

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



**Faculté de Technologie-Département de Génies de procédés**

**Mémoire de fin d'études**

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en :

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Génie des procédés**

**Option : Génie chimique**

Présenté par :

**AIT GACEME Kamilia**

**SENAD Hanane**

**Thème**

**Adsorption de colorant Rouge Congo par un nanocomposite polymère conducteur à base de polypyrrole/SnO<sub>2</sub>**

**Date de soutenance : 10/07/2023**

**Devant le Jury composé de :**

<b>Mr. HACHEMI Messaoud</b>	<b>Professeur</b>	<b>UMBB</b>	<b>Président</b>
<b>Mme. BEN BOUABDELLAH Amina</b>	<b>M.C.A</b>	<b>UMBB</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Mme. GHEBACHE Zohra</b>	<b>M.C.A</b>	<b>USTHB</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Mr. HAMIDOUCHE Fahim</b>	<b>M.C.A</b>	<b>UMBB</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mr. AKSAS Hamouche</b>	<b>M.C.A</b>	<b>UMBB</b>	<b>Co-Promoteur</b>

## Remercîments

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant pour tout le courage et la force qu'il nous a donnés pour achever ce travail.

Nous remercions notre promoteur Mr. HAMIDOUCHE Fahim pour la confiance que nous a accordé, pour son implication exceptionnelle dans ce travail, sa disponibilité et son aide.

Nous remercions également le chef du département AKSSAS Hamouche pour son aide précieuse.

Nous aimerions également remercier les membres du jury pour leurs révisions et jugements de ce travail.

Nous remercions vont à tout le personnel de laboratoire, qui nous avons aidé durant notre expérimentation, un accueil chaleureux avec une assistance exceptionnelle.

Enfin, nous remercions vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet.

# *Dédicace*

*À mes très chers parents qui sont la lumière de ma  
vie ;  
Qui ont tant souffert et se sont sacrifiés pour que je  
sois heureuse.*

*À mes chères sœurs : Safia, Yasmina, Ourida,  
Imane, Soumia, Khadija.*

*À tous mes amis : Ryma, Hayet, Manel, Khawla.*

*A Tous ceux qui m'ont aidé.*

*Hanane*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mon père*

*A ma mère*

*Merci pour votre patience qui m'a poussé vers le succès.*

*A mes deux frères.*

*A mes meilleures amis : Bouchra, Manel, Khoula et Hanane*

*A ma chère binôme Hanane Pour leur fidélité et leur amitié Infinité.*

*Kamilia*

<b>RC</b>	Rouge Congo
<b>DRX</b>	Diffraction des Rayons X
<b>MEB</b>	Microscopie électrique à balayage
<b>IRTF</b>	Infrarouge a transformé de Fourier
<b>UV</b>	Spectroscopie UV visible
<b>m</b>	Masse
<b><math>C_0</math></b>	Concentration initial
<b><math>C_1</math></b>	Concentration fille
<b><math>v_0</math></b>	Volume de solution mère
<b><math>v_1</math></b>	Volume de solution fille
<b>T</b>	Température
<b>ppm</b>	Partie par million
<b>N</b>	Normalité
<b><math>Q_{ad}</math></b>	Quantité adsorbé
<b><math>\lambda</math></b>	La longueur d'onde
<b>HCl</b>	L'acide chlorhydrique
<b>NaOH</b>	L'hydroxyde de sodium
<b>DCO</b>	La demande chimique en oxygène
<b>ABS</b>	Absorbance
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène
<b>PPY</b>	Polypyrrole
<b><math>SnO_2</math></b>	Dioxyde d'étain

## CHAPITRE II : PHENOMENES D'ADSORPTIONS

<b>Figure II.1</b> : Structure chimique des polymères conjugués.....	22
<b>Figure II.2</b> : Classification de phénomène d'adsorption.....	24
<b>Figure II.3</b> : Déférentes isothermes d'adsorption.....	26

## CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES EXPERIMENTALES

<b>FigureIII.1</b> : Récapitulatif de la technique de synthèse de matériau PPy(Cl)/ Hématite.....	33
<b>Figure III.2:</b> Modèles XRD de composite PPy, SnO <sub>2</sub> et SnO <sub>2</sub> /PPy avec différents rapports de masse.....	36
<b>Figure III.3</b> : Spectres FTIR des matériaux hybrides PPy, SnO <sub>2</sub> et SnO <sub>2</sub> /PPy (rapport de masse=0,1).....	37
<b>Figure III.4</b> : Images MEB du composite PPy (a, b) et SnO <sub>2</sub> /PPy du rapport de masse 0,1 (c, d) à deux grossissements différents.....	38
<b>Figure III.5</b> : La solution mère de colorant rouge Congo.....	39
<b>Figure III.6</b> : Balayage spectrale de RC.....	39
<b>Figure III.7</b> : Test de l'effet de pH.....	40
<b>Figure III.8</b> : Teste de l'effet de concentration.....	41
<b>Figure III.9</b> : L'effet de la masse d'adsorbant.....	41
<b>Figure III.10</b> : Test de l'effet de temps de contact de colorant avec l'adsorbant.....	42
<b>Figure III.11</b> : La désorption.....	43

## CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

<b>Figure IV.1</b> : Courbe d'étalonnage du RC à 500 nm.....	48
<b>Figure IV.2</b> : Courbe d'étalonnage du RC à 565 nm.....	49
<b>Figure IV.3</b> : L'effet du pH sur l'adsorption de RC.....	49
<b>Figure IV.4</b> : L'effet de la concentration sur l'adsorption de RC.....	50
<b>Figure IV.5</b> : L'effet de masse sur l'adsorption de RC.....	50
<b>Figure IV.6</b> : L'effet de temps sur l'adsorption de RC.....	51

<b>Figure IV.7</b> : L'effet de température sur l'adsorption de RC.....	52
<b>Figure IV.8</b> : Modèle du pseudo – premier ordre.....	53
<b>Figure IV.9</b> : Modèle du pseudo – deuxième ordre.....	53
<b>Figure IV.10</b> : Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir du RC sur PPy/SnO <sub>2</sub> .....	54
<b>Figure IV.11</b> : Modélisation linéaire par le modèle de Freundlich du RC sur PPy/SnO <sub>2</sub> .....	55
<b>Figure IV.12</b> : Modélisation linéaire par le modèle de Temkin du RC sur CA.....	55
<b>Figure IV.13</b> : Ln $K_d$ en fonction de (1 / T).....	57

## CHAPITRE I : POLLUTION ET COLORANTS

<b>Tableau I.1</b> : Classification chimique des colorants.....	8
<b>Tableau I.2</b> : Caractéristiques et propriétés générales des colorants tinctoriales .....	10
<b>Tableau I.3</b> : Caractéristique chimique de RC .....	14

## CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES EXPERIMENTALES

<b>Tableau III.1</b> : Propriétés et rôle des produits .....	31
<b>Tableau III.2</b> : Propriétés et rôle de matériels .....	32

## CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

<b>Tableau IV.11</b> : Constantes des différents modèles de la cinétique d'adsorption de RC.....	53
<b>Tableau IV.12</b> : Paramètres des différentes modélisations des isothermes d'adsorption .....	56
<b>Tableau IV.13</b> : Paramètres thermodynamique d'adsorption de RC .....	57

## ANNEXE

<b>Tableau IV.1</b> : Courbe d'étalonnage dans le milieu acide .....	61
<b>Tableau IV.2</b> : Courbe d'étalonnage dans le milieu basique. ....	61
<b>Tableau IV.3</b> : Les résultats expérimentaux de l'effet de pH. ....	61
<b>Tableau IV.4</b> : Les résultats expérimentaux de l'effet de concentration.....	61
<b>Tableau IV.5</b> : les résultats expérimentaux de l'effet de masse. ....	61
<b>Tableau IV.6</b> : Les résultats expérimentaux de l'effet de temps. ....	62
<b>Tableau IV.7</b> : Les résultats expérimentaux de l'effet de température.....	62
<b>Tableau IV.8</b> : Paramètre équationnels du modèle du pseudo-premier ordre. ....	62
<b>Tableau IV.9</b> : Paramètre équationnels du modèle du pseudo-deuxième ordre. ....	62
<b>Tableau IV.10</b> : détermination des isothermes de Langmuir, Freundlich et Temkin. ....	62
<b>Tableau IV.11</b> : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents textiles.....	62

## Liste des tableaux

## Liste des figures

## Liste des abréviations et symboles

## Introduction générale..... 1

**Chapitre I : Généralités sur la pollution et les colorants**

1. La pollution .....	4
1.1. Définition de pollution .....	4
1.2. Types de pollution.....	4
1.2.1. Pollution de l'eau.....	4
1.2.2. Pollution atmosphérique.....	4
1.2.3. Pollution des sols.....	5
1.3. Les différentes sources de la pollution.....	5
1.3.1. Source urbaine.....	5
1.3. 2. Source industrielle.....	5
1.3. 3. Source agricole.....	5
1.3.4. Source naturelle.....	6
1.3. 5. Source microbiologique.....	6
2. Les colorants.....	6
2. 1. Généralité.....	6
2. 2. Définition des colorants.....	6
2.3. Origine de la couleur.....	7
2.3. 1. Colorant naturels.....	7
2.3. 2. Colorants synthétiques.....	7
2.4. Classification des colorants.....	7
2.4. 1.Classification chimique.....	7
2.4.2. Classification tinctoriale.....	9
2.5. Utilisation et application des colorants.....	10
2.6. Toxicité des colorants.....	11
2.7. Procédés de l'élimination les colorants.....	11
2.7.1. Méthode chimique.....	11
2.7.1.1. Coagulation/floculation.....	11
2.7.1.2. Adsorption.....	12
2.7.1.3. Filtration sur membrane.....	12
2.7.2. Méthodes chimiques.....	12
2.7.3. Méthodes biologique.....	13
3. Le Rouge Congo.....	13
3.1. Description générale du colorant Rouge Congo.....	13
3.2. Définition de Rouge Congo.....	13
3. 3. Caractéristique chimique de Rouge Congo.....	14
3. 4. Domaine d'utilisation de Rouge Congo.....	15

3. 5. Toxicité de Rouge Congo.....	15
Conclusion.....	15
Références bibliographique.....	16

## Chapitre II : Phénomènes d'adsorptions et les adsorbants

1. Les adsorbants.....	20
1.1. Généralité .....	20
1.2. Le types des adsorbants.....	20
1.2.1. charbon actif.....	20
1.2.2. Gel de silice.....	20
1.2.3. Alumine activée.....	20
1.2.4. Zéolithes.....	21
1.2.5. Adsorbants à base de polymère.....	21
1. 3.Les polymères conducteurs .....	21
1. 3.1. Notion sur les polymères conducteurs .....	21
1.3.2. Polypyrrole conducteur .....	22
1.3.3. Généralité sur dioxyde d'étain $\text{SnO}_2$ .....	22
2. Phénomène d'adsorption.....	23
2.1. Définition d'adsorption .....	23
2.2. Classification de phénomène d'absorption.....	23
2.3. Description du mécanisme d'adsorption .....	24
2.4. Cinétique d'adsorption .....	24
2.5. Classification des isothermes d'adsorption.....	25
2.6. Modélisation des isothermes d'adsorption.....	26
2.6.1. Modèle de Langmuir.....	26
2.6.2. Modèle de Freundlich.....	27
2.6.3. Modèle de Temkin.....	27
3. La désorption.....	27
Références bibliographique.....	29

## Chapitre III : Matériels et méthodes expérimentales

1. Produits et matériels.....	31
2. Synthèses de composites à base de ppy et ppy(Cl)/ $\text{SnO}_2$ .....	32
3. Méthode de caractérisation.....	34
3.1. Caractérisation par diffraction des rayons X(DRX) .....	34
3.2. Caractérisation par la spectroscopie IRTF.....	34
3.3. Caractérisation par microscope électronique à balayage (MEB).....	34
3.4. Caractérisation par spectrophotomètre UV-visible .....	35
4. Synthèse de matériaux adsorbant polypyrrole , polypyrrole/ $\text{SnO}_2$ , et $\text{SnO}_2$ .....	35
4.1. Analyse par DRX .....	35
4.2. Analyse par FTIR .....	36

4.3. Analyse par MEB.....	37
5. Protocole expérimentale d'adsorption de Rouge Congo .....	38
5.1. Préparation de la solution mère de colorant Rouge Congo .....	38
4.2. Détermination de la longueur d'onde de RC .....	38
5.3. Courbe d'étalonnage .....	49
5.4. Influence de quelque paramètre sur l'adsorption .....	40
5.4.1. Influence de pH .....	40
5.4.2. Influence de la concentration de l'adsorbat (RC).....	40
5.4.3. Influence de la masse d'adsorbant .....	41
5.4.4. Influence de temps .....	41
5.4.5. Influence de la température.....	42
6. Quantités de RC absorbée.....	42
7. La désorption de RC par le NaoH .....	42
Références bibliographique.....	44

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

1. Courbe d'étalonnage.....	48
2. Effet de quelque paramètre sur l'adsorption de RC.....	48
2.1. L'effet du pH sur l'adsorption de Rouge Congo .....	48
2.2. L'effet de concentration sur l'adsorption de RC .....	49
2.3. Effet de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption de RC.....	50
2.4. Effet de temps sur l'adsorption de RC .....	51
2.5. Effet de température sur l'adsorption de RC .....	51
3. Modélisations des résultats.....	52
3.1. Modélisation de la cinétique.....	52
3.1.1. Modèle de pseudo premier ordre .....	52
3.1.2. Modèle du Pseudo deuxième ordre.....	52
3.2. Modélisation des isothermes .....	54
3.2.1. Modèle de Langmuir .....	54
3.2.2. Modèle de Freundlich.....	54
3.2.3. Modèle de Temkin.....	54
4. Etude thermodynamique.....	56
5. La désorption de RC par le NaoH .....	58
Conclusion générale et recommandations.....	59
Annexe.....	60

# **Introduction générale**

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Pratiquement tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau.

La pollution d'eau est un problème environnemental majeur qui affecte la qualité de vie de millions de personnes dans le monde entier. Les sources de pollution de l'eau sont nombreuses et variées, allant des rejets industriels aux déchets domestiques, en passant par les pesticides et les engrais agricoles, ainsi que les déchets des navires et des installations portuaires. Les polluants peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine, la faune et la flore, ainsi que sur les écosystèmes aquatiques.

Le développement considérable des activités industrielles permettant de répondre aux besoins de notre société, s'accompagne inévitablement d'un accroissement important des rejets polluants. De nombreuses industries (textile, papeterie, plastique, agroalimentaire...) sont de gros consommateurs d'eau et utilisent des colorants organiques (solubles ou pigmentaires) pour colorer leurs produits. En conséquence, ils génèrent une quantité considérable d'eaux usées colorées. Aujourd'hui, il y a plus de 100 000 colorants disponibles commercialement, la production annuelle de colorant dans le monde entier est d'environ 7105 tonnes [1], environ 2% sont rejetés dans les effluents des industries [2]. Ces colorants synthétiques sont à la fois toxiques et responsables de la coloration des eaux [3]. En outre, la majorité de ces colorants ne sont pas biodégradables en raison de la complexité de leurs structures chimiques due principalement à la présence de cycles aromatiques [4] et posent de graves problèmes à la vie aquatique et cause des dommages à la nature esthétique de l'environnement. Les colorants sont les premiers polluants à être détectés dans les eaux usées. Par conséquent, la dépollution des eaux contaminées par ces composés chimiques s'avère nécessaire aussi bien pour la protection de l'environnement que pour une éventuelle réutilisation de ces eaux non conventionnelles.

L'élimination des polluants de l'eau est donc une priorité pour protéger l'environnement et la santé publique. De nombreuses méthodes ont été développées pour éliminer les polluants de l'eau, notamment l'adsorption, la filtration, la distillation et l'échange d'ions. L'adsorption est une méthode couramment utilisée pour éliminer les polluants de l'eau, en particulier les colorants, qui peuvent être nocifs pour l'environnement s'ils sont rejetés dans les eaux usées sans traitement adéquat.

L'adsorption est un processus qui consiste à utiliser un matériau absorbant pour capturer les polluants de l'eau. Les matériaux absorbants sont souvent des matériaux naturels ou synthétiques tels que le charbon actif, la zéolite, la silice et les polymères. Ces matériaux ont une grande surface spécifique qui leur permet de capturer les polluants de l'eau et de les retenir à leur surface.

L'objectif de ce travail est l'étude de l'adsorption du colorant Rouge Congo (RC) sur un nanocomposite polymère conducteur à base de polypyrrole/SnO<sub>2</sub> qui est un adsorbant synthétique. Différents paramètres expérimentaux ont été analysés à savoir le pH, masse d'adsorbant (la dose), concentration initiale en colorant, etc.....

Ce manuscrit est organisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, la première partie nous avons résumé quelques informations indispensables sur la pollution, la deuxième partie nous présentons des données bibliographiques concernant les colorants, leurs origines, leurs classifications, utilisation, toxicité et méthodes de traitements

Dans le deuxième chapitre, la première partie traite les polymères conducteurs et dans la deuxième partie est dédié à la description du phénomène d'adsorption et les modèles employés pour décrire la cinétique et les isothermes d'adsorption.

Dans le troisième chapitre présente les produits et les matériels utilisés dans cette étude ainsi que les méthodes expérimentales et analytiques, propres à l'élimination du colorant. Le dernier chapitre présente tous les résultats expérimentaux obtenus ainsi que leurs discussions, l'influence des différents paramètres sur l'adsorption du rouge Congo et la validation des quelques modèles des isothermes et cinétique d'adsorption. Enfin, ce manuscrit se termine par une conclusion générale.

**REFERANCES BIBIOGRAPHIQUE**

- [1] Garg,K., Kumar,R., Gupta,R.(2004). Removal of malachite green dye from a aqueous solution by adsorption using agro industry waste: a case study of Prosopis cineraria, Dyes and Pigments, vol. 62, pp. 1–10.
- [2] Velmurugan ,P., Rathina ,V.K., Dhinakaran ,G.(2011).Dye removal from aqueous solution using low cost adsorbent, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 1, pp. 7–14.
- [3] Daoud .M., Benturki .O(2014). Activation d'un charbon à base de noyaux de jujubes et application à l'environnement. Adsorption d'un colorant de textile Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, USTHB B.P. 32 El Alia, 16111, Bab Ezzouar, Algiers, Algeria.
- [4] Pérez M. H., Peñuela G., Maldonado M. I., Degradation of pesticides in water using solar advanced oxidation processes, Applied Catalysis B, 64(2006) 272–281

# **CHAPITRE I : Généralité sur la pollution et les colorants**

La pollution est un fléau qui menace notre planète et notre santé. Les activités humaines telles que l'industrie, l'agriculture et les transports sont les principales sources de pollution. Les colorants font partie des substances nocives pour l'environnement car ils sont utilisés dans de nombreux produits de consommation courante. Malheureusement, leur utilisation nuit à l'environnement, en particulier à la qualité de l'eau. Les colorants peuvent contaminer les masses d'eau et les eaux souterraines et avoir des effets dévastateurs sur les écosystèmes aquatiques. Par conséquent, il est important de trouver des solutions pour éliminer efficacement les colorants des eaux usées et protéger l'environnement.

