

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AHMED DRAIA –ADRAR

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



Mémoire de Fin d'Etude Présentée en vue de l'obtention du diplôme de :

***MASTER ACADEMIQUE*** (Chimie de l'environnement)

**Etude de la valorisation des déchets agricoles par l'adsorption des colorants**

Soutenu le 15 /06/2021

Présenté par :

✚ BAHAMID Amina

✚ HAYAOUI Zeyneb

Qualité	Nom et Prénoms	Grade	Etb d'origine
Président	Mr Ghafour Hafida	M.C.B	Univ. Adrar
Examineur	Mr HABCHI Abdelmadjid	M.C.B	Univ. Adrar
Rapporteur	Mr ARROUSSI Abdelaziz	M.C.B	Univ. Adrar

A decorative scroll with purple flowers and green leaves, tied with a brown ribbon. The scroll is unrolled, showing text in the center.

## *Remerciements*

*Tout d'abord, je remercie ALLAH le tout puissant qui a guidé mes pas vers le savoir et qui m'a donné la force de concevoir cet humble travail jusqu'à la fin.*

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à Monsieur **ARROUSSI Abdelaziz** Maître de conférence à l'Université d'Adrar qui a accepté de nos encadrons, en nos soutenant tout le long de l'élaboration du mémoire.*

*Nous le remercions également pour son soutien moral, sa grande disponibilité, il a été présent dans nos débuts incertains, dans les moments de découragements ou le doute s'installe. Qu'il soit assuré de nos profondes gratitudes.*

*Nous remercions également toute l'équipe du laboratoire de chimie de l'Université Ahmed Draya-Adrar et tous nos collègues qui nous ont aidés professionnellement et moralement.*

*Enfin, nous rends hommage et nous exprime nos reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

## *Merci à vous Tous*

إهداء إلى روح أمي الغالية

رحموني الزهراء

الطريق إلى الله هو رضاك...

فكم قدمت وقدمت ما تعجز كلماتي عن وصفه وما أعجز أن أتذكره...  
اشتقت لدعائك لي في كل صباح والبسمة على شفقتك فوق جراح كنت أظنني أحسها شيئا ...  
فرحك لفرحي وأملك لألمي ، وسهرك وتعبك لنرتاح دون كلل أو ملل ...  
كم أنا محتاجة لتقبيل يدك وطلب المغفرة لظني انه لا حيلة لك في ما نعانیه ، وفهمت بعد رحيلك انك كنت تحتضنين  
نار جهنم لتقينا حرها ، وأنا التي أتحرق فقط من حرها فكيف كان حالك يا قنديل حياتنا الذي انطفأ...  
قنديل أنار طريقي وكان يبدد كل الخوف من غدر الحياة.لكن للأسف لم تمهلنا الأيام فهبت ريح قوية فأطفأت نور  
حياتي..

تعرفت على الموت لأول مرة عندما اقتحم حياتي وأخذ لؤلؤة البيت بدون استئذان...

فقدت نورك ولم تعوضني عنه قناديل الدنيا ومصاييحها المزيفة...

رحلت بسلام راضية مرضية وبقيت أصارع أمواج بحر الحياة الهاج...

ذهب الدليل والمرشد وغابت الموجهة الحكيمة...

رحلت يا أمي ولم أعرف حجم ما عانيت...

أقسم لك يا أمي أن قلبي ينفطر دما وعيوني تمتلئ بالدمع شوقا للقياك

إليك كتابي هذا أيتها الأم الراحلة...والباقية في الذاكرة أراك تسكنين الجنان الخالدة...

إليك قبلة على جبينك الذي وراه التراب ودعواتي لك بالعفو والمغفرة والرحمة تنزل على جسدك الطاهر...

رحمك الله يا غالية وأسكنك فسيح جناته وألحقنا بك وحشرنا وإياك مع الأنبياء والشهداء والصالحين....

رسالة مني نيابة عن كل من فقدوا أمهاتهم...

آمنة باحميد



## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à la personne qui a consacré toute sa  
vie pour le  
Bien de ses fils et ses filles : Ma mère , Mon père*

*À ma grand mère .*

*À mes sœurs.*

*À toute ma famille.*

*À mes amis intimes et mes collègues qui m'ont toujours  
encouragé particulièrement O.Rafai, A. Drissi ,et S.  
cheikh bella.*

*À ma collègue Amina et toute sa famille.*

*Hayoui zeyneb.*

# SOMMAIRE

## Liste des tableaux

## Liste des figures

## Liste des abreviations

## Résumé

<b>Introduction Générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Etudes Bibliographiques</b> .....	4
<b>I. La pollution</b> .....	5
I.1 <b>La pollution des eau</b> .....	5
I-2. <b>Classification des termes concernant la pollution</b> .....	5
I.2.1. <b>Classification selon le type de polluant</b> .....	5
I-2-1-1. <b>Pollution physique</b> .....	6
I-2-1-2. <b>Pollution chimique</b> .....	6
I-2-1-3. <b>Pollution biologique</b> .....	6
I.2.2. <b>Classification selon l'origine de la pollution</b> .....	6
I-2-2-1. <b>Pollution domestique</b> .....	6
I-2-2-2. <b>Pollution urbaine</b> .....	6
I-2-2-3. <b>Pollution agricole</b> .....	7
I-2-2-4. <b>Pollution industrielle</b> .....	7
I-3. <b>Utilisation de l'eau dans l'industrie textile</b> .....	7
I-4. <b>Traitement des eaux usées</b> .....	8
I-4-1. <b>Traitement préliminaire (prétraitement)</b> .....	8
I-4-2. <b>Traitement Primaire</b> .....	8
I-4-3. <b>Traitements biologiques (traitements secondaires)</b> .....	8
I-5. <b>Les différents polluants des eaux</b> .....	9
<b>II- Les colorants</b> .....	10
II.1. <b>Définition d'un colorant</b> .....	10
II.2. <b>Les types des colorants</b> .....	11
II.2.1. <b>Les colorants synthétiques</b> .....	11
II.2.2. <b>Les colorants naturels</b> .....	11
II.3. <b>Classification des colorants</b> .....	12
II.3.1. <b>Classification chimique</b> .....	12
II.3.1.1. <b>Les colorants azoïques</b> .....	12
II.3.1.2. <b>Les colorants anthraquinoniques</b> .....	12
II.3.1.3. <b>Les colorants indigoïdes</b> .....	13
II.3.1.4. <b>Les colorants xanthènes</b> .....	14
II.3.1.5. <b>Les colorants phtalocyanines</b> .....	14
II.3.1.6. <b>Les colorants nitrés et nitrosés</b> .....	15
II.3.2. <b>Classification tinctoriale</b> .....	15
II.4. <b>Utilisation des colorants</b> .....	19
II.5. <b>les colorant et leurs impacts sur la santé</b> .....	19
II.6. <b>L'impact des rejets textiles sur l'environnement</b> .....	20
II.7. <b>Toxicité des colorants</b> .....	20
II.7.1. <b>Les dangers à court terme</b> .....	20
II.7.1.1. <b>Eutrophisation</b> .....	20

II.7.1.2. Sous-oxygénation.....	20
II.7.1.3. Couleur-turbidité, odeur.....	21
II.7.2. Les dangers à long terme.....	21
II.7.2.1. La persistance.....	21
II.7.2.2. Bioaccumulation.....	21
II.7.2.3. Cancer.....	22
II.7.2.4. Sous-produit de chloration.....	22
II.8. Procédés d'élimination des colorants.....	22
II.8.1. Procédés biologique.....	22
II.8.2. Procédés chimiques.....	22
II.8.2.1. Les procédés d'oxydation avancée (POA).....	22
II.8.3. Les procédés physico-chimiques.....	23
II.8.3.1. La coagulation-précipitation.....	23
II.8.3.2. Les techniques membranaires.....	24
II.8.3.3. L'échange d'ions.....	24
II.8.3.4. L'adsorption.....	24
II.9. Définition de l'adsorption.....	24
II.9.1. Types d'adsorption.....	25
II.9.1.1. L'adsorption physique (ou chimisorption).....	25
II.9.1.2. L'adsorption chimique (ou physisorption).....	25
II.9.2. Le mécanisme d'adsorption d'un colorant.....	25
II.9.3. Principaux facteurs influençant sur l'adsorption.....	26
II.9.3.1. Concentration.....	26
II.9.3.2. Température.....	27
II.9.3.3. pH.....	27
II.9.3.4. Masse de l'adsorbant.....	27
II.9.3.5. L'adsorba.....	27
II.9.4. Modèles d'isothermes d'adsorption.....	27
II.9.4.1. Modèle de Freundlich.....	29
II.9.4.2. Modèle de Langmuir.....	30
II.9.4.3. Modèle de Temkin.....	31
II.10. Les adsorbants : propriétés générales.....	31
II.10.1. Principaux types d'adsorbants.....	32
II.10.2. Les propriétés des adsorbants.....	32
II.10.2.1 Structure poreuse.....	32
II.10.2. La surface spécifique.....	33
II.10.3. Les différents adsorbants.....	34
II.10.3.1 Adsorbants industriels.....	34
II.10.3.1.1. Charbon Actif.....	35
II.10.3.1.2. Les alumines activées.....	35
II.10.3.1.3. Les argiles activées.....	35
II.10.3.1.4. Les zéolithes.....	35
II.10.3.2. Les Adsorbants naturels (Biosorbants).....	35
<b>Chapitre II : Partie expérimentale</b> .....	<b>37</b>
I. Les méthodes d'analyse.....	38

I.1. Spectrophotométrie UV-visible.....	38
I.1.1. Spectres dans l'UV / visible.....	39
I.1.2. Origine des absorption.....	40
I.1.3. Les groupements chromophores.....	41
II. Produits et matériels.....	42
II.1. Les produits.....	42
II.2. Les matériels.....	44
III. Les modes opératoires.....	45
III.1. Préparation des solutions de colorant.....	45
III.2. Préparation de mélange du RTL avec les différents supports (lesfeuilledepalmier dattier et les cosses de haricot).....	45
III.3. Détermination du point de charge nulle de sorbant.....	46
<b>Chapitre III : Résultats et discussions</b> .....	<b>47</b>
I. Caractérisation par UV-visible.....	48
I.1. Effet de la masse d'absorbant EF et FPD sur l'adsorption du RTL.....	48
I.2. Effet de la concentration initiale du colorant.....	49
I.3. Effet du temps de contact.....	50
I.4. Effet du pH.....	51
I.4.1. Détermination du point de charge nulle de biosorbant (EF).....	51
I.4.2. Détermination de pH optimale.....	51
I.4.3. Détermination du point de charge nulle de biosorbant (FPD).....	52
I.4.4. Détermination de pH optimale.....	53
II. Modélisation des isothermes d'adsorption.....	53
II.1. Modèle de Langmuir.....	53
II.2. Modèle de Freundlich.....	55
<b>Conclusion</b> générale.....	<b>58</b>
<b>References</b> bibliographiques.....	<b>60</b>
<b>Annexe</b> .....	<b>66</b>

# LISTE DES TABLEAUX

---

---

## Chapitre I

- **Tableau I-1:** Principaux types de pollution des eaux continentales, nature des produits polluants et leurs origines.....9
- **Tableau I-2:**Principaux groupements chromophores et auxochromes.....10
- **Tableau I-3 :** Classification des colorants synthétiques.....16
- **Tableau I-4:** caractéristiques des principaux adsorbants industriels .....32

## Chapitre II

- **Tableau II-1:** Chromophores de quelques groupements azotés.....42

## Chapitre III

- **Tableau III-1:**Les paramètres des essais de modélisation des deux isothermes d'adsorption de RTL par le EF .....56
- **Tableau III-2:** Les paramètres des essais de modélisation des deux isothermes d'adsorption de RTL par le EF .....56



# LISTE DES FIGURES

---

## Chapitre I

- **Figure I-1** :Structure générale des colorants azoïques ..... 12
- **Figure I-2** :Structure générale des colorants anthraquinoniques.....13
- **Figure I-3** :Structure générale des colorants indigoïdes.....13
- **Figure I-4** : Structure générale des colorants xanthènes.....14
- **Figure I-5** :Structure générale des colorants phtalocyanines.....15
- **Figure I-6** :Structure générale des colorants nitrosés..... 15
- **Figure I-7** :Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.....26
- **Figure I-8** :Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure.....28
- **Figure I-9** :Représentation graphique de l'isotherme de Freundlich.....30
- **Figure I-10** :Représentation schématique des différents types de pores..... 33
- **Figure I-11** :Représentation schématique de la surface interne et externe d'un Adsorbant.....34

## Chapitre II

- **Figure II-1**: Le spectre électromagnétique..... 38
- **Figure II-2** :Partie du spectre d'une vapeur d'iode.....40
- **Figure II-3** : Transitions électroniques rencontrées en chimie organique.....40
- **Figure II-4** : formule développée du rouge télon lumière..... 43
- **Figure II-5** : Détermination de  $\lambda_{\max}$  du rouge télon lumière.....43
- **Figure II-6** : courbe d'étalonnage du rouge télon lumière.....44

## Chapitre III

- **Figure III-1** : Effet du masse d'absorbant EF sur l'adsorption du RT.....48
- **Figure III-2** : Effet du mass d'absorbant FPD sur l'adsorption du RTL.....48
- **Figure III-3** :effet de la  $C_0$  du colorant sur EF.....49
- **Figure III-4** : effet du  $C_0$  du colorant sur FPD.....49
- **Figure III-5** : effet le temps de contact (EF).....50

## LISTE DES FIGURES


---

- <b>Figure III-6:</b> effet du temps de contact(FPD) .....	50
- <b>Figure III-7:</b> courbe de point de charge nulle de EF .....	51
- <b>Figure III-8 :</b> effet de pH sur l'adsorption de RTL pour EF .....	51
- <b>Figure III-9:</b> courbe de point de charge nulle de FPD .....	52
- <b>Figure III-10:</b> effet de pH sur l'adsorption de RTL pour PDF.....	53
- <b>Figure III-11:</b> Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du RTL par FPD, selon le modèle de Langmuir .....	54
- <b>Figure III-12:</b> Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du RTL par FPD, selon le modèle de Langmuir .....	54
- <b>Figure III-13:</b> Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du de RTL par EF selon le modèle de Freundlich.....	55
- <b>Figure III-14:</b> Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du de RTL par FPDselon le modèle de Freundlich .....	56.


# LISTE DES ABREVIATIONS


---

 **POA** : Les procédés d'oxydation avancée.

 **RTL** : rouge télon lumière.

 **UV-visible** : Ultra-violet visible .

 **PCN** : Point de charge nulle .

 **EF** :écores de fève .

 **FPD** :feuilles des palmiers dattiers .

## Résumé

Les colorants synthétiques organiques sont des composés utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que le domaine chimique, papeterie et plus particulièrement le secteur textile, où toutes les gammes de nuance et de familles chimiques sont représentées. Une technique de traitement adaptée aux rejets de l'industrie de textile doit avant tout atteindre des performances équivalentes lorsqu'on doit traiter un effluent mélange.

Dans le cadre de ce mémoire nous sommes intéressés au procédé d'adsorption des colorants textiles. Le traitement consiste à un traitement par deux biosorbants (EF et FPD), pour cela nous avons étudié l'évaluation de l'effet de certains paramètres opératoires sur la quantité d'adsorption (temps de contact, mass de biosorbant, concentration initiale du colorant et pH de la solution).

Les isothermes d'adsorption des systèmes adsorbant/adsorbât étudiés sont décrites de manière satisfaisante par le modèle mathématique de Langmuir.

Les résultats obtenus montrent que le traitement du RTL donne un bon résultat, la quantité d'adsorption maximale est de 697.53 mg/g pour FPD et 46,23 mg/g pour EF.

**Mots clés :** eau usée, colorant, adsorption, écorce de fève, feuilles de palmier dattiers.

## Abstract

Synthetic organic dyes are compounds used in many industrial sectors such as the chemical sector, stationery, and textile sector, where all ranges of shades and chemical families are represented. A treatment technique suitable for discharges from the textile industry must above all achieve equivalent performance when treating a mixed effluent. Within the framework of this thesis, we are interested in the process of adsorption of textile dyes. The treatment consists of treatment with bio sorbents (EF and FPD), for that we have studied the evaluation of the effect of certain operating parameters on the amount of adsorption (contact time, biosorbent dose, initial dye concentration, and solution pH). The adsorption isotherms of the adsorbent/adsorbate systems studied are satisfactorily described by Langmuir's mathematical model. The results obtained show that the RTL treatment gives a good result, the adsorption amount is 697.53 mg / g for FPD and 46,23 mg / g for EF.

**Keywords:** wastewater, dye, adsorption, bean bark, date palm leaves .

ملخص

الأصبغ العضوية الاصطناعية هي مركبات تستخدم في العديد من القطاعات الصناعية مثل قطاع الكيماويات والقرطاسية وبشكل خاص قطاع النسيج ، حيث يتم تمثيل جميع نطاقات الطلال والعائلات الكيميائية. يجب أن تحقق تقنية المعالجة المناسبة للتصريفات من صناعة النسيج قبل كل شيء أداءً مكافئاً عند معالجة النفايات السائلة المختلطة.

