

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
Université Akâli Mohan OULHADJ - BOUIRA

**FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES**

Département de Génie des Procédés

**Laboratoire MATERIAUX ET DEVELOPPEMENT DURABLE**



# MÉMOIRE

Présenté par

**BELAREF NAIMA**

**ZAROUD IMANE**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Filière : Génie des Procédés**

**Option : Science et Génie de l'Environnement**

Thème

## **ADSORPTION DE ROUGE CONGO SUR LA SILICE ACTIVEE**

Soutenu le : 09/10/2017

**Devant le jury composé de :**

**Nom et Prénom**

**Grade**

SEDKAOUI YOUCEF

MCB

Président

BESTANI AMAR

MAA

Examineur

HAMDAD BACHIRA

Doctorante

Co-Rapporteur

LOUNICI Hakim

Professeur

Rapporteur

Année universitaire 2016/2017

# *Remerciements*

*Nous remercions DIEU tout puissant qui nous a donnés le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail;*

*Nous remercions très sincèrement les membres de jury, le Président : SEDKAOU YUCEF et l'examineur monsieur BESTANI AMAR ayant acceptés d'évalué ce travail;*

*Nous remercions chaleureusement notre promoteur Monsieur LOUNICI Hakím pour sa disponibilité à toute épreuve, pour sa gentillesse et sa patience, pour ses orientations et ses remarques fructueuses. Tout notre respect et notre gratitude, merci.*

*Nous remercions Mlle .HAMDAD BACHIRA ,  
co-promotrice pour son aide dans ce travail;*

**NAIMA ; IMANE**



# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents pour leur générosité et leurs sacrifices*

*Ames chers frères :*

*RABEH , MOUHAMED , SIDALI Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.*

*A mes chères sœurs :*

*NAOUEL et son mari FATEH*

*FAIZA et son mari MOUNIR*

*A mes deux anges :*

*CHAMS ELDINE et YOUSRI.*

*A toute ma famille*

*A toutes mes amis sans exception, et mes collègues de la promotion de Master II génie et Science de l'environnement*

*En fin je dédie ce travail à ma très chère amie IMANE qui j'ai passé de bons moments avec elle et toute sa famille.*

**NAIMA**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail:*

*A mes très chers parents pour leur générosité et leurs sacrifices  
Amon chère frère :*

***MOUHAMMED** Pour ses soutien moral et leur  
conseils précieux tout au long de mes études.*

*A ma chère sœur :*

***Kaouther hibet elrahman.***

*A mes oncles et mes tantes*

*A toute ma famille*

*A toutes mes amis sans exception, et mes collègues de la promo  
tion de Master II génie et Science de l'environnement*

*En fin je dédie ce travail à ma très chère amie **NAIMA** qui  
j'ai passé de bons moments avec elle et toute sa famille.*

**IMANE**

# Table des matières

---

**Remercîment**

**Dédicace**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Liste des symboles**

**Introduction générale** ..... 1

## **première partie : étude bibliographique**

### **CHAPITRE I : L'EAU : POLLUTION ET TRAITEMENT**

**I.1 Introduction** ..... 3

**I.2 Pollution des eaux** ..... 3

I.2.1 Pollution naturelle ..... 3

I.2.2 Pollution industrielle ..... 4

**I.3 les formes de pollution de l'eau** ..... 4

I.3.1 pollution insoluble ..... 4

I.3.2 pollution soluble..... 4

a) La pollution minérale..... 4

b) La pollution organique..... 5

I.3.3 pollution thermique ..... 6

I.3.4 pollution microbiologique ..... 6

**I.4 Origine des pollutions des eaux** ..... 6

I.4.1 Eaux domestiques ..... 6

a) Eaux ménagère ..... 6

b) Eaux des vannes ..... 6

I.4.2 Eaux pluviales ..... 7

I.4.3 Eaux industrielles ..... 7

# Table des matières

---

I.4.4 Eaux agricoles .....	7
<b>I.5 Normes physico –chimique de l’eau potable .....</b>	<b>8</b>
<b>I.6 Normes de la qualité bactériologique de l’eau potable.....</b>	<b>9</b>
<b>I.7 Etapes et procédés de traitement et de potabilisation de l’eau de surface .....</b>	<b>9</b>
a) Prétraitement .....	10
b) Traitement de clarification .....	10
c) Traitement de désinfection .....	11
d) Affinage .....	11

## CHAPITRE II : LES COLORANTS

<b>II.1 Généralités sur les colorants .....</b>	<b>12</b>
<b>II.2 Classification des colorants .....</b>	<b>13</b>
II.2.1 Classification technologique.....	13
II.2.2 Classification technique.....	13
a) Les colorants naturels .....	14
b) Les colorants synthétiques.....	14
II.2.3 Classification chimique .....	15
a) Les colorants azoïques.....	15
b) Les colorants triphénylméthanes .....	15
c) Les colorants indigoïdes .....	16
d) Les phtalocyanines .....	16
e) Les colorants nitrés et nitrosés .....	16
II.2.4 Classification tinctoriale .....	17
a) Les colorants acides ou anioniques .....	17
b) Les colorants basiques ou cationiques.....	17
c) Les colorants de cuve .....	18
d) Les colorants directs .....	18
e) Les colorants à mordants .....	18
f) Les colorants dispersés .....	19
<b>II.3 Application des colorants .....</b>	<b>19</b>
<b>II.4 Aspect toxicologique .....</b>	<b>19</b>

# Table des matières

---

II.4.1 Toxicité sur la santé humaine .....	19
II.4.2 Toxicité sur les milieux aquatiques .....	20
<b>II. 5 Procédés de traitement des colorants .....</b>	<b>20</b>
II.5.1 Procédés physiques .....	21
a) Adsorption .....	21
b) Filtration membranaire .....	22
c) Coagulation/floculation .....	22
II.5.2 Procédés chimiques .....	22
II.5.3. Procédés biologiques .....	23
a) Traitement aérobie .....	23
b) Traitement anaérobie .....	23
<b>II.6 Généralité sur le colorant étudié (le rouge congo) .....</b>	<b>25</b>

## CHAPITRE III : le phénomène d'adsorption

<b>III.1 Généralités .....</b>	<b>26</b>
<b>III.2 Classification des phénomènes d'absorption .....</b>	<b>26</b>
a) Adsorption physique (ou physisorption) .....	26
b) l'Adsorption chimique (ou chimisorption).....	26
<b>III.3 Description du phénomène d'adsorption .....</b>	<b>28</b>
<b>III.4 Les facteurs influençant l'adsorption .....</b>	<b>29</b>
a) La temperature .....	29
b) Facteurs caractérisant l'adsorbat .....	29
c) Facteurs caractérisant l'adsorbant .....	29
<b>III.5 Adsorbants minéraux .....</b>	<b>30</b>
<b>III.6 Les modèles d'adsorption .....</b>	<b>30</b>
<b>III.6.1 Modèle d'isotherme d'adsorption.....</b>	<b>30</b>
a) Le modèle de Langmuir .....	31
b) Le modèle de Freundlich.....	32
<b>III.6.2 La cinétique d'adsorption .....</b>	<b>34</b>

# Table des matières

---

a) Réaction du première ordre par rapport à A .....	35
b) Réaction du deuxième ordre par rapport à A .....	35

## Deuxième partie : Etude expérimentale

### CHAPITRE IV : Matériels et méthodes

IV .1 Matériel .....	37
IV .2 Méthodologie d'analyse de colorant étudiés : Rouge Congo .....	38
a) Présentation de colorant .....	38
b) Formule moléculaire brute .....	38
IV .3 Présentation de la silice .....	38
IV .4 La spectrophotométrie UV-Visible.....	39
a) Principe.....	39
b) Loi de Beer-Lambert .....	40
IV .5 Le spectre d'absorption du colorant .....	41
IV .6 La droite d'étalonnage.....	42
a) Préparation de la solution mère .....	42
b) Préparation des solutions diluées (solutions filles de rouge congo) .....	43
c) Courbe d'étalonnage .....	44

### CHAPITRE V : Résultats et discussion

V.1 Influence de la teneur initiale en adsorbant .....	46
V.2 Influence de pH initial sur l'adsorption .....	50
V.3 Influence de la température.....	52
V.4 Influence de la vitesse d'agitation .....	54
V. 5 Influence de la charge en silice .....	56
Conclusion.....	61

### Références bibliographique

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE II : LES COLORANTS

<b>Figure II.1</b> : Domaines d'absorption de la lumière visible .....	12
<b>Figure II.2</b> : Exemple de colorant Azoïque .....	15
<b>Figure II.3</b> : Exemple de colorant triphénylméthane .....	15
<b>Figure II.4</b> : Exemple de colorant indigoïdes.....	16
<b>Figure II.5</b> : Exemple de colorant phtalocyanine .....	16
<b>Figure II.6</b> : Exemple de colorant nitré .....	16
<b>Figure II.7</b> : Exemple de colorant acide.....	17
<b>Figure II.8</b> : Exemple de colorant basique .....	17
<b>Figure II.9</b> : Exemple de colorant de cuve.....	18
<b>Figure II.10</b> : Exemple de colorant direct.....	18
<b>Figure II.11</b> : Exemple de colorant à mordants.....	18

## CHAPITRE III : LE PHENOMENE D'ADSORPTION

<b>Figure III.1</b> : Schéma de l'adsorption physique .....	27
<b>Figure III.2</b> : Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux .....	29
<b>Figure III.3</b> : typologie des isothermes .....	34

## CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES

<b>Figure IV.1</b> : Moléculaire développée de rouge congo poudre.....	38
<b>Figure IV.2</b> : Colorant Rouge Congo poudre .....	38
<b>Figure IV.3</b> : L'adsorbant (la silice).....	39
<b>Figure IV.4</b> : formule moléculaire développée de la silice .....	39
<b>Figure IV.5</b> : Spectrophotomètre UV Visible. ....	40
<b>Figure IV.6</b> : Spectre d'absorption du colorant rouge congo dans le domaine du visible ...	41
<b>Figure IV.7</b> : La préparation de solution mère de rouge congo. ....	42
<b>Figure IV.8</b> : La préparation de solution fille de rouge congo. ....	43
<b>Figure IV.9</b> : Courbe d'étalonnage du spectrophotomètre avec le rouge congo.....	45

## CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION

<b>Figure V.1</b> :Evolution des cinétiques de décoloration en fonction de la charge en colorants .....	47
<b>Figure V.2</b> : Influence de la charge en colorants sur le rendement de décoloration. ....	47
<b>Figure V.3</b> : Influence de la charge en colorant sur la capacité d'adsorption Q . ....	48

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure V.4 :</b> Evolution des capacités d'adsorption finales en fonction de la charge initiale en colorants.....	49
<b>Figure V.5 :</b> les pH initiaux et pH finaux des solutions. ....	49
<b>Figure V.6 :</b> Influence du pH sur la cinétique d'adsorption du RC sur Silice activée... ..	50
<b>Figure V.7 :</b> Evolution de rendement de la dégradation du RC pour les différents pH en fonction du temps par le procédé de dégradation. ....	51
<b>Figure V.8 :</b> Evolution du pH final en fonction du pH initial de la solution.....	52
<b>Figure V.9 :</b> Influence de la température sur la cinétique de la décoloration.....	53
<b>Figure V.10 :</b> Influence de la température sur le rendement de décoloration. ....	53
<b>Figure V.11 :</b> Influence de la vitesse d'agitation sur la cinétique d'adsorption du Rouge Congo sur Silice Activée. ....	55
<b>Figure V.12 :</b> Influence de la vitesse d'agitation sur le rendement de décoloration du RG sur Silice Activée.....	55
<b>Figure V.13 :</b> Influence de la teneur en silice activée sur les cinétiques de décoloration. ..	57
<b>Figure V.14 :</b> Influence de la teneur en silice activée sur les rendements de décoloration des solutions de Rouge Congo .....	57
<b>Figure V.15 :</b> Les pH avant et à la fin des essais de décoloration.....	58
<b>Figure V.16 :</b> Etablissement des droites de corrélation concernant les pseudo- premier ordre et le pseudo deuxième ordre dans le cas de la décoloration des solutions Rouge Congo .....	59

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE I : L'EAU : POLLUTION ET TRAITEMENT

<b>Tableau I.1</b> : Les différents paramètres physico-chimiques .....	8
<b>Tableau I.2</b> : Paramètres avec valeurs limites.....	8
<b>Tableau I.3</b> : Normes et recommandation pour la qualité bactériologique de l'eau potable ....	9

## CHAPITRE II : LES COLORANTS

<b>Tableau II.1</b> : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante .....	13
<b>Tableau II.2</b> : Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants.....	21
<b>Tableau II.3</b> : Principaux avantages et inconvénients des techniques de traitements des colorants. ....	24
<b>Tableau II.4</b> : Principales caractéristiques physico-chimiques du RC. ....	25

## CHAPITRE III : LE PHENOMENE D'ADSORPTION

<b>Tableau III.1</b> : La différence entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique .....	28
<b>Tableau III.2</b> : Modèles théoriques utilisés pour décrire les isothermes d'adsorption. ....	34

## CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES

<b>Tableau IV.1</b> : Verreries et instruments , Produits chimiques et Appareillages utilisé en expérimentation . ....	37
<b>Tableau IV.2</b> : principales caractéristiques physico-chimique de la silice .....	39
<b>Tableau IV.3</b> : les Valeurs de de la solution mère . ....	44
<b>Tableau IV.4</b> : Valeurs d'absorbance = $f(C)$ à $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$ pour le rouge congo. ....	44

## CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION

<b>Tableau V.1</b> : Rendement de dégradation du RC par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à $t=120\text{min}$ ( <b>Concentration</b> ) .....	48
<b>Tableau V.2</b> : Rendement de dégradation du RC par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à $t=120\text{min}$ ( <b>pH</b> ).....	51
<b>Tableau V.3</b> : Rendement de dégradation du pH par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à $t=60\text{min}$ ( <b>température</b> ) .....	54
<b>Tableau V.4</b> : Rendement de dégradation du RC par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à $t=60\text{min}$ ( <b>l'agitation</b> ) .....	56
<b>Tableau V.5</b> : Valeurs de certains paramètres cinétiques obtenues pour les deux pseudo mode .....	60

# LISTE DES ABREVIATIONS

<b>Ag</b>	Le plomb l'argent.
<b>Al</b>	Aluminium.
<b>Ca</b>	Calcium.
<b>Cd</b>	Cadmium.
<b>Cr</b>	Chrome.
<b>Cu</b>	Cuivre.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demande biologique en oxygène mesurée sur une période de 5 jours.
<b>DCO</b>	Demande chimique en oxygène.
<b>Fe</b>	Fer.
<b>HCl</b>	Chlorhydrique.
<b>Hg</b>	Mercure.
<b>K</b>	Potassium.
<b>MES</b>	Matière en suspension.
<b>Mg</b>	Magnésium.
<b>Na</b>	Sodium.
<b>NaOH</b>	Hydroxyde de sodium.
<b>Ni</b>	Nickel.
<b>pH</b>	Potentiel d'hydrogène.
<b>RC</b>	Rouge Congo.
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de silicium.
<b>Zn</b>	Le zinc.

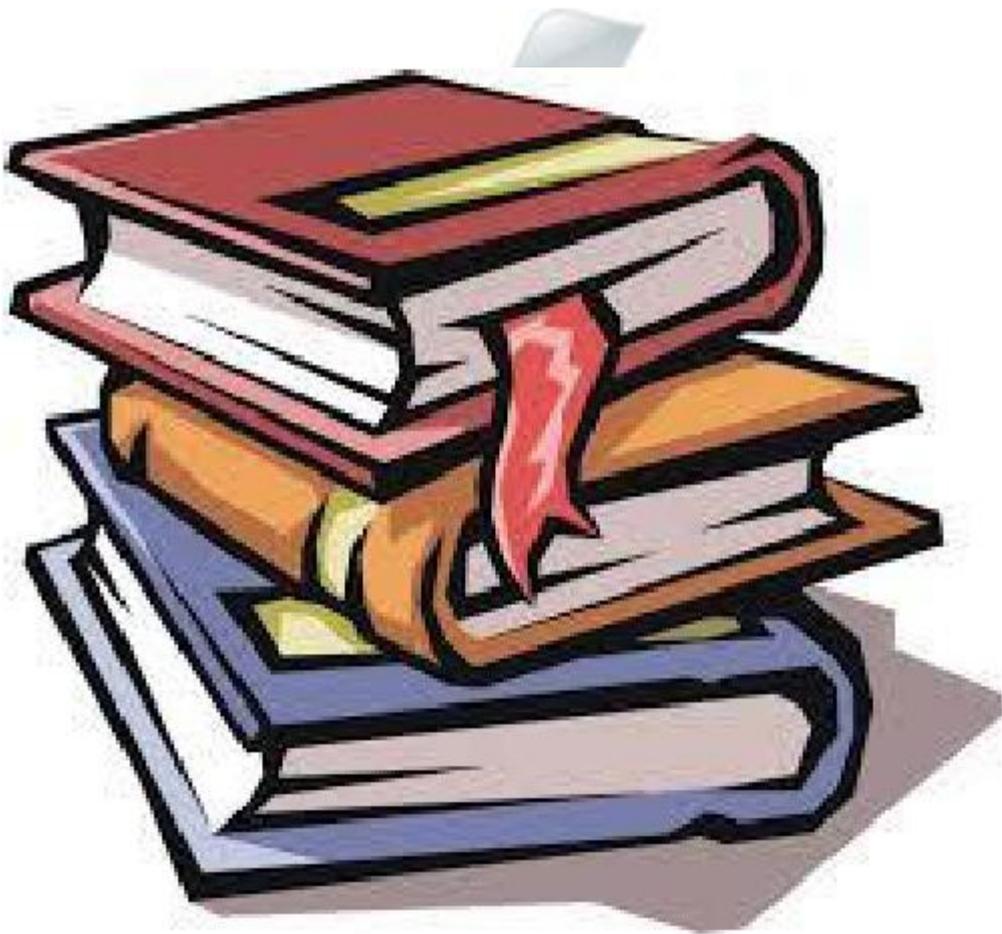
# LISTE DES SYMBOLES

<b>A</b>	absorbance
<b>A<sub>0</sub></b>	absorbance a l'instant $t = 0$
<b>C</b>	Concentration massique du composé dosé (g/L) .
<b>C<sub>0</sub></b>	concentration initial de l'adsorbat dans la phase liquide (mg/l).
<b>C<sub>e</sub></b>	concentration de l'adsorbat dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).
<b>C<sub>eq</sub></b>	la concentration du soluté à l'équilibre dans la solution (mmol.L <sup>-1</sup> )
<b>C<sub>1</sub></b>	concentration de solution mère
<b>C<sub>2</sub></b>	concentration des solutions filles connus
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>I<sub>0</sub></b>	Intensité initiale de la lumière traversée.
<b>I</b>	Intensité du de la lumière transmise .
<b>g</b>	gramme
<b>K</b>	Coefficient spécifique d'absorption massique dépendant du composé et de la longueur d'onde considérée (L.cm <sup>-1</sup> .g <sup>-1</sup> ) .
<b>k</b>	Constante cinétique de la réaction
<b>K<sub>L</sub></b>	La constante de Langmuir (L.mmoI <sup>-1</sup> ) .
<b>Kf et n</b>	Des constantes de Freundlich.
<b>L</b>	Litre
<b>L</b>	Epaisseur de la cuve (cm)
<b>M</b>	Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )
<b>m</b>	Masse de l'adsorbant (g) .

