b>I.1.3.1.3. La pollution agricole</b>	<b>7</b>
<b><i>I.1.3.2.Caractéristiques des eaux usées</i></b>	<b>8</b>
<b>I.1.3.3.Diffèrent polluants</b>	<b>12</b>
<b>I.1.3.3.1. Métaux lourds</b>	<b>12</b>
<b>I.1.3.3.2. Pesticides</b>	<b>12</b>
<b>I.1.3.3.3. Colorants</b>	<b>13</b>
<b>II. Colorants</b>	<b>13</b>
<b>II.1. Définition</b>	<b>13</b>
<b>II.2. Type des colorants</b>	<b>14</b>
<b>II.2.1. Les colorants synthétiques</b>	<b>14</b>
<b>II.2.2.Les colorants naturels</b>	<b>14</b>

<b>II.3. Classification des colorants</b>	<b>14</b>
<b>II.3.1. Classification chimique</b>	<b>14</b>
<b>II.3.1.1. Les colorants azoïques</b>	<b>15</b>
<b>II.3.1.2. Les colorants anthraquinoniques</b>	<b>15</b>
<i>II.3.1.3. Les colorants indigoïdes</i>	<i>15</i>
<b>II.3.1.4. Les colorants xanthènes</b>	<b>16</b>
<b>II.3.1.5. Les colorants phtalocyanines</b>	<b>16</b>
<i>II.3.1.6. Les colorants nitrés et nitrosés</i>	<i>16</i>
<b>II.3.2. Classification tinctoriale</b>	<b>16</b>
<b>II.3.2.1. Les colorants acides ou anioniques</b>	<b>16</b>
<b>II.3.2.2. Les colorants basiques ou cationiques</b>	<b>17</b>
<b>II.4. Utilisation des substances colorées</b>	<b>17</b>
<b>II.5. L'impact des rejets textiles sur l'environnement</b>	<b>19</b>
<b>II.6. L'impact de la santé humaine</b>	<b>19</b>
<b>II.7. Méthodes de traitement des eaux</b>	<b>20</b>
<b>II.7.1. Méthodes chimiques</b>	<b>20</b>
<b>II.7.2. Méthodes biologiques</b>	<b>20</b>
<i>II.7.2.1. Traitement aérobie</i>	<i>20</i>
<i>II.7.2.2. Traitement anaérobie</i>	<i>21</i>
<b>II.7.3. Méthodes physiques</b>	<b>21</b>
<b>II.7.3.1. Filtration sur membrane</b>	<b>21</b>
<b>II.7.3.2. Coagulation – floculation</b>	<b>22</b>
<b>II.7.3.3. Adsorption</b>	<b>22</b>
<b>III. L'adsorption</b>	<b>22</b>
<b>III.1. Définition</b>	<b>22</b>

<b>III.2.Types d'adsorption</b>	<b>22</b>
<b>III.3. Principaux facteurs influençant sur l'adsorption</b>	<b>24</b>
<b>III.3.1. Concentration :</b>	<b>25</b>
<b>III.3.2. Température</b>	<b>25</b>
<b>III.3.3. pH</b>	<b>25</b>
<b>III.3.4. Masse de l'adsorbant</b>	<b>25</b>
<b>III.3.5 L'adsorbat</b>	<b>25</b>
<b>III.4.Les isothermes d'adsorption</b>	<b>26</b>
<b>III.5.Modélisation de l'isotherme d'adsorption</b>	<b>27</b>
<b>III.5.1. Modèle de Langmuir</b>	<b>27</b>
<b>III.5.2. Modèle de Freundlich</b>	<b>28</b>
<b>III.5.3. Modèle de Temkin</b>	<b>30</b>

## **CHAPITRE II : Partie expérimentale**

<b>I.Les méthodes d'analyse</b>	<b>32</b>
<b>I.1.Spectrophotomètre UV-visible</b>	<b>32</b>
<b>I.1.1.Principe</b>	<b>32</b>
<b>II. Produit et matériaux</b>	<b>33</b>
<b>II .1.Les produits utilisés</b>	<b>33</b>
<b>II.2.Les matériels</b>	<b>33</b>
<b>III. Les modes opératoires</b>	<b>34</b>
<b>III.1. Préparation des solutions de colorant</b>	<b>34</b>
<b>III.2 Préparation de mélange SBR avec les deux supports (Pétioles et palm sèche)</b>	<b>35</b>
<b>III.3.Détermination du point de charge nulle de sortant</b>	<b>35</b>

## **CHAPITRE III : Resultats et discussion**

<b>I. Caractérisation par UV-visible</b>	<b>38</b>
<b>I.1.Effet du temps de contact</b>	<b>38</b>
<b>I.2.Effet de la masse biosorbant</b>	<b>39</b>

<b>I.3.Effet du PH</b>	<b>39</b>
<b>I.3.1.Détermination du point de charge nulle de biosorbant(PTL et PLS)</b>	<b>39</b>
<b>I.3.2.Détermintaion de PH optimale</b>	<b>41</b>
<b>I.4.Effet de la concentration initiale du colorant</b>	<b>42</b>
<b>I.5.Effet de la température</b>	<b>43</b>
<b>I.5.1Détermination des paramètres thermodynamiques</b>	<b>43</b>
<b>II.Modélisation de l'isotherme d'adsorption</b>	<b>46</b>
<b>II.1.Modèle de Langmuir</b>	<b>47</b>
<b>II.2.Modèle de Freundlich</b>	<b>48</b>
<b>II.3.Modèle de Temkin</b>	<b>49</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>52</b>
<b>Référence bibliographique</b>	<b>54</b>

# **INTRODUCTION**

Avec le développement rapide de l'industrie moderne, la contamination de l'environnement est devenue de plus en plus grave, où de nombreux déchets industriels ont cruellement pollué l'environnement naturel qui était très adéquat à l'habitation humaine dans le passé. Les rejets polluants restent un problème sérieux dans plusieurs pays du monde. Pour l'élimination du potentiel de perturbation environnementale dans une perspective de développement durable, la dépollution des eaux et la valorisation des résidus industriels sont des objectifs importants des pays industrialisés et des pays en voie de développement. Pour y parvenir, des technologies de traitement doivent être développées, permettant ainsi de préserver l'environnement [1]

La protection de l'environnement est devenue ainsi un enjeu économique et politique majeur. Tous les pays du monde sont concernés par la sauvegarde des ressources en eau douce, soit parce qu'ils manquent d'eau, soit parce qu'ils la polluent [2]

La présence de matières colorantes dans les rejets textiles peut constituer une menace sérieuse pour l'environnement quand ils sont rejetés sans traitement préalable dans la biosphère. Le dysfonctionnement et la corrosion des installations industrielles peut également générer d'autres pollutions (métalliques, organométalliques et surtout organiques) qui engendrent des effets néfastes sur la flore et la faune aquatique, mais aussi sur les populations humaines et animales qui consomment les eaux non traitées. Un traitement sera donc indispensable pour éliminer ces matières néfastes à l'environnement.[3]

Une gamme des techniques conventionnelles de traitement pour l'élimination des colorants réactifs sont étudiées, comme : les membranes, la boue activée, la coagulation chimique, l'adsorption et les procédés de photo dégradation. [4]

L'utilisation de la méthode d'adsorption pour traiter des eaux usées est un traitement alternatif attractif et efficace pour l'élimination des colorants, des odeurs et des polluants organiques, notamment lorsque les adsorbants utilisés ne sont pas coûteux et aisément acquis [4]. L'adsorbant le plus utilisé est le charbon actif. Malgré son excellent pouvoir adsorbant, son utilisation est habituellement limitée à cause de son coût élevé.

Les recherches actuelles sont alors orientées vers des procédés de traitement de faible coût utilisant des matériaux naturels tels que les déchets agricoles.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'élimination des colorants en particulier le SBR par différents biosorbant tels que pétiole et palm sèche.

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique des colorants, des différents procédés de dépollution, des biosorbants tels que le pétiole et palm sèche.



Le deuxième chapitre consiste en la présentation des méthodes de caractérisations telles que le spectrophotomètre UV-visible.

Le troisième chapitre est consacré à l'exploitation des différents résultats expérimentaux et à leurs interprétations.

Enfin nous achevons ce travail par une conclusion générale dans laquelle sont représentées les paramètres optimaux.

**CHAPITRE I**

**ETUDE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I. La pollution**

Pollution est définie comme une augmentation de la quantité de substances sous leurs formes gazeuse, liquide ou solide, ou l'ajout d'une forme d'énergie, sonore, l'énergie thermique, la radioactivité et d'autres dans l'environnement, ce qui rend incapable d'analyser ces matériaux et cette énergie, ou de les gaspiller, de les réduire ou de les recycler, et il devient incapable de stocker des matériaux et diverses formes d'énergie sous des formes inoffensives,[5]

Et cette pollution comprend tous les matériaux qui avoir un impact négatif sur l'environnement ou les organismes vivants où vous vivez, et les principaux types de pollution peuvent être divisés en : pollution de l'eau, pollution de l'air, pollution des sols, pollution lumineuse et pollution sonore [6]

### **I.1.Types de pollution**

#### **I.1.1. Pollution de l'air**

La pollution de l'air est définie comme l'ajout de certains polluants, tels que : matières biologique, produits chimique ou particules en suspension qui ont un impact négatif sur la vie des organismes vivants dans l'atmosphère, et ces polluants à l'état liquide, gazeux ou solide, et peuvent être émis à partir de sources naturelles , ou des sources résultant de certaines activités elle cause de nombreux dommages aux cultures agricoles, en plus de provoquer de,nombreux effets négatifs pouvant affecter le milieu urbain et le milieu naturel, et elle peut causer des désagrément, ou certaine maladies aux organismes vivants, et peut conduire à la mort dans certains cas [7]

#### **I.1.2. Pollution de sol**

La pollution des sols peut être définie comme une augmentation de la proportion de produits chimiques dans le sol, la présence de substances étrangères qui ne lui appartiennent pas, ou une augmentation de la concentration de certains composants du sol par rapport à leur rapport naturel, ce qui conduit à provoquer de nombreux dommages pouvant affecter, et les sources de pollution des sols relèvent de deux sections, dont l'une comprend les sources naturelles, telles que :une augmentation dès la concentration de certains composants minéraux, qui rend le sol impur et impropre à l'usage, dangers cachés pour l'environnement ;

en raison de l'incapacité de le remarquer à l'œil nu et de l'incapacité d'évaluer la contamination d'une manière directe [8]

### **I.1.3. La pollution de l'eau**

La pollution de l'eau est toute modification physique ou chimique de la qualité de l'eau, directe ou indirecte, qui affecte négativement les organismes vivant ou rend l'eau impropre à l'utilisation requis [9]

Elle est également toute modification de s caractéristiques naturelles de l'eau par l'ajoute de substances étrangères qui la perturbent ou lui donnent une odeur, une couleur ou un goût, et les microbes peuvent être une source de pollution, ce qui en fait une source de harcèlement ou de préjudice pour les usages légitimes de la vie [10]

La pollution de l'eau est divisée en deux types :

- ***Pollution naturelle***

Elle apparaît dans le changement de température de l'eau, ou l'augmentation de sa salinité, ou l'augmentation des substances en suspension

- ***Pollution artificielle***

La pollution industrielle résulte de l'action et de l'activité humaine, et trouve sa source dans les activités humaines industrielles, de service, récréatives et autres, et dans ses utilisations croissantes de la technologie moderne et de ses diverses innovations. de la pollution industrielle : l'industrie minière, les plastiques, la pétrochimie, la construction, les transports, les pesticides, les guerres, les gaz réfrigérants, les gaz d'échappement des voitures et les cheminées d'usine.[11]

La gravité de la pollution industrielle dépend de plusieurs facteurs, notamment : la zone dans laquelle les polluants industriels sont émis ou rejetés, la période de pollution, le degré de concentration des matières polluantes, les propriétés physiques, chimiques et biologiques des matières polluantes, la sensibilité à la décomposition et à l'absorption dans le milieu environnemental dans lequel ils sont placés, le degré de toxicité pour l'homme et les autres organismes vivants. Les polluants industriels sont également divisés en trois les genres :

- Les polluants solides sont les polluants issus de nombreuses industries, comme les poussières issues de l'industrie du ciment par exemple.
- Polluants liquides tels que les solutions de produits chimiques expulsés. Usines jettent dans les cours d'eau.
- Les polluants gazeux tels que les gaz nocifs et les fumées des cheminées d'usine et des raffineries de pétrole.

### ***1.1.3.1. Classification de la pollution de l'eau***

#### **1.1.3.1.1. La pollution domestique**

Elle est généralement liée aux rejets d'eau usées, qui peuvent être de deux types :

- Les eaux usées issues de l'utilisation d'eau au quotidien (toilettes, cuisine, douche...) contiennent des déchets organiques ou de la matière fécale. Les habitations mal ou non raccordées au réseau d'assainissement collectif, peuvent ainsi engendrer une pollution bactériologique de l'eau.
- Les produits ménagers que nous utilisons sont chargés de polluants chimiques nocifs
- Pour l'environnement. Mélangés à l'eau, ils terminent dans nos canalisations ou dans la nature et engendrent une pollution chimique. Difficilement traités par les réseaux d'assainissement, les résidus de ces produits viennent enrichir les cours d'eau en substances chimiques ‘

#### **1.1.3.1.2. La pollution industrielle**

L'industrie génère des pollutions différentes selon le secteur d'activité. Les usines de papier, par exemple, utilisent de grands volumes de produits chimiques dans leurs processus de fabrication. Malgré les réglementations imposant le traitement de leurs eaux usées, certaines substances restent difficiles à éliminer et se retrouvent dans l'environnement. Les activités agroalimentaires (conserveries, coopératives...) traitent de gros volumes de matière organique, qui vient enrichir le milieu en nutriment et contribue au phénomène d'eutrophisation

#### **1.1.3.1.3. La pollution agricole**

Les pesticides et les engrais engendrent une pollution chimique. L'utilisation massive d'engrais d'origine naturelle, tel que le fumier, peut constituer une source de

pollution bactériologique. Ces substances, par le biais du cycle de l'eau, s'infiltrent ou ruissellent polluant les milieux aquatiques.

**1.1.3.2. Caractéristiques des eaux usées**

Un polluant est une substance naturelle ou issue des activités humaines qui, lorsqu'elle est présente en quantité trop importante dans l'environnement, peut avoir des effets nocifs sur les êtres vivants.

**Tableau I- 1: Principaux types de pollution des eaux continentales, nature des produits polluants et leurs origines [12]**

Type de pollution	Nature	Source
Physique		
Pollution thermique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermique
Pollution radioactive	Radio-isotopes	Installation nucléaires
Matière organique		
	Glucides, lipides, protides	Effluents domestique, agricoles, agro-alimentaires
	Ammoniac, nitrates	Elevage et piscicultures
Chimique		
Fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessive
Métaux et métalloïdes	Hg, Cd, Pb, Al, As ....	Industries, agriculture, pluies acides ...etc
Pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides	Agriculture, industries
Composés organiques de synthèse (exp : les colorants)	Nombreuses molécules	Industries
Détergents	Agents tensio-actifs	Effluents domestique
Hydrocarbures	Pétrole et dérivés	Industrie pétrolière, transports
Microbiologique		
	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains et d'élevage

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimés en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs. Ces

paramètres résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur tels que : la température, le pH, la turbidité...etc. La mesure de ces paramètres se fait au niveau des rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels.[13]

a) La température

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C .[14]

b) Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9.[13]

c)La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau.[13]

d)Les matières en suspension (MES)

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS), non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MV} \quad \text{I-1}$$

Les matières volatiles en suspension (MVS) représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids

entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau ;

Les matières minérales (MMS) représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc.