### **1. La pollution**

#### **1.1. Définition de pollution**

Il est difficile de donner une définition précise du terme « pollution » tant il peut s'appliquer à différentes situations. Toute modification directe ou indirecte de l'environnement provoquée par tout acte qui provoque ou qui risque de provoquer une situation préjudiciable pour la santé, la sécurité, le bien-être de l'homme, la flore, la faune, l'air, l'atmosphère, les eaux, les sols et les biens collectifs et individuels [1].

#### **1.2. Types de pollution**

##### **1.2.1. Pollution de l'eau**

La pollution de l'eau se réfère à toute altération de la qualité de l'eau, que ce soit d'origine chimique, physique ou biologique, qui a des effets néfastes sur les êtres vivants qui en consomment. Elle se manifeste par l'introduction de substances qui modifient les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau, créant ainsi des risques pour la santé humaine, la faune et la flore aquatique, l'agrément des sites ou toute autre utilisation normale des eaux. Un milieu aquatique est considéré comme pollué lorsque des agents physiques, chimiques ou biologiques d'origine humaine sont présents dans l'eau, la rendant inapte à l'utilisation humaine et/ou perturbant les écosystèmes aquatiques... [2].

##### **1.2.2. Pollution atmosphérique**

La pollution atmosphérique fait référence à l'air que nous respirons, elle concerne uniquement les plus basses couches de l'atmosphère. La biosphère produit naturellement des gaz et des particules qui se retrouvent dans l'atmosphère mais l'activité humaine modifie ces émissions apportant une contribution à la pollution de l'atmosphère en libérant des composés gazeux ou des particules quelle que soit fixe (activités industrielles, domestiques, agricoles, etc.) ou mobile (trafic automobile, avions, etc.) qui sont nocives pour la biosphère et la santé public ; tels que le monoxyde d'azote, hydrogène sulfuré les métaux lourds, les pesticides, et les solvants, etc. ces polluants occasionnent des maladies respiratoires et cardio-vasculaires et peuvent être mortelles [3].

### 1.2.3. Pollution des sols

La dégradation des sols peut être considérée comme l'accumulation de différents effets causés par les contaminants anthropologiques sur différents changements physiques, chimiques et biologiques du sol [4]. De nombreuses substances sont absorbées par les plantes et, dans certaines conditions, s'accumulent dans la chaîne alimentaire à des niveaux nocifs pour les animaux et les humains [5].

### 1.3. Les différentes sources de la pollution

L'eau dans la nature et à fortiori celle qui est employée à des usages industriels et domestiques n'est jamais pure, de par les impuretés qu'elle peut renfermer sous les 3 états : solides, liquides ou gazeux et qui peuvent être caractérisées par la taille qu'elles prennent en milieux aqueux. Les différentes sources de pollutions sont :

#### 1.3.1. Source urbaine

La principale source d'eaux usées municipales est domestique, la population générant les trois quarts des eaux usées. Ces eaux usées sont un mélange d'eau contenant des souillures nocturnes telles que l'urine, les matières fécales et l'eau de toilette, et d'eau utilisée pour laver le sol et les aliments (eaux grises). Les effluents municipaux peuvent également inclure des effluents industriels, mais ceux-ci nécessitent généralement un prétraitement pour obtenir des propriétés comparables aux effluents domestiques et pour permettre un traitement communal [6].

#### 1.3.2. Source industrielle

C'est un déchet liquide généré lorsque les matières premières sont extraites et transformées en produits industriels. Les eaux usées sont principalement générées à partir de l'eau consommée dans de nombreuses opérations de fabrication par voie humide telles que : B. Sédimentation, lavage, nettoyage des équipements, des zones de travail, filtration, distillation, etc. [7]. Les effluents industriels provoquent des pollutions organiques (industrie agro-alimentaire, papeteries), des pollutions chimiques (tanneries, usines textiles, etc.) ou des pollutions physiques (chaleur des centrales thermiques, solides en suspension des mines et de la sidérurgie) Il y a une possibilité. Ils interviennent dans les modifications de la clarté et de l'oxygénation de l'eau, et peuvent également conduire à l'accumulation de certains éléments (métaux, pesticides, radioactivité) dans la chaîne alimentaire [8].

#### 1.3.3. Source agricole

L'agriculture est la première cause des pollutions des ressources en eau, les activités agricoles sont utilisées d'engrais chimiques « l'azote, les dérivés de nitrates et nitrites » et des pesticides « produits phytosanitaires » qui peuvent causer des effets négatifs sur la santé [9].

### 1.3.4. Source naturelle

Ce phénomène se produit dans l'eau qui a été exposée à l'atmosphère car elle contient du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), qui se dissout dans l'eau et forme de l'acide carbonique. Cela indique que la concentration atmosphérique en  $CO_2$  provoque l'acidification de l'eau en contact avec elle. Ainsi, même avant l'existence des pluies acides anthropiques, les pluies naturelles étaient légèrement acides, ce qui est encore le cas dans les zones protégées telles que la forêt amazonienne [8].

### 1.3.5. Source microbiologique

La qualité microbiologique de l'eau peut également contribuer à des problèmes aigus ou chroniques. Une désinfection inadéquate des conduites peut entraîner des accidents, entraînant une mauvaise qualité microbiologique de l'eau, qui peut être un facteur de risque pour diverses conditions médicales, en particulier les maladies gastro-intestinales [10].

## 2. Les colorants

### 2.1. Généralité

L'utilisation de colorants dans la vie humaine remonte à l'Antiquité. A l'époque, les colorants utilisés étaient soit naturels, obtenus à partir de végétaux comme l'indigo, soit d'animaux comme le carmin de la cochenille. L'utilisation de ces colorants naturels s'est poursuivie jusqu'au début du XIXe siècle [11]. Après cela, il a été progressivement remplacé par des colorants synthétiques en raison de sa facilité de synthèse, de sa production rapide et de sa grande variété de couleurs. Les colorants sont désormais un matériau de base dans de nombreuses industries telles que le textile, le cuir, le papier et les plastiques. [11]. Les eaux usées des usines de teinture sont de couleur foncée et ont une forte demande chimique en oxygène (DCO). Les colorants réduisent la pénétration de la lumière du soleil dans l'eau, ralentissant la photosynthèse et inhibant la croissance des plantes aquatiques [12].

### 2.2. Définition des colorants

Les colorants sont définis comme étant des produits chimiques organiques capables de teindre une ou plusieurs substances d'une manière durable. On les classe sous un nom de code indiquant leur classe, leur nuance ainsi qu'un numéro d'ordre. Ils consistent en un assemblage de groupements chromophores exemple (groupes aromatiques conjugués, comportant des doublets non liants ou des complexes de métaux de transition), autochromes et des structures aromatiques conjuguées. Ces groupements se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 780 nm) [11].

La production mondiale des colorants est estimée à plus de 800 000 tonnes/ an, et les colorants azoïques sont majoritaires et représentent 60-70 % [13,14]. Actuellement il y a plus de 20 groupes des colorants, nous allons citer que les Colorants anioniques qui sont solubles dans l'eau.

### 2.3. Origine des colorants

Les propriétés colorantes des composés organiques dépendent de leur structure. En général, les produits utilisés comme colorants sont des composés organiques insaturés et aromatiques. Leur coloration intrinsèque est principalement due à la présence de groupes chimiques insaturés appelés chromophores [15].

Les colorants doivent pouvoir pénétrer dans la matière à colorer et s'y fixer durablement. Certains radicaux chimiques, les auxochromes, fixent avec efficacité le colorant souhaité sur le support. Ces radicaux sont issus des groupes  $NH_2$ , OH, COOH,  $SO_3H$ . Les auxochromes sont acides ou basiques et donnent des sels de colorants. L'addition d'un groupe auxochrome à certains composés incolores peut leur apporter de la couleur. Finalement, pour qu'un composé soit un colorant, il est nécessaire que ses molécules possèdent des groupes chromophores et des auxochromes. Un composé est rouge s'il absorbe toutes les ondes électromagnétiques de la lumière à l'exception de celles qui correspondent à la couleur rouge [16].

#### 2.3.1. Colorants naturels

Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, alors que l'on compte des milliers de colorants synthétiques. Les colorants naturels sont extraits des plantes, des arbres, des lichens ou des insectes et des mollusques. Les colorants jaunes sont les plus nombreux. On rencontre deux catégories de colorants naturels : les colorants à mordant et les colorants de cuve. Seuls les premiers sont peu solubles dans l'eau. L'indigo et la pourpre sont des colorants de cuve [16].

#### 2.3.2. Colorants synthétiques

Les matières premières des colorants synthétiques sont des composés tels que le benzène, issu de la distillation de la houille. C'est pour cette raison que les colorants de synthèse sont communément appelés colorants de goudron de houille. À partir de ces matières premières, les intermédiaires sont fabriqués par une série de procédés chimiques qui, en général, correspondent au remplacement d'un ou de plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux particuliers [16].

### 2.4. Classification des colorants

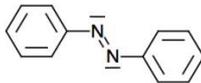
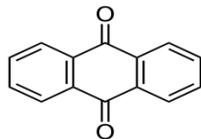
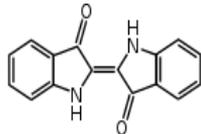
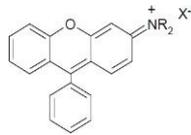
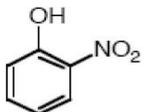
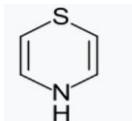
Les colorants peuvent être répartis en deux classes distinctes : d'après leur structure chimique (classes chimiques) ou selon leur méthode d'application aux différents substrats (classes tinctoriales).

#### 2.4.1. Classification chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore, ce classement semble satisfaire à la fois les chimistes qui les caractérisent et les

industriels qui les produisent. La classification chimique des colorants les plus utilisés est résumée dans le Tableau I.1:

**Tableau I.1** : Classification chimique des colorants [17].

Classe	Caractérisations et propriétés	Structures generals
<b>Azoïques (Azo)</b>	Ces colorants ont pour chromophore le groupe -N=N-, environ 50% des colorants commerciaux sont des composés mono, di, tri, voire poly-azoïques. Ces composés organiques sont très résistants à la biodégradation.	
<b>Anthraquinoniques</b>	Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines. D'un point de vue commercial, ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Ces produits sont utilisés pour la coloration des fibres polyester.	
<b>Indigoïdes</b>	Ils tirent leur appellation de l'Indigo dont ils dérivent. Les homologues sélénié, soufré et oxygéné du Bleu Indigo provoquent d'importants effets hypsochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise.	
<b>Phtalo-Cyanines</b>	Ils sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique. Leur structure complexe s'organise autour d'un atome central métallique (M= (Cu, Ni, Co, etc.)) Ils sont principalement utilisés dans la fabrication des encres.	
<b>Xanthènes</b>	Ces composés sont dotés d'une intense fluorescence. Leur propriété de marqueurs est employée lors d'accidents maritimes ou comme traceurs d'écoulement souterrains. Ils servent aussi de colorant alimentaire, cosmétique, textile et impression.	
<b>Nitrés et nitrosés</b>	Ces colorants forment une classe 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 (-NO2) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés).	
<b>Thiazine</b>	Ces colorants ont un noyau phénazonium comme chromophore, avec des groupes aminés en para par rapport au soufre comme auxochrome. Ils sont utilisés dans le domaine du textile, médecine, pharmacie et biologie. Le colorant thiazine le plus important est le bleu de méthylène découvert par CARO en 1876.	

### 2.4.2. Classification tinctoriale

On distingue différentes catégories tinctoriales définies par les auxochromes. Ce mode de classement n'est pas au centre de l'étude chimique, mais il permet de se renseigner sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, de son affinité pour les diverses fibres et de se rendre compte des mécanismes de fixation du colorant dans la fibre. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente.

Le Tableau I.2 résume les différents types de colorants d'après la classification tinctoriale.

### 2.5. Utilisation et application des colorants

Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants [18] :

**L'industrie textile** : Les colorants sont utilisés pour teindre les tissus et les vêtements. Par exemple, le colorant acide rouge 52 est utilisé pour teindre les fibres de laine, de soie et de nylon.

**L'industrie alimentaire** : Les colorants sont utilisés pour colorer les aliments, les boissons et les bonbons. Par exemple, le colorant alimentaire E129 (rouge allura AC) est utilisé pour donner une couleur rouge vif aux boissons et aux aliments.

**L'industrie cosmétique** : Les colorants sont utilisés pour colorer les produits de maquillage, les crèmes et les lotions. Par exemple, le colorant cosmétique D&C Red 33 est utilisé pour donner une couleur rouge aux rouges à lèvres et aux fards à joues.

**L'industrie pharmaceutique** : Les colorants sont utilisés pour colorer les médicaments et les capsules. Par exemple, le colorant pharmaceutique FD&C Blue No. 2 est utilisé pour donner une couleur bleue aux comprimés et aux capsules.

**L'industrie de la peinture** : Les colorants sont utilisés pour produire des peintures et des pigments. Par exemple, le pigment jaune de cadmium est utilisé pour donner une couleur jaune vif aux peintures.

**L'industrie de l'impression** : Les colorants sont utilisés pour imprimer des images et des textes sur du papier ou d'autres supports. Par exemple, le colorant cyan est utilisé dans les cartouches d'encre pour imprimer des images en couleur.

**L'industrie automobile** : Les colorants sont utilisés pour colorer les voitures et les pièces automobiles. Par exemple, le colorant automobile PR122 est utilisé pour donner une couleur rouge aux peintures de voiture.

**Tableau I.2 : Caractéristiques et propriétés générales des colorants tinctoriales.**

Colorants	Caractérisation et propriétés	
<b>Soluble dans l' eau</b>	<p><b>Cationiques ou basiques</b></p>	<p>Les colorants cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Ces produits résistent mal à l'action de la lumière de ce fait, ils ne sont pas utilisés pour la teinture des fibres naturelles. Avec l'apparition des fibres synthétiques, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt. Certains parmi ces colorants, présentent une activité biologique et/ou antiseptique, comme le bleu de méthylène.</p>
	<p><b>Anioniques ou acides</b></p>	<p>Ces colorants sont en général des sels sodiques dont les anions sont porteurs de substituants hydrophiles, principalement des groupements acide-sulfoniques, cette classe de colorants est la plus utilisée.</p>
	<p><b>Réactifs</b></p>	<p>Ces colorants constituent la classe la plus récente de colorants. Leur molécule contient un groupement chromophore et une fonction chimique réactive de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente avec les fibres.</p>
	<p><b>Directs</b></p>	<p>Les colorants directs sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques.</p>
<b>Insoluble dans l' eau</b>	<p><b>Cuve</b></p>	<p>Ces colorants insolubles, doivent être transformés en leurs codérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la réoxydation in situ du colorant sous sa forme insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, les colorants de cuve sont encore utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean.</p>
	<p><b>Mordants</b></p>	<p>Ce type de colorants contient généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, chrome, cobalt, cuivre, nickel ou fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.</p>
	<p><b>Azoïques</b></p>	<p>Ces colorants ont une structure chimique parfois identique à celle des colorants azo, bien qu'ils soient appliqués de manière radicalement différente. Le colorant azoïque insoluble, présent dans la fibre, nait d'un couplage entre une arylamine diazotée et un naphthol. Ces colorants sont solides et économiques dans la gamme de couleur orange à rouge. Toutefois, l'avènement des colorants réactifs a supplanté cette classe de colorants plus coûteux.</p>

**L'industrie du plastique** : Les colorants sont utilisés pour colorer les plastiques et les polymères. Par exemple, le colorant plastique violet est utilisé pour donner une couleur violette aux pièces en plastique.

**L'industrie du papier** : Les colorants sont utilisés pour colorer le papier et le carton. Par exemple, le colorant papier bleu est utilisé pour donner une couleur bleue aux papiers et aux cartons.

**L'industrie de la céramique** : Les colorants sont utilisés pour colorer les carreaux, la porcelaine et la faïence. Par exemple, le colorant céramique rouge est utilisé pour donner une couleur rouge aux carreaux et à la porcelaine.

### 2.6. Toxicité des colorants

Divers colorants synthétiques rejetés par l'industrie peuvent provoquer une coloration inhabituelle de l'eau et constituer une menace pour la sécurité environnementale. Les colorants peuvent affecter l'activité photosynthétique des organismes aquatiques en raison de la réduction de la transmission de la lumière et peuvent être toxiques pour certains organismes aquatiques en raison de la présence de métaux, de composés aromatiques, etc. [19, 20-21]. De plus, les colorants sont également cancérigènes, mutagènes et tératogènes. Ils peuvent causer des dommages importants chez l'homme, notamment un dysfonctionnement des reins, du système reproducteur, du foie, du cerveau et du système nerveux central [22]. Il peut également provoquer une mutagenèse, des cassures chromosomiques, une carcinogenèse et une toxicité respiratoire. Les colorants azoïques ne deviennent toxiques qu'après clivage réducteur de la liaison azoïque pour former l'amine libre. La plupart des amines libérées par clivage azoïque réducteur sont aromatiques, c'est-à-dire des anilines substituées. Par conséquent, la toxicité des colorants azoïques est basée sur celle des amines aromatiques [23].

### 2.7. Procédés de l'élimination les colorants

#### 2.7.1. Méthode physique

##### 3.7.1.1. Coagulation/floculation

La coagulation/floculation est souvent appliquée pour le traitement des eaux usées avant d'un traitement biologique. Elle peut aussi être utilisée comme procédé principal de traitement.

Ce procédé est basé sur l'addition d'un coagulant qui va former des floccs avec les polluants organiques, ces floccs sont ensuite éliminés par décantation et filtration. Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules en suspension et produire des floccs, sont : le sulfate d'aluminium, l'aluminate de sodium, le chlorure ferrique, le sulfate ferreux, le sulfate ferrique.

Toutefois, ce procédé génère des quantités énormes de boues en fin de traitement, ce qui nécessite des investissements supplémentaires pour leur traitement en vue de valorisation [24].

### 3.7.1.2. Adsorption

L'adsorption en phase solide est une méthode qui a montré des résultats prometteurs dans l'élimination des colorants. De nombreux matériaux ont des capacités de rétention importantes pour ces contaminants. Le charbon actif est l'un des adsorbants les plus couramment utilisés dans les systèmes de traitement de l'eau en raison de sa grande surface spécifique riche en sites actifs, de sa grande capacité d'adsorption et de sa remarquable réactivité externe [25,26]. En effet, l'adsorption sur charbon actif présente de nombreux avantages. Il peut éliminer une large gamme de contaminants, y compris de nombreux types de colorants, ainsi que d'autres contaminants organiques et inorganiques tels que les phénols, les ions métalliques, les pesticides, les substances humiques et les détergents. , les composés qui contrôlent le goût et l'odorat peuvent également être responsables. Contrairement à la précipitation, l'adsorption est plus efficace dans la plage de faible concentration [27,28].

### 2.7.1.3. Filtration sur membrane

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nano filtration et osmose inverse. Parmi les quatre types de procédés, la nano filtration et l'osmose inverse sont les plus adaptés à la réduction partielle de la couleur et des petites molécules organiques [29], mais l'osmose inverse reste la plus répandue [30]. La nano filtration s'applique surtout au traitement des bains de teinture de colorants réactifs en agissant comme un filtre moléculaire, tandis que la microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une "membrane écran"[31]. L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de la DCO et des solides en suspension [29], et ne se montre réellement efficace qu'en combinaison avec la coagulation/floculation.

