

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. M. OULHADJ - Bouira
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

DAHMOUN Radia
HOUACIN Ahlem

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière: Science et Génie de l'environnement
Spécialité : Génie de l'environnement

**Etude théorique de l'élimination des colorants
textiles tels que le bleu de méthylène par
méthode d'adsorption**

A présenter le 06 /12 / 2020

Devant le jury composé de :

Mme EL HANAFI	MCB	UAMOB	Examinatrice
Mme GHABRID	MAB	UAMOB	Examinatrice
Mme SOUALILI	MAA	UAMOB	Encadrant

Remerciements

Toute notre gratitude et nos remerciements à ALLAH le tout puissant, qui nous a donnés la force et la patience d'accomplir ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière, que nous remercions notre promotrice Mm. SOUALILI, qui a su diriger ce travail avec beaucoup de patience. Nous la remercions, pour son aide, remarques et conseils, ce qui nous a permis d'accomplir notre modeste travail de fin d'études

Nous adressons également nos sincères remerciements, à tous les enseignants, qui nous ont transmis les bases de la science et ont contribués à notre formation.

Nous remercions vivement les membres du jury qui ont acceptés avec amabilité d'examiner notre mémoire.

Nous tenons à remercier également Mme TAIBI HASSINA pour ses efforts, sur notre service et sa disponibilité durant l'année scolaire.

Nous remercions enfin, nos familles, HOUACIN et DAHMOUN, nos amis pour leurs soutiens sans limites et pour nous avoir encouragées tout au long de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma famille, elle qui ma doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui

*A celle qui m'a donné la vie, celle qui a été à mes cotés tout au long de mon parcours et qui a fait preuve de beaucoup de patience et qui m'a donné tant de tendresse, de force et d'amour ma **maman** chérie.*

*A l'homme, mon offre de dieu qui est si précieux à mes yeux, ma réussite et tout mon respect, vont à mon cher **papa** qui m'a donné tout le soutien dont j'ai eu besoin, sans lui je ne serai jamais arrivée à ce stade d'étude.*

*A mes très chers frères: **Mouloud** et **Aimad** qui ont été toujours derrière moi.*

*A mes très chères soeurs: **Samia**, **Ouardia** et **Lila** pour leurs encouragements permanants et leurs soutiens moral.*

*A leurs mari: **Karim**, **Aissa** et **Yacine**.*

*A la joie de notre famille mes nièces et neveux: **Ilyes**, **Aridj**, **Islem**, **Anfel**, **Ayoub** et **Ishak**,*

*A toute ma famille sans exception, spécialement: ma chère cousine **hassina** pour sa présence et sa disponibilité tout au long de mon parcours universitaire.*

*A ma très chère copine et binome **Radia** qui a été toujours a mes cotés pendant les moments de faiblesse, celle qui me pousse vers la réussite.*

*A mes amies, à **Manel**, à **wissam** et son **papa** qui m'a considéré comme sa fille à tous les membres de la cite zitouni, a toute personne qui m'a aidé.*

Ahlem



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de la tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite ; ma mère.

A mon père ; qui m'a épaulé durant toutes mes années d'études ; qui m'a encouragé tout au long de ces années, en m'aidant et en me protégeant.

Que dieu les gardes et les protèges.

A Madame SOUALILIA

A Mes sœurs et mes frères

A toute ma famille sans exception.

A mes amies : Ahlem, Leila, Katia, Hania, Karima, Manel, Wissam,

Et à tous ceux qui m'ont aidée.

Radia

Liste des Figures.....	i
Liste des Tableaux.....	ii
Liste des abréviations	iii

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Généralité sur les colorants

1.1. Introduction	3
1.2. Définition des colorants.....	3
1.2.1. Les colorants textiles.....	4
1.3. Famille des colorants.....	5
1.3.1. Les colorants naturels	5
1.3.2. Les colorants synthétiques.....	5
1.4. Classification des colorants	6
1.4.1. Classification chimique	6
1.4.2. Classification tinctoriale.....	9
1.5. Toxicité des colorants synthétiques.....	13
1.5.1. Toxicité des colorants azoïques.....	14
1.5.2. Toxicité des colorants triphénylméthanes	14
1.5.3. Toxicité des colorants indigoïdes	15
1.5.4. Toxicité des colorants xanthènes	15
1.6. Utilisation et application de colorants	15
1.7. L'utilité du traitement des effluents textiles	16
1.7.1. Le danger des rejets textiles	16
1.7.1.1. Les dangers évidents.....	16
1.7.1.2. Les dangers à long terme	16
1.8. Législation sur l'environnement.....	18
1.9. Action curatives.....	18
1.10. Conclusion.....	19

Chapitre 2 : phénomène d'adsorption

2.1. Introduction	20
-------------------------	----

2.2. Méthode d'élimination	20
2.2.1. Procédé biologique	20
2.2.2. Méthode de séparation (échange d'ion)	20
2.3. Généralité sur le phénomène d'adsorption	21
2.3.1. Définition.....	21
2.3.2. Les différents types d'adsorption	22
2.3.2.1. L'adsorption chimique.....	22
2.3.2.2. L'adsorption physique	22
2.4. La description du mécanisme d'adsorption	23
2.4.1. Diffusion externe	24
2.4.2. Diffusion interne.....	24
2.4.3. Diffusion de surface	24
2.5. Isothermes d'adsorption	25
2.5.1. Classification des isothermes d'adsorption	26
2.5.1.1. Classe L	27
2.5.1.2. Classe H.....	27
2.5.1.3. Classe C	27
2.5.1.4. Classe S	28
2.6. Modélisation des isothermes d'adsorption	28
2.6.1. Isotherme de Langmuir	28
2.6.2. Isotherme de Freundlich.....	29
2.7. Facteurs influençant sur le phénomène d'adsorption	31
2.7.1. La nature du soluté	31
2.7.2. Caractéristiques de l'adsorbant.....	32
2.7.3. Caractéristiques physiques et chimiques de la solution.....	32
2.7.4. L'existence de co-adsorbant.....	32
2.8. Domaine d'application de l'adsorption	33
2.8.1. Séparations gazeuses	33
2.8.2. Séparations liquides.....	33
2.9. Les adsorbants	34
2.9.1. Les Charbons actifs	36
2.9.2. Gel de silice	37
2.9.3. Alumine actives	38
2.9.4. Les adsorbants à base de polymère	39
2.9.5. Les zéolithes	40
Conclusion.....	41

Chapitre 3 : La Synthèse des travaux réalisés

3.1 Introduction	42
3.2 La Problématique.....	42
3.3 Le but.....	42
3.4 Etudes des travaux réalisés	42
3.4.1. La purification des eaux usées de l'industrie textile polluée par des colorants organiques à l'aide des déchets industriels et des mélanges matériaux locaux a été réalisée	42
3.4.1.1. Matériels et méthodes	42
a) Les réactifs utilisés.....	42
b) Analyse des déchets industriels et de l'eau de mer.....	43
c) Etude des propriétés spectrophotométrique des colorants mentionnés ci-dessus.....	43
d) Détermination des λ_{max} d'absorptions des colorants différents	43
3.4.1.2. Résultats et discussion	44
a) Elaboration de la fixation des colorants par les déchets industriels ou par de l'eau de mer	44
b) Fixation des différents colorants synthétiques par d'un mélange ($Mg(OH)_2$, $(MgOH)_2 CO_3$ et $CaCO_3$) obtenu à partir de liquide salé et de bentonite	45
3.4.2. L'adsorption de bleu de méthylène sur l'alcool polyvinylique	46
3.4.2.1 Matériels et méthodes	46
a) Pour l'équilibre d'adsorption	47
b) Pour la cinétique de l'adsorption	47
3.4.2.2. Résultats et discussion	48
a) Trois effets ont été étudiés :	48
b) Les isothermes étudiées.....	50
c) La Cinétique de l'adsorption.....	51
d) Etude thermodynamique	52
3.4.3. L'adsorption de bleu de méthylène sur la sciure de cèdre et la brique concassée	53
3.4.3.1. Matériaux et méthode	54
3.4.3.2. Résultats et discussion	54

a) La cinétique d'adsorption.....	56
b) Effets du pH et la température	57
3.4.4. Adsorption de bleu de méthylène sur un biomatériau à base de cactus	58
3.4.4.1. Matériels et méthodes	59
a) Le colorant et l'adsorbant utilisés	59
b) Méthodes d'analyse	59
3.4.4.2. Résultats et discussion	59
a) Effet de la taille des particules	59
b) Effet du rapport R.....	59
c) Cinétique d'adsorption du Bleu de Méthylène	60
d) Effet du pH	61
e) L'effet de la température	61
f) Isothermes d'adsorption du Bleu de Méthylène	62
f.1) L'isotherme de Langmuir	62
f.2) L'isotherme de Freundlich	62
3.5 Etude comparative pour le bleu de méthylène.....	63
3.6 Conclusion.....	64

Conclusion générale

Conclusion générale	65
Références bibliographiques	67

Liste des Figures

Figure 1.1 : Domaines d'absorption des quelques couleurs	5
Figure 1.2: Structure d'un colorant mono azoïque	6
Figure 1.3: Structure d'un colorant triphénylméthane	7
Figure 1.4: Formule développée d'Anthraquinoniques	7
Figure 1.5: Formule développée d'Indigo.....	8
Figure 1.6: Formule développée de Xanthène	8
Figure 1.7: Formule développée de phtalocynines	8
Figure 1.8: Formule développée de 2-Nitrophénol.....	9
Figure 1.9 : Schéma de la formation du colorant cuve soluble.....	10
Figure 1.10: Structure de colorant direct.....	10
Figure 1.11: Structure du colorant à mordant	11
Figure 1.12: Structure des colorants azoïques insolubles	12
Figure 1.13: Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxiques dans un cours d'eau	17
Figure 2.1: Etapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption	24
Figure 2.2 : Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide :	25
Figure 2.3: Les quatre classes d'isothermes d'adsorption proposées par Giles et al (1962)...	27
Figure 2.4: Isotherme de Langmuir.....	29
Figure 2.5 : Isotherme de Freundlich	30
Figure 2.6: Classification de Brunauer des isothermes d'après Ruthven (1984).....	31
Figure 2.7: Représentation schématique des différents types de pores.....	35
Figure 2.8: La structure de la zéolithe	40
Figure 3.1: Isothermes d'adsorption du bleu de méthylène par la sciure de cèdre et la brique concassée.....	55
Figure 3.2: Dynamique de l'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de cèdre et la brique concassée.....	56
Figure 3.3: L'effet du ph sur l'élimination du bleu de méthylène par la sciure de cèdre et la brique concassée.....	58
Figure 3.4: Quantité adsorbée du BM en fonction de la masse du Cactus.....	60
Figure 3.5: Effet du ph sur l'adsorption du BM par le Cactus	61
Figure 3.6: Effet de la température sur l'adsorption du colorant BM par le Cactus	62
Figure 3.7: Isotherme d'adsorption du Bleu Méthylène	62

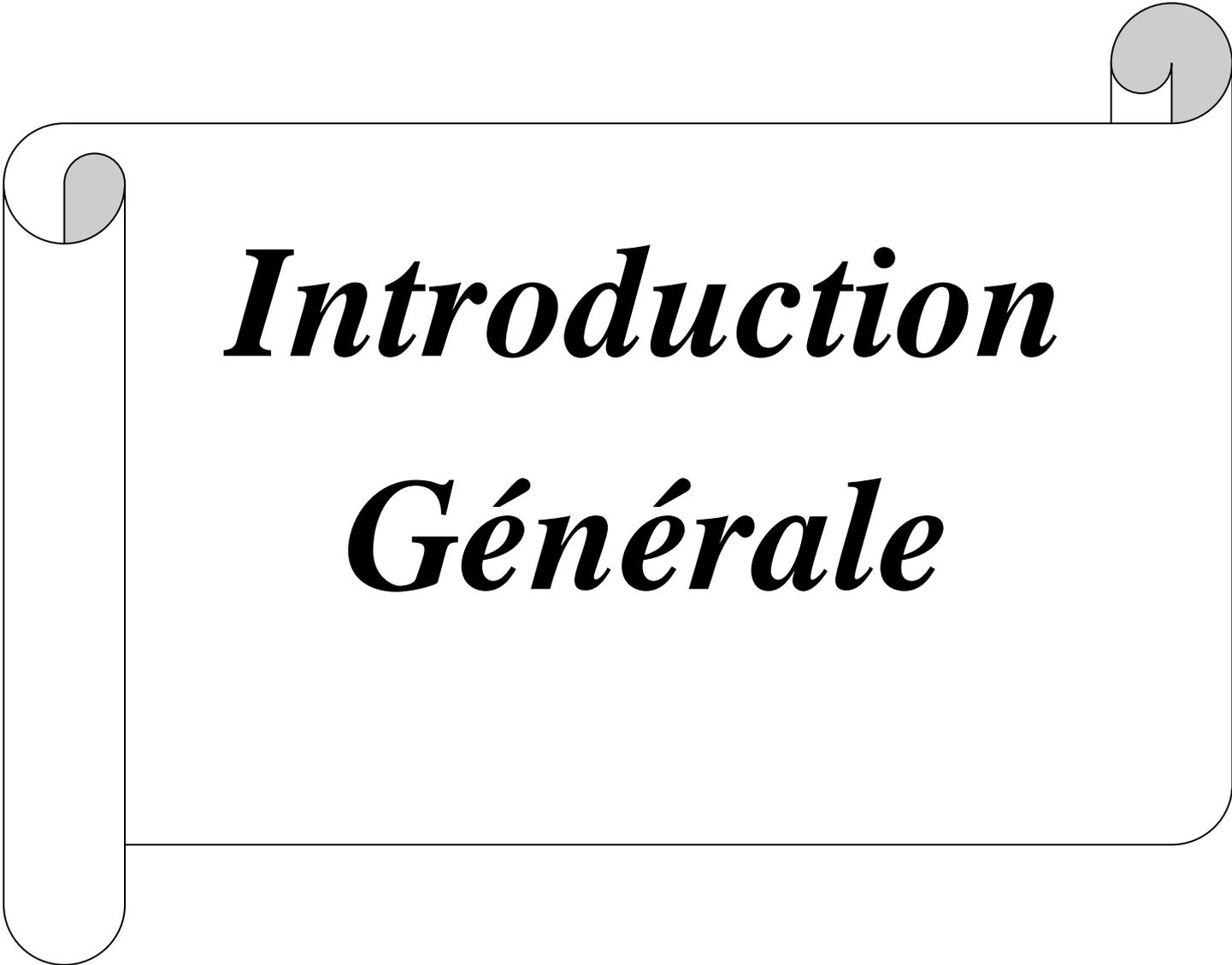
Liste des Tableaux

Tableau 1.1: Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.....	4
Tableau 1.2 : Les principales classes de toxicité	13
Tableau 1.3: Valeurs limites de quelques paramètres de rejets d'effluents liquides de l'industrie textile	18
Tableau 1.4 : Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants (U.S. EPA.1996)	18
Tableau 2.1: Différence entre l'adsorption physique et chimique	23
Tableau 2.2: Répartition des pores d'un adsorbant	35
Tableau 2.3: Caractéristiques typiques du charbon actif	37
Tableau 2.4: Caractéristiques typiques du gel de silice	38
Tableau 2.5: Les caractéristiques typiques de l'alumine	39
Tableau 2.6: Les caractéristiques typiques de la zéolite	41
Tableau 3.1: Les valeurs de longueur d'ondes maximale pour chaque colorant	44
Tableau 3.2: Degré d'adsorption en % des différents colorants avec le mélange obtenu (Mg(OH) ₂ , (mgoh) ₂ CO ₃ et caco ₃) à partir de liquide salé et de bentonite.....	45
Tableau 3.3: Absorbance des colorants en fonction du temps d'agitation	46
Tableau 3.4: Les paramètres importants dans l'étude de l'adsorption.....	49
Tableau 3.5: Paramètres isothermes pour l'adsorption du bleu de méthylène sur le PVA.....	50
Tableau 3.6 : Paramètres cinétiques de l'adsorption de bleu de méthylène sur PVA à 300 ± 0,5	52
Tableau 3.7: Les paramètres thermodynamiques pour l'adsorption du bleu de méthylène sur le PVA	53
Tableau 3.8: Paramètres isothermes de Langmuir et coefficients de corrélation	55
Tableau 3.9: Paramètres isothermes de Freundlich et coefficients de corrélation.....	56
Tableau 3.10: Coefficients cinétiques et de transfert de masse	57
Tableau 3.11: Paramètres de Freundlich.....	63
Tableau 3.12: Etude comparative entres les paramètres qui influence sur l'adsorption.....	63