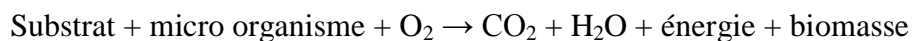
L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la réaération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène [15]

#### e) La conductivité électrique (CE)

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500  $\mu\text{Sm/cm}$ , la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire.[13]

#### f) La demande biochimique en oxygène ( $\text{DBO}_5$ )

La  $\text{DBO}_5$  comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la  $\text{DBO}_5$ . Elle se résume à la réaction chimique suivante :



#### g) La demande chimique en oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg  $\text{O}_2/\text{l}$ . La valeur du rapport  $\text{DCO}/\text{DBO}$  indique le coefficient de biodégradabilité d'un effluent, il permet aussi de définir son origine [13] Généralement la valeur de la DCO est :

$\text{DCO} = 1.5 \text{ à } 2 \text{ fois } \text{DBO}$  Pour les eaux usées urbaines ;



DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;

DCO > 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO<sub>5</sub> et la DCO est donnée par l'équation suivante :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO)/3 \quad I-2$$

#### h)La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que,  $K=DCO /DBO_5$  :

Si  $k < 1,5$  : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradable.

Si  $1,5 < K < 2,5$  : cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

Si  $2,5 < K < 3$  : les matières oxydables sont peu biodégradables.

Si  $K > 3$  : les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures ... etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, si non on applique un traitement physico-chimique.[13]

#### ***1.1.3.3.Diffèrent polluants***

##### *1.1.3.3.1. Métaux lourds*

Ce sont des éléments présents dans la nature, dont la densité est supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> qui ont des effets toxiques importants

Le poids atomique varé entre 63.55 et 200.5 grammes et ils sont appelés METAUX TOXIQUE.

La pollution par les métaux lourds est souvent causée par les activités humaines.

Les métaux lourds sont utilisés dans divers domaines tels que l'agriculture, la médecine et l'industrie.[16]

#### *1.1.3.3.2. Pesticides*

Les insecticides sont utilisés dans les domaines de l'agriculture et de la santé publique pour éliminer les ravageurs et les insectes[17]. De manière générale, l'utilisation de pesticides entraîne un déséquilibre environnemental en polluant les différents éléments de l'environnement, notamment le sol, l'eau, les plantes. Et les animaux, d'une manière difficile à rééquilibrer [18]. Il s'agit notamment des sites soumis à la contamination par les pesticides, via les eaux souterraines, les puits, les sources, les rivières, les lacs, les réservoirs et les étangs [19]. L'eau potable est contaminée par des pesticides de plus d'une manière, comprise la transmission accidentelle des zones voisines pendant le processus de pulvérisation, ou à la suite de fuites de terres qui traitent des pesticides en conjonction avec le mouvement de l'eau, ou une pollution directe se produit en utilisant des pesticides pour éliminer la rose du Nil, par exemple : qui se répand sur une page Le Nil en Egypte, et donc les résidus de pesticides, représentent un grave problème tant pour la santé humaine ; en termes d'effet sur le système respiratoire, la peau et les yeux [20]. Ou comme de structure de poissons et nocif pour les cultures ; surtout le cotonnier lorsqu'il est irrigué avec de l'eau qui a été traitée avec ces pesticides dans le cas de l'élimination de la rose du Nil, par exemple. Il est également nocif pour les animaux producteurs de café lorsqu'ils boivent de l'eau contaminée[21].

#### *1.1.3.3.3. Colorants*

Les colorants sont des composés généralement organiques, naturels ou synthétiques, qui ont la propriété de colorer durablement le support sur lequel ils sont appliqués [22] [23].

L'utilisation des colorants dans la vie humaine date de l'antiquité. Des populations primitives ont utilisé les peintures pour les décors corporels. Les anciens égyptiens et prussien ont aussi utilisé les colorants pour teindre les rupestres et les céramiques. A l'époque, les matières colorantes utilisées étaient d'origine naturelle extraites soit des végétaux comme l'indigo ou d'animaux comme le carmin qui est extrait de la cochenille. L'utilisation de ces colorants naturels s'est prolongée jusqu'à la première moitié du XIXème siècle. Après, ils ont été remplacés progressivement par les colorants synthétiques. Aujourd'hui les colorants constituent une matière de base dans

de nombreuses industries comme le textile, le cuir, le papier, le plastique, la pharmaceutique, la cosmétique...etc. [24] [25]

## **II. colorants**

### **II.1. Définition**

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 [26]. Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (380 à 750 nm). Cette absorption est favorisée par leur structure chimique comprenant des groupements chromophores (noyaux aromatiques ou hétérocycliques à doubles liaisons conjuguées) pour la couleur, et des groupements auxochromes pour assurer la solubilité du colorant dans l'eau, ou établir des liaisons efficaces avec les groupements chimiques du support à colorer. La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par les groupes chromophore. La molécule colorante étant le chromogène (l'arrangement complet d'atomes qui donne naissance à la couleur observée). Plus la facilité du groupe chromophore à donner un électron est grande et plus la couleur sera intense, l'autres groupes d'atomes du chromogène (les groupes auxochromes) peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore [27]

### **II.2. Type des colorants**

#### ***II.2.1. Les colorants synthétiques***

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.

#### ***II.2.2.les colorants naturels***

Les premiers employés ont été d'origine minérale (terres colorées) ; et depuis que l'homme a réussi à maîtriser les techniques des tissages, il s'est servi de teintures d'origine végétale ou animale [28]

Les colorants sont constitués de groupes chromophores responsables de la coloration de la molécule et de groupes auxochromes intervenant dans la solubilité du colorant et pouvant apporter des nuances à la couleur de base [29] A ces deux éléments s'ajoutent des structures aromatiques conjuguées telles que les cycles benzéniques, pérylènes... [30]

Le groupe chromophore grâce à sa capacité à absorber la lumière dans le visible donne la couleur au colorant tandis-que le groupe auxochrome est chargé d'approfondir cette couleur [31]

### II.3. Classification des colorants

Les colorants synthétiques sont classés selon leur structure chimique et leur méthode d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, ...etc.).

#### II.3.1. Classification chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore.

##### II.3.1.1. 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. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes [32],[33] Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories : les colorants basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant nonioniques insolubles dans l'eau. Il est estimé que 10-15 % des quantités initiales sont perdues durant les procédures de teinture et sont évacués sans traitement préalable dans les effluents [32]

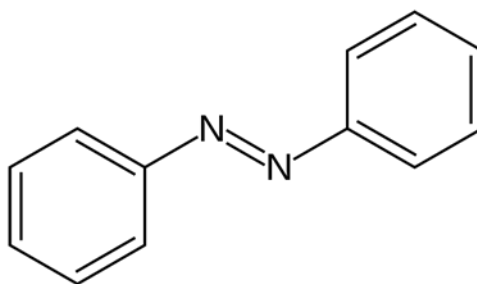


Figure I- 1: Structure générale des colorants azoïques

##### II.3.1.2. Les colorants anthraquinoniques

Les colorants anthraquinoniques sont d'un point de vue commercial, les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène, montre que

Le chromophore est un noyau qu'ionique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou aminé. Ces produits sont utilisés pour la coloration des fibres polyester, acétate et triacétate de cellulose.

#### ***II.3.1.3. Les colorants indigoïdes***

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues séléniés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicales [34] ,[35]

#### ***II.3.1.4. Les colorants xanthènes***

Les colorants xanthènes sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence. Leur propriété démarqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression [36]

#### **II.3.1.5. Les colorants phtalocyanines**

Ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.) [37] .

#### ***II .3.1.6. Les colorants nitrés et nitrosés***

Forment une classe de colorants très limité en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés) [38] ,[39].

### ***II.3.2. 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 type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes.

### II.3.2.1. Les colorants acides ou anioniques

Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates, 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 groupements amino des fibres textiles.

C.I. Acide Red 27

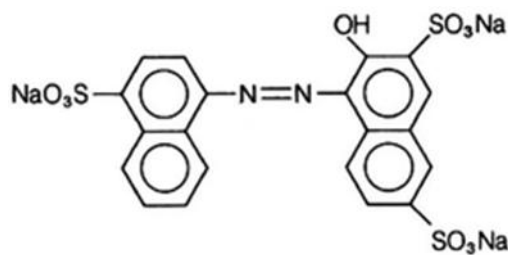


Figure I- 2: Structure d'un colorant anionique

### II.3.2.2. Les colorants basiques ou cationiques

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes.

## II.4. Utilisation des substances colorées

Les exemples que nous venons de voir soulignent le fait que la couleur de certains colorants est susceptible de varier selon certains paramètres. D'autres applications de colorants cherchent au contraire à avoir une couleur stable, peu sensible à l'environnement.

Dans ce cadre-là, on peut citer les peintures. Elles sont constituées de pigments liés par de l'huile (peinture à l'huile), de la gomme arabique (gouache) ou des polymères (peintures industrielles). Comme pigments, nous avons par exemple le dioxyde de titane. La couleur blanche qu'il produit est appréciée car elle ne jaunit pas à la lumière. Il y a aussi les oxyde de fer (rouge), des oxydes de chrome (vert), etc.

D'autre part, le para-aminoazobenzène est une molécule organique de couleur jaune, employée notamment pour les encres d'imprimantes, pour les fumigènes ou les laques. Elle a la structure suivante

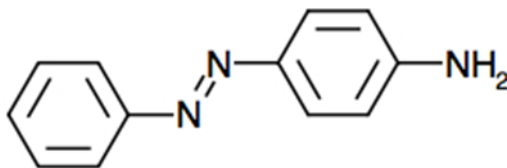


Figure I- 3: Para-aminoazobenzène

Après, une autre application concerne l'industrie agroalimentaire. En effet, afin de donner à des aliments un aspect plus attractif, des colorants alimentaires sont quelquefois ajoutés. Ils sont référencés avec un code commençant par E1.

Par exemple, le lycopène est un colorant rouge, de code E160d. Cette molécule est présente naturellement dans la tomate, le pamplemousse, la pastèque. Elle est responsable de leur coloration rouge.

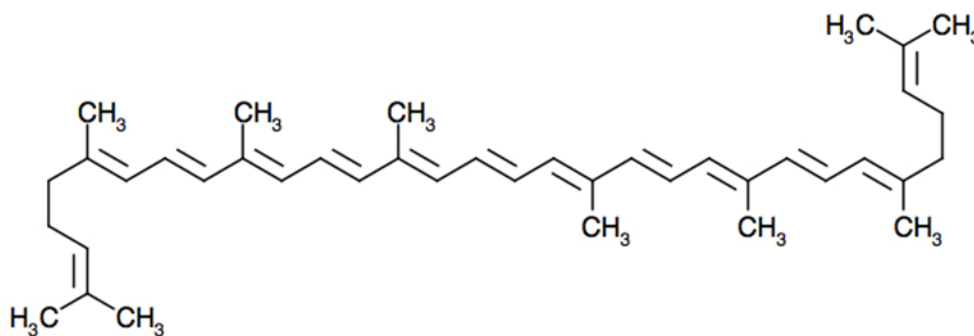


Figure I- 4: Structure générale d'un colorant rouge(le lycopène) de code E160d

Il existe d'autres colorants d'origine naturelle, comme le bêta-carotène E160a (orange), la curcumine E100 (jaune).

D'autres sont artificiels. Ils sont dans l'ensemble plus stables, moins coûteux, et n'ont quelquefois pas d'équivalent naturel.

On a par exemple le bleu patenté V, de code E131

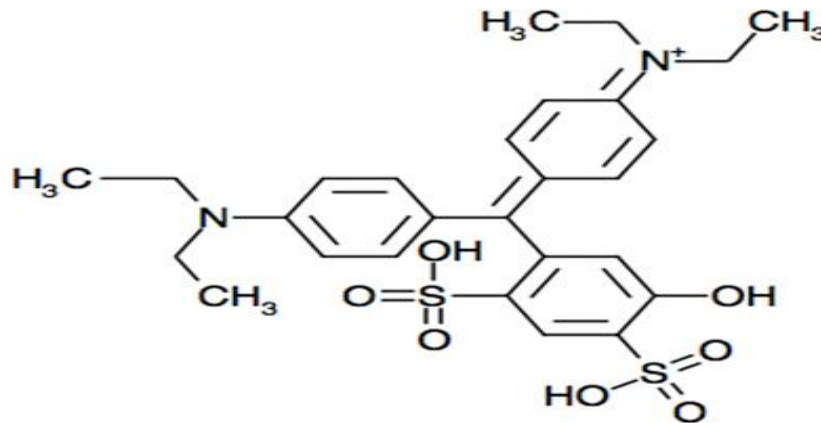


Figure I- 5: Structure générale d'un colorant bleu patenté V de code E131

Le choix d'un colorant alimentaire se fait évidemment en fonction de la couleur recherchée, éventuellement par mélange (synthèse soustractive). Mais, l'effet sur l'organisme est aussi à étudier. Si certains colorants sont sans action biologique, d'autres peuvent se révéler bénéfiques (bêta-carotène). Mais il existe aussi des colorants reconnus comme nocifs ou potentiellement allergisants (comme le rouge cochenille E124). [40]

## II.5. L'impact des rejets textiles sur l'environnement

Actuellement, les rejets de l'industrie du textile sont lourdement chargés en colorants. Ces derniers sont souvent utilisés en excès pour améliorer la teinture ; de ce fait les eaux de rejet se trouvent fortement concentrées en colorants dont la faible biodégradabilité rend les traitements biologiques difficilement applicables, ce qui constitue une source de dégradation de l'environnement. Plusieurs techniques ont été employées pour l'élimination des colorants des effluents industriels.[41]

## II.6. L'impact de la santé humaine

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés [42] , En effet, des chercheurs [43] ,ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermatites. 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 [42] ,Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermatites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes (chelite 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 [43]

## **II.7. Méthodes des traitements des eaux**

Le traitement des rejets textiles, compte tenu de leur hétérogénéité de composition, conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitement assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives. La première étape consiste à éliminer la pollution insoluble par l'intermédiaire de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage...) et/ou de traitements physiques ou physico-chimiques assurant une séparation solide - liquide. Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles d'après se divisent en trois types :

### **II.7.1. Méthodes chimiques**

Dans la littérature, les techniques d'oxydation chimiques sont généralement appliquées (I) pour le traitement des organiques dangereux présents en faibles concentrations, (II) en prétraitement avant des procédés biologiques, (III) le traitement d'eaux usées chargées de constituants résistants aux méthodes de biodégradation et (IV) en post-traitement pour réduire la toxicité aquatique. [44]

Les deux réactifs les plus souvent énumérés pour ce type de traitement sont  $H_2O_2$  et  $Cl_2$ . Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant fort et son application pour le traitement des polluants organiques et inorganiques est bien établie [45]. Mais l'oxydation seule par  $H_2O_2$  n'est pas suffisamment efficace pour de fortes concentrations en colorant [46] ont proposé de traiter les colorants azoïques par hypochlorure de sodium mais même si la molécule initiale est détruite, les halogènes sont susceptibles de former des trihalométhanes cancérigènes pour l'homme avec les sous-produits de dégradation [47].