### 2.7.2. Méthodes chimiques

Dans la littérature, les techniques d'oxydation chimique sont couramment utilisées pour traiter de faibles concentrations de composés organiques dangereux, le prétraitement avant les processus biologiques, le traitement des eaux usées contenant des composants résistants à la biodégradation et le post-traitement. La toxicité aquatique est utilisée pour le traitement de réduction. Les deux réactifs les plus couramment cités pour ce type de traitement sont  $H_2O_2$  et  $Cl^-$ . Le peroxyde d'hydrogène est un agent oxydant puissant et est largement utilisé pour traiter les polluants organiques et inorganiques. Cependant, à des concentrations élevées de colorant, l'oxydation avec  $H_2O_2$  seul n'est pas assez efficace. Arslan et al. (1999) ont suggéré de traiter les colorants azoïques avec de l'hypochlorite de sodium, mais même si la molécule d'origine était détruite, les halogènes, ainsi que les sous-produits de décomposition, produiraient des trihalométhanes, qui sont cancérigènes pour l'homme [18].

### 2.7.3 Méthodes biologique

Les traitements biologiques réalisent la dégradation de contaminants par des microorganismes. Leur faible coût opératoire lié à leur faible consommation énergétique est un grand avantage. On distingue deux modes pour ce type de traitement :

- **Traitement aérobie** : En présence d'air ou d'oxygène dissout dans les eaux usées, les bactéries dégradent les polluants organiques. La technique est efficace pour le déplacement Demande chimique en oxygène (DCO), demande biochimique en oxygène (DBO) et les produits organiques volatils, nitrates, phosphates, etc.... [32].
- **Traitement anaérobie** : À l'inverse de la biodégradation aérobie, la digestion anaérobie des composés organiques s'effectue en l'absence d'oxygène et forme du dioxyde de carbone, du méthane, de l'eau, de l'azote, du soufre [32].

## 3. Le Rouge Congo

### 3.1. Description générale du colorant RC

Le rouge Congo a été découvert en 1884 par un chimiste allemand, BÖTTIGER, et il n'a guère rencontré de succès dans l'industrie car il bleuissait dans les solutions acides de l'époque, utilisées pour la coloration des textiles. La firme AGFA s'y intéressa après avoir découvert que dans une solution neutre, il colorait directement le coton, sans traitement intermédiaire ni préparatoire. Ce colorant n'a aucun rapport avec l'ancien Congo belge, mais il se trouve que cette année-là correspondait à la première exploration de cette région africaine par STANLEY et son inventeur se conforma à l'usage courant de cette époque de nommer une nouvelle substance en faisant référence à un événement important [33].

### 3.2. Définition de RC

Le Rouge Congo (RC) (acide 1-naphtalène sulfonique, sel 3, 3'- (4, 4'-biphénylènebis di (azo)) (4; -amino-) disodique) est un colorant diazo anionique à base de benzidine, également connu sous le nom de colorant diazo acide, ayant dans sa structure un groupe azo ( $-N=N-$ ) lié à un cycle aromatique. [34]

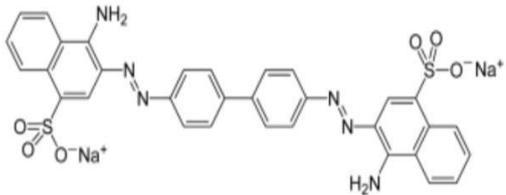
Le Rouge Congo (RC) est préparé en combinant la benzidine tétrazotisée avec deux molécules d'acide naphthionique [35].

À différents niveaux de pH, il a une structure moléculaire différente, sa couleur devient bleue dans les milieux acides (pH inférieur à 5) au lieu de rouge dans les milieux basiques. Ce changement de couleur peut être dû à la résonance entre les structures chargées anioniques ou à la protonation de ses groupes amino [36].

### 3.3. Caractéristique chimique de RC

La caractéristique chimique de Rouge Congo est résumée dans le Tableau suivant :

**Tableau I.3:**Caractéristique chimique de RC [13] :

Nom	Rouge Congo (RC)
Famille	Azoïque
Formule brute	$C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$
Appellation chimique	Acide benzidinediazo-bis-1-naphtylamine
Masse molaire	696.66 g/mol
Dimensions (A°)	17.5x 5.0x2.8
$\lambda_{max}$	498 nm
Solubilité dans l'eau	25 g/l à 20°C
Pka	4
Température de fusion	> 360°C
Structure	

### 3.4 Domaine d'utilisation de RC

Les grands domaines d'application du Rouge Congo sont les suivants [37]:

- L'industrie textile.

- L'industrie de matières plastiques (pigments).
- L'industrie du bâtiment : peintures (pigments).
- L'industrie pharmaceutique (colorants).
- L'industrie des cosmétiques.
- L'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).
- Dans l'imprimerie (encre, papier) .

### 3.5. Toxicité de RC

Il faut savoir qu'à l'état pur, le RC :

- est toxique par contact avec la peau.
- provoque des brûlures.
- est toxique par ingestion et mortel à dose élevée de produit pur évidemment : le RC est létal à 1,43 g/kg de poids humain. Après contact avec la peau, laver immédiatement et abondamment avec une solution à 1 % de bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) 6 [38].

En conclusion, la pollution est un problème mondial qui affecte notre planète et notre santé. Les colorants, utilisés dans de nombreux produits de consommation courante, sont une source de pollution importante pour les cours d'eau et les nappes phréatiques. Il est crucial de trouver des moyens efficaces pour éliminer les colorants des eaux usées afin de protéger notre environnement et préserver la biodiversité aquatique. Nous devons tous prendre des mesures pour réduire notre empreinte écologique et contribuer à la préservation de notre planète pour les générations futures.

**REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUE :**

- [1] La protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. 20 juillet 2003. Journal officiel de la république algerienne n°43, p8.
- [2] D. Gaujous.1995, La pollution du milieu aquatique. Edition. Tec & doc. Paris .
- [3] Elichegaray, C., Bouallala, S., Maitre, A., & Ba, M. (2009). État et évolution de la Pollution Atmosphérique. *Revue Des Maladies Respiratoires*, 26(2), 191–206.
- [4] Emilion K.(2004), Traitement des pollutions industrielles Eau- Air- Déchet- Sols boues. Ed. Du mode. p :177.
- [5] Perraud B., (2009), Chimie de l'environnement : Air, eau, sols, déchets,2ème Edition Français de Boeck :p : 7-360.
- [6] Joannon, A.(2004). Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus hydrologiques. Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricoles du Pays de Caux, Haute Normandie PhD thesis, Agroparistech.
- [7] Sabahi, E., Rahim, S., Zuhairi, W. Y., Nozaily, F., & Alshaebi, F. (2009). The characteristics of leachate and groundwater pollution at municipal solid waste landfill of IBB City, Yemen. *American Journal of Environmental Sciences*, 5(3), 256–266.
- [8] Atteia, O. (2005). *Chimie et pollutions des eaux souterraines*. Tec & doc.
- [9] Hamza, M. H., Added, A., Francés, A., & Rodríguez, R. (2007). Validité de l'application des Méthodes de vulnérabilité drastic, SINTACS et si à l'étude de la pollution par les nitrates dans la nappe phréatique de metline–Ras Jebel–raf RAF (Nord-Est Tunisien). *Comptes Rendus Geoscience*, 339(7), 493–505.
- [10] Alemayehu, T. (2006). Heavy Metal Concentration in the urban environment of Addis Ababa, Ethiopia. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 15(6), 591–602. .

- [11] Mansour, H., Boughzala, O., Dridi, dorra, Barillier, D., Chekir-Ghedira, L., & Mosrati, R. (2011). Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : Criblage de la toxicité et des méthodes de traitement. *Revue Des Sciences de l'eau*, 24(3), 209–238.
- [12] Gita, S., Hussan, A., & Choudhury, T. G. (2017). Impact of Textile Dyes Waste on Aquatic Environments and its Treatment. *Environment & Ecology*, 35(3C), 2349–2353.
- [13] Purkait, M. K., Maiti, A., DasGupta, S., & De, S. (2007). Removal of congo red using activated carbon and its regeneration. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1–2), 287–295.
- [14] Pavan, F. A., Dias, S. L. P., Lima, E. C., & Benvenuti, E. V. (2008). Removal of congo red from aqueous solution by Anilinepropylsilica Xerogel. *Dyes and Pigments*, 76(1), 64–69.
- [15] DEPA (Danish Environmental Protection Agency), Survey of azo-colorants in Denmark, Toxicity and fate of azo dyes, 2000.
- [16] M. Capon, V. Courilleu, C. Valette, 1999. Chimie des couleurs et des odeurs, Nantes, Culture et technique.
- [17] Errais, E., (2011). Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques. Thèse Université de Strasbourg, France, 26-28.
- [18] ZIDANI;L.,(2009). Etude de la dégradation de quatre colorants azoïques par photo-catalyse comparaison avec d'autres procédés d'oxydation avancés (POA), Thèse magister, Université Batna.
- [19] BOUMEDIENE M , (2015). Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants et ions métallique lourds en solutions aqueuses synthétique par des matériaux d'origine agricole , thèse de doctorat , université ABU BAKER BELKAID DE TLEMCEN ,( 2015 )6.
- [20] Clarke, E. A., & Anliker, R. (1980). Organic dyes and pigments. *The Handbook of Environmental Chemistry*, 181–215.
- [21] Mittal, A. K., & Gupta, S. K. (1996). Biosorption of cationic dyes by dead macro fungus *fomitopsis carnea*: Batch studies. *Water Science and Technology*, 34(10), 81–87.
- [22] Lazar, T. (2005). Color chemistry: Synthesis, properties, and applications of organic dyes and pigments, 3rd revised edition. *Color Research & Application*, 30(4), 313–314.

- [23] Kadirvelu, K., Kavipriya, M., Karthika, C., Radhika, M., Vennilamani, N., & Patabhi, S. (2003). Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from Aqueous Solutions. *Bioresource Technology*, 87(1), 129–132.
- [24] Brown, M. A., & De Vito, S. C. (1993). Predicting azo dye toxicity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 23(3), 249–324.
- [25] Anselme C., Jacobs E.P., (1996). *Water treatment membrane processes*, New York, McGraw Hill Mallevalle, 401-1087.
- [26] Kannan, N., & Sundaram, M. M. (2001). Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons—a comparative study. *Dyes and Pigments*, 51(1), 25–40.
- [27] Wang, L. (2012). Application of activated carbon derived from ‘waste’ bamboo culms for the adsorption of azo disperse dye: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Journal of Environmental Management*, 102, 79–87.
- [28] Beker, U., Ganbold, B., Dertli, H., & Gülbayir, D. D. (2010). Adsorption of phenol by activated carbon: Influence of activation methods and solution pH. *Energy Conversion and Management*, 51(2), 235–240.
- [29] Hameed, B. H., Salman, J. M., & Ahmad, A. L. (2009). Adsorption isotherm and kinetic modeling of 2,4-D pesticide on activated carbon derived from date stones. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 121–126.
- [30] Al Mayyahi, A. (2018). Important approaches to enhance reverse osmosis (RO) thin film composite (TFC) membranes performance. *Membranes*, 8(3), 68.
- [31] Calabro, V., Pantano, G., Kang, M., Molinari, R., & Drioli, E. (1990). Experimental study on integrated membrane processes in the treatment of solutions simulating textile effluents. energy and Exergy analysis. *Desalination*, 78(2), 257–277.
- [32] Van der Bruggen, B., Lejon, L., & Vandecasteele, C. (2003). Reuse, treatment, and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes. *Environmental Science & Technology*, 37(17), 3733–3738.
- [33] Gupta, V. K., Ali, I., Saleh, T. A., Nayak, A., & Agarwal, S. (2012). Chemical Treatment Technologies for waste-water recycling—an overview. *RSC Advances*, 2(16), 6380.

- [34] Paşka, O., Ianoş, R., Păcurariu, C., & Brădeanu, A. (2013). Magnetic nanopowder as effective adsorbent for the removal of Congo red from aqueous solution. *Water Science and Technology*, 69(6), 1234–1240.
- [35] Purkait, M. K., DasGupta, S., & De, S. (2005). Adsorption of eosin dye on activated carbon and its surfactant based desorption. *Journal of Environmental Management*, 76(2), 135–142.
- [36] Purkait, M. K., Maiti, A., DasGupta, S., & De, S. (2007). Removal of congo red using activated carbon and its regeneration. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1–2), 287–295.
- [37] Mane, V. S., & Vijay Babu, P. V. (2013). Kinetic and equilibrium studies on the removal of Congo red from aqueous solution using eucalyptus wood (*eucalyptus globulus*) saw dust. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(1), 81–88.
- [38] M.N Crepy.(2004). "Dermatoses professionnelles aux colorants", Fiche d'allergologie dermatologie professionnelle hôpital Cochin.

## **Chapitre II : Les phénomènes d'Adsorptions et les adsorbants**

Le procédé de séparation par adsorption est l'une des technologies les plus importantes aujourd'hui, elle est largement utilisée dans la purification et la purification dans divers domaines tels que les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, l'environnement et les produits pharmaceutiques.

Dans ce chapitre, nous fournirons quelques informations générales sur l'adsorption afin de mieux définir l'importance de ce processus, en expliquant sa cinétique, ses caractéristiques et ces modélisations d'adsorption.

## **1. Les adsorbants**

### **1.1. Généralité**

Sens strict, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques.

Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de  $100 \text{ m}^2/\text{g}$ . Atteignant même quelques milliers de  $\text{m}^2/\text{g}$ . ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou méso poreux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm (selon la classification de l'UPAC) [1].

### **1.2. Les types des adsorbants [2]**

On distingue cinq grands types d'adsorbants :

#### **1.2.1. Charbon actif**

Les charbons actifs sont composés de microcristallites empilées avec une orientation aléatoire et sont obtenus à partir de la décomposition thermique de matériaux carbonés suivie d'un processus d'activation. La voie thermique consiste à chauffer le matériau carboné de base en l'absence d'air à 400-500 °C pour éliminer la matière volatile et pour former des petits pores. L'activation par voie chimique est réalisée en utilisant de l'acide phosphorique et du chlorure de zinc par application directe sur la matière première, mais la porosité générée a tendance à être plus large que par voie thermique.

#### **1.2.2. Gel de silice**

Cet adsorbant amorphe est une forme polymérique partiellement déshydratée de l'acide silicique colloïdal de formule chimique  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Il est composé de particules sphériques d'une taille comprise entre 2 et 20 nm qui forment des agrégats pour constituer l'adsorbant avec des tailles de pore comprises entre 6 et 25 nm environ

#### **1.2.3. Alumine activée**

Cet adsorbant est une forme poreuse d'oxyde d'aluminium de formule chimique  $Al_2 O_3 \cdot n H_2 O$ . La surface de ce solide est encore plus polaire que celle du gel de silice et du fait du caractère amphotère de l'aluminium, présente des propriétés acido – basiques. La fabrication industrielle est réalisée par déshydratation thermique ou activation de l'aluminium trihydraté Al.

#### 1.2.4. Zéolithes

Les zéolithes sont des aluminosilicates poreux de structure cristalline et d'origine naturelle ou synthétique. Cette structure se compose d'un assemblage de tétraèdres  $SiO_4$  et  $AlO_4$  connectés *via* le partage des atomes d'oxygène. Cet arrangement forme un réseau cristallin ouvert où des cavités sont connectées par des fenêtres (pores, cavités + fenêtres) dans lesquelles peuvent pénétrer les molécules ainsi que des cations échangeables pour compenser la charge négative induite par la substitution du silicium par l'aluminium. Des zéolithes composées uniquement par des canaux réguliers (sans cavités) peuvent également être trouvées. Les cations peuvent être des métaux alcalins, alcalino-terreux, de transition, des protons ou des petits cations organiques.

#### 1.2.5. Adsorbants à base de polymère

Ce sont pour la plupart des produits en développement qui n'ont actuellement que des applications très spécifiques et peu nombreuses. Le plus répandu est un copolymère du styrène et du divinylbenzène: le polystyrène forme des chaînes reliées entre elles par des ponts de divinylbenzène, ce qui confère une porosité interchaînes à la structure.

Une caractéristique importante de ces adsorbants est qu'ils sont très hydrophobes. Ces produits peuvent être utilisés tel quel ou subir une carbonisation. On obtient alors des adsorbants voisins des charbons actifs. Si le polymère initial est préparé en fibres, on peut le tisser et obtenir des tissus de charbon actif. Le diamètre de fibre étant de l'ordre de 10 microns, le temps de transfert est beaucoup plus rapide que pour tous les autres adsorbants. Sa surface spécifique peut atteindre pour les tissus de charbon actif 2000 m<sup>2</sup> /g.

### 1. 3.Les polymères conducteurs

#### 1. 3.1.Notion sur les polymères conducteurs

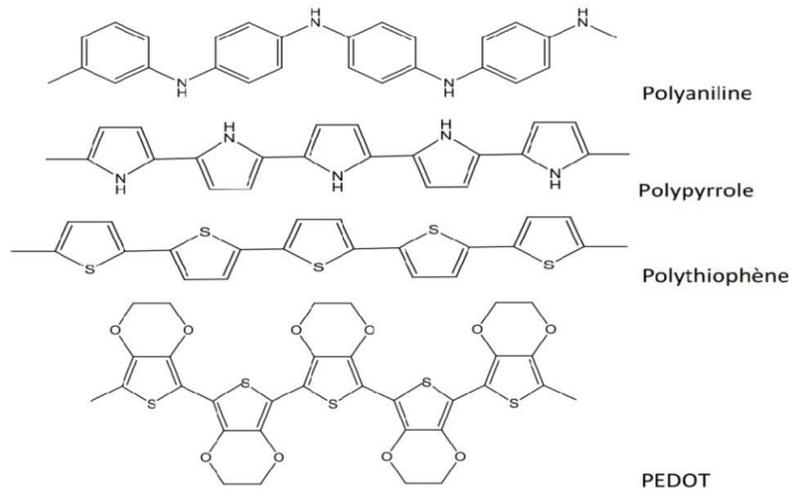
Les polymères conducteurs sont considérés comme l'un des matériaux les plus importants du XX<sup>e</sup> siècle en raison de leurs propriétés électriques, électrochimiques et optiques uniques.

L'origine de la conductivité électrique dans ces matériaux résulte de la présence de porteurs de charge mobiles introduits par dopage. Les polymères conducteurs sont caractérisés par un processus redox réversible, il s'accompagne de changements importants de la composition, la conductivité et les propriétés optiques du polymère. Différents types de polymères conducteurs sont :

- polyaniline (PANI).
- le polypyrrole (PPy).
- le poly (3,4-éthylènedioxythiophène) (PEDOT).
- le polythiophène (PT) ainsi leurs dérivés ont fait l'objet de nombreux travaux scientifiques théoriques et expérimentaux [3].

En fait, certains parmi ces polymères ont même atteint des conductivités très proches de celle du cuivre. Des possibilités de préparation de ces matériaux, par oxydation chimique ou électrochimique, sous des formes très diverses, y compris de films minces, permettent d'envisager une vaste gamme d'applications allant des piles rechargeables, des capteurs chimiques et des vitres électrochromiques, jusqu'aux nerfs artificiels [4].

La Figure II.1 montre la structure de quelques polymères conjugués dans leur forme isolante neutre.