Liste des abréviations

BM	Bleu de Méthylène.
CaCO₃	Carbonate de Calcium.
C₀	Concentration initial du colorant (mg/L).
C_e	Concentration de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/L).
DBO	Demande Biologique en Oxygène (mg/L).
DCO	Demande Chimique en Oxygène (mg/L).
DL₅₀	Dose létale.
HCl	Chlorure d'hydrogène.
K_d	Coefficient de distribution (L/Kg ⁻¹).
K_F	Constant d'adsorption de Freundlich.
K_F	Constant d'adsorption de Langmuir.
m	masse d'adsorbant (g).
Mg(OH)₂	d'Hydroxyde de Magnésium.
(MgOH)₂CO₃	Carbonate d'Hydroxyde de Magnésium.
n	L'amplitude de l'exposant.
NaOH	la soude.
Na₂CO₃	Carbonate de Sodium.
POA	les Procédés d'Oxydation Avancée.
pH	Potentiel d'hydrogène.
PVA	Alcool Poly Vinylique.
q_e	Quantité de soluté adsorbé à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g).
Q_m	Capacité maximal d'adsorption (mg/L).
R_L	Facteur de séparation.
R²	Coefficient de corrélation.
R%	Rendement d'élimination du colorant (%).
SPD	Sous produit de coloration.
THM	Trihalométhane.
V	Volume de la solution (L).
ΔG	Variation d'énergie libre de Gibbs.
ΔH	Variation d'enthalpie.
ΔS	Variation d'entropie.

α	Degré d'adsorption en %.
λ	Longueur d'onde (nm).

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est la matière la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Pratiquement tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau, l'eau n'est pas uniquement un espace vital, un vecteur énergétique ou un moyen de transport, mais également un élément essentiel pour tout genre de production [1]. L'économie de l'eau est nécessaire pour la protection de la planète ainsi que pour la survie des êtres vivants. Avec la croissance de l'humanité, de la science et de la technologie, notre monde atteint de nouveaux horizons mais le coût que nous payerons dans le futur proche va sûrement être trop haut [2].

La contamination de l'eau par diverses substances organiques engendre un changement dans ses propriétés. Ces eaux dites polluées contiennent de nombreuses substances organiques et inorganiques susceptibles de nuire gravement à l'environnement. Parmi les polluants les plus conséquents dans la sphère, on a les colorants, une fois qu'ils se sont dissous dans l'eau, il est difficile de les traiter, car les colorants ont une origine synthétique et une structure moléculaire complexe, ce qui les rend plus stables et difficiles à être biodégradable, donc il est nécessaire de limiter le plus possible ces polluants en mettant en place une moyenne de traitement adaptée comme une unité de décoloration [3,4].

La présence de matières colorantes dans les rejets textiles peut constituer une menace sérieuse pour l'environnement quand ils sont rejetés sans un traitement préalable dans la biosphère. Les différents colorants utilisés causent de sérieux problèmes en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité. De ce fait, il est nécessaire de traiter ces rejets avant qu'ils soient déversés dans le réseau d'assainissement [5].

Il existe plusieurs méthodes physico-chimique et biologique pour traiter et décolorer des effluents pollués tel que la coagulation et la floculation, la biodégradation, la filtration membranaire, l'oxydation et la réduction chimique, l'ozonation, échange d'ions, l'osmose inverse, la dégradation photocatalytique, les méthodes électrochimiques et l'adsorption ...etc. [6,7]. Parmi les procédés de traitement des eaux polluées par les colorants organiques l'adsorption s'avère être le procédé le plus efficace [8].

La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour l'élimination des colorants, c'est une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation [9]. Le principe du traitement par adsorption est de piéger les colorants par un matériau solide appelé adsorbant. Il existe, dans la littérature, plusieurs matériaux solides (argiles, zéolites, alumines

Introduction Générale

activées, boue, biomasses, résidus agricoles, sous-produits industriels et charbon actif...) pouvant être utilisés dans des procédés de décoloration des eaux.

L'objectif de notre travail, consiste à étudier le procédé d'adsorption pour éliminer des colorants de l'industrie textiles qui se trouve dans les eaux usées, de ce fait on a fait la synthèse par comparaison de quatre articles pour établir le meilleur adsorbant en termes d'abordabilité et d'efficacité à travers ses différents paramètres.

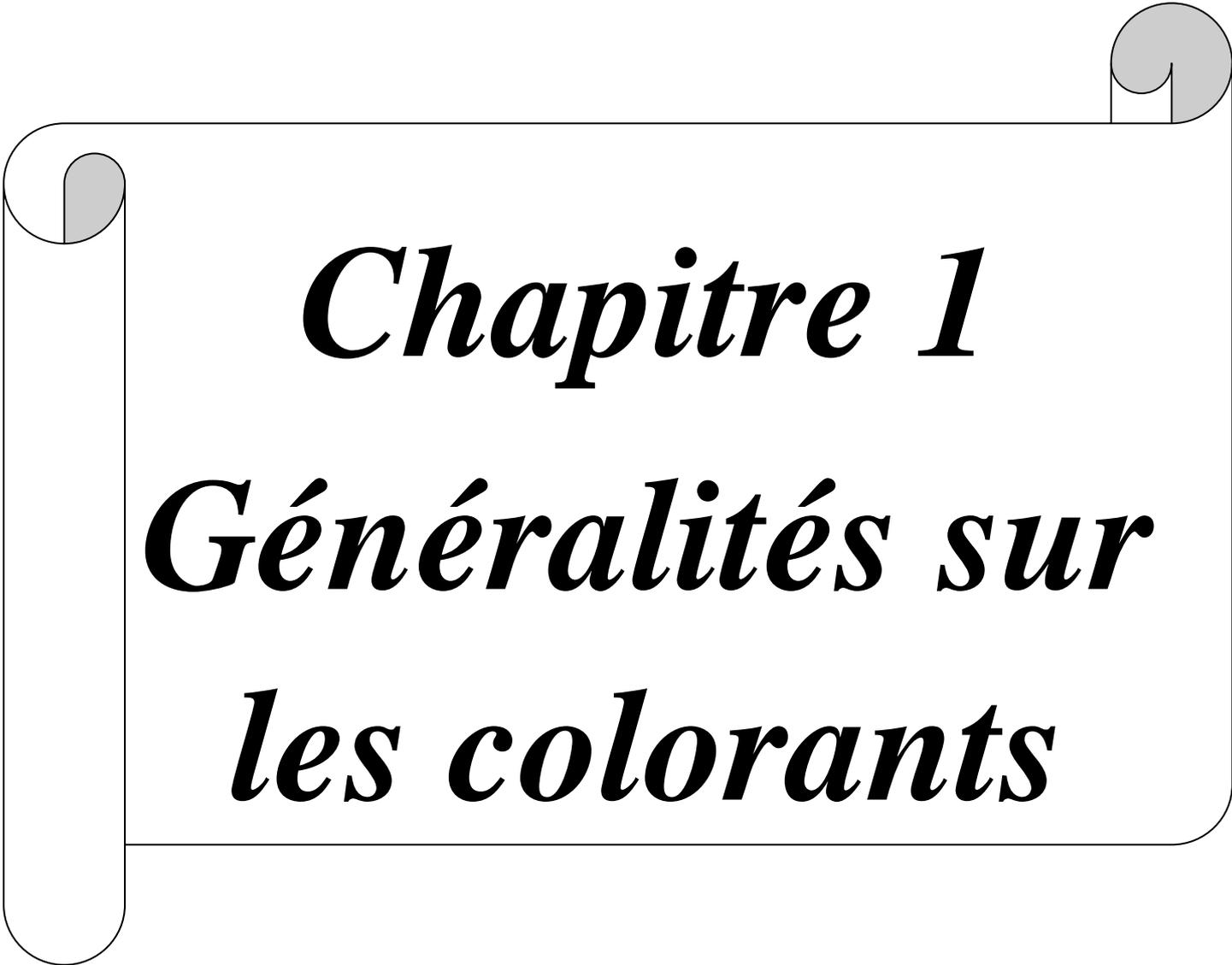
Au cours de ce travail nous avons abordé trois chapitres qui sont :

- Le chapitre I qui présente une étude bibliographique sur les colorants, avec une présentation de l'industrie textile et les rejets qu'elles génèrent ainsi qu'une vision générale sur les traitements possible.
- Le chapitre II est une étude sur le procédé d'adsorption, son principe, ses applications, les différentes lois qui les réagissent ainsi que les différents modèles d'isothermes.
- Le chapitre III décrit, une synthèse qui traite plusieurs articles sur l'élimination des colorants des rejets textiles par différents adsorbants en mettant en exergue la méthodologie abordé dans chaque article avec leurs résultats.

Quelques paramètres influençant sur l'efficacité de ce procédé ont été étudiés, à savoir:

- La capacité d'adsorption,
- L'effet de température,
- L'effet du pH,
- La taille des particules.

Une conclusion générale avec quelques perspectives viendront clore ce manuscrit.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

Chapitre 1
Généralités sur
les colorants

1.1 Introduction

Les colorants synthétiques représentent aujourd'hui un groupe relativement large de composés chimiques organiques rencontrés dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne.

La production mondiale des colorants est estimée à 700 000 tonnes/ an, dont 140 000 sont rejetées dans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection. Ces rejets, composés de surfactants, composés biocides, suspensions solides, agents de dispersion et de mouillage, colorants et métaux traces, sont toxiques pour la plupart des organismes vivants. L'hétérogénéité de leur composition rend difficile voir quasiment impossible l'obtention de seuils de pollution inférieurs ou égales à ceux imposés par les normes environnementales, après traitement par les techniques traditionnelles [10].

1.2 Définition des colorants

Les colorants sont définis comme des entités chimiques capables de teindre des substances en permanence. L'entité colorée a un groupe appelé chromophore, qui lui donne une couleur et un groupe auxochromes qui lui permet de fixer la couleur.

En effet, les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber le rayonnement lumineux dans le spectre visible (380 à 750 nm). La lumière blanche est convertie en lumière colorée par réflexion ou transmission ou diffusion par le corps humain parce que certains atomes de chromophore absorbent sélectivement l'énergie [11].

Le chromophore par définition est un groupe d'atomes dont généralement sont le nitro ($-\text{NO}_2$), le diazo ($-\text{N}=\text{N}-$), le nitroso ($-\text{N}=\text{O}$), le thiocarbonyl ($-\text{C}=\text{S}$), le carbonyle ($-\text{C}=\text{O}$), ainsi que les alcènes ($-\text{C}=\text{C}-$). Les auxochromes peuvent être acides (COOH , SO_3 , OH) ou basiques (NH_2 , NHr , NR_2). Le reste des atomes de molécules correspond à la matrice c'est la troisième partie du colorant [12]. Les chromophores et auxochromes habituels sont résumés dans le tableau 1.1.

D'autres groupes d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore : ce sont les groupes auxochromes. Les chromophores sont des groupes aromatiques (système π), conjugués (liaison π), comportant des liaisons non-liantes (électron n) ou des complexes de métaux de transition. Les colorants diffèrent les uns des autres par des combinaisons d'orbitales moléculaires. La coloration correspond aux transitions possibles après absorption du rayonnement lumineux entre ces niveaux d'énergie propres à chaque molécule [13].

De manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, Pérylène, etc.). Lorsque le nombre de noyau aromatique augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît et le système conjugué s'élargit. L'énergie des liaisons π diminue tandis que l'activité des électrons π ou n augmente et produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même lorsqu'un groupe auxochromes donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy...) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système π la molécule absorbe dans les grandes longueurs d'onde et donne des couleurs plus foncées [14].

Tableau 1. 1: Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante [15].

Groupes chromophores	Groupes auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-N=OH)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyle (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyle (-C=CH ₂ -) ou méthine (>C=)	Hydroxyle (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Thiocarbonyle(>C=S)	

1.2.1 Les colorants textiles

En plus de sa propre couleur, le colorant doit également avoir des propriétés de teinture. Cette propriété résultant de l'affinité spécifique entre le colorant et la fibre est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors du traitement. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétique doivent répondre à de nombreuses normes afin de prolonger la durée de vie des textiles sur lesquels ils sont appliqués : résistance à l'abrasion, stabilité à la photo-lytique des couleurs, résistance à l'oxydation chimique (notamment les détergents) et aux attaques microbiennes [16].

L'affinité du colorant pour la fibre est particulièrement développée pour les colorants qui possèdent un caractère acide ou basique accentué. Ces caractéristiques propres aux colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation [17].

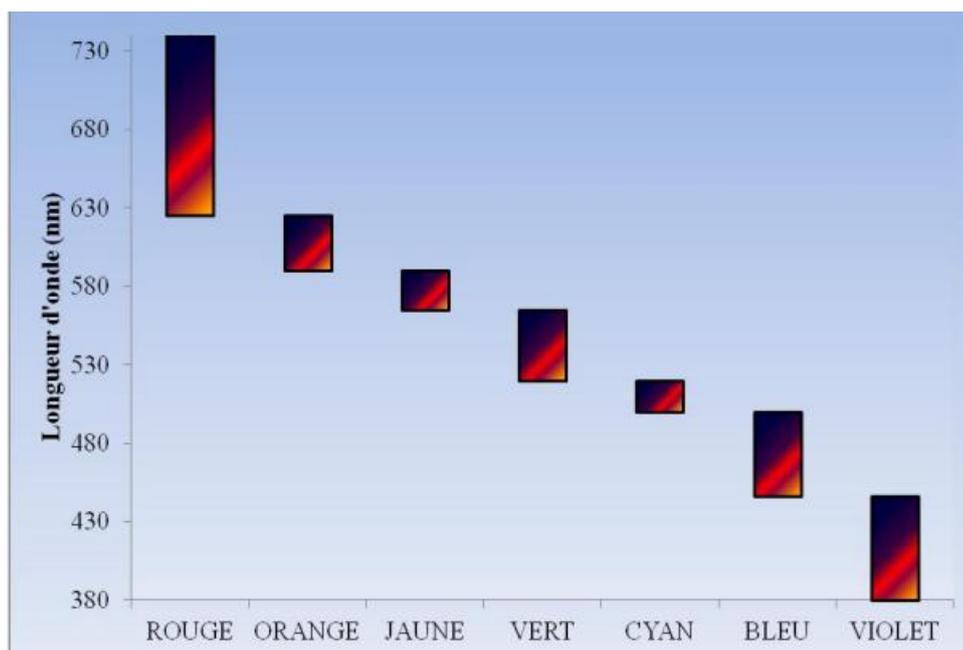


Figure 1.1 : Domaines d'absorption des quelques couleurs [18].