### **II.7.2. Méthodes biologiques**

Par épuration biologique des eaux, on entend la décomposition des polluants organiques dans l'eau par les microorganismes. Les procédés biologiques se partagent en deux catégories : les traitements aérobies en présence d'oxygène et anaérobies sans oxygène.

#### ***II.7.2.1. Traitement aérobie***

Dans une unité biologique constituée d'un bassin de boue activée, les polluants sont décomposés par des bactéries aérobies et autres microorganismes en une boue qui sédimente. Si ces techniques sont adaptées à un grand nombre de polluants organiques,

elles ne sont pas suffisamment efficaces pour les rejets textiles. De nombreuses classes de colorants telles que les azoïques, les colorants acides (à cause des groupes sulfonés) et les colorants réactifs y sont récalcitrants [48].

#### ***II.7.2.2. Traitement anaérobie***

A l'inverse de la biodégradation aérobie, la digestion anaérobie des composés organiques s'effectue en l'absence d'oxygène et forme du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau. C'est un procédé efficace pour le traitement de déchets très chargés en DCO et le méthane formé peut être utilisé comme énergie de chauffage. Les conditions de réduction dans la digestion anaérobie sont adaptées à la décoloration des colorants azoïques, mais une minéralisation complète est impossible dans ce type de procédé [49]

### **II.7.3. Méthodes physiques**

#### ***II.7.3.1 Filtration sur membrane***

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse. L'effluent passe à travers une membrane semi-perméable qui retient en amont les contaminants de taille supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméat purifié et un concentré qui reçoit les impuretés organiques. Parmi les quatre types de procédés, la nanofiltration et l'osmose inverse sont les plus adaptés à la réduction partielle de la couleur et des petites molécules organiques [50], mais l'osmose inverse reste la plus répandue [51]. La nanofiltration s'applique surtout au traitement des bains de teinture de colorants réactifs en agissant comme un filtre moléculaire tandis que la microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une "membrane écran" [52]

L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de DCO et des solides en suspension [53], et ne se montre réellement efficace qu'en combinaison avec la coagulation/floculation.

Ces procédés limités dans leurs applications, nécessitent des investissements importants en capitaux [52] et le retraitement du concentré est jusqu'à 6 fois plus cher que celui de l'effluent originel.

### ***II.7.3.2 coagulation - floculation***

Sous le terme de coagulation - floculation, on entend tous les processus physico-chimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en fine suspension sont transformés par des floculants chimiques en espèces plus visibles et séparables (les floes). Les floes formés sont ensuite séparés par décantation et filtration puis évacués. Les coagulants inorganiques tels que l'alun donnent les résultats les plus satisfaisants pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants dispersés, de cuve et au soufre, mais sont totalement inefficace pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques [54],[55] Par ailleurs, la coagulation - floculation ne peut être utilisée pour les colorants fortement solubles dans l'eau. D'importantes quantités de boue sont formées avec ce procédé : leur régénération ou réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires.

### ***II.7.3.3. 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 [56]

## **III.L'adsorption**

### **III.1.Définition**

C'est un phénomène physico-chimique par lequel une espèce chimique peut s'accumuler à la surface d'un solide. 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 autant 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. La nature de la surface adsorbant va jouer un rôle essentiel dans ce phénomène. Si correspond aux sites adsorbants à la surface du corps solide et A les espèces adsorbants dissoutes dans l'eau (adsorbat), ces sites vont être occupés par les espèces adsorbants selon la réaction suivante :



### III.2.Types d'adsorption

L'adsorption peut être classée en fonction du type de liaison entre les molécules adsorbées, les atomes ou les ions avec la surface du matériau adsorbant et la chaleur qui accompagne le processus d'adsorption en deux types :

#### a. Physisorption :

Elle résulte des forces de Van Der Waals. La molécule adsorbée est fixée sur un site spécifique et peut se déplacer librement à l'interface. 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) [57]

#### b. Chimisorption

Elle résulte d'une interaction chimique entre l'adsorbant et l'adsorbat. Elle conduit à la formation, entre la surface du solide et les molécules adsorbées, de liaisons covalentes ou électrovalences du même type que celles qui lient entre eux les atomes d'une molécule. Les molécules chimisorbées ne peuvent pas dans ce cas, bouger librement à la surface. Elle génère de fortes énergies d'adsorption et est favorisée par les températures élevées.

**Tableau I- 2: Distinctions entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [58].**

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	5 Kcal/mole environ	10 Kcal/mole environ
Température de processus	Relativement basse	Elevée
Nature de liaison	Physique (Vander Waals)	Chimique
La désorption	Facile	Difficile
Spécificité	Processus non spécifique	Processus très spécifique
La cinétique	Très rapide	Lente
Couches formées	Mono ou multicouches	Uniquement monocouche

### III.3. Principaux facteurs influençant sur l'adsorption

Un grand nombre de paramètres et de facteurs sont susceptibles d'avoir une influence sur le processus d'adsorption du soluté en phase liquide, desquels nous citons :

### III.3.1. Concentration

Pour de faibles concentrations de produit a dissous, on observe en général, que le taux d'adsorption en fonction de concentration de substance dissoute suit la loi de Freundlich

Cette loi ne s'applique plus à des concentrations élevées et on observe alors que fréquemment qu'avec l'accroissement de la concentration, l'adsorption passe par un maximum, puis décroît pour devenir négative [59]

### III.3.2. Température

L'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique), alors que l'adsorption chimique demande des températures plus élevées (phénomène endothermique). Ce qui nécessite de fixer la température du processus dès le départ. En pratique, il n'y a pas de modification significative dans l'intervalle 5-20°C [60]

### III.3.3. pH

L'influence du pH est liée à la libération de protons  $H^+$  par le matériau et le milieu, créant ainsi de nouveaux sites d'échanges et la formation de nouvelles espèces chimiques en solution [61].

### III.3.4. Masse de l'adsorbant

La capacité d'adsorption est d'autant plus grande que la masse de l'adsorbant dans la solution est importante. Du fait du coût élevé des adsorbants, le choix d'un rapport liquide–solide optimal est recommandé. [62]

### III.3.5 L'adsorbat

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont déterminantes et jouent un rôle primordial lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant. La structure moléculaire est l'un des principaux paramètres qui influence la rétention des adsorbats. Plus la structure moléculaire est volumineuse plus sa rétention par certaines phases solides est difficile. Par ailleurs, l'adsorption des solutés est conditionnée par la composition de la solution puisqu'en présence simultanée de plusieurs espèces génère une concurrence vis-à-vis des sites d'adsorption surtout pour celles qui possèdent une structure similaire. [62]

### III.4. Les isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption exprime la quantité adsorbée par unité de masse de l'adsorbant ( $Q_e$ ) en fonction de la concentration dans la phase liquide à l'équilibre ( $C_e$ ). L'IUPAC a répertorié cinq types d'isothermes dans le cas de l'adsorption de molécules en phase gaz. [63]

Tandis que Giles et Smith (1974) ont répertorié quatre dans le cas de l'adsorption de molécules en phase liquide : les isothermes de type L, S, C et H dont les allures sont présentées à la Figure I-6 [64]

Les isothermes les plus communes sont les isothermes de type L et H. Elles sont souvent modélisées par les modèles de Langmuir et Freundlich.

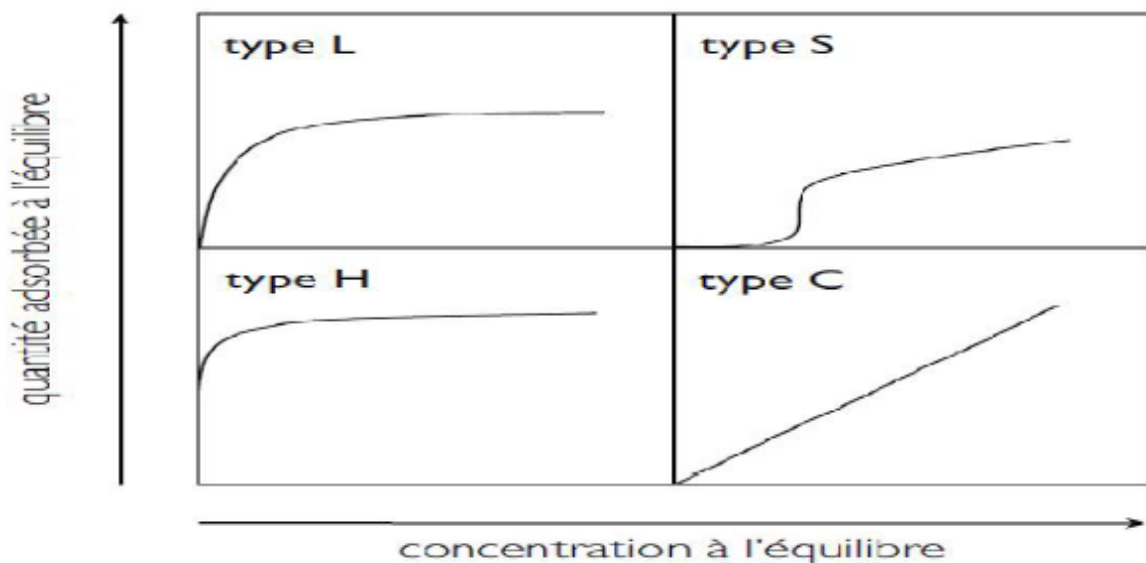


Figure I- 6: Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure

Le calcul de la capacité maximale d'adsorption est effectué à partir de modèles mathématiques élaborés par Langmuir, Freundlich, Dubinin Redushkevich, Temkin, Frumkin,.... etc.

$Q_e$  est le paramètre retenu par Langmuir en vue de quantifier la capacité maximale d'adsorption d'un matériau. Compte tenu de ce modèle de Langmuir est l'un des plus utilisés,

$Q_e$  a été retenu dans cette étude en tant que paramètre indicateur de la performance épuratoire des biosorbants. Sur cette base, le matériau le plus performant est celui qui présente la plus forte capacité maximale d'adsorption. La capacité d'adsorption dépend fortement des caractéristiques de l'adsorbant utilisé.

En général, la concentration de l'adsorbat retenue par l'adsorbant est calculée par la différence entre la concentration initiale du soluté  $C_0$  et la concentration finale du soluté  $C$ . La quantité du soluté adsorbé à l'équilibre  $Q_e$  est donnée par l'équation suivante (65) [65].

$$Q_e = V(C_0 - C_e) / m \quad \text{I-4}$$

Avec :

$Q_e$  : quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g ou mmol/g),

$C_0$  : concentration initiale de l'adsorbat (mg/L ou mmol/L) .

$C_e$  : concentration à l'équilibre d'adsorbat dans la phase liquide (mg/L ou mmol/L) .

$V$  : volume de la solution (L).

$m$  : masse d'adsorbant (g).

L'équilibre est généralement représenté sous forme graphique. De nombreux modèles théoriques ont été développés pour décrire l'allure de ces courbes dont les plus utilisées sont les isothermes de Langmuir, de Freundlich et BET (modèle de Brunauer, Emmett et Teller).[59]

### III.5. Modélisation de l'isotherme d'adsorption

#### III.5.1. Modèle de Langmuir

L'isotherme de Langmuir est un modèle d'adsorption monocouche très simple. Il considère une unique espèce issue de la solution adsorbée sur un unique adsorbant composée d'un nombre fini de sites d'adsorption. La relation connue sous l'appellation isotherme de

Langmuir est le plus souvent formulée par :

$$Q_e = (q_{\max} b c_e) / (1 + B C_e) \quad \text{I-5}$$

$C_e$  : concentration résiduelle du soluté à l'équilibre dans la solution (mg / l).

$Q_e$  : quantité adsorbée du soluté par unité de masse du solide à l'équilibre (mg /g).

$Q_{\max}$  : capacité maximum d'adsorption du solide (mg / g) ou capacité maximale de sorption du solide.

$b$  : constante de Langmuir est une fonction de l'énergie d'adsorption dépend de la température et croit avec la force d'interaction entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant (L /g) ou (dm<sup>3</sup>/ g).



Cette isotherme peut être généralisée à plusieurs espèces adsorbées ou à plusieurs sites d'adsorption. L'ajustement de points expérimentaux avec une relation de type Langmuir ne signifie pas forcément que les hypothèses qui sous-tendent le modèle sont satisfaites.

Il permet malgré tout de déterminer empiriquement une capacité de sorption maximale d'une surface donnée pour une espèce donnée.

La linéarisation de l'équation du modèle de Langmuir peut s'écrire sous la forme suivante :

$$C_e/Q_e = 1/(Q_{\max} \cdot b) + C_e/Q_{\max} \quad \text{I-6}$$

Le tracé de la courbe  $C_e/Q_e = f(C_e)$  permet de déterminer les valeurs de  $Q_{\max}$  et  $b$ . [66]

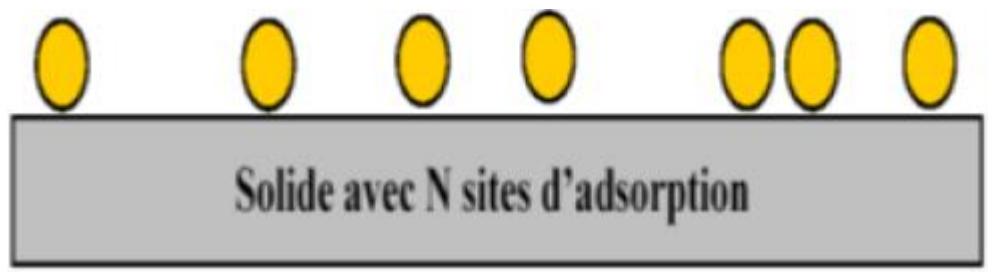


Figure I- 7: Modélisation de l'adsorption selon Langmuir

### III.5.2. Modèle de Freundlich

Le modèle de Freundlich est un modèle semi empirique qui permet de modéliser des isothermes d'adsorption sur des surfaces hétérogènes (dont les sites d'adsorption ne sont pas tous équivalents). Ce modèle est uniquement utilisable dans le domaine de faible concentration car il n'a pas de limite supérieure pour les fortes concentrations ce qui est contradictoire avec l'expérience. L'expression mathématique associée à ce modèle est donnée par l'équation (I.2).

La constante  $K_f$  est égale à la valeur de  $Q_e$  lorsque la concentration à l'équilibre est égale à 1.

Le modèle de Freundlich implique que la distribution d'énergie pour les sites d'adsorption est exponentielle. Ce modèle ne suppose pas que, lorsque la concentration augmente, le recouvrement de surface approche une valeur limite correspondant à une monocouche complète. Il est utilisé les eaux de rejet.