# LISTE DES SYMBOLES

<b>mg</b>	Milligramme
<b>ml</b>	Millilitre
<b>mol</b>	Moule
<b>n</b>	Ordre global de la réaction
<b>1/n</b>	L'affinité du soluté pour l'adsorbant
<b>nm</b>	Nanomètre
<b>Q<sub>e</sub></b>	Quantité du métal adsorbée par unité de masse de l'adsorbant ( <b>mg/g</b> ) .
<b>Q<sub>eq</sub></b>	La quantité de soluté adsorbé à l'équilibre ( $\text{mmol.g}^{-1}$ ) .
<b>Q<sub>max</sub></b>	La capacité maximale d'adsorption ( $\text{mmol.g}^{-1}$ ) .
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficient de corrélation
<b>T</b>	Température
<b>t</b>	Temps de traitement .
<b>tr/min</b>	tour par minute
<b>V</b>	Volume de la solution ( <b>l</b> )
<b>V<sub>1</sub></b>	Volume à prélever de la solution mère pour préparer les solution filles de C <sub>2</sub> connus .
<b>V<sub>2</sub></b>	Volume de solution fille
<b>ε</b>	Coefficient spécifique d'absorbance molaire ( $\text{L.cm}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ )

première partie :  
étude bibliographie



# Introduction générale

# INTRODUCTION GENERALE

L'opinion publique est devenue assez sensible ces dernières décennies à la pollution de l'environnement et à la problématique de dépollution et décontamination des eaux. Il ne faut pas oublier que le seul espace vitale de l'homme est le milieu naturel et pour cela nous ne devons pas permettre la dégradation permanente de notre environnement naturel. La présence des pesticides en tant que polluants organiques dans les eaux superficielles et souterraines constitue un problème récurrent dans le monde.

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine. C'est une composante majeure des mondes minéral et organique. Dans le monde présent, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Le phénomène de la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable.

La dégradation de l'état de l'eau de consommation a différents impacts directs ou indirects sur la santé des populations humaines en contact avec cette eau.

L'eau est un élément majeur du monde minéral et biologique et aussi le vecteur de la vie et de l'activité humaine. Ses sources sont diverses et de qualité variable, mais le choix d'une source particulière dépend de l'utilisation que l'on veut faire de l'eau.

Les eaux destinées à être traitées puis distribuées dans les réseaux publics d'eau potable peuvent être prélevées soit dans les vastes nappes d'eaux souterraines, soit dans les rivières, les lacs ou les retenues.

La pollution de l'eau a pris la grande part des préoccupations environnementales, du fait que les ressources en eau sont limitées et que le développement économique engendre des problèmes de pollution puisque les volumes des eaux générées par les différents secteurs d'activités deviennent de plus en plus importants. En effet un grand nombre de techniques de traitement des eaux, domestiques ou industrielles, existent. Elles sont différentes les unes par rapport aux autres et incluent à titre d'illustration l'adsorption, l'électrolyse, la solubilisation, la flottation, la précipitation, les échanges d'ions, l'extraction liquide-liquide, etc. Parmi ces techniques l'adsorption qui est l'objet de cette étude, a montré de grandes capacités de dépollution des eaux industrielles.

# INTRODUCTION GENERALE

Ce travail est présenté sous forme de deux parties principales le premier théorique et le second expérimentale.

La première partie théorique est subdivisée en trois chapitres :

- **Le premier chapitre** : nous avons donné généralités sur la pollution et les différents types de polluants organiques et leurs effets néfastes sur l'environnement et sur la santé humaine .

- **Le deuxième chapitre** : nous avons donné une synthèse bibliographique qui rassemble des données essentielles sur les colorants synthétiques et le colorant rouge congo et ses propriétés physico-chimiques, son impact sur l'environnement et la santé, les différentes techniques de son traitement .

- **Le troisième chapitre** : Dans ce chapitre nous avons donner quelques généralités sur l'adsorption pour mieux définir l'importance de ce processus, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les éléments influant l'adsorption , les différents paramètres influant sur l'adsorption et les classes et les modèles les plus utilisés pour la description de ce phénomène.

Le second partie expérimentale est subdivisée en deux chapitres :

- **Le premier chapitre** : Dans ce chapitre, nous avons donner le colorant étudié les réactifs et le matériel utilisé, ainsi que les méthodes expérimentales et analytiques, propres à chaque technique d'élimination de colorant : l'adsorption .

- **Le deuxième chapitre** : est consacré aux résultats et discussions sur l'élimination du Rouge Congo par le procédé d'adsorption.

- **Enfin**, on terminera notre travail par une conclusion générale qui résume les principaux résultats de ce travail de recherche.

CHAPITRE I :  
L'EAU : POLLUTION ET TRAITEMENT

## CHAPITRE I

### *L'eau : pollution et traitements*

#### **I.1 Introduction**

La composition de **l'eau de surface** est variable, elle contient toujours de l'oxygène dissous, mais aussi des bactéries, des matières en suspension, des algues et des substances organiques qui peuvent amener des problèmes de goût et d'odeur.

La qualité des eaux de surface varie fortement suivant leurs origines. Selon le cas, elles sont naturellement riches en matière en suspension et en matière organique naturelles, acides, peu minéralisées,... elles sont également vulnérables aux pollutions. De ce fait, les eaux de surface nécessitent des installations de traitement conséquentes comprenant généralement des opérations de chloration, coagulation, floculation, décantation, filtration, minéralisation de l'acidité. L'eau de surface peut aussi être filtrée sur du charbon actif.

L'ozonisation est aussi une technique utilisée pour éliminer les micropolluants, les germes, les mauvais goûts, les couleurs et les odeurs [1].

**La pollution de l'eau** est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles et les eaux souterraines. Elle a pour origine principale, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels [2].

#### **I.2 Pollution des eaux**

##### **I.2.1 Pollution naturelle**

La teneur de l'eau en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. Par exemple, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds, en arsenic, etc.

Des irrptions volcaniques, des épanchements sous marins d'hydrocarbures... peuvent aussi être à l'origine de pollutions [3].

## I.2.2 Pollution industrielle

Si la pollution domestique des ressources est relativement constante, les rejets industriels sont, au contraire, caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel [4].

Selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses que :

- des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...).
- des hydrocarbures (industries pétrolières, transports).
- des métaux (traitements de surface, métallurgie).
- des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...).
- des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques).
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Parmi les industries considérées traditionnellement comme rejetant des matières particulièrement polluantes pour l'eau, on citera, notamment, les industries agro-alimentaires, papetière, la chimie, les traitements de surface, l'industrie du cuir, etc. [5].

## I.3 Les formes de pollution de l'eau

**I.3.1 Pollution insoluble :** C'est un agrégat de matière qui se retrouve sous forme particulière. Les particules solides qui peuvent, soit flotter, soit sédimenter en fonction de leurs densités [6].

**I.3.2 Pollution soluble :** Elle est dissoute dans l'eau et se trouve donc souvent sous forme d'unité chimique simple, la molécule, ou de macromolécules comme les protéines, les colloïdes... qui «flottent » dans l'eau mais que l'on ne voit pas (**la pollution minérale, la pollution organique**)

**a) Pollution minérale :** La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Les polluants minéraux se sont principalement (**les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs**).

❖ **Les métaux lourds :** sont essentiellement le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb l'argent (Ag), le cuivre(Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol, minerais),

proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique [7].

❖ **Les éléments minéraux nutritifs** : (Nitrates et phosphates) : provenant pour l'essentiel de l'agriculture et des effluents domestiques, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [6].

b) **La pollution organique** : C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...), et par les effluents domestique (graisses,...etc.).

La première conséquence de cette pollution consommation d'oxygène dissous de ces eaux. Les polluants organiques ce sont principalement **les détergents, les pesticides et les hydrocarbures**.

❖ **Les détergents** : Sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluent urbains et industriels. Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont:

- L'apparition de goût de savon.
- La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle.
- Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau.

❖ **Les pesticides** : On désigne généralement comme des produits utilisés en agriculture les conséquences néfastes dues aux pesticides sont liées aux caractères suivants :

- Rémanence et stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires.
- Rupture de l'équilibre naturel.

❖ **Les hydrocarbures** : Provenant des industries pétrolières et des transports, qui sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables, leur densité inférieure à l'eau les fait surnager. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère [8].

**I.3.3 Pollution thermique :** Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution [9].

**I.3.4 Pollution microbiologique :** Les eaux usées contiennent les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : **les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes** [10].

## I.4 Origine des pollutions des eaux

Selon l'origine de la pollution, on distingue quatre catégories : pollution domestique, pluviale, industrielle et pollution agricole [11].

### I.4.1 Eaux domestiques

Dans les eaux domestiques, on distingue les eaux ménagères et les eaux vannes.

#### a) Eaux ménagères

Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Les eaux des cuisines contiennent des matières insolubles (terre, débris divers), des matières extraites des aliments (organiques ou minérales) ainsi que les graisses provenant de la cuisson, par exemple : les eaux des salles de bains, les eaux des machines à lessiver qui renferment des savons et des détergents et des eaux de lavages des locaux qui sont riches en particules solides (Terre, sable,...etc.) Et surtout en détergents et désinfectants (eaux de javel, produit de base de chlore Ou d'ammoniaque,...) [12].

#### b) Eaux des vannes :

Il s'agit des rejets de toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et des germes fécaux [12].

## **I.4.2 Eaux pluviales**

Elles peuvent constituer la cause de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumée industrielles), puis en ruissellent, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles des vidanges, carburants, résidus de pneus et métaux lourds).

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre en plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micros polluants organiques des hydrocarbures. Certaines d'entre elles, doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industries avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, elles sont mêlées aux eaux domestiques que l'or qu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution [13].

## **I.4.3 Eaux industrielles**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures, ...etc.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution [13].

## **I.4.4 Eaux agricoles**

Les eaux agricoles sont particulièrement chargées en nitrates et phosphates qui provoquent l'eutrophisation des cours d'eau entraînant la prolifération des algues qui, lors de leur putréfaction, consomment l'oxygène dissous dans l'eau ce qui va perturber l'auto-épuration [13].

### I.5 NORMES PHYSICO–CHIMIQUE DE L'EAU POTABLE

L'Algérie s'est basée sur les normes internationales pour établir ses propres normes, il s'agit au fait d' combinaison de différentes normes qui existent sur le plan international.

**Tableau I.1** Les différents paramètres physico-chimiques [14].

GROUPE DE PARAMETRE	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	pH	Unité pH	≥ 6.5 et ≤ 9.5
	Conductivité	μS/cm à 20°C	2800
	Température	°C	25
	Dureté	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Alcalinité	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	500
	Calcium	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Chlorures	mg/l	500
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400

**Tableau I.2 :** Paramètres avec valeurs limites [15]

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	μg/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Phosphore	mg/l	5
	Acrylamide	μg/l	0,5
	Antimoine	μg/l	20
	Argent	μg/l	100
	Arsenic	μg/l	10
	Cadmium	μg/l	3
	Chrome total	μg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanure	μg/l	70
	Mercure	μg/l	6
Nickel	μg/l	70	

	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	(H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	Phénols	µg/l	0,5
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlore	mg/l	5
	Chlorite	mg/l	0,07
	Trihalométhanes (THM) (Total)	µg/l	100
<b>Radionucléides</b>	Particules alpha	Picocurie/l	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Becquerel/l	100
	Uranium	µg/l	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1

### I.6 Normes de la qualité bactériologique de l'eau potable

Les deux groupes de micro-organismes les plus utilisés comme **indicateurs de contamination bactérienne** sont les coliformes totaux et les coliformes fécaux, l'objectif visé est l'absence de coliforme dans 100 ml d'eau, mais si cet objectif n'est pas atteint le règlement sur l'eau potable a proposé les limites maximales suivantes :

**Tableau I.3** : Normes et recommandation pour la qualité bactériologique de l'eau potable [16]

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
<b>Paramètres bactériologiques</b>	Germes totaux à 22°C	Germe/ml	100
	Coliformes fécaux	Germe/100ml	0
	Streptocoques fécaux	Germe/100ml	0
	Clostridium-sulfite- réducteurs	Germe/100ml	0

### I.7 Etapes et procédés de traitement et de potabilisation de l'eau de surface

Le principal objectif d'une station de production d'eau potable est de fournir un produit qui satisfait à un ensemble de normes de qualité à un prix raisonnable pour le consommateur. L'efficacité du traitement adopté dépendra de la façon dont sera conduite l'exploitation de l'usine de traitement. Pour atteindre l'objectif souhaité, l'exploitant devra d'une part respecter certains principes élémentaires pour assurer le contrôle du processus de traitement et le

contrôle de l'eau traitée, et d'autre part disposer d'un certain nombre de moyens technique et humains. Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface est généralement constitué des phases suivantes [17] :

## a) Prétraitement

Les opérations de prétraitement peuvent comporter un dégrillage, un dessablage ou un tamisage, un débouage, un déshuilage. Selon la qualité de l'eau brute, une station de traitement peut comporter une ou plusieurs de ces opérations [18,19,20].

❖ **préoxydation** : L'oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. Elle est toujours incluse en fin de filière au niveau de désinfection. Celle-ci peut être faite de trois façons différentes :

- Ajout du chlore (préchloration).
- Ajout du dioxyde de chlore.
- Ajout d'ozone (préozonation).

## b) Traitement de clarification

Clarifier une eau, c'est la débarrasser de toutes les particules colloïdales et en suspension qui ont échappé au prétraitement et qui communiquent à l'eau une turbidité et une couleur indésirable. Elle s'effectue par : Coagulation-floculation, décantation et filtration.

➤ **Coagulation-floculation** : Le procédé de coagulation floculation consiste à ajouter à l'eau un électrolyte permettant de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes et aptes à sédimenter. Cette transformation est le résultat de deux actions distinctes : [18]

- La déstabilisation des particules par neutralisation de leurs charges électriques, connue sous le nom de « coagulation ».
- La formation de flocons, dépendante du transport et de la mise en contact des particules déstabilisées constitue « la floculation ».

➤ **Décantation** : La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblé sous forme de floc après une étape de coagulation floculation). Il est bien connu que les particules en suspension sédimenteront en fonction de leur taille, donc pour

obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d'où l'utilité impérieuse du phénomène de coagulation-floculation.

➤ **Filtration** : La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (filtre ; le plus courant est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraité (floculée et décantée). A mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elles se déposent et absorbent les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement [21].

## c) Traitement de désinfection

L'objectif de cette phase de traitement est la destruction des germes pathogènes en vue de l'obtention d'une eau bactériologiquement pure. Divers agents désinfectants peuvent être utilisés tels que le chlore et ses dérivées, l'ozone, les rayons ultraviolets mais le chlore est l'agent le plus utilisé comme désinfectant final, avant refoulement de l'eau dans le réseau ; il permet d'achever la désinfection de l'eau et de protéger le réseau contre les développements bactériens vu son effet rémanent. [22,23]

## d) Affinage

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formé au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement « abattus » par la coagulation floculation. Cet affinage est réalisé par le phénomène d'adsorption, généralement sur du charbon évacué avec la boue, soit sur lit sous forme de grains, habituellement utilisé après filtration sur sable[18,19].

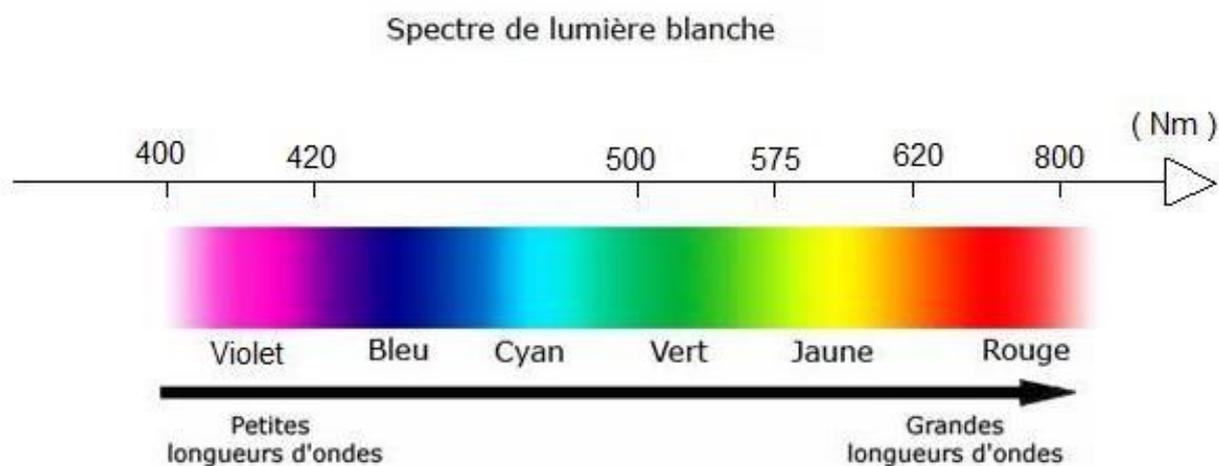
# CHAPITRE II : LES COLORANTS

## CHAPITRE II

### *LES COLORANTS*

#### II.1 Généralités sur les colorant

Un colorant est une substance ayant la propriété d'absorber une partie des rayonnements lumineux dans le spectre visible (entre 380 et 750 nm). La couleur est donnée par la fraction de lumière non absorbée par le colorant (**figure II.1**).



**Figure II.1** : Domaines d'absorption de la lumière visible

Cette transformation de la couleur blanche en lumière colorée, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores. En outre, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores (groupes aromatiques conjugués (liaison  $\pi$ ), comportant des liaisons non liantes (électron n) ou des complexes de métaux de transition), auxochromes et de structures aromatiques conjuguées. Lorsque le nombre de noyaux aromatiques augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît et le système conjugué s'élargit.

L'énergie des liaisons  $\pi$  diminue tandis que l'activité des électrons  $\pi$  ou n augmente et produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même, lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy,...) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système p, la molécule absorbe dans les

grandes longueurs d'onde et donne des couleurs plus foncées [24] Les chromophores et auxochromes habituels sont résumés dans le **tableau II.1** .

**Tableau II.1** : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante [25].

<b>Azo (-N=N-)</b>	<b>(Amino -NH<sub>2</sub>)</b>
<b>Nitroso (-N=O ou -N-OH)</b>	(Methylamino -NHCH <sub>3</sub> )
<b>Carbonyle (&gt;C=O)</b>	(Dimethylamino -N (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
<b>Vinyl (-C=C-)</b>	Hydroxyl (-HO)
<b>Nitro (-NO<sub>2</sub> OU =NO-OH)</b>	Alkoxy (-OR)
<b>thiocarbonyle (&gt;C=S)</b>	Iodi (I)
<b>Methine (-CH=, -CR=)</b>	Bromo (Br <sup>-</sup> )
<b>Azomethine (-CH=NH)</b>	Chloro (Cl <sup>-</sup> )

## II.2 Classification des colorants

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

### II.2.1 Classification technologique

La classification technologique permet à l'utilisateur de connaître le mode d'application du colorant, et donc ses domaines d'utilisation, ses propriétés (solubilité, affinité pour tel type de fibres ou matériaux, nature de la fixation ...). Il est souvent difficile de connaître la composition chimique des colorants car la confidentialité sur la composition chimique est généralement préservée. Cette classification comprend trois éléments :

- Le nom générique de la classe d'application .
- La couleur.
- Le numéro d'ordre chronologique d'inscription au "colore index ".

### II.2.2 Classification technique

Les colorants utilisés dans l'industrie textile contiennent habituellement des groupes acides sulfoniques qui leur confèrent une hydrosolubilité appropriée et qui permettent à la molécule

du colorant de se lier ioniquement aux sites chargés du réseau polymérique du tissu [26]. On peut classer les colorants organiques en deux catégories suivant leur synthèse :

- Colorants naturels
- Colorants synthétiques

### a) Les colorants naturels

Ils sont très répandus, surtout dans les plantes (bois, racines, graines, fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux. On les trouve à l'état libre ou liés à des glucides ou des protéines, exemple : garance, cochenille, indigo, pourpre. Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup diminué. Du fait de leur cherté, on ne les utilise dans l'industrie textile, du cuir et du papier que pour des traitements spéciaux. Ils restent, en revanche très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques soumis à des réglementaires plus strictes.

### b) Les colorants synthétiques

Les colorants synthétiques dominent aujourd'hui le marché surtout que leurs propriétés peuvent être précisément adaptées à leur utilisation. Tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir des produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphtalène, xylène et anthracène) [27]. Ils sont de plus en plus utilisés dans les industries de coloration et des textiles grâce à leur synthèse assez facile, à leur production rapide et à la variété de leurs couleurs comparées aux colorants naturels [28].

La dénomination des colorants commerciaux est loin de présenter la rigueur de celle des composés chimiques parce que, d'une part ce ne sont généralement pas des produits purs et que, d'autre part, les fabricants préfèrent très souvent ne pas en divulguer la composition exacte. Cela a conduit, sous une inspiration poétique, à baptiser les premiers colorants de noms de plantes (mauvéine, fushine, garance, etc.) puis de noms de minerais (vert malachite, auramine, etc.). Par la suite, ils furent désignés selon la constitution chimique du composé de base (bleu de méthylène, noir d'aniline, vert naphtalène, etc.).