1.3 Famille des colorants

1.3.1. Les colorants naturels

Depuis l'antiquité, les colorants naturels sont les premiers à être utilisés. Ils sont généralement dérivés de plantes (comme la garance, la noix, le lichen et les pastels), d'animaux (comme le murex ou la cochenille) et de minéraux (le lapis-lazuli et la turquoise) ou de fruits tel que les mûres. Il y a 4000 ans, ils étaient couramment utilisés pour faire de l'art. Parmi les premiers colorants utilisés, l'indigo provenait d'une plante appelée (indigo indien) [19].

Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup diminué. En raison de leur cherté, on ne les utilise plus 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 [20].

1.3.2. Les colorants synthétiques

Les colorants synthétiques dominent aujourd'hui le marché surtout que leurs propriétés peuvent être précisément adaptées à leur utilisation [24]. Ce sont des composés ayant des molécules telles que le benzène comme matières premières issues de la distillation de la houille. Par une série de processus chimiques, ils correspondent généralement à un intermédiaire dans lequel un ou plusieurs atomes d'hydrogène dans la matière de départ sont remplacés par des éléments ou groupes spécifiques. Ceux-ci seront utilisés dans la production de colorants finaux [21]. 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 [22].

1.4. Classification des colorants

La classification des colorants se fait soit selon leur classification chimique, soit selon leurs modalités d'utilisation. Selon leur structure chimique et le système de classification du Color Index, les colorants peuvent être classés en 17 groupe : nitrés, dérivés du triphénylméthane, xanthènes, dérivés de l'acridine, dérivés de la quinoléine, azines, anthraquinoniques, colorants indigoïdes, colorants phtalocynines, bases d'oxydation, précurseurs insolubles des colorants azoïques [24].

1.4.1. Classification chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupe chromophore (tableau 1.1)

❖ les colorants azoïques

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes [23].

Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories: les colorants basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant non-ioniques insolubles dans l'eau. Il est estimé que 10 à 15 % des quantités initiales sont perdues durant les procédures de teinture et sont évacués sans traitement préalable dans les effluents [23].

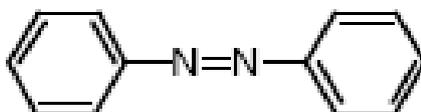


Figure 1.2: Structure d'un colorant mono azoïque

❖ les colorants triphénylméthanes

Les triphénylméthanes sont des dérivés du méthane pour lesquels les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles substitués, dont au moins, un est porteur d'un atome d'oxygène ou d'azote en para vis-à-vis du carbone méthanique. Le triphénylméthane et ses

homologues constituent les hydrocarbures fondamentaux d'où dérivent toute une série de matières colorantes [23].

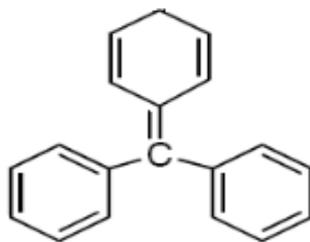


Figure 1.3: Structure d'un colorant triphénylméthane

❖ les colorants anthraquinoniques

Les colorants anthraquinoniques sont, d'un point de vue commercial, les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino [20].

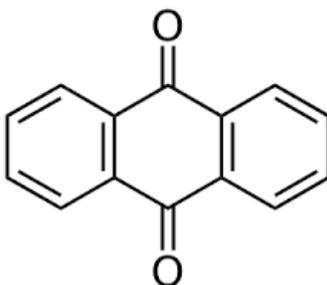


Figure 1.4: Formule développée d'Anthraquinoniques

❖ Les colorants indigoïdes

Ils ont pris leur nom de l'indigo dérivé. Par conséquent, les homologues du sélénium, du soufre et de l'oxygène de l'indigo peuvent provoquer un effet de décoloration important, avec des couleurs allant de l'orange au turquoise. L'indigo est utilisé comme colorant dans les textiles, additifs en médecine [24].

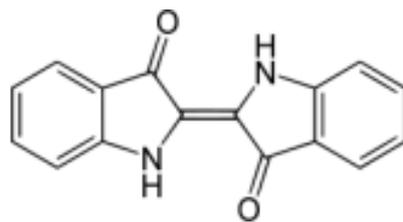


Figure 1.5: Formule développée d'Indigo

❖ Les colorants xanthènes

Ces colorants ont une forte fluorescence. Le composé le plus connu est la fluorescéine. Bien qu'ils soient rarement utilisés comme colorants, leur capacité à être utilisés comme marqueurs d'accidents maritimes ou comme traceurs de débit dans les rivières souterraines est bien établie [23].

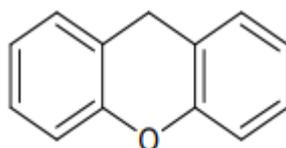


Figure 1.6: Formule développée de Xanthène

❖ Les phtalocynines

Les phtalocynines ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.) [23].

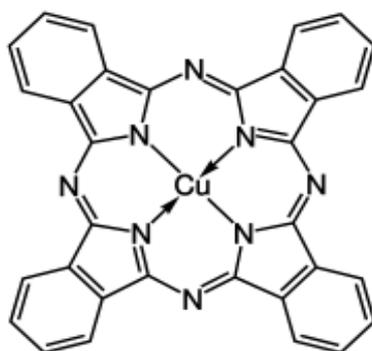


Figure 1.7: Formule développée de phtalocynines

❖ Les colorants nitrés et nitrosés

Ces colorants 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 ($-\text{NO}_2$) en position ortho par rapport à un groupement électro-donneur (hydroxyle ou groupes aminés) [24].

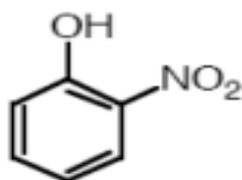


Figure 1.8: Formule développée de 2-Nitrophénol

1.4.2. Classification tinctoriale

Ce type de classification est défini par les groupements auxochromes. L'intérêt de cette classification est très important pour le teinturier qui préfère un classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de forces variables selon que la liaison colorant-substrat est de type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente [21].

❖ Les colorants acides ou anioniques

Très solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonate ou carboxylate, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant - fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles [16].

❖ Les colorants basiques ou cationiques

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amine organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Une liaison est formée entre le site cationique du colorant et le site anionique de la fibre. Dans le processus de teinture et de disparition de la laine et de la soie, ces colorants ont de nouveau bénéficié de l'intérêt des gens en raison de l'application

des fibres acryliques, qui peuvent donner sur les fibres acryliques des nuances très lumineuses et durables [16].

❖ Les colorants de cuve

Les colorants cuves sont des colorants insolubles dans l'eau, qui peuvent être appliqués sur les fibres après avoir été convertis en dérivés incolores par réduction alcaline en leuco-dérivés. La teinture se termine par la ré-oxydation in situ sous sa forme insoluble d'origine. Les colorants cuves sont connus pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, et sont largement utilisés dans le coton, le lin, la rayonne et d'autres fibres de cellulose, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean denim [16].

Ce type de colorant est appelé colorant grand teint, c'est-à-dire qu'il résiste à l'action de l'eau de javel et également à des lavages allant jusqu'à 90°C, c'est donc un type de colorant très fiable et qui a pris une grande importance dans l'industrie de la teinture du coton.

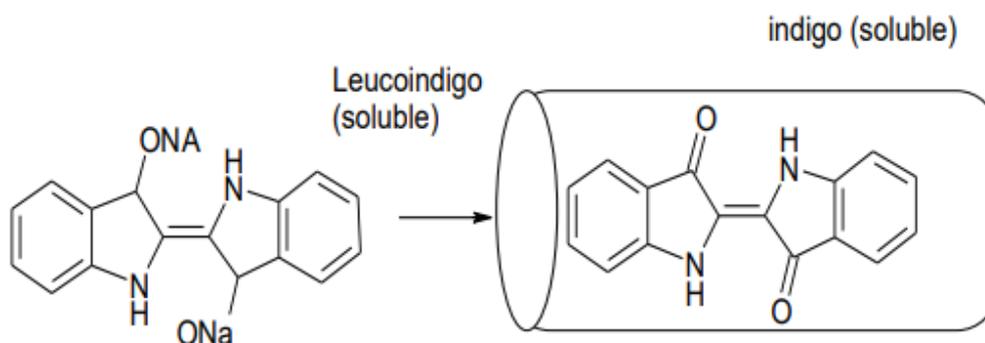


Figure 1.9 : Schéma de la formation du colorant cuve soluble

❖ les colorants directs

Ils peuvent former des charges positives ou négatives attirées électro-statiquement par la charge de la fibre. Ils se caractérisent par leur affinité pour les fibres de cellulose sans mordant, qui est liée à la structure plane de la molécule [24].

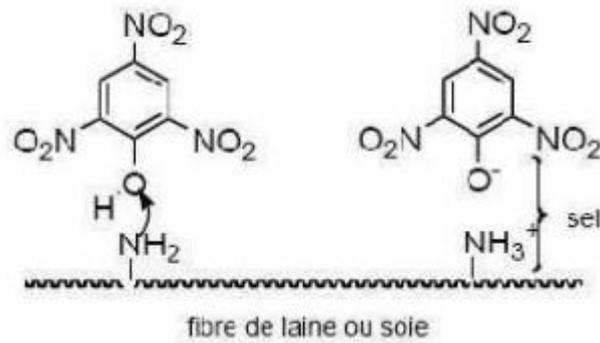


Figure 1.10: Structure de colorant direct

❖ les colorants à mordants

Ils contiennent généralement des ligands fonctionnels qui peuvent réagir fortement avec les sels d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour former différents complexes de couleurs avec les textiles [24]. On peut distinguer deux types [16] :

- Colorants à complexe métallifère type 1 : colorants ayant un ou des éléments métalliques dans leur structure moléculaire. Requièrent l'utilisation de l'acide sulfurique.
- Colorants à complexe métallifère type 2 : deuxième génération des colorants acides traités avec des métaux de mordantage tels que le chrome. Ce type de colorant teint les fibres beaucoup plus solidement que les colorants acides courants. Ils sont appliqués en milieu légèrement acide, soit en pH 4,5 à 5.

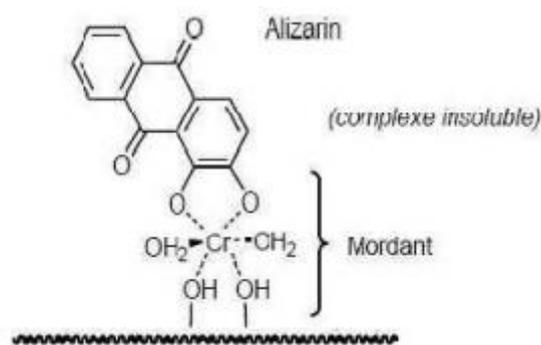


Figure 1.11: Structure du colorant à mordant

❖ les colorants réactifs

Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores provenant principalement des familles azoïques, anthraquinone et phtalocyanine. Leurs noms sont liés à la présence de fonctions chimiques réactives de type triazinique ou vinylsulfone, qui assurent la formation de liaisons covalentes fortes avec les fibres. Ils sont solubles dans l'eau et sont de plus en plus utilisés dans la teinture du coton, et enfin dans la teinture de la laine et du polyamide [16].

❖ Les colorants développés ou azoïques insolubles

Les colorants développés ou azoïques insolubles, appelés aussi colorants au naphthol, sont formés directement sur la fibre. Dans le premier temps, le support textile est imprégné d'une solution de naphthol ou de coupleur. Les précurseurs moléculaires suffisamment petits pour diffuser dans les pores et les fibres sont ensuite traités avec une solution de sel de diazonium qui provoque le développement immédiat du colorant azoïque par une réaction de couplage. Puisque les composés phénoliques sont dissous dans des solutions basiques, ces colorants ne sont utilisés que pour les fibres de cellulose, bien que d'autres fibres puissent également être teintes avec des procédés modifiés [25].



Figure 1.12: Structure des colorants azoïques insolubles

❖ Les colorants dispersés

Les colorants dispersés sont difficilement solubles dans l'eau et sont utilisés sous forme de poudre fine dispersée dans le bain de teinture. Ils peuvent se diffuser dans les fibres synthétiques pendant le processus de teinture à haute température, puis s'y fixer. Les colorants dispersés sont largement utilisés dans la teinture de la plupart des fibres synthétiques ou artificielles, en particulier les fibres de polyester [25].

1.5. Toxicité des colorants synthétiques

Les eaux résiduelles de l'industrie de textile causent un problème environnemental très sérieux. En raison de leur production à grande échelle et de leur application très répandue, les colorants synthétiques sont à l'origine d'une pollution environnementale considérable et représentent un facteur de risque très sérieux pour la santé publique. L'industrie textile rejette dans les cours d'eau, lors des divers processus de fabrication textile, une proportion importante de colorants (10 à 15 %) [21].

Les recherches toxicologiques portent sur les substances ou conditions externes et leurs effets néfastes sur les organismes vivants, les tissus, les cellules ou les organites. Selon la dose, il existe trois formes de toxicité [18]:

- ✓ La toxicité aigue
- ✓ La toxicité sub-aigue
- ✓ La toxicité à long terme

L'indicateur quantitatif le plus utilisé de la toxicité est la dose létale 50 (DL50). Il s'agit de la masse de substance nécessaire pour tuer 50 % d'organismes dans un lot. Elle s'exprime en milligrammes de matière active par kilogramme de biomasse. Le tableau 1.2 présente, les différentes classes de la toxicité en fonction de la dose létale.

Les recherches sur le recoupement de la DL50 avec la chimie des colorants et la classification des colorants montrent que les colorants synthétiques organiques les plus toxiques sont les colorants diazo et cationiques [18].

Tableau 1.2 : Les principales classes de toxicité [18].

Dose orale probablement mortelle	Classe de toxicité
Moins de 5 mg/kg	Super toxique
De 5 à 50 mg/kg	Extrêmement toxique
De 50 à 500 mg/kg	Très toxique
De 500 à 5000 mg/kg	Modérément toxique
De 5 000 à 15 000 mg/kg	Légèrement toxique
Plus de 15 000 mg/kg	Très peu toxique

On distingue plusieurs toxicités des colorants synthétiques [26] :

1.5.1. Toxicité des colorants azoïques

La toxicité des azoïques par exposition aux colorants et à leurs métabolites n'est pas un fait nouveau. Dès 1895, l'augmentation du nombre de cancers de la vessie observés chez des ouvriers de l'industrie textile, est reliée à leur exposition prolongée aux colorants azoïques. Depuis, les travaux effectués sur ces colorants ont démontré que ces composés chimiques présentaient des effets cancérigènes pour l'homme et l'animal [17].

La plupart des colorants azoïques ne sont pas initialement toxiques, excepté ceux à groupement amine libre. Cependant, la réduction de ces colorants (rupture de la liaison azoïque) génère la formation des amines aromatiques qui sont connues mutagènes et cancérigènes. A titre d'exemple, on peut citer : 1,4-phenylenediamine, 1-amino 2-naphtol et benzidine.