La représentation de  $\log Q_e$  en fonction de  $\log C_{q_e}$  est une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\log K_f$ .  $K_f$  et  $n$  sont des constantes qu'il faut déterminer pour chaque couple adsorbant/adsorbé à chaque température.

$$Q_e = K_f \cdot (C_{q_e})^{1/n} \quad \text{I-7}$$

$Q_e$  : quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption.

$C_{q_e}$  : concentration à l'équilibre de la substance dissoute dans la solution.

$K_f$ : constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption.

$n$  : constantes  $n$ , a une valeur supérieure à 1, en général compris 2 et 10.

La représentation de  $\log (Q_e)$  en fonction de  $\log (C_{q_e})$  est une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\log (K_f)$ . [65]

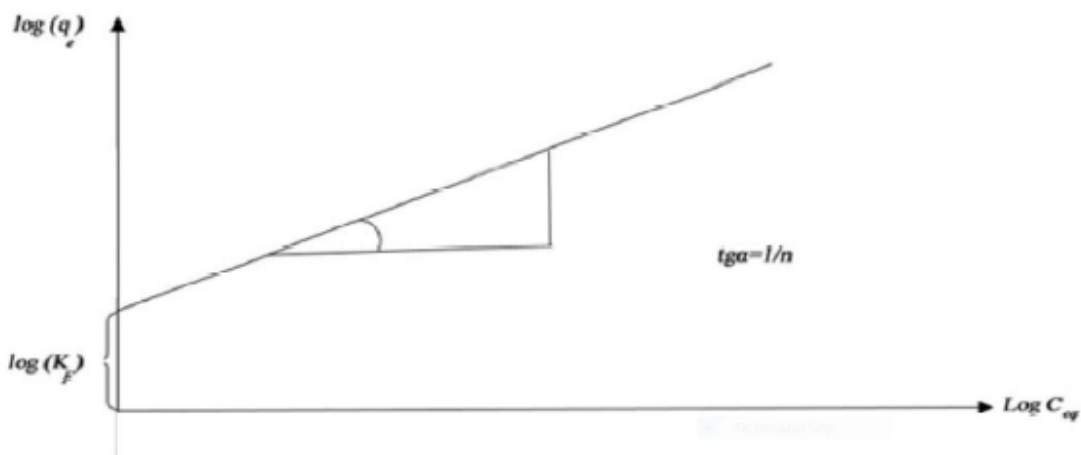


Figure I- 8: Représentation graphique de l'isotherme de Freundlich

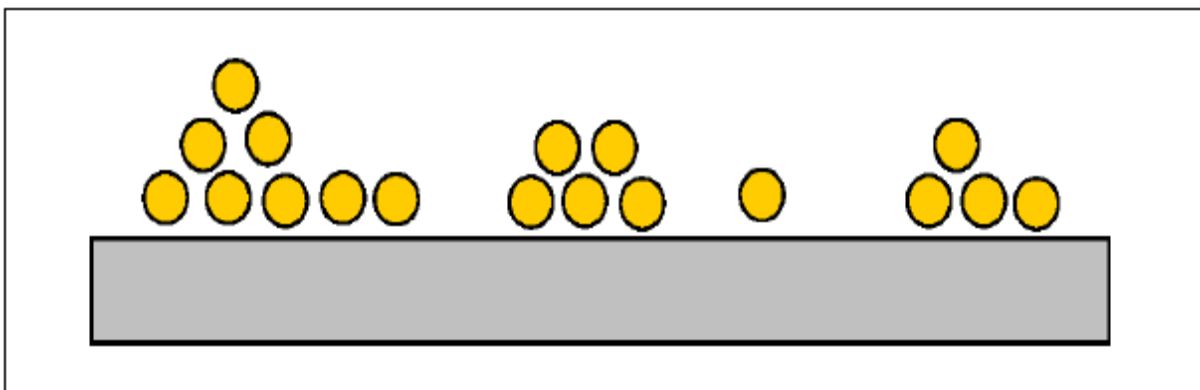


Figure I- 9: Modèle d'adsorption en multicouche selon Freundlich

### III.5.3. Modèle de Temkin

Il donne la variation de l'énergie d'adsorption, une seule équation permet d'accéder à cette variation d'énergie ( $\Delta Q$ ), c'est l'équation de Temkin, (1941) formulée dans le cas de l'adsorption des gaz sur des solides et transposée à la phase liquide par, Zarrouki, (1990).

Ce modèle suppose que la chaleur d'adsorption varie linéairement avec le degré de recouvrement  $\Theta$  ( $\Theta = Q_e/Q_m$ ). Cette décroissance linéaire peut s'expliquer sur une surface uniforme par des interactions entre molécules adsorbées. Sur une surface non uniforme, cet effet se superpose à ceux dûs à l'hétérogénéité de la surface. On a:

$$C_e/Q_e = 1/(Q_{\max} \cdot b) + C_e/Q_{\max} \quad \text{I-8}$$

En traçant  $Q_e/Q_m = f(\ln C_e)$  la pente conduit à  $RT/\Delta Q$  et l'ordonnée à l'origine à  $RT/\Delta Q \ln(K_{\text{tem}})$  [67].

**CHAPITRE II :**  
**PARTIE**  
**EXPERIMENTALE**

## I. Les méthodes d'analyse

La seule méthode d'analyse utilisée dans ce mémoire est la méthode de :

- La spectrophotométrie UV-Visible.

### I-1. Spectrophotométrie UV-visible

-Le domaine spectral concerné est subdivisé en trois plages appelées

- proche UV (185-400 nm),
- visible (400-800 nm)
- très proche IR (800-1100 nm).

La plupart des spectrophotomètres commerciaux recouvrent la gamme allant de 190 à 950 nm.

#### I-1-1.Principe

Il s'agit d'une méthode d'analyse optique qui utilise la variation de l'intensité d'un faisceau lumineux de longueur d'onde déterminée. Lorsque celui-ci traverse la solution, une partie de son rayonnement est absorbée par les molécules présentes dans la solution alors que l'autre partie est transmise (Figure II-1). La loi qui permet de relier l'intensité d'absorption à la concentration est celle de Beer-Lambert donnée par la relation :

$$\log(I_0/I) = \epsilon L C \quad \text{II-1}$$

$I_0$  : est l'intensité du faisceau incident,

$I$  : est l'intensité du faisceau émergent,

$C$  : est la concentration de la solution à analyser,

$\epsilon$  : est le coefficient d'absorption molaire (sa valeur dépend de la longueur d'onde).

$L$  : est l'épaisseur de la cuve (1 cm).

On définit l'absorbant ( $A$ ) ou la densité optique ( $D$ ) par l'expression  $\log(I_0/I)$ , donc l'équation (II-1) devient comme :

$$A = \epsilon L C \quad \text{II-2}$$

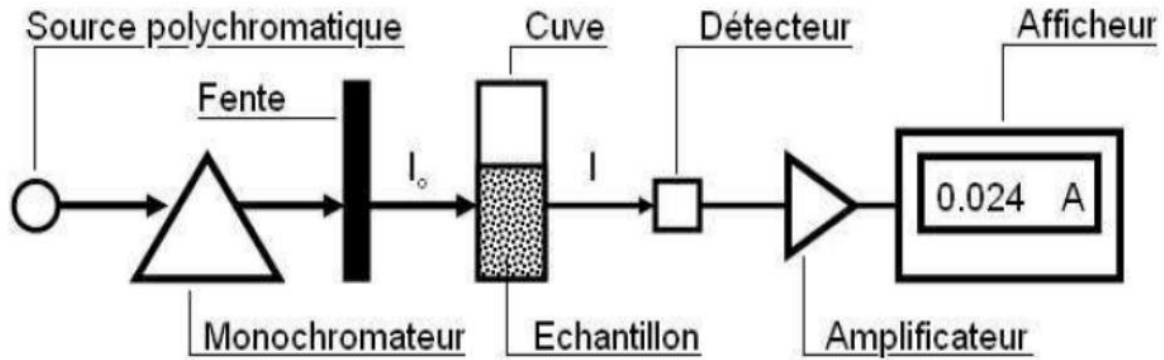


Figure II-1: Schéma de principe du spectrophotomètre.

## II. Produits et matériels

### II-1. Les produits utilisés

Les produits chimiques utilisés pour la réalisation de la partie expérimentale sont :

- Les déchets de palmier (pétioles et palm sèche) comme un support naturel pour l'adsorption du colorant ;
- Le colorant du SBR ;
- Des produits chimiques comme : hydroxyde de sodium (NaOH), l'acide chlorhydrique (HCl) pour l'ajustement de pH des solutions ; nitrate de potassium (KNO<sub>3</sub>) l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>), pour la détermination du point de charge nulle (pHPCN).

### II-2. Les matériels

#### a) Appareillages électriques :

Les matériels utilisés dans ce travail sont :

- pH mètre (modèle HANNA)HI3220 ;
- Agitateur plaque chauffante (modèle RS-1) ;
- Spectrophotomètre UV visible (Agilent Technologie Cary 60 UV-Vis) ;
- Balance (modèle KERN) ;
- Centrifugeuse (modèle CENCOM II).

#### b) Les verreries :

- Béchers (50 et 100 ml)
- Pipette (10 et 25ml) ;
- Fioles jaugées (25, 50, 500 ml et 1000l) ;

- Tubes à essais et support;
- Verre de montre ;
- Flacon (50 ,100ml et 1000l) ,
- c) *Autres accessoires :*
- Tamis (200 $\mu$ m) ;
- Propipette ;
- Spatule ;
- Barreaux magnétiques;
- Pissette.
- Cuve

### III.Les modes opératoires

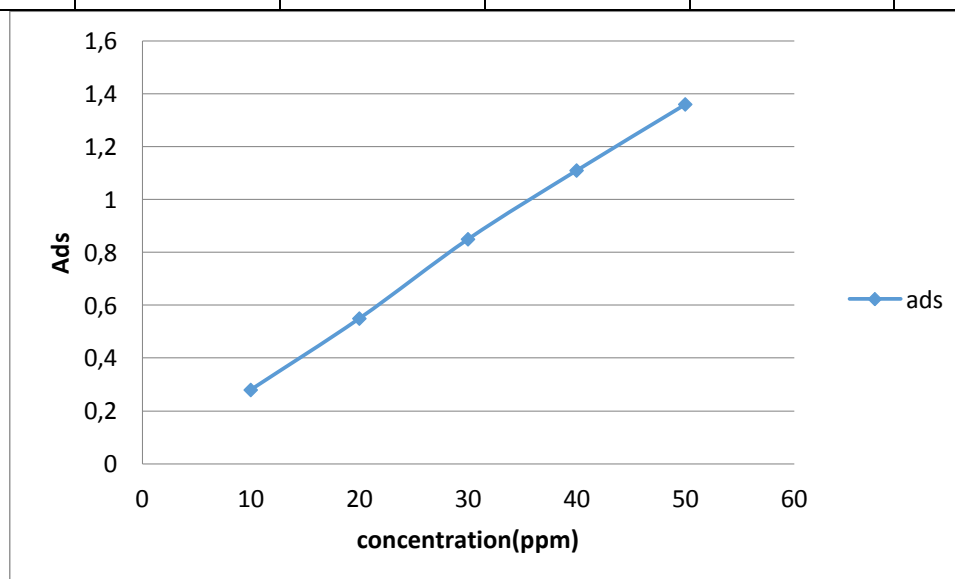
#### III-1.Préparation des solutions de colorant

Nous avons préparé une solution mère dont la concentration est de 50mg/l. A partir de cette solution on prépare les solutions filles.

-Pour déterminer  $\lambda_{max}$  du colorant utilisé nous avons tracé l'absorbance en fonction de lambda, les résultats obtenus sont représentés sur la Figure II-2

**Tableau II-1 Les valeurs d'étalonnages du SBR**

C(mg /L)	10	20	30	40	50
V(ml)	2	4	6	8	10
Ads	0,28	0,55	0,85	1,11	1,36



**Figure II-3: Courbe d'étalonnage du rouge télon lumière.**

L'équation de la droite est :  $A = 0.027 C + 0.014$

C : concentration (mg/l) ; A : absorbance

Elle nous donne, par ailleurs, un coefficient  $R^2$  de l'ordre de 0,999, ce qui nous permet de l'utiliser en minimisant les erreurs de lectures et de manipulation.

### III-2. Préparation de mélange SBR avec les deux supports (Pétioles et palm sèche)

Dans un bécher, on met une quantité d'adsorbant dans les solutions du colorant préparé. Le mélange ainsi obtenu a été agité à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 2h et à une température ambiante. Après la centrifugation les échantillons ont été dosés à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde ( $\lambda_{max}=599$ ) déjà déterminée précédemment.

Le spectrophotomètre UV-visible nous donne l'absorbance de chaque échantillon, ce qui nous a permis de déduire sa concentration et ainsi de déterminer la quantité du colorant fixée par gramme d'adsorbant selon la relation suivante :

$$Q_e = (C_0 - C_e) \cdot V / m \quad \text{II-3}$$

**Q<sub>e</sub>**: la quantité fixée de colorant par gramme de sorbant (mg/g) à l'équilibre ;

**C<sub>0</sub>** : la concentration initiale en colorant (mg/l) ;

**C<sub>e</sub>** : la concentration de colorant après l'adsorption (mg/l) ;

**V** : volume de la solution utilisée (l) ;

**m**: la masse (g).

### III-3. Détermination du point de charge nulle de sortant

La charge de surface d'un matériau adsorbant donné, résultant des équilibres acido-basiques, dépend du pH et de la force ionique de la solution avec laquelle le matériau est en contact.

Cette charge peut être positive, négative ou nulle selon les conditions du milieu. Une caractéristique importante de la surface est le point de charge nulle (PCN) (en anglais, point of zero charge) qui définit le pH pour lequel la charge de surface est nulle ; il caractérise alors l'acidité ou l'alcalinité de la surface. A pH inférieur au PCN, la charge de surface du matériau est globalement positive et à pH supérieur au PCN, elle est négative. Ce paramètre est très important dans les phénomènes de sorption surtout quand les forces électrostatiques sont impliquées dans les mécanismes de sorption [68].



Le point de charge nulle (pHPCN) de chaque matériau a été déterminé par la méthode électrochimique citée par S.Altenor et al. Pour cela, nous avons placé 25 ml de solution de

$\text{KNO}_3$  (0.1M) dans des béchers fermés et on a ajusté le pH de chacun (valeurs comprises entre 2 et 10) par addition de solution de KOH ou  $\text{HNO}_3$  0.1M. Ensuite, On a ajouté au chaque bécher, 0.01 g de support naturel. Les mélanges ainsi obtenus, ont été maintenus sous agitation continue à température ambiante pendant 24 h, et enfin le pH final a été alors mesuré

**CHPITRE III**  
**RÉSULTATS**  
**ET**  
**DISCUSSION**

## RESULTAT ET DESCUTION

## I. Caractérisation par UV-visible

Chaque support ayant des conditions optimales dont laquelle fonction bien. Dans cette partie nous allons étudier l'effet des paramètres tels que : le temps de contact, le pH ,la masse de biosorbant , la concentration du colorant et la température sur l'adsorption du colorant par le support déchet de palmier dattier (pétioles et palm sèche) .