**Figure II.1** : Structure chimique des polymères conjugués.

### 1.3.2. Polypyrrole conducteur

Le polypyrrole (PPy) est un polymère organique conducteur obtenu par électropolymérisation du pyrrole. Le polypyrrole est un polymère conducteur intrinsèque utilisé le plus souvent en électronique, en optique et en biologie. Il a obtenu un grand intérêt en raison de sa conductivité élevée, de sa facilité de synthèse et de sa simplicité. Sa conductivité est moyenne, elle se situe entre les isolants et les conducteurs [5].

Le polypyrrole peut être synthétisé par des méthodes chimiques ou électrochimiques. La première consiste en l'oxydation chimique des monomères de pyrrole dans une solution aqueuse ou organique en présence d'un catalyseur métallique. La meilleure méthode pour préparer une grande quantité de PPy est la polymérisation chimique, car elle est libre de la restriction d'une forme d'électrode [6].

### 1.3.3. Généralités sur dioxyde d'étain $\text{SnO}_2$

Le dioxyde d'étain, ou oxyde d'étain (IV), est un composé chimique de formule  $\text{SnO}_2$ . C'est un oxyde conducteur (TCO) de type n, chimiquement inerte, mécaniquement dur et thermiquement stable. Parmi ses applications, il est utilisé dans la fabrication de lustres opaques et de lustre à un taux de 5-15% en masse, est le premier conducteur transparent abondamment commercialisé.

Grâce à ses propriétés telles que la faible résistivité électrique, la grande transmittance optique et la grande réflectivité dans la région infra rouge, il peut être utilisé comme anode dans les batteries à base de lithium, comme électrode conductrice dans les couches minces des cellules photovoltaïques et comme réflecteur de chaleur dans les applications solaires et dans les écrans plats. Il est également l'un des oxydes métalliques les plus utilisés dans le domaine de la surveillance de la pollution atmosphérique et la détection des gaz toxiques [7].

## 2. Phénomène d'adsorption

### 2.1. Définition d'adsorption

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par KAYSER, en 1881, pour différencier entre une condensation de gaz à la surface, et une absorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse [8].

L'adsorption est un phénomène de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour récupérer les molécules indésirables de fluide (liquide ou gazeux) dispersées dans un solvant. Les sites où se fixent les molécules d'adsorbat sont appelés sites actifs [9].

### 2.2. Classification de phénomène d'adsorption

Les interactions adsorbat-adsorbant mettent en évidence deux types d'adsorption :

#### Adsorption physique : physisorption

L'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte de l'attraction entre les atomes constituant la couche superficielle du solide et les molécules de la phase gazeuse ou liquide se trouvant au contact du solide.

Lorsque la variation d'énergie est faible, l'adsorption est appelée physisorption ou adsorption de van der Waals et la chaleur dégagée est du même ordre de grandeur que celle de liquéfaction des gaz (quelque  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) [10].

#### Adsorption chimique : 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 [11]. La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol [12].

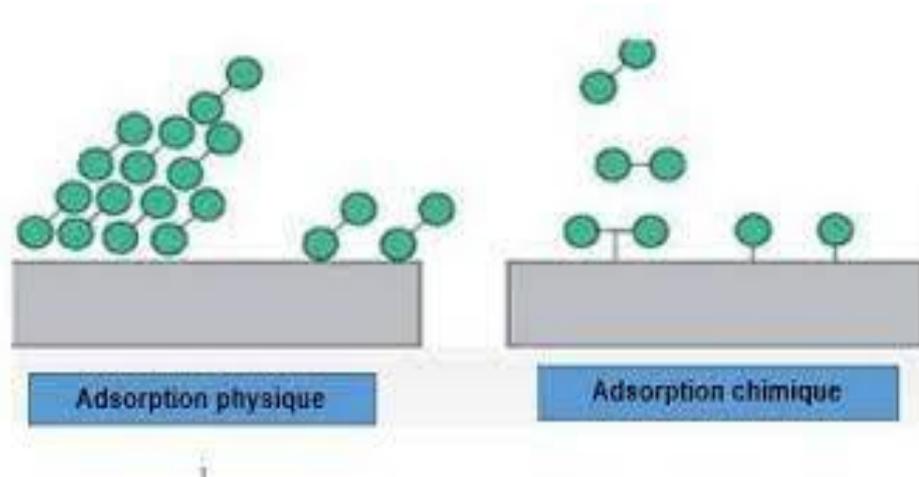


Figure II.2 : Classification de phénomène d'adsorption.

### 2.3. Description du mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en trois étapes, intervenant chacune dans l'expression de la vitesse totale :

- 1)- diffusion extragranulaire de la matière (transfert du soluté vers la surface des grains).
- 2)- transfert intragranulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).
- 3)- réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile [13].

L'ordre de la réaction est un paramètre très important dans la détermination des mécanismes réactionnels. Les ordres concernant l'adsorption les plus cités dans la littérature sont [14] :

#### Modèle cinétique du pseudo premier ordre

Dans ce modèle été supposé que la vitesse d'adsorption à l'instant  $t$  est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre  $Q_e$  et la quantité  $Q_t$  adsorbée à cet instant et que l'adsorption est réversible [15].

Exprimé par l'équation de Lagergren [16] :

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

Après intégration de l'équation entre  $t = 0$  et  $t$ , d'une part, et  $q_t = 0$ , l'équation devient :

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2.303} t$$

Le tracé de  $\log(q_e - q_t)$  vs.  $t$  donne la droite avec la pente égale à  $-\frac{k_1}{2.303}$  et l'ordonnée à l'origine égale à  $\log(q_e)$ .

### Modèle cinétique de pseudo-second ordre

Le modèle de pseudo-second ordre suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électrons par exemple entre molécules d'adsorbât et l'adsorbant solide. Il est donné par la formule :

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

Par l'intégration on trouve :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{(k_2 \cdot q_e^2)} + \left(\frac{1}{q_e}\right) \cdot t$$

$q_e$ : quantité adsorbée de l'adsorbât par gramme d'adsorbant à l'équilibre.

$q_t$ : quantité adsorbée en adsorbât par gramme d'adsorbant à un temps  $t$ .

$K_2$  : constante de vitesse pour une cinétique du pseudo-second ordre.

$t$  : temps en minute [17].

### 2.5. Classification des isothermes d'adsorption

Isotherme d'adsorption est une courbe qui représente la relation entre la quantité adsorbée par unité de masse et la concentration du soluté en solution. De telles courbes sont obtenues en laboratoire à température constante [18], sont divisées en quatre classes principales :

- **L'isotherme de type L**

« *Langmuir* » indique l'adsorption à plat de molécules bi- fonctionnelles. Le rapport entre la concentration résiduelle en solution et celle adsorbée diminue lorsque la concentration du soluté augmente, elle donne ainsi une courbe concave. Cette courbe suggère une saturation progressive de l'adsorbant [19].

- **L'isotherme de type H**

C'est un cas particulier d'isotherme L, où La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparait importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution.

- **L'isotherme de type C**

Les courbes sont sous formes de ligne droite avec le zéro comme origine. Elle signifie que le rapport entre la concentration dans la solution aqueuse et adsorbée est le même à n'importe quelle concentration. Ce rapport est appelé coefficient de distribution  $K_d$  ( $L \cdot Kg^{-1}$ ). Elles concernent les molécules flexibles pouvant pénétrer loin dans les pores [20].

- **L'isotherme de type S**

Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative), ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres.

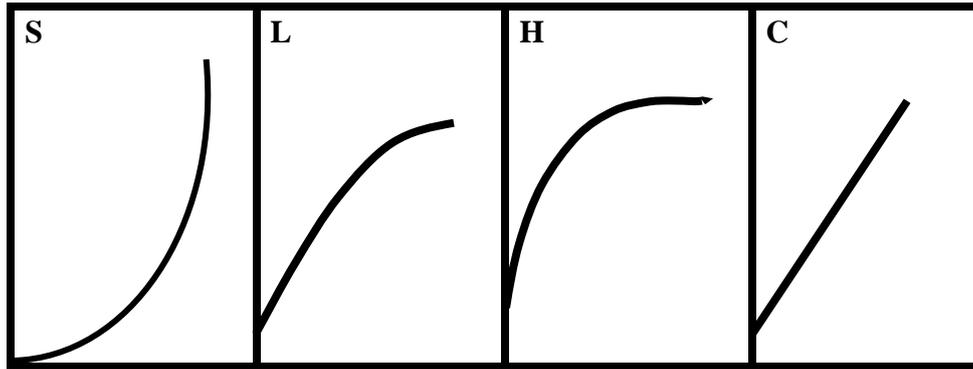


Figure II.3 : Différentes isothermes d'adsorption.

## 2.6. Modélisation des isothermes d'adsorption

### 2.6.1. Modèle de LANGMUIR

L'isotherme est représentée par l'équation suivante [21] :

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot K_L \cdot C_r}{1 + K_L \cdot C_r}$$

Avec :

$K_L$  : constante thermodynamique de Langmuir.

$Q_e$  ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) : quantité d'espèces adsorbées par gramme de l'adsorbant à l'équilibre.

$Q_m$  ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) : capacité d'adsorption à la saturation et qui correspond à formation d'une monocouche.

La linéarisation de l'équation de Langmuir conduit à l'équation suivante :

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K_L \cdot Q_m} \cdot \frac{1}{C_r} + \frac{1}{Q_m}$$

En représentant  $\frac{1}{Q_e} = f\left(\frac{1}{C_r}\right)$ , nous pouvons en déduire ainsi  $Q_m$  à partir de l'ordonnée à l'origine et  $K_L$  à partir de la pente.

### 2.6.2. Modèle de FREUNDLICH

Il s'agit d'une équation, souvent employée dans la représentation pratique d'adsorption entre le soluté et la surface du charbon actif. Elle se présente sous la forme [21] :

$$Q_e = k_F \cdot C_r^{\frac{1}{n}}$$

$k_F$  et  $1/n$  désignent respectivement la capacité d'adsorption en mg/g et une constante indiquant l'intensité de l'adsorption:

La forme linéaire de cette équation de Freundlich donne :

$$\ln Q_e = \ln K_f + \frac{1}{n_f} \ln C_r$$

La représentation de  $\ln Q_e = f(\ln C_r)$  permet la détermination de  $K_F$  et de  $1/n$ .

### 2.6.3. Modèle de TEMKIN

La dérivation de l'équation d'isotherme de Temkin suppose que l'abaissement de la chaleur d'adsorption est linéaire plutôt que logarithmique, comme appliqué dans l'équation de Freundlich [22].

$$Q_e = \left(\frac{R.T}{b_T}\right) \cdot \ln(A_T \cdot C_e) = B \ln A + B$$

$b_t$  et  $A_t$ : constantes de l'isotherme de Temkin.

$R$  : constante des gaz parfaits ( $8.314 \text{ J} \cdot \text{k}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

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

$T$  ( $\text{K}$ ) : température absolue

## 3. La désorption

La désorption est moins connue par rapport à l'adsorption, cependant différents modes de désorption sont envisagés [23].

- Désorption par augmentation de la température.
- Désorption par diminution de la pression.
- Désorption par élution.
- Désorption par ajouter de base ou acide fort.

Le procédé d'adsorption est une technique bien connue aujourd'hui. Un certain nombre d'outils sont disponibles pour simuler avec précision les équilibres isothermes et les transferts de masse dans les

substances pures et les mélanges. L'avenir conduira sans aucun doute au développement de nouveaux adsorbants plus sélectifs, plus faciles à régénérer et moins coûteux. La prédiction des performances reste un point faible des connaissances actuelles, et celui-ci sera sans doute corrigé dans les années à venir grâce aux évolutions de la modélisation.

**REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUE**

- [1] LIANG-MING SUN et FRANCIS MEUNIER, technique de l'ingénieur, traité Génie des procédés, adsorption aspects théoriques, centre FRANÇIAS, P J2730-3.
- [2] ALEJAND RO ORSIKOWSKY S.(2019). Propriété d'adsorption de différents substrats microporeux appliques a la séparation de gaz :caractérisation ,modélisation et méthodologie de sélection ,Thèse de doctorat ,Université de PAU,14-15.
- [3] LARBI, O. (2018).Etude de nanocomposite polypyrrole, nanoparticule de carbone par impédance électrochimique et ac.electro.. :application aux capteur électrochimique ,Thèse doctorat, université de cotutelle.
- [4] Ulmann, M., Kostecki, R., Augustynski, J., Strike, D. J., & Koudelka-Hep, M. (1992). Modification des polymères conducteurs avec de petites particules métalliques; propriétés des films de polypyrrole et de Polyaniline Platines. CHIMIA, 46(4), 138.
- [5] RAKHROUR W., (2022).Etude et caractérisation des matériaux d'électrodes composites à base d'un semi .conducteur métal, Thèse doctorat, université KASDI MERBEH.
- [6] RABIH K .,(2018). Elaboration de biocapteurs électrochimiques d'ADN à base de nano-structure de polypyrrole pour le diagnostic de la tuberculose, thèse de doctorat ,université Paris-Saclay.
- [7] <https://www.clicours.com/loxyde-de-zinc-zno-et-loxyde-detain-sno2/> .
- [8] C.E. CHITOUR,(1981). Chimie des surfaces, introduction à la catalyse, 2ème Edition,Alger.
- [9] Julien Reungoat.(2007). Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone: Application au traitement d'effluents aqueux industriels. Thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Toulouse, Université de Toulouse .
- [10] PAPIN R.(1965).Adsorption.Techniques de l'ingénieur, Génie des procédés, n° j2730,pp.1-12.
- [11] R. Calvet, M. Terce, J.C.(1980) Arvieu, Ann. Agron 31 , 385-427.
- [12] F. Colak, N. Atar, A. Olgun.(2009) Biosorption of acidic dyes from aqueous solution by Paenibacillus macerans: kineti, thermodynamic and equilibrium studies, Chem. Eng. J. 150 , 122-130.
- [13] I. Zkinaly, J. Dekany, Chem. Soc, Farady Trans. (1989) 1-85.

- [14] Belaid, K. D. & Kacha, S. (2011). Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 24(2), 131–144.
- [15] Cavet, R., (2003). *Le sol - Propriétés et fonction ; Tome 1 : Edition France Agricole*.
- [16] SRIVASTAVA V.C., M.M. SWAMY, D. MALLI, B.PRASAD et I.M. MISHRA (2006). Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp.*, 272, 89-104.
- [17] Ho, Y and G. Mc Kay, (1999) The sorption of Lead (II) ion on peat. *Water Research*, V 33, (2) 578-584.
- [18] Meroufel, F. (2015). *Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles*, Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes, Thèse de doctorat, université de Lorraine. France.
- [19] A Baçaoui, A Yaacoubi, A Dahbi, C Bennouna, R Phan Tan Luu, FJ Maldonado-Hodar, J RiveraUtrilla, and C Moreno-Castilla.(2001). Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes. *Carbon*, 39(3) :425-432.
- [20] Nour Bouanimba.(2014). "Étude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants: impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photocatalytique de  $TiO_2$ ". Thèse de doctorat en sciences. Université – Constantine 1, p 16-17
- [21] GRAH PA., (2015). Modélisation des propriétés adsorbantes de charbons activés issus de deux variétés d'accacice. *Journal of innovation and scientifique*, 8014(13), 542-553.
- [22] M.J Temkin and V. Pyzhev,(1940). Recent modifications to Langmuir isotherms, *Acta Physicochimica. U.R.S.S*, V 12 217-222.
- [23] B. Xiao, X.F Sun, R. Sun, (2001). The chemical modification of lignins with succinic anhydride in aqueous systems. *Polymer Degradation and Stability* V 71 223-231.

# **Chapitre III : Matériels Et méthodes expérimentales**

Notre étude a été réalisée au niveau du laboratoire pédagogique de département génie de procédé de l'université M'Hamed Bougera Boumerdès. Le but est d'éliminer le rouge Congo par adsorption sur nanocomposite polymère conducteur (PPy/SnO<sub>2</sub>). Nous décrirons en premier lieu, les matériels et les produits utilisés dans cette étude,

En deuxième lieu, nous présenterons les techniques de caractérisation de l'adsorbant, il s'agit de la diffraction des rayons X, la spectrophotométrie infrarouge FTIR, microscope électronique à balayage (MEB), .Enfin, l'étude de l'influence des paramètres d'adsorption de Rouge Congo sur l'adsorbant. A noter que, vue la période courte pour la réalisation de PFE, la synthèse et les caractérisations de matériau (PPy/SnO<sub>2</sub>) a été déjà réalisée par Monsieur F. HAMIDOUCHE.

### 1. Matériel et produits

**Tableau III.1 : propriétés et rôle des produits**

Nom	Propriétés et rôle
Hydroxyde de sodium	Masse molaire : 40 g/mol. Formule : NaOH. Masse volumique : 2.13g/cm <sup>3</sup> . Utilisé pour rendre la solution basique
Acide chlorhydrique	Masse molaire : 36,5 g/mol. Formule : HCl. Masse volumique : 1,19 g/cm <sup>3</sup> Utilise pour maintenir un pH acide
Rouge Congo	Formule : C <sub>32</sub> H <sub>22</sub> N <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>6</sub> S <sub>2</sub> . Solubilité : 25 g·L <sup>-1</sup> dans l'eau à 20 °C. Pression d'ébullition : 760 mm Hg. Nom UICPA : acide benzidinediazo-bis- ; 1-naphtylamine-4-sulfonique. Colorant d'étude
SnO <sub>2</sub>	Formule : SnO <sub>2</sub> Masse molaire : 150,71 g/mol Masse volumique : 6,95 g/cm <sup>3</sup> Point de fusion : 1630 °C

**Tableau III.2 : Matériels utilisés**

<b>Nom</b>	<b>Propriétés et rôle</b>
Balance analytique	Mesurer la masse
Agitateur magnétique chauffant	homogénéiser les solutions
Centrifugeuse	Séparer les composants de fluide
pH- mètre	Mesure de pH
Spectrophotomètre UV-Visible	Mesure d'absorbance (densité optique)

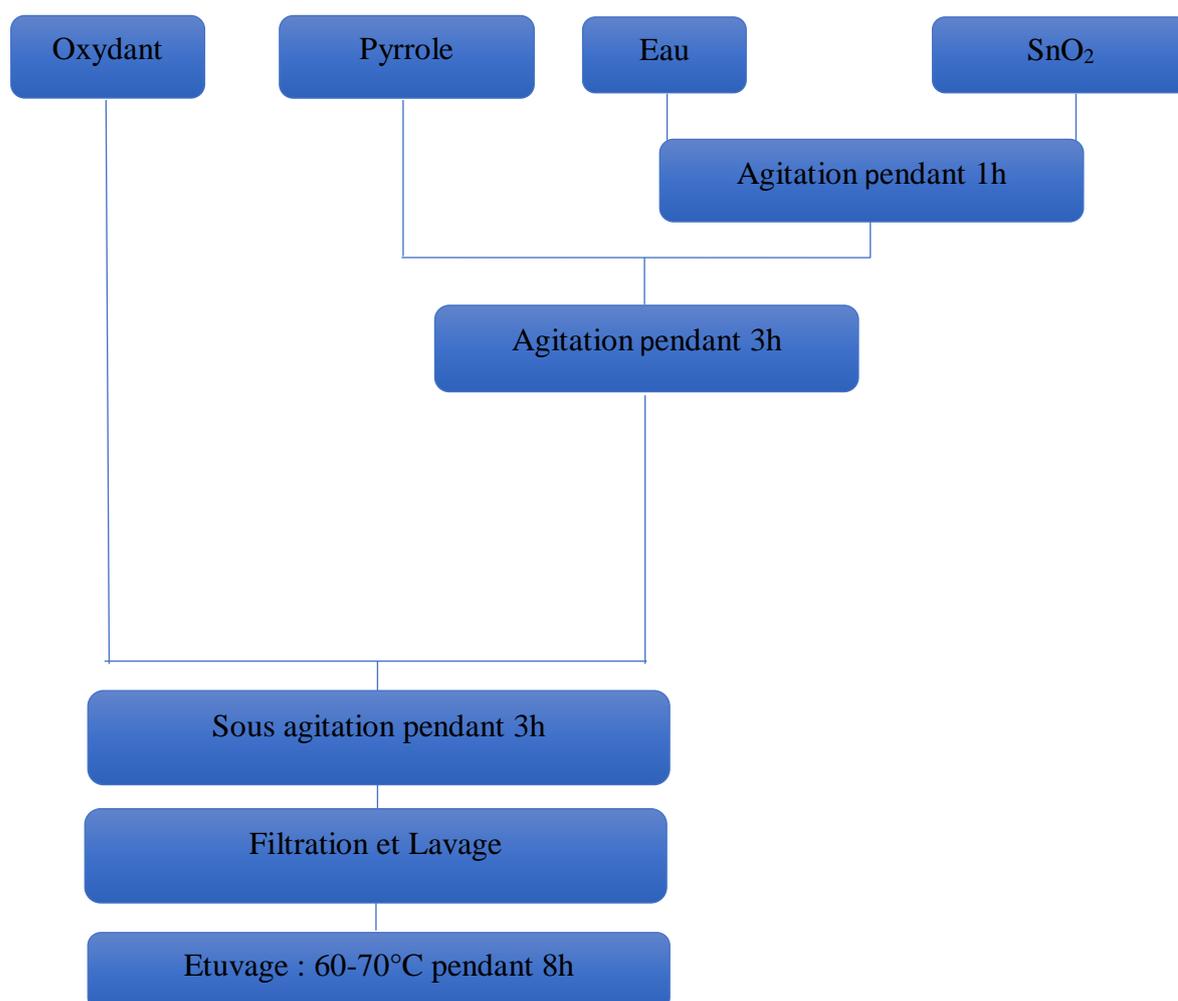
## **2. Synthèses de composites à base de PPy et Py(Cl)/ SnO<sub>2</sub>**

Les polymères conducteurs souffrent de nombreuses limitations, certains d'entre eux ont une faible résistance mécanique, une faible stabilité thermique et une instabilité électrochimique, etc... La préparation des nanocomposites polymères conducteurs (NPC) est une manière intelligente de surmonter ces inconvénients et d'adapter les propriétés de ces systèmes à nos niveaux souhaités.