Actuellement, les fabricants de matières colorantes déposent des marques protégées qui ne donnent aucune indication sur la structure, mais caractérisent la nuance et les procédés

d'application. Ainsi, chaque colorant est désigné par sa couleur, sa marque commerciale et un code qui permet d'insister sur une nuance (par exemple : R = red ; Y = yellow ou G= green; B = blue ; 2B = more blue, etc.) ou une qualité (L =résistant à la lumière). La production totale mondiale de colorants est estimée à 800millions tonnes/an [29].

## II.2.3 Classification chimique

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

### a) Les colorants azoïques

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes [30,31]. Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories: les colorants basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau.

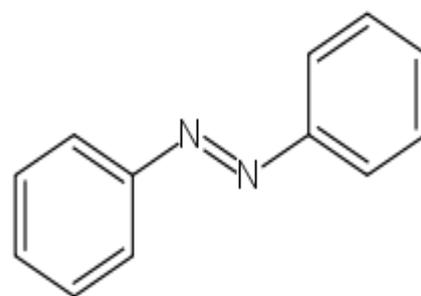


Figure II.2 : Exemple de colorant Azoïque

### b) Les colorants triphénylméthane

Les colorants triphénylméthane dérivent du triphénylméthane, qui est un hydrocarbure possédant trois cycles phényle liés à un carbone central. On retrouve cette structure de base dans un grand nombre de composés organiques colorés. Les colorants triphénylméthane et leurs dérivés hétérocycliques constituent la plus ancienne

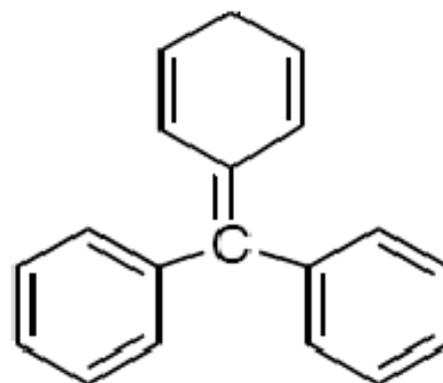
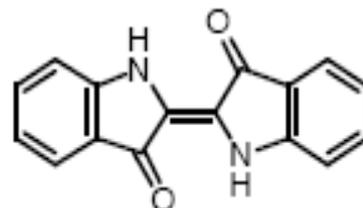


Figure II.3 : Exemple de colorant triphénylméthane

classe de colorants synthétiques, ils sont utilisés intensivement dans les industries papetières et textiles pour teindre le nylon, la laine, la soie et le coton. Leur utilisation ne se limite pas à l'industrie. On les retrouve également dans le domaine médical comme marqueur biologique [32].

### c) Les colorants indigoïdes

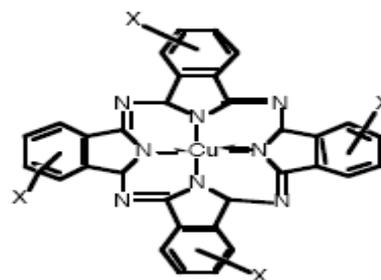
Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicaux [33,34].



**Figure II.4 :** Exemple de colorant indigoïdes

### d) Les phtalocyanines

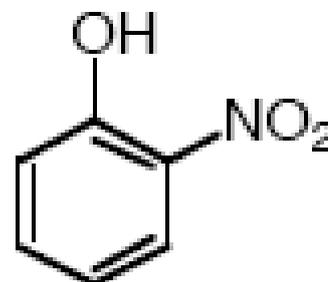
Une structure complexe possédant un atome métallique central. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.) [32].



**Figure II.5 :** Exemple de colorant phtalocyanine

### e) Les colorants nitrés et nitrosés

Forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électro-donneur (hydroxyle ou groupes aminés) [32].



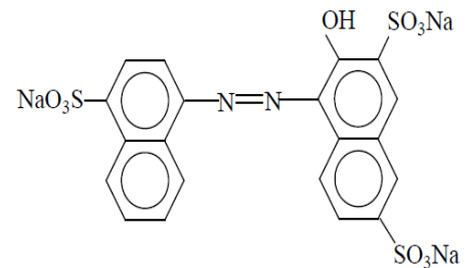
**Figure II.6 :** Exemple de colorant nitré

## II.2.4 Classification tinctoriale

La classification tinctoriale intéresse le teinturier. Les éléments clés sont la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes [35].

### a) Les colorants acides ou anioniques

Solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. [36].

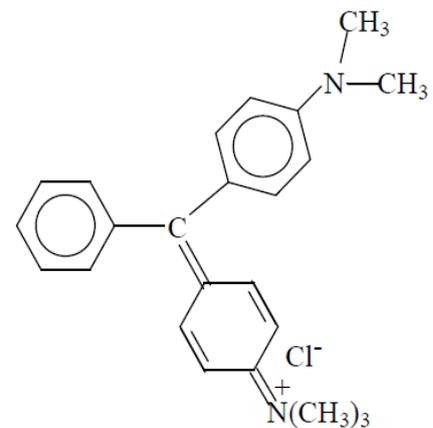


**Figure II.7:** Exemple de Colorant acide.

### b) Les colorants basiques ou cationiques

sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres.

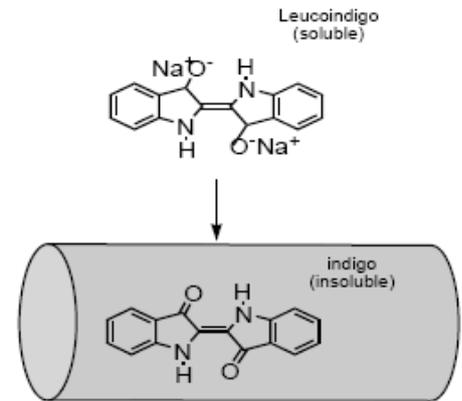
En phase de disparaître dans la teinture de la Laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur les quelles ils permettent des nuances très vives et résistantes [37].



**Figure II.8:** Exemple de Colorant basique.

## c) Les colorants de cuve

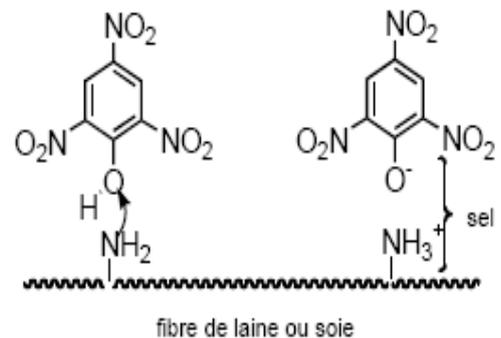
Sont insolubles et doivent être transformés en leuco dérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la ré oxydation in situ du colorant sous sa forme insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, les colorants de cuve sont encore utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim [32].



**Figure II.9 :** Exemple de Colorant de cuve.

## d) Les colorants directs

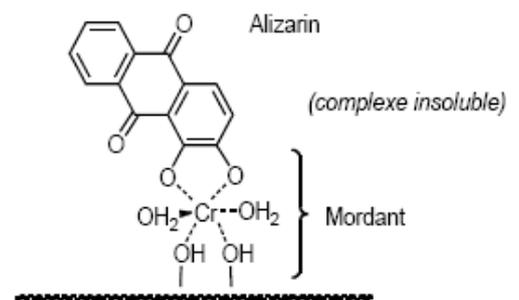
Ce sont des colorants à caractères anioniques; ils sont solubles dans l'eau et utilisés en solution aqueuse. La solubilité de ces colorants dans l'eau est réduite par l'addition des sels neutres de métaux alcalins (sulfate de sodium, chlorure de Sodium ect) sont utilisés à la teinture des tissus de doublures, des fils de laine, des tapis et pour beaucoup d'articles à bon marché [38].



**Figure II.10 :** Exemple de Colorant direct.

## e) Les colorants à mordants

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile [39].



**Figure II.11 :** Exemple de Colorant à mordants.

### f) Les colorants dispersés

Les colorants dispersés (ou dispersifs) donnent des couleurs stables à la lumière, aux acides, au formaldéhyde et aux actions thermiques. Ils sont non-ioniques, insolubles dans l'eau et sont utilisés pour la coloration sous forme de dispersion aqueuse. Pratiquement insolubles dans l'eau, ils sont par contre solubles dans la phase organique des fibres dépourvues de groupement acides ou basiques (fibres synthétiques telles que polyester, polyamide, polyacrylonitrile...). Ils sont importants pour la teinture de l'acétate de cellulose et des fibres synthétiques [38].

### II.3 Application des colorants

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont voici quelques unes essentielles [40]:

- L'industrie de matière plastique (pigment) .
- L'industrie du bâtiment : peintures (pigment).
- L'industrie pharmaceutique (colorant).
- L'industrie des cosmétiques.
- L'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).
- L'imprimerie ( papier , encre).

### II.4 Aspect toxicologique

Les colorants sont des composés difficilement biodégradables par les microorganismes, ils sont toxiques ou nocifs pour l'homme et les animaux.

#### II.4.1 Toxicité sur la santé humaine

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés [41]. En effet, des chercheurs [42] ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermatites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane [41]. Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermatites eczémateuses ont été observés avec divers

colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes (chélite de rouge) [42].

Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérogènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie [42]. En 1913, pour la première fois, on se rendit compte qu'il y avait une relation entre la production d'aniline et l'apparition de cancers de la vessie : ces maladies ont particulièrement touché les ouvriers allemands [43] D'autres recherches [44] ont signalé que la tartrazine développe un certain nombre de réactions adverses chez certains individus comme le purit, l'oedème, l'urticaire, l'asthme et la rhinite.

Les colorants azoïques sont aussi responsables d'apparition de Lépatomes chez l'homme. Les colorants métallifères sont parmi les substances qui représentent de grands risques pour la santé de l'homme. Ils peuvent également causer des dégâts sur les réseaux d'assainissement et des perturbations des traitements biologiques dans les stations d'épuration à cause de leur toxicité élevée [45]. L'utilisation des colorants à base d'arsenic tels que le vert de Scheele (arsénite de cuivre), vert de Schweinfurt (acétoarsénite de cuivre) provoquent des troubles digestifs : digestion pénible, nausées, diarrhée et peuvent être à l'origine des irritations de peau, des muqueuses oculaires et pulmonaires et surtout de cancer [42]. La granulomatose pulmonaire est signalée chez les femmes utilisant des laques colorées et parfumées plusieurs fois par jour pendant des années [42].

### II.4.2 Toxicité sur les milieux aquatiques

Un certain nombre de colorants présente un caractère toxique sur le milieu aquatique provoquant la destruction directe des communautés aquatiques [46].

g) La fuchsine, en concentration supérieure à 1mg/l, exerce un effet de ralentissement sur l'activité vitale des algues [47].

h) Les rejets des usines de teinturerie et de textile sont à l'origine de diverses pollutions telles que : l'augmentation de la DBO5 et la DCO, diminuant la capacité de ré aération des cours d'eau et retardant l'activité de photosynthèse [48].

## II. 5 Procédés de traitement des colorants

Des quantités plus ou moins importantes de colorants sont rejetées dans l'environnement.

Ceci est dû en grande partie au degré de fixation des colorants aux fibres cellulosiques

**Tableau II.2** : Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants [49,50].

Classe de colorant	Fixation (%)	Fibre utilisé
Acide	80-93	Laine, nylon
Azoïque	90-95	Cellulose
Basique	97-98	Acrylique
De cuve	80-95	Cellulose
Direct	70-95	Cellulose
Dispersé	80-92	Synthétique
Réactif	50-80	Cellulose
Soufré	60-70	Cellulose

Le traitement des rejets textiles, compte tenu de leur hétérogénéité de composition conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitement assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives. La première étape consiste à éliminer la pollution insoluble par l'intermédiaire de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage) et/ou de traitements physiques ou physicochimiques assurant une séparation (solide/liquide). Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles [51,52] se divisent en trois types :

- ✓ Physique
- ✓ Chimique
- ✓ Biologique

### II.5.1 Procédés physiques

#### a) Adsorption

L'adsorption est un procédé d'élimination des polluants organiques ou minéraux présents dans des effluents aussi bien liquide que gazeux. Plusieurs modèles théoriques ont été élaborés pour décrire les mécanismes de ces phénomènes. Nous y reviendrons par la suite. Par ce procédé, le polluant est transféré de la phase fluide vers la surface du solide même

avec le charbon actif considéré comme l'adsorbant le plus efficace, ce mode de traitement reste très limité pour l'élimination de tous les colorants. Seuls les cationiques, colorant à mordant, dispersés ou dits de cuve et réactifs sont éliminés par cette technique [53].

### b) Filtration membranaire

Les différentes techniques de filtration peuvent être appliquées comme procédés principaux ou après traitement pour la séparation et la purification des effluents colorés [54, 5, 56, 57].

- L'osmose inverse et la nanofiltration peuvent enlever les colorants réactifs hydrosolubles.
- La microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou cuve grâce à une membrane écran.
- L'ultrafiltration s'applique à la réduction de la DCO et des solides en suspension, et ne se montre réellement efficace qu'en prétraitement ou en combinaison avec d'autres traitements.

### c) Coagulation/floculation

Cette technique de traitement physico-chimique est utilisée pour enlever davantage la DCO et la couleur avant un traitement biologique. Ce procédé est basé sur l'addition d'un coagulant qui avec les polluants organiques forme des floes. Ces floes sont ensuite éliminés par décantation et filtration [54, 55, 58].

### II.5.2 Procédés chimiques

Ces procédés s'appliquent aux colorants en faible concentration et qui résistent aux traitements de biodégradation. L'oxydation et la réduction sont les méthodes chimiques les plus connues. Les réactifs les plus utilisés pour le traitement d'oxydation sont  $H_2O_2$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $Cl_2$ ,  $NaOCl$  et  $MnO_4$ , et pour la réduction, le  $Na_2S_2O_4$ . L'oxydation chimique conduit à la destruction ou la décomposition de la molécule du colorant.

Il a été observé que l'oxydation chimique avec l'un de ces oxydants n'est pas toujours efficace pour le traitement des polluants organiques persistants, et les colorants dispersés [54, 57, 59, 60, 61].

### II.5.3 Procédés biologiques

La présence dans les eaux ou dans le sol, les polluants organiques sont toujours existée. Leurs éliminations par des microorganismes constituent le moyen biologique que la nature a utilisé pour l'épuration des milieux naturels. Ces procédés biologiques se produisent selon deux modes: traitements en aérobie; ils sont effectués en présence de l'oxygène et traitement en anaérobie; dans ce cas les microorganismes dégradent la matière organique en absence de l'oxygène [62].

#### a) Traitement aérobie

Des réacteurs dits à lits bactériens sont utilisés pour cet effet. Ils sont constitués d'une unité de boue activée où les polluants sont décomposés par des bactéries aérobies et autres microorganismes. Après épuration, la boue est séparée des eaux usées par sédimentation dans un décanteur, une partie est recyclée et le surplus est évacué après pressage ou centrifugation. Ce procédé est resté longtemps un moyen pour dégrader un grand nombre de polluants organiques Il s'est avéré efficace pour une certaine catégorie de rejets textiles [63]. Notons cependant que des colorants tels que les azoïques, les colorants acides et les colorants réactifs se sont révélés persistants à ce mode de traitement [64,65]. La décoloration observée dans ces cas est attribuée à l'adsorption de ces polluants sur la boue activée et non à leur dégradation.

#### b) Traitement anaérobie

En absence de l'oxygène, la digestion anaérobie des composés organiques conduit à la formation du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau. Ce procédé présente une efficacité importante dans le traitement des effluents très chargés caractérisés par une DCO relativement élevée. Ce procédé utilisé dans les stations d'épuration des eaux permet de produire des quantités importantes en méthane. Ce dernier est utilisé comme source d'énergie notamment pour le chauffage ou pour l'éclairage.

Des études ont montré que la réduction voire la disparition de la couleur n'est pas accompagnée de la minéralisation des colorants. La formation de composés intermédiaires plus toxiques, notamment des amines a été signalée dans la littérature [66,67] ont estimé la réduction de coloration par les procédés biologiques à seulement 10-20 %. Cette constatation

laisse présager d'autres techniques qui permettraient d'abaisser le degré de rétractabilité de la charge polluante en association avec les méthodes biologiques [68].

## ❖ Comparaison des procédés

Après un bref aperçu des principes de fonctionnement et le type d'application des procédés de dépollution des rejets textiles.

**Tableau II.3** : Principaux avantages et inconvénients des techniques de traitements des colorants [69].

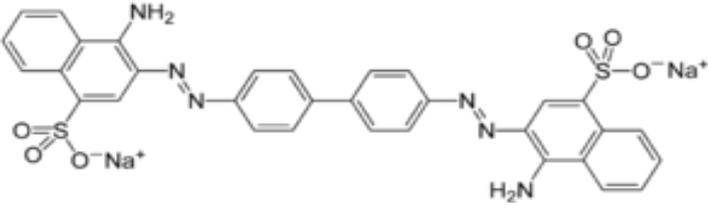
Technologie	Exemples	Avantages	Inconvénients
<b>Coagulation / Flocculation</b>	Chaux, FeCl <sub>3</sub> , Polyélectrolytes.	-Équipement simple -Décoloration relativement Rapide. -Réduction significative de la DCO	-Formation de boues -Fonctionnement onéreux -Coagulants non réutilisables -Réduction spécifique de la couleur
<b>Filtration sur membranes</b>	Osmose inverse, Nanofiltration, Microfiltration, Ultrafiltration.	-Utilisation simple et rapide -Pas d'addition de produits chimiques -Faible consommation énergétique	-Investissement important -Sélectif -Encrassement rapide des membranes
<b>Adsorption</b>	Carbone activé, Silice,	-Réduction efficace de la couleur -Technologie simple -Faible coût d'utilisation pour certains adsorbants	- Investissement et coûts de fonctionnement élevés -Lent et limité en volume -Sélectif -Formation de boue
<b>Oxydation chimique</b>	Ozone Réactif de Fenton Chloration	-Traitement de gros Volumes -Diminution nette de la coloration -Décoloration rapide et efficace -Opération simple	-Efficacité limitée pour certains Colorants -Produits d'oxydation inconnus -Formation de sous produits de chloration .

<b>Réduction chimique</b>	Chlorure d'étain, hydrosulphite	-Décoloration efficace des azoïques	-Formation d'amines aromatiques -Dégradation incomplète
<b>Procédés Biologiques</b>	Aérobie  Anaérobie	-Approprié pour les colorants insolubles  -Décolore la plupart des colorants	-Spécifique à certains colorants -Décoloration variable -Grandes quantités de boue générées -Besoins énergétiques importants -Beaucoup de produits toxiques non dégradés

## II.6 Généralité sur le colorant étudié (le Rouge Congo)

**Le Rouge Congo :** appelé aussi acide benzidinediazo-bis-1-naphtylamine-4-sulfonique est une molécule diazoïque, c'est-à-dire qui possède deux fois la structure de l'azobenzène. Le Rouge Congo est à la fois un colorant organique, plus trop utilisé du fait de sa toxicité, et un indicateur de pH. Ce colorant a reçu son nom en hommage à l'exploration du Congo par Stanley l'année de sa découverte [70].

**Tableau I.4 :** Principales caractéristiques physico-chimiques du colorant RC [71].

<b>Nom</b>	<b>Rouge Congo (RC)</b>
<b>Famille</b>	Azoïque
<b>Formule brute</b>	C <sub>32</sub> H <sub>22</sub> N <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>6</sub> S <sub>2</sub>
<b>Appellation chimique</b>	acide benzidinediazo-bis-1-naphtylamine-4-sulfonique
<b>Masse molaire (g/mol)</b>	696.66 g/mol
<b>Solubilité dans l'eau (g/L)</b>	25 à 20 °C
<b>λ<sub>max</sub></b>	500 nm
<b>Zone de virage en fonction du pH</b>	3,0 - 5,2 (du bleu-au rouge)
<b>Structure</b>	

# CHAPITRE III : le phénomène d'adsorption

## **CHAPITRE III**

# ***LE PHENOMENE D'ADSORPTION***

### **III.1 Généralités**

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques.