## I.1.Effet du temps de contact

-les paramètre deux supports

❖ PTL et PLS: (T=25°C ;C=50 ppm ;V=25ml ;m=50mg ;PH=3,95)

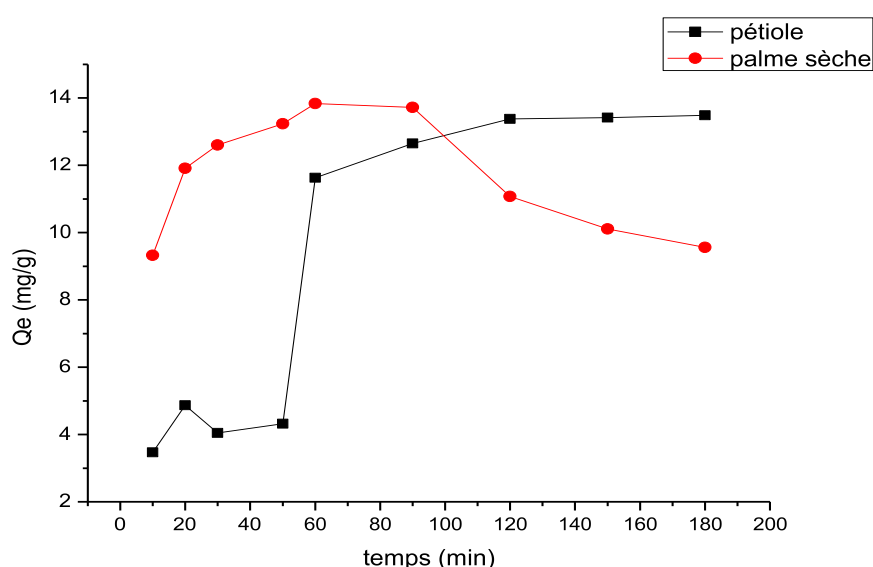


Figure III-1 :Effet le temps de contact (Pétiole et palm sèche).

La variation en fonction du temps de contact de la quantité du SBR adsorbée à l'équilibre est représenté dans le figure III-1 ;On observe une augmentation rapide jusqu'à atteindre un état d'équilibre pour les supports PLS et PTL ,le temps nécessaire pour atteindre ce dernière est d'environ 60 mn pour les deux supports et la quantité maximale du colorant adsorbé est de 13.5 et 13 mg/g pour PLS et PTL respectivement, celle-ci va diminuée après 90 mn pour le support PLS. ce phénomène peut être expliqué en premier lieu par l'existence des sites d'adsorption facilement accessible suivie d'un diffusion vers des sites d'adsorption moins accessible avant d'atteindre un état d'équilibre la surface spécifique d'adsorbant est saturée.

En conclusion le temps optimal considéré dans cette étude est d'environ 60 mn pour PTL et PLS.

## RESULTAT ET DESCUTION

## I.2.Effet de la masse de biosorbant

- les paramètre deux supports :

❖ PTL et PLS : ( $T=25^{\circ}\text{c}$  ;  $C=50$  ppm ;  $V=25\text{ml}$  ;  $t=60\text{mn}$  ;  $\text{pH}=3,95$ ) .

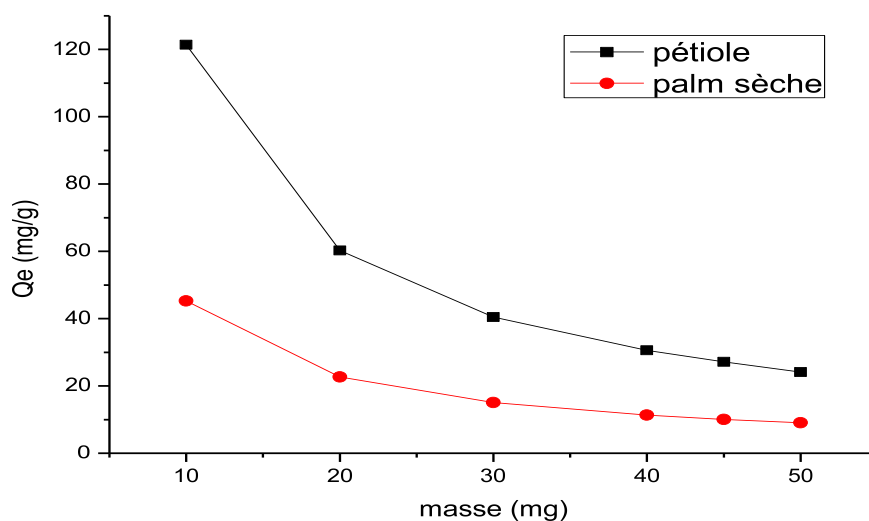


Figure III-2 :Effet de la masse de biosorbant (PTL et PLS) sur l'adsorption du SBR.

L'effet de la masse de biosorbant sur la biosorption du SBR est illustré dans les figures III-2 ; on voit bien que la quantité de biosorption du SBR a diminuée de 120 mg /g à 30 mg/g pour le support PTL et de 45 mg/g à 10 mg/g pour le support PLS avec l'augmentation de la masse de biosorbant de 10 mg à 50 mg . Ceci peut être attribué au recouvrement des sites d'adsorption, qui mènent à une diminution de superficie adsorbant disponible et à une augmentation de longueur de trajet de diffusion [69]

En conclusion la masse optimale considérée dans cette étude est 10mg pour les deux supports.

## I. 3.Effet du pH

## I.3.1. Détermination du point de charge nulle de biosorbant (PTL et PLS)

- les paramètre deux supports

❖ PTL et PLS : ( $T=25^{\circ}\text{c}$  ;  $C=0,1\text{M}$  ;  $V=25\text{ml}$  ;  $t=24$  H ;  $m=10\text{mg}$ ).

## RESULTAT ET DESCUTION

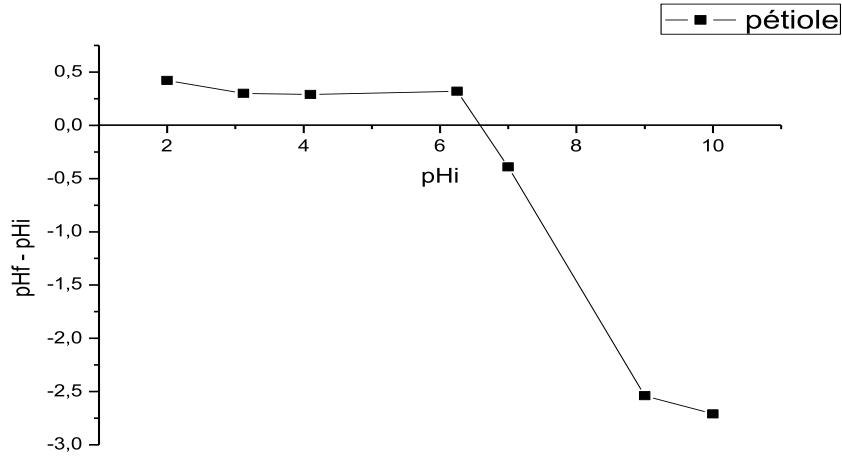


Figure III-3: Courbe de point de charge nulle de PTL .

La Figure III-3 montre que le point de charge nulle de PTL est égal à 6.7. A pH < 6.7 la charge de surface de PTL est globalement positive et à pH > 6.7, la charge de surface est négative.[70]

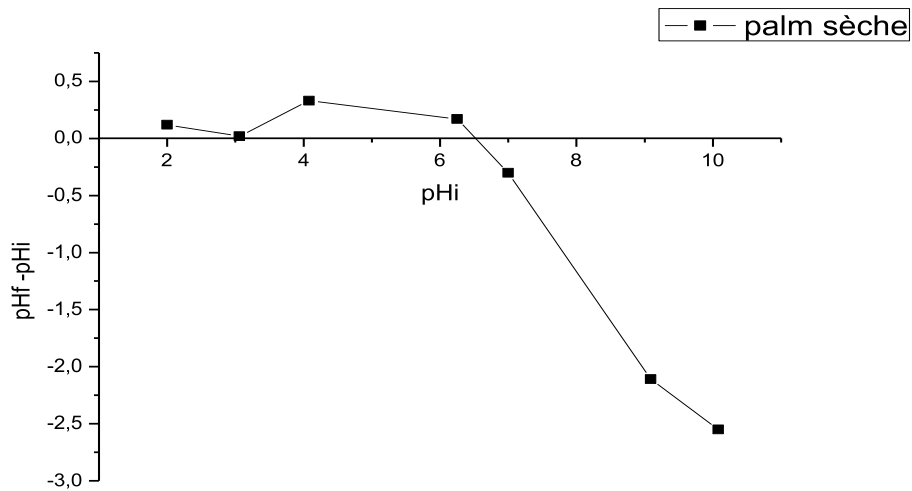


Figure III-4: Courbe de point de charge nulle de PLS.

La Figure III-4 montre que le point de charge nulle de PLS est égal à 6.5 . A pH < 6.5 la charge de surface de PLS est globalement positive et à pH > 6.5, la charge de surface est négative.[70]

## RESULTAT ET DESCUTION

## I.3.2. Détermination de pH optimale

- les paramètre deux supports

❖ PTL et FLM : (T=25°c ;C=50 ppm ;V=25ml ;t=60mn ; m=10mg)

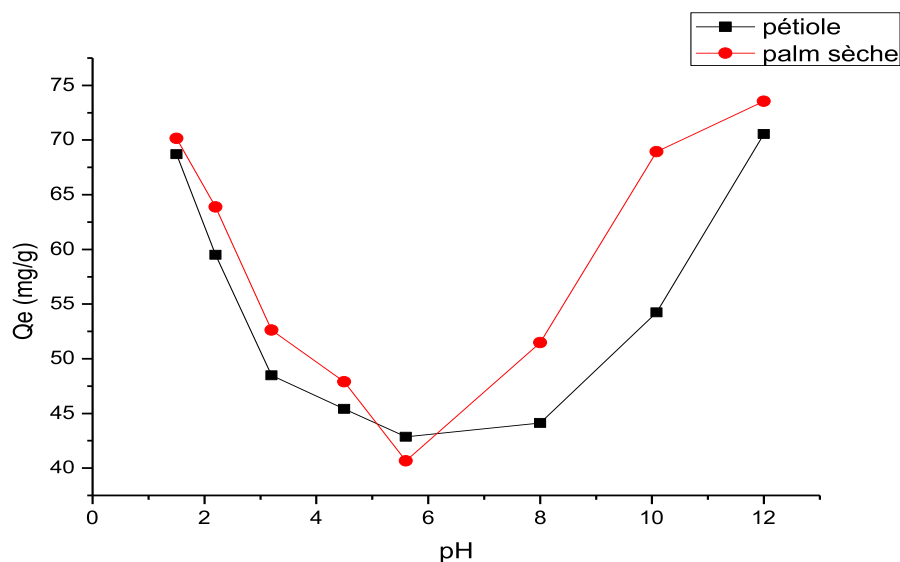


Figure III-5: Effet de pH sur l'adsorption de SBR pour (PTL et PLS) .

La Figure III-5 montre l'effet du pH sur la biosorption du SBR pour PLS , on observe que d'adsorption est obtenu à pH=1.5 égal 70 mg/g ,La quantité d'adsorption diminuée avec l'augmentation de pH, jusqu'à pH=5.7 égal 40 mg/g, celle-ci augmentation à 74 mg/g pour pH=12 . et montre l'effet du pH sur la biosorption du SBR pour PTL , on observe que d'adsorption est obtenu à pH=1.5 égal 68 mg/g La quantité d'adsorption diminuée avec l'augmentation de pH, jusqu'à pH=5.7 égal 43 mg/g, celle-ci augmentation à 70 mg/g pour pH=12

L'un des paramètres les plus importants affectant la performance de l'adsorbant dans l'élimination des colorants des eaux usées est le pH de la solution. La figure 5 représente l'effet du pH sur la quantité du colorant adsorbée. D'après le diagramme de spéciation on peut dire qu'il n'y a pas d'adsorption dans la gamme pH < 6,5 car la formation du complexe (PTL et PLS) est se passe dans un milieu basique, alors quand on met ce complexe dans une solution du colorant de pH < pHPCN dissous. A pH > pHPCN on observe une augmentation de la quantité adsorbé du SBR avec l'augmentation du pH jusqu'à l'adsorption est maximale a

## RESULTAT ET DESCUTION

pH =12. L'explication réside dans la nature de charge de surface de l'adsorbant et son interaction avec l'adsorbat [71]

### I.4.Effet de la concentration initiale du colorant

- les paramètre deux supports

❖ PTL et PLS : (T=25°C ;m=10mg ;V=25ml ;t=60mn ;pH=10)

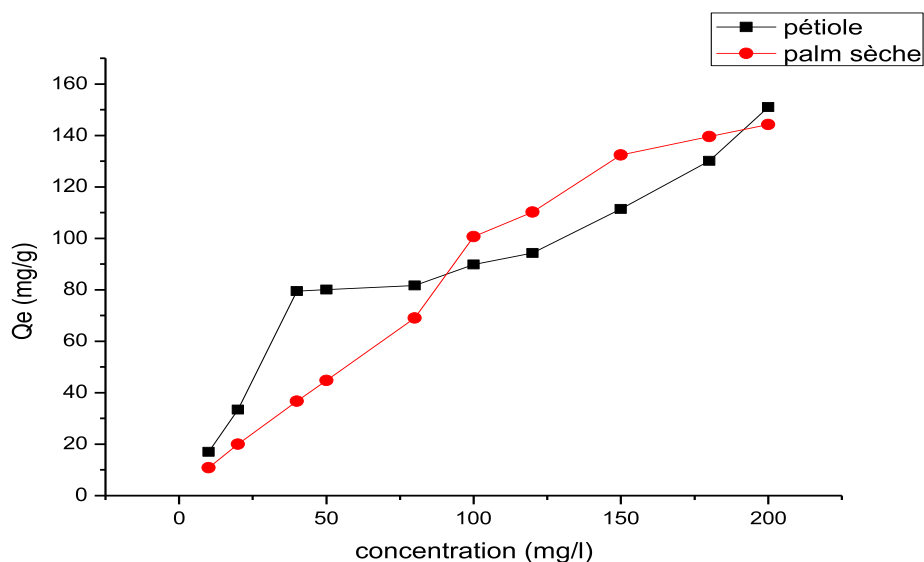


Figure III-6: Effet de la  $C_0$  du colorant sur la quantité d'adsorption par PTL et PLS.

La Figure III-6, montre l'effet de la concentration initiale du colorant SBR sur la biosorption(PTL,PLS). Les résultats montrent que la capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant. Au-delà d'une concentration de 200 mg/l, cette caractéristique de sorption indique que la saturation de la surface dépend de la concentration initiale en SBR, À faible concentrations, les sites de sorption fixent SBR rapidement. Mais à des concentrations plus élevées, le SBR nécessaires pour diffuser à la surface de la biomasse (PTL,PLS) par diffusion intra particulaire et fortement hydrolysés se diffusera à un rythme plus lent d'où le taux de sorption réduit [72].

En conclusion la concentration optimale considérée dans cette étude est 200 mg/l pour PTL et PLS.