La présence de substituant sur le cycle aromatique, en particulier de groupes nitro (-NO₂) et halogène (en particulier Cl), augmente la toxicité des composés azoïques. Selon l'EPA, l'estimation du risque de cancer nécessite de fixer la concentration limite de colorants azotiques dans l'eau potable à 3,1 µg/L [26].

1.5.2. Toxicité des colorants triphénylméthanés

Les composés de la famille des triphénylméthanés sont des composés reconnus comme étant génotoxiques pour les cellules bactériennes et mammifères. Fernandes et al, Rao et Culp, Ont établi que la verte malachite, colorant couramment utilisé en industrie et comme antifongique, est un composé fortement cytotoxique pour les mammifères.

La cancérogénicité du triphénylméthane se manifeste principalement par ses métabolites incolores et ses dérivés N-diméthyliques sont obtenus par des bactéries ou des levures ces composés peuvent subir une activation métabolique semblable à celle observée avec les amines aromatiques, avant de réagir directement sur l'ADN. Dans le cas de la malachite verte, après exposition à son métabolite incolore (vert malachite), le nombre de cancers chez le rat et la souris a augmenté. Le cristal violet correspondant est dégradé en cétone de Michler et en p-diméthylaminophénol par digestion bactérienne. Or ces composés sont facilement convertis par biodégradation en amines cancérigènes et mutagènes. Par conséquent le traitement par voie biologique de tels composés est susceptible de rendre la solution plus toxique que celle de départ [26].

1.5.3. Toxicité des colorants indigoïdes

Les colorants indigoïdes sont considérés comme hautement toxiques et leur contact peut provoquer une irritation de la peau et des yeux, ainsi que des lésions permanentes de la cornée et de la conjonctive. La consommation de ses colorants peut être mortels, car ils sont cancérogènes et peuvent produire et/ou développer une toxicité neuronale aiguë. On a également établi que ces colorants mènent à des tumeurs à l'emplacement de leur application. L'indigo carmine, en injection intraveineuse pour le diagnostic du système urinaire, peut causer des hypertensions graves, effets cardiovasculaires et respiratoires pour les patients. Il peut également causer des irritations gastro-intestinales avec la nausée, vomissement et diarrhée. Des essais de toxicité du colorant ont indiqué une toxicité à long terme chez les souris et une toxicité à court terme chez le porc [26].

1.5.4. Toxicité des colorants xanthènes

Les colorants xanthènes sont toxiques pour de nombreux insectes. Ces études ont été étendues aux nématodes gastro-intestinaux bovins par Hawkins et Hawkins et al. Quand ils ont démontré que l'érythrosine B, un colorant xanthènes décrit chimiquement comme tetraiodofluorescéine, était photo-toxique au troisième stade des larves de ces parasites. Récemment, il a été démontré que les colorantes xanthines améliorent l'activité antivirale de certains composés spécifiques.

Le mécanisme fondamental par lequel les colorants xanthènes ont un effet toxique sur les organismes vivants est la réaction de phot-oxydation légère dépendante, précédemment connu sous le nom d'action photo-dynamique [26].

1.6. Utilisation et application de colorants

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont voici quelques-unes essentielles [27] :

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

- Préparation des encres ;
- Colorations des denrées alimentaires ;
- Colorants pour les emplois médicaux et cosmétiques.

1.7. L'utilité du traitement des effluents textiles

1.7.1. Le danger des rejets textiles

1.7.1.1. Les dangers évidents

a) Eutrophisation :

Sous l'action de microorganismes, les colorants libèrent du nitrate et du phosphate dans le milieu naturel. Ces ions minéraux trop introduits peuvent être toxiques pour la vie des poissons et modifier la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère la prolifération de leur anarchie et provoque la consommation d'oxygène en inhibant la photosynthèse dans les rivières les plus profondes et l'eau stagnante [17].

b) Sous-oxygénation :

Lorsqu'une grande quantité de matière organique est rejetée dans l'environnement par une libération ponctuelle, le processus d'ajustement naturel ne pourra pas compenser la consommation d'oxygène des bactéries [28]. On estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par les microorganismes suffit à consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau.

c) Couleur, turbidité, odeur :

L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau peut entraîner un mauvais goût, une croissance bactérienne, des odeurs nocives et une coloration anormale [20]. Le résultat de l'évaluation montre que l'œil humain peut percevoir une coloration de $5 \cdot 10^{-6}$ g/L. En plus de son aspect inesthétique, les colorants ont également la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, empêchant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques.

1.7.1.2. Les dangers à long terme

a) La persistance :

Les colorants organiques synthétiques sont des composés impossibles à épurer par dégradations biologiques naturelles [30]. Cette persistance est en étroite relation avec leur réactivité chimique:

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

b) Bioaccumulation

Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, alors cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se retrouvent exposées à des teneurs en substances toxiques pouvant être jusqu'à mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau. Une illustration du phénomène de bioaccumulation de pesticides est présentée en figure 1.13

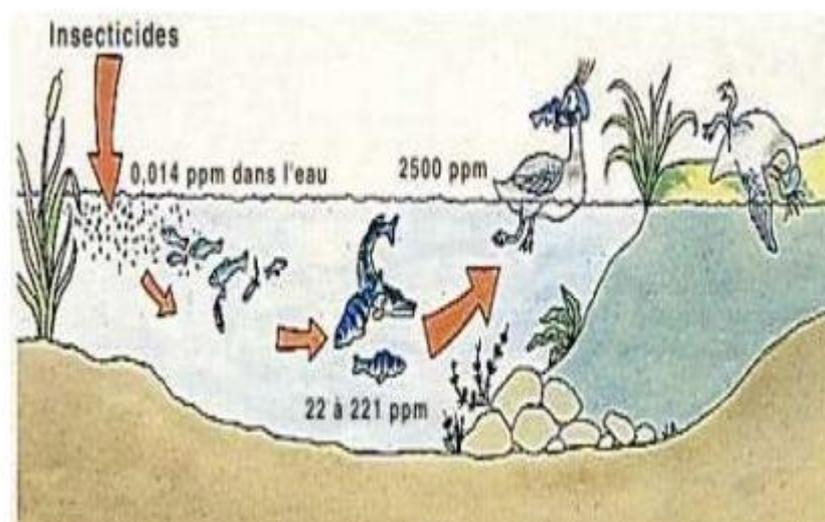


Figure 1.13: Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxiques dans un cours d'eau [31].

c) Cancer

Si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leurs métabolites l'est [32]. Leurs effets mutagènes, tératogène ou cancérigène apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation : amine cancérigène pour les azoïques, leuco-dérivé pour les triphénylméthanés [33].

d) Sous produits de chloration (SPD)

Le chlore utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes réagit avec la matière organique pour former les trihalométhanes (THM) pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/L. Les SPD sont responsables de développement de cancer de foie, des poumons, des reins et de la peau chez l'homme [34].

1.8. Législation sur l'environnement

Afin de protéger la qualité de l'environnement et la santé publique, les réglementations du traitement des polluants sont en continuelle évolution en raison de la définition des normes de plus en plus restrictives. Par conséquent, les mesures préventives et correctives d'aujourd'hui jouent un rôle de plus en plus important dans le milieu industriel. L'Algérie est comme tous les pays européens, a mis en place une réglementation stricte N°06-141 sur les rejets des effluents textiles dans le milieu hydrique [35]. Le tableau 1.3 suivant indique les limites des paramètres de rejet d'eaux usées liquides liées à l'industrie textile :

Tableau 1.3: Valeurs limites de quelques paramètres de rejets d'effluents liquides de l'industrie textile [36].

Paramètres	Valeur limite
T (°C)	30
pH	6,5-8,5
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	150
DCO (mg.L ⁻¹)	250
Matière décantable (mg.L ⁻¹)	0,4
Matière non dissoute (mg.L ⁻¹)	30
Oxydabilité (mg.L ⁻¹)	100
Permanganate (mg.L ⁻¹)	20

1.9. Action curatives

Au cours des différentes étapes de teinture, des quantités plus ou moins importantes de colorants sont perdues par manque d'affinité avec les surfaces à teindre ou à colorer (tableau 1.4) Comme nous avons pu le voir, ces rejets organiques sont toxiques et nécessitent une technique de dépollution adaptée.

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 de traitement physiques ou physico-chimiques [17].

Tableau 1.4 : Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants (U.S. EPA.1996) [17].

Classe de colorant	Fixation (%)	Fibres utilisées
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

Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles se divisent en trois types :

Physique :

- Méthodes de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation)
- Adsorption (sur charbon actif)
- Osmose inverse, filtration
- Incinération

Chimique :

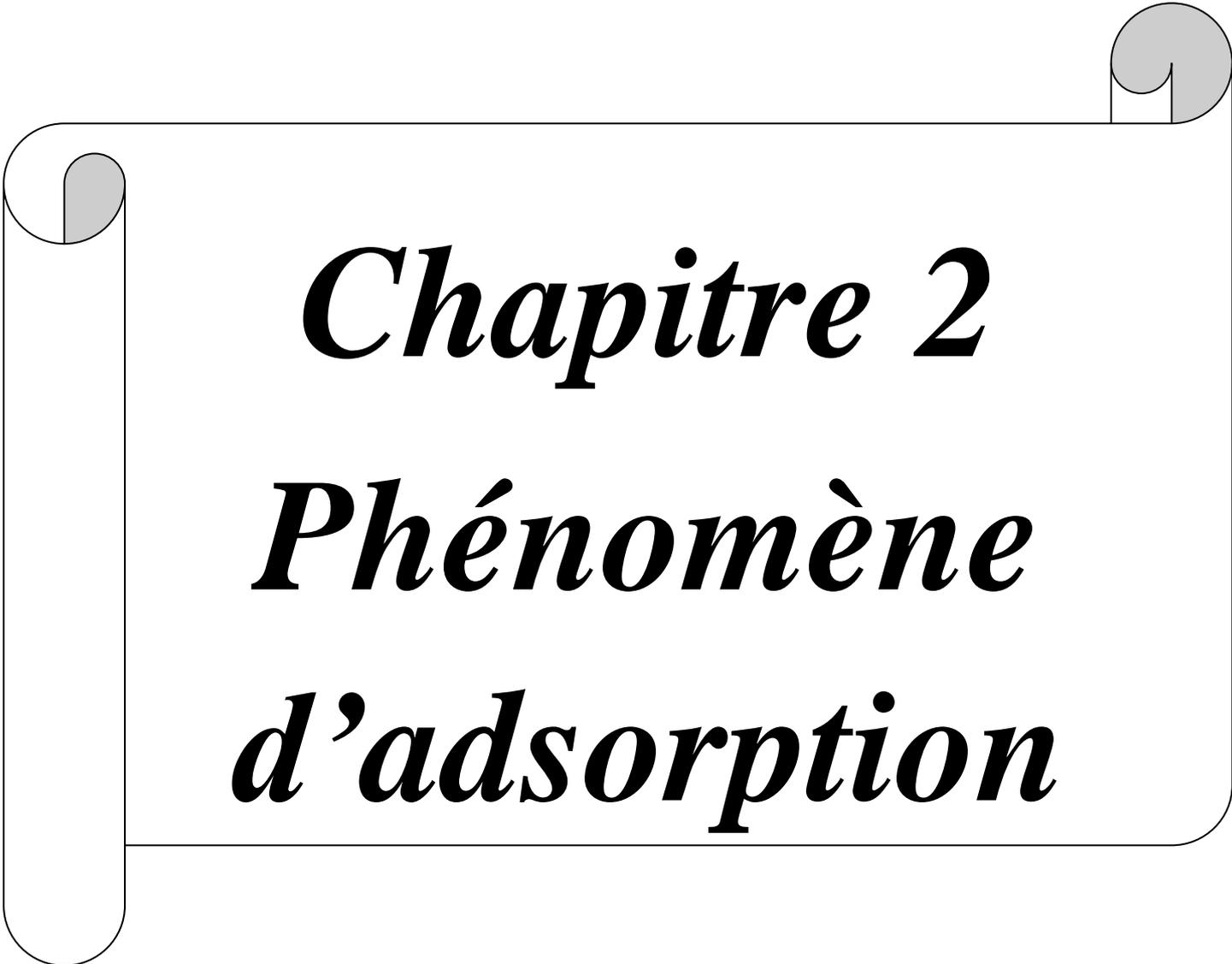
- Oxydation (oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H₂O₂)
- Réduction (Na₂S₂O₄)
- Méthode complexométrique
- Résine échangeuse d'ions

Biologique :

- Traitement aérobie,
- Traitement anaérobie.

1.10. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une petite généralité sur les colorants, et on a cité les différentes classes des colorants (chimique et tinctorial) ainsi que leur impact sur l'environnement. On a abordé aussi le traitement des rejets textiles qui sont dangereux pour la santé humaine et l'environnement en utilisant des procédés physiques, chimiques et biologiques. Pour notre étude on se base sur le procédé physique tel que l'adsorption qui sera abordé dans le deuxième chapitre comme une technique d'élimination des colorants.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

Chapitre 2
Phénomène
d'adsorption

2.1. Introduction

La dégradation de l'environnement est due à l'activité industrielle qui génère une importante pollution [37]. Afin de traiter cette pollution, il existe plusieurs méthodes chimiques, physiques, biologiques, méthodes électrochimiques ainsi que l'adsorption [38]. Parmi les techniques les plus adoptées pour éliminer les polluants on trouve l'adsorption par rapport à sa grande capacité d'épurer les eaux contaminées [39]. Généralement le charbon actif est considéré comme l'adsorbant le plus utilisé lors de traitement des effluents textiles [40].

2.2. Méthode d'élimination

2.2.1. Procédé biologique

Basé sur des microorganismes en présence d'oxygène (milieu aérobie) ou absence d'oxygène (milieu anaérobie), le traitement biologique est une méthode nécessaire pour la dégradation des composés organiques synthétiques (comme les colorants) [41].

Ce processus peut entraîner une biodégradation complète avec une formation de CO₂ et H₂O, ou une biodégradation incomplète. Cependant, les colorants synthétiques utilisés dans les textiles se sont avérés biodégradables [41].

En traitant biologiquement les colorants utilisés dans la teinture des fibres de polyester et du coton, une décoloration d'environ de 22% peut être obtenue [42].

Le traitement biologique est généralement caractérisé par la mesure de la DBO (demande biologique en oxygène) et de la DCO (demande chimique en oxygène). Par conséquent, à l'état anaérobie, pour les effluents chargés 0,8kg/m³ le rendement d'élimination est de l'ordre 80% dans le cas de la DCO, par contre les effluents plus chargés le rendement est 50% [42].

Cependant, il faut souligner que l'utilisation de bactéries de type "Aeromonas hydrophila Var.24B" permet d'éliminer complètement certains colorants. Cependant, ce microorganisme est sensible aux colorants contenant des groupes COOH [42-43]. Les derniers travaux sur l'élimination des colorants industriels rouges, bleus et jaunes par la biodégradation des boues activées montrent que l'élimination de ces substrats par des processus biologiques est peu d'importance par rapport à la biodégradation des POA (les procédés d'oxydation avancée).

2.2.2. Méthode de séparation (échange d'ion)

L'échange d'ions est le processus d'élimination des contaminants organiques et inorganiques des milieux aqueux. Il est basé sur le remplacement d'un composé par un autre composé entre deux phases distinctes (un solide et un autre liquide) [44].



Avec (X, Y) étant les espèces échangeables et A le solvant.