L'adsorption est un phénomène d'interface (phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide) pouvant se manifester entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide. Le phénomène est général pour toutes les surfaces. Aux interfaces, les attractions intermoléculaires ne sont pas compensées dans toutes les directions, et il subsiste par des forces résiduelles dirigées vers l'extérieur. Ces forces représentent une énergie superficielle par unité de surface, comparable à la tension superficielle des liquides. Ces forces sont neutralisées lorsque des particules mobiles (un gaz ou un soluté) se fixent en surface, on dit qu'elles s'adsorbent [72]. Cette adsorption se produit spontanément et s'accompagne d'une diminution de l'énergie libre du système, c'est un phénomène toujours exothermique.

### **III.2 Classification des phénomènes d'adsorption**

Selon les types et la nature des interactions adsorbat-adsorbant ou les forces qui maintiennent les adsorbats sur la surface solide, on distingue deux types d'adsorption : la physisorption et la chimisorption [73].

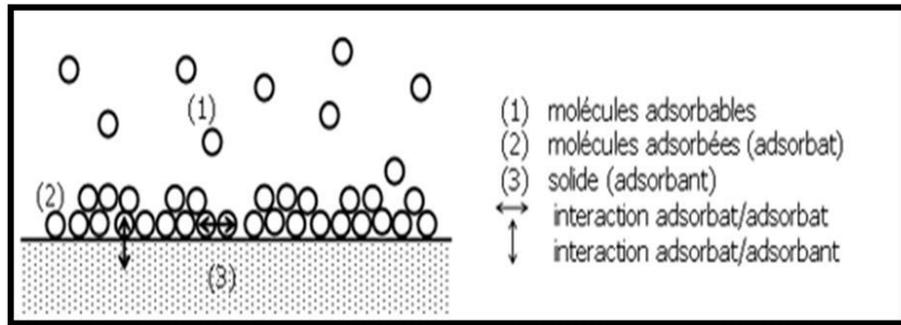
#### **a) Adsorption physique (ou physisorption)**

C'est une adsorption de type physique, qui se produit lorsque les forces qui fixent l'adsorbat dans une couche à la surface de l'adsorbant sont du même ordre que les forces de Van der Waals (**figure III.1**).

Ce type d'adsorption se caractérise par :

- ❖ La rapidité dans l'établissement de l'équilibre entre la phase adsorbée et la phase fluide;

- ❖ Une chaleur d'adsorption sensiblement du même ordre que la chaleur de liquéfaction du gaz adsorbé;
- ❖ Une réversibilité relativement facile et une absence de spécificité.



**Figure III.1 :** Schéma de l'adsorption physique [74].

### b) l'Adsorption chimique (ou chimisorption)

C'est une adsorption de type chimique, qui résulte des forces de liaison de nature chimique (nettement supérieures aux forces de Van der Waals) avec mise en commun ou transfert d'électrons; il y a donc des ruptures et des créations de liaisons chimiques en surface entre le réactif et les sites actifs de l'adsorbant.

Quand les conditions s'y prêtent, l'adsorption chimique peut assez souvent se superposer à l'adsorption physique [74].

#### ❖ La différence entre l'adsorption physique et chimique

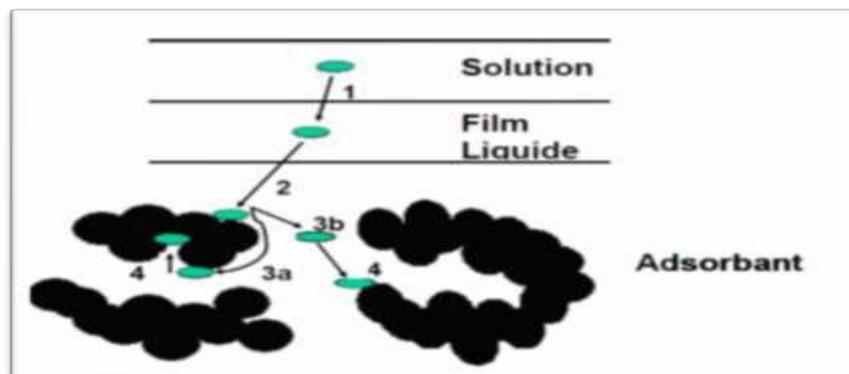
Le Tableau suivant résume les principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique :

**Tableau III.1 :** La différence entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique

Propriété	Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption	Environ 5 kcal/mol	Environ 10 kcal/mol
Température de processus	Relativement basse	Plus élevée
Liaison entre gaz-solide	Physique	Chimique
Spécificité cristallographique	Processus non spécifique	Processus spécifique
Désorption	Facile	Difficile
La distance entre les molécules et la surface de solide	Grand	Petite
La vitesse d'adsorption	Rapide	Lente
Les énergies de liaison	0 et 40 kJ/mol	> 40 kJ/mole
Prise de saturation	Phénomène multicouches	Phénomène monocouche

### III.3. Description du phénomène d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes.



**Figure III.2 :** Les étapes de l'adsorption. [75,76].

**1<sup>ère</sup> étape:** Transfert de l'adsorbat de la phase liquide vers la couche limite du film liquide liée à la particule solide (par convection ou diffusion). **Étape très rapide.**

**2<sup>ème</sup> étape:** Transfert de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant. **Étape rapide.**

**3<sup>ème</sup> étape :** Diffusion à l'intérieur de la particule d'adsorbant selon deux voies, sous l'influence du gradient de concentration. **Étape lente.**

**3a :** Sous l'état adsorbé, par diffusion de surface.

**3b :** A l'état libre, par diffusion de pores.

**4<sup>ème</sup> étape :** Adsorption dans un micropore. **Étape très rapide.**

Le transfert, lors de l'adsorption ou de la désorption, est principalement dû à une différence de concentration. On peut donc faire varier le taux d'adsorption en faisant varier la concentration de l'adsorbant ou de l'adsorbat.

## III.4 Les facteurs influençant l'adsorption

Plusieurs paramètres influent sur l'adsorption les plus importants; la température, la nature de l'adsorbat et de l'adsorbant.

**a) La température :** La quantité adsorbée à l'équilibre augmente quand la température diminue, de plus, l'adsorption libère une chaleur d'adsorption comme toute réaction exothermique, elle est donc favorisée par les basses températures.

**b) Facteurs caractérisant l'adsorbat :** Toutes les substances ne sont pas adsorbables au même titre. La capacité de rétention d'un polluant est fonction :

- ✓ De l'énergie de liaison de la substance à adsorber.
- ✓ De la structure et la taille des molécules : un haut poids moléculaire réduit la diffusion et par conséquent la fixation de l'adsorbat .
- ✓ De sa solubilité: moins une substance est soluble, mieux elle est adsorbée.
- ✓ De sa concentration.

c) **Facteurs caractérisant l'adsorbant** : Un solide adsorbant est caractérisé par des propriétés physicochimiques, mécaniques et géométriques, les plus importantes sont les propriétés géométriques.

✓ **La surface spécifique**: La surface spécifique est une mesure essentielle de la capacité de sorption de l'adsorbant. Elle désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant. Une surface spécifique est d'autant plus grande, si l'adsorbant est plus divisé.

✓ **La structure de l'adsorbant** : L'adsorption d'une substance croît avec la diminution de la taille des particules et les dimensions des pores de l'adsorbant. Mais si le diamètre des pores est inférieur au diamètre des molécules, l'adsorption de ce composé sera négative, même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour le composé.

La distribution des tailles des pores joue un rôle important dans la cinétique globale du Processus d'adsorption.

✓ **La polarité** : Les solides polaires adsorbent préférentiellement les corps polaires, et les solides apolaires adsorbent les corps apolaires. L'affinité pour les substrats croît avec la masse moléculaire de l'adsorbant. L'adsorption est plus intense pour les corps qui ont relativement plus d'affinité pour le soluté que pour le solvant [77, 78].

## III.5 Adsorbants minéraux

Les adsorbants minéraux peuvent exister à l'état naturel ou synthétisés. On peut citer le gel de silice, l'argile, le charbon actif, les bentonites, la zéolithe, l'alumine activée.

## III.6 Les modèles d'adsorption

### III.6.1 Modèle d'isotherme d'adsorption

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude d'adsorption, elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté [ $Q_e = f(C_e)$ ] dans un solvant à une température donnée, nous citons ci-dessous les deux principaux types les plus adaptés sont les **modèles de Langmuir et de Freundlich** :

❖ **Capacité d'adsorption** : La capacité d'adsorption est la courbe liant, à une température fixée, la quantité de produit adsorbée par masse initiale d'adsorbant à la

concentration restant en phase fluide après équilibre d'adsorption, Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres aussi bien de l'adsorbat (taille des molécules, solubilité dans l'eau) que de l'adsorbant (surface spécifique, structure et type de particules). Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante : [79,80]

$$Q_e = (C_0 - C_e) \cdot V / m$$

**Avec :**

*Q<sub>e</sub>*: quantité du métal adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g) .

*C<sub>0</sub>*: concentration initial de l'adsorbat dans la phase liquide (mg/l).

*C<sub>e</sub>*: concentration de l'adsorbat dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l) .

*m* : masse de l'adsorbant (g) .

*V* : volume de la solution (l) .

**a) Le modèle de Langmuir :**

Dans cette étude, c'est le modèle de Langmuir qui décrit le mieux nos données expérimentales sur toute la gamme de concentrations. L'équation de Langmuir est fondée sur les hypothèses suivantes [81] :

- L'adsorption a lieu sur des sites spécifiques de l'adsorbant.
- Tous les sites d'adsorption de l'adsorbant sont indépendants et énergétiquement équivalents.
- Il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées sur des sites voisins.
- La surface de l'adsorbant est homogène.
- Une seule molécule s'adsorbe sur chaque site, formant ainsi une monocouche.
- L'adsorbant a une capacité finie vis-à-vis de l'adsorbat.

L'équation de Langmuir s'écrit :

$$Q_{eq} = \frac{Q_{max} K_L C_{eq}}{1 + K_L C_{eq}}$$

**Avec :**

*Q<sub>eq</sub>* : est la quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mmol.g<sup>-1</sup>) .

*Q<sub>max</sub>* : la capacité maximale d'adsorption (mmol.g<sup>-1</sup>) .

*K<sub>L</sub>* : la constante de Langmuir (L.mmol<sup>-1</sup>) .

*C<sub>eq</sub>* : la concentration du soluté à l'équilibre dans la solution (mmol.L<sup>-1</sup>)

La forme linéaire de l'équation de Langmuir est :

$$\frac{C_{eq}}{Q_{eq}} = \frac{C_{eq}}{Q_{max}} + \frac{1}{K_L \cdot Q_{max}}$$

En traçant  $\frac{C_{eq}}{Q_{eq}}$  en fonction de  $(C_{eq})$  on obtient une droite de pente  $\frac{1}{Q_{max}}$  et d'ordonnée à l'origine  $\frac{1}{K_L \cdot Q_{max}}$  ; cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre

l'équation  $Q_{max}$  et  $K_L$ .

#### b) Le modèle de Freundlich

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle ne repose sur aucune base théorique. Toutefois l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles [82].

Le modèle de Freundlich se présente sous la forme :

$$q_e = K_f (C_e)^{1/n_f}$$

Avec :

$q_e$  : Quantité adsorbée par gramme du solide (mg/g).

$C_e$  : Concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption (mg/l).

$K_f$  et  $\frac{1}{n_f}$  : constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné

vis à-vis d'un soluté donné.

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

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n_f} \ln C_e$$

En traçant  $\text{Ln } q_e$  en fonction de  $\text{Ln } C_e$ , on obtient une droite de pente  $\frac{1}{n_f}$  et d'ordonnée

à l'origine  $\text{Ln } K_f$ ; cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation  $n_f$  et  $K_f$ .

**Tableau III.2** : Modèles théoriques utilisés pour décrire les isothermes d'adsorption.

Modèles	Forme linéaire	Application
<p>Langmuir</p> $Q_{eq} = \frac{Q_{max} K_L C_{eq}}{1 + K_L C_{eq}}$	$\frac{C_{eq}}{Q_{eq}} = \frac{C_{eq}}{Q_{max}} + \frac{1}{K_L \cdot Q_{max}}$	<p>L'équation de Langmuir est valable pour une adsorption en monocouche sur une surface avec un nombre fini de site identique. Ce modèle ne prend en compte ni les empilements moléculaires ni les modifications des énergies d'interaction avec le taux de recouvrement.</p>
<p>Freundlich</p> $q_e = K_f (C_e)^{1/n_f}$	$\text{Ln } q_e = \text{Ln } K_f + \frac{1}{n_f} \text{Ln } C_e$	<p>L'équation de Freundlich est un modèle empirique basé sur l'adsorption sur des surfaces hétérogènes. Elle est utilisée dans le cas de formation possible d'une ou plusieurs monocouches d'adsorption sur la surface. De plus, les sites sont hétérogènes et ont des énergies de fixation différentes.</p>

L'allure de l'isotherme varie selon le couple adsorbat - adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption ont été classées par **GILES et COLL** en quatre types principaux (**Figure III.3**) :

- Les isothermes de Types **S** s'obtiennent lorsque les molécules du soluté ne s'accrochent au solide que par l'intermédiaire d'un seul groupement.
- Les isothermes de type **L** (dites de Langmuir) se rencontrent dans le cas où l'adsorption du solvant est faible et lorsque les molécules de l'adsorbat sont orientées à plat.
- Les isothermes de type **H** (haute affinité) s'obtiennent lorsqu'il y a chimisorption du soluté indiquant une forte affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant.
- Les isothermes de type **C** s'observent lorsqu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant [83].

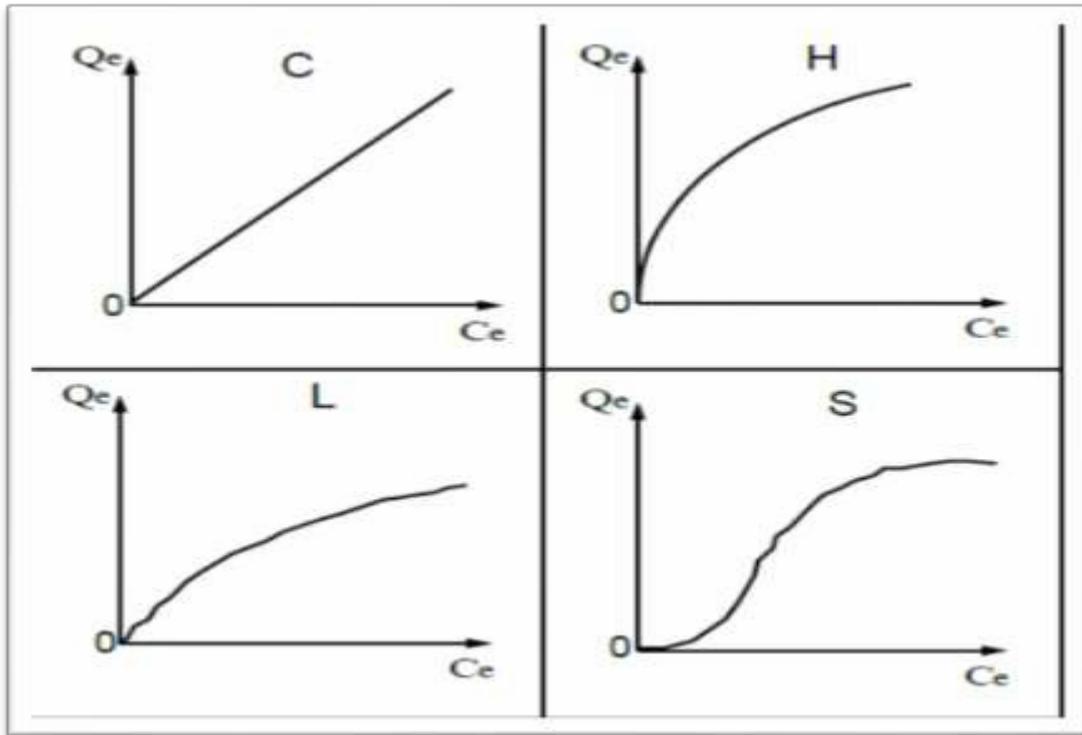


Figure III.3 : typologie des isothermes

**III.6.2 La cinétique d'adsorption :**

La cinétique d'adsorption est le second paramètre indicateur de la performance épuratoire d'un adsorbant. Elle permet d'estimer la quantité de polluants adsorbée en fonction du temps. La cinétique fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide. A l'instar des équilibres d'adsorption, la cinétique d'adsorption d'un matériau peut être modélisée. A cet effet, la littérature rapporte un certain nombre de modèles, tels que :

**Le modèle du premier ordre, le modèle cinétique d'ordre deux .**

**Cas général :**



$$\frac{-d [\text{Colorant}]}{dt} = K [\text{Colorant}]$$

**Avec :**

*n* : ordre global de la réaction .

$k$  : constante cinétique de la réaction .

$t$  : temps de traitement .

$[Colorant]$  : concentration du colorant à l'instant  $t$  .

**a) Réaction du première ordre par rapport à A :**



$$\left. \begin{aligned} V &= - \left( \frac{d[A]}{dt} \right) \\ V &= K [A]^1 \end{aligned} \right\} K [A] = - \left( \frac{d[A]}{dt} \right)$$

**Séparons les variables [A] et t :**

$$\frac{d[A]}{[A]} = - K dt$$

**Intégrons entre 0 et t :**

$$\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{[A]}{[A]_0} = K \int_0^t dt$$

$$\ln [A] - \ln [A]_0 = - kt$$

$$\frac{\ln [A]}{\ln [A]_0} = - kt$$

- ❖ La représentation graphique de la variation de :  $\frac{\ln [A]}{\ln [A]_0} = f(t)$  permettra de calculer la constante cinétique du 1er ordre.
- ❖ La constante **K** est déduite de la pente, et son unité est : [ **Temps<sup>-1</sup>** ]
- ❖ Pour une réaction **d'ordre 1**, le temps de demi-réaction est indépendant de la concentration initiale :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{K}$  .

**b) Réaction du deuxième ordre par rapport à A :**



$$\left. \begin{array}{l} V = - \left( \frac{d[A]}{dt} \right) \\ V = K [A]^2 \end{array} \right\} K [A]^2 = - \left( \frac{d[A]}{dt} \right)$$

**Séparons les variables [A] et t :**

$$\frac{d[A]}{[A]^2} = - K dt$$

**Intégrons entre 0 et t :**

$$\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{[A]}{[A]^2} = K \int_0^t dt$$

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + Kt$$

- ❖ La représentation graphique de la variation de  $\frac{1}{[A]} = f(t)$  permettra de calculer la constante cinétique d'ordre deux.
- ❖ La constante **K** est déduite de la pente et son unité est : **(concentration)<sup>-1</sup> (Temps)<sup>-1</sup>** .
- ❖ Pour une réaction **d'ordre 2** , le temps de demi-réaction est inversement proportionnel à la concentration initiale :  $t_{1/2} = \frac{1}{K[A]_0}$  .
- L'analyse des coefficients de régression (**R<sup>2</sup>**) relatifs aux modèles cinétique du **1<sup>er</sup>** et **2<sup>nd</sup>** ordres nous permet de sélectionner le modèle cinétique le plus proche de nos expériences. A titre d'exemple, nous comparons, dans notre étude, les coefficients **R<sup>2</sup>** obtenus pour les modèles de 1er et 2nd ordre dans les cas de traitement des colorants .

# Deuxième partie :

## Etude expérimentale



# CHAPITRE IV : Matériel et méthodes

## CHAPITRE IV

### MATERIEL ET METHODES

➤ Le but de ce chapitre est d'étudier l'influence des paramètres physico-chimiques tels que la concentration initiale du colorant, la masse de l'adsorbant, le pH de la solution, la vitesse d'agitation et la température la cinétique de l'adsorption du colorant (RC). L'application de différents modèles pour la description des résultats expérimentaux des cinétiques et des isothermes de l'adsorption permet de préciser la validité et sur toutes les limites d'application des modèles afin de générer une base de données de l'adsorption en termes de vitesse et de capacités de l'adsorption. Aussi, cette modélisation permet d'identifier les mécanismes de l'adsorption du colorant (Rouge Congo) par l'adsorbant la silice.

➤ Dans ce travail, on s'est intéressé à l'élimination de colorant rouge congo.