Le greffage covalent de composants organiques sur la surface des renforts (inorganique) donne des matériaux hybrides organiques/inorganiques de propriétés améliorées [1]. Dans le cadre de cette étude, la stratégie de synthèse est basée sur le greffage de PPy(Cl) sur la surface du renfort en utilisant FeCl<sub>3</sub> comme initiateur de la réaction et dopant ou même temps. Divers paramètres réactionnels dans la formulation de ces matériaux hybrides organiques/inorganiques ont été discuté [2] [3][4].

Le schéma suivant présente une récapitulation de protocole de synthèse des matériaux hybrides à base de polypyrrole synthétisé avec un rapport molaire de  $\text{FeCl}_3/\text{Pyrrole} = 2,5$  et différents pourcentages massiques du renfort.

Le point isoélectrique pH de  $\text{SnO}_2 = 3,8$  [22] et le point isoélectrique pH du PPy = 6,3 [5], le pH est ajusté entre 3,8 et 6,3 pour obtenir une bonne adsorption du PPy à la surface des particules de  $\text{SnO}_2$ . Le processus de polymérisation est effectué à deux températures différentes ( $0^\circ\text{C}$  et  $25^\circ\text{C}$ ) par l'injection goutte à goutte de 50 ml de  $\text{FeCl}_3$  comme agent oxydant selon la procédure rapportée [6] [7][8]. Les composites  $\text{SnO}_2/\text{PPy}$  obtenus ont été séchés sous vide à  $65^\circ\text{C}$  pendant 8 h pour être prêts pour d'autres caractérisations [9][10].



**FigureIII.1 :** Les Etapes de synthèse de matériau PPy(Cl)/ $\text{SnO}_2$ [1] [2] [3].

### 3. Méthode de caractérisation

#### 3.1. Caractérisation par diffraction des rayons X(DRX)

La diffractométrie de rayons X (DRX) est une technique d'analyse basée sur la diffraction des rayons X sur la matière. Elle permet d'identifier la nature des phases cristalline et amorphe présentes dans un solide. Cependant, plusieurs mailles cristallines doivent se succéder pour former des raies de

diffraction visibles. Si le nombre de mailles constituant les cristallites est faible, les raies de diffraction apparaîtront larges. Cette propriété permet dans certains cas de déterminer la taille des cristallites.

Les rayons  $X$ , comme toutes les ondes électromagnétiques, provoquent un déplacement du nuage électronique par rapport au noyau dans les atomes ; ces oscillations induites provoquent une réémission d'ondes électromagnétiques de même fréquence, ce phénomène est appelé diffusion Rayleigh. La longueur d'onde des rayons  $X$  étant de l'ordre de grandeur des distances interatomiques (quelques Å), les interférences des rayons diffusés vont être alternativement constructives ou destructives. Selon la direction de l'espace, on va donc avoir un flux important de photons  $X$ , ou au contraire très faible ; ces variations selon les directions forment le phénomène de diffraction  $X$  [11].

Les directions dans lesquelles les interférences sont constructives, appelées « pics de diffraction », peuvent être déterminées très simplement par la formule suivante, dite loi de Bragg :

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

Avec :

$d$  : distance interréticulaire en  $hkl$ , la distance entre deux plans cristallographiques ;

$\theta$  : angle d'incidence des Rayons  $X$  ;

$n$  : ordre de réflexion (nombre entier) ;

$\lambda$  : longueur d'onde des rayons  $X$  ( $\lambda = 1.54181 \text{ \AA}$ )

### 3.2. Caractérisation par la spectroscopie IRTF

La spectroscopie infrarouge (IR) est une technique très utilisée pour identifier les espèces présentes à la surface des solides. Le domaine infrarouge moyen ( $4000 >\nu> 200 \text{ cm}^{-1}$ ) correspond au domaine d'énergie vibrationnel des molécules, états qui dépendent de certaines propriétés moléculaires telles que : la symétrie de la molécule, les constantes de force interatomiques, le moment d'inertie autour de certains axes, ...etc.

Les molécules qui absorbent la lumière infrarouge doivent posséder des liaisons polarisées, La molécule placée dans un champ électromagnétique de fréquence  $\nu$ , initialement à l'état quantique  $E$ , peut passer à l'état excité  $E'$ , si la condition de Bohr (condition de résonance) est satisfaite, c'est-à-dire si [12] :

$$\Delta E = E' - E = h\nu$$

Où :  $h$  est la constante de Planck .

### 3.3. Caractérisation par microscope électronique à balayage (MEB)

L'analyse par microscopie électronique à balayage permet de déterminer la morphologie et la nature élémentaire des espèces présentes dans un échantillon et d'estimer la quantité de ces éléments dans l'échantillon à un endroit précis ou réaliser une cartographie sur toute la surface. Cette analyse permet d'identifier la morphologie de la surface des adsorbants et la forme des particules constituantes.

Le principe du balayage consiste à explorer la surface de l'échantillon par lignes successives et à transmettre le signal du détecteur à un écran cathodique dans le balayage et exactement synchronisé avec celui du faisceau incident. Le microscope à balayage utilise un faisceau très fin qui balaie point par point la surface de l'électrode. [13]

### **3.4. Caractérisation par spectrophotomètre UV-visible**

Le spectromètre UV-Visible que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques.

Le spectrophotomètre utilisé est un spectrophotomètre à double faisceaux : une source de lumière blanche émet un rayon lumineux ; celui-ci passe dans un monochromateur permettant de sélectionner une longueur d'onde, puis est séparé en deux faisceaux. L'un est dirigé vers la cuve de référence contenant le solvant, l'autre traverse l'échantillon à analyser. Deux photorécepteurs permettent de mesurer l'intensité lumineuse de chaque faisceau. L'absorbance  $A$  de la solution est ensuite calculée à partir de l'équation :

$$A = \log \frac{I}{I_0}$$

Avec :

$A$  : absorbance de la solution pour une longueur d'onde  $\lambda$  ;

$I_0$  : l'intensité du faisceau de référence ;

$I$  : l'intensité transmise du faisceau traversant l'échantillon.

La concentration en polluant dans l'échantillon est déduite de l'absorbance à l'aide de la loi de Beer-Lambert :

$$A = \varepsilon \cdot C \cdot L$$

$\varepsilon$ : Coefficient d'absorption molaire (l/mol.cm) à la longueur d'onde  $\lambda$ .

$C$  : concentration molaire de l'espèce absorbante (mol/l) .

$L$ : L'épaisseur de la cuve (cm).

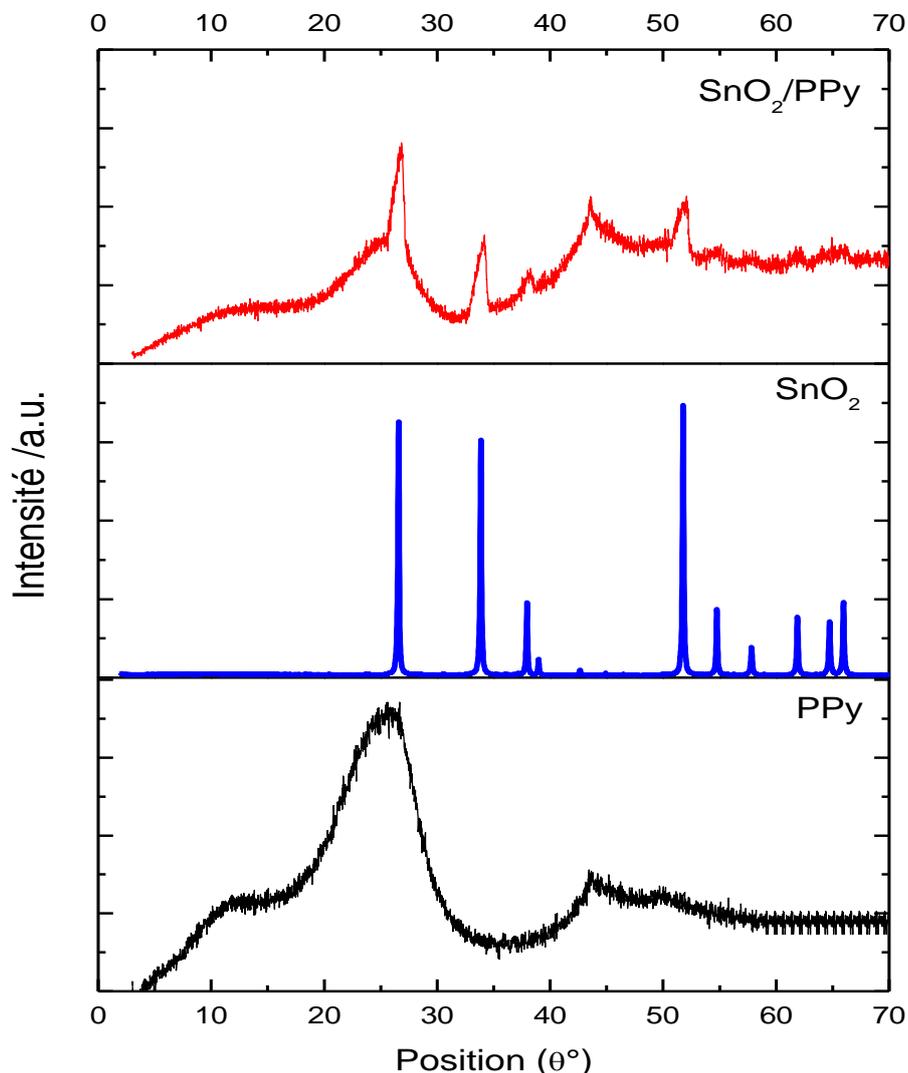
Le détecteur du spectrophotomètre utilisé étant saturé pour une absorbance supérieure à 3, il est nécessaire de diluer les échantillons les plus concentrés avant leur dosage [14].

## **4. Synthèse de matériaux adsorbant polypyrrole , polypyrrole/SnO<sub>2</sub> et SnO<sub>2</sub>**

### **4.1. Analyse par DRX**

La figure III.2 montre les schémas XRD de PPy pur, SnO<sub>2</sub> et PPy / SnO<sub>2</sub> avec des rapports de masse différents. Le caractère amorphe de PPy pur est indiqué par le pic en forme de bosse à 2 $\theta$  plage 20-30. Les pics de diffraction observés de SnO<sub>2</sub> correspondent à la carte JCPDS 88-0287 qui correspond à la structure tétragonale [18] [19] [2]. L'élargissement de ces pics de diffraction dans tous les composites PPy / SnO<sub>2</sub> indique la précipitation des particules SnO<sub>2</sub> à l'échelle nanométrique pendant le

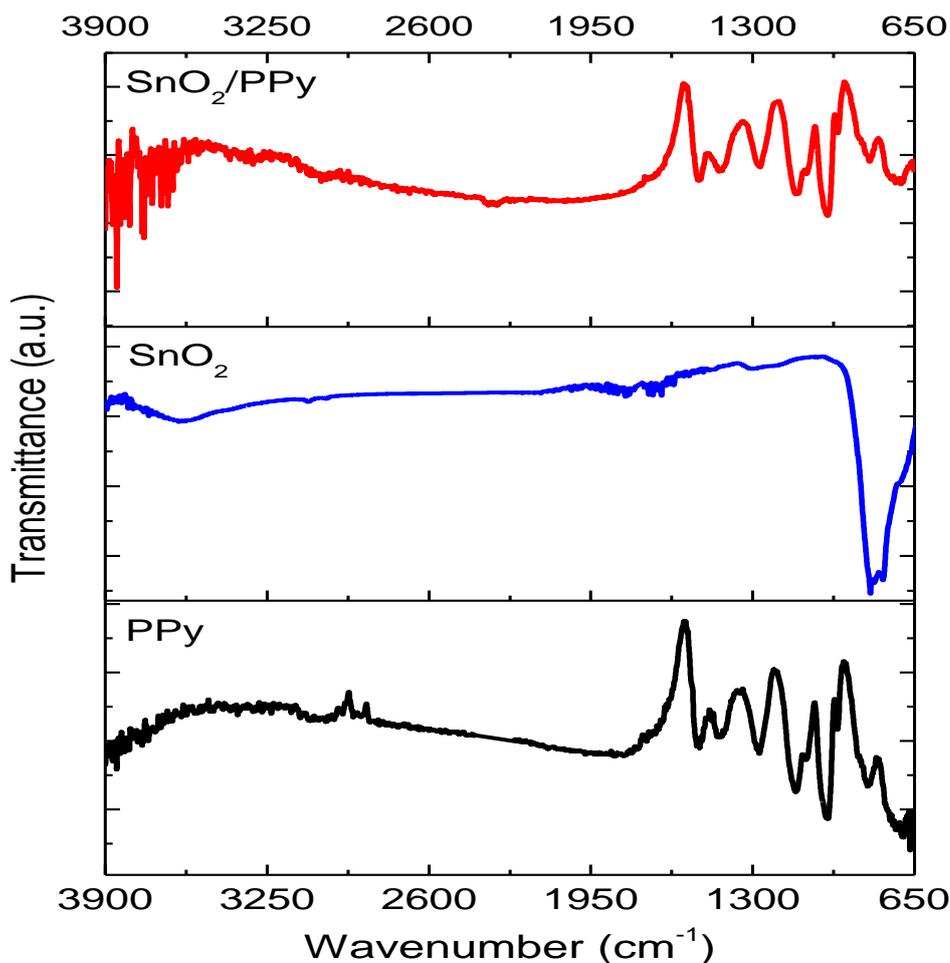
processus de polymérisation [20]. L'intensité de la phase tétragonale a augmenté progressivement avec l'augmentation du contenu de  $\text{SnO}_2$  intégré dans la matrice PPy.



**Figure III.2:** Modèles XRD de composite PPy,  $\text{SnO}_2$  et PPy /  $\text{SnO}_2$  avec différents rapports de masse [17][15][16].

#### 4.2. Analyse par FTIR

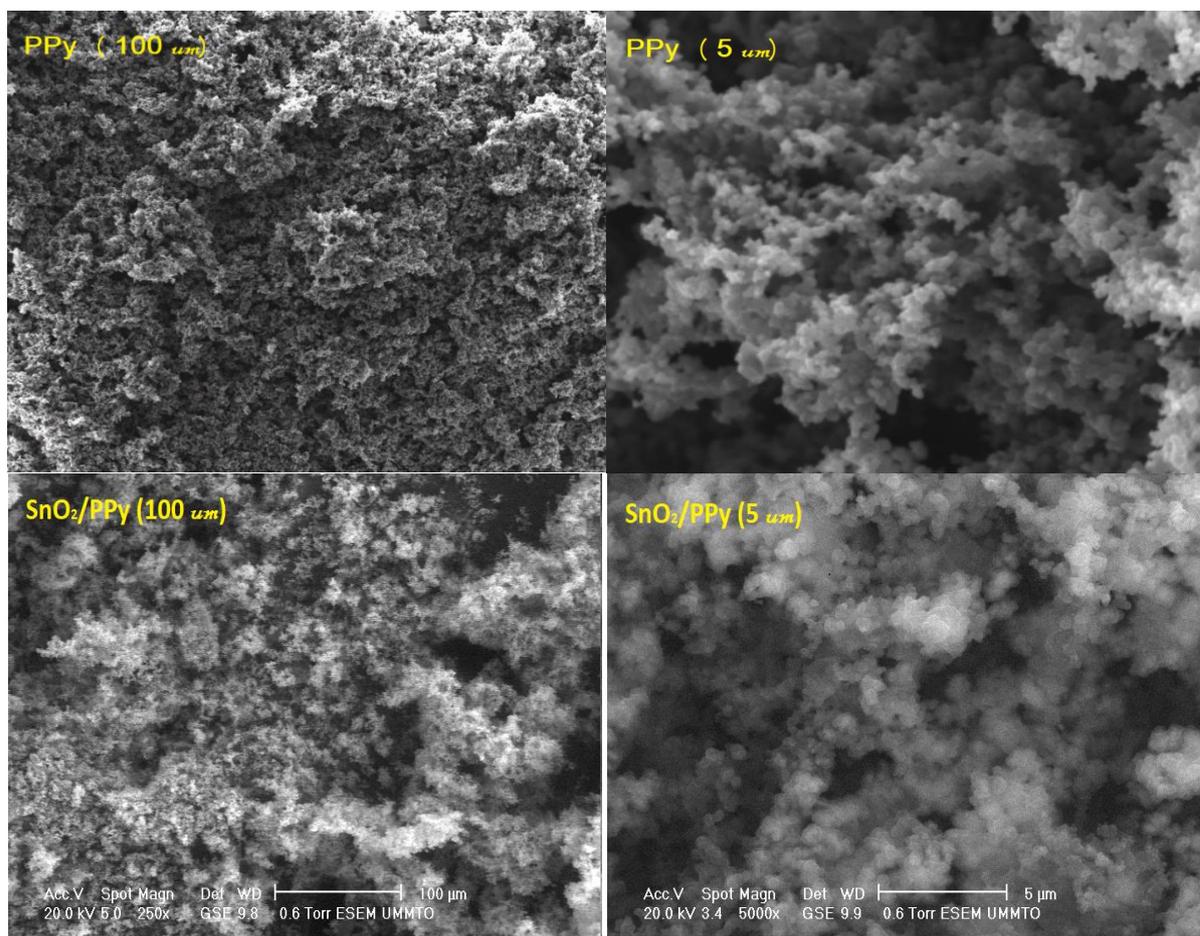
Les spectres FTIR pour les particules de PPy et de  $\text{SnO}_2$  préparées à la figure III.3 révèlent les bandes d'absorption caractéristiques exactes de composés purs précédemment signalés [21]. Le spectre FTIR de PPy /  $\text{SnO}_2$  nanocomposite (rapport de masse = 0,3) a montré les bandes caractéristiques de composants individuels avec des intensités plus faibles et un léger déplacement vers des valeurs plus élevées du nombre d'ondes en raison de la destruction de la conjugaison par formation de liaisons hydrogène entre  $\text{SnO}_2$  et le groupe NH de PPy [15]. La disparition de certains pics de  $\text{SnO}_2$  intégrés dans le nanocomposite PPy /  $\text{SnO}_2$  vers  $1620 \text{ cm}^{-1}$  pourrait être attribuée à la couverture complète de certaines particules de  $\text{SnO}_2$  avec PPy amorphe.