Il existe différents types d'échangeurs :

- Les échangeurs cationiques forts ou les sites sont des groupements sulfonâtes.
- Les échangeurs cationiques faibles ou les sites sont des groupements carboxyliques.
- Les échangeurs anioniques ou les sites sont des groupements amines.
- Les échangeurs inertes qui possèdent la caractéristique essentielle de fixer les composés à éliminer.

Le principe d'échange d'ions est lié à l'interaction électrostatique (attraction) et à la force de van der Waals (affinité).

L'utilisation d'échange d'ions :

- Rétention des métaux lourds toxiques (Cd^{2+} , Pb^{2+}).
- Rétention d'espèces anioniques (les nitrates, les sulfates).
- Élimination des colorants cationiques et anioniques [41-45].
- Adoucissement des eaux (élimination du Ca^{2+} , Mg^{2+}).

Récemment ils ont montré qu'ils peuvent éliminer par l'échange d'ions 3 types de couleurs qui sont le rouge, le bleu, le jaune sur une résine du type Amberlite IR 120 [42].

Il existe d'autres méthodes d'élimination des colorants non destructives comme l'adsorption, la floculation-coagulation, la précipitation on trouve aussi des réactions destructives comme la photolyse et les procédés d'oxydation avancés dans des milieux homogènes et hétérogènes.

2.3. Généralité sur le phénomène d'adsorption

2.3.1. Définition

L'adsorption, est une technique fondamentale de génie chimique définie comme un phénomène physico-chimique par le quel une espèce chimique peut se fixer à la surface d'un solide (adsorbant) [46] ou même comme un phénomène qui sert à l'accumulation d'une substance à l'interface entre deux phase (gaz-solide, gaz-liquide, liquide-solide, liquide-liquide, solide-solide) [47].

Ce phénomène d'adsorption est largement utilisé dans différents domaines dans le but de dépollution et la purification par exemple : les industries pétrolières chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques [48].

2.3.2. Les différents types d'adsorption

Selon la nature de la liaison adsorbant-adsorbant, on distingue deux types d'adsorption :

- Adsorption physique (physisorption).
- Adsorption chimique (chimisorption).

2.3.2.1. L'adsorption chimique

L'adsorption chimique ou la chimisorption vient de la formation d'une liaison chimique entre l'adsorbant et l'adsorbant avec une énergie de liaison qui dépasse 40 KJ/mol [49]. Elle est caractérisée comme étant :

- Lente.
- Irréversible.
- Très spécifique.
- Accompagne une modification d'énergie d'activation [50].

2.3.2.2. L'adsorption physique

L'adsorption physique ou la physisorption est un processus caractérisé par des énergies relativement peu important appelées force de van Der Waals. Et aux liaisons hydrogènes entre l'adsorbant et les molécules d'adsorbant [51]. Ce processus dégage une chaleur entre 8 et 12 kJ/mol [49], il se produit à des températures basses [48].

La physisorption est caractérisée comme étant :

- Rapide.
- Réversible.
- la physisorption n'entraîne aucune modification de la molécule adsorbée [17].

Le tableau 2.1 récapitule les différences qui existent entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

Tableau 2.1: Différence entre l'adsorption physique et chimique [52].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	5 à 10 Kcal/mol	20 à 100 kcal/mol
Température de processus	Inférieur à la température d'équilibre	Elevée
Nature de liaison	Physique (van der Waals)	Chimique
La désorption	Plus ou moins parfait	Difficile
Energie d'activation	Non appréciable	Peut être mise en jeu
La cinétique	Très rapide	Lente
Etat de surface	Formation de multicouche	Formation de monocouche

2.4. La description du mécanisme d'adsorption

Il consiste à transférer la phase liquide ou gazeuse contenant l'adsorbat vers la phase solide, et le soluté reste à la surface de l'adsorbant [53].

Ce processus se fait en quatre étapes :

- **1^{ère} étape** : transfert de l'adsorbat de la phase liquide vers la couche limite du film liquide lié à la particule solide (par convection ou diffusion). Etape très rapide.
- **2^{ème} étape** : transfert de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant. Etape rapide.
- **3^{ème} étape** : diffusion à l'intérieur de la particule d'adsorbant selon deux voies, sous l'influence du gradient de concentration. Etape lente.
 - 3a** : sous l'état adsorbé, par diffusion de surface.
 - 3b** : à l'état libre, par diffusion de pore.
- **4^{ème} étape** : adsorption dans micropore. Etape très rapide.

Dans chaque contact entre un gaz ou liquide avec un solide celui-ci est retenu par les atomes superficiels du solide et ce concentre à sa surface.

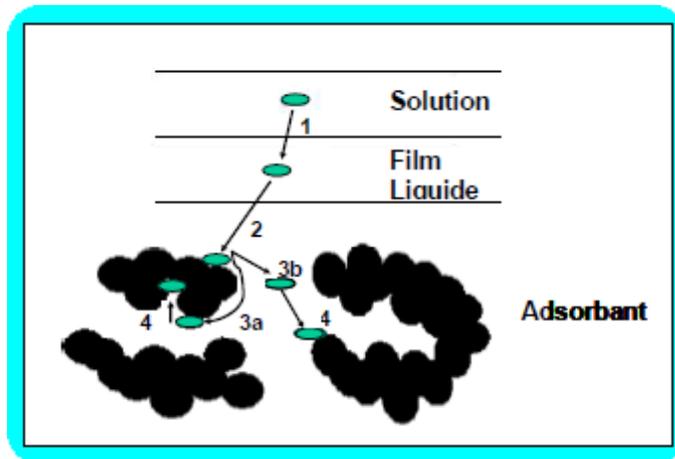


Figure 2.1: Etapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption [53].

On peut aussi résumer ce processus en trois diffusions :

- Diffusion externe.
- Diffusion interne.
- Diffusion surface.

2.4.1. Diffusion externe

C'est le déplacement des molécules de la phase liquide (soluté) du sein de la solution à la surface externe des particules ce transfert de la matière externe dépend des conditions hydrodynamiques de l'écoulement d'un fluide dans un lit adsorbant.

2.4.2. Diffusion interne

Cette diffusion dépend du gradient de concentration de la solution définie comme une pénétration des particules de fluide à l'intérieure des pores.

2.4.3. Diffusion de surface

C'est la fixation des molécules sur la surface des pores.

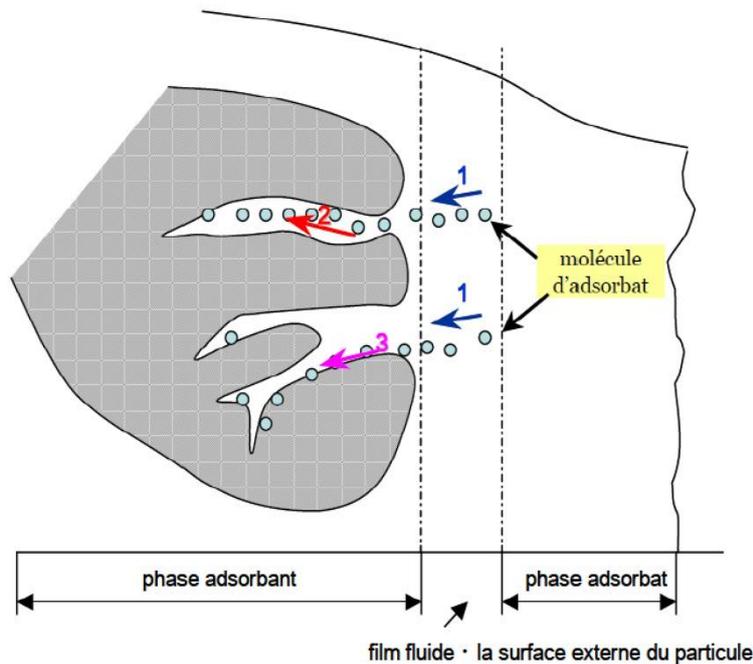


Figure 2.2 : Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide :

1-diffusion externe ; 2-diffusion interne ; 3-migration en surface [54].

2.5. Isothermes d'adsorption

A l'aide d'une isotherme d'adsorption on peut décrire un processus d'adsorption. Une isotherme est définie comme une courbe qui sert à représenter la relation entre la quantité de soluté adsorbée par l'unité de masse d'adsorbant. Cette courbe est obtenue à partir des résultats des essais réalisés au niveau de laboratoire à température constante, dans un volume d'eau à traiter on peut verser les quantités connues d'adsorbant et on peut mesurer la concentration résiduelle de soluté en solution après un moment de contact donné [55].

On peut calculer la quantité de soluté adsorbé et le rendement d'élimination de colorant à partir des équations suivantes :

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} \cdot V$$

$$R\% = \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \cdot 100$$

Avec :

C_0 : concentration initial du colorant (mg/L).

C_e : concentration de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/g).

Q_e : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g).

R : rendement d'élimination du colorant (%).

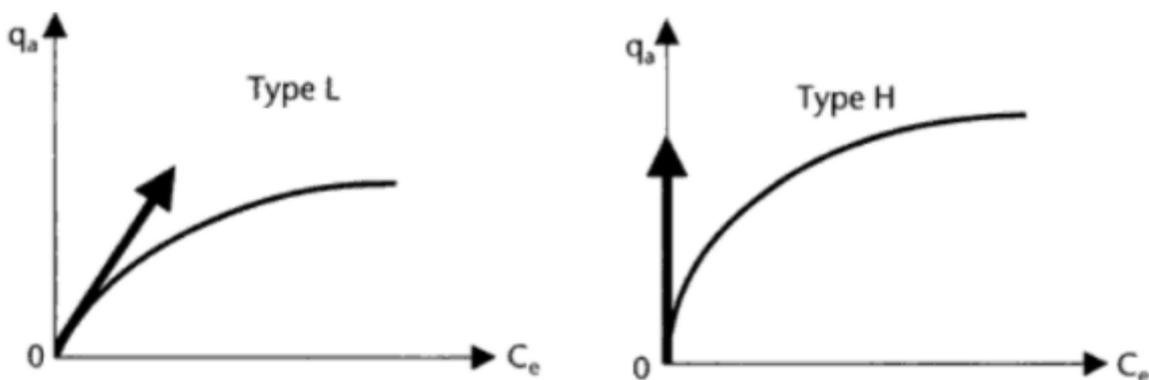
m : masse d'adsorbant (g).

V : volume de la solution (L).

2.5.1. Classification des isothermes d'adsorption

Il existe plusieurs formes d'isothermes d'adsorption selon les propriétés des surfaces adsorbantes et des adsorbats. La première classification générale des isothermes d'adsorption a été proposée par Ostwald et Izaguirre en 1944 [56]. Les phénomènes d'adsorption sont décrits par les isothermes d'adsorption, qui sont les représentations graphiques de la quantité d'adsorbat retenus par l'adsorbant en fonction de la concentration du même adsorbat en solution à l'équilibre avec l'adsorbat. La forme de ces isothermes suggère, mais ne confirment pas, les types d'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant [57].

La classification de référence toujours utilisée aujourd'hui, est celle de Giles et al. (1960). Elle distingue tout un ensemble de courbes regroupées en quatre classes sous les appellations d'isothermes de type L, H, S et C ; elles sont schématisées dans la figure [58].



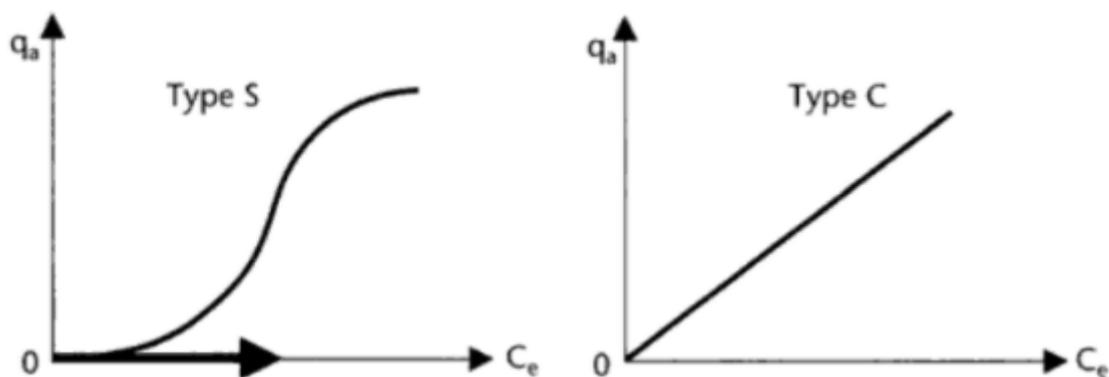


Figure 2.3: Les quatre classes d'isothermes d'adsorption proposées par Giles et al (1962).

2.5.1.1. Classe L

L'isotherme de la classe L représente, à faible concentration en solution [58], C'est le rapport entre la concentration retenue sur la phase solide est subsistant en solution décroît quand la concentration augmente : la courbe est donc concave [57]. Ce phénomène ce produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faible. Elle est souvent observée lors de l'adsorption horizontale des molécules, ce qui minimise leur attraction latérale. On distingue généralement deux sous groupes (avec ou sans plateau strict de saturation). Mais il est souvent difficile de déterminer à quel sous groupe appartient une isotherme «L » à partir de données expérimentales [57].

2.5.1.2. Classe H

L'isotherme de type H décrit une interaction forte entre adsorbat et adsorbant et représente un cas extrême du type L, où la pente à l'origine est très élevée. Ce cas a été distingué pour représenter les nombreuses situations où le composé a une si grande affinité pour la phase solide que la pente à l'origine semble être infinie, même si une pente réellement infinie est thermodynamiquement impossible [57]. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes [59].

2.5.1.3. Classe C

L'isotherme de type C est souvent utilisée comme une approximation de la réalité elle décrit une affinité relative constante des adsorbats pour l'adsorbant. La courbe est une droite passant par l'origine [57]. La linéarité montre que le nombre des sites libres reste constant au cours de l'adsorption [59]. Cela signifie que le rapport entre la concentration de composé retenu sur la phase solide est subsistant en solution est constante, quelle que soit la concentration. Ce rapport est appelé « coefficient de distribution ou de partage » : K_d ou K_p ($L \cdot Kg^{-1}$) [57].

2.5.1.4. Classe S

L'isotherme de cette classe décrit la plupart du temps une adsorption coopérative, elle se présente à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de **Van Der Waals**, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres [59]. Cette isotherme est toujours la conséquence de la compétition entre deux mécanismes opposés [57].

2.6. Modélisation des isothermes d'adsorption

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption, elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température donnée.

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui servent à représenter les variations du substrat.

2.6.1. Isotherme de Langmuir

La théorie de Langmuir peut prendre en considération l'isotherme de l'adsorption de type I, il est basé sur les hypothèses suivantes :

- L'espèce adsorbée est fixée sur un seul site bien défini.
- Chaque site ne fixe qu'une seule espèce adsorbée.
- L'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante des autres espèces adsorbées par les sites voisins.
- La réaction d'adsorption est réversible.

Ce modèle est décrit par la relation suivante [60] :

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

Avec :

C_e : concentration à l'équilibre (mg/L).

Q_e : quantité du produit adsorbée par unité de masse d'adsorbant (mg/L).

Q_m : capacité maximale d'adsorption théorique (mg/L).

K_L : constante de l'équilibre thermodynamique d'adsorption.