في إطار هذه الأطروحة نهتم بعملية امتزاز الأصبغ النسيجية. يتكون العلاج من العلاج بالمواد الماصة (EF) و (FPD) نحن ندرس تقييم تأثير معلمات تشغيل معينة على مقدار الامتزاز (وقت التلامس ، كتلة الممتزات ، تركيز الصبغة الأولي ودرجة الحموضة في المحلول ) .

تم وصف متساوي الامتزاز لأنظمة الامتصاص / الممتزات التي تمت دراستها بشكل مُرضي بواسطة نموذج Langmuir الرياضي.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن معالجة RTL تعطي نتيجة جيدة ، حيث بلغت كمية الامتصاص 697.53 مغ / غرام ل FPD و 46,22 مغ / غرام ل EF

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي ، الصبغة ، الامتصاص ، لحاء الفول ، أوراق النخيل.

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

---

Avec la croissance de l'humanité, de la science et de la technologie, notre monde atteint de nouveaux horizons mais le coût que nous payerons dans le futur proche va sûrement être trop haut. Parmi les conséquences de cette croissance rapide est le désordre environnemental avec un grand problème de pollution. Sans compter d'autres besoins, la demande de l'eau a augmenté énormément avec la consommation de l'agricole, de l'industriel et des secteurs domestiques qui consomment 70, 22 et 8% de l'eau douce disponible, respectivement et de ceci a eu comme conséquence la génération de grandes quantités d'eau usagées contenant un certain nombre de polluants [1]. L'un des importants polluants, ce sont les colorants industriels constituent un problème majeur de pollution qui sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que les industries alimentaires et cosmétiques et dans les teintures du papier, du cuir, et de textile.

La pollution des eaux issues des rejets industriels est un sérieux problème dans plusieurs pays. Cette pollution peut provoquer des effets nocifs sur l'environnement et sur la santé humaine. Les eaux résiduelles industrielles chargées en colorants ont été largement étudiées. [2] donc il est nécessaire de limiter la plus possible ces polluants en mettant en place une moyenne de traitement adaptée comme une unité de décoloration.

Il existe plusieurs méthodes physique, chimique et biologique pour traiter et décolorer des effluents pollués tel que la coagulation et la floculation, la biodégradation, la filtration membranaire, l'oxydation chimique, l'ozonation, échange d'ions, les méthodes électrochimiques et l'adsorption [3].

La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour l'élimination des colorants. Cette dernière est devenue une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation [4].

Le principe du traitement par adsorption est de piéger les colorants par un matériau solide appelé adsorbant. Il existe, dans la littérature, plusieurs matériaux solides (argiles, zéolites, alumines activées, boue, résidus agricoles, sous-produits industriels et charbon actif, biomasses, etc. ...) pouvant être utilisés dans des procédés de décoloration des eaux.

La recherche est orientée sur la dépollution des eaux usées par biosorbant naturel.

## Introduction générale

---

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'élimination des colorants en particulier le rouge télon lumière par deux biosorbants naturelles qui sont : les feuilles de palmier dattier et les écorces de fève. Pour cela, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

- ✚ Le premier chapitre englobe une étude bibliographique sur la pollution des eaux, les colorants et les différents procédés de leur traitement et les différents biosorbants ;
- ✚ Le deuxième chapitre à sera consacré la présentation de méthode de caractérisation telle que le spectrophotomètre UV-visible ;
- ✚ Le troisième chapitre donnera l'exploitation des différents résultats expérimentaux et à leurs interprétations.

L'étude est clôturée par une conclusion générale avec des perspectives pour la suite de cette étude.

# **CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**



# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

## **I. La pollution :**

L'environnement recouvre l'ensemble des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent une espèce et qui lui permettent de vivre. Notre environnement, c'est notre support de vie et toutes ses composantes : l'air, l'eau, l'atmosphère, les roches, les végétaux, les animaux....

La pollution est en général un sous-produit de l'activité humaine qui peut toucher l'atmosphère, le sol ou les eaux par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques qui sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants ou qui perturbent de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes. Outre ses effets sur la santé humaine et animale, elle peut avoir pour conséquences la migration ou l'extinction de certaines espèces qui sont incapables de s'adapter à l'évolution de leur milieu naturel. Par extension, pour les êtres humains, la pollution peut être la conséquence de toute perturbation de l'environnement qui, outre les effets sur la santé, en gêne une utilisation légitime [5] .

### **I-1. Pollution des eaux :**

L'eau est l'élément central de tous les processus socio-économiques, quel que soit le degré de développement de la société. L'augmentation des activités agro-industrielles engendre une pression grandissante sur les réserves en eau douce de la planète.

La pollution de l'eau résulte de la contamination par les matières organiques et chimiques qu'on retrouve dans les déchets humains, animaliers et industriels, ainsi que dans les engrais, les produits phytosanitaires, bactériologiques et même les médicaments. Dans de nombreux pays en développement, de 80 à 90% des eaux usées déversées sur les côtes sont des effluents bruts, c'est à dire des rejets qui n'ont pas été traités [5].

### **I-2. Classification des termes concernant la pollution :[5]**

On peut utiliser divers critères de classification, reposant sur l'origine, la nature des polluants, et la nature des nuisances créées (répercussions sur la santé publique, sur l'équilibre écologique en rivière ou en lac...).

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

## **I-2-1. Classification selon le type de polluant :**

Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

### **I-2-1-1. Pollution physique :**

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) .

### **I-2-1-2. Pollution chimique :**

Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables.

### **I-2-1-3. Pollution biologique :**

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques, ... etc ).

## **I-2-2. Classification selon l'origine de la pollution :**

Selon l'origine de la pollution, on distingue quatre catégories : pollution domestique, urbaine, agricole et pollution industrielle.

### **I-2-2-1. Pollution domestique :**

Elle est due principalement aux rejets domestiques (eaux de lavage, huiles de vidange, matières fécales, etc.)

### **I-2-2-2. Pollution urbaine :**

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité [6]

## **I-2-2-3. Pollution agricole :**

Le monde agricole est aussi responsable de la pollution. Il y participe fortement avec des produits chimiques issus des engrais et des produits phytosanitaires qu'on utilise à volonté pour éliminer les insectes et protéger les végétaux, comme les insecticides, les pesticides et les fongicides. Par ailleurs, les pesticides ne sont pas biodégradables.

## **I-2-2-4. Pollution industrielle :**

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution des eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui, tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie le reste est rejeté.

Les eaux résiduelles d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. A ce propos, parmi les grandes industries polluantes, l'industrie textile occupe une place suffisamment importante pour être prise en compte [7].

## **I-3. Utilisation de l'eau dans l'industrie textile :**

Aux divers stades de la fabrication, ces industries demandent de grandes quantités d'eaux qui sont l'objet des traitements suivants:

- Adoucissement ou déminéralisation des eaux destinées à la préparation du fil, spécialement lorsqu'il s'agit de textile artificiel. (adoucissement, souvent précédée décarbonatation des eaux destinées au blanchiment et à la teinture des fibres).
- Traitement des eaux d'alimentation des chaudières, dont les volumes d'appoint sont souvent importants.
- Déminéralisation des eaux destinées au conditionnement de l'air des salles de filature ou de tissage (osmose inverse, échange d'ions) [8]

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## **I-4. Traitement des eaux usées :**

La station d'épuration des eaux usées comporte une chaîne de traitement dont la complexité dépend des degrés d'épuration jugée nécessaire, cette chaîne comprend [9]:

- Traitement préliminaire (prétraitement) ;
- Traitement primaire ;
- Traitement secondaire.

### **I-4-1. Traitement préliminaire (prétraitement) :**

Les eaux brutes subissent à l'arrivée dans une station d'épuration un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour un traitement ultérieur. Ces opérations sont : le dégrillage, le tamisage, le dessablage, le déshuilage et dégraissage.

### **I-4-2. Traitement Primaire :**

En épuration des eaux usées le traitement primaire est une simple décantation qui permet de supprimer la majeure partie des matières en suspension.

A la fin de ce traitement, la décantation aura permis de supprimer environ 60% des matières en suspension, environ 30% de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO supprimée est induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant. Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires [10]

### **I-4-3. Traitements biologiques (traitements secondaires) :**

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour cela on utilise des populations de micro-organismes capables de les consommer. Dans les cas étudiés, le principe général est de favoriser la croissance de communautés de bactéries aérobies, c'est-à-dire qui prélève l'O<sub>2</sub> pour leur métabolisme (le lagunage naturel, les boues activées, les biofiltres et filtres bactériens).

De nombreuses stations d'épuration cumulent aujourd'hui les traitements primaires et secondaires. Certaines plus rares utilisent des traitements avancés ou tertiaires. En effet, à la fin des traitements secondaires, il reste encore dans l'eau des éléments dissous que les

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

bactéries n'auront pas absorbés (azote, phosphore) et des éléments qu'elles ne sont de toute manière pas aptes à traiter (oestrogènes par exemple).

## **I-5. Les différents polluants des eaux :**

L'eau, qu'elle soit douce, salée, de l'eau de pluie, de l'eau souterraine ou de l'eau superficielle, peut être souillée par des matières qui peuvent la rendre nocive. Selon l'origine des déchets (industriels, agricoles, urbains...), qui est majoritairement anthropique [11] Les polluants peuvent être classés, selon leur nature, en trois grandes catégories : chimique, physique et biologique (Tab I-1).

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

<b>TYPES DE POLLUTION</b>	<b>NATURE</b>	<b>SOURCES</b>
<b>Physique</b>		
pollution thermique	rejets d'eau chaude	centrale thermiques
pollution radioactive	radio-isotopes	installation nucléaires
matière organique	glucides, lipides ,protides	effluents domestiques, agricoles ,agro-alimentaires
	ammoniac, nitrates	élevages et piscicultures
<b>chimique</b>		
fertilisants	nitrates ,phosphates	agriculture , lessives
métaux et métalloïdes	mercure ,cadmium ,plomb , aluminium ,arsenic....	industries , agriculture , pluies acides , combustion
pesticides	insecticides ,herbicides , fongicides	agriculture , industries
composées organique de synthèse (exp :les colorants)	nombreuses molécules	Industries
détergifs	agents tensio-actifs	effluents domestiques
Hydrocarbures	pétrole et dérivés	industrie pétrolière , transports

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Microbiologique	bactéries , virus , champignons	effluents urbains et d'élevage
-----------------	------------------------------------	--------------------------------

## II- Les colorants :

### II.1. définition d'un colorant :

Un colorant est une matière colorée par elle-même, capable de se fixer sur un support. La coloration plus ou moins intense des différentes substances est liée à leur constitution chimique [13].

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores. La molécule colorante est un chromogène. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense [14]. Le tableau I.2 donne les groupements chromophores classés par intensité décroissante. D'autres groupes d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore, ils sont appelés les groupements auxochromes. Les chromophores sont des systèmes à liaisons  $\pi$  conjuguées ou des complexes de métaux de transition. La coloration correspond aux transitions possible après absorption du rayonnement lumineux entre ces niveaux d'énergie propres à chaque molécule [15].

**Tableau I -2:** Principaux groupements chromophores et auxochromes [14]

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH <sub>3</sub> )
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Nitro (-NO <sub>2</sub> ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupeurs donneurs d'électrons

## II .2. Types des 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. [16].

Le déversement des colorants dans l'environnement constitue un énorme problème. La présence de ces types de contaminants dans l'eau est très visible et indésirable même à l'état de trace. De nombreuses études ont montré que l'exposition aux colorants engendre des effets négatifs sur la santé humaine [19].

### II.2.1 Les colorants synthétiques :

Ce sont des composés ayant comme matières premières des molécules telles que le benzène, issu de la distillation de la houille. C'est grâce à une série de procédés chimiques, qui correspondent en général à la substitution d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux particuliers, que sont fabriqués les intermédiaires. Ces derniers serviront à la fabrication du colorant final. Les colorants synthétiques dont les propriétés peuvent être précisément adaptés à leur utilisation, dominent aujourd'hui le marché [20].

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## II.2.2 Les colorants naturels :

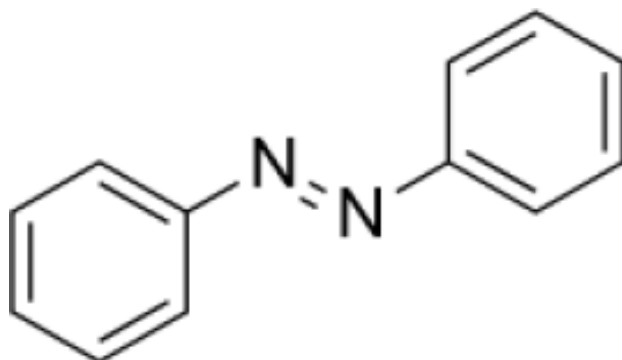
Les premiers employés ont été d'origine minérale (terres colorées) ; et depuis que l'homme a réussi à maîtriser les techniques des tissages, il s'est servi de teintures d'origine végétale ou animale [21].

## II.3 Classification des colorants :

### II.3.1 Classification chimique :

#### II.3.1.1 Les colorants azoïques :

Les colorants "azoïques" sont caractérisés par le groupe fonctionnel azoïque (-N=N-) unissant deux groupements alkyles ou aryles identiques ou non (azoïque symétrique et dissymétrique). Ces structures qui reposent généralement sur le squelette de l'azobenzène, sont des systèmes aromatiques ou pseudo aromatiques liés par un groupe chromophore azoïque. [25],[26.]



**Figure I -1:** Structure générale des colorants azoïques



# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## II.3.1.2 Les colorants anthraquinoniques :

D'un point de vue commercial, ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau qui nonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines. [27], [28].

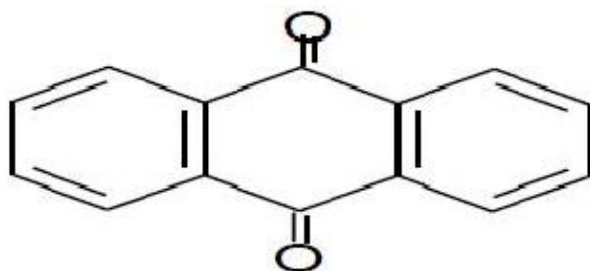


Figure I-2. Structure générale des colorants anthraquinoniques.

## 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 médicaux [29], [30].

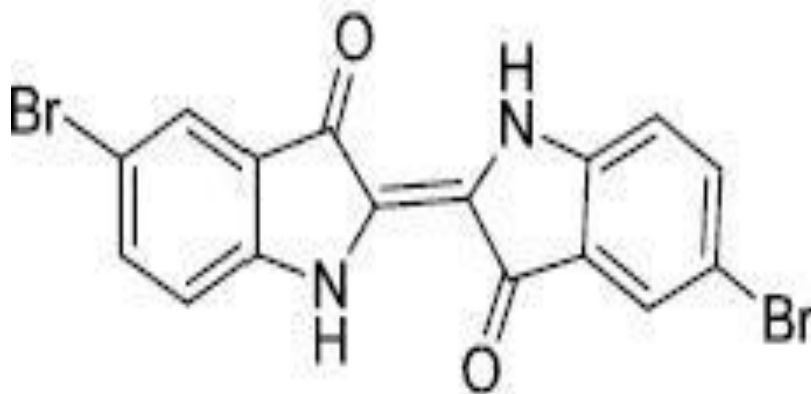


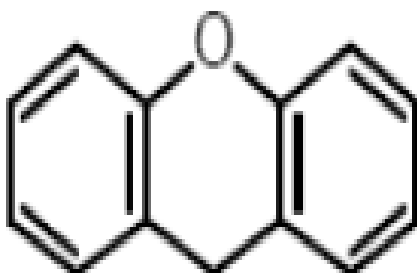
Figure I-3: Structure générale des colorants indigoïdes.

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## 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 [31].



**Figure I-4:** Structure générale des colorants xanthènes.

## 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.) [32] .

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

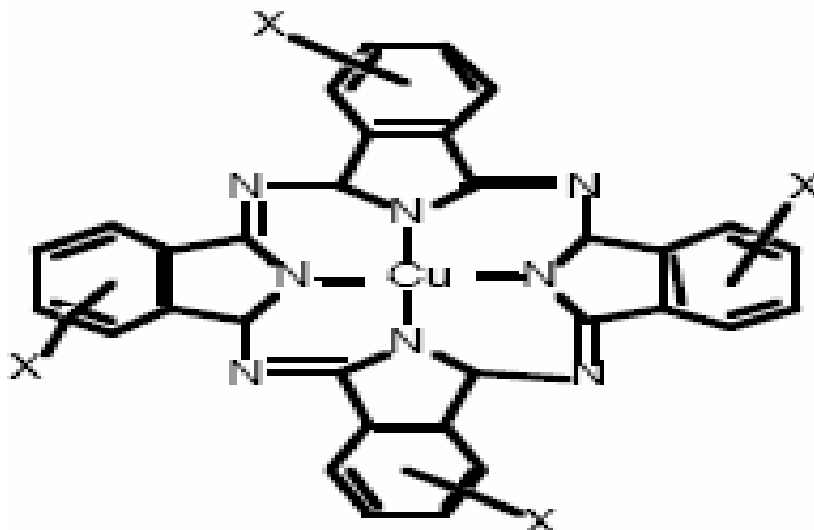


Figure I-5: Structure générale des colorants phtalocyanines.