#### IV.1 Matériel

Dans ce qui suit, nous présenterons le matériel qui sera utilisé dans la partie expérimentale

**Tableau IV.1 :** Verreries et instruments, Produits chimiques et Appareillages utilisé en expérimentation.

Verreries et instruments	Produits chimiques	Appareillages
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tubes à essai.</li><li>• Pipette graduée.</li><li>• pro- pipette.</li><li>• Béchers de ( 50, 100, 250 , 1000 ml ).</li><li>• Eprouvettes ( 50, 100, 500 ml).</li><li>• Fiole jaugée de (100, 250 ,1000 ml ).</li><li>• Pissette.</li><li>• Entonnoir., Creusets.</li><li>• Barreau magnétique .</li><li>• Spatule., Chronomètre.</li><li>• picnomètres .</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• L'acide chlorhydrique ( HCl de 0.1N) (<b>Biochem chemopharma</b>) .</li><li>• Hydroxide de sodium ( NaOH de 0.1N)(<b>Biochem chemopharma</b>) .</li><li>• Le colorant ( Rouge congo) (<b>Biochem chemopharma</b>).</li><li>• Silice .</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Etuve( <b>Mammert 5à 300°C V=53l</b>)</li><li>• La balance analytique ( <b>Ker plage 220 g/precision 0.0001</b>)</li><li>• Plaque chauffante (<b>Heidaph Madele RZR</b>)</li><li>• Agitateure mécanique (<b>Heidaph Madele RZR</b>)</li><li>• pH-mètre (<b>OHRUS STARRTER 2100</b>)</li><li>• Thermometer .</li><li>• Spectrophotomètre UV-visible(<b>Opizen 3220 UV</b>)</li><li>• Jar test(<b>wise stir</b>)</li></ul>

## IV. 2 Méthodologie d'analyse de colorant étudié : Rouge Congo (RC)

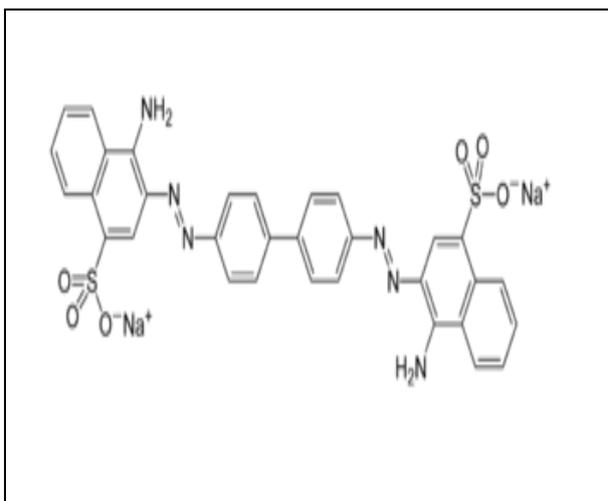
### a) Présentation de colorant

Dans le cadre de cette étude nous nous sommes intéressés plus particulièrement à un colorant appelé : le rouge congo .

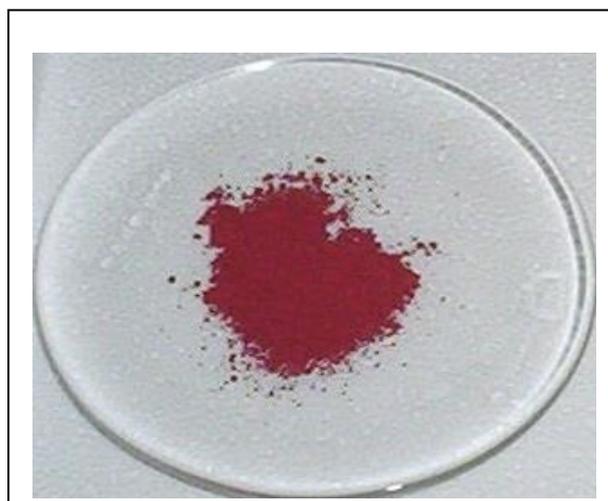
Leur solubilité élevée dans l'eau, l'analyse simple et rapide par spectrophotométrie dans le visible.

Le **RC** est un colorant appartenant à la famille des colorants azoïques .

### b) Formule moléculaire brute : $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$ .



**Figure IV.1** : Formule moléculaire développée de rouge congo poudre



**Figure IV.2** : Colorant rouge congo poudre

## IV.3 L'adsorbant (la silice activée )

La **silice** est un composé chimique dans la proportion d'un atome de silicium pour deux atomes d'oxygène et dont la forme naturelle du **dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>)** , peut se dissoudre lentement dans l'eau , qui entre dans la composition de nombreux minéraux.

La silice existe à l'état libre sous différentes formes **crystallines** ou **amorphes** et à l'état combiné dans les **silicates**, les groupes SiO<sub>2</sub> étant alors liés à d'autres atomes (**Al** : aluminium, **Fe** : fer, **Mg** : magnésium, **Ca** : calcium, **Na** : sodium, **K** : potassium, etc.).



Figure IV.3: L'adsorbant (la silice)

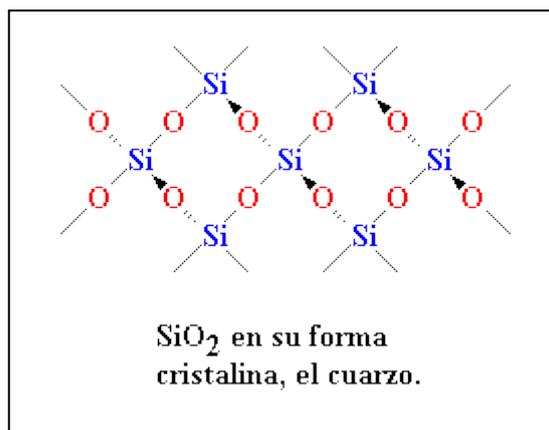


Figure IV.4: Formule moléculaire développée de la silice

Tableau IV.2 : principales caractéristiques physico-chimique de la silice.

grade	high-purity grade (9385)
InChI Key	VYPSYNLAJGMNEJ-UHFFFAOYSA-N
form	Poudre
mfr. no.	EMD Millipore
Taille des particules	230-400 mesh
Taille des pores	~0.8 cm <sup>3</sup> /g pore volume
Surface spécifique	550 m <sup>2</sup> /g

## IV.4 La spectrophotométrie UV-Visible

### a) Principe

Le spectrophotomètre que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques. Les analyses sont effectuées sur un spectrophotomètre par un ordinateur piloté d'un logiciel. Les longueurs d'onde maximales sont obtenues directement par balayage automatique entre 200 et 800 nm. Des cuves en quartz de 1cm de trajet optique sont utilisées. Des échantillons témoins sans adsorbants sont préparés afin de vérifier qu'il n'y a aucune interférence au cours du temps. Les mesures de concentrations résiduelles ont été obtenues par interpolation à l'aide des courbes d'étalonnage. Comme être est présente d'une **figure (IV.5)**.



**Figure IV.5:** Spectrophotomètre UV Visible.

Le domaine spectral de l'UV-Visible est largement exploité en analyse quantitative. Les mesures reposent sur la loi de Beer-Lambert qui relie, moyennant certaines conditions, l'absorption de la lumière par un composé à sa concentration.

#### **b) Loi de Beer-Lambert**

Lorsqu'un faisceau de rayonnement est monochromatique incident d'intensité  $I_0$  traverse une substance colorée. On observe une absorption d'énergie de sorte que l'intensité du faisceau émergent  $I$  est plus faible. Cette absorption monochromatique répond à la loi de Beer-Lambert qui s'exprime sous la forme [84] :

$$A = Lg(I_0 / I) = k \cdot c \cdot l$$

**Avec:**

**A** : Absorbance.

**$I_0$**  : Intensité initiale de la lumière traversée.

**I** : Intensité du de la lumière transmise .

**K** : Coefficient spécifique d'absorption massique dépendant du composé et de la longueur d'onde considérée ( $L \cdot cm^{-1} \cdot g^{-1}$ ) .

$c$  : Concentration massique du composé dosé (g/L) .

$L$  : Epaisseur de la cuve (cm) .

- L'intensité des radiation transmises est donnée par **la loi de Beer \_ lambert**

$$A = \epsilon l C$$

Avec:

$C = c / M$  : Concentration de l'espèce absorbante (g/L)

$L$  : Epaisseur de la cuve (cm)

$M$  : Masse molaire (g.mol<sup>-1</sup>)

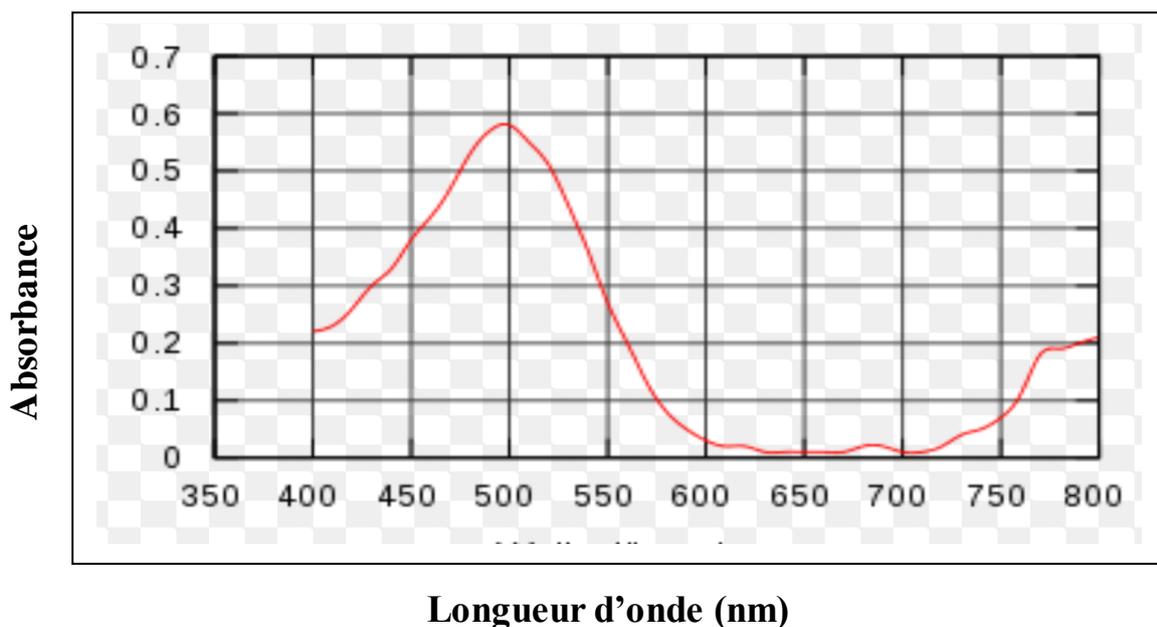
$\epsilon = M \cdot k$  : Coefficient spécifique d'absorbance molaire (L.cm<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>)

Le coefficient

$\epsilon$  est un coefficient intrinsèque du composé et dépend de la longueur d'onde, de la température et du solvant. Des écarts par rapports à cette loi peuvent se produire, à cause des interactions moléculaires, des formations de complexes, ou encore à une insuffisance de résolution ou à des problèmes instrumentaux [84,85].

#### IV.5 Le spectre d'absorption du colorant

Le spectre d'absorption de la molécule du colorant rouge congo présente un maximum d'absorption à  $\lambda = 500 \text{ nm}$ , comme le montre **la figure (IV. 6)**.



**Figure IV.6** : Spectre d'absorption du colorant rouge congo dans le domaine du visible.

D'après la figure IV.6 , on observe que  $\lambda_{\max}$  de la couleur RC est de **500 nm** . Sur la base de ce résultat , on a établi la courbe d'étalonnage de l'appareil avec la couleur utilisée afin de déterminer les domaines de concentration pour les quelles la loi de Beer\_lambert est respectée .

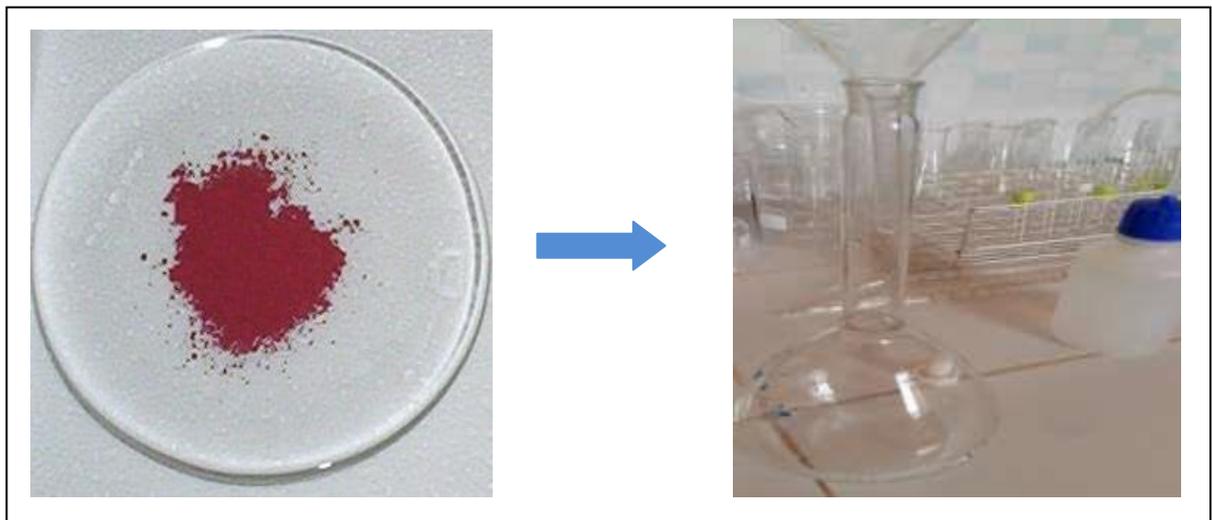
#### IV.6 La courbe d'étalonnage :

La courbe d'étalonnage est établie pour une gamme de concentration allant de 30 mg/L de RC.

##### a) Préparation de la solution mère:

Notre solution mère de rouge congo utilisée durant toutes les expériences et dont la concentration est de 30mg/l a été préparé à partir de rouge congo poudre  $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$  .

- la masse qu'on doit peser est égale à **30 mg/l** de de rouge congo poudre.
- Cette quantité de (**30 mg/l de  $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$** ) 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 rempli de l'eau distillé jusqu'à trait de jauge.



**Figure IV.7** : La préparation de solution mère de rouge congo.

## b) Préparation des solutions diluées (solutions filles de rouge congo) :

A partir de la solution mère de notre expérience ( $C = 30 \text{ mg/l}$ ), on a préparé 8 solutions filles de concentration **0.5 , 1 , 2 , 3 , 5 , 10 , 20 , et 30 mg/l**, et pour réaliser cela, on a procédé dans des petite fioles ( picnomètres ) de **10 ml** comme suit :

$$C_1 = 30 \text{mg /l .}$$

$$C_2 = [0.5 ; 1 ; 2 ; 3 ; 5 ; 10 ; 20 ; 30] \text{ mg /l .}$$

$$V_1 = ?$$

$$V_2 = 10 \text{ ml .}$$

Avec :

$C_1$  = concentration de solution mère ( rouge congo (mg/l) ) .

$V_1$  = volume à prélever de la solution mère pour préparer les solution filles de  $C_2$  connus .

$C_2$  = concentration des solutions filles connus [ 0.5 ; 1 ; 2 ; 3 ; 5 ; 10 ; 20 ; 30 (mg /l) ] .

$V_2$  = volume de solution fille ( volume de fiole 10 ml ) .



**Figure IV.8:** La préparation de solution fille de rouge congo.

❖ A partir de la loi de dilution  $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$  , on a calculé les volumes nécessaires dont on doit prélever à partir de la solution mère de rouge congo ( $C = 30 \text{ mg/l}$ ).

❖ On calcule  $V_1$  ; 
$$V_1 = \frac{C_2 \cdot V_2}{C_1} .$$

**Tableau IV.3:** les Valeurs de de la solution mère .

<b>C<sub>2</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
<b>V<sub>1</sub></b> <b>(ml)</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>	<b>1</b>	<b>1.66</b>	<b>3.33</b>	<b>6.66</b>	<b>10</b>

❖ On passe les solutions filles dans UV.visible et on lu les absorbances pour chaque solution

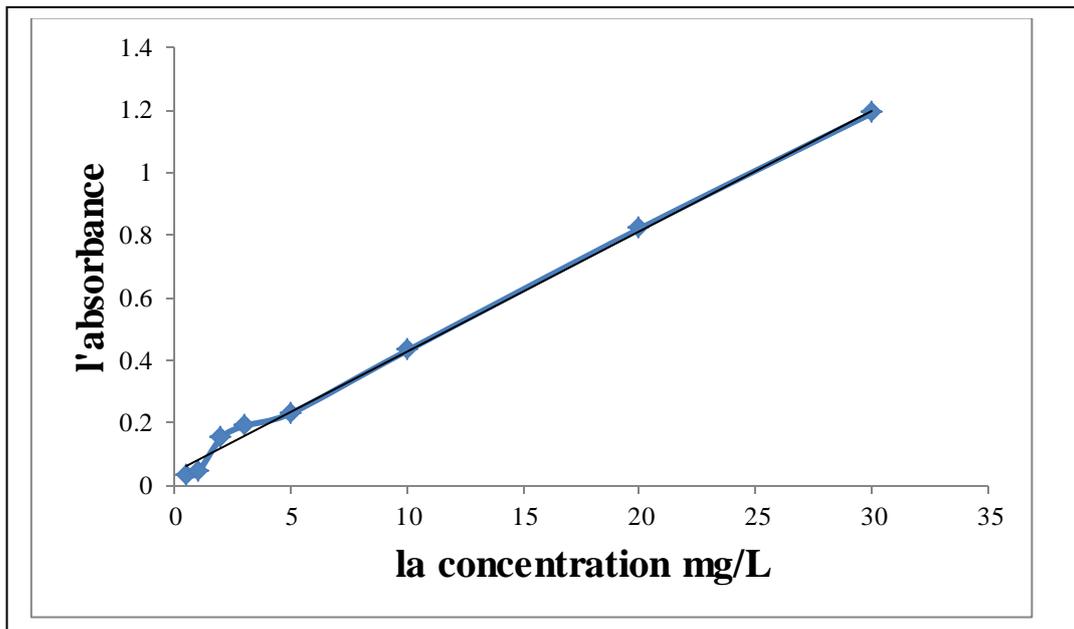
### c) Courbe d'étalonnage :

Pour établir les courbes d'étalonnage, le domaine des concentrations en colorants variait entre **0.5** et **30 mg/L** pour le rouge congo , des valeurs absorbance en fonction de la Concentration sont présentés respectivement sur le **Tableau IV.3 et 3** et sur la **Figure IV.9** .

**Tableau IV.4:** Valeurs d'absorbance = f (C) à  $\lambda_{max} = 500 \text{ nm}$  pour le rouge congo.

<b>C<sub>2</sub> (mg/L)</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
<b>Absorbance</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.15</b>	<b>0.19</b>	<b>0.23</b>	<b>0.43</b>	<b>0.82</b>	<b>1.19</b>

❖ La droite d'étalonnage donnant la concentration en fonction de l'absorbance (**Figure IV.9**)



La courbe d'étalonnage :  $Abs = 0,038C + 0,039$   $R^2 = 0,996$

**Figure IV.9 :** Courbe d'étalonnage du spectrophotomètre avec le rouge congo .

La courbe est linéaire sur l'intervalle de concentration choisis , donc la loi de beer-lamber est vérifiée dans ce domaine de concentration :

$$A = \log(I_0/I) = \varepsilon l C$$

$$\text{A } t = 0 \quad : \quad A_0 = \varepsilon l C_0$$

$$\text{Au temps } t \quad : \quad A = \varepsilon l C$$

# CHAPITRE V :

## Résultats et discussion

## CHAPITRE V

# RESULTATS ET DISCUSSION

## V.1 INFLUENCE DE LA TENEUR INITIALE EN ADSORBAT

L'effet de la concentration (ou charge initiale du colorant sur les performances de l'adsorption de Rouge Congo sur la silice activée a été étudié en variant la concentration initiale de **5 à 100 mg/l** respectivement, en présence de **0.15 g** de silice dans les solutions. Et un temps de contact de **120 min.** avec **pH=7,4** de solution mère( RC). Le volume réactionnel étant de 500 ml

Sur **la figure V.1** , nous avons reporté les résultats obtenus en illustrant les évolutions temporelles de la concentration en colorant sont illustrées. Et sur **la figure V.2** nous avons reportés les rendements respectifs obtenus

Des observations sommaires peuvent être tirées des figures **V.1** et **V.2**

- Le système proposé a savoir la technique de l'adsorption sur Silice Activée S.A est probant , en effet nous pouvons constater que quel que soit la charge en colorant utilisée on obtient des valeurs de rendements plus qu'intéressants.
- Des rendements d'éliminations appréciables sont obtenus des les premiers temps à savoir entre trois et dix minutes de traitement ; ceci démontre une forte affinité entre le support étudié et le Rouge Congo
- On observe que dans le domaine des charges étudiées que plus la charge est prononcée plus le rendement de l'adsorption est meilleur ce qui peut entrevoir des isothermes de type C selon la classification de Gille

Nous avons reportés sur **le tableau V.1** les meilleurs de taux de décolorations obtenus à chaque concentration en rouge Congo. Les résultats montrent une décoloration supérieure à **90%** est obtenu pour l'ensemble des concentrations traitées. Nous nous notons également que le temps nécessaire pour atteindre ces valeurs optima des rendements d'élimination se réduise avec les teneurs croissantes en colorant. En effet on a besoin de quelques minutes (environ 3 minutes) pour atteindre un rendement de plus 98 % d'abattement dans le cas d'une

charge de 50 mg/L. cette valeur est à comparer à celle obtenue avec la charge de 5 mg/L ou le meilleur rendement (R = 82 %) n'est obtenu au bout de 10 minutes de traitement.