Après la linéarisation de l'équation elle devient :

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

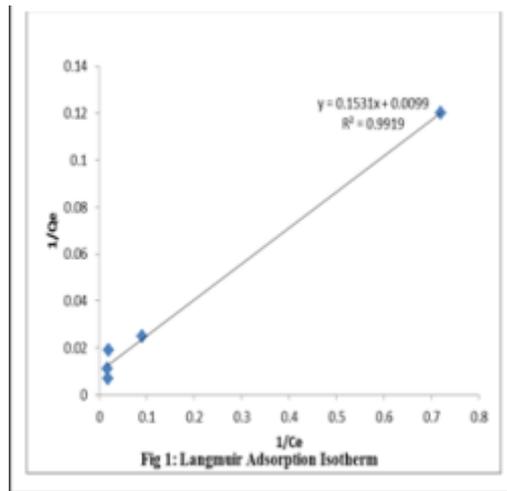


Figure 2.4: Isotherme de Langmuir [61].

2.6.2. Isotherme de Freundlich

Il est basé sur l'adsorption sur la surface hétérogène, l'équation de Freundlich utilisée lors de la formation possible de plus d'une monocouche d'adsorption sur la surface et les sites sont hétérogènes avec des énergies de fixation différentes [60].

L'équation de l'isotherme de Freundlich décrit comme suit :

$$Q_e = K_r \cdot C_e^{1/n}$$

Avec :

K_r : constante d'adsorption de Freundlich (mg/g, mg/L).

n : $0,3 < n < 0,5$ dépend de la nature de l'adsorbat et de la température.

Après la linéarisation l'équation devient :

$$\ln q_e = \ln K_r + \frac{1}{n} \ln c_e$$

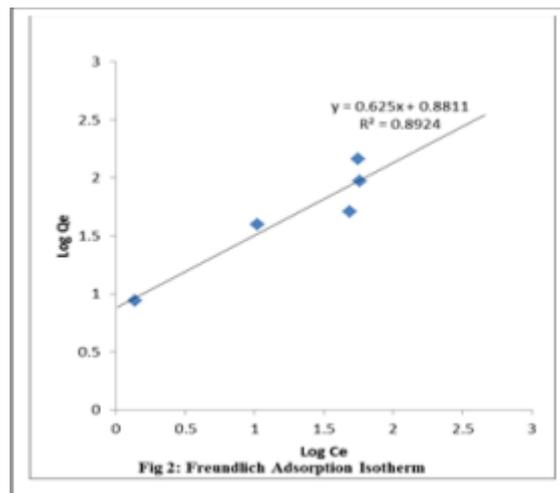


Figure 2.5 : Isotherme de Freundlich [61].

Pour caractériser l'adsorption, on utilise la loi pour décrire la quantité de matière adsorbée, qui est liée à la concentration de l'objet dans la phase liquide et à la température de l'adsorbant. A température constante, la loi selon laquelle la quantité d'adsorption change avec la concentration de la phase liquide est appelée isotherme d'adsorption. On divise les isothermes en cinq types en fonction de leur apparence (Figure 2.6) [62].

- L'isotherme de type I est une caractéristique typique de l'adsorption monocouche. Ils sont généralement obtenus dans les adsorbants microporeux où le dépôt d'une seule couche d'adsorbat est suffisant pour saturer les micropores.
- L'isotherme de type II représente une adsorption multicouche dans des adsorbants avec des structures poreuses dispersées. La coagulation des capillaires se produit avant le phénomène de saturation.
- L'isotherme de type III correspond au même type de système que l'isotherme de type II. La différence est que l'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant est faible et l'interaction entre l'adsorbat est forte.
- L'isotherme de type IV indique que deux couches peuvent être formées sur une surface plane ou une paroi de pore avec un diamètre supérieur au diamètre moléculaire.
- L'isotherme de type V correspond au même système que l'isotherme de type I, la différence est que l'attraction entre les substances adsorbées est plus importante.

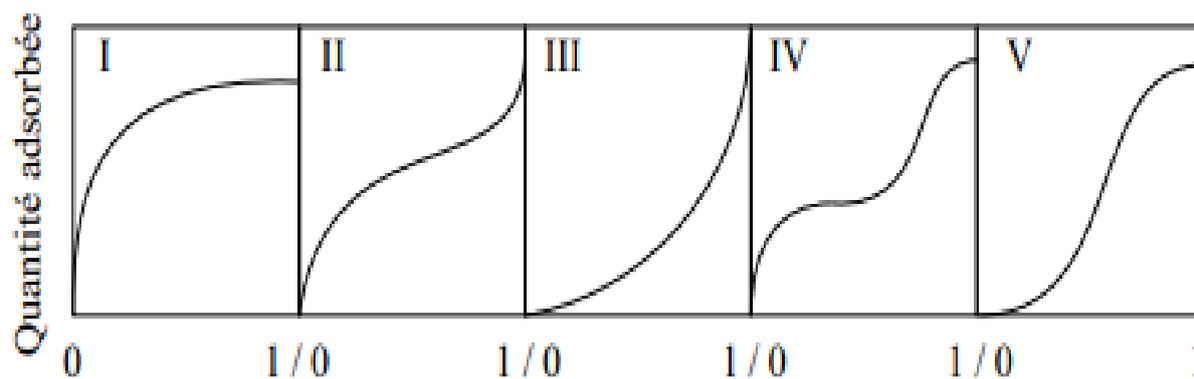


Figure 2.6: Classification de Brunauer des isothermes d'après Ruthven (1984).

2.7. Facteurs influençant sur le phénomène d'adsorption

L'adsorption fait référence à l'accumulation de solutés présents dans la phase liquide ou gazeuse à la surface du matériau adsorbant. Ce transfert de matière peut être décrit par deux modes d'adsorption [63]:

- Adsorption physique réversible impliquant des forces intermoléculaires de faible énergie entre la surface de l'adsorbant et les molécules de soluté, en fonction de la taille des pores et du composé cible.
- Adsorption chimique irréversible entraînant la formation de liaisons chimiques ou de liaisons ioniques entre les molécules de soluté et les groupes fonctionnels à la surface de l'adsorbant. Elle correspond à l'adsorption sur un site spécifique et dépend des propriétés chimiques de l'adsorbant, de l'adsorbé et de la surface du solvant.

L'importance relative de ces interactions dépend de plusieurs facteurs, tels que la nature du soluté, les caractéristiques de l'adsorbant, la chimie physique de la solution (pH, température, force ionique) et la présence d'autres composés organiques.

2.7.1. La nature du soluté

L'adsorption de solutés sur charbon actif est étroitement liée aux propriétés du soluté (taille, de la molécule, la polarité, nature et position des groupes fonctionnels, présence de liaisons insaturées, solubilités). La solubilité joue un rôle important car plus elle est élevée, plus l'adsorption est faible. La taille ou la masse molaire de molécule doit également être prise en considération, car la taille de molécule l'empêche d'atteindre le site d'adsorption situé dans le plus petit pore. Pour une même famille de composé, plus la masse molaire est élevée, plus l'adsorption du composé est facile [63].

2.7.2. Caractéristiques de l'adsorbant

Les caractéristiques de l'adsorbant ont des effets non seulement sur l'adsorption physique (distribution de la taille des pores, surface accessible), mais également sur l'adsorption chimique due aux groupes fonctionnels à la surface du carbone. Par traitement chimique du charbon, KARANFIL et KILDUFF ont augmenté l'acidité de la surface, ce qui a conduit à une augmentation de la polarité de surface, réduisant ainsi l'adsorption de composés hydrophobes. Cependant, pour les composés dont les interactions entre la solution solide et le carbone sont principalement des propriétés physiques, le volume des pores, la surface spécifique et la taille des pores ont plus d'influence, sur l'adsorption du soluté que les propriétés chimiques de la surface du carbone. Enfin, de nombreux auteurs ont montré que la granulométrie du carbone n'a aucun effet sur l'équilibre d'adsorption. Le broyage au charbon n'affecte pas le volume des pores, la surface spécifique et la taille moyenne des pores. D'autre part, la taille des particules de carbone a une influence importante sur la cinétique d'adsorption, il est donc important de choisir le temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption [63].

2.7.3. Caractéristiques physiques et chimiques de la solution

De nombreux auteurs ont remarqué que la capacité d'adsorption des composés organiques diminue lorsque la température augmente [63].

Augmenter, en effet, la température d'une part conduit à une augmentation de vitesse (notamment pour les étapes de diffusion), mais elle conduit également à une plus grande désorption, ce qui conduit généralement à une diminution de la capacité d'adsorption [63].

Le pH de la solution a un effet sur l'adsorbant et sur l'adsorbé (groupement fonctionnel) et sur l'adsorbé au même temps. L'effet de pH est compté négligeable pour les solutés qui ne sont pas sous forme ionique aux pH étudiés, ce paramètre affectera la capacité d'adsorption de ces solutés. La présence de tampon dans le milieu ne modifie pas l'adsorption des composés organiques [63].

2.7.4. L'existence de co-adsorbant

Les deux solutés existants peuvent être adsorbés sur le site commun (site non spécifique) de chaque soluté ou sur le site respectif de chaque soluté avec une cinétique spécifique, et peuvent même être utilisés en mode mixte avec des poids variables. De manière générale, l'adsorption des composés les plus facilement adsorbables est avantageuse, mais la présence de co-adsorbants organique peut modifier l'adsorption des composés cibles selon deux mécanismes [63] :

- Concurrence directe sur le site adsorbant.
- Blocage physique pour empêcher le composé cible de s'adsorber profondément dans la structure.

2.8. Domaine d'application de l'adsorption

Généralement tous les procédés industriels utilisent l'adsorption dont on peut classer en deux catégories [64] :

- Séparations gazeuses.
- Séparations liquides.

2.8.1. Séparations gazeuses

- La déshumidification de l'air ou d'autres gaz.
- L'élimination d'odeurs ou d'impureté sur des gaz.
- La récupération des solvants et de fractionnement des hydrocarbures [64].

2.8.2. Séparations liquides

- L'élimination des traces d'humidité dans les essences.
- La décoloration des produits pétroliers et des solutions aqueuses de sucre.
- Le fractionnement des mélanges d'hydrocarbures [66].
- Traitement des eaux issues des différentes industries (agroalimentaires, textiles...etc.).

On peut résumer l'utilisation technique de l'adsorption en trois caractéristiques qui se différencient des autres procédés de séparation sont [58] :

- La rétention de très petites particules.
- La rétention des composants à très faible concentration.
- La sélectivité de l'adsorbant par rapport à certains constituants du mélange.

Et parmi les applications on cite :

- Le séchage, purification et désodorisation des gaz.
- Le raffinage des produits pétroliers.
- La catalyse de contact.
- La déshumidification et la désodorisation de l'air.
- La récupération des solvants volatils et de l'alcool dans le processus de fermentation.

- La décoloration des liquides.
- La chromatographie gazeuse.

2.9. Les adsorbants

Le solide poreux d'un processus d'adsorption donné est une variable critique. Le succès ou l'échec du processus dépend de la façon dont le solide se comporte à la fois en termes d'équilibre et de cinétique. Un solide ayant une bonne capacité mais une cinétique lente n'est pas un choix évident car les molécules d'adsorbat mettent trop de temps à atteindre l'intérieur de la particule [67]. D'où un faible débit. D'autre part, un solide à cinétique rapide mais à faible capacité n'est pas non plus bon car une grande quantité de solide est nécessaire pour un débit donné. Ainsi, un bon solide est celui qui offre une bonne capacité d'adsorption ainsi qu'une bonne cinétique. Pour satisfaire ces deux exigences, les aspects suivants doivent être satisfaits

- a) le solide doit avoir une surface ou un volume de micropores raisonnablement élevé,
- b) le solide doit avoir un réseau de pores relativement important pour le transport des molécules vers l'intérieur.

Pour répondre à la première exigence, le solide poreux doit avoir une petite taille de pore avec une porosité raisonnable, ce qui suggère qu'un bon solide doit avoir une combinaison de deux gammes de pores : la gamme des micropores et la gamme des macropores. La classification de la taille des pores telle que recommandée par l'UICPA, est souvent utilisée pour délimiter la gamme de taille de pore [67] :

- Micropores $< 2 \text{ nm}$
- Mésopores $2 < d < 50 \text{ nm}$
- Macropores $d > 50 \text{ nm}$

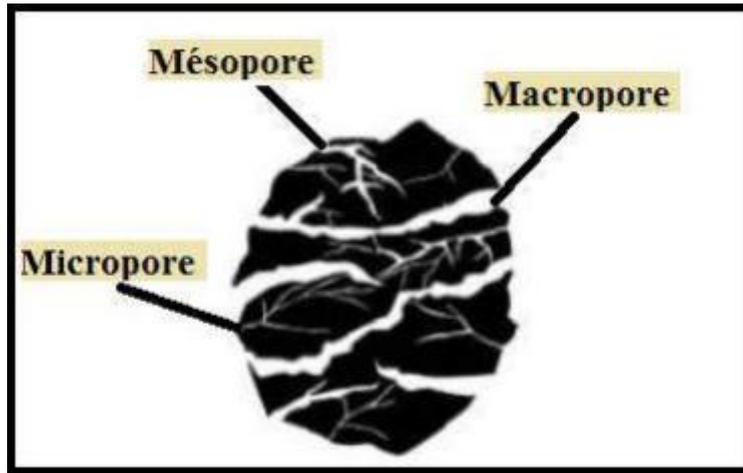


Figure 2.7: Représentation schématique des différents types de pores [68].

Il existe de nombreuses variétés d'adsorbant, tout matériau poreux pouvant être utilisé. Le choix se fera en fonction de l'adsorbât et/ou du type d'opération désirée [69].

Tableau 2.2: Répartition des pores d'un adsorbant [70].

Désignation	Rayon moyen des pores (nm)	Volume poreux ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	Surface spécifique ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
Micropores	< 2	0,2-0,6	400-900
Mésopores	2-50	0,02-0,1	20-70
Macropores	> 50	0,2-0,8	0,5-2

Les solides les plus pratiques couramment utilisés dans les industries répondent à ces deux critères, avec des solides tels que le charbon actif, la zéolite, l'alumine et le gel de silice, les industries utilisant ces solides sont diverses, telles que les industries chimiques, pétrochimiques, biochimiques, biologiques et biomédicales [67].

Pour être efficace, le solide adsorbant doit avoir une grande surface interne et le composé à éliminer est facilement accessible. En effet, c'est la surface intérieure qui détermine la capacité d'adsorption. C'est pourquoi les adsorbants sont généralement des matériaux poreux. En suite, nous présenterons les solides adsorbants les plus courants, en nous concernant sur la structure poreuse et leur sélectivité [60].

2.9.1. Les Charbons actifs

Le charbon actif est obtenu par décomposition thermique des différents matériaux carbonés, suivie d'une étape d'activation, il est considéré comme l'adsorbant le plus utilisé industriellement [71]. Il a été utilisé depuis des milliers d'années pour améliorer le goût de l'eau et pour enlever les odeurs désagréables [72].

Mais les premières applications industrielles ont vu le jour jusqu'à la fin du dix-huitième siècle dans l'industrie de la canne à sucre [72].

La deuxième grande utilisation du charbon actif fut la décoloration, en 1910, le premier filtre utilisé par la municipalité, garni de lignite, fut installé à Reading en Angleterre [72].

Il est obtenu à partir de matière organique (bois, tourbe,....etc.), peut être obtenu en deux formes, soit en forme de poudre ou bien en forme de grain [26].

Le charbon actif peut être utilisé dans plusieurs domaines tels que le traitement des eaux potables ou des eaux industrielles, le traitement tertiaire des eaux résiduaires ou industrielles, le traitement des eaux résiduaires industrielles, la purification industrielle des produits pharmaceutiques, chimiques ou alimentaires (sucre, huiles végétales...) [26].