## II.3.1.6 Les colorants nitrés et nitrosés :

Forment une classe de colorants très limitée 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). [33], [34].

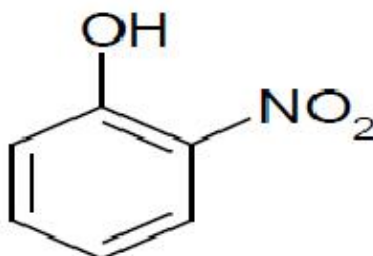


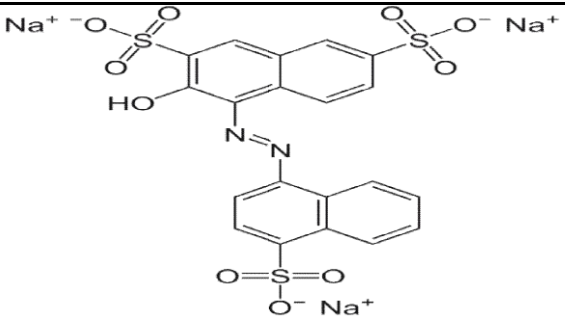
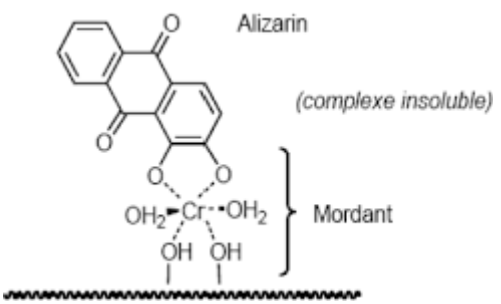
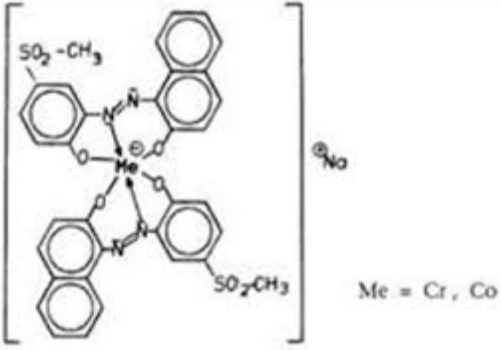
Figure I-6: Structure générale des colorants nitrosés.

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

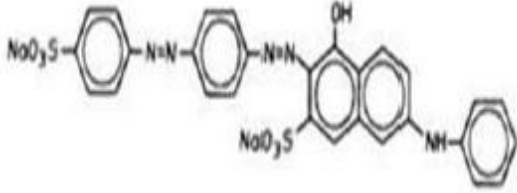
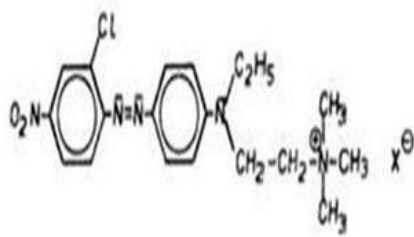

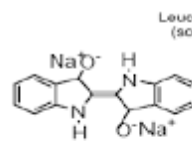
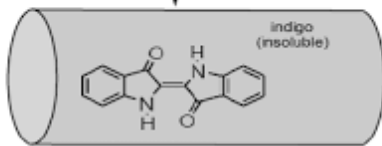
## II.3.1.7 Classification tinctorial :

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. [35]

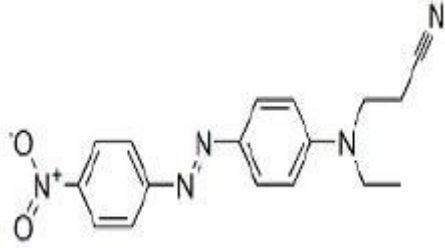

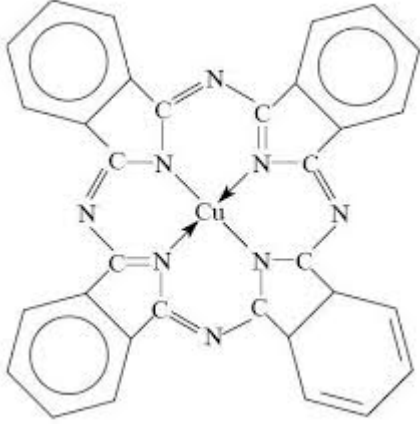
**Tableau I-3** :Classification des colorants synthétiques. [36]

Colorant	Applicatin	Systèmes	Exemple
Acides	polyamide (70 à 75 %) - laine (25 à 30 %) soie, fibres acryliques	azoïques	 <p>Chemical structure of a disazoic acid dye. It features a central benzene ring with a hydroxyl group (-OH) and two sodium sulfonate groups (-SO<sub>3</sub>Na) at the 4 and 6 positions. This ring is connected via azo (-N=N-) bridges to two naphthalene rings, each also substituted with a sodium sulfonate group (-SO<sub>3</sub>Na).</p>
Mordant	-laine -soie	Azoïque avec du chrome favorisant sa fixation	 <p>Chemical structure of Alizarin (1,2-dihydroxyanthraquinone) complexed with a chromium mordant. The Alizarin molecule is shown with its two hydroxyl groups coordinated to a central chromium atom (Cr). The chromium atom is also coordinated to two hydroxyl groups and two water molecules (OH<sub>2</sub>), forming a complex labeled 'Mordant'. The entire complex is shown interacting with a fiber surface, represented by a wavy line. The text '(complexe insoluble)' is written next to the Alizarin molecule.</p>
Mitallifères	-fibre polyamides	mono-azoïques contenant des groupement carboxyles et aminés pour former des complexes métalliques (Cr,Co,Ni,Cu)	 <p>Chemical structure of a metal-complexed mono-azoic dye. It shows a central metal atom (Me) coordinated to two nitrogen atoms of an azo group (-N=N-) and two oxygen atoms of a carboxylate group (-COO<sup>-</sup>). The metal atom is also coordinated to two water molecules (OH<sub>2</sub>). The complex is shown within brackets with a negative charge and a sodium counterion (Na<sup>+</sup>). The text 'Me = Cr, Co' is written below the structure.</p>
Directs	-viscose, le lin, le jute la	Azoïques, longues structures	

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

	soie, les fibres polyamides et le coton	moléculaires planes qui permettent a ces molécules de s'aligner avec les macromolécules plates de cellulose	
Basiques (cationiques)	Fibre: acryliques, polyamide	Azoïques Contiennent un groupe amine quaternaire	
Au Soufre	Coton et viscose les polyamides et polyesters rarement la soie	Structure chimique exacte n'est pas toujours connue	
De Cuve et leuco-esters	Traitement et l'impression du coton et de fibres cellulosiques polyamide et de polyester avec des fibres cellulosiques	Indigoides et anthraquinonique	<p>Colorant de cuve</p>  <p>leuco-esters</p> <p>Leucoindigo (soluble)</p>  <p>↓</p>  <p>indigo (insoluble)</p>

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<p>Dispersés</p>	<p>Polyester fibre cellulosiques fibres depolyamie et d'acrylique</p>	<p>- Azoïques 50% - Anthraquinoniques (25 %), + méthine, nitro et naphthoquinone. Caractéristiques : l'absence de groupes de solubilisation et un poids moléculaire faible</p>	
<p>Réactifs</p>		<p>Azotique, on la particularité de posséder groupement chimique spécifiques capables de former des liaisons covalentes avec de support textile</p>	
<p>Pigments</p>	<p>Utilisés dans les procédés d'impression</p>	<p>Les pigments xorganiques sont en grande partie des dérivés benzoïques les pigments inorganiques (minéraux) sont des dérivés de métaux tels que</p>	

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

		Ti,Zn, Ba,Pb, Fe, Mo, Ca, Al, Ma, Cd, Cr.	
--	--	---	--

## II.4. Utilisation des colorants:

Les teintures sont largement utilisées dans de vastes secteurs industriels tels que la fabrication de textiles, le tannage du cuir, les cosmétiques, le papier, la transformation des aliments et l'industrie pharmaceutique [37].

L'utilisation d'une matière colorante doit répondre à un certain nombre de critères [38] :

- ✓ Résistance à l'abrasion.
- ✓ Stabilité photolytique des couleurs.
- ✓ Résistance à l'oxydation chimique et aux attaques microbiennes.

Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants [38]:

- ✓ Dans l'industrie textile de la fourrure, du cuir (textile à usage vestimentaire, de décoration, de bâtiment, de transport, textile à usage médicale...).
- ✓ Dans l'industrie de matières plastiques (pigments).
- ✓ Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigment).
- ✓ Dans l'industrie pharmaceutique (colorants).
- ✓ Dans l'industrie des cosmétiques.
- ✓ Dans l'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).
- ✓ Dans l'industrie (encre, papier).

## II.5. Les colorant et leurs impacts sur la santé :

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. En effet, des chercheurs, ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane. Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermites eczémateuses ont été observées avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes (chélite de rouge). Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérigènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie [39].

## **II.6. 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 [34].

## **II.7. Toxicité des colorants :**

### **II.7.1 Les dangers à court terme :**

#### **II.7.1.1 Eutrophisation :**

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes. [40]

#### **II.7.1.2 Sous-oxygénation : [41]**



# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

Lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. Manahan estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des microorganismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau .

## II.7.1.3 Couleur-turbidité, odeur :

L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, de prolifération bactérienne, d'odeurs pestilentielles et de colorations anormales. Willmott et al. (1998) ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'oeil humain à partir de  $5 \times 10^{-6}$  g.L<sup>-1</sup>. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques. [42], [43].

## II.7.2. Les dangers à long terme :

### II.7.2.1 La persistance :

Les colorants organiques synthétiques, en particulier azoïques, sont des composés très résistants à la dégradation biologique naturelle. [44]

Cette persistance est en étroite relation avec leur réactivité chimique [23] :

- Les composés insaturés sont moins persistants que les saturés .
- Les alcanes sont moins persistants que les aromatiques .
- La persistance des aromatiques augmente avec le nombre de substituants .
- Les substituants halogènes augmentent la persistance des colorants tels que les groupements alkyles.

### II.7.2.2 Bioaccumulation :

Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance telle qu'un colorant, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, alors cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se retrouvent exposées à des teneurs

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

en substances toxiques pouvant être jusqu'à mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau [23].

## **II.7.2.3 Cancer :**

Si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leurs métabolites l'est [45]. Leurs effets mutagènes, tératogènes ou cancérigènes apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation amine cancérigène pour les azoïques, leuco-dérivé pour les Triphénylméthanés. [40]

## **II.7.2.4 Sous-produit de chloration :**

Le chlore utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes réagit avec la matière organique pour former des trihalométhanes pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/L. Ils sont responsables de développement de cancer du foie, des poumons, des reins et de la peau chez l'homme. [46],[ 33] .

## **II.8. Procédés d'élimination des colorants :**

De nombreuses techniques de dépollution des effluents chargés en colorants sont développées au cours de ces dernières années. Parmi ces techniques on peut citer quelques procédés biologique , chimiques , et physico chimique .

### **II.8.1. Procédés biologique :**

Par l'action des boues activées ou la décoloration est faible, du fait que les colorants ne sont pas biodégradables. La combinaison du traitement physico-chimique et traitement biologique permet dans la plupart des cas d'avoir un effluent décoloré à plus de 85% .

### **II.8.2. Procédés chimiques :**

#### **II.8.2.1. Les procédés d'oxydation avancée (POA) :**

Les POA regroupent des méthodes chimiques, photochimiques ou électrochimiques. Le développement de ces méthodes est en plein essor depuis environ trois décennies. Ces méthodes de traitement consistent à dégrader les molécules de colorants en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O au moyen du rayonnement UV en présence d'hydrogène peroxyde [47].

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

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

La possibilité d'utilisation du réactif de Fenton dans le domaine de l'environnement, en particulier dans le traitement des eaux usées, a été abordée durant les deux dernières décennies. Le réactif de Fenton n'est autre que le peroxyde d'hydrogène activé au moyen d'un sel ferreux et constitue un agent oxydant adapté au traitement d'effluents contenant des colorants résistants à la biodégradation ou toxiques vis-à-vis des microorganismes [48].

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

Traitement des effluents colorés par électrochimie semble être plus intéressant, dans la mesure où le procédé dans ce cas fait preuve d'une bonne efficacité technique et économique. En effet, les effluents recueillis en sortie ne présentent généralement aucun danger pour les organismes vivants et la mise en oeuvre de ce procédé nécessite très peu ou pas du tout de réactifs chimiques [49].

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

La photodégradation des colorants peut avoir lieu en présence ou non de catalyseurs et/ou d'agents oxydants, tels que le peroxyde d'hydrogène, ou l'ozone. La réaction peut conduire à la minéralisation complète de la molécule polluante. Ce phénomène est dû en particulier à l'action des radicaux hydroxyles [47].

## **II.8.3. Les procédés physico-chimiques :**

### **II.8.3.1. La coagulation-précipitation :**

Cette technique permet l'élimination des colorants par coagulation-floculation-décantation, grâce à l'ajout de cations trivalents, tels  $\text{Fe}^{3+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$  [50]. Cette méthode consiste en une annulation du potentiel zêta (coagulation) par l'ajout d'un réactif chimique, ce qui entraîne la déstabilisation des particules colloïdales, suivie de leur agglomération (floculation) en microflocs, puis en flocons volumineux et décantables. La neutralisation de la charge superficielle (potentiel zêta) est réalisée au moyen de coagulants minéraux à base de cations trivalents, tels que sulfate et chlorure d'alumine, chlorure et sulfate ferrique, ou organiques de synthèse à caractère cationique, tel que l'épichlorhydrine diméthylamine.

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## II.8.3.2. Les techniques membranaires :

Les procédés membranaires sont des techniques de séparation par perméation à travers une membrane, sous l'action d'un gradient de pression. La séparation se fait en fonction des tailles moléculaires des composés, mais aussi de leur forme, leur structure, leur polarisabilité, leur solubilité, de la présence de co-solutés, du matériau et de la configuration de la membrane, des paramètres opératoires, des phénomènes de colmatage, etc... Les techniques membranaires regroupent la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse. Parmi eux, l'ultrafiltration et nanofiltration [51] , [52] sont des techniques efficaces pour l'élimination de toutes classes des colorants.

## II.8.3.3. L'échange d'ions :

L'échange d'ions est un procédé par lequel, dans certaines conditions, un matériau solide (résines échangeuses d'ions) attire un ion positif ou négatif d'une solution et rejette un autre ion de même signe. Le procédé de traitement des eaux par échange d'ions s'applique aux effluents contenant des colorants [49].

## II.8.3.4. L'adsorption:

L'adsorption est un procédé de transfert de matière entre une phase liquide (ou gazeuse) chargée en composés organiques ou inorganiques et une phase solide, l'adsorbant. Pendant des décennies, les charbons actifs commerciaux ont été les principaux, voire les seuls adsorbants utilisés dans les filières de traitement d'eaux [53].

## II.9. définition de l'adsorption :

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier entre la condensation du gaz à la surface, et une absorption du gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse. L'adsorption à l'interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbât [14]. Ce phénomène résulte de l'existence, des forces à la surface du solide, qui sont de nature physique ou chimique. Ces

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption: la chimisorption et la physisorption.

## **II 9.1. Types d'adsorption :**

### **II.9.1.1. L'adsorption chimique (ou chimisorption) :**

La chimisorption est un phénomène d'adsorption qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant. La chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide [54]. La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol [55].

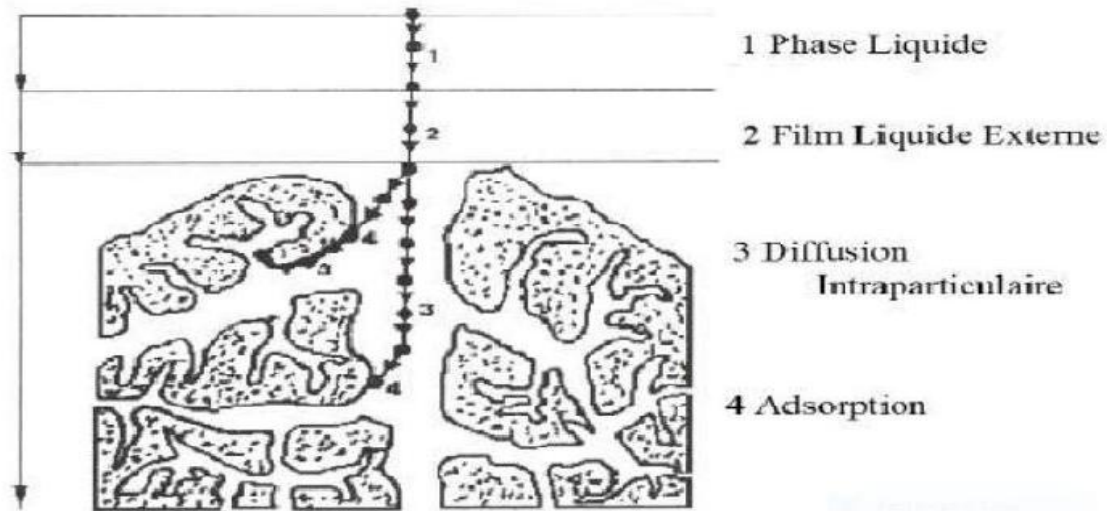
### **II.9.1.2. L'adsorption physique (ou physisorption) :**

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mol [54]. Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbat) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals (La liaison physique est plus faible) [56]. La physisorption est rapide et réversible.