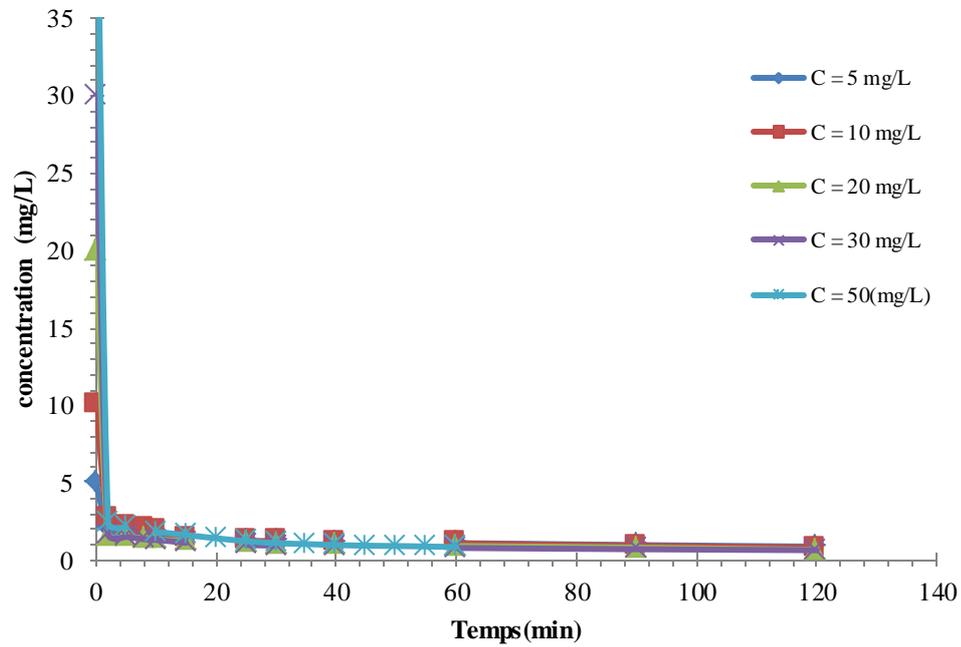


Figure V.1 :Evolution des cinétiques de décoloration en fonction de la charge en colorants.

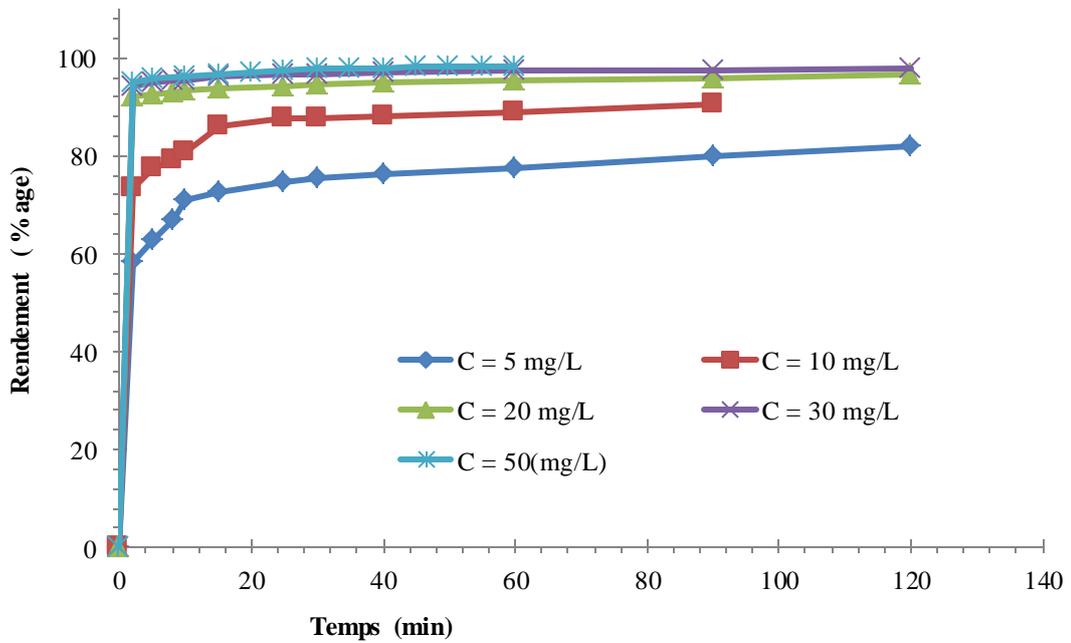
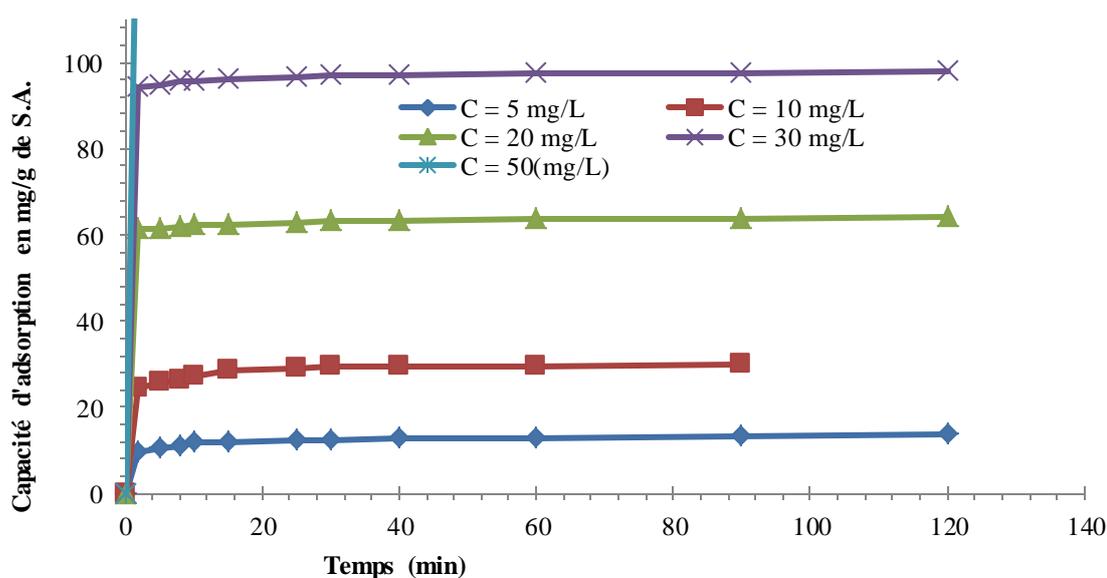


Figure V.2 : Influence de la charge en colorants sur le rendement de décoloration.

**Tableau V.1 :** Rendement de dégradation du RC par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à t=120min (**Concentration**).

[RC] mg /L	Rendement(%)
5	82.08
10	90.42
20	96.56
30	97. 87
50	<b>98.25</b>

Sur la figure suivante nous avons reporter les valeurs des capacités d'adsorption de rouge congo sur la silice activée calculées d'après la figure précédente.

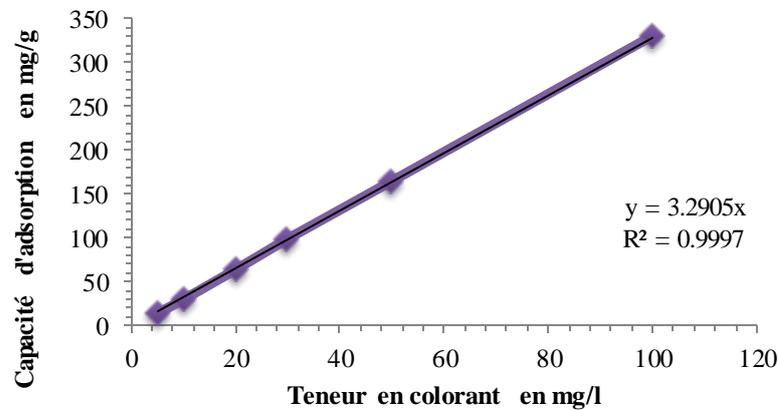


**Figure V.3 :** Influence de la charge en colorant sur la capacité d'adsorption Q .

Les résultats confirment et amplifient les constatations déjà faites à savoir que la capacité d'adsorption augmente très sensiblement avec la charge du polluant confirmant ainsi la forte affinité existante entre le couple adsorbat-adsorbant.

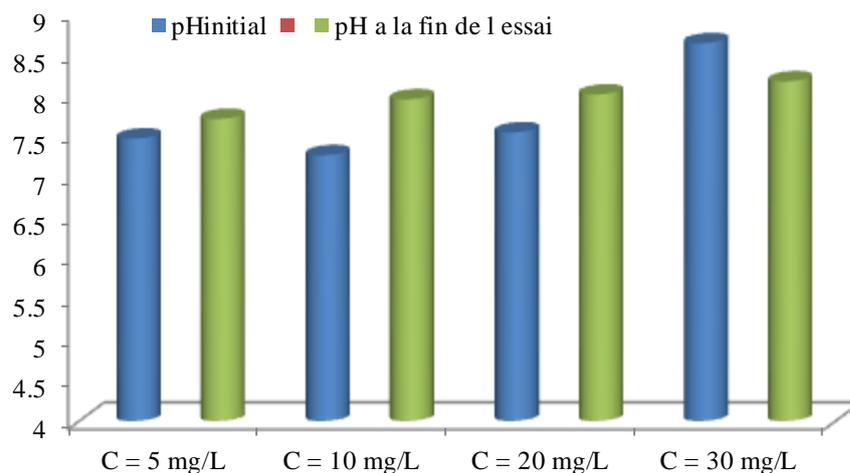
D'ailleurs pour une meilleure visibilité nous avons porté les capacités d'adsorptions mesurées à l'équilibre en fonction de la charge en colorant et nous obtenons une droite avec un coefficient de corrélation de 0,997 . (**Figure V.4**) et nous pouvons affirmer que dans les conditions

opératoires que nous avons suivies, le système utilisé est probant et que les capacités ultimes ne sont pas atteintes et que le système pourrait accepter des charges supérieures.



**Figure V.4 :** Evolution des capacités d'adsorption finales en fonction de la charge initiale en colorants.

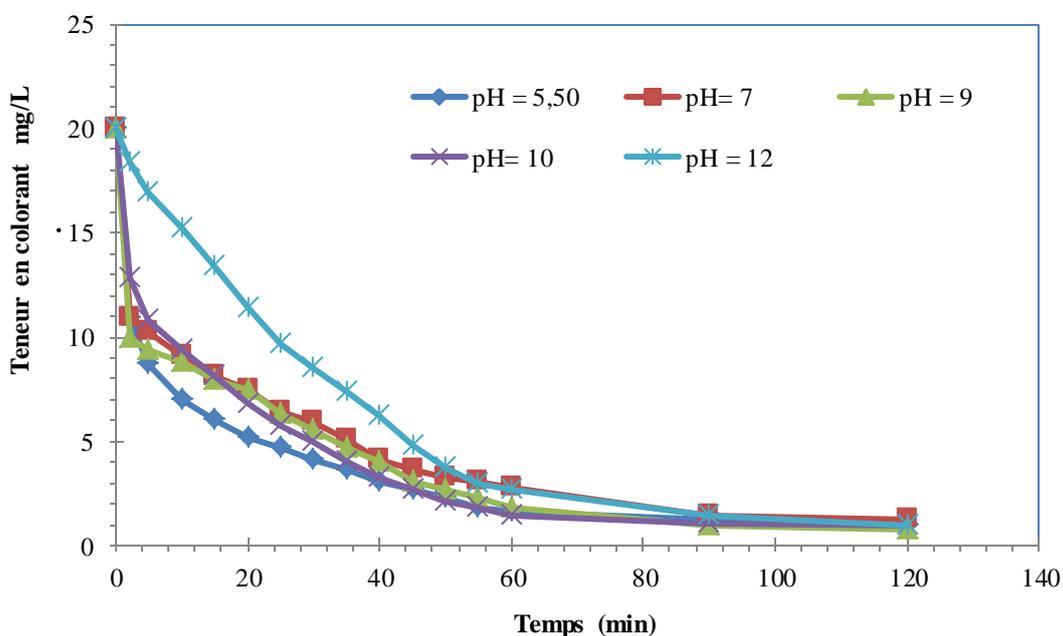
A la fin des essais nous sommes intéressés à mesurer les valeurs des pH à la fin des essais et nous les avons comparés avec ceux des pH initiaux des solutions à traiter (Figure V.5). Nous pouvons constater que dans tous les cas il y a eu une légère basicité de la solution à traiter sauf dans le cas de la charge correspondante à 30 mg/l où le pH final tend vers la valeur de 8,17 valeur qui correspondrait au pH d'équilibre adsorbant-adsorbé.



**Figure V.5 :** les pH initiaux et pH finaux des solutions

## V.2 Influence de pH initial sur l'adsorption

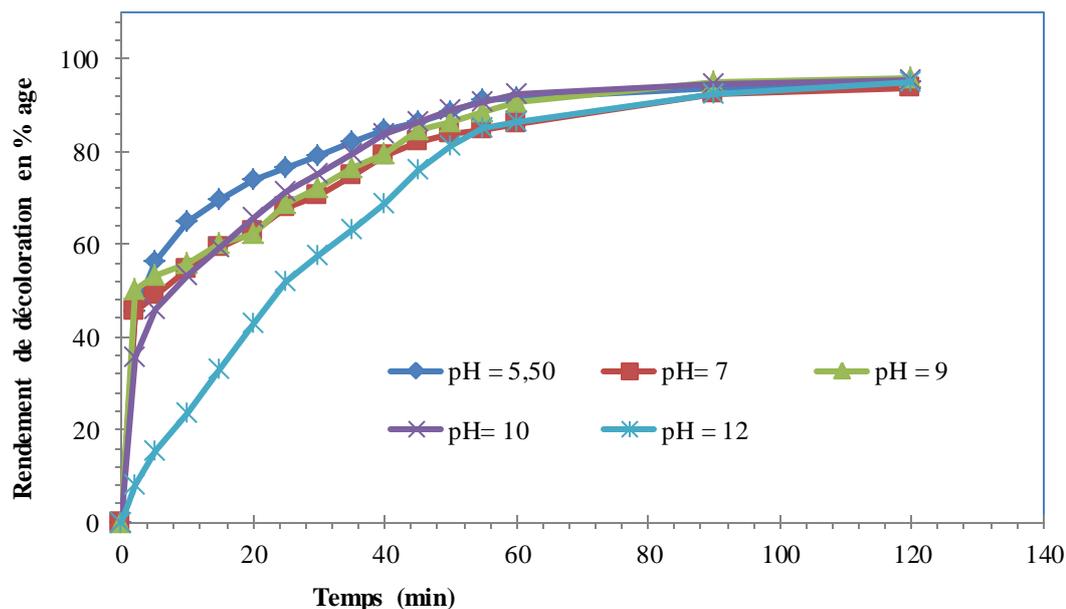
Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption, du fait qu'il peut influencer à la fois la structure d'adsorbant et d'adsorbât ainsi que le mécanisme d'adsorption, nous avons étudié l'efficacité d'adsorption de colorant de pH différents (5.5 , 7 , 9 , 10, et 12) à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique HCl (0,1N) ou de la soude NaOH (0,1N) selon le pH voulu. Sous ces conditions de pH, une masse de **0.15 g** de l'adsorbant a été agitée dans **500mL** de la solution colorée à **20 mg/L** et un temps décontract de **120min**. Les résultats obtenus lors de ces essais, sont présentés sur la **figure V.6**.



**Figure V.6 :** Influence du pH sur la cinétique d'adsorption du RC sur Silice activée.

Les résultats obtenus montrent que l'effet du pH sur l'évolution des cinétiques est plus palpable durant la première exponentielle des courbes et dans la deuxième phase cette différence va s'estomper pour que la variation des concentrations résiduelles de colorant R.C est relativement faible. La décoloration est donc peu influencée par la variation du pH.

Les résultats précédents sont mieux visualisés en traçant les courbes représentant les rendements d'abattement du rouge Congo en fonction du temps ( **Figure V.7**)

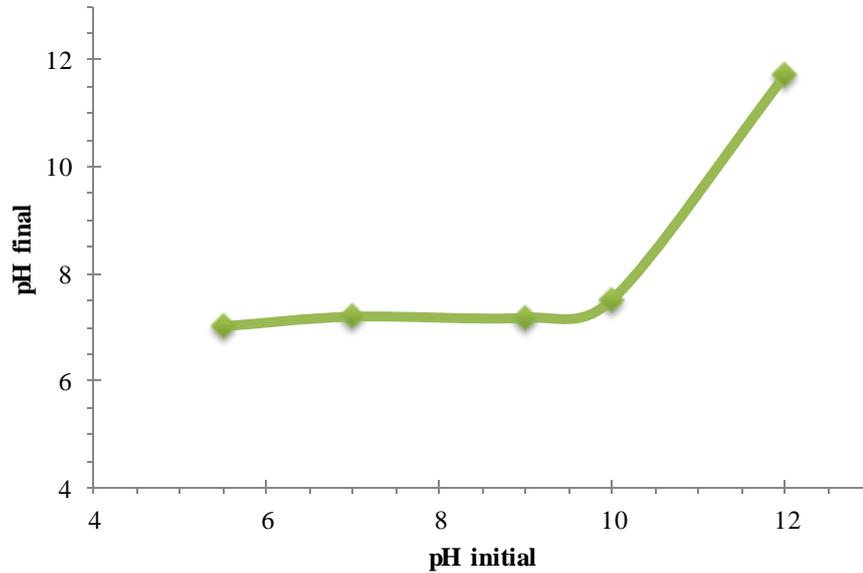


**Figure V.7 :** Evolution de rendement de la dégradation du RC pour les différents pH en fonction du temps par le procédé de dégradation.

Les résultats montrent une décoloration supérieure à **95%** ( Voir **Tableau V.2**) est obtenu pour l'ensemble des pH utilisés néanmoins nous constatons que les rendements les plus élevés sont atteints plus rapidement dans le cas des pH acides . Ceci nous emmène à recommander que les essais de fassent à des **pH** .

**Tableau V.2 :** Rendement de dégradation du RC par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à t=120min (**pH**)

<b>pH</b>	<b>Rendement(%)</b>
<b>5.5</b>	95
<b>7</b>	93.64
<b>9</b>	<b>95.93</b>
<b>10</b>	95.31
<b>12</b>	95



**Figure V.8 :** Evolution du pH final en fonction du pH initial de la solution.

Sur la **figure V.8** Nous avons reporté les valeurs des pH finaux des solutions à traiter selon leur pH initiaux, Nous pouvons constater que le système arrive à s'équilibrer quel que soit les valeurs des pH appliqués dans la zone de pH 5 à pH 10 par contre à des valeurs de pH 12 ; la forte concentration en ions  $\text{OH}^-$  rend impossible cet équilibre autour de 7.6

### V.3 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

L'influence de la température a été étudiée avec des solutions de colorants (**500 ml**), de concentrations égales à **20 mg/l**, placées sur un agitateur (jar test) à pour garder la température étudiée constante. On ajoute l'adsorbant (**0,15 g/l**) et on agite à une vitesse égale à **250 tr/min**. On a étudié l'adsorption aux températures suivantes: **0**, **10**, **15**, **25**, **35**, **45**, et **60 °C**.