Il s'agit d'une structure amorphe présentant une très grande surface spécifique (700-1500 m²/g) et une porosité également très élevée qui lui confère un fort pouvoir adsorbant. Cet adsorbant contient plusieurs origines telles que [73] :

- L'origine minérale, obtenus à partir des matériaux combustibles.
- L'origine végétale, obtenus à partir des déchets agricoles non utilisables, paille et enveloppes de céréales et arbre sous de copeaux ou de sciure de bois.
- L'origine animale, obtenus essentiellement à partir d'ossements d'animaux aussi à partir de leur sang voire de leur chair.

Il est aussi capable d'adsorber toute sorte de composés organiques et inorganiques grâce à ses propriétés particulières (grande surface spécifique hétérogénéité chimique et structurel) [73].

Le tableau 2.3 représente les caractéristiques typiques du charbon actif [67].

Tableau 2.3: Caractéristiques typiques du charbon actif.

Densité réelle	2,2 g/cc
Densité des particules	0,73 g/cc
Porosité totale	0,71
Porosité des macropores	0,31
Porosité des micropores	0,40
Volume des macropores	0,47 cc/g
Volume des micropores	0,44 cc/g
Surface spécifique	1200 m ² /g
Rayon moyen des macropores	800 nm
Demi-largeur moyenne des micropores	1-2 nm

2.9.2. Gel de silice

Le gel de silice est fabriqué par coagulation d'une solution colloïdale d'acide silicique. Le terme "gel" reflète simplement les conditions du matériau pendant l'étape de préparation, et non la nature du produit final [67].

Le gel de silice est une substance vitreuse dure et de couleur blanc laiteux. Cet adsorbant est utilisé dans la plupart des industries pour l'élimination de l'eau en raison de la grande surface hydrophile du gel de silice vis-à-vis de l'eau. Voici quelques-unes des applications du gel de silice :

- a) l'élimination de l'eau de l'air
- b) le séchage des gaz non réactifs
- c) le séchage des gaz réactifs
- d) l'adsorption de sulfure d'hydrogène
- e) l'adsorption de vapeur d'huile
- f) l'adsorption des alcools

Le tableau 2.4 présente les caractéristiques typiques du gel de silice.

Tableau.2.4 : Caractéristiques typiques du gel de silice.

Masse volumique des particules	0,7-1,0 g/cc
Porosité totale	0,5-0,65
Volume des pores	0,45-1,0 cc/g
Surface spécifique	250-900 m ² /g
Portée des rayons des pores	1 à 12 nm

2.9.3. Alumine actives

Les aluminés activées sont obtenues par déshydratation thermique du trihydrate d'alumine, Elles disposent d'une surface de 200 à 500 m²/g avec des pores de 20 à 140 Å. Elles sont très hydrophile et ont une affinité réelle pour l'eau et sont souvent utilisées pour sécher différents gaz [74].

L'adsorbant à base d'alumine est normalement utilisé dans les industries nécessitant l'élimination de l'eau du flux de gaz. Cela est dû à la forte densité des groupes fonctionnels à la surface, et ce sont ces groupes fonctionnels qui fournissent des sites actifs pour les molécules polaires (tels que comme l'eau) l'adsorption. Il existe une grande variété d'alumine, mais le solide utilisé pour le séchage est l' γ -alumine. La caractéristique d'une alumine typique est donnée dans le tableau 2.5 ci-dessous [67].

Tableau 2.5 : Les caractéristiques typiques de l'alumine.

Densité réelle	2,9-3,3 g/cc
Masse volumique	0,65-1,0 g/cc
Porosité totale	0,7-0,77
Porosité macroporeuse	0,15-0,35
Porosité microporeuse	0,4-0,5
Volume des macropores	0,4-0,55 cc/g
Volumes des micropores	0,5-0,6 cc/g
Surface spécifique	200-300 m ² /g
Rayon moyen des macropores	100-300 nm
Rayon moyen des micropores	1,8-3 nm

2.9.4. Les adsorbants à base de polymère

Les adsorbants à base de polymères organiques tels que les polystyrènes, les esters polyacryliques ou les résines phénoliques. Ce sont généralement des matériaux mésoporeux qui ont trouvé des applications pour l'élimination des composés organiques et la purification des eaux [75-76].

La caractéristique importante de ces adsorbants c'est qu'ils sont très hydrophobes. Ceux-ci dit, le produit peut être utilisé directement ou carbonisé. En suite nous obtenons l'adsorbant est proche du charbon actif. Si le polymère initial est transformé en fibres, vous pouvez tisser et obtenir un tissu de charbon actif [77].

Le diamètre de fibre est d'environ 10 microns et le temps de transmission est long plus rapide que tous les autres adsorbants. Sa surface spécifique peut atteindre 2000 m²/g de tissu de charbon actif [77].

2.9.5. Les zéolithes

Une autre classe importante de solide utilisée aussi largement que le charbon actif est la zéolite. Elles sont des cristaux poreux d'aluminosilicates. La structure primaire consiste en un assemblage de tétraèdres de SiO_4 et d' AlO_4 . Ces éléments s'assemblent par la mise en commun d'atomes d'oxygène pour former une structure secondaire qui peut être sous forme de cubes, d'octaèdres, etc. La structure finale de la zéolithe consiste en un assemblage de ces unités secondaires en une structure cristalline régulière comme représenté sur la (Figure 2.8) [78].

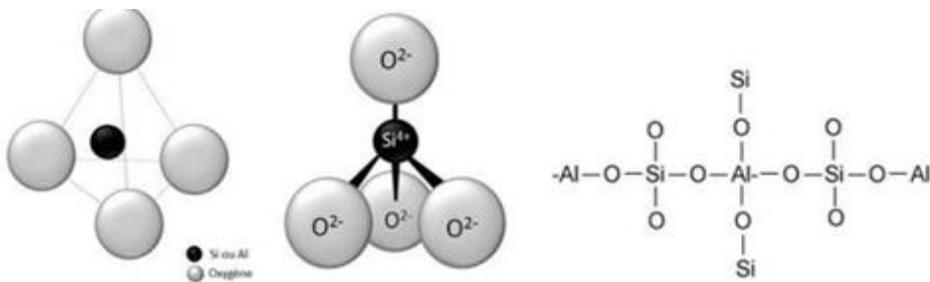


Figure 2.8: La structure de la zéolithe [78].

La zéolite peut être trouvée naturellement ou fabriquée synthétiquement. L'application de la zéolithe naturelle n'est pas aussi étendue que celle de la zéolithe synthétique en raison de la plus grande spécificité de la zéolithe synthétique.

Il existe de nombreux types de zéolithes synthétiques, tels que les zéolithes de type A, X, Y, la mordenite, la ZSM, etc. Le livre de Ruthven (1984) donne un bon aperçu de ces zéolithes. Les caractéristiques typiques de la zéolithe A sont énumérées ci-dessous [69].

Tableau 2.6: Les caractéristiques typiques de la zéolite A.

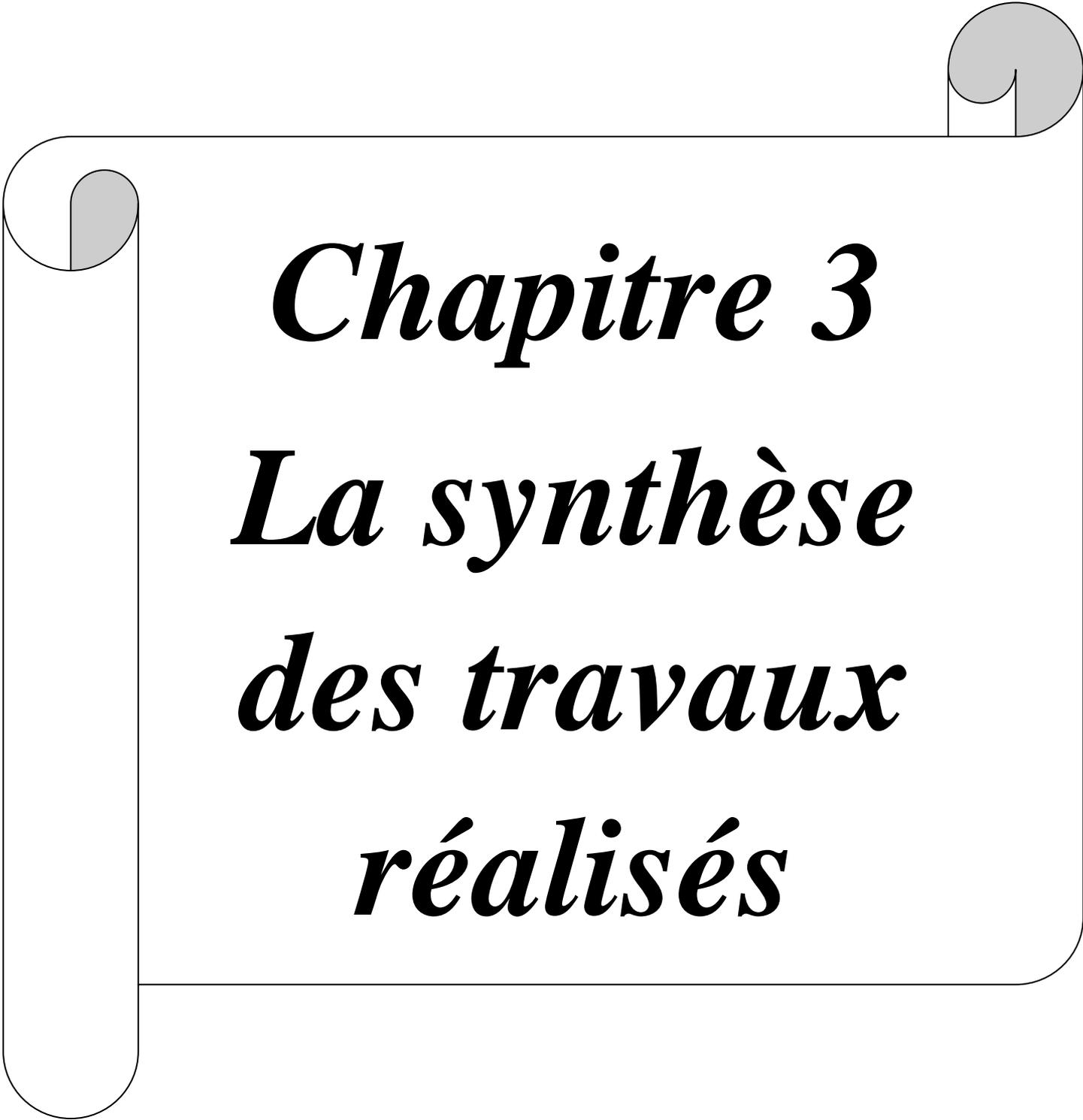
Densité du cristal	1,57 g/cc
Masse volumique des particules	1,1 g/cc
Porosité des macropores	0,31
Volume macropores	0,28 cc/g
Volume micropores	0,3 cc/g
Surface extérieure	1-2 m ² /g
Rayon moyen des macropores	30-1000 nm
Rayon moyen des micropores	0,5 nm

On trouve deux sortes de zéolithe connues [79] :

- les zéolithes naturelles.
- les zéolithes synthétiques.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, on a défini l'adsorption et ces deux types chimisorption et physisorption et on a cité la différence entre eux, on a aussi présenté les isothermes d'adsorption ainsi que les modèles les plus utilisés, en fin nous avons mentionné les différents adsorbants provenant de différentes origines tels que la zéolite, charbon actifs, les alumines activées, le gel de silice et les adsorbants basés sur les polymères, leurs capacités d'adsorption et leurs efficacités diffèrent les uns des autres par rapport à leurs surfaces et leurs porosités, on constate que le charbon actif est le plus répandu pour sa pénétration superficielle, sa porosité qui lui permet de retenir en surface les substances qu'il intercepte.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. Two grey circular elements are attached to the scroll: one on the left side, partially unrolled, and one on the top right corner, also partially unrolled.

Chapitre 3
La synthèse
des travaux
réalisés

3.1 Introduction

La présence de colorants dans les effluents est une préoccupation majeure en raison de leurs effets néfastes sur de nombreuses formes de vie (l'environnement, la santé humaine, les animaux...etc.) et pour traiter ces rejets textiles, on utilise l'adsorption qui est la technique la plus utilisée dans le traitement des rejets textiles en raison de sa facilité d'utilisation et de conception, pour cela plusieurs études ont été faites pour étudier ce phénomène avec plusieurs adsorbants pour avoir le plus efficace.

3.2 La Problématique

Quelles sont les adsorbants les plus efficaces pour le traitement des eaux usées issues des industries textiles ?

3.3 Le but

Cette étude entre dans le cadre du choix d'un adsorbant efficace, local et bon marché pour éliminer des colorants des eaux résiduaires de l'industrie textile.

3.4 Etudes des travaux réalisés

3.4.1. La purification des eaux usées de l'industrie textile polluée par des colorants organiques à l'aide des déchets industriel et des mélanges matériaux locaux a été réalisée

Le premier article choisit s'intéresse à l'exploitation des déchets industriels tels que les déchets obtenus lors de la régénération des résines d'échangeuses d'ions formés des liquides aqueux très salés par les sels de calcium et de magnésium ; ainsi que l'eau de mer ou océan. Cette étude intitulée : « la purification des eaux usées de l'industrie textile polluée par des colorants organiques à l'aide des déchets industriel et des mélanges matériaux locaux » a été réalisée par M. Nabieue, O. Kaddour, A.M. Nabieue, N. Khettabi, SN.Gater [80].

3.4.1.1. Matériels et méthodes

a) Les réactifs utilisés

L'adsorbant (un mélange de $Mg(OH)_2$ et de $(MgOH)_2CO_3$ et de $CaCO_3$). Le mélange de l'adsorbant utilisé est obtenu lors de la régénération des résines d'échangeuses d'ions, formés de liquides aqueux très salés par les sels de calcium et de magnésium. C'est un déchet qui ne demande pas un traitement préliminaire. On sait que l'eau de mer ou l'océan contiennent une quantité suffisante de sels de magnésium et de calcium qui peuvent être utilisés comme une source pour l'obtention d'adsorbants de colorants organiques.

L'adsorbat (plusieurs colorants utilisés) Bleu Bemaced-CM2-B, Jaune Bezakrolan L-4R, Noir Bezakrolan L-RS, Violet Samarin HFRL, Jaune Samarin-HRL, Orange Demacron-SE-RDL, Bleu Bizaktin P-R3, Rouge Bezaktiv V-3R.

b) Analyse des déchets industriels et de l'eau de mer

Analyse des déchets industriels (titrage complexométrique par le sel di sodique de l'acide d'éthylène diamine tétra acide acétique) obtenus a montré que :

un litre de liquide salé contient 5 à 8 g/L de Mg^{++} et de 10 à 15 g/L de Ca^{++} qui peut former au $pH = 11$ plus que 20 g d'un mélange de $Mg(OH)_2$ et de $(MgOH)_2CO_3$ et 30 g/L de $CaCO_3$; et 1 litre d'eau de mer contient 0,41 g/L de calcium et 1,4 g/L de magnésium qui peuvent formés plus que 4 g d'un mélange de $Mg(OH)_2$ et de $(MgOH)_2CO_3$ et 1 g/L de $CaCO_3$.