## RESULTAT ET DESCUTION

## I.5.Effet de la température

- les paramètre deux supports :

❖ PTL et PLS : (C=200ppm ;m=10mg ;V=25ml ;t=60mn ;pH=10)

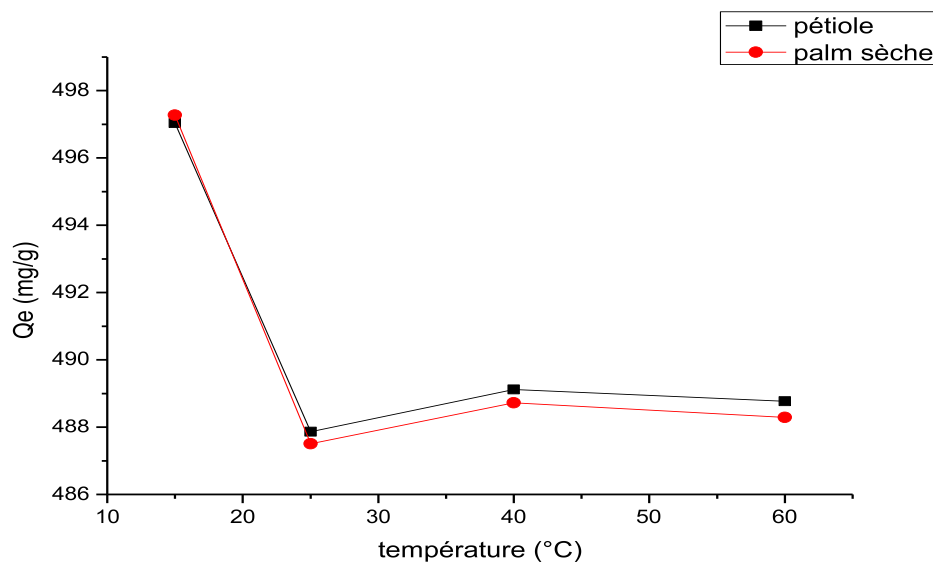


Figure III-7: Effet de la température sur l'adsorption du SBR.

La température joue un rôle nécessaire dans le processus de l'adsorption comme le montre la figure III-7. Les résultats présentés dans cette figure montrent que l'augmentation de la température initiale de la phase aqueuse contenant le colorant est accompagnée par une diminution du rendement ceci s'explique par le fait que le processus d'adsorption est généralement exothermique et donc favorisé plutôt par une diminution de température. Le calcul des fonctions thermodynamiques par la suite nous permettra de confirmer cette déduction. La quantité du colorant adsorbé diminue de 497 à 488 mg/g pour les deux supports PTL et PLS.[73] ,[74].

## I-5-1Détermination des paramètres thermodynamiques

Les paramètres thermodynamiques, tels que la variation de l'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  (J.mole<sup>-1</sup>) la variation de l'entropie standard  $\Delta S^\circ$  (J. K<sup>-1</sup>.mole<sup>-1</sup>) et la variation d'énergie libre de Gibbs  $\Delta G^\circ$  (J.mole<sup>-1</sup>) sont calculés afin de déterminer la nature d'adsorption du RTL sur MOF-Ni en utilisant les équations suivantes :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d \quad \text{III-1}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad \text{III-2}$$



## RESULTAT ET DESCUTION

$$\text{Ln}K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta G^\circ}{RT} \quad \text{III-3}$$

$K_d$ : Constante de distribution,  $q_e$ : Capacité d'adsorption à l'équilibre ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )

$C_e$ : Concentration à l'équilibre du soluté en solution ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),

$R$ : Constante des gaz parfaits ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) et  $T$ : Température absolue (K).  $\Delta H^\circ$  et  $\Delta S^\circ$  sont déterminées à partir de la pente et de l'interception du tracé de  $\text{Ln} K_d$  en fonction de  $1/T$  (Fig. III-8 et Fig. III-9).

- $\Delta G^\circ$ : Représente l'énergie libre de Gibbs.

Une valeur négative de  $\Delta G^\circ$  signifie que la réaction est thermodynamiquement possible.

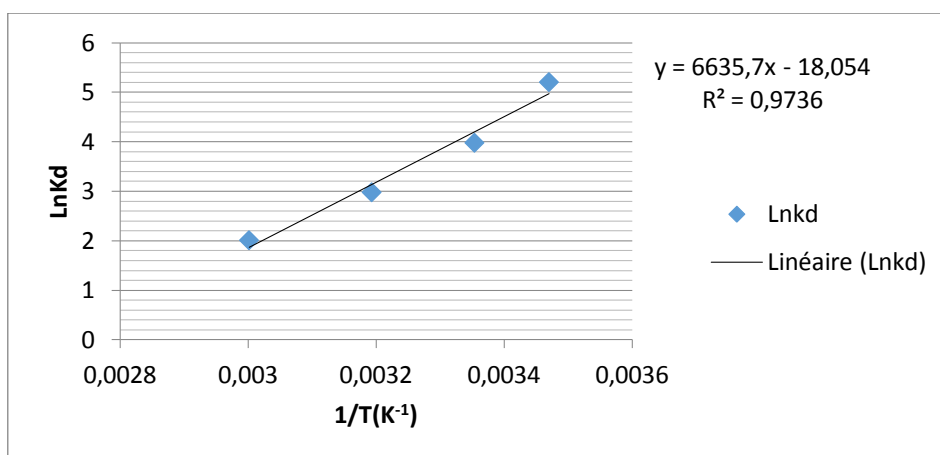


Figure III-8: Variation de  $\text{Ln}K_d$  en fonction de  $1/T(\text{k}^{-1})$  "PTL"

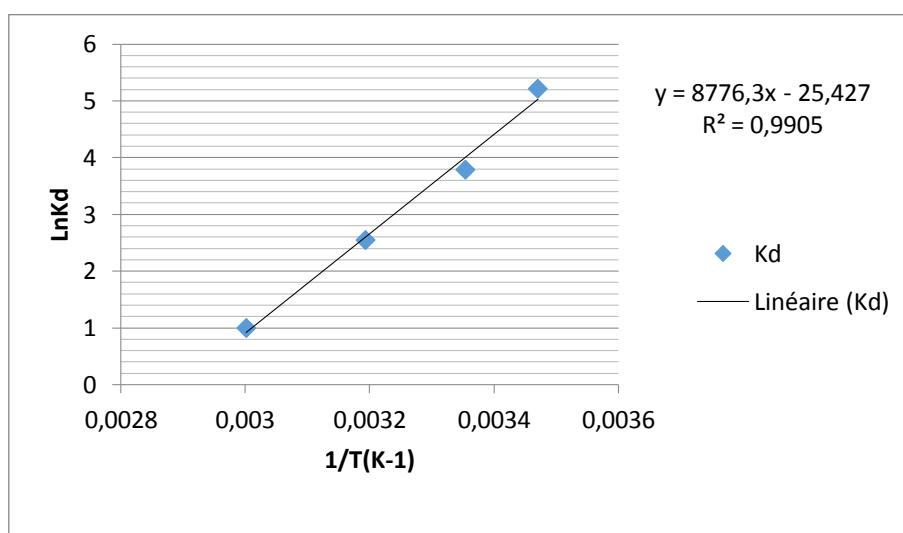


Figure III-9: Variation de  $\text{Ln}K_d$  en fonction de  $1/T (\text{k}^{-1})$  "PLS"

## RESULTAT ET DESCUTION

Le tracé de la droite représentante  $\ln K_d$  en fonction de  $1/T$ , dont les valeurs sont présentées dans le tableau III-9, nous permet de déduire la valeur de  $\Delta H^\circ$  à partir de la pente de la droite et  $\Delta S^\circ$  à partir de l'ordonnée à l'origine. Concernant la valeur de  $\Delta G$ , elle est calculée pour une température donnée en utilisant l'équation III-9 et en remplaçant  $\Delta H^\circ$  et  $\Delta S^\circ$  par leurs valeurs déduites graphiquement.

**Tableau III-1: Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du SBR surPTL**

	$\Delta H^\circ$ (KJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (J/K.mol)	$\Delta G^\circ = \Delta H - T\Delta S$ (KJ/mol)	R2
T ( K )	-55,1368	-149,9955		0.973
288			-11.9380	
298			-10.4381	
313			-8.1882	
333			-5.1882	

**Tableau III-2 : Paramètres thermodynamiques de l'adsorption du SBR sur PLS**

	$\Delta H^\circ$ (KJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (J/K.mol)	$\Delta G^\circ = \Delta H - T\Delta S$ (KJ/mol)	R2
T ( K )	-72,9285	-211,2402		0.990
<b>288</b>			-12 .1605	
<b>298</b>			-9.9789	
<b>313</b>			-6.8103	
<b>333</b>			--2.5855	

La valeur négative de l'enthalpie libre indique que le processus d'adsorption est spontané, la valeur négative de l'enthalpie  $\Delta H$  montre que le processus est exothermique. Les valeurs faibles de cette chaleur suggèrent l'existence d'une adsorption chimique . Les valeurs négatives de l'entropie montrent que l'adsorption du colorant sur (PLS ,PLS) est accompagnée par un ordre du milieu. Ce résultat montre que les molécules des métaux

## RESULTAT ET DESCUTION

adsorbées sur la surface de des biosorbants étudiées sont organisées par rapport à la situation dans la phase aqueuse.[75],[76].

### II .1. Modélisation de l'isotherme d'adsorption

L'adsorption est la capacité de l'adsorbant à adhérer ou à se fixer à l'adsorbant. L'isotherme d'adsorption est une équation qui montre le transfert de l'adsorbat de la phase aqueuse à la phase d'adsorbant dans des conditions d'équilibre [77].

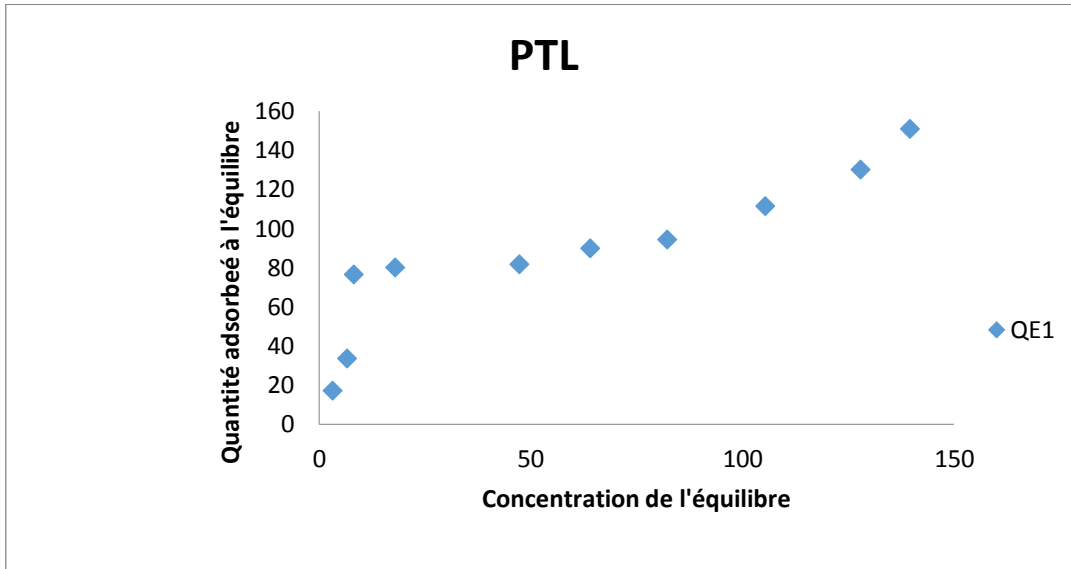


Figure III-10: L'isothermes d'équilibre d'adsorption(PTL)

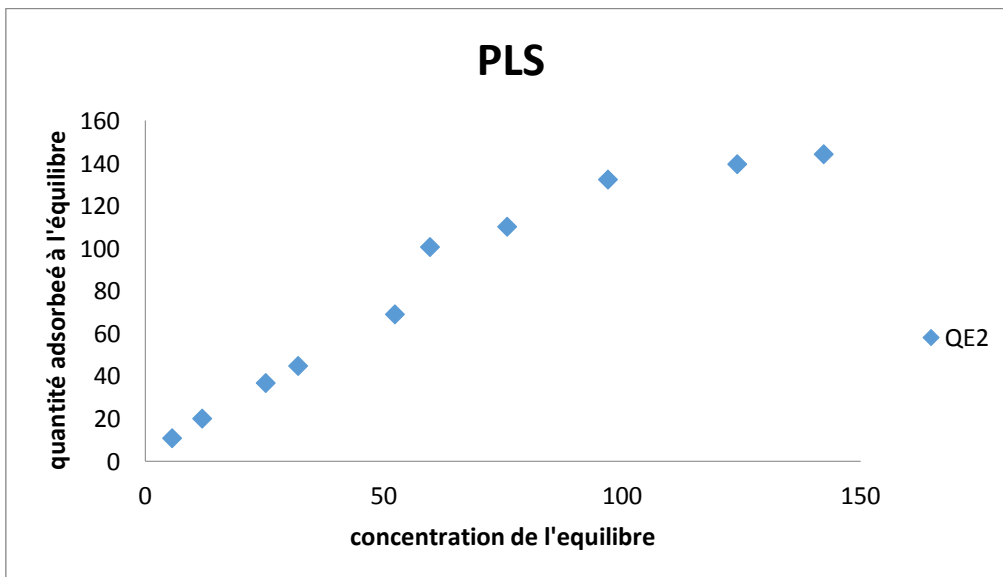


Figure III-11: L'isothermes d'équilibre d'adsorption(PLS)

## RESULTAT ET DESCUTION

L'allure de l'isotherme d'équilibre d'adsorption selon l'isotherme de type S pour PTL et de type L pour PLS . Donc elles sont souvent modélisées par les modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin ...etc.