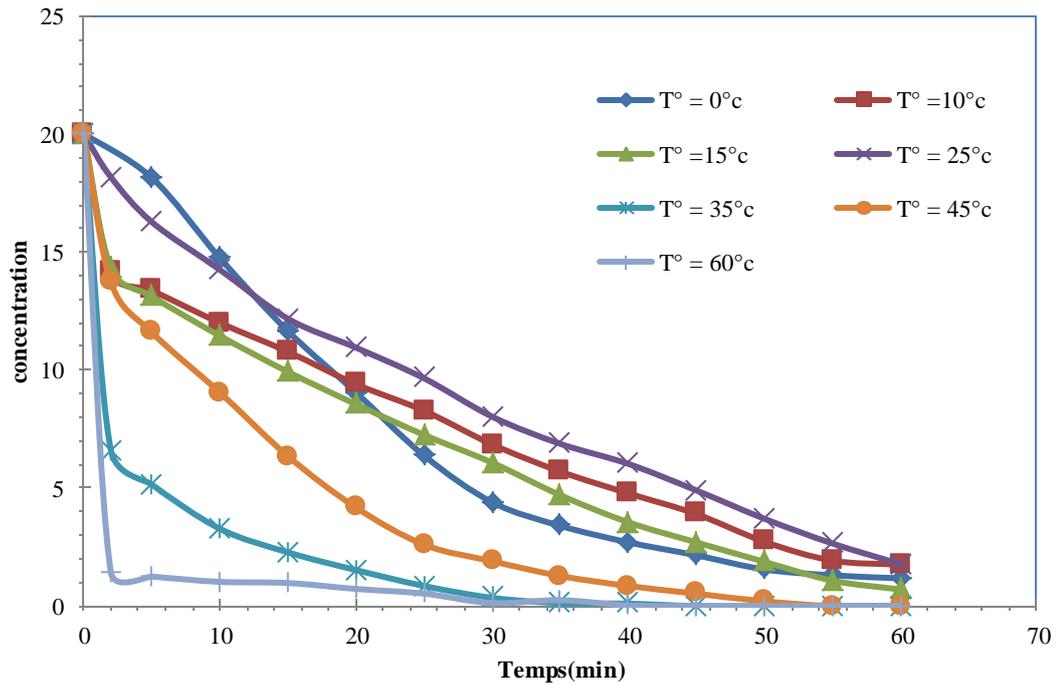


Figure V.9 : Influence de la température sur la cinétique de la décoloration.

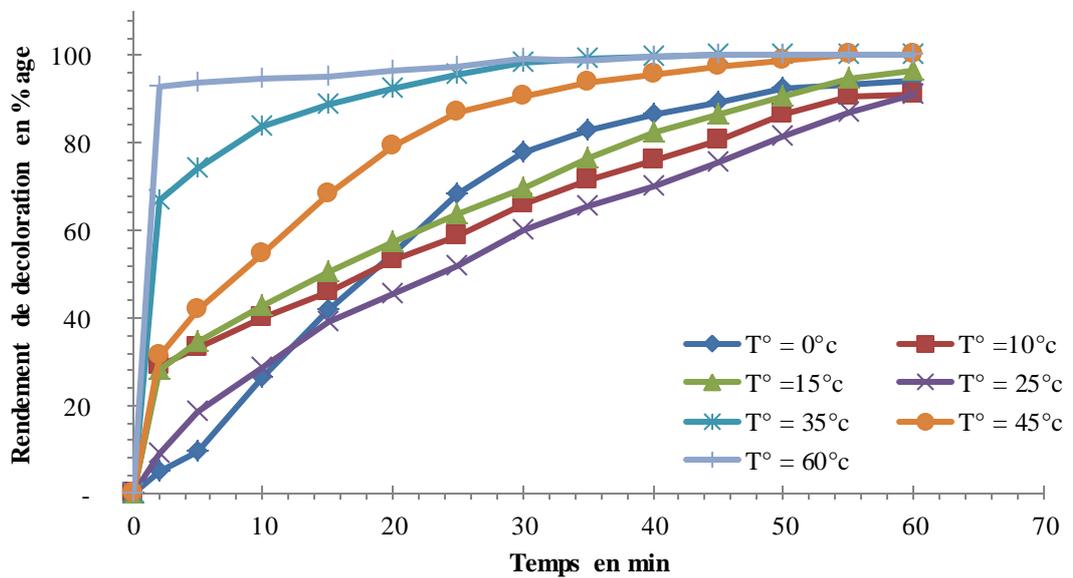


Figure V.10 : Influence de la température sur le rendement de décoloration.

D'après les résultats mentionnés dans les **figures V.9** et **V.10.**, on remarque une diminution très importante de concentration en RC jusqu'à les 30 minutes et même des fortes abattements enregistrés dans la cas où la température est 60°C ou juste 5 minutes suffisent pour avoir un rendement de 90 %

Après les 40 minutes, on constate un fléchissement des vitesses de dégradation pour se stabiliser vers une heure de traitement pour les cas les moins favorables, cette stabilité est traduite par une saturation d'adsorption de la silice.

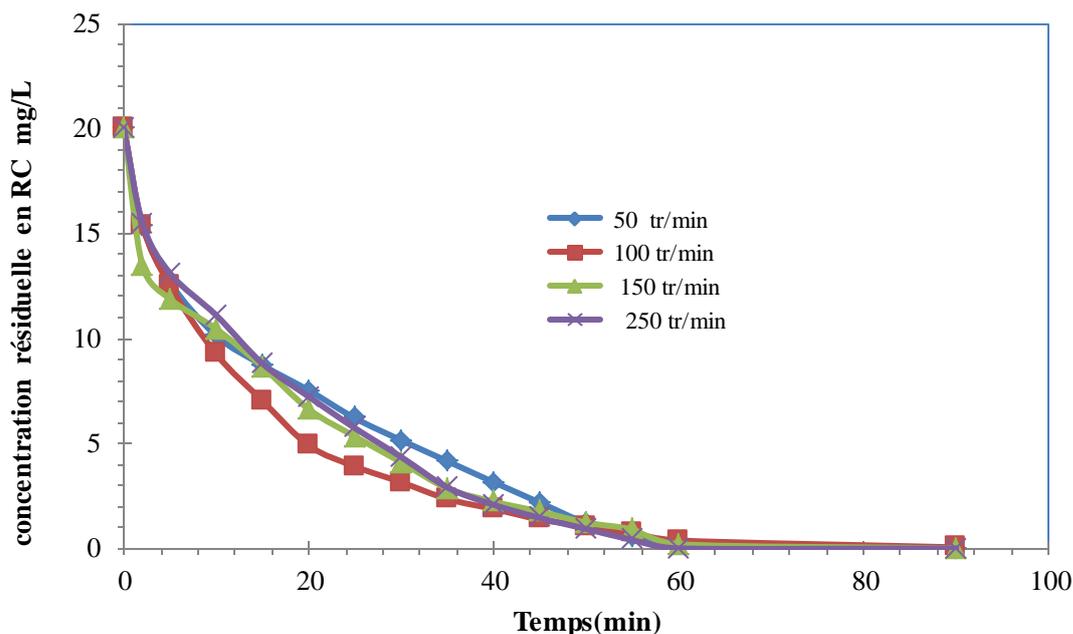
Les résultats montrent une décoloration de près à **92%** est obtenu pour l'ensemble des concentrations ( voir **tableau V.3**).

**Tableau V.3** : Rendement de dégradation du RC par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à **t=60min (température)**

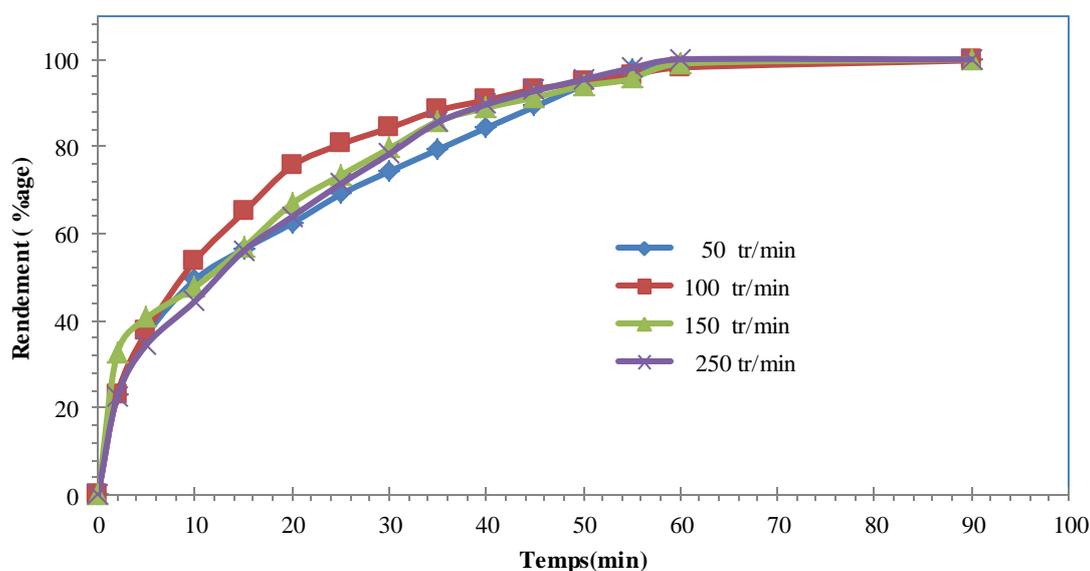
T°	Rendement(%)
<b>0 (avec glace fondante)</b>	94.13
<b>10</b>	91.25
<b>15</b>	96.50
<b>25</b>	91.13
<b>35</b>	99
<b>45</b>	98
<b>60</b>	<b>100</b>

### V.4 INFLUENCE DE LA VITESSE D'AGITATION

L'expérience a été réalisée comme précédemment, on mélange **0,15 g/l** d'adsorbant de silice avec des solutions du colorant de concentration **20 mg/l**, en faisant varier la vitesse d'agitation de **50 , 100 , 150** et **250 tr/min** , dans les mêmes conditions opératoires.



**Figure V.11 :** Influence de la vitesse d'agitation sur la cinétique d'adsorption du Rouge Congo sur Silice Activée.



**Figure V.12 :** Influence de la vitesse d'agitation sur le rendement de décoloration du RG sur Silice Activée.

Les résultats obtenus sont montrés sur les **figures V.11** et **V.12** où il a été constaté que la capacité d'élimination la plus élevée a eu lieu pour une valeur de vitesse optimale égale à **250 tr/min**. Ceci peut être expliqué par le fait qu'à cette valeur, probablement une bonne résultat pour l'agitation ; contrairement aux cas des faibles vitesses où la diffusion est insuffisante ce qui entraîne une adsorption faible. Par contre d'un point de vue cinétique c est la vitesse de

100 trpm qui présente les résultats les plus intéressantes. Ceci est corroboré par les courbes de la figure V.12 ou la courbe représentant 100 rpm se détache bien des autres courbes réalisées à des températures différentes.

Les résultats nous révèlent une décoloration supérieure à 98% est lieu pour l'ensemble des concentrations..

**Tableau V.4 :** Rendement de dégradation du RC par le procédé d'adsorption en fonction de concentration à t=60min (l'agitation)

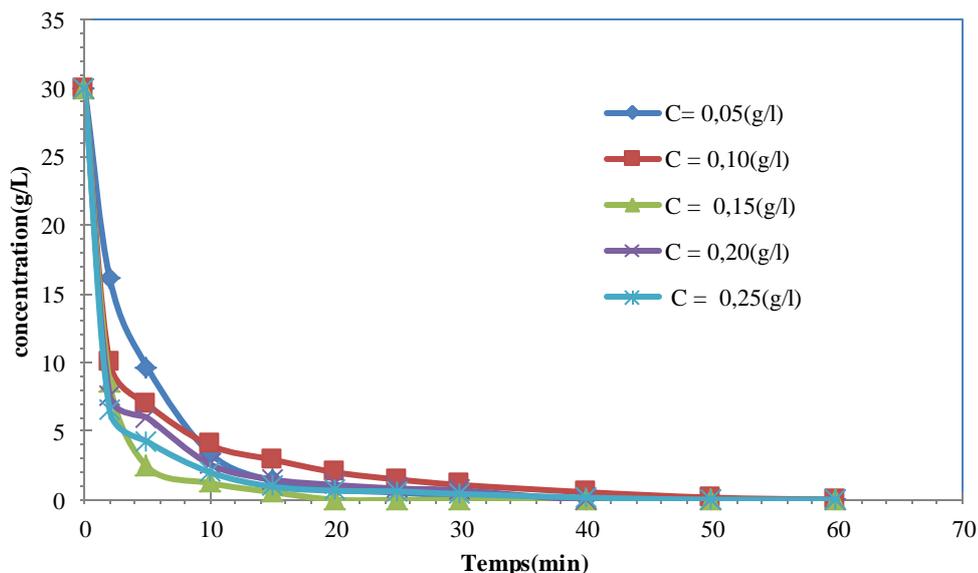
tr/min	Rendement(%)
50	98.88
100	98.13
150	99.00
250	<b>99.99</b>

### V. 5 Influence de la charge en silice

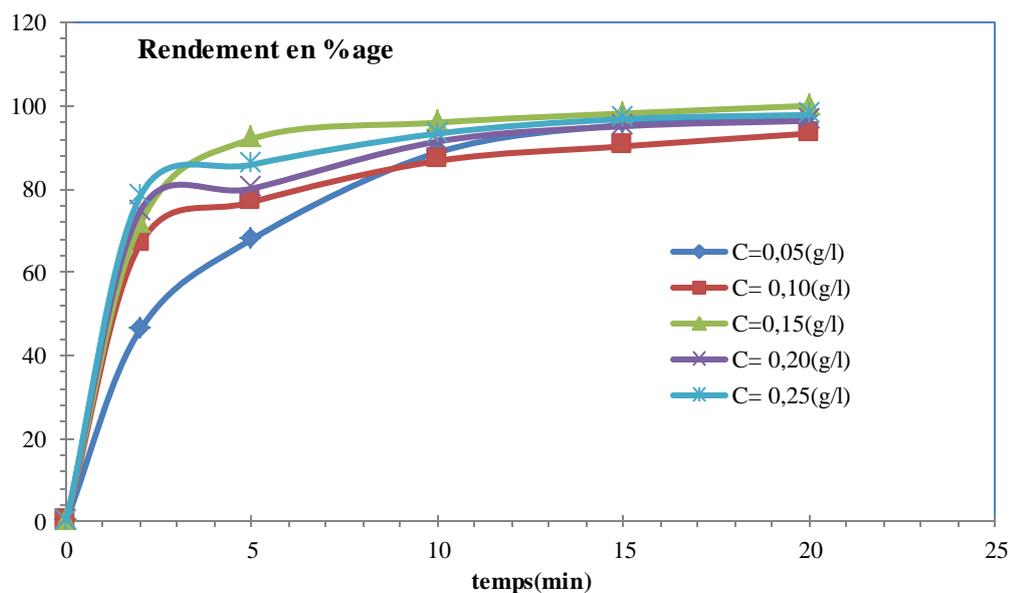
Dans ce qui suit, nous nous sommes intéressés à l'étude l'effet de la charge en silice activée sur la cinétique de la décoloration en Rouge Congo. Pour cela nous avons appliqué les conditions opératoires suivantes :C(silice) = 0,05 ; 0,10 ; 0,15 ; 0,20 ; 0,25 (g/L), la concentration en Rouge Congo 30 mg/L, Température 22°C, Volume réactionnel 500 mg/L.

Il est juste à rappeler que la gamme des teneurs en silice étudiée a été choisie en tenant compte de la bibliographie.

Les résultats obtenus sont représentés sur les figures V.13 et V.14 concernant les cinétiques de décoloration et les rendements correspondants



**Figure V.13 :** Influence de la teneur en silice activée sur les cinétiques de décoloration.

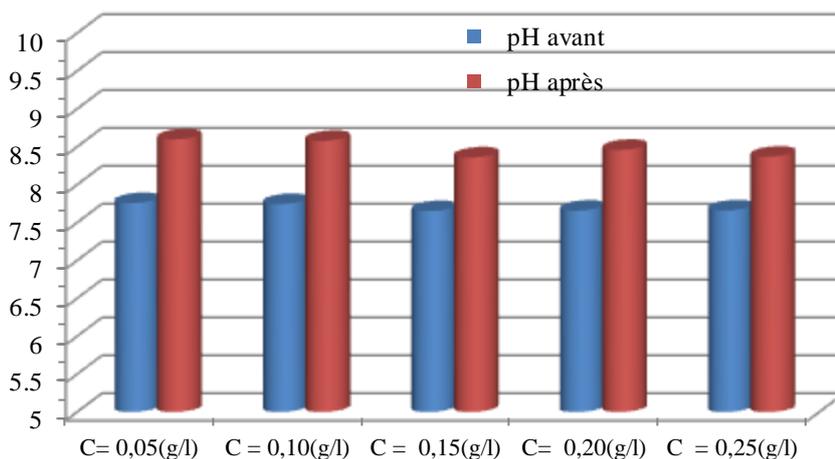


**Figure V.14 :** Influence de la teneur en silice activée sur les rendements de décoloration des solutions de Rouge Congo

Des figures précédentes, nous pouvons affirmer que quelques minutes suffisent et ce pour les différentes teneurs pour obtenir des rendements de décoloration assez appréciables et qu'au bout de 20 minutes de traitement des rendements de près ou dépassant les 90 %. Mais toutefois, on observe quoique les valeurs des rendements obtenus à la fin des essais se rapprochent la cinétique pour l'essai correspondant à une teneur en silice activée de 0,15 g/L.

C'est cette valeur qui a été retenue pour les essais effectués. Juste pour rappeler chronologiquement c'est cette manipulation qui a été la première.