## **II.9.2. Le mécanisme d'adsorption d'un colorant :**

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure I.8 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide [57].

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE



**Figure I-7:** Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux. [58.]

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes [57.] :

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

## II.9.3. 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 :

### II.9.3.1. 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.

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

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].

## **II.9.3.2. 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].

## **II.9.3.3. pH :**

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

## **II.9.3.4. 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. [19]

## **II.9.3.5 L'adsorbat :**

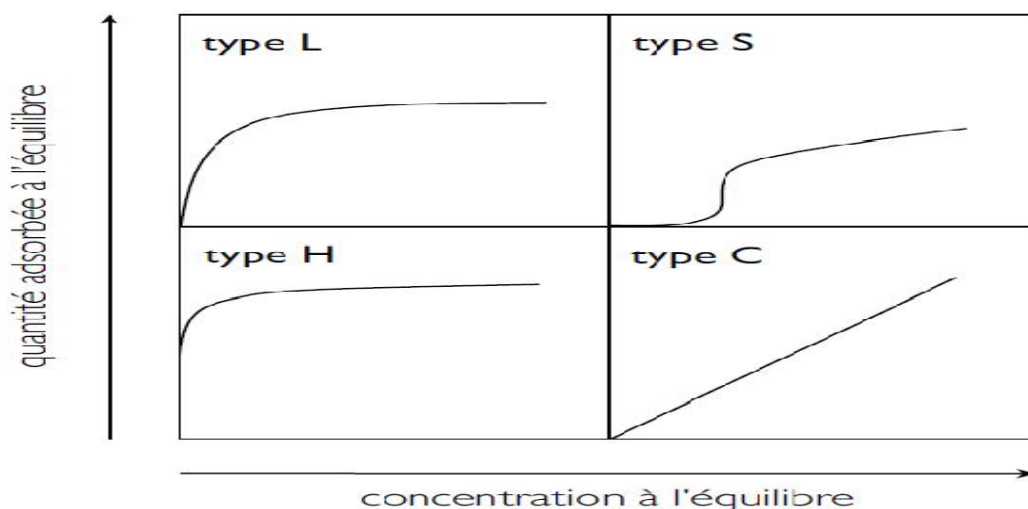
Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont déterminantes et jouent un rôle primordial lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant. La structure moléculaire est l'un des principaux paramètres qui influence la rétention des adsorbats. Plus la structure moléculaire est volumineuse 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. [19].

## **II.9.4. Modèles d'isothermes d'adsorption :**

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

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. [62] 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-8** [63].

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-8:** 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] .



# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

$$Q_e = V(C_0 - C_e)/m \quad (I.1)$$

Avec :

**Q<sub>e</sub>** : quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g ou mmol/g),

**C<sub>0</sub>** : concentration initiale de l'adsorbant (mg/L ou mmol/L) .

**C<sub>e</sub>** : concentration à l'équilibre d'adsorbant 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]

## II.9.4.1. Modèle de Freundlich : [65]

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<sub>f</sub>** est égale à la valeur de **Q<sub>e</sub>** 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<sub>e</sub>** en fonction de **log C<sub>qe</sub>** est une droite de pente 1/n et d'ordonnée à l'origine **log K<sub>f</sub>**. **K<sub>f</sub>** et **n** sont des constantes qu'il faut déterminer pour chaque couple adsorbant/adsorbant à chaque température.

$$Q_e = K_f.(C_{qe})^{1/n} \quad (I.2)$$

**Q<sub>e</sub>** : quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption.

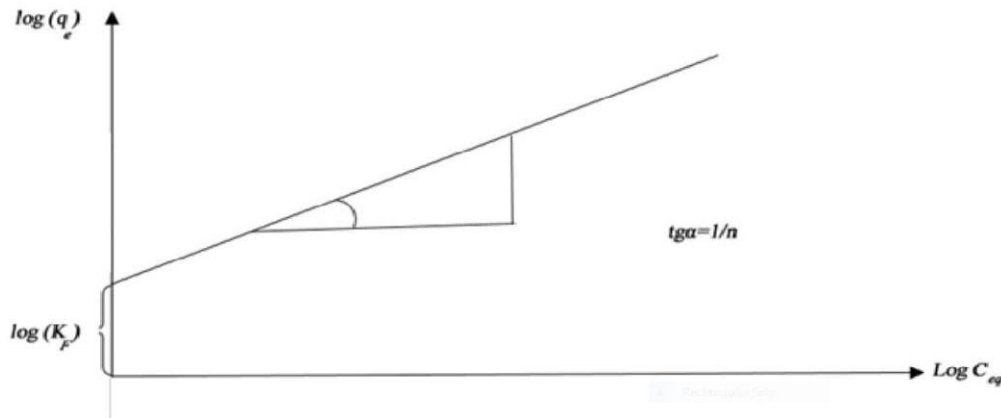
**-C<sub>eq</sub>** : concentration à l'équilibre de la substance dissoute dans la solution.

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- $K_f$  : 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  $\log(C_{eq})$  est une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\log(K_f)$ .



**Figure I-9:** Représentation graphique de l'isotherme de Freundlich.

## II.9.4.2. Modèle de Langmuir [66] :

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 :

$$Q_e = (q_{\max} b C_e) / (1 + b C_e) \quad (\text{I-3})$$

$C_e$  : 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'adsorbé et la surface de l'adsorbant ( $L / g$ ) ou ( $\text{dm}^3 / g$ ).

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

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 :

$$C_e/Q_e = 1/(Q_{max} \cdot b) + C_e/Q_{max} \quad (I-3)$$

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

### II.9.4.3. Modèle de Temkin [67] :

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 dus à l'hétérogénéité de la surface. On a :

$$C_e/Q_e = 1/(Q_{max} \cdot b) + C_e/Q_{max} \quad (I.4)$$

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

## II.10. Les adsorbants : propriétés générales :

Les premiers adsorbants utilisés, il y a plusieurs siècles, furent les argiles et les terres décolorantes, puis à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle furent développés les charbons actifs. La première guerre mondiale vit apparaître les gels de silice, puis, dans les années 1939-1940, les alumines activées. En 1945 sont reconnues les propriétés d'adsorption exceptionnelles des zéolithes naturelles. En 1950, les premières zéolithes synthétiques ouvrent la voie au fantastique développement des tamis moléculaires comme catalyseurs et adsorbants. A côté de ces adsorbants utilisés en quantités industrielles, se sont développés ces dernières années de

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

nouveaux produits de meilleures propriétés [68] Seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante peuvent avoir un intérêt pratique. Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques supérieures à 100 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> et pouvant atteindre quelques milliers de m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>[69]. Ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou mésoporeux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm. Les adsorbants sont caractérisés par leurs propriétés extérieures telles que leur surface spécifique ou leur polarité. Une importante surface spécifique est préférable pour avoir une grande capacité d'adsorption. La taille des micropores détermine l'accessibilité des molécules

adsorbables à la surface interne d'adsorption, il est donc possible de caractériser les adsorbants par la distribution de la taille des pores, et donc de choisir tel ou tel adsorbant pour une séparation particulière [70].

## II.10.1. Principaux types d'adsorbants :

Les principaux adsorbants employés dans l'industrie sont les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silices, les alumines activées dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau I.4.

**Tableau I-4:** caractéristiques des principaux adsorbants industriels [71].

adsorbant	surface spécifique(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	taille des pores(nm)	porosité interne
charbon actif	400à2000	1.0à4.0	0.4à0.8
zéolithes	500à800	0.3à0.8	0.3à0.4
gels de silices	600à800	2.0à5.0	0.4à0.5
alumines activées	200à400	1.0à6.0	0.3à0.6

## II.10.2. Les propriétés des adsorbants :

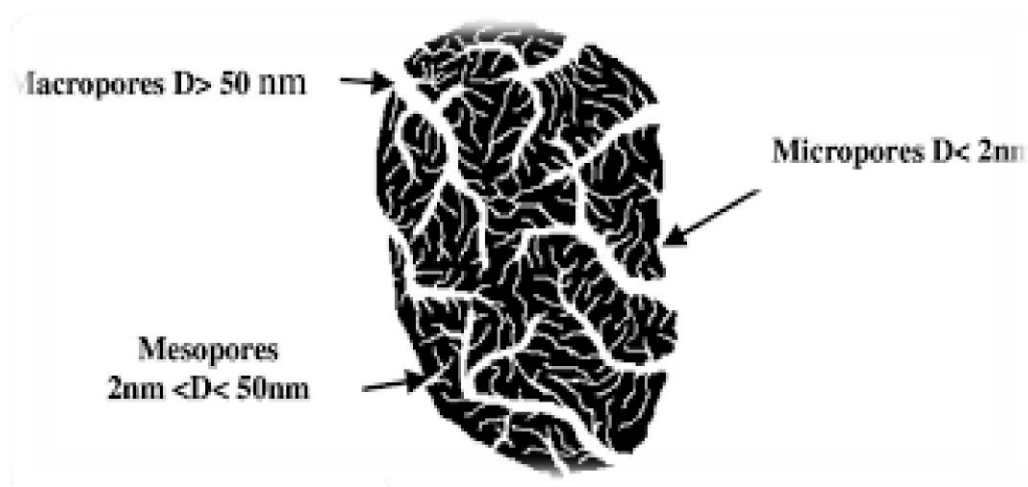
### II.10.2.1. Structure poreuse :

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de ce solide. Un pore ouvert est un pore dont l'accès se situe à la surface du grain, il est donc accessible au fluide. Ce volume poreux, en cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>, est donc uniquement caractéristique de la porosité ouverte (**Figure I -10**).

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Selon la classification I.U.P.A.C. (International Union of Pure and Applied Chemistry), les tailles de pores sont réparties en 3 groupes :

- les micropores de diamètre inférieur à 2 nm ;
- mésopores de diamètre compris entre 2 et 50 nm ;
- macropores de diamètre supérieur à 50 nm.



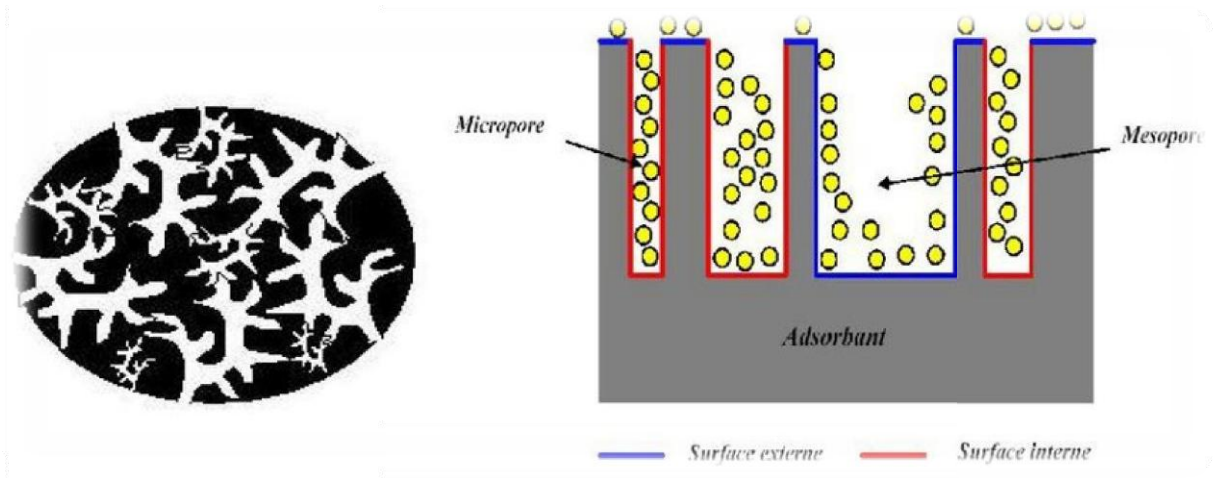
**Figure I.10:** Représentation schématique des différents types de pores.

Chaque type de pore joue un rôle particulier dans le phénomène d'adsorption. Les macropores permettent au fluide d'accéder à la surface interne du charbon actif. Les mésopores favorisent le transport de ce fluide et les micropores sont les sites de l'adsorption. Les micropores déterminent pratiquement à eux seuls la capacité d'adsorption d'un charbon actif : ils représentent presque la totalité de la surface offerte à l'adsorption [69].

## II.10.2.2. La surface spécifique :

La surface spécifique ou aire massique (en  $m^2.g^{-1}$ ) est la surface totale par unité de masse d'adsorbant accessible aux molécules. Toute la surface des particules de l'adsorbant est considérée, porosité ouverte comprise, pour le calcul de la surface spécifique qui cumule donc la surface intérieure de tous les pores constituant le grain d'adsorbant. La surface spécifique comprend la surface externe et la surface interne d'un adsorbant **Figure I.11.**

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE



**Figure I.11:** Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant.

- La surface interne est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores.
- La surface externe est la surface non-microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface non poreuse de l'échantillon.

D'un point de vue physique, la différence entre la surface interne et la surface externe est que la valeur de l'énergie d'adsorption peut être jusqu'à deux fois plus grande sur les parois des micropores que sur la surface externe. Ce phénomène s'explique par la présence de deux parois opposées proches créant une double interaction pour une molécule adsorbée dans un micropore [72].

## II.10.3. Les différents adsorbants :

Il existe différents adsorbants soit des adsorbants naturels soit des adsorbants artificiels sont : l'argile, charbon actif, gel de silice, chitosane, zéolite, les oxydes métalliques et les complexes organométalliques...etc.

### II.10.3.1 Adsorbants industriels :

Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de 100 m<sup>2</sup>/g et pouvant même atteindre des valeurs de l'ordre du millier de m<sup>2</sup>/g. Les adsorbants industriels les plus courants sont les charbons actifs, les zéolithes, les alumines et les argiles activées.

# CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## II.10.3.1.1. Charbon Actif :

Le charbon actif peut être fabriqué à partir de tout matériau contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage de matière inorganique. Ces matières premières peuvent être le bois, le charbon de bois, la noix de coco, le lignite, la tourbe, les algues ainsi que des polymères synthétiques ou résidus de procédé pétrolier. On peut également citer comme exemple de précurseurs, encore à l'étude, les résidus de la fabrication du café ou les boues activées, le charbon actif reste un matériau peu coûteux. De plus, l'utilisation de sous-produits industrielle s'inscrit dans une démarche de développement durable et de valorisation des déchets [73].

## II.10.3.1.2. Les alumines activées :

Les alumines activées sont obtenues par thermolyse du trihydroxyde d'aluminium  $Al(OH)_3$  qui conduit à un produit de composition approximative  $Al_2O_3,0,5 H_2O$ , possédant une structure poreuse. La surface des pores est couverte de groupements  $Al-OH$ , et l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles. [74].

## II.10.3.1.3. Les argiles activées :

Les argiles activées sont des alumino-silicates de formule brute proche de celles des zéolithes, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage [74].

## II.10.3.1.4. Les zéolithes :

Les zéolithes sont des alumino-silicates cristallisés microporeux de formule globale  $(AlO_2M, nSiO_2)$  où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et  $n \geq 1$ . Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique. [75].

## II.10.3.2. Les Adsorbants naturels (Biosorbants) :

# **CHAPITRE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

L'utilisation des bioadsorbants peu coûteux ou sans valeur commerciale pour éliminer les matières organiques des solutions aqueuses a prouvé qu'ils peuvent concurrencer les adsorbants traditionnels coûteux [75]. A ce titre, on peut citer : la pulpe d'olive traitée [76], la fougère des arbres [67], déchets de thé [77] , le kudzu [78], les fibres des palmiers [80] le bois ou encore la sciure de bois [80,81].