**Figure III.3** : Spectres FTIR des matériaux hybrides PPy ,  $\text{SnO}_2$  et PPy / $\text{SnO}_2$  (rapport de masse =0,3) [15].

#### 4.3. Analyse par MEB

Figure III.4 (a-d) révèle les images MEB de PPy et PPy / $\text{SnO}_2$  (rapport de masse = 0,3) nanocomposite à faible et fort grossissement. Les particules de poudre de PPy sont assez poreuses avec des connexions inter-grappes de forme sphérique et de taille de particule uniforme d'environ 30 nm (Figure III.4 a, b), tandis que les particules de PPy / $\text{SnO}_2$  nanocomposite sont homogènes dispersés avec moins de degré d'agréations. Bien que la taille des particules de l'échantillon composite ait légèrement augmenté à 50 nm, l'échantillon composite conserve sa morphologie unique avec une structure poreuse hiérarchique comme le montre la Figure III.4 (c, d)



**Figure III.4 :** Images MEB du composite PPy (a, b) et PPy/ SnO<sub>2</sub> du rapport de masse 0,3 (c, d) à deux grossissements différents. [15]

## 5. Protocole expérimentale d'adsorption de Rouge congo

### 5.1. Préparation de la solution mère de colorant Rouge Congo

Le colorant d'étude est le rouge de Congo (RC), Nous avons préparé dans 2 fioles jaugées, un volume important (1L) de solution mère de RC de concentration (20mg/l).

-On a pesé 20mg de RC poudre.

-Cette quantité de 20mg de RC poudre est versée dans une fiole jaugé de 1l.

-On remplit un peu d'eau distillé, et on agite bien jusqu'à la dissolution complète de notre solution.

-La fiole est remplit de l'eau distillé jusqu'à le trait de la fiole jaugé.

Dans la deuxième fiole jaugée on ajoute une goutte de solution HCL (on obtient une couleur mauve).

### 5.2 .Détermination de la longueur d'onde de RC

Avant d'entamer l'étude cinétique sur le colorant, il est nécessaire de déterminer ( $\lambda_{max}$ ) pour laquelle l'absorbance est maximale.

On fait un balayage spectral dans la plage de longueur d'onde (300-800 nm).

Les figures montre que le maximum d'adsorption de RC se suite à une longueur d'onde = 500nm pour la solution basique et  $\lambda=565$  nm pour la solution acide .



**Figure III.5 :** La solution mère de colorant rouge Congo.

### 5.3. Courbe d'étalonnage

A partir de solution mère, nous avons préparé par dilutions successives une série de solutions de concentrations bien déterminées, nous nous assurons que la concentration des échantillons analysés reste suffisamment faible pour appliquer correctement la loi de Beer-Lambert. Ces solutions sont analysées à l'aide du spectrophomètre UV-Visible. Nous établissons alors la droite d'étalonnage représentant l'absorbance "A" à une longueur d'onde donnée en fonction de la concentration "C".

Pour obtenir les concentrations des solutions préparées, nous avons utilisé l'équation de la dilution suivante :

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$C_1$  : Concentration de la solution mère (mg/L) ;

$V_1$  : Volume de la solution mère à prélever (L) ;

$C_2$  : Concentration de la solution fille (mg/L) ;

$V_2$  : Volume de la solution mère fille (L).

### 5.4. Influence de quelque paramètre sur l'adsorption

Dans cette partie nous avons étudié plusieurs paramètres ayant une influence sur le phénomène d'adsorption notamment : le temps de contact, le pH du milieu, la concentration du polluant et la masse d'adsorbant et la température.

Le protocole expérimental de la cinétique d'adsorption consiste à introduire dans une série des béchers des mêmes masses de la poudre de PPy/  $\text{SnO}_2$ , 10mg aux quelles sont ajoutés des mêmes volumes de la solution fille de RC de concentration  $C = 20\text{mg/L}$  ( $v=30\text{ml}$ ), L'ensemble des béchers est placés sous l'agitation, à une température ambiante et une vitesse de 400 tours par minute pendant 2 heures.

À la fin de chaque manipulation d'adsorption, la solution a été filtrée par centrifugation à vitesse de 400tr/min pendant 2 minutes, les solutions sont analysées directement par spectrophotomètre UV –visible.

### 5.4.1. Influence de pH

Le pH joue un rôle primordial dans l'étude des phénomènes d'adsorption des colorants. Le protocole expérimental consiste à introduire dans les béchers 30ml de solution mère de concentration 20ml/l, après le pH de système a été ajusté sur une gamme de pH allant de 3.2 à 10.3 par addition de HCl ou NaOH (0.1), Nous ajoutons une même masse optimale de PPy/ SnO<sub>2</sub> (10mg) à chaque bécher), Le mélange est soumis à une agitation pendant 2 heures, après décantation et filtration par la centrifugeuse, la concentration résiduelle du colorant a été mesurée par spectrophotomètre UV –visible.



Figure III.7 : Test de l'effet de pH.

### 5.4.2. Influence de la concentration de l'adsorbat (RC)

Pour étudier les effets de la concentration du RC sur la capacité d'adsorption, le processus a été effectué avec une concentration initiale du BM entre 10 et 140 mg/L tout en maintenant constantes les deux précédents paramètres dans un volume de 30mL de solution colorant. Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 2h et puis la solution colorée a été séparée de l'adsorbant par centrifugation ensuite analysé par spectrophotomètre



Figure III.8 : Teste de l'effet de concentration.

### 5.4.3. Influence de la masse d'adsorbant

Pour examiner l'effet de la dose sur la capacité d'adsorption du RC, on fait varier la quantité initiale de l'adsorbant tout en conservant constante la concentration, le pH et la température ambiante du colorant dans la solution.

Les masses de PPy/ $SnO_2$  étudiées sont 5mg, 10mg, 20mg, 30mg, 50mg, 60mg, et en agitant pendant un temps maximal de 2h. Après ce temps nous appliquons une centrifugation et le surnageant est analysé par un spectrophotomètre UV-visible.



Figure III.9: Effet de la masse d'adsorbant.

### 5.4.4. Influence de temps

Cette étape est plus importante pour connaître le temps d'équilibre de la réaction d'adsorption, On prépare des séries d'échantillons contenant 30ml de solution RC avec même concentration, Chaque échantillon est mélangé avec une masse de 20mg, la température et pH sont constants. La vitesse d'agitation égale 400 tr/min,

Le temps de contact est : 5min ,10min ,20min ,30min, 40min, 60min, 120min.

Le résultat obtenu est tracé sous forme de courbe  $Q_{ad}=f(t)$ .



**Figure III.10** : Test de l'effet de temps de contact de colorant avec l'adsorbant.

#### **5.4.5. Influence de la température**

Pour étudier l'effet de la température sur le phénomène d'adsorption nous préparons 4 échantillons d'une solution de RC et un volume de 30 ml, chaque échantillon est réalisé sous une température différente à l'autre (12°C ; 25 °C; 32 °C ; 42 °C), pH= 5,1.

- La masse de l'adsorbant, temps de contact, la concentration des expériences passées.
- Les filtrats sont analysés par le spectrophotomètre UV visible.

#### **6. Quantités de RC adsorbées**

Pour calculer la quantité de RC adsorbé  $Q_{ad}$  on utilise la formule suivante :

$$Q_{ad} = \frac{[(C_0 - C_e)]}{m} \times V$$

Avec:

Q:quantités de RC adsorbées (mg/g).

Co : concentration initiale de solution de RC en (mg/L).

Ce : la concentration de solution RC résiduelle en (mg/L).

V : volume de la solution de colorant utilisé (L).

m : masse de adsorbant (g)

#### **7. La désorption par le NaOH**

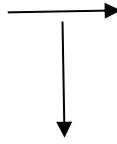
Pour la désorption, On introduire dans 3 béchers 30 ml de solution mère RC (20mg/l) avec 3 adsorbants différents de masse 20mg : PPy,  $SnO_2$ , PPy / $SnO_2$  à pH=5.1 et température ambiante .après agitation, séparation et séchage, le matériau rempli de RC est mis en contact avec 30ml de solution de NaOH de pH=13 .Après agitation, on dose la quantité de RC libérée dans la solution par spectrophotométrie visible.



Agitation



Filtration



Séchage

**Figure III.11:** Test de désorption

REFERANCES BIBIOGRAPHIQUE

- [1] Ghebache Z., HAMIDOUCHE F., N-E. DJELALI N-E.(2016). Synthesis of nanocomposites based semiconductors of PPy(Cl)/Zeolite 4A, in International Conference on Materials and Spectroscopy Methods (ICMSM) Tunisie, 25-28.
- [2] Ghebache Z., Djelali N., Zitouni,S., and Hamidouche,F.(2016). Synthesis and Characterization of HY Zeolite-doped Poly ( aniline ) by Chemical Oxidation Method, no. 2.
- [3] HAMIDOUCHE F .(2018). Etude de l'influence du dopage sur les polymères conducteurs utilisés comme matrices dans les nanocomposites multifonctionnels, Faculté des Sciences, UMBB, .
- [4] HAMIDOUCHE F.(2013). Elaboration et Caractérisations des Nanocomposites Conducteurs à base de (PPY(Cl)/Zéolithe HY/TiO<sub>2</sub>, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, UMBB, .
- [5] Cabuk M., Yavuz M., and Unal H. I. (2015). Colloidal, electrorheological, and viscoelastic properties of polypyrrole- graft -chitosan biodegradable copolymer," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 26, no. 14, pp. 1799–1810, 2015, doi: 10.1177/1045389X15577652.
- [6] Hamidouche, F., Ghebache,Z., Boudieb., Sanad,M..M.S and Djelali,N.E .(2021).Enhancing the Supercapacitive and Conductivity Properties of Polypyrrole via In-situ Polymerization with HY Zeolite Nanoparticles,*J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, vol. 31, no. 2, pp. 704–715, 20.
- [7] Castro-Carranza A *et al.*(2016). Effects of FeCl<sub>3</sub> as oxidizing agent on the conduction mechanisms in polypyrrole (PPy)/pc–ZnO hybrid heterojunctions grown by oxidative chemical vapor deposition,*J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 54, no. 15, pp. 1537–1544.
- [8] Baker,C,K and Reynolds,J,R.(1988).A quartz microbalance study of the electrosynthesis of polypyrrole," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 251, no. 2, pp. 307–322.
- [9] Ghebache,Z ., HAMIDOUCHE,F . ,LEPRETRE J.-C., DJELALI, N.-E.(2017). Hybrid materials based on nanoparticles of Montmorillonite coating by Poly(pyrrole) used as an electrode in supercapacitors, in Solid State Chemistry Conference Tunisian Chemical Society, 17-20 .
- [10] Hamidouche ,F and Djelali, N.Synthesis of Nanocomposites Based Semiconductors of PPy ( Cl)/ Zeolite HY, 3 no. Cl, pp. 437–441.

- [11] Bouchaala ,L., Charchar,N, and Gherib,A.(2017) .Ressources hydriques : traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. *Algerian journal of arid environment*, 7(1) :84-95.
- [12] BECHKI ,MK.(2018). Préparation et caractérisation du charbon actif à partir des noyaux du palmier dattier et des coquilles des noix(thèse de doctorat),université KASDI MERBAH – OUARGLA.
- [13] Arris, S., Chebira.(2008) . Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales, Thèse de doctorat, Université de Mentouri Constantine, P 26.
- [14] Layaly Gh., O. (2014).Synthèse et Caractérisation de matériaux magnétiques pour l'adsorption de polluants présents dans les eaux, Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie Ecole doctorale ED388,.
- [15] Ghebache, Z. and .Boudieb,N., Hamidouche F., Moustafa M .,S. Sanad,S.(2022). Effect of polymerization conditions on the physicochemical and supercapacitor applications electrochemical properties of SnO<sub>2</sub>/polypyrrole composites for supercapacitor applications, *J. Mol. Struct.*, vol. 1251, no. march, p. 131964.
- [16] Ghebache, Z., Safidine,Z., Hamidouche,F., Boudieb,N., Benaboura,A and Trari.M .(2021).Effect of Hematite on the Energy Storage Performance of Polyaniline/Zeolite HY/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite Supercapacitor Electrode, *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, vol. 31, no. 3, pp. 1153–1162.
- [17] Z. Ghebache,Z., Hamidouche,F., Safidine,Z.,Trari,M and Bellal,B.(2019).Synthesis and Electrical Conducting Properties of Poly(aniline) Doped With Zeolite HY Nanocomposites Containing SnO<sub>2</sub> for High-Performance Supercapacitor Electrode, *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, vol. 29, no. 5, pp. 1548–1558.
- [18] G. Binitha *et al.*, (2013).“Electrospun  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructures for supercapacitor applications,” *J. Mater. Chem. A*, vol. 1, no. 38, p. 11698, 2013, doi: 10.1039/c3ta12352a.
- [19] Mallouki,M., Tran-Van, F., Sarrazin, C., Chevrot,C and Fauvarque,J ,F.(2009). Electrochemical storage of polypyrrole-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites in ionic liquids, *Electrochim. Acta*, vol. 54, no. 11, pp. 2992–2997.

- [20] Sharma,R.K., Rastogi,A.C and Desu,S.B .(2008).Manganese oxide embedded polypyrrole nanocomposites for electrochemical supercapacitor,Electrochim. Acta, vol. 53, no. 26, pp. 7690.
- [21] Hamidouche,F. , Djelali,N.E and Ghabache,Z.(2016). Zeolite 4A Coating by Polypyrrole Doped with Chlorine, no. 4, pp. 743–748, 2016.
- [22] Y. Kumar K. and al. (2017). Synthesis of polyaniline/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite electrode material for supercapacitor applicationsMater. Today Commun., vol. 12, pp. 72–78.

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

Dans ce chapitre nous exposons les différents résultats obtenues de l'étude d'effet des paramètres suivant : le pH, la concentration, la masse d'adsorbant, le temps de contact et la température, sur l'adsorption du colorant par PPy/SnO<sub>2</sub>.

### 1. Courbe d'étalonnage

L'étalonnage est réalisé par une méthode simple qui consiste à préparer une série de solutions de concentrations (20-3 ppm). Dans une série de 5 béchers d'une capacité de 10 ml, mélanger différents volumes de la solution mère RC avec différents volumes d'eau distillée. Puis analysé par spectrophotométrie sur la base de la longueur d'onde déterminé.

Colorant	RC
$\lambda_{max}$ (nm)	500

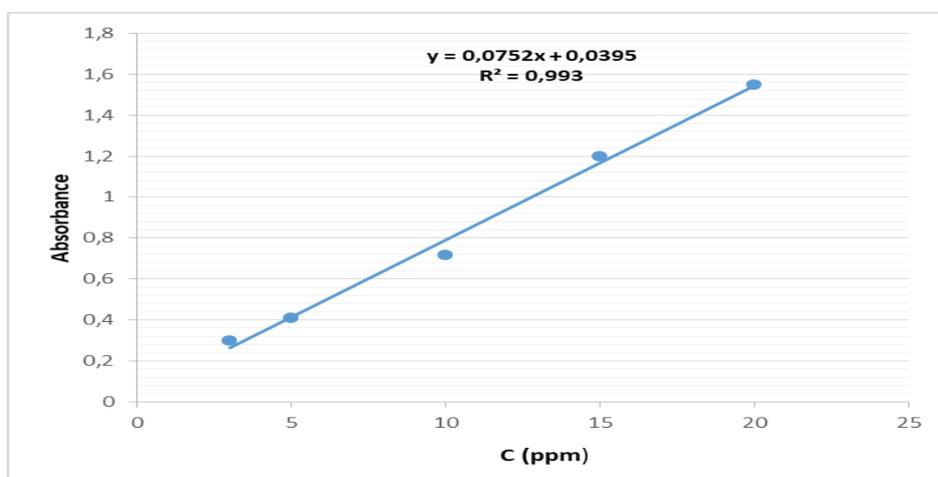


Figure IV.1 : courbe d'étalonnage du RC à 500 nm.