### II.1.1. Modèle 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. Nous résumons ci-dessous ses principales caractéristiques. A une température constante, la quantité adsorbée  $q_e$  est liée à la capacité maximale d'adsorption  $q_m$ , à la concentration à l'équilibre  $C_e$  du soluté et à la constante d'affinité  $b$  par l'équation :

$$Q_e = \frac{q_e b C_e}{1 + b C_e} \quad \text{III-4}$$

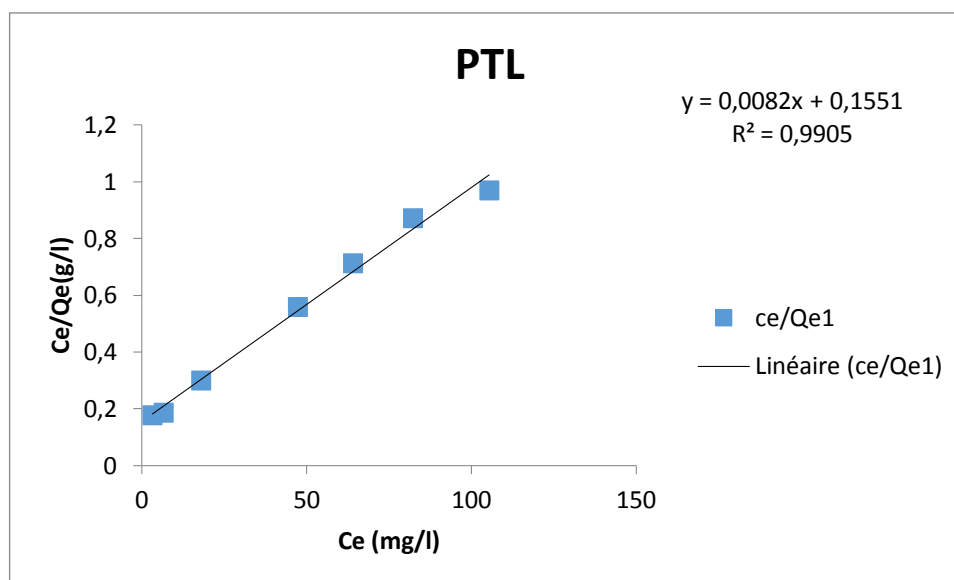
La transformée linéaire de ce modèle a pour équation[78] :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{b q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad \text{III-5}$$

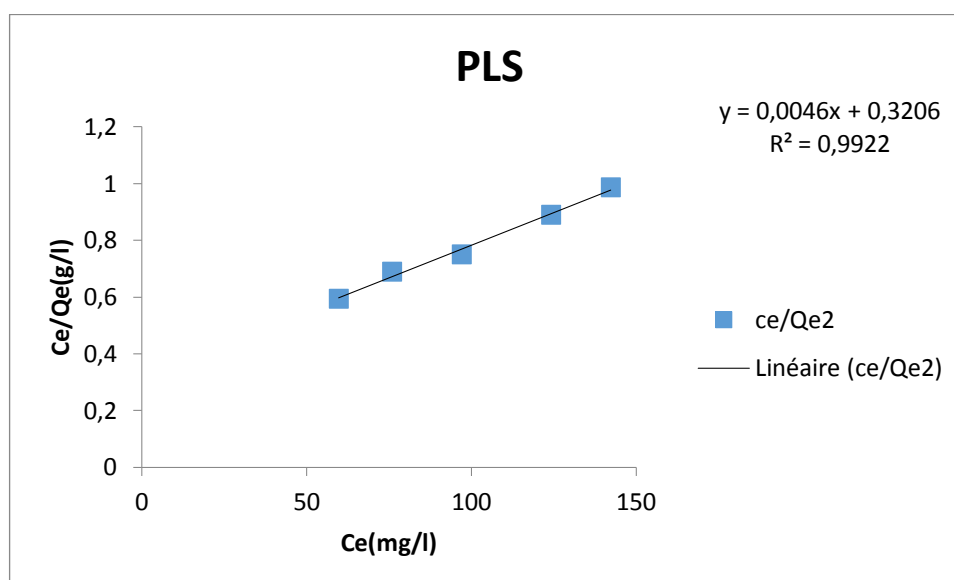
En portant  $C_e/Q_e$  en fonction de  $C_e$  on obtient une droite de pente , et d'ordonnée à l'origine  $1/b q_m$  , cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation  $q_m$  et  $b$ .

La modélisation d'isotherme d'adsorption du SBR par le modèle de **Langmuir** est représentée sur la figure III-12et 13 :

## RESULTAT ET DESCUTION



**Figure III-12: Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du SBR par PTL, selon le modèle de Langmuir**



**Figure III-13: Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du SBR par PLS, selon le modèle de Langmuir**

### II.1.2. Modèle de Freundlich

Le modèle de Freundlich, est basé sur une équation empirique qui traduit une variation des énergies avec la quantité adsorbée. Cette distribution des énergies d'interaction s'explique par une hétérogénéité des sites d'adsorption. Contrairement au modèle de Langmuir, l'équation de Freundlich ne prévoit pas de limite supérieure à l'adsorption ce qui restreint son application aux n milieux dilués. Elle est de la forme suivante [79]:

## RESULTAT ET DESCUTION

$$Q_e = K C_e^n \quad \text{III-6}$$

Avec :

$Q_e$ : Quantité d'adsorbat adsorbée par l'adsorbant à l'équilibre.

$C_e$ : Concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre.

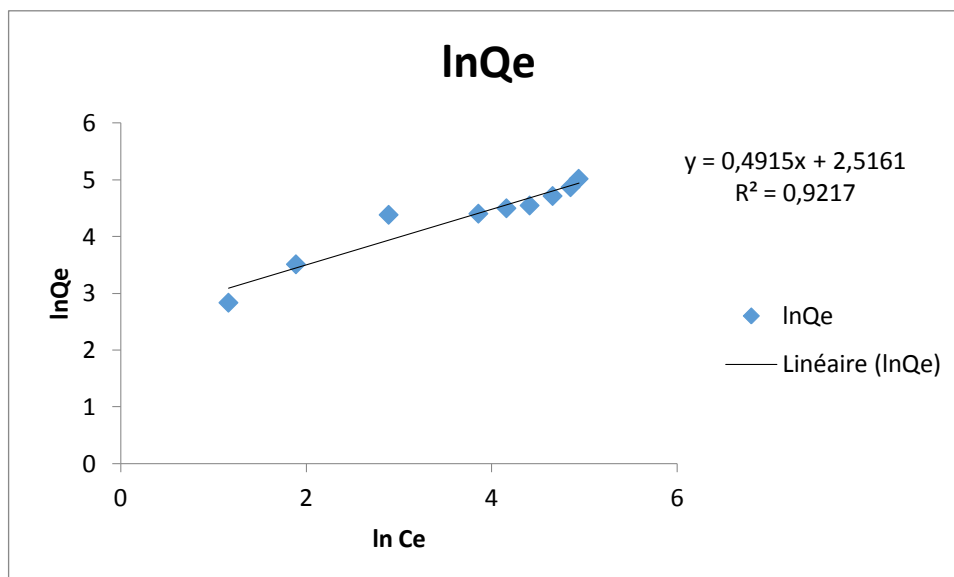
$K$  et  $n$ : constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné.

$n$  est généralement compris entre 0 et 1 ; pour  $n = 1$  : l'isotherme est linéaire. Cette équation peut être linéarisée de la façon suivante :

$$\text{Ln } Q_e = \text{Ln } K + n \text{ Ln } C_e \quad \text{III-7}$$

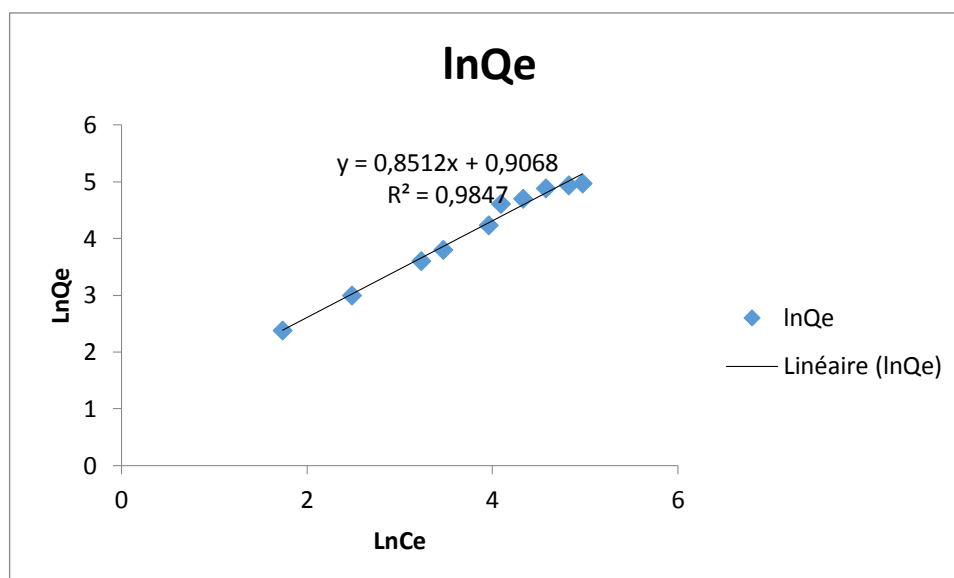
Si cette équation est vérifiée avec les données d'équilibre d'adsorption, nous devons obtenir une droite dans le système de coordonnées  $\text{Ln } q_e = f(\text{Ln } c_e)$ , la pente et l'ordonnée à l'origine donnent respectivement  $1n$  et  $\text{Ln } K$ .

La modélisation d'isotherme d'adsorption du RTL par le modèle de **Freundlich** est



**Figure III-14: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PTL selon le modèle de Freundlich**

## RESULTAT ET DESCUTION



**Figure III-15: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PLS selon le modèle de Freundlich**

### II.1.3. Modèle de Temkin

La dérivation de l'isotherme de Temkin suppose que l'abaissement de la chaleur d'adsorption est linéaire plutôt que logarithmique, comme appliqué dans l'équation de Freundlich.

L'isotherme de Temkin a été généralement présentée par l'équation suivante [80]:

$$q_e = (RT/b_t) \cdot \ln(A_t C_e) \quad \text{III-8}$$

Ou :

$b_t$  et  $A_t$  sont des constantes d'isotherme de Temkin ;

$R$  : constante universel des gaz (8.314 K J/ mol) ;

$C_e$  : la concentration à l'équilibre (mg/l) ;

$T$  : la température absolue.

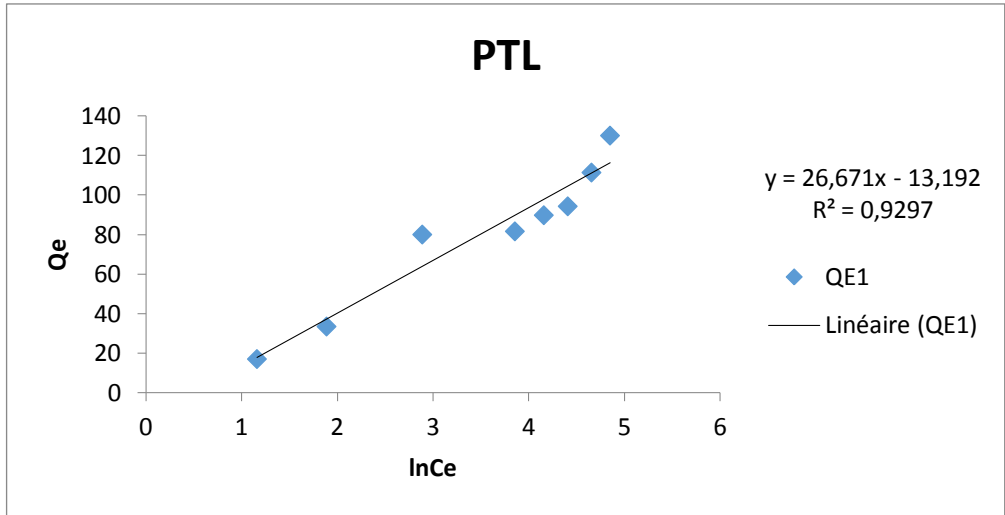
La linéarisation de cette formule s'écrit comme suit :

$$Q_e = (RT/b_t) \cdot \ln A_T + (RT/b_T) \cdot \ln C_e \quad \text{III-9}$$

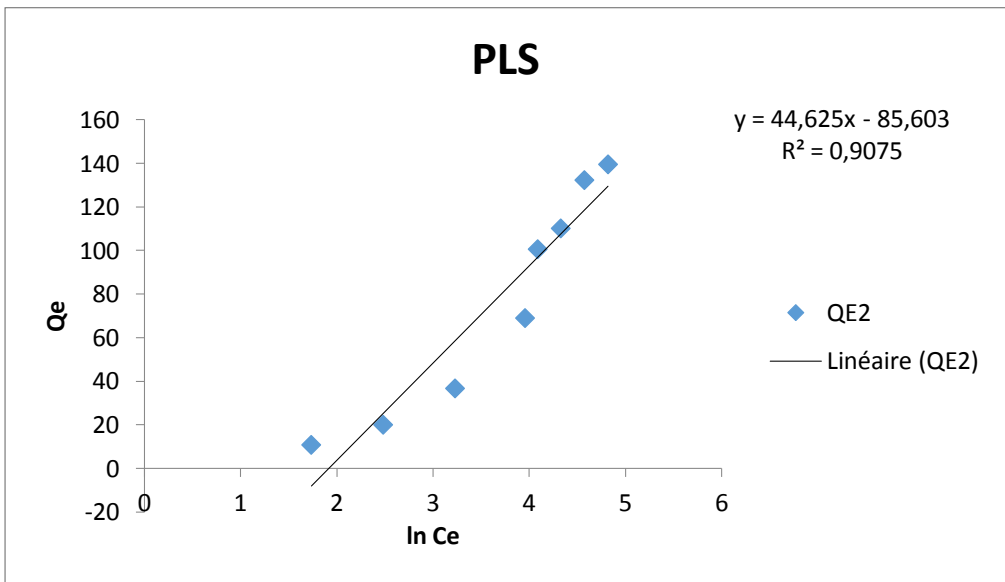
En traçant  $q_e$  en fonction de  $\ln C_e$ , on obtient une droite de pente  $RT/b_T$  et d'ordonnée à l'origine  $(RT/b_T) \cdot \ln A_T$ .

La modélisation d'isotherme d'adsorption du RTL par le modèle de **Temkin** est représentée sur la figure III-16 et 17:

RESULTAT ET DESCUTION



**Figure III-16: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PTL selon le modèle de Tekmin**



**Figure III-17: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du SBR par PLS selon le modèle de Tekmin**



## RESULTAT ET DESCUTION

**Tableau III-3: Les paramètres des essais de modélisation des trois isothermes d'adsorption du PTL par le SBR**

	Constante de l'isotherme	R2
Modèle de Langmuir	$b = 0.0125$ $q_m = 250$	0,990
Modèle de Freundlich	$n = 0.491$ $K = 12.3789$	0,921
Modèle de Temkin	$At = 1.6396$ $Bt = 92.8526$	0,929

**Tableau III- 4: Les paramètres des essais de modélisation des trois isothermes d'adsorption du PLS par le SBR**

	Constante de l'isotherme	R2
Modèle de Langmuir	$b = 0.0124$ $q_m = 125$	0,992
Modèle de Freundlich	$n = 0.851$ $K = 2.4744$	0,948
Modèle de Temkin	$At = 0.1468$ $Bt = 55.4993$	0,907

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION

Il existent plusieurs techniques pour l'élimination de la pollution des eaux usées chargées en colorants textiles. mais Les procédés naturels n'ont pas des problèmes sur l'environnement parce que ces procédés utilisent la matière naturelle. L'adsorption est considérée comme l'une des techniques de traitement le plus utilisée pour enlever les composés organiques en général dans l'eau.

Ce travail consiste, à établir un traitement d'une eau polluée (par un colorant textile) par des procédés naturels.

Nous avons étudié l'influence des divers paramètres liés, au milieu réactionnel .qui permet de déterminer les meilleures conditions d'adsorption de SBR sur le biosorbant naturelle .Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

L'adsorption du SBR a donné un bon résultat pour des paramètres optimaux suivants :

a)- Pour pétiole :

Le temps de contact est de 60mn, le pH est égal à 10, et la concentration initiale en colorant est de 200 mg/l, et la masse du support est de 10 mg.

b) Pour palm sèche :

Le temps de contact est de 60mn, le pH est égal à 10, et la concentration initiale en colorant est de 200 mg/l, et la masse du support est de 10 mg.