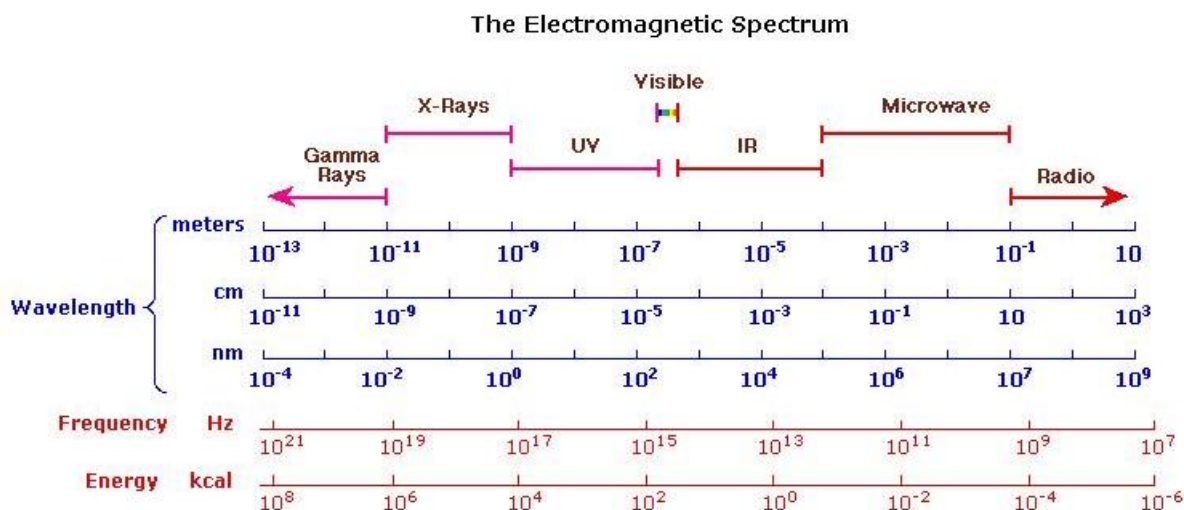
# **CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE**

### I . Les méthodes d'analyse :

La méthode d'analyse utilisée dans ce mémoire est : La spectrométrie UV-Visible.

#### I. 1. Spectrométrie UV-Visible

Le domaine spectral concerné est subdivisé en trois plages appelées proche UV, visible et très proche IR (185-400 ; 400-800 ; 800-1100 nm ; Fig. 1). La plupart des spectrophotomètres commerciaux recouvrent la gamme allant de 190 à 950 nm. L'absorption des rayonnements par les molécules dans cette gamme de longueur d'onde est due au passage du niveau fondamental à un niveau excité sous l'effet du rayonnement ; plus précisément au passage d'un électron d'un niveau électronique à un autre niveau électronique d'énergie supérieure. Le document de base fourni par les spectrophotomètres, appelé spectre, correspond au tracé des variations de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde des photons incidents.



**Figure II-1:** Le spectre électromagnétique [82].

L'énergie totale d'une molécule est la somme d'une énergie électronique notée  $E_{elec}$ , caractéristique des orbitales moléculaires construites à partir des orbitales atomiques des atomes qui constituent la molécule, d'une énergie de vibration notée  $E_{vib}$  et d'une énergie de rotation notée  $E_{rot}$ .

L'énergie de vibration correspond au déplacement des noyaux d'une molécule les uns par rapport aux autres (vibration autour de la distance d'équilibre). Elle est quantifiée ; sachant qu'une liaison dont la fréquence de vibration est  $\nu$  ne peut absorber une radiation qu'à la

## Chapitre II : Partie expérimentale

---

condition que celle-ci ait cette fréquence, l'énergie de la liaison en question ne s'accroîtra que de  $h\nu$ , énergie d'un photon. La théorie quantique précise les conditions de transition (règles de sélection). L'expression simplifiée donnant les valeurs possibles de  $E_{\text{vib}}$  s'écrit :

$$E = h\nu \cdot (V + 1/2)$$

Avec  $V = 0, 1, 2 \dots$  nombre quantique de vibration.  $V$ , en absorption, ne peut varier que d'une unité ce qui donne  $\Delta E_{\text{vib}} = h\nu$ . A température ordinaire, les molécules sont dans l'état fondamental  $V = 0$  soit  $E_{\text{vib}} = 1/2 h\nu$ . C'est la vibration de point zéro. Les différents niveaux de vibration sont équidistants.

L'énergie de rotation est attribuée aux mouvements de rotation de la molécule autour de directions internucléaires privilégiées. Elle est également quantifiée et a pour expression simplifiée :

$$E = J(J+1) \cdot \frac{h^2}{2I} \text{ (molécule diatomique)}$$

où  $J$  est le nombre quantique de rotation qui peut prendre toutes les valeurs entières 0, 1, 2... et  $I$  le moment d'inertie de la molécule par rapport à l'axe considéré. La distance entre niveaux voisins croît avec  $J$ . Le nombre quantique de vibration ne peut varier que d'une unité au cours d'une transition :

$$\Delta J = \pm 1$$

### I.1 .1. Les spectres dans l'UV / visible

Les spectres dans l'UV / visible donnent la transmittance ou l'absorbance de l'échantillon analysé en fonction de la longueur d'onde du rayonnement ou parfois du nombre d'onde, son inverse. La transmittance, notée  $T$ , est donnée par :

$$T = I/I_0$$

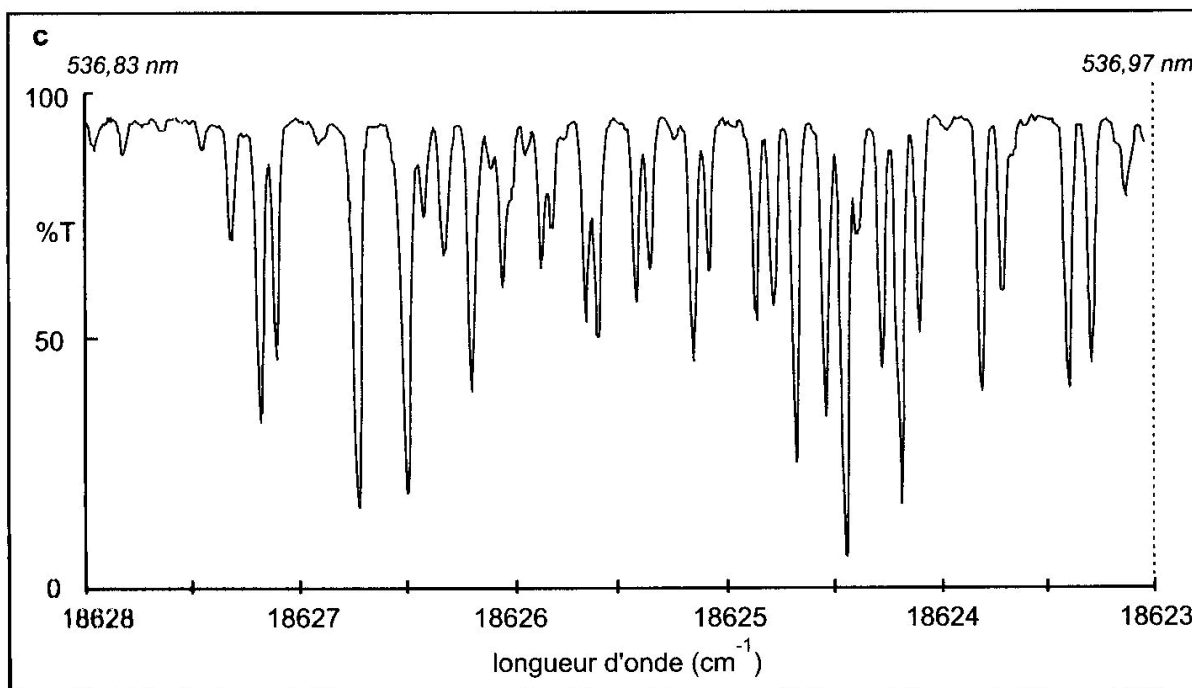
où  $I_0$  est l'intensité incidente et  $I$ , l'intensité transmise. L'absorbance est définie par :

$$A = -\log T$$

Cette dernière grandeur est très utile en analyse quantitative par application de la loi de Beer-Lambert que nous verrons plus loin. Plus un composé est absorbant, plus la transmittance est faible et plus l'absorbance est élevée.

Lorsqu'on étudie un composé à l'état gazeux, sous faible pression et pour peu que ce composé ait une structure simple, on obtient un spectre de raie ayant une structure fine.

Chacune des transitions permises au regard des règles de sélection donne lieu à un pic parfaitement défini. C'est le cas des vapeurs d'iode dont une partie du spectre est représenté sur la figure II-2.

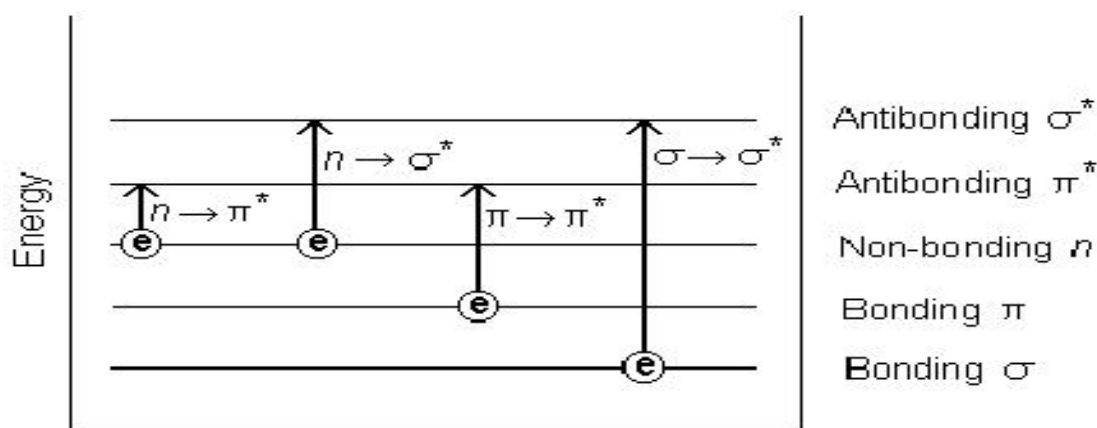


**Figure II-2:** Partie du spectre d'une vapeur d'iode [83]

### I.1.2. Origine des absorptions

L'absorption dans le domaine UV / visible est due au passage d'un niveau électronique à un autre d'énergie supérieure avec changement des niveaux de vibration et de rotation ; au cours de ce processus, un électron passe d'une orbitale moléculaire à une autre d'énergie supérieure. Nous allons dans un premier temps ne considérer que les composés de la chimie organique. Seules les orbitales moléculaires construites à partir d'orbitales atomiques s et p sont à prendre en compte.

La figure II-3 présente les transitions observées en chimie organique. Examinons les différentes transitions possibles.



**Figure II- 3.** Transitions électroniques rencontrées en chimie organique. [84]

### - Transitions s- s\*

Les OM sont des orbitales très stables. La différence d'énergie entre les OM et s\* est relativement élevée. La transition s- s\* est située dans le lointain UV vers 130 nm (éthane 135 nm). Ainsi, les hydrocarbures saturés qui ne renferment que les OM de ce type tels l'hexane ou le cyclohexane sont pratiquement transparents dès le proche UV.

### - Transitions n - s\*

Les composés constitués d'un ou plusieurs atomes (O, N S, Cl) porteurs de doublets électroniques libres (lone pairs ; niveaux n) présentent ce type de transitions.

Les énergies mises en jeu sont généralement inférieures à celles des transitions s - s\*. Elles correspondent à des longueurs d'onde comprises entre 150 et 250 nm.

### - Transitions n - p\*

Ce type de transitions peu intense est rencontré dans le cas de molécules comportant un atome porteur de doublets électroniques libres (présence de niveaux n) appartenant à un système insaturé (présence de niveaux p\*). La plus connue est celle qui correspond à la bande carbonyle ; elle se situe entre 270 et 290 nm.

Le coefficient d'absorption est généralement compris entre 10 et 100 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>.

### - Transitions p - p\*

Les composés qui possèdent une double liaison éthylénique isolée conduisent à une forte bande d'absorption vers 170 nm avec un coefficient d'absorption allant de 1000 à plus de 10 000 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>.

### **I.1.3. Les groupements chromophores**

Les groupements chromophores des composés organiques sont, à la ressemblance des fonctions, des groupements d'atomes responsables d'absorption caractéristiques lorsqu'ils sont isolés (séparés par au moins deux liaisons simples). Ils n'interagissent alors pas les uns sur les autres et on observe la superposition des effets de chaque groupe. Dans le cas où les groupes chromophores sont plus proches les uns des autres et interagissent (on parle alors de systèmes conjugués de chromophores), les bandes d'absorption sont déplacées vers les grandes longueurs d'onde (effet bathochrome et les absorptions sont plus intenses (effet hyperchrome). A ces déplacements s'ajoutent ceux qui sont dus aux interactions avec le solvant liés à la polarité de ce dernier.

## Chapitre II : Partie expérimentale

Tous ces effets font qu'il est très difficile de tirer des informations concernant la structure d'une molécule ou même des informations sur la présence de certains groupements. La spectrométrie UV / Visible est principalement un outil d'analyse quantitative de substances dont le spectre est connu.

Nom du chromophore	formule	$\lambda_{\max}$ (nm)	$\epsilon_{\max}$ (L.mol <sup>-1</sup> .cm <sup>-1</sup> )
amine	- NH <sub>2</sub>	195	3000
oxime	= NOH	190	5000
nitro	- NO <sub>2</sub>	210	3000
nitrite	- ONO	230	1500
nitrate	- ONO <sub>2</sub>	270	12
nitroso	- N = O	300	100

Tableau II- 1 :Chromophores de quelques groupements azotés.

## II. Produits et matériels :

### II.1. Les produits:

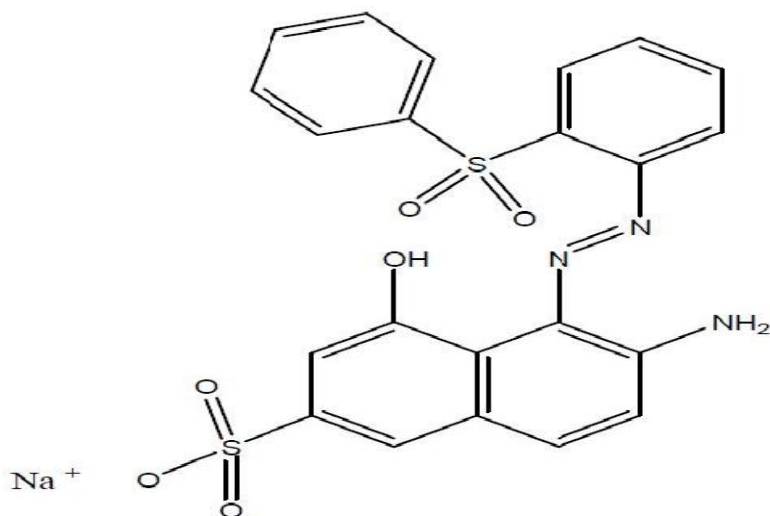
Pour la réalisation de la partie expérimentale de ce mémoire nous avons utilisés les produits suivants :

- Les feuilles de palmier dattier (FPD )et les écorces de fève (EF) comme des supports naturelles pour l'adsorption de colorant ;
- le colorant du rouge télon lumière(RTL) qui nous sommes à l'éliminer ;
- des produits chimique comme :
  - \* hydroxyde de sodium (NaOH), l'acide chlorhydrique (HCl) pour l'ajustement de pH des solutions ;
  - \* nitrate de sodium (NaNO<sub>3</sub>), l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>), hydroxyde de sodium (NaOH) pour la détermination du Point deCharge nul (pH<sub>PCN</sub>).

Nous nous sommes intéressés à l'étude de la décoloration d'une solution aqueuse du RTL comme modèle de polluant organique ; il appartient à la catégorie des colorants acide solubles dans l'eau et commercialisé sous forme de poudre destiné à la teinture des textiles. Le rouge télonlumière a une formule moléculaire de

## Chapitre II : Partie expérimentale

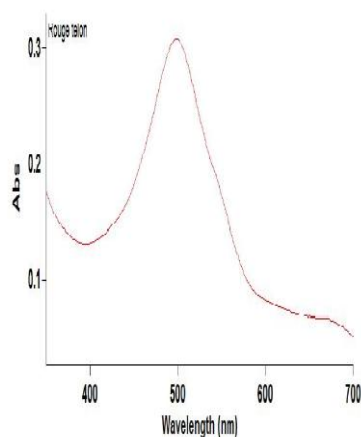
$C_{22}H_{16}N_3NaO_6S_2$  de masse moléculaire 505,4 g/l et de solubilité dans l'eau : 20,00 g/l à 20 °C, le nom chimique est le suivant : sel acide 2-naphthalene sulfonique,-6-amino 4-hydroxy -5-((2-phényl sulfonyl) phényl) azo de sodium.



**Figure II- 4:** formule développée du rouge télon lumière.

L'évolution de la décoloration est suivie par spectrophotométrie UV-Visible c'est-à-dire la détermination de  $\lambda_{max}$  pour laquelle l'absorbance est maximale et la vérification de la loi de Beer-Lambert dans un domaine de concentration.