La deuxième courbe d'étalonnage pour la phase acide on ajoute des gouttes d'HCl dans la solution et on va refaire le balayage :

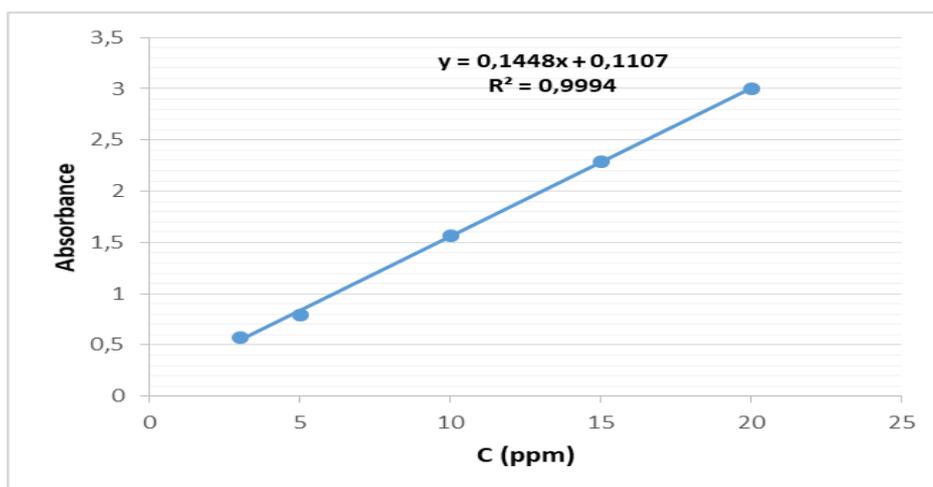
Colorant	RC dans la phase acide
$\lambda_{max}$ (nm)	565

### 2. Effet de quelque paramètre sur l'adsorption de RC

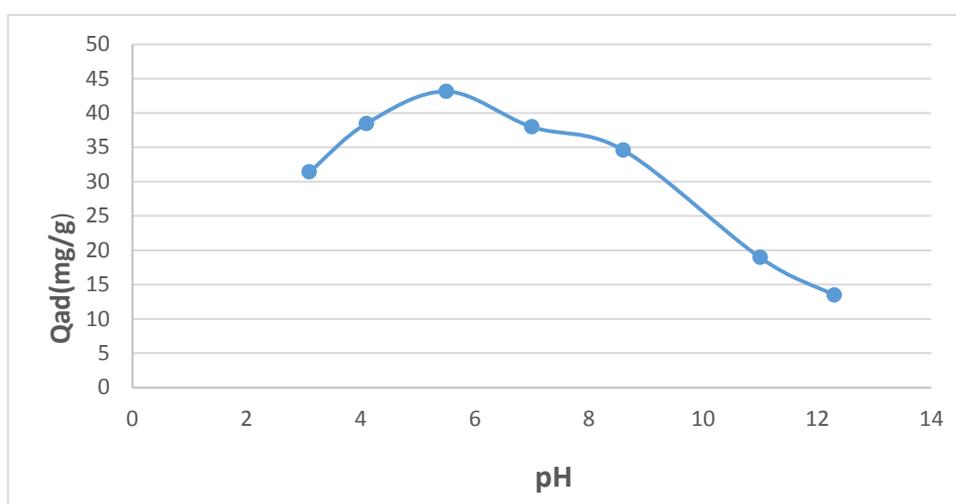
#### 2.1. L'effet du pH sur l'adsorption de Rouge Congo

Les résultats obtenus dans cette expérience sont présentés dans le tableau IV.3 en annexe

La figure IV.2 représente la courbe d'étalonnage pour la phase acide et La figure IV.3 représente L'effet du pH sur l'adsorption de RC



**Figure IV.2 :** Courbe d'étalonnage du RC à 565 nm.



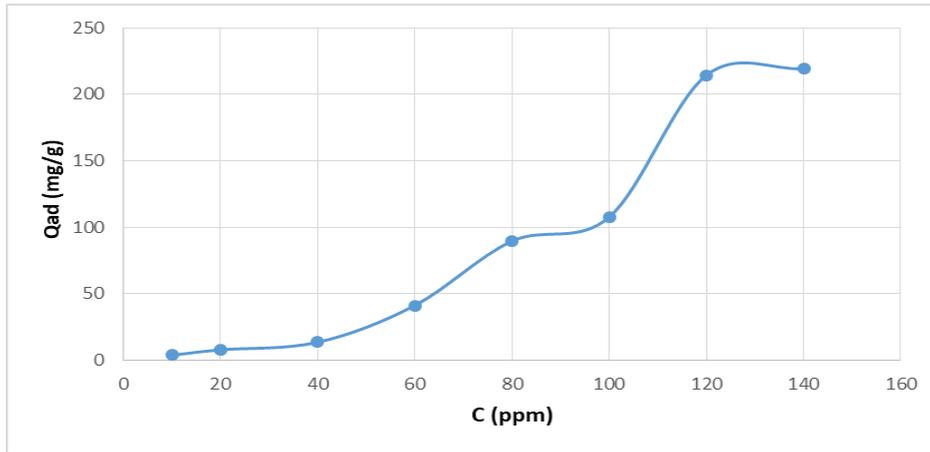
**Figure IV.3 :** L'effet du pH sur l'adsorption de RC

$$C_0 = 20 \text{ ppm} , T=25^\circ\text{C}, V= 30 \text{ ml}, t=120 \text{ min}, v= 400 \text{ tr/min}, m_{ad}= 10\text{mg}.$$

La quantité de RC adsorbée sur PPy/SnO<sub>2</sub> est diminuée avec l'augmentation du pH de la solution. La capacité d'adsorption du RC est maximale pour un pH =5, peut être due à l'augmentation des forces d'attractions électrostatiques entre les anions du colorant chargés négativement et les sites actifs d'adsorbant qui sont chargés positivement. Une adsorption plus faible à des valeurs de pH plus élevées peut être due à l'augmentation des forces de répulsion ionique entre la surface des adsorbants chargés négativement et les anions du colorant chargés négativement.

## 2.2. L'effet de concentration sur l'adsorption de RC

Les résultats obtenus dans cette expérience sont répertoriés dans le tableau IV.4 en annexe



**Figure IV.4 :** L'effet de la concentration sur l'adsorption de RC

pH =5.1, T=25°C, V= 30 ml, t=120 min, v= 400 tr/min,  $m_{ad}= 10$  mg ,  $C_0 = 120$  ppm .

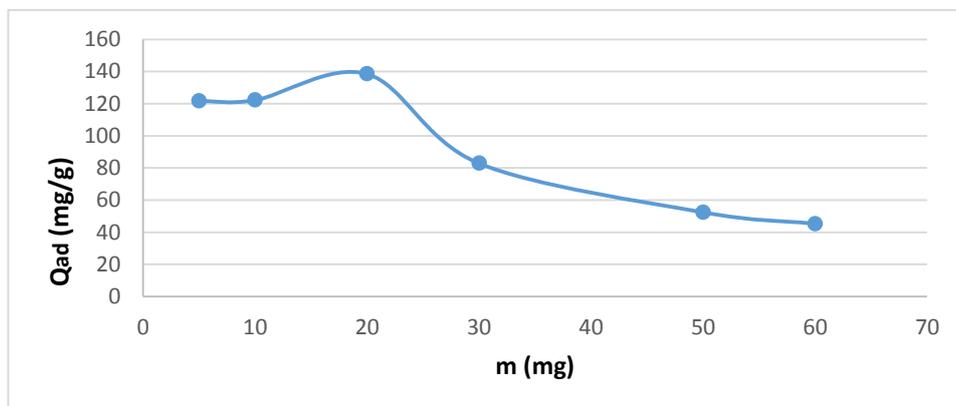
Nous observons que lorsque la Concentration de RC augmente dans la solution, la Quantité adsorbé augmente, Ce phénomène peut être expliqué par le fait que la diffusion des molécules de colorant vers la surface active du matériau adsorbant est affectée par la concentration de ce colorant.

L'augmentation de la concentration du colorant, accélère la diffusion de celui-ci en raison de L'augmentation de forces d'attraction du gradient de concentration.

Nous avons choisi de travailler avec 120ppm dans la suite des expériences.

### 2.3. Effet de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption de RC

Les résultats de l'effet de masse sur l'adsorption de RC sont répertoriés dans un tableau IV.5 en annexe .



**Figure IV.5 :** L'effet de masse sur l'adsorption de RC

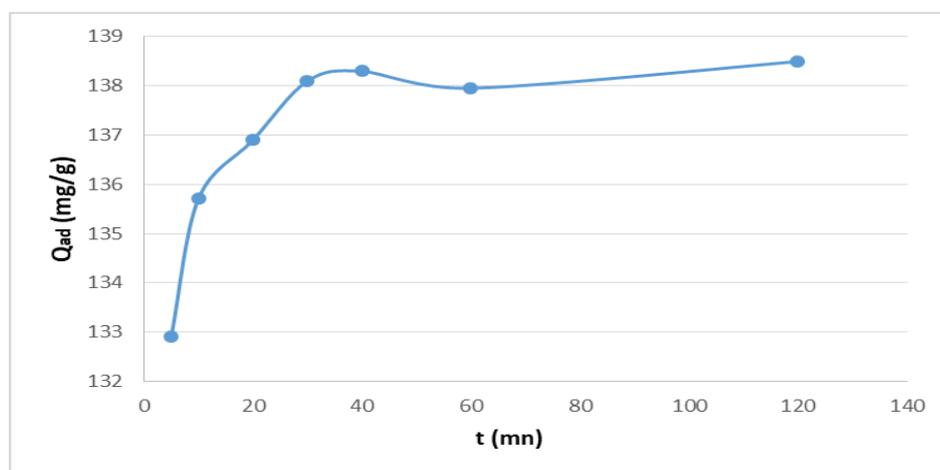
pH =5.1, T=25°C, V= 30 ml, t=120 min, v= 400 tr/ min ,  $C_0 = 120$  ppm.

L'influence de la masse de l'adsorbant a été étudiée dans l'intervalle 2.5\_60 mg. La courbe de la figure 2 montre qu'une masse de 20 mg de PPy/SnO<sub>2</sub> est capable de fixer un maximum de colorant.

Au-dessus d'une certaine masse, la quantité d'adsorption diminue légèrement, ce qui peut indiquer un autre type d'interaction entre le colorant et le PPy/SnO<sub>2</sub>. Il pourrait s'agir d'une compétition entre la fibre retenant la partie colorante et la fibre libre de l'adsorbant qui attirent celui-ci. Il est donc utile de travailler avec des doses d'adsorbant  $\leq 0,2$  mg et d'éviter un surdosage inefficace. Pour la suite du travail et pour déterminer le temps d'agitation, nous avons choisi de travailler avec des masses d'adsorbant de 20 mg.

#### 2.4. Effet de temps sur l'adsorption de RC

Les résultats obtenus dans cette expérience sont présentés dans le tableau IV.6 en annexe :



**Figure IV.6 :** L'effet de temps sur l'adsorption de RC

pH = 5.1, T = 25°C, V = 30 ml, m = 20 mg, v = 400 tr/min, C<sub>0</sub> = 120 ppm . .

Les résultats obtenus montrent que la capacité d'adsorption de colorante augmente en fonction du temps de contact jusqu'à atteindre un palier de saturation.

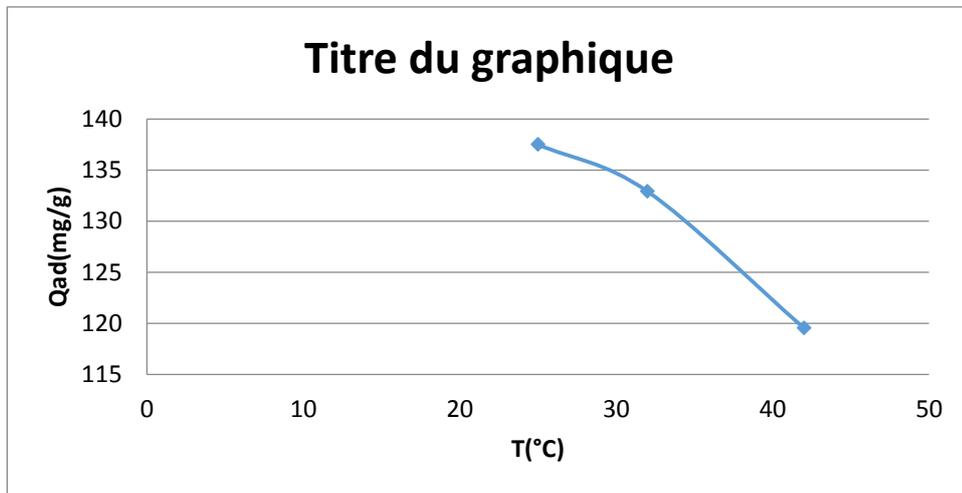
Ce phénomène peut être expliqué par la diffusion moléculaire des ions vers les sites d'adsorption jusqu'à atteindre un équilibre d'adsorption où tous les sites deviennent occupés.

#### 2.5. Effet de température sur l'adsorption de RC

Les résultats obtenus dans cette expérience sont présentés dans le tableau IV.7 en annexe :

D'après cet essai, les résultats montrent que la quantité adsorbée de colorant, diminue avec l'augmentation de température.

On en déduit que les faibles températures favorisant la fixation de colorant contrairement aux températures plus élevées du au phénomène adsorption/désorption .ce qui suppose qu'on est en présence d'un phénomène exothermique.



**Figure IV.7** : L'effet de température sur l'adsorption de RC

pH =5.1, t=30min, V= 30 ml, m=20mg, v= 400 tr/min , C<sub>0</sub> = 120 ppm.

### 3. Modélisations des résultats

#### 3.1. Modélisation de la cinétique

Pour mieux décrire la cinétique d'adsorption du RC sur PPy/SnO<sub>2</sub>, en appliquant les différents modèles suivants :

##### Le modèle de pseudo-premier ordre

##### Le modèle de pseudo- deuxième ordre

Le meilleur modèle est choisi en fonction de facteur de corrélation. Plus ce facteur est élevé plus le modèle est favorable pour l'étude du processus d'adsorption.

#### 3.1.1. Modèle de pseudo premier ordre

La validité de ce modèle est testée en traçant  $\ln(q_e - q_t)$  en fonction du temps (t).

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

Les résultats de la modélisation sont présentés sur le Tableau IV.8.

#### 3.1.2. Modèle du Pseudo deuxième ordre

L'intégration de l'équation cinétique de pseudo second-ordre donne la relation :

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

Les figures IV.8 et IV.9 illustrent les tracés linaires des modèles cinétiques du pseudo premier et deuxième ordre.

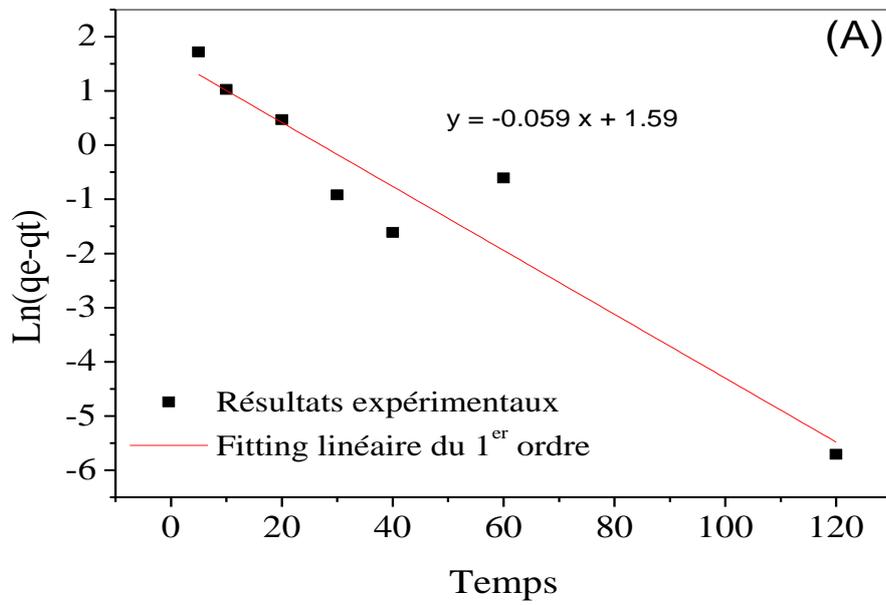


Figure IV.8 : Modèle du pseudo – premier ordre.

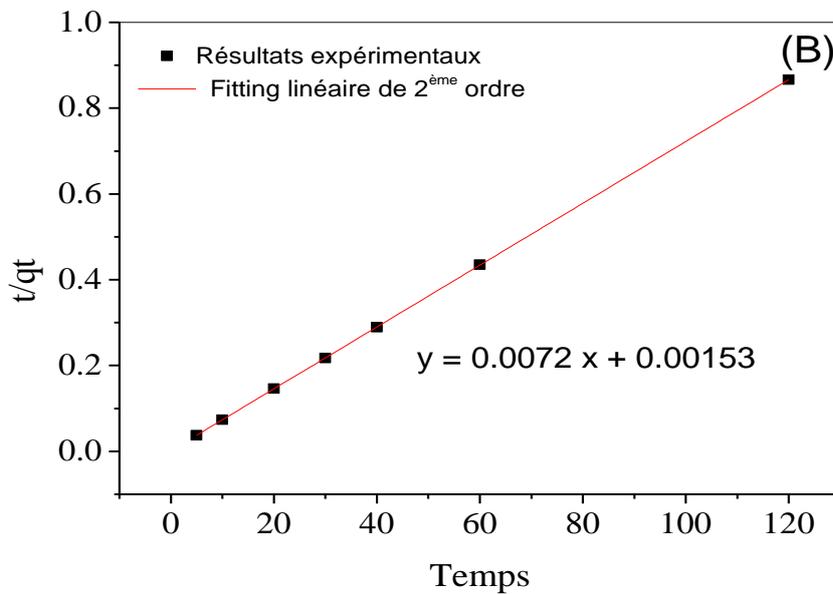


Figure IV.9 : Modèle du pseudo – deuxième ordre.

Les résultats des calculs sont dressés dans le Tableau IV.9.

Tableau IV.11 : constantes des différents modèles de la cinétique d’adsorption de RC

1 <sup>er</sup> ordre (A)	$R^2 = 0.89$ $Q_{e1} = 4.90 \text{ mg/g}$ $K_1 = -4.9 \cdot 10^{-4}$
2 <sup>ème</sup> ordre (B)	$R^2 = 0.999$ $Q_{e2} = 138.8 \text{ mg/g}$ $K_2 = 0.034 \text{ mg/g}$

À partir du tableau, nous remarquons que le modèle qui décrit mieux le processus d'adsorption de RC sur le poly/sno2 est le modèle de pseudo- deuxième ordre, qui présente un facteur de Corrélation le plus élevé ( $R^2= 0.999$ ). Aussi, Les valeurs des quantités adsorbées calculées ( $Q_{théo}$ ) à partir du modèle du pseudo second-ordre sont voisines des valeurs expérimentales ( $Q_{exp}$ ).

### 3.2. Modélisation des isothermes

#### 3.2.1. Modèle de Langmuir

La modélisation des résultats expérimentaux d'isotherme d'adsorption du RC par les ppy/sno<sub>2</sub> en Utilisant l'équation de Langmuir est présentée sur la figure (IV.10) et les paramètres obtenus sont regroupés dans le tableau IV.10.

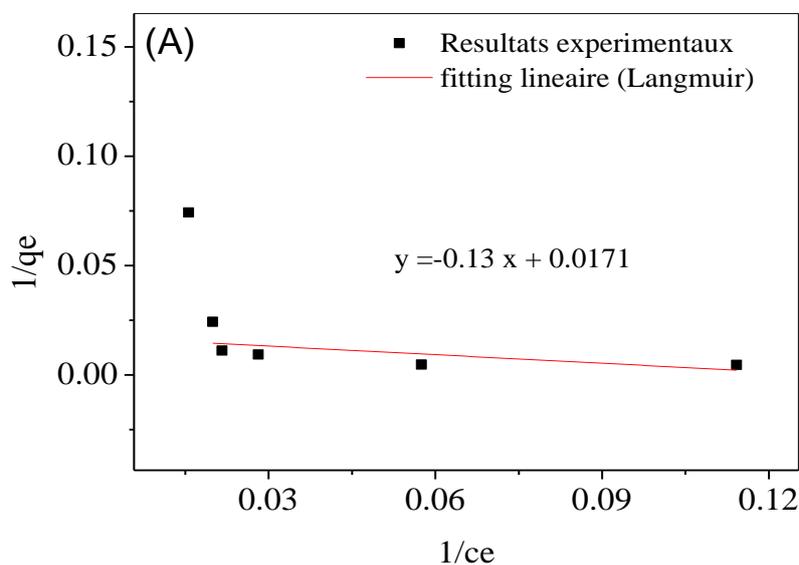


Figure IV.10 : Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir du RC sur PPy/SnO<sub>2</sub>

#### 3.2.2. Modèle de Freundlich

En traçant  $\ln Q_e$  en fonction de  $\ln C_e$ , on obtient une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\ln K_f$ . Les paramètres du modèle ainsi que le coefficient de corrélation sont rassemblés dans le tableau IV.10

#### 3.2.3. Modèle de Temkin

En traçant  $Q_e$  en fonction de  $\ln C_e$ , selon l'équation linéarisé suivante :

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \left( \frac{RT}{b_T} \right) \ln C_e$$

Les résultats des calculs sont dressés dans le Tableau IV.10 :

Les figures IV.11et IV.12 illustrent les tracés linaires des isothermes d'adsorption selon les modèles de Freundlich et Modèle de Temkin.