L'isotherme d'adsorption du SBR pour le déchet agricole (PTL et PLS) est décrite de manière satisfaisante par le modèle de Langmuir, alors que le modèle de Freundlich et de Temkin ne peut décrire nos résultats expérimentaux sur tout le domaine de concentration étudié.

Ce mémoire ouvre des perspectives intéressantes en termes de confirmation de nos résultats expérimentaux d'étude d'autres méthodes de biosorption, de caractérisations physico-chimiques du mélange déchet agricole (PTL et PLS) – SBR

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRQPHIES**

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

1. KEDDOU M., Elaboration et caractérisation de membranes polymères a base de chitosane, Thèse de magister de université de BOUMERDES, 2008.
2. BENOSMAN A. mémoire de magister de l'université de Tlemcen, 2011.
3. Benguella B., Valorisation des argiles Algériennes application à l'adsorption des colorants textiles en solution. Thèse de Doctorat de l'Université de Tlemcen, juin 2009.
4. Namasivivayam C, Radhika R, suba S, uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste : coir pith. Waste Manage et :381., 7(2001) 21.
5. JERRY A. NATHANSON, pollution environment, 17-12-2019 ,www.britannica.com ,retrieved 16-4-2022.edited.
6. SUSAN BERG, types of pollutants,24-4-2017,www.sciencing.com,retrieved 16-4-2020.edited.
7. Dr.MAHENDRA PRATAP CHOUDHARY.VAIBHAW GARG, causes,consequences and control of air pollution,www.researchgate.net ,retrieved 16-4-2020.EDITED.
8. NATALIA RODRIGUEZ EUGENIO.MICHAEL MCLAUGHLIN.DANIEL PENNOCK, soil pollution a hidden reality,2018,rome:food and agriculture organization of the united .nations,page 1.edited.
9. MAGDA AL-SABBAGH, qu'est-ce que la pollution de l'eau?,14 janvier 2009,site web de la ville de sahnaya ,archivé de l'original pour vous le 12 avril 2011 ,récupéré le 13 mars 2020.
10. MABROUK SAAD AL-NAJJAR, pollution de l'environnement en egypte:risques et solution,organisation générale égyptienne du livre, le caire,1999,p:82.
11. causes de la pollution de l'air, pollution environnementale"centres",www.environmentalpollutioncenters.org ,archivé de l'original 2 le 22 janvier 2022,consulté le 5 avril 2022.
12. C. LEVEQUE, Écosystèmes aquatiques. Hachette, Paris, (1996).
13. MR.ARROUSSI ABDELAZIZ, mémoire de magister "elaboration et caracterisation des billes a base d'un biopolymere et leurs applications dans l'environnement",université abou bekr belkaid tlemcen12.2013 .P:6.
14. Rodier J. L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème Edition. Dunod, Paris (2005).
15. J-P, ] Duguet, et al.

16. **lourds, Dr. Imad Faouzi alazzomi. Pollution des eaux par les métaux.**
17. **Eléments utilisés au service de l'humanité, pour vous par la e-direction arabe. Archivé le 2 18 avril 2016 sur wayback.**
18. **Machine, évaluation de la pollution des sols. 2 dépôts de documents de la FAO. Copie archivée. 19 juin 2017 sur le site Wayback.**
19. **Machine, Identifier les risque pour la santé que la pollution peut causer aux humaines. [Dépôt de documents de la FAO. Copie enregistrée.29 décembre 2016 sur le site Web de Wayback.**
20. **Effets des pesticides sur la santé humaine et l'environnement. Qui la lumière de Dieu soit sur vous, le 13 avril 2011. Copie 23-03-2021 sur le site Chemin de retour.**
21. **MOHAMED EL-SAYD AMAOUT, L'homme et la pollution de l'environnement organisation générale égyptienne du livre, Le Caire, 1999, p :122.**
22. **Needles H. L. . Textile fibers, dyes, finishes, and processes. A concise guide(1986).**
23. **Sen, D. Reference Book On Chemical Engineering. New Age International (P) Limited, Publishers (2005).**
24. **McMullan G., Meehan C., Conneely A., Kirby N., Robinson T., Nigam P., Banat I., Marchant R., Smyth W. Microbial decolourisation and degradation of textile dyes. Applied Microbiology and Biotechnology, 56, 81-87.(2001).**
25. **Lee J. W., Choi S. P., Thiruvengkatachari R., Shim W. G., Moon H. Evaluation of the performance of adsorption and coagulation processes for the maximum removal of reactive dyes. Dyes and Pigments, 69, 196-203.(2006).**
26. **J. Majault, Textiles chimiques, fibres modernes, Editions Eyrolles, p 161.**
27. **M. Capon, V. Courilleu, C. Valette,Chimie des couleurs et des odeurs, 1999.**
28. **A. HADJ, N. BENSLKA. Synthèses d'argiles anioniques (MgFeCO<sub>3</sub>) par coprécipitation et dégradation thermique de l'urée et applications à l'élimination de colorants anioniques dans les effluents textiles. Thèse de doctorat en Chimie des matériaux. Universit.**
29. **« IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans ».IRAC 2010, Monograph 99. Some Aromatic Amines, Organic Dyes, and Related Exposures. IARC. Consulté le 25 mai 2019.**
30. **H. BEN MANSOUR, O. BOUGHZALA, D. DRID, D. BARILLIER, L. CHEKIR-GHEDIRA, R. MOSRATI, « Les colorants textiles sources de contamination : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de Traitement ». Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 2011.**

31. B. Amit, S.S. Devi, T. Chakrabarti, Azo Dyes: Past, Present and the Future. Environmental.
32. K. KADIRVELY, M. KAVIPIRYA, C. KARTHIKA, M. RADHIKA, N. VENNILAMANI, S. PATTABHI, Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions, 2003, V87(1) P129-132.
33. S.J. ALLEN, G. MCKAY, J.F. PORTER, Adsorption isotherm models for basic dye adsorption by peat in single and binary component systems, Journal of Colloid Interf. Sci, 2004, V 280, p 322-333.
34. M. BENDJLLOL, Conception d'adsorbants a proprietes de surface modulable par des procedes de Modifications chimiques pour l'elimination de colorants acides en solution aqueuses. Thèse de doctorat en science, (2017),.
35. C. BAUER, acques, A. KALT, J. Pho tocheu, Photobiol Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO<sub>2</sub>. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, (2001).
36. N. LAMRI, Elimination du colorant orange ii en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption. Mémoire de magister en chimie. Université Mentouri de Costantine., D. Ghosn, G. Bhattacharyya, Applied Clay Science - Journal – Elsevier, (2010).
37. Y. FU, T. VIRARAGHAVANT, Fungal de colorization of day wastewater : a review. Bioresarches.
38. D. MEROUANI Traitement de colorants azoïque et anthraquinonique par procedes d'oxydation avancee (poa). Thèse de doctorat en chimie. (2011).
39. A. BENGRINE Dépollution des eaux usées sur un support naturel Chitosane-Bentonite. Mémoire de magistère en chimie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen (2011).
40. <https://www.maxicours.com/se/cours/utilisation-des-substances-colorees/>].
41. BNOSMAN, Née BENGRIN, A. Mémoire de magistère en chimie, Dépollution des eaux usées sur un support naturel Chitosane-Bentonite. université abou belkaid, tlemcen 2011.
42. A. ABOUZAIID, Etude de différents traitements des effluents de l'industrie textile. Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali-Maroc, 2001, p 52-62.
43. H. DESOILLE, J. SCHERRER, R. TRUHAUTER, Précis de médecine du travail, 5ème Edition Masson, 1987, p 838-845.
44. J.S., ] TAYLOR et JACOBS E.P. Water treatment membrane processes, New York : McGraw-Hill, 1996, p. 9.1-9.70.

45. CALABRO V., PANTANO G., KANG R., MOLINARI R., DRIOLI E. Experimental study on integrated membrane processes in the treatment of solutions simulating textile effluents. Energy and exergy analysis, *Desalination*, 1990, 78, 2, 257-277.
46. VAN DER BRUGGEN B., LEJON L., VANDECASTEELE C. Reuse, Treatment and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes. *Environ. Sci. Techn.*, 2003, 37, 17, 3733-3738.
47. Santé Canada, chloration de l'eau, votre santé et vous, mars 1999a.
48. ANSELME C., JACOBS E.P. Water treatment membrane processes, New York : McGraw Hill Mallevalle, 1996, p. 401-1087.
49. VENDEVIVERE P.C., BIANCHI R., VERSTRAETE W. Treatment and creuse form the textile wet-processing industry: review of emerging technologies. *J. Chem. Techn. Biotechn.*, 1998, 72, 289-302.
50. ECKENFELDER W.W., Chemical oxidation, Lancaster : Eckenfelre, Bowers, Roth, 1992, Technomic Publishinf Company Inc., p. 1-10.
51. NEYENS E., BAEYENS J., WEEMAES M., DE HEYDER B. Pilot-scale peroxidation (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) of sewage sludge. *J. Hazard. Mat. B*, 1998, 2003, 91-106.
52. HAMADA K., NISHIZAWA M., YOSHIDA D., MITSUISHI M. Degradation of an azo dye by sodium hypochlorite in aqueous surfactant solutions. *Dyes and Pigments*, 1998, 36, 313-322.
53. HITZ H.R., HUBER W., REED R.H. The absorption of dyes on activated sludges. *J. Soc. Dyers and colorists.*, 1978, 94, 2, 71-76. et Pagga et Taeger, 1994.
54. SANI R.K., BANERJEE U.C. Decolorization of triphenylmethane dyes and textile and dye-stuffeffluent by Kurthia sp. *Enzyme and microbial Tech.*, 1999, 24, 433-437.
55. BARCLAY S., BUCKLEY C. Waste minimization guide for the textile industry, a step towards cleaner production, The pollution research group, University of Natal Durban, South Africa, For the south African. Water Research Commission, Janvier 2000, Volume 1.
56. T.A. Kurniawant, G.Y.S. Chan, W.-H. LO, S. Babel. Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. *Science of the Total Environment* (2006) .
57. S.Colombani-Bosinco, Elimination du chrome hexavalent par adsorption et adsorption réduction sur biomatériaux. Applications au traitement des eaux. Thèse de Doctorat, Université de Pau et des pays de l'Adour, 1997.
58. T. Masmoudi, Etude de l'incidence de la présence simultanée de la cytosine et de la caféine au cours de la chloration et de l'adsorption sur charbon actif des substances humiques en eaux minéralisées, Mémoire de magister, Université Mohamed Khider, 2014.



59. A . Belayachi. Elimination d'un colorant anionique par adsorption, Electrocoagulant, Fenton. Thèse de doctorat en chimie. Université Abdelhamid ibn badis, Mostaganem (2016) .
60. C. Cardot Génie de l'environnement, les traitements de l'eau procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus . Edition Ellipses (1999) .
61. F.Bouchemal, S. Achour,. Essais d'adsorption de la Tyrosine sur charbon actif en poudre et en grain. laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface. Laryss Journal, (2007) .
62. Y. Bentahar, Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Thèse doctorat en chimie. L'université en chimie. L'université de Nice-Sophia Antipolis,(2016).
63. B. B.Balbuena, C.Lastoskie , K. E.Gubbina, N. Quirke, Theoretical interpretation and classification of adsorption isotherms for simple fluids. Fundamentals of adsorption, Kyoto (1992).
64. H.Giles, D. Smith A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm, I.Theoretical. Journal of Colloid and Interface Science, (1974) .
65. M.Özacar, S. I. Ayhan A kinetic study of metal complex dye sorption onto pine sawdust. Process Biochemistry, (2005).
66. D.Boukraa, F.Saiah traitement des eaux de rejets par sorption de colorant organique sur des argiles anioniques type HDL et comparaison avec des matériaux mésoporeux et macro-mésoporeux hiérarchisés,Thèse de doctorat en chimie Université Mohamed Boudiaf2010.
67. M. Rajai, Élimination des colorants de synthèse par adsorption sur des matériaux mésoporeux.Mémoire de magister en génie chimique. (2018).
68. S. Altenor, B. Carene, E. Emmanuel, J. Lambert, J.J. Ehrhardt, S. Gaspard , Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation.Journal of Hazardous Materials (2008) .
69. A. Arroussi, Elaboration et caractérisation des billes à base d'un biopolymere et leurs applications dans l'environnement. Mémoire de magister en Chimie. Université Abou bekr belkaid,Telemcen(2013).
70. Kifline M. K., Anatole K. K. M., Philippe N. V., Bernard I. L., Gracien E. B., Blaise M. M. Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solutionaqueuse, sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles de Cucumeropsis manniinaudin. international Journal of Biological and Chemecal Science, 12(1), 558-575.2018.

71. J. Baliti, A. Asnaoui, S. Abouarnadasse, L'élimination du bleu de méthylène par une argile naturelle de Taza en milieu aqueux, *Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, V 1, p 318.2014.
72. Obike A., Igwe J., Emeruwa C., Uwakwek. Equilibrium and Kinetic Studies of Cu (II), Cd (II), Pb (II) and Fe (II) Adsorption from Aqueous Solution Using Cocoa (*Theobroma cacao*).*Journal of Applied Sciences and Environmental Management*,22 (2) 182 –192,2018.
73. R M C. Somasekhara, L.S. Makrishna, A. Varada Reddy, The use of an agricultural waste material, Jujuba seeds for the removal of anionic dye (Congo red) from aqueous medium, *Journal of Hazardous Materials*, p 203-204, p 118– 127.2012.
74. S. Venkat, P.V. Vijay Babu, Kinetic and equilibrium studies on the removal,of Congo red from aqueous solution using Eucalyptus wood (*Eucalyptus globulus*) saw dust, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, V 44, p 81–88,2013.
75. H.Basri Senturk, D. Ozdes, A.Gundogdu, Ce.Duran, M.Soylam , Removal of phenol from aqueous solution by onto organ modified Tirebolu bentonite: Equilibrium, Kinetic and thermodynamic study, *Hazardous Materials*, 172 (2009) 353-362.
76. G.Wang, X.Wang, X.Chai, J.Liu,N.Deng, Adsorption of uranium (VI) from aqueous solution on calcined and acid –activated kaolin, *Applied Clay Science*, 47 (2010) 448-451.
77. Leizou K. E., Muhammad A. A., Ahmad. J. K. C., Haroon. R . Adsorption studies of pb<sup>2+</sup> and mn<sup>2+</sup> ions on low-cost adsorbent: unripe plantain (*musa paradisiaca*) peel biomass.2018. *Acta Chemica Malaysia (ACMY)*, 2(1), 11-15.
78. N. L. Rosi, J. Eckert, M. Eddaoudi, D. T. Vodak, J. Kim, M. O'Keeff et O. M. Yaghi, Hydrogen Storage in Microporous Metal-Organic Frameworks, *Science* 300, (2003) 1127–1129.
79. H. K. Chae, D. Y. Siberio-Pérez, J. Kim, Y. B. Go, M. Eddaoudi, A. J. Matzger, M. O'Keeff et O. M. Yaghi, A route to high surface area, porosity and inclusion of large molecules in crystals, *Nature* 427, (2004) 523–527.
80. L. Murray, M. Dinca, J. Long, Hydrogen storage in metal–organic frameworks, *Chem. Soc. Rev.*, 38 (2009) 1294-1314.