Pour déterminer  $\lambda_{max}$  de colorants utilisés nous avons tracé l'absorbance en fonction de  $\lambda$ , les résultats obtenus sont représentés sur la figure II-4:



**Figure II-5:** Détermination de  $\lambda_{max}$  du rouge télon lumière.

## Chapitre II : Partie expérimentale

- La figure II-5 montre que la longueur d'onde d'adsorption maximale du RTL est 499nm.
- Nous avons procédé à la vérification de la loi de Beer-Lambert par le tracé de la courbe d'étalonnage du colorant utilisé afin de déterminer les domaines de concentration pour laquelle la loi de Beer-Lambert est respectée (obtention d'une droite).

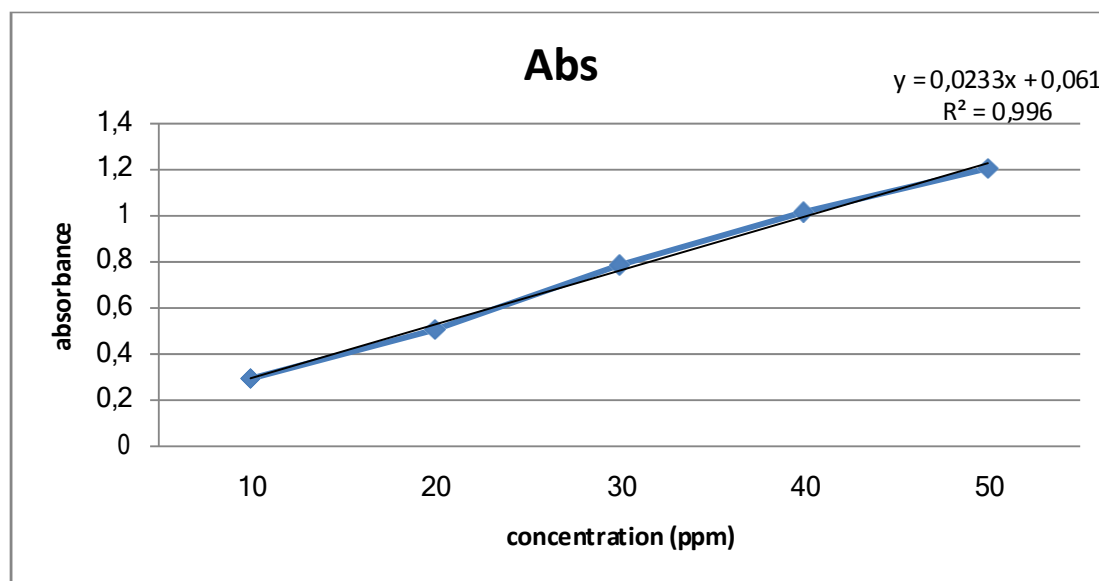


Figure II-6 : courbe d'étalonnage du rouge télon lumière.

- L'équation de la droite est :  $A = 0.023 C + 0.061$
- C : concentration (ppm ou mg/l) .
- A : absorbance .
- Elle nous donne, par ailleurs, un coefficient  $R^2$  de l'ordre de 0.996, ce qui nous permet de l'utiliser en minimisant les erreurs de lectures et de manipulation.

### II-2. Les matériels :

#### a) Appareillages électriques :

Le matériel utilisé dans ce travail est :

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



## Chapitre II : Partie expérimentale

---

-Centrifugeuse (modèle CENCOM II).

### **b) Les verreries :**

-Béchers (50,100 ml)

-Pipette (5ml) ;

-Fioles jaugées (25, 50, 500 ml et 1L) ;

-Cristalliseur ;

-Tubes à essais et support;

-Verre de montre ;

-Entonnoir ;

-Flacon 1L.

### **c) Autres accessoires :**

-Propipette ;

-Spatule ;

-Micropipette;

-Barreaux magnétiques;

-Pissette.

## **III. Les modes opératoires :**

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

Nous avons préparés une solution mère dont la concentration est de 100ppm. A partir de cette solution on prépare les solutions filles.

### **III-2. Préparation de mélange du RTL avec les deux supports (les feuille de palmier dattier et les cosses de haricot) :**

Dans un bécher, on met en 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 les a dosés à l'aide d'un

## Chapitre II : Partie expérimentale

---

spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde ( $\lambda_{\max}$ ) 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 par la relation suivante :

$$q_e = (c_0 - c_e) \cdot V / m$$

$q_e$ : la quantité fixée de colorant par gramme de sorbant (mg/g) à l'équilibre ;

$c_0$  : la concentration initiale en colorant (mg/l) ;

$c_e$  : la concentration de colorant après l'adsorption (mg/l) ;

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

$m$ : la masse de sorbant utilisé (g).

### III-3. Détermination du point de charge nulle de sorbant :

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 [85].

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 50 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 11) par addition de solution de NaOH ou  $\text{HNO}_3$  0.1M. On a ajouté ensuite, à chaque bécher, 0.2 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.

# **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

# Chapitre III : Résultat et discussion

## I. Caractérisation par UV-visible :

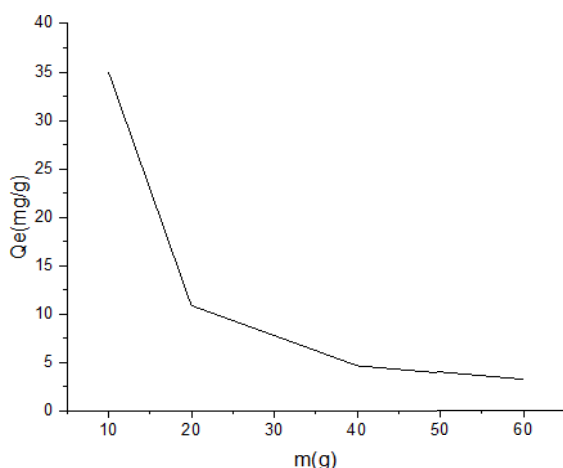
Chaque support ayant des conditions optimales dont laquelle fonction bien. Dans cette partie nous allons étudier l'effet des paramètres tels que : le temps de contact, le pH, la masse de biosorbant, la concentration du colorant et la température sur l'adsorption du colorant par le support rouge télon.

### I.1. Effet de la masse de biosorbant EF et FPD sur l'adsorption du RTL :

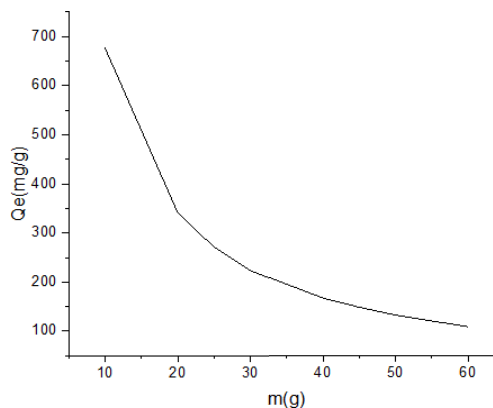
-Les paramètres de chaque support :

EF : (T=25°C ; C=100ppm ; t=2h ; pH=6 ; V=25 ).

FPD : (T=25°C ; C=300ppm ; t=210min ; pH=6 ; V=25).



**Figure III-1** : Effet de la masse de biosorbant EF sur l'adsorption du RTL.



**Figure III-2** : Effet de la masse de biosorbant FPD sur l'adsorption du RTL.

L'effet de la masse de biosorbant sur la biosorption du RTL est illustré dans les figures III-1 et III-2 ; On voit bien que la quantité de biosorption du RTL a diminué de 35.01 mg / g à 3.14 mg / g pour le support EF et de 676.76mg/g à 108.30 mg/g pour le support FPD avec l'augmentation de la masse de biosorbant de 10 mg à 60 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 [86].

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

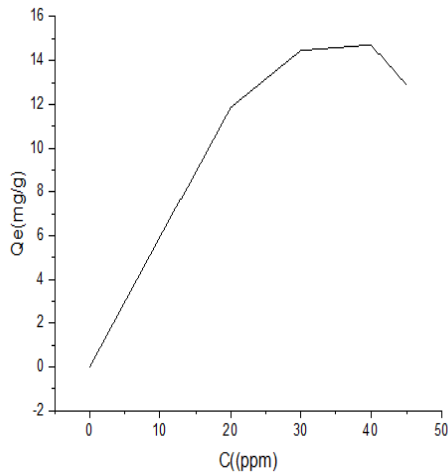
# Chapitre III : Résultat et discussion

## I.2. Effet de la concentration initiale du colorant :

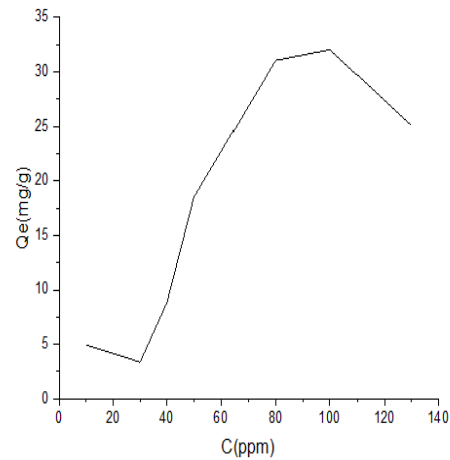
-Les paramètres de chaque support :

EF : (T=25°C ; m=10mg ; t=120min ; pH=6 ; V=25).

FPD : (T=25°C ; m=10mg ; t=210min ; pH=6 ; V=25).



**Figure III-3** : effet de la  $C_0$  du colorant sur la quantité d'adsorption par EF



**Figure III-4** : effet du  $C_0$  du colorant sur la quantité d'adsorption par FPD

Les Figures III-3 et III-4 montrent l'effet de la concentration initiale du colorant RTL sur la quantité d'adsorption. Les résultats montrent que la capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant. Au-delà d'une concentration de 30 ppm pour EF, et 80 ppm pour FPD, on observe un palier dû à la saturation des sites actifs de biosorbant en présence d'une teneur élevée en colorant, cette caractéristique de sorption indique que la saturation de la surface dépend de la concentration initiale en RTL. À faibles concentrations, les sites de sorption fixent RTL rapidement. Mais à des concentrations plus élevées, le RTL nécessaire pour diffuser à la surface de la biomasse (EF, FPD) par diffusion intraparticulaire et fortement hydrolysés se diffusera à un rythme plus lent d'où le taux de sorption réduit [87].

En conclusion, la concentration optimale considérée dans cette étude est 30 ppm pour EF et 80 ppm pour FPD.

# Chapitre III : Résultat et discussion

## I.3. Effet du temps de contact :

-Les paramètres de chaque support :

EF : (T=25°C ; m=10mg ; C=30 ppm ; pH=6 ; V=25).

FPD : (T=25°C ; m=10mg ; t=210min ; ; pH=6 ; V=25;C=80 ppm)

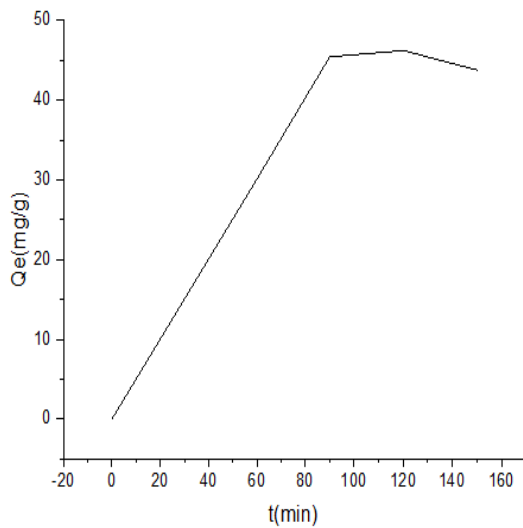


Figure III-5 : effet le temps de contact (EF)

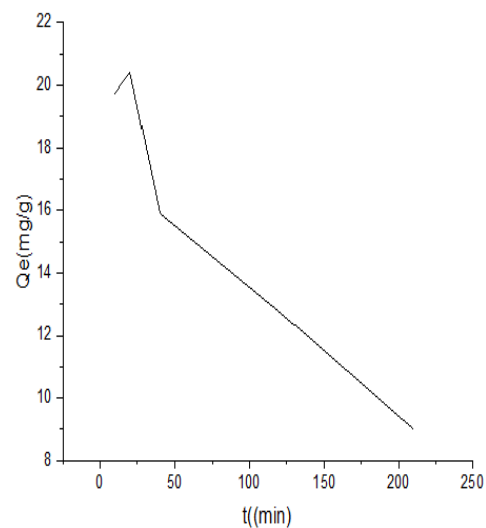


Figure III-6: effet du temps de contact (FPD).

La variation en fonction du temps de contact de la quantité du RTL adsorbée à l'équilibre est représenté dans les figure III-5 et III-6 ; On observe une augmentation rapide jusqu'à atteindre un état d'équilibre pour le support EF, le temps nécessaire pour atteindre ce dernière est d'environ 90 min et la quantité du colorant adsorbé par EF est d'environ 45.44 mg/g, celle-ci va diminuée après 120 min. Ce phénomène peut être expliqué en premier lieu par l'existence des sites d'adsorption facilement accessible suivie d'une diffusion vers des sites d'adsorption moins accessibles avant d'atteindre un état d'équilibre la surface spécifique d'adsorbant est saturée [88].

On voit bien que la biosorption du RTL a diminuée de 19.73 mg / g à 9.01 mg / g pour le support FPD avec l'augmentation du temps de biosorbant de 10 min à 210 min.

En conclusion le temps optimal considéré dans cette étude est d'environ 90 min pour EF et 10 min pour FPD.

# Chapitre III : Résultat et discussion

## I.4. Effet du pH :

### I.4.1. Détermination du point de charge nulle de biosorbant (EF) :

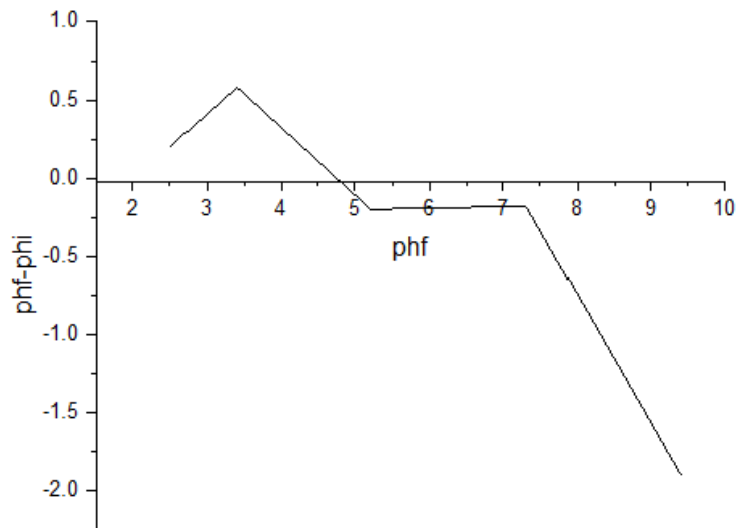


Figure III-7 : courbe de point de charge nulle de EF.

✚ (m=200 mg ; V= 50 ml ; C = 50 mg/l ; t = 24h ; T = 25 °c).

La Figure III-7. montre que le point de charge nulle du EF est égal à 5,22. A pH < 5,22 la charge de surface du EF est globalement positive et à pH > 5,22, la charge de surface est négative [89].

### I.4.2. Détermination de pH optimale :

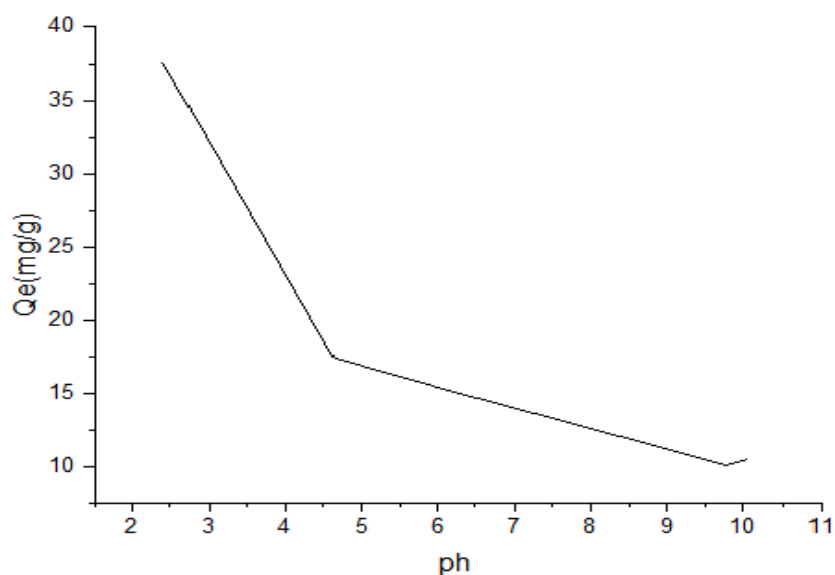


Figure III-8 : effet de pH sur l'adsorption de RTL pour EF.