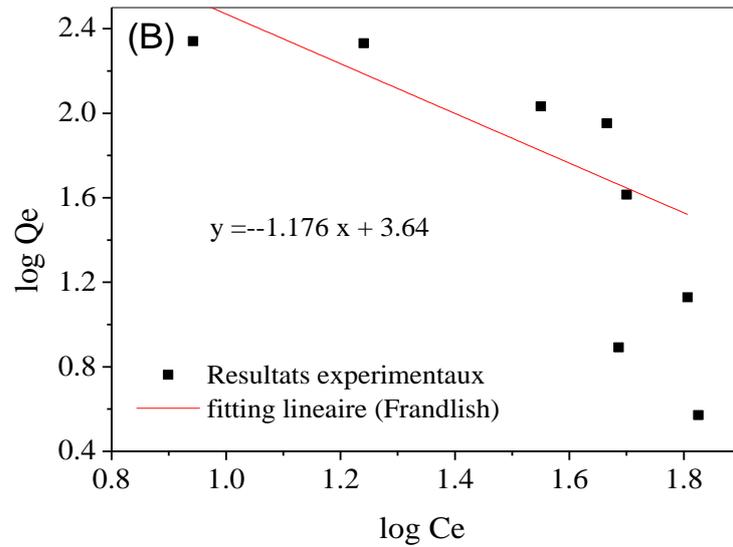


Figure IV.11 : Modélisation linéaire par le modèle de Freundlich du RC sur PPy/SnO<sub>2</sub>

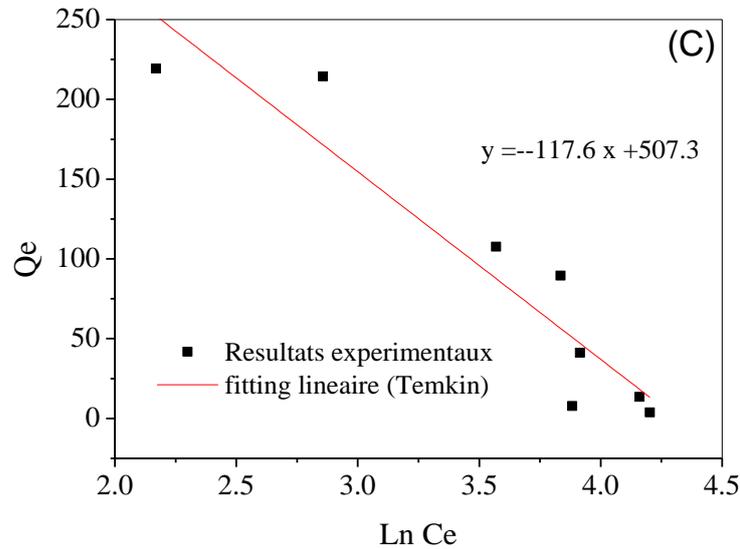


Figure IV.12 : Modélisation linéaire par le modèle de Temkin du RC sur CA.

Le tableau IV.12 illustre paramètre des différentes modélisations des isothermes d'adsorption :

Tableau IV.12 : paramètre des différentes modélisations des isothermes d'adsorption.

Langmuir (A)	$Q_{\max} = 58.47$ $K_L = -0.131$ $R_L = -0.18$ $R^2 = 0.30$
Freundlich (B)	$1/n = -0.85$ $K_f = 0.066$ $R^2 = 0.60$
Temkin (C)	$B_T = -117.5$ $K_T = 0.013$ $R^2 = 0.86$

Trois modèles ont été appliqués pour analyser les mesures expérimentales de l'isotherme d'adsorption du colorant RC sur le PPy/SnO<sub>2</sub>. Le modèle de Langmuir, Le modèle de Freundlich, le modèle de Temkin. Les résultats montrent que le modèle de Temkin représente les mesures expérimentales mieux que les deux autres modèles appliqués avec un facteur de corrélation très proche de 1 ( $R^2=0.86$ ).

Les quantités adsorbées maximales obtenues par le modèle de Langmuir est de 58.47mg/g. De plus, la valeur du paramètre de Freundlich, (1/n) est inférieure à 1 ce qui indique aussi que l'adsorption est favorable. La valeur du paramètre  $K_f$  est très faible (0.066) indique une quantité d'adsorption très faible. Ainsi que la valeur de facteur de séparation de Langmuir  $R_L$  est positive indique que l'adsorption est favorable.

#### 4. Etude thermodynamique

Les grandeurs thermodynamiques tels que la variation d'énergie libre standard ( $\Delta G^\circ$ ), la variation d'enthalpie standard ( $\Delta H^\circ$ ) et la variation d'entropie standard ( $\Delta S^\circ$ ) sont les principales caractéristiques thermodynamiques de chaque système d'adsorption à l'équilibre. Ces grandeurs est déterminés par l'équation suivantes :

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d$$

Telles que :

$$K_d = q_e / C_e$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

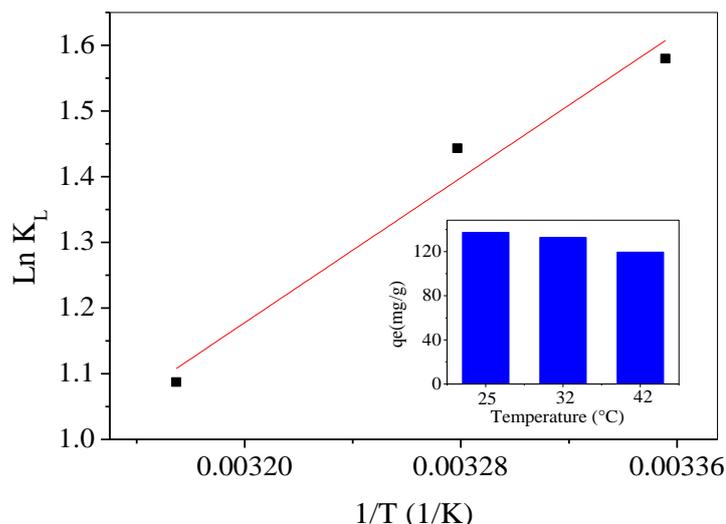
$\Delta H^\circ$  : l'enthalpie (KJ/mole)

$\Delta S^\circ$  : l'entropie (J/mol.K)

R: est la constant des gaz parfait (8.314 J/K. mole)

T: est la temperature (K)

Les valeurs de  $\Delta H$  et  $\Delta S$  ont été déterminées à partir de la pente et de l'interception du tracé linéaire de  $\ln K_d$  en fonction de (1 / T).



**Figure IV.13 :** Ln  $K_d$  en fonction de (1/ T).

Les paramètres thermodynamique de ce processus sont représentés sur le tableau IV.13 :

**Tableau IV.13 :** paramètre thermodynamique d’adsorption de RC.

T (°K)	q <sub>e</sub> (mg. g <sup>-1</sup> )	K <sub>d</sub>	ΔG° (J.mol <sup>-1</sup> )	ΔH° (KJ.mol <sup>-1</sup> )	ΔS° (JK <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> )
298	137.499335	4.85284179	-3913.4847	-22.92	-63.51896
305	132.911569	4.23389249	-3659.42492		
315	119.547207	2.96629492	-2847.57665		

Dans le tableau IV.13 sont données les valeurs des grandeurs thermodynamique ( $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$ ) calculées. Ces résultats montrent que : Tous les valeurs de l’énergie libre  $\Delta G^\circ$  sont négatives et  $\Delta G^\circ$  augmente avec l’augmentation de température ce qui signifie que le processus d’adsorption de ppy/SnO<sub>2</sub> sur RC est spontané et possible. Cela veut dire que les forces attractives adsorbant – adsorbat sont suffisamment fortes pour pouvoir s’établir sans apport de source d’énergie extérieure.

La valeur absolue de l’enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  est entre 1-93 kJ.mol<sup>-1</sup> prouve une physisorption.  $\Delta H^\circ$  (KJ.mol<sup>-1</sup>) négatif donc réaction exothermique.

La valeur de L’entropie  $\Delta S^\circ$  est inférieure à zéro ( $\Delta S^\circ = -63.51896 \text{ JK}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ). Nous constatons que le processus d’adsorption du colorant par nanocoposite ppy /SnO<sub>2</sub> est ordonné.

**5. La désorption par le NaOH :**

Les résultats n'étaient pas satisfaisants, Il s'est avéré que l'utilisation de milieu acide et le milieu basique pour la régénération d'adsorbant n'a pas donner les résultats attendus, pour cela il est recommandé d'explorer d'autre voies pour la régénération a sa voire :

- L'utilisation d'un flux du solvant à pH acide sous un flux à haut débits ;
- L'agitation de solution peut augmenter la désorption de colorant sur l'adsorbant ;
- Elévation de température peut faciliter la rupture des liaisons physique entre le colorant-adsorbant (force électrostatique).

## **Conclusion générale et recommandations**

Ce travail de mémoire s'inscrit dans le cadre de traitement des effluents industrielle contenant un colorant organique cationique, le Rouge Congo sur des matériaux de type nanocomposite polymère conducteur (PPy/SnO<sub>2</sub>) via la technique d'adsorption.

Ce travail a pour objectif l'étude en particulier de l'influence de certains paramètre tels que la concentration initiale de rouge Congo, la masse de l'adsorbant (la dose), le pH, le temps de contact et la température sur l'adsorption.

Le résultat expérimental montre que le pH le plus favorable pour meilleur adsorption avoisine la valeur de 5,1. L'augmentation de la concentration de colorant rouge Congo entraine une augmentation de la quantité l'adsorption, une élimination optimale est obtenu à une concentration égale 120 mg/L. La quantité d'adsorption de rouge Congo est maximale quand la masse d'adsorbant égale 20 mg. La cinétique d'adsorption du colorant sur notre adsorbant est moyennement rapide, un temps de 30 min est largement suffisant pour atteindre l'équilibre.

La modélisation des isothermes d'adsorption est bien d'écrite par le modèle de Temkin, La cinétique d'adsorption est mieux décrite par le modèle de pseudo deuxième ordre que celui du modèle de premier ordre. La valeur de  $\Delta H$  négative montre que l'adsorption de rouge Congo sur le PPy/SnO<sub>2</sub> est un processus exothermique. Le processus d'adsorption est spontané, en raison de la valeur négative de l'enthalpie libre  $\Delta G^\circ$  et l'adsorption se fait en multicouche.

Après cette étude, nous pouvons juger que le nanocomposite polymère conducteur (PPy/SnO<sub>2</sub>) est un bon adsorbant, il possède une grande capacité pour éliminer le Rouge Congo.

En conclusion, notre contribution dans la valorisation des nanocomposites tels que le polypyrrole/SnO<sub>2</sub> ouvre la voie à de futures investigations dans le domaine de l'épuration des eaux usées par le procédé d'adsorption. Ces matériaux offrent de grandes opportunités pour minimiser la pollution et protéger l'environnement de manière générale.

Le polypyrrole/SnO<sub>2</sub> et d'autres nanocomposites similaires peuvent être utilisés pour adsorber différents types de polluants tels que les métaux lourds, les composés organiques. Ces matériaux ont également montré une bonne stabilité et une faible toxicité, ce qui les rend appropriés pour une utilisation dans le traitement des eaux usées.

# **Annexe**

**Tableau IV.1** : courbe d'étalonnage dans le milieu acide.

C ppm	20	15	10	5	3
Abs*10	1.54	1.2	0.71	0.41	0.30

**Tableau IV.2** : courbe d'étalonnage dans le milieu basique.

C ppm	20	15	10	5	3
Abs*10	3	2.29	1.56	0.79	0.57

**Tableau IV.3** : les résultats expérimentaux de l'effet de ph.

ph	2.1	3.1	4.1	5.1	7	8.6	11	12.3
abs	0.269	0.379	0.293	0.236	0.299	0.34	0.751	0.858
$c_{eq}$	6.52	9.53	7.18	5.62	7.34	8.47	13.69	15.52
$Q_{ad}$	40.42	31.38	38.44	43.13	37.95	34.58	18.92	13.43

**Tableau IV.4** : les résultats expérimentaux de l'effet de concentration.

C ppm	140	120	100	80	60	40	20	10
Abs	0.507	0.369	0.486	0.381	0.352	0.271	1.348	0.698
Abs*10	5.07	3.69	4.86	3.81	3.52	2.71	1.348	0.698
$c_{eq}$	66.89	48.54	64.10	50.13	46.28	35.51	17.40	8.75
$Q_{ad}$	219.31	214.36	107.69	89.58	41.15	13.46	7.79	3.73

**Tableau IV.5** : les résultats expérimentaux de l'effet de masse.

m (mg)	5	10	20	30	50	60
Abs	1.445	0.6	0.212	0.283	0.249	0.225
Abs*10	14.45	6	2.12	2.83	2.49	2.25
$c_{eq}$	99.71	79.26	27.66	37.11	32.58	29.39
$Q_{ad}$	121.70	122.20	132.49	82.88	52.44	45.30

**Tableau IV.6:** les résultats expérimentaux de l'effet de temps.

Temps (mn)	5	10	20	30	40	60	120
Abs	0.24	0.226	0.22	0.214	0.213	0.407	0.212
Abs*10	2.4	2.26	2.2	2.14	2.13	4.07	2.12
$c_{eq}$	31.39	29.53	28.73	27.93	27.80	28.03	27.66
$Q_{ad}$	132.91	135.70	136.90	138.09	138.29	137.95	138.49

**Tableau IV.7:** les résultats expérimentaux de l'effet de température.

T (°C)	12	25	32	42
Abs	0.24	0.217	0.24	0.307
Abs*10	2.4	2.17	2.4	3.07
$c_{eq}$	31.39	28.33	31.39	40.30
$Q_{ad}$	132.91	137.49	132.91	119.54

**Tableau IV.8 :** paramètre équationnels du modèle du pseudo-premier ordre.

t (mn)	5	10	20	30	40	60	120
ln (qe-qt)	1.72	1.02	0.46	-0.91	-1.61	-0.60	-5.70

**Tableau IV.9 :** paramètre équationnels du modèle du pseudo-deuxième ordre.

t (mn)	5	10	20	30	40	60	120
ln (qe-qt)	0.03	0.07	0.14	0.21	0.28	0.43	0.86

**Tableau IV.10:** détermination des isothermes de Langmuir, Freundlich et Temkin.

C ppm	C restante	1/Ce	Log Ce	Ln Ce	Q eq	1/qe	Log qe
10	66,8949468	0,01494881	1,82539331	4,20312343	3,73005319	0,26809269	0,57171503
20	48,543883	0,02059992	1,68613451	3,88246819	7,79920213	0,12821824	0,89205018
40	64,1023936	0,01560004	1,80687425	4,16048171	13,4640957	0,0742716	1,12917719
60	50,1396277	0,0199443	1,7001811	3,91481167	41,150266	0,02430118	1,61437265
80	46,2832447	0,02160609	1,6654238	3,83478001	89,581117	0,01116307	1,95221647
100	35,5119681	0,02815952	1,55037474	3,56986977	107,692819	0,00928567	2,03218675
120	17,400266	0,05747039	1,24055589	2,85648549	214,368351	0,00466487	2,33116067
140	8,75664894	0,11419894	0,94233794	2,16981329	219,31516	0,00455965	2,34106865

Tableau IV.11 : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents textiles

Paramètre	Unité	Valeur limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	35
Ph	-	6.5-8,5	6-9
DBO <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup>	150	200
DCO	mg.L <sup>-1</sup>	250	300
Matière décantable	mg.L <sup>-1</sup>	0.4	0.5
Matière non dissoute	mg.L <sup>-1</sup>	30	40
Oxydabilité	mg.L <sup>-1</sup>	100	120
Permanganate	mg.L <sup>-1</sup>	20	25

## Résumé :

L'objectif de cette étude est de tester l'efficacité de l'élimination de colorant Rouge Congo sur l'adsorbant nanocomposite polymère conducteur (PPy(Cl)/SnO<sub>2</sub>).

La caractérisation de l'adsorbant s'est faite par plusieurs techniques à savoir : spectroscopie infrarouge à transformée (FTIR) , microscopie électronique à balayage (MEB) ,diffraction des rayons X .

L'influence de quelques paramètres physico-chimiques sur la capacité d'adsorption (masse de l'adsorbant, pH, temps de contact, concentration du colorant, température, quantité adsorbé) ont été étudiés. Les différents résultats obtenus ont été modélisée en utilisant le modèle de Langmuir et Freundlich et Tamkin qui montre que le modèle de Tamkin est le plus représentatif. La cinétique a montré que l'adsorption de colorant sur l'adsorbant est régie par une cinétique du deuxième ordre. Les valeurs des paramètres thermodynamiques  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta G^\circ$  indique que la réaction d'adsorption est spontanée et exothermique.

**Mots clés :** adsorption, Rouge Congo, nanocomposite (polypyrrole /SnO<sub>2</sub>)

## Abstrat :

The objective of this study is to test the effectiveness of the removal of Congo red dye on the conductive nanocomposite polymer adsorbent (PPy(Cl)/SnO<sub>2</sub>). The characterization of the adsorbent was made by several techniques including: infrared spectroscopy with transform (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction.

The influence of some physico-chemical parameters on adsorption capacity (adsorbent mass, pH, contact time, dye concentration, temperature, adsorbed amount) was studied.

The various results obtained were modelled using the Langmuir and Freundlich and Tamkin model, which shows which Tamkin's model is most representative. Kinetics showed that dye adsorption on the adsorbent is governed by a second-order kinetics. The values of the thermodynamic parameters  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta G^\circ$ , indicate that the adsorption reaction is spontaneous and exothermic.

**Keywords:** adsorption, congo red, nanocomposite (polypyrrole /SnO<sub>2</sub>).

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو اختبار كفاءة إزالة صبغة الكونغو الحمراء على مادة ماصة البوليمر النانوية الموصلة (ppy (cl) /sno2).

تم توصيف المادة الماصة من خلال عدة تقنيات ، وهي: التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء ، الفحص المجهر الإلكتروني ، حيود الأشعة السينية.

تمت دراسة تأثير بعض المتغيرات الفيزيائية والكيميائية على قدرة الامتصاص (كتلة المادة الممتزة ، الأس الهيدروجيني ، زمن التلامس ، تركيز الصبغة ، درجة الحرارة ، الكمية الممتصة).

تم نمذجة النتائج المختلفة التي تم الحصول عليها باستخدام نموذج Langmuir و Freundlich و Tamkin و الذي يوضح نموذج Temkin الأكثر تمثيلاً . أظهرت الحركية أن امتزاز الصبغة على الامتزاز يحكمه حركية من الدرجة الثانية. تشير قيم المعلمات الديناميكية الحرارية  $\Delta H^\circ$  ،  $\Delta G^\circ$  ، إلى أن تفاعل الامتزاز عفوي وطارده الحرارة.

**كلمات مفتاحية:** مركب نانوي بوليبيروول / sno2 ، أحمر الكونغو، الامتزاز.