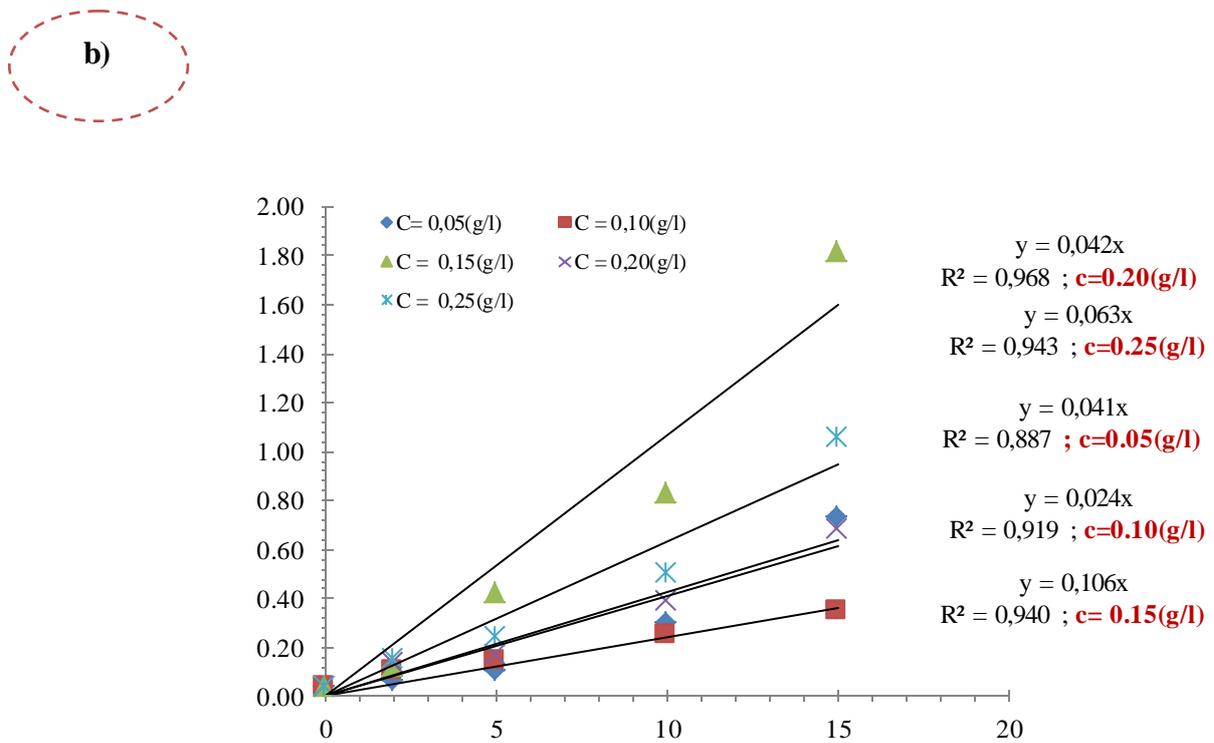
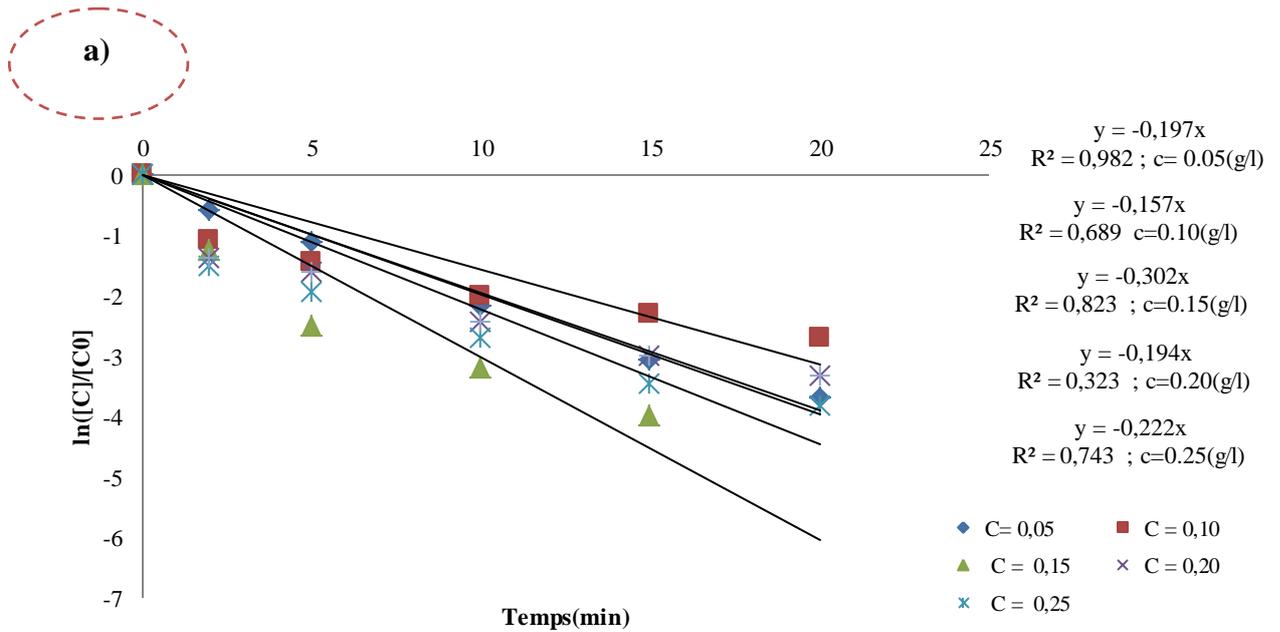
De même nous nous intéressons toujours à mesurer les valeurs des pH à la fin des essais et nous les comparons aux valeurs des pH Initiaux des solutions avant les essais ( Voir **Figure V.15**) Dans tous les essais on note une légère basification de nos systèmes



**Figure V. 15 :** Les pH avant et à la fin des essais de décoloration.

Sur les figures suivantes, nous avons reportés les valeurs calculées et mesurées concernant les modèles du premier ou deuxième ordre afin de répondre à la question de quel ordre la cinétique de notre système suit,

Les Coefficients des corrélations ainsi que les constantes de vitesse sont reportées sur le **Tableau V. 5** nous pouvons observer que les meilleurs  $R^2$  sont obtenus pour le modèle du pseudo deuxième ordre et ce pour tout les essais effectués ceci corrobore les résultats obtenus par d'autres chercheurs concernant la fixation des colorants sur des supports minéraux[84]



**Figure V.16 :** Etablissement des droites de corrélation concernant les pseudo- premier ordre et le pseudo deuxième ordre dans le cas de la décoloration des solutions Rouge Congo.

**Tableau V.5 :** Valeurs de certains paramètres cinétiques obtenues pour les deux pseudo mode.

<b>cinétique de premier ordre</b>			
<b>C silice(g/l)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>K1</b>	<b>t1/2(min)</b>
<b>C=0.05(g/l)</b>	0,982	0,197	3,52
<b>c=0.10(g/l)</b>	0,689	0,157	4,41
<b>C=0,15(g/l)</b>	0,823	0,302	2,30
<b>C=0,20(g/l)</b>	0,323	0,194	3,57
<b>C=0,25(g/l)</b>	0,743	0,222	3,12
<b>cinétique de second ordre</b>			
<b>C silice(g/l)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>K1</b>	<b>t1/2(min)</b>
<b>C=0,05(g/l)</b>	0,887	0,041	0,813
<b>C=0,10(g/l)</b>	0,919	0,024	1,389
<b>C=0,15(g/l)</b>	0,94	0,106	0,314
<b>C=0,20(g/l)</b>	0,968	0,042	0,794
<b>C=0,25(g/l)</b>	0,943	0,063	0,529

Conclusion

# CONCLUSION

Les colorants sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que les teintures du textile, du papier, du cuir et dans les industries alimentaires et cosmétiques. Les colorants ont la réputation d'être des substances toxiques et persistantes dans l'environnement, ils nécessitent des techniques physico-chimiques pour les dégrader et la mise au point de les procédés de dépollution efficaces vise à réduire le pouvoir toxique des polluants.

L'élimination de la pollution organique par le traitement conventionnel n'est pas suffisante, Notamment pour les eaux contaminées par des composés organiques.

Les procédés utilisant l'adsorption ont constitué alors souvent une technique de choix, complémentaire à la filière de base. Par le traitement d'adsorption, les molécules organiques dissoutes sont éliminées d'une eau sans être modifiées.

L'objectif de notre travail était d'étudier les possibilités d'utiliser les propriétés spécifiques d'adsorption de la silice en étudiant en particulier de l'influence de certains paramètres tels que la concentration initiale du soluté, la masse du l'adsorbant, le pH de la solution et la Température et la vitesse d'agitation sur la rétention de Rouge Congo (RC)

A travers tous les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- La silice dans cette étude a été trouvé être un adsorbant efficace pour l'adsorption de colorant (RC) à partir des solutions aqueuses.
- Le taux d'élimination du RC augmente avec l'augmentation de la masse de l'adsorbant dans la solution aqueuse.
- La cinétique d'adsorption du rouge congo sur la silice activée suit le modèle du pseudo-deuxième ordre .

Comme perspectives nous préconisons l'étude dynamique sur colonne, de même l'étude de décoloration simultanée de plusieurs colorants.

# Références bibliographiques

## [Tapez le titre du document]

- 1) Les énergies : l'eau source et facteur de vie paris. Agence de coopération culturelle et technique. 1980
- 2) **ECKENFELDER.WW** – Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, technique et documentation, LAVOISIERR Paris, Edition 1982
- 3) **MIQUEL MG.**, Les effets des métaux lourds sur l'environnement et santé- rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, France, 2001
- 4) **MIQUEL, MG**, «Les effets des métaux lourds sur l'environnement et santé-rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et technologique »France. 2001
- 5) **COLAS R.** La pollution des eaux, coll. « Que sais je ? » P U F, Paris 4eme édition, 1977.
- 6) **MAYET J**, La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, 2ème Edition, Paris, 1994,
- 7) **KECK G. ET VERNUS E**, « Déchets et risques pour la santé », Techniques de l'Ingénieur, Paris, (2000).
- 8) **ABDELKADER G.**, «Epuraton biologique des eaux usées urbaines» office des publications universitaire, Alger 1984.
- 9) **Centre de formation au métier d'Assainissement** «CFMA BOUMARDES», {Exploitation d'une station d'épuration à boues activées } , 2005
- 10) **BAUMONT S, CAMARD J P, LEFRANC A, FRANCONI A**, Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 2004,
- 11) **GOMMELLA. M, GUERREE. H**, Les eaux usées dans les agglomérations urbains ou rurales Ed EYROLLES, 1983),
- 12) **BAGHDAD. M, CHADOULI. M**, Contribution à l'étude de la qualité des eaux épurées de la station de traitement des eaux, Mémoire de fin de stage, Alger, (2010),
- 13) **PAUL. R**, Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles: Épuration, utilisation, Société d'Éditions techniques, (1998),
- 14) (Normes algériennes du ministre des ressources en eau ,2011.
- 15) **JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 34** page N°5 année 2011
- 16) **BERNE. F**, Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière, Édition, TECHNIP,(1972),

[Tapez le titre du document]

- 17) **VALENTIN N.** Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable de l'UTC, Thèse de Doctorat, 2000.
- 18) **BEAUDRY J.P.** Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada, 1984.
- 19) **DEGREMONT.** Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, 1989,
- 20) **VALIRON F.**, Gestion des Eaux: alimentation en eau - assainissement, Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris, 1989.
- 21) **KEMMER F.N.** Manuel de l'eau, Ed. NALCO, 1984.
- 22) **METCALF ET EDDY,** . Wastewater engineering: treatment, disposal, and REUSE.3RD ED. MCGRAW-HILL, 1991.
- 23) **DEGREMONT.** Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, a. 1989,
- 24) **ZHENLU C., JIANYAN L.** The PT dye molecular structure and its chromophoric luminescences mechanism. World Conference on Non-Destructive Testing, 15, 15-21, 2000
- 25) **COURILLEU V., VALETTE C.,** Chimie des couleurs et des odeurs, Nantes, culture et technique (1999).
- 26) **DORE M.** Chimie des oxydants et traitement des eaux. Edition Paris , 1989
- 27) **SIMONT G.** Guide des techniques de l'ennoblissement textile. Chapitre 11, édition industrie textile 1982.
- 28) **GRIFFITHS J.** Developments in the light absorption properties of dyes—color and photochemical reaction. In: Developments in the Chemistry and Technology of Organic Dyes. Society of Chemistry Industry, Oxford, pp 1-30. (1984).
- 29) **ZOLLINGER H..** Color Chemistry – syntheses, proprieties and applications of organic dyes and pigments. VCH Publications, New York, N.Y( 1991).
- 30) **DEPA** (Danish Environmental Protection Agency), Survey of azocolorants in Denmark, Toxicity and fate of azo dyes, 2000.
- 31) **BAUER C.,** Jacques P.,Kalt A., Photoche J. . Photobiol. A: chem. 140 (2001) 87–92.
- 32) **BARKA N.,** L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photo catalytique sur TiO<sub>2</sub> supporté. Thèse Université Ibn zohr Agadir, N°65, (2008).
- 33) **STOLTE M. , Vieth M. ,** Acta Endosc. 31 (2) 125–130, (2001)

[Tapez le titre du document]

- 34) MONCADA S. , Palmer R. M. , . Higgs E. A, Pharmacol. Rev. 43 () 109–142. 1991
- 35) (UMLV) Université de Marne-la-Vallée, Zawlotzki Guivarch, Elodie – 2004
- 36) **SALLEH M A M., MAHMOUD D K., KARIM W A., IDRIS A.**, Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review, Desalination, Vol 280, 2011.
- 37) **SHORE J.**, Colorant and auxiliaries, organic chemistry and application properties. 1-colorants. BTTG-Shirley, Society of dyers and colourists, Manchester, Angleterre. (1990).
- 38) **HEDYATULLAH M.**. Les colorants synthétiques. 4<sup>ème</sup> trimestre, 1<sup>ère</sup> édition, 1976.
- 39) **ERRAIS E.**, Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques. Thèse Université de Strasbourg, France, (2011).
- 40) **WINNACKER K.**, L. Küchler, «Traité de Chimie appliquée», Tome 7 : Chimie organique, 3<sup>ème</sup> partie, Editions Eyrolles, Paris 5<sup>e</sup>, 1968, 165-166.
- 41) **ABOUZAID A.**, « Etude de différents traitements des effluents de l'industrie textile». Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali, Maroc, 2001.
- 42) **DESOILLE H., SCHERRER J., TRUHAUTER R.**, «Précis de médecine du travail». 5<sup>ème</sup> Edition Masson, 838-845, 1987
- 43) **BLIEFERT C., PERRAUD R.**, «Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets». Editions de Boeck, Bruxelles, 2004, 10.
- 44) **HANSSER L.**, «Tartrazine on trial». Fd. Chem. Toxicol. 22, 1984, 1019-1026.
- 45) **NORSETH T.**, «The carcinogenicity of chromium». Environ. Health prespect, 15, 1981, 255-270.
- 46) **ASFOUR H.M., NASAR M.M., PINTO N.G.**, «Effect of salt on the mechanism of adsorption of aromatics on activated carbon». Langmuir, 15, 1985, 5997-6003.
- 47) [47] **BRINGMANN G., KUHN R.,. GES. ING**, 80, 1959, 115-120.
- 48) [48] **POOTS V.J.P., MCKAY G., HEAL J.J.**, «Removal of acid dye from effluent natural an adsorbent II». J. Water Wood Research.10, 1978, 926-935.
- 49) **U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, Manual Best management practices for pollution prevention in the textile industry, EPA/625/R 96/004, Septembre (1996).
- 50) **AZBAR N , YONAR T, KESTIOGLU K**, Chemosphere, 55 (2004)
- 51) **BARCLAYS ,BUCKLEYC.** , Waste minimization guide for the textile industry,  
Step towards cleaner production, The pollution research group, University of Natal

## [Tapez le titre du document]

urban, South Africa, Water Research Commission, 1 (2000).

- 52) [52] **KURBUS T. , . SLOKAR Y. M, LE MARECHAL A. M.** Dyes Pigments 54 (2002) 67–78.
- 53) **RAGHAVACHARYA C. ,** Chem. Eng. World 32 (1997)
- 54) **CARMEN Z , DANIELA , S. ,** Textile Organic Dyes Characteristics, Polluting Effects and separation/ Elimination Procedures from Industrial Effluents. A Critical Overview, Organic; Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention- Environmental and Analytical. Update, Edition Dr. Tomasz Puzyn, (2012)
- 55) **PEREIRA L., ALVES , M. ,** Dyes: Environmental Impact and Remediation, Environmental Protection Strategies for Sustainable Development, Strategies for Sustainability, Chapter 4, Springer Science Business Media B.V. 2012.
- 56) **DRUMOND CHEQUER, F.M. , G.A.R. DE OLIVEIRA, E.R. ANASTÁCIO FERRAZ, J.C. CARDOSO, M.V.B. ZANONI, D.P. DE OLIVEIRA,** Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact, Chapter 6. Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing, (2013)
- 57) **ROBINSON T., MCMULLAN G., . MARCHANT R, P.,** Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative, Bioresources Technology, 77, 2001)
- 58) **WANG Z , XUE M. , HUANG K. , LIU Z,** Textile Dyeing Wastewater Treatment. Advances in Treating Textile Effluent, Edition Prof. Peter Hauser, InTech (2011) 91-116.
- 59) **ANJANEYULU Y. , . CHARY N.S, SUMAN RAJ D. S. ,** Decolorization of industrial effluents- available methods and emerging technologies, a review, Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 4, 2005.
- 60) **SLOKAR Y.M. , Le Marechal,** Methods of Decoloration of Textile Wastewater, Dyes and Pigments, 37(4)(1998)
- 61) **CHANG C.NLIN., J.G. , . CHAO A.C, . LIU C.S,** Modified Nernst model for on-line control of the chemical oxidation decoloring process, Water Science Technology, 34 (1996)
- 62) **ZHENHU H., HUI C., FENG J., SHOUJUN Y.,** (2010). Removal of Congo Red from aqueous solution by cattail root, Journal of Hazardous Materials, Vol 173,
- 63) **SANI R. K. , BANERJEE U.C. ,** Enzyme and microbial Tech. 24 (1999)
- 64) **PAGGA U, TAEGER K. ,** Wat. Res. 28(5) 1994

[Tapez le titre du document]

- 65) **HITZ H. R. , HUBER W. ,** Reed R. H. , J. Soc. Dyers and colorists 94(2),1978)
- 66) **WEBER E. , WOLFE N. L. ,** Environ. Toxicol. Techn. 6, 1987.
- 67) **CARLIELL C. M. , BARCLAY S. J. , NAIDOO N. ,** Water SA 21(1) (1995)
- 68) **VENCESLAU M. C. , TOM S. , SIMON J. J. ,** Environ. Technol. 15 (1994)
- 69) **ZAWLOTSKI G V., (2004).** Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée "Electro-Fenton". Application à la minéralisation des colorants synthétiques, Thèse de Doctorat, Université de Marne-La-Vallée,
- 70)  **TSAI W.T., CHANG C.Y, LIN M.C., CHIEN S.F., SUN H.F., HSIEH M.F.,** Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agricultural waste ZnCl<sub>2</sub> activation, Chemosphere (2001).
- 71) **VENKAT S ., VIJAY BABU P V.,** 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. (2013).
- 72) **WUITHIER P,** Raffinage et génie chimique, Édition Technip. Paris, 1972.
- 73) **POPESCU M., BLANCHARD J., CARRE J.,** Analyse et traitement physicochimique des rejets atmosphériques industriels. Émission, fumées, odeurs et poussières, Édition Lavoisier Technique et Documentation, 1998.
- 74) **BLIEFERT C., PERRAUD R,** Chimie de l'environnement Air, Eau, Sols, Déchets, Traduction et adaptation de l'allemand. 1<sup>re</sup> Edition de boeck. 2004).
- 75) **OUBAGHA N.,** Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique. Thèse de Doctorat, université Mouloud Mammeritizi ouzou, (2012).
- 76) **ROBERT D., PARRA S., PULGARIN C., KRZTON A., WEBER J.V.,** Appl. Surf. Sci, Vol 167, 2000
- 77) **LEVALLOIS** « Lead exposure of children living in the Quebec City area ». Trace Substances in Environmental Health XXIV. (1991)
- 78) Centre international de recherche pour le cancer. Overall evaluations of cancirogenecity to humain. 2002.
- 79) **BELLIR K.,** Caractérisation de la rétion du cuivre par des matériaux naturels utilisé dans l'imperméabilisation des décharges, Thèse Magistère, Université Mentouri Constantine 2002..

[Tapez le titre du document]

- 80) MONARREZ I., RETENTIO M.**, les pesticides dans les sols, des dispositifs tampon, enherbés et boisés rôle des matières organiques, Thèse Doctorat, institue agronomique Paris-Grignon (2004).
- 81) LANGMUIR**, The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids, Journal of the American Chemical Society 38, 2221, 1916,.
- 82) FREUNDLICH H**, An adsorption in solutions, Phys.Chem ,1906.
- 83) BOUCIF. A, ALLAM**, Etude de la Co-adsorption de deux pesticides (Durion et Metribuzine) sur un charbon actif en poudre, mémoire d'ingénieur d'état en chimie industrielle, école nationale supérieure polytechnique, 2008,
- 84) ROUSSAC F., A. ROUSSAC**, Analyses chimique, méthode et technique instrumentales modernes, Edition Masson. (1994).
- 85) GROU B. M**, techniques de l'ingénieur, spectroscopie d'absorption dans l'ultraviolet et le visible 1978.

# *Résumé:*

La pollution des eaux, en particulier les eaux de surfaces, due au développement des industries du textile est devenue un problème majeur pour l'environnement. Plusieurs méthodes et techniques de traitement de ces eaux polluées sont utilisées pour les décontaminer. Parmi ces techniques, l'adsorption sur la silice active . Cette technique a montré de grandes capacités de dépollution des eaux industrielles. Elle est aussi très simple et performante pour l'élimination de certains colorants.

Notre présent travail a pour objectif principal l'étude de l'adsorption de colorant Rouge Congo en solution aqueuse par la silice. Des études cinétiques ont été réalisées pour estimer la capacité de la rétention de ce colorant et les résultats expérimentaux obtenus montrent que la silice sont de bons adsorbant qui présentent des caractéristiques d'adsorption favorables à l'élimination de ces colorants textiles de synthèse.

**Mots clés:** colorant de textile, Rouge Congo, la silice , l'adsorption, isotherme, la cinétique.