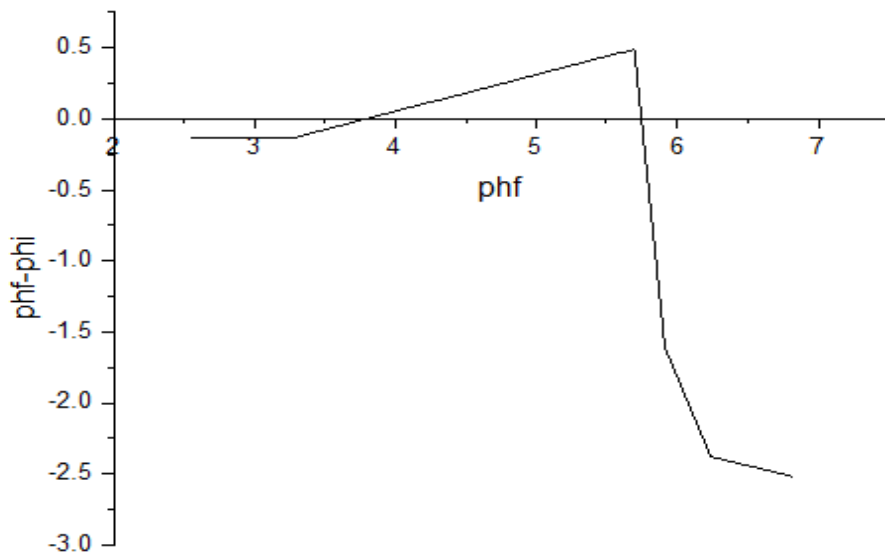
# Chapitre III : Résultat et discussion

✚ (T = 25 °c ; C=30ppm ; t=90min ;V=25 ml ).

La Figure III-8 montre l'effet du pH sur la biosorption du RTL par EF, on observe que le maximum d'adsorption est obtenu à pH = 2.4 . La quantité d'adsorption diminuée avec l'augmentation de pH, la quantité d'adsorption du colorant égale à 37.55 mg/g pour pH=2.4, celle-ci diminue à 10.07 mg/g pour pH 9.78 cela peut être expliquer par le fait qu'a pH acide le procéder d'adsorption du colorant par les EF est une interaction de type électrostatique. La charge positive de la surface du biosorbant interagissent avec les groupes anioniques du colorant. A pH élevé, les ions (OH-) présent concurrencent les groupes anioniques (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) pour les sites d'adsorption du EF, ainsi les sites d'adsorption disponible pour le RTL diminuent [78].

En conclusion le pH optimal considéré dans cette étude est 2.4 .

### I.4.3. Détermination du point de charge nulle de biosorbant (FPD) :



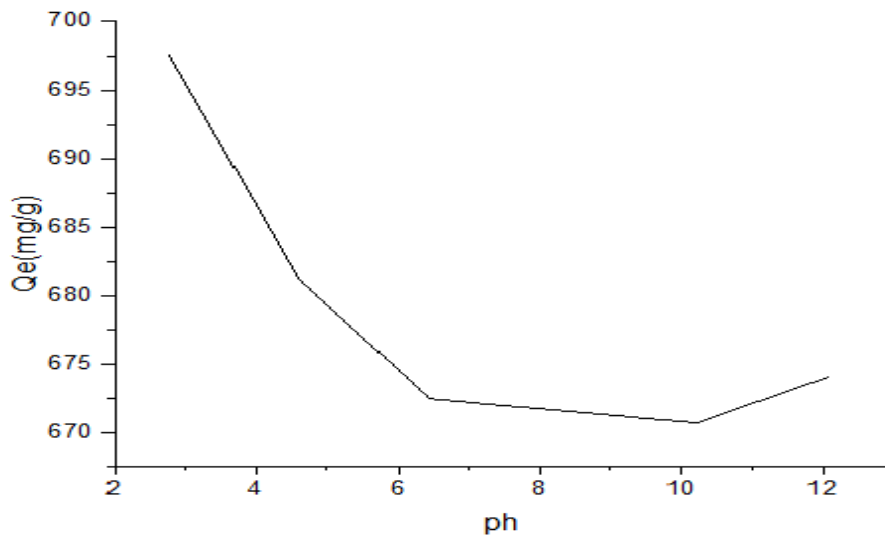
**Figure III-9** : courbe de point de charge nulle de FPD.

La Figure III-9. montre que le point de charge nulle du FPD est égal à 5,7. A pH < 5,7 la charge de surface du FPD est globalement positive et à pH > 5,7, la charge de surface est négative [89].



# Chapitre III : Résultat et discussion

## I.4.4. Détermination de pH optimale :



**Figure III-10** : effet de pH sur l'adsorption de RTL pour FPD.

✚ (T = 25 °c; m=10mg ; C=300ppm ;t=210min ; pH=6 ; V=25 ).

La Figure III-10 montre l'effet du pH sur la biosorption du RTL, on observe que le maximum d'adsorption est obtenu à pH = 2.77 . La quantité d'adsorption diminuée avec l'augmentation de pH, la quantité d'adsorption du colorant égale à 697.53 mg/g pour pH=2.77, celle-ci diminue à 670.69 mg/g pour pH 10.22 cela peut être expliquer par le fait qu'à pH acide le procéder d'adsorption du colorant par les FPD est une interaction de type électrostatique. Les charge positive de surface du biosorbant interagissent avec les groupes anioniques du colorant. A pH élevé, les ions (OH<sup>-</sup>) présent concurrencent les groupes anioniques (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) pour les sites d'adsorption du FPD, ainsi les sites d'adsorption disponible pour le RTL diminuent [78].

En conclusion le pH optimal considéré dans cette étude est 2.77 .

## II. Modélisation des isothermes d'adsorption :

### II.1. Modèle de Langmuir [90] :

L'isotherme d'adsorption de Langmuir suppose que l'adsorption a lieu sur des sites homogènes spécifiques de l'adsorbant et a trouvé une application réussie pour de nombreux procédés de traitement monocouche adsorption.

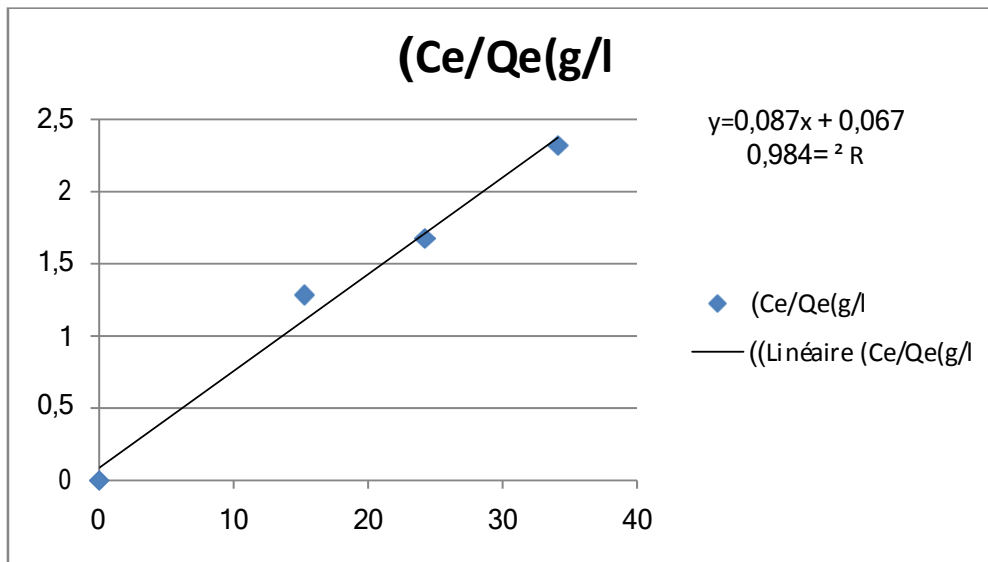
L'isotherme de Langmuir peut être écrite sous la forme

# Chapitre III : Résultat et discussion

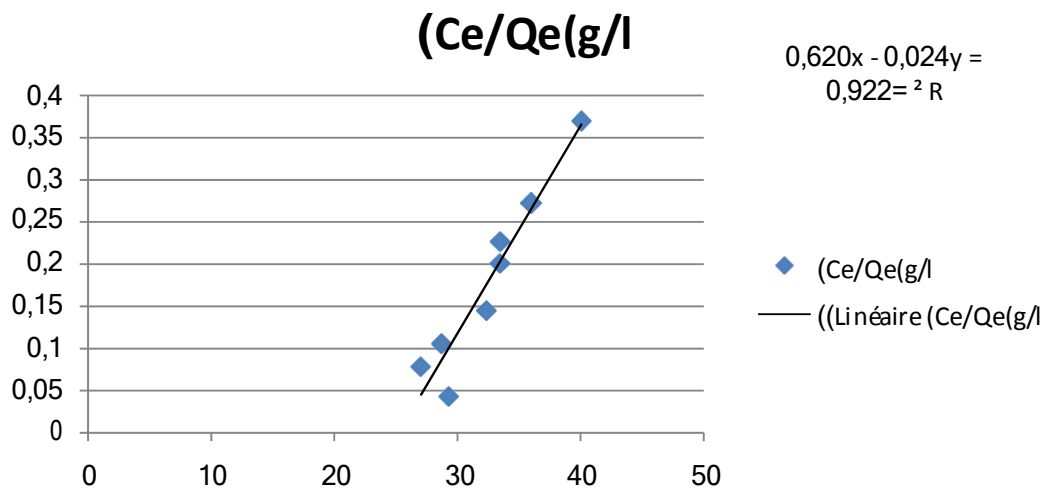
$$C_e/Q_e = 1/(bQ_m) + C_e/Q_m \quad \text{(III.1)}$$

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

-La modélisation d'isotherme d'adsorption de RTL par le modèle de Langmuir est représentée sur la figure III-11 pour EF et la figure III-12 pour FPD .



**Figure III-11:** Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du RTL par FPD, selon le modèle de Langmuir.



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

# Chapitre III : Résultat et discussion

## II.2. Modèle de Freundlich : [2]

L'isotherme de Freundlich est une équation empirique basée sur une distribution exponentielle des sites d'adsorption et des énergies. L'équation linéaire de Freundlich est représentée par l'équation suivante :

$$\ln(Q_e) = \ln K_f + (1/n) \ln C_e \quad (\text{III.2})$$

Avec :

$K_f$  (mg/g) (L/g) $^{1/n}$  est la constante de Freundlich liée à l'énergie de liaison.  $n$  est le facteur d'hétérogénéité.  $K_f$  et  $n$  sont déterminés à partir du tracé de  $\ln(Q_e)$  en fonction de  $\ln(C_e)$ .

-La modélisation d'isotherme d'adsorption de RTL par le modèle de Freundlich est représentée sur la Figure III-13 pour EF et Figure III-14 pour FPD.

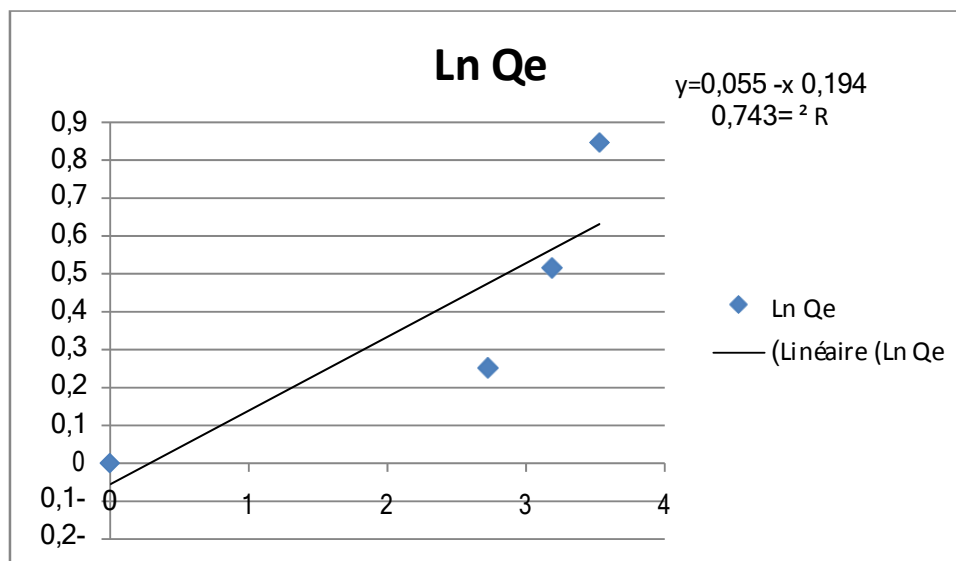
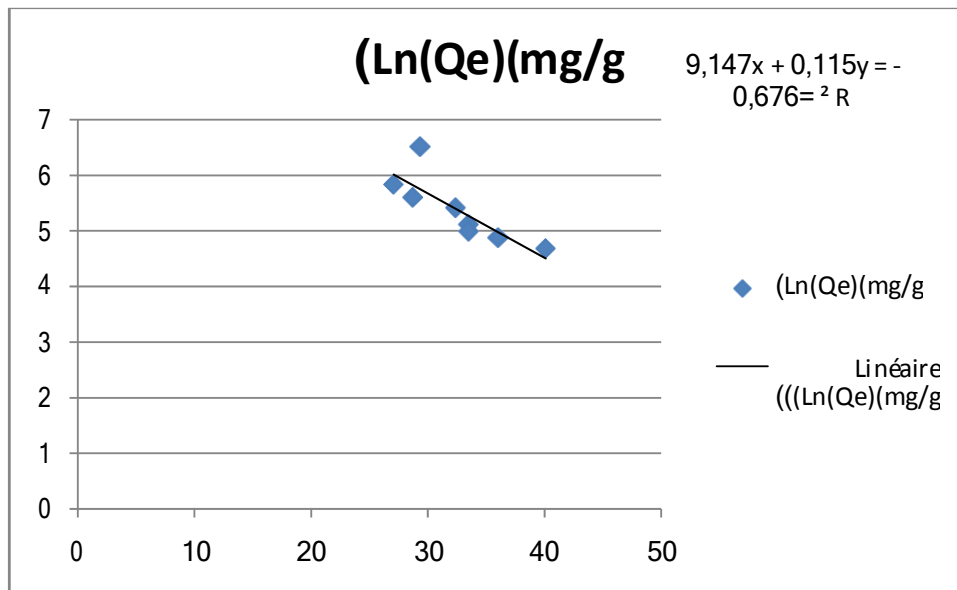


Figure III-13: Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du de RTL par EF selon le modèle de Freundlich.

## Chapitre III : Résultat et discussion



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

**Tableau III-1:** Les paramètres des essais de modélisation des deux isothermes d'adsorption de RTL par le FPD.

Les modèles	Constante de l'isotherme	R <sup>2</sup>
Modèle de Langmuir	b = 0.0398 q <sub>m</sub> = 14.925	0.922
Modèle de Freundlich	1/k = 0.194 K = 1.2595	0.676

**Tableau III-2:** Les paramètres des essais de modélisation des deux isothermes d'adsorption de RTL par le EF.

Les modèles	Constante de l'isotherme	de R <sup>2</sup>
Modèle de Langmuir	b = 0.04 q <sub>m</sub> = 0.0303	0.984
Modèle de Freundlich	1/k = 1.0319 K = 1.091	0.743

D'après les Tableaux III- 1. et III-2. les coefficients de corrélation **R<sup>2</sup>** obtenus par les deux modèles d'adsorption ne sont pas les même pour la biosorption du RTL par le EF et FPD, on

## Chapitre III : Résultat et discussion

---

voit bien que le coefficient de corrélation est très élevé pour le modèle de Langmuir. Donc pouvons dire que le modèle de Langmuir est adéquat pour une bonne description de l'isotherme d'adsorption du RTL par le EF et FPD, par rapport l'autre modèle (Freundlich).

# **CONCLUSION GENERALE:**

# Conclusion générale

---

Ils 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 supports naturels qui sont les écorces de fève et les feuilles de palmiers dattiers.

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

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

a) Pour écorces de fève :

Le temps de contact est de 90 min, le  $\text{pH}=2.4$ , et La concentration initiale en colorant est de 30 mg/l, et la masse du support est de 10 mg.

b) Pour les feuilles de palmiers dattiers :

Le temps de contact est de 10 min, le  $\text{pH}=2.77$ , et La concentration initiale en colorant est de 80 mg/l, et la masse du support est de 10 mg.

L'isotherme d'adsorption du RTL par le EF et FPD est décrite de manière satisfaisante par le modèle de Langmuir, alors que le modèle de Freundlich 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 EF- RTL et FPD-RTL.

## Références bibliographiques

- [1] V.K. Gupt, Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management*, (2009).
- [2] O. Khelifi, I. Mehrez., W. Ben Salah., f. Ben Salah, M. Younsi, M, Nacef, A.M. Affoune, Etude de l'adsorption du bleu de méthylène (BM) à partir des solutions aqueuses sur un biosorbant préparé à partir des noyaux de datte algérienne. *Larhyss Journal*, 2016.
- [3] S. Rangabhashiyam, N. Anu, N. Selvaraju. Sequestration of dye from textile industry wastewater using agricultural waste products as adsorbents. *J. of Envir. Chem. Engin.*, (2013),.
- [4] M.J. Ahmed, S.K. Dhedan. Equilibrium isotherms and Kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural Wastes-based activated carbons. *Flui. Phas. Equil*, (2012),.
- [5] K.lekbirr, A.bekraoui, etude depollution des eux useees par des adsorbants organometallique (TMA-Ni) 2017.
- [6] N. Oubagha, décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétiques, Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, (2011).
- [7] J. Rodier, C. Bazin, J.P. Broutin, P. Chambon, H. Champsaur, et L. Rodi, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed Dunod, Paris, (2005).
- [8] Degrémont. Memento, Technique de l'eau. Huitième Edition, Degrémont, France, (1978).
- [9] A. Léonard, Etude du séchage convectif de boues de station d'épuration suivi de la texture par micro-tomographie à rayons x, Thèse de doctorat, Université de Liège, (2002).
- [10] J. Bourgeois-Gavardin Les Boues de Paris sous l'Ancien Régime. Contribution à l'histoire du nettoyage urbain au XVIIe et XVIIIe siècles, (1985).
- [11] K. Ballouki Etude de la Qualité Physico-chimique et Biologique de trois Sources dans la Région de Midelt (Haut Moulouya), Mémoire de Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, (Maroc), (2012).
- [12] C. Leveque, Écosystèmes aquatiques. Hachette, Paris, (1996).
- [13] J. Majault, Textiles chimiques, fibres modernes, Editions Eyrolles, (1961).
- [14] N. Barka. L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO<sub>2</sub> supporté, thèse doctorat, Faculté des Sciences, Agadir (2008).
- [15] M. Capon, V. Courilleu, C. Valette. Chimie des couleurs et des odeurs, Nantes, Culture et technique, (1999).
- [16] H.L. Needles Textile fibers, dyes, finishes, and processes. A concise guide. D. Sen, (2005). Reference Book On Chemical Engineering. New Age International (P) Limited, Publishers, (1986).
- [17] G. McMullan, C. Meehan, A. Conneely, N. Kirby, T. Robinson, P. Nigam, I. Banat, R. Marchant, W. Smyth, Microbial decolourisation and degradation of textile dyes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, (2001).



- [18] J.W. Lee, S.P. Choi, R. Thiruvengkatachari, W.G. Shim, H. Moon, Evaluation of the performance of adsorption and coagulation processes for the maximum removal of reactive dyes. *Dyes and Pigments*, (2006).
- [19] 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 de Nice-Sophia Antipolis, (2016).
- [20] A. Benaissa, C. Kacem, Etude de la dégradation photocatalytique d'un colorant synthétique et d'un tensioactif. Thèse de doctorat en sciences. Université Mentouri Constantine, (2011).
- [21] A. Hadj, N. Benselka. 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. Université de USTO Mohamed Boudiaf., (2015).
- [22] IARC. 2010. « IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans ». Monograph 99. Some Aromatic Amines, Organic Dyes, and Related Exposures. IARC. Consulté le 25 Mai 2019.
- [23] H. Ben Mansour, O. Boughzala, D. Dridi, 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).
- [24] B. Amit, S.S. Devi, T. Chakrabarti, Azo Dyes: Past, Present and the Future. *Environmental Reviews*, (2011).
- [25] S. Hammami, N. Bellakhal, N. Oturan, M.A. Oturan, M. Dachraoui Degradation of Acid Orange 7 by electrochemically generated •OH radicals in acidic aqueous medium using a boron-doped diamond or platinum anode: A mechanistic study. *Chemosphere*, (2008).
- [26] S. Sandhya. Biodegradation of Azo Dyes Under Anaerobic Condition: Role of Azoreductase, Biodegradation of Azo Dyes, *The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2010).
- [27] S. Guendouz, Biosorption des colorants textiles, Ecarlate Solophényl BNLE et Vert Cibacron par la biomasse sèche de lentilles d'eau. Thèse de doctorat en chimie, (2014).
- [28] S. Benkhaya, S. El Harfi, A. El Harfi Classifications, properties and applications of textile dyes. *Applied Journal of Environmental Engineering Science*, (2017).
- [29] M. Bendjelloul, Conception d'adsorbants a propriétés de surface modulable par des procédés de modifications chimiques pour l'élimination de colorants acides en solution aqueuses. Thèse de doctorat en science, (2017).
- [30] C. Bauer, P. Jacques, A. Kalt, J. Photocheu, 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).
- [31] 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.Ghosh , G .Bhattacharyya ,*Applied Clay Science - Journal – Elsevier*, (2010).
- [32] Y. Fu, T. Viraraghavant, Fungal de colorization of day wastewater: a review. *Bioresearches technology*, (2001).

- [33] D . Merouani Traitement de colorants azoïque et anthraquinique par procedes d'oxydation avancee (poa). Thèse de doctorat en chimie. (2011).
- [34] A . Bengrine Dépollution des eaux usées sur un support naturel Chitosane-Bentonite. Mémoire de magistère en chimie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen (2011).
- [35] F. Ararem, Synthèse et caractérisation de biopolymères : Application au piégeage de colorants. Mémoire de magister en chimie des matériaux. Université d'Oran Es-Sénia (2010).
- [36] D. Chebli , Traitement des eaux usées industrielles : Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique. Thèse de doctorat en Génie chimique. Université Ferhat Abbas (2012).
- [37] A. E. Pirbazari, N. R. Pargami, N .Ashja, M. S . Emami. Surfactant-coated Tea Waste: Preparation, Characterization and its Application for Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution. *Journal of Environ Analytical Toxicology*, (2015) .
- [38] A. R . Djafer, Traitement biologique des eaux usées : Etude statique et Dynamique. Thèse de doctorat en science. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem (2014).
- [39] N .Nait Maerzoug, Application des tiges de datte dans l'adsorption de polluants organiques. Diplôme de Magister : Chimie physique et analytique. Université Mohamed Cherif Massaadia,Souk-Ahras, 2014.
- [40] N. E. H .Fardjaoui ,Synthèse des aluminosilicates de type géopolymères et zéolite LTA à partir des kaolins. Application à l'adsorption des métaux lourds (Cu(II), Cr(VI)) et des colorants textiles (jaune bezanyl, vert nylomine). Thèse de doctorat en chimie.–(2018).
- [41] M. Bahia. Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes. Thèse de doctorat en science. Université de Lorraine, (2015).
- [42] N. J. Willmott, J.T. Gutherie , G. Nels. The biotechnology approach to colour removal from textile effluent. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*., (1998).
- [43] H .Ben Mansour, O.Boughzala, D. Dridi, 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) .
- [44] U.Pagga, D. Brown. The degradation of dyestuffs part II: behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests. *Chemosphere*, (1986) .
- [45] C.Galindo, P. Jacques, A. Kalt, Photochemical and photocatalytic degradation of an indigoid dye: a case study of acid blue 74 (AB74). *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, (2001).
- [46] S. J.Culp, F. A.Beland, R. H. Heflich. Mutagenicity and carcinogenicity in relation to DNA adduct formation in rats fed leucomolachite green. *Matation research* (2002).
- [47] O. Joseph. Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués, Thèse doctorat, chimie de Lyon (2009).
- [48] Y.M. Slokar, A.M. LE Marechal. Methods of Decoloration of Textile wastewaters. *Dyes and Pigments* (1998) .
- [49] T. Robinson, G. Mculian, R. Marchant, P. Nigam. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology* (2001) .

- [50] I. Kabdsali, M. Gurel, O. Tunay. Characterization and treatment of textile printing wastewaters. *Environmental Technology*, (2000) .
- [51] N.P. Cheremisinoff. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann, Boston, 2002.
- [52] S.A. Avlonitis, I. Poullos, D. Sotiriou, M. Pappas, K. Moutesidis. Simulated cotton dye effluents treatment and reuse by nanofiltration. *Desalination* (2008) .
- [53] 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) .
- [54] R. Calvet, M. Terce, J.C. Arvieu, *Ann. Agron* (1980).
- [55] M.A. Ferro-Garcia, J. Rivera-Utrilla, I. Bantista-Teledd, A.C. Moreno-Castilla, *Langmuir* (1998).
- [56] N. Senesi, Y. Chen, z. Gerstl, Y. Chen, U. Mingelgrin, B. Yaron, Editors, *springer- Verlag, Berlin*, (1989).
- [57] F. Zahaf, *Etude Structurale des argiles modifiées Appliquées à l'adsorption des polluants*. These de doctorat en chimie des matériaux. Université Mustapha stambouli, Mascara (2017).
- [58] N . Nordin,. *Etude expérimentale du potentiel d'adsorption de polluants métalliques sur la sciure de bois brute et modifiée. Analyse cinétique et thermodynamique*. Thèse de doctorat en hydraulique en Chimie Physique Appliquée. Université Djilali liabes, sidi bel Abbés (2018) .
- [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] 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).
- [63] H.Giles, D. Smith *A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm, I. Theoretical*. *Journal of Colloid and Interface Science*, (1974) .
- [64] G.Rorrer, F.Huang, M. A. Hussein, *Synthesis of porous magnetic chitosane beads for removal of cadmium ions from wastewater*, *Industrial Engineering Chemistry Research*, (1993).
- [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 Boudiaf, Oran (2010).
- [67] M. Rajai, *Élimination des colorants de synthèse par adsorption sur des matériaux mésoporeux*. Mémoire de magister en génie chimique. (2018).
- [68] L. Ming Sun, F. Meunier. *Adsorption: aspects théoriques ; technique de l'ingénieur, -Opérations Unitaires- Génie de la réaction chimique, traité Génie des procédés*, (2003) .

- [69] N. J. Krou. Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques; thèse de doctorat ; Université de Toulouse ; (2010) .
- [70] N. Petit. Couplage des procédés d'adsorption sur charbon actif et de photocatalyse TiO<sub>2</sub> / UV pour l'élimination de composés organiques volatils, thèse doctorat, Université de Rennes 1 (2007).
- [71] L.M. Sun et F. Meunier. Adsorption : aspects théoriques Techniques de l'ingénieur, (2007).
- [72] C.C. Manole. Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique), thèse de doctorat, Polytechnique de Toulouse (2007).
- [73] B. Sarra, Etude des phénomènes d'adsorption par la spectroscopie IRTF. These de doctorat en chimie. Université Abdelhamid ibn badis, Mostaganem (2018).
- [74] N. J. Krou, Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques, Thèse Université de Toulouse (2010).
- [75] B.K. Ines, Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique. These de doctorat en Génie des procédés et de l'Environnement. Université Toulouse 3 Paul Sabatier (2014).
- [76] F.Banat, S.Al-Asheh, R. Al-Ahmad, F. Bni-Khalid Bench-scale and packed bed sorption of methylene blue using treated olive pomace and charcoal, Bioresource Technology, (2007).
- [77] S. S.Ahluwalia, D. Goyal, Removal of heavy metals by waste tea leaves from aqueous solution. Engineering in Life Sciences, (2005).
- [78] A.E.Ofomaja., Kinetics and mechanism of methylene blue sorption onto palm kernel fibre. Process Biochemistry, (2007).
- [79] Y.S.Ho, T. H.Chiang, Y.M. Hsueh ,Removal of basic dye from aqueous solution using tree fern as a biosorbent, Process Biochemistry, (2005).
- [80] Y.S.Ho, G. Mckay Kinetic Models for the Sorption of Dye from aqueous solution by wood, Transactions of the Institution of Chemical Engineers, (1998).
- [81] V. K.Garg, M.Amita, R.Kumar, R. Gupta. Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste. Dyes and Pigments, (2004).
- [82] Organic chemistry on line .
- [83] Analyse Chimique, Ed. Dunod, F. & A. Rouessac.
- [84] [www.shu.ac.uk](http://www.shu.ac.uk)
- [85] 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) .
- [86] 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).
- [87] A.Obike, J.Igwe, C.Emeruwa, 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, (2018).

- [88] 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*, (2014).
- [89] M. K.Kifline, K. K. M. Anatole, N. V. Philippe, I. L .Bernard, E. B.Grancien, M. M. Blaise. Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles de *Cucumeropsis manniinaudin*. *International Journal of Biological and Chemecal Science*, (2018).
- [90] E. P.Azadeh, S.Elham, B.Moslem, S. E. Mohammad. Alkali treated Foumanat tea waste as an efficient adsorbent for methylene blue adsorption from aqueous solution. *Water Resources and Industry*, (2014).

# ANNEXES

## § ANNEXE I §

### Préparation des solutions de colorant de concentration déterminée :

-On prépare des solution mères des concentrations :

**100 ppm** : 100 mg colorant dans un litre d'eau distillé.

**300 ppm** : 300 mg du colorant dans un litre d'eau distillé.

A partir des ces solutions on prépare les solutions filles suivante (25ml) :

**Tableau 1** : volumes correspondent pour la préparation des solutions filles.

C (ppm)	10	15	20	30	40	45	50	80	100	150	200	250	300
V (ml)	0.83	1.25	1.66	2.5	3.3 3	3.7 5	4.16	6.6 6	25	12.5	16.66	20.83	25

## ANNEXES

### § ANNEXE II §

#### Résultats expérimentaux :

#### I ) Support écorce de fève :

**Tableau 2 :** effet de la masse d'absorbant EF sur l'adsorption du RTL (T = 25 °c;C=100ppm ; t=2h ;pH=6 ;V=25 ).

m(mg)	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
10	0,7203	85,9956522	35,0108696
20	0,761	91,3043478	10,8695652
30	0,7408	88,6695652	9,44202899
40	0,7706	92,5565217	4,65217391
50	0,7353	87,9521739	6,02391304
60	0,7698	92,4521739	3,14492754

**Tableau 3 :** effet de la concentration d'absorbant EF sur l'adsorption du RTL (T = 25 °c; m=10mg ; t=2h ;pH=6 ; V=25).

C0(ppm)	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
0	0	0	0
15	0,3835	14,0217391	2,44565217
20	0,4119	15,2565217	11,8586957
30	0,6180	24,2173913	14,4565217
40	0,8456	34,1130435	14,7173913
45	0,9776	39,8521739	12,8695652

## ANNEXES

**Tableau 4** : effet du temps de contact sur l'adsorption du RTL par EF (T = 25 °c; m=10mg ; C=30 ppm ;pH=6 ; V=25).

t(min)	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
0	0	0	0
60	0,7352	87,9391304	30,1521739
90	0,6883	81,8217391	45,4456522
120	0,6859	81,5086957	46,2282609
150	0,6933	82,473913	43,8152174

**Tableau 5** : effet du pH sur l'adsorption du RTL par EF (T = 25 °c; m=10mg ; C=30 ppm ;t=90 min ; V=25ml ).

pH	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
2,4	0,4055	14,9782609	37,5543478
4,64	0,5912	23,0521739	17,3695652
6,25	0,6127	23,9869565	15,0326087
9,78	0,6583	25,9695652	10,076087
10,07	0,6543	25,7956522	10,5108696
11,8	0,6011	23,4826087	16,2934783



## ANNEXES

### II) les FPD (Djérid) :

**Tableau 6 :** effet de la masse d'absorbant FPD (Djérid) sur l'adsorption du RTL

(T = 25 °c ;C=300ppm ; t=210min ; pH=6 ; V=25).

m(mg)	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
10	0.7348	29.2956522	676.76087
20	0.6831	27.0478261	341.190217
25	0.7204	28.6695652	271.330435
30	0.8055	32.3695652	223.025362
40	0.8304	33.4521739	166.592391
45	0.8308	33.4695652	148.072464
50	0.8887	35.9869565	132.006522
60	0.9827	40.073913	108.302536

**Tableau 7 :** effet du pH sur l'adsorption du RTL par FPD (Djérid) (T = 25 °c ; m=10mg ; C=300ppm ;t=210min ; pH=6 ; V=25 ).

pH	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
2.77	0.5437	20.9869565	697.532609
3.25	0.5826	22.6782609	693.304348
4.6	0.694	27.5217391	681.195652
6.45	0.7746	31.026087	672.434783
8.13	0.7611	30.4391304	673.902174
10.22	0.7906	31.7217391	670.695652
12.07	0.7603	30.4043478	673.98913

## ANNEXES

**Tableau 8 :** effet de la concentration d'absorbant FPD (Djérid) sur l'adsorption du RTL

(T = 25 °c; m=10mg ; t=210min ; ; pH=6 ; V=25).

C0(ppm)	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
10	0.2475	8.02173913	4.94565217
30	0.722	28.6521739	3.36956522
40	0.9015	36.4565217	8.85869565
50	0.5528	42.5913043	18.5217391
80	0.5811	67.5782609	31.0543478
100	0.7314	87.1826087	32.0434783
130	0.9808	119.973913	25.0652174

**Tableau 9 :** effet du temps de contact sur l'adsorption du RTL par FPD (Djérid)

(T = 25 °c; m=10mg ; t=210min ; ; pH=6 ; V=25;C=80 ppm)

t(min)	Abs	Ce(ppm)	Qe(mg/g)
10	0.6138	72.1043478	19.7391304
20	0.6117	71.8304348	20.423913
30	0.6297	74.1782609	14.5543478
40	0.6256	73.6434783	15.8913043
120	0.6352	74.8956522	12.7608696
210	0.6467	76.3956522	9.01086957