L'expérience a montré que pour purifier un litre d'eau polluée par des colorants organiques synthétiques acides, directs et dispersifs de concentration 40 mg/L, il suffit d'utiliser 10 – 15 ml d'eau salée obtenu lors de la régénération des résines d'échangeuses d'ions, et 50-80 ml d'eau de mer.

c) Etude des propriétés spectrophotométrique des colorants mentionnés ci-dessus

Ils ont étudié d'abord des propriétés spectrophotométriques des colorants mentionnés ci-dessus, pour effectuer une étude ultérieure d'adsorption sur l'adsorbant solide obtenue à partir de saumure (mélange de $CaCO_3 + (Mg OH)_2 CO_3 + Mg(OH)_2$).

d) Détermination des λ_{max} d'absorptions des colorants différents

Pour chaque solution de colorants purs, ils ont fait un balayage des densités optiques (D.O ou absorbance), en fonction de la longueur d'onde dans le but de déterminer le maximum d'absorption λ_{max} . Les mesures ont été réalisées sur des solutions de colorants préparées par dilution à partir des solutions mères de colorants à 200 mg/L dans de l'eau distillée.

Pour la détermination des longueurs d'onde maximales, ils ont diluée la solution de mère de colorants jusqu'à obtention d'une concentration de 20 mg/L. L'appareillage utilisé est un spectrophotomètre de type UV-1601 PC UV visible de marque SHIMADZU, avec une cellule de 1cm de trajet optique. Le tableau 3.1 présente les valeurs de maximum d'adsorption λ_{max} pour chaque colorant.

Tableau 3.1 : Les valeurs de longueur d'ondes maximale pour chaque colorant

Les colorants	Longueur d'onde maximale λ_{max}
Bleu Bemaced – CM2-B	580nm
Jaune Bezakrolan L-4R	345nm
Noir Bezakrolan L – RS	495nm
Violet Samarin HFRL	513nm
Jaune Samarin –HRL	365nm
Orange Demacron- SE- RDL	385nm
Bleu Bizaktin P-R3	550nm
Rouge Bezaktiv V-3R	505nm

3.4.1.2. Résultats et discussion

a) Elaboration de la fixation des colorants par les déchets industriels ou par de l'eau de mer

L'étude cinétique a montré que le processus d'adsorption des colorants acides, directs et dispersifs est adsorbé à 95 – 100 %. Etant donné que les colorants organiques synthétiques sont tension – actifs et les particules des adsorbants ne se précipitent pas et restent dans l'eau purifier sous forme dispersées (colloïdale). Pour arrêter ce processus ils ont utilisé une quantité nécessaire de bentonite activée pulvérisée ayant des charges négatives. La bentonite provoque une coagulation rapide des particules dispersées de l'adsorbant et elle adsorbe aussi des colorants.

Les isothermes d'adsorption ont montrés que l'adsorption peut être régie par les isothermes de Langmuir et de Freundlich. A partir des valeurs des capacités maximales d'adsorption et de constantes d'équilibre, le mélange de $Mg(OH)_2$ et de $(MgOH)_2CO_3$ et de $CaCO_3$ obtenu à partir de liquide salé et de bentonite est un adsorbant très efficace.

Dans cette partie essentielle de travail, ils ont élaboré la fixation des colorants mentionnés ci-dessus par le mélange cité au par avant se résume comme suit :

- Préparation des solutions de colorants organiques de concentration de 0,02%.
- Introduction à ces solutions une quantité déterminée de liquide salé ou de l'eau de mer et de différentes quantités de bentonite.
- Maintenir le pH basique à l'aide des solutions de NaOH et de Na_2CO_3 à 1 M.
- Agitation de mélange pendant quelques minutes et détermination du temps de clarification du liquide obtenu.
- Séparation de la phase liquide par de la décantation ou par filtration.

- Analyse de la phase liquide.

b) Fixation des différents colorants synthétiques par d'un mélange ($Mg(OH)_2$, $(MgOH)_2CO_3$ et $CaCO_3$) obtenu à partir de liquide salé et de bentonite

Dans une série des éprouvettes de 50 ml numérotées de 1 à 4, on introduit 10 ml d'une solution concentrée de colorant à 0,02 %. On y ajoute, sous agitation 0,5 ; 0,8 ; 1,2 et 1,5 ml de liquide salé, 0,4 ml d'une solution contenant 1 mol/L de NaOH et de Na_2CO_3 (le pH du liquide doit être pH= 11) et différentes quantité (10, 20, 30, 40 mg) de bentonite. Puis on ajuste le volume de la solution, jusqu'au trait jauge par de l'eau Distillée. La quantité adsorbée de colorants par le mélange: $Mg(OH)_2$, $(MgOH)_2CO_3$, $CaCO_3$ obtenu à partir de liquide salé et de bentonite et de l'eau de mer peut être calculée d'après la formule suivante :

$$\alpha = \frac{[C_0] - [C_e]}{[C_0]} \times 100\%$$

Où : α : est le degré d'adsorption en %.

C_0 : la concentration initiale de colorant.

C_e : la concentration de colorant à l'équilibre.

Tableau 3.2 : Degré d'adsorption en % des différents colorants avec le mélange obtenu ($Mg(OH)_2$, $(MgOH)_2CO_3$ et $CaCO_3$) à partir de liquide salé et de bentonite.

Quantité prise de bentonite en mg	10	20	30	40
Volume pris de liquide salé en ml	0,5	0,8	1,2	1,5
Colorants	Purification en %			
Bleu Bemaced – CM2-B	70,5	82,5	87,20	98,5
Jaune Bezakrolan L-4R	67,5	69,40	72,5	92,3
Noir Bezakrolan L – RS	73,5	78,4	85,45	94,30
Violet Samarin HFRL	75,30	84,20	89,55	96,2
Jaune Samarin –HRL	69,20	83,24	86,50	92,52
Orange Demacron- SE- RDL	76,50	87,50	93,85	97,25
Bleu Bizaktin P-R3	79,25	88,50	96,20	99,70
Rouge Bezaktiv V-3R	73,5	84	92,5	95,3

Les résultats obtenus montrent que lors de l'utilisation 1,5 ml de l'eau salée et 40 mg de bentonite la purification passée est de 92,5 à 99,7% (le temps de contact est de 15 min). Il faut noter que lors de l'utilisation de la quantité de l'eau de mer mentionnée ci-dessus passe aussi presque la même purification (de 90 à 98,5 %). La cinétique d'adsorption permet de fixer les

temps d'agitation optimale pour chaque colorant. Par expérience est déterminé les absorbances décroissent dans le temps.

Elles se stabilisent pratiquement, pour tous les colorants, à partir d'un temps d'environ 10 minutes.

Tableau 3.3: Absorbance des colorants en fonction du temps d'agitation

Temps (min)	0	3	6	9	12	15
Colorants	Absorbance					
Bleu Bemaced – CM2-B	0,225	0,180	0,125	0,056	0,055	0,055
Jaune Bezakrolan L-4R	0,425	0,254	0,150	0,082	0,081	0,080
Noir Bezakrolan L – RS	0,488	0,275	0,178	0,115	0,114	0,114
Violet Samarin HFRL	0,354	0,216	0,156	0,094	0,095	0,095
Jaune Samarin –HRL	0,376	0,194	0,145	0,079	0,078	0,078
Orange Demacron- SE- RDL	0,518	0,224	0,165	0,098	0,097	0,097
Bleu Bizaktin P-R3	0,215	0,178	0,118	0,048	0,048	0,048
Rouge Bezaktiv V-3R	0,614	0,375	0,246	0,158	0,157	0,157

3.4.2. L'adsorption de bleu de méthylène sur l'alcool polyvinylique

Une autre étude a été faite par S. A.Umoren, U.J.Etim, A.U.Israel qui s'intitule « l'adsorption of méthylène blue from industrial effluent using poly vinyl alcohol ». Dans cette étude ils ont utilisé un adsorbant sous une forme non modifiée qui est Alcool Poly Vinylique (PVA) pour éliminer le bleu de méthylène (BM) qui se trouve dans les eaux usées à 303-333 K. Elle a été faite dans le but de déterminer le dosage de l'adsorbat, le pH, et la concentration initial de colorant dans les conditions optimales d'élimination maximale de colorant, l'effet de la quantité d'adsorbant, le temps sur l'élimination des colorants. Ainsi que pour examiner la nature de l'adsorption par l'étude des modèles d'isothermes tels que Langmuir, Freundlich, et évaluer la cinétique de l'adsorption et les études thermodynamiques [81].

3.4.2.1 Matériels et méthodes

Les réactifs qui ont été utilisés sont :

- Un adsorbant: alcool polyvinylique (PVA).
- Un adsorbat : bleu de méthylène (BM).
- Solution concentrée de HCl.
- Solution diluée de NaOH.

Dans cette étude l'alcool polyvinylique a été utilisé sans autre traitement chimique, ils ont émergée une quantité qui a été déjà mesuré dans une eau chaude pour 2 h puis filtré le gel gonflé et sécher dans un four à 600 °C.

Matériels utilisés :

- Un spectrophotomètre UV-Visible.
- Un appareil électrique.
- Une balance.
- Un pH mètre.
- Une centrifugeuse.

La méthode de El Sayed a été appliquée pour déterminer le point de charge zéro (pH_{zpc}), 1g de polymère à été placée dans un ballon conique de 250 ml avec 50 ml d'eau déionisée, les valeurs de pH ont été ajustées à 2-10 en utilisant NaOH 0,1 M ou bien HCl 0,1 M, les mélanges obtenus ont été agités manuellement puis les laissés à l'équilibre pour 24 h avec une agitation périodique.

Les propriétés de l'alcool poly vinylique (PVA) ont été déterminées par l'application de la méthode de Wana et al, la surface apparente a été calculée à partir de l'adsorption de N₂ à 77K et la surface total a été mesurée à l'aide de BET (théorie Brunauer, Emmett et Teller).

La technique qui a été utilisée est la technique de lots. Les expériences d'adsorption ont été faites dans un ballon de 250 ml et le volume total est de 50 ml Les flacons on été agité à 200 tr/min à l'aide d'un agitateur à plate-forme.

Cinq différentes concentrations d'adsorbant ont été utilisé (0,2-1,0 g) avec 50 ml de solution colorant, l'effet du pH sur l'élimination du colorant a été aussi étudiée, le pH de solution a été ajusté avec du HCl à 0,1M ou du NaOH 0,1M.

a) Pour l'équilibre d'adsorption

Des expériences d'équilibre d'adsorption ont été réalisées durant des intervalles de temps différents en agitant 50 ml de solution aqueuse de Bleu de méthylène à une concentration initial de (5-25 mg) dans chaque fiole de 50 ml contenant 0,2 g d'adsorbant.

b) Pour la cinétique de l'adsorption

Ces expériences ont été réalisées en concevant 0,2 g d'adsorbant et 50 ml de solution aqueuse de Bleu de méthylène de (5-25 mg) dans des flacons de 250 ml maintenus à des températures ambiantes vers la suite les flacons ont été retirés à des intervalles régulières.

Après la réalisation de l'adsorption. Ils ont séparé le surnageant et l'adsorbant en utilisant la centrifugeuse à 400 rpm pour 10 min.

Plusieurs analyses et calculs ont été réalisés par la suite tels que :

- La concentration de colorant restant dans le surnageant en utilisant spectrophotomètre UV-Visible.
- La quantité de colorant adsorbé par gamme d'adsorbant.
- Le pourcentage d'efficacité d'élimination.
- L'effet de température sur les données d'adsorption
- Les données d'équilibre en utilisant les isothermes de Langmuir, Freundlich.
- Les paramètres caractéristiques de chaque isotherme.

3.4.2.2. Résultats et discussion

a) Trois effets ont été étudiés :

- Effet du dosage de concentration.
- Effet du pH.
- Effet de la concentration initiale.

Cela est résumé dans le tableau 3.4 ci-dessous

Tableau 3.4 : Les paramètres importants dans l'étude de l'adsorption.

Effet du dosage de concentration	<p>-La capacité de l'adsorption augmente avec la diminution du dosage de l'adsorbant.</p> <p>- à 0,2 mg la capacité d'adsorption était $2,75 \text{ mg.g}^{-1}$ et a 1 mg la capacité d'adsorption tombée à $0,95 \text{ mg.g}^{-1}$.</p> <p>- le pourcentage d'élimination de colorant augmente avec l'augmentation de la quantité de l'adsorbant.</p> <p>- la surface d'adsorption augmente ce qui donne un grand nombre des sites actifs.</p>
Effet du pH	<p>- L'adsorption maximale du colorant sur l'alcool polyvinylique était au pH égal à 4.</p> <p>- Deux mécanismes de sorption peuvent être proposés lorsque le concept de pHzpc n'explique pas le processus d'adsorption :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La réaction chimique entre OH du l'alcool polyvinylique et le groupe réactif Cl^- en bleu de méthylène. - Le mécanisme d'interaction électrostatique entre le groupe protoné et déprotoné de l'adsorbant. <p>- à $\text{pH} \leq 4$</p> <p>- L'interaction avec les cations du colorant entraîne une diminution de l'adsorption.</p> <p>- La combinaison des forces de Vander Waals et la liaison d'hydrogène forment une forte adsorption.</p> <p>- après $\text{pH} = 6$</p> <p>- Création d'une attraction électrostatique avec les cations ce qui entraîne une augmentation de l'adsorption.</p>
Effet de la concentration initiale	<p>- Le pourcentage d'élimination du colorant diminue avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant due à la saturation des sites actifs.</p>

b) Les isothermes étudiées

Isothermes de Langmuir, Freundlich ont été étudiés pour savoir le comportement de l'adsorption dans quatre températures différentes 303, 313, 323, 333 K.

Les résultats qui ont été obtenus dans Le tableau 3.5 qui montre les paramètres isothermes

Tableau 3.5: Paramètres isothermes pour l'adsorption du bleu de méthylène sur le PVA.

Modèle	Paramètres	Températures (K)			
		303±0,5	313±0,5	323±0,5	333±0,5
L'isotherme de langmuir	Q_{\max} (mg/g ⁻¹)	13,80	13,70	12,20	12,10
	b (l/mg ⁻¹)	27,8	26,9	23,8	29,7
	R_L	0,0014	0,0015	0,0017	0,0013
	R^2	0,971	0,980	0,987	0,968
L'isotherme de Freundlich	K_F (mg ^{1-1/n} L ^{1/n} g ⁻¹)	0,50	0,53	0,53	0,51
	1/n	0,86	0,85	0,84	0,86
	R^2	0,998	0,997	0,998	0,996

Avec Q_{\max} : la capacité d'adsorption maximale ou bien monocouche de l'adsorbant (mgg⁻¹).

R^2 : le coefficient de corrélation.

K_F : la constante d'adsorption de Freundlich.

n : constante sans dimension.

R_L : facteur de séparation ou paramètre d'équilibre défini par l'équation suivante

$$RL = \frac{1}{1 + KL C_0}$$

On peut dire que le système est favorable ou défavorable en calculant R_L .

$R_L=0$	$0 < R_L < 1$	$R_L > 1$
Isotherme irréversible	isotherme favorable	isotherme défavorable

- D'après les résultats de tableau 3.5 l'adsorption est favorable parce que $R_L < 1$.

- $R^2 > 0,96$ montrent une forte corrélation positive.
- La capacité d'adsorption maximale obtenue à la plus basse température et diminue avec l'augmentation de la température.
- Les valeurs $1/n$ comprise entre 0 et 1 est une mesure de l'intensité d'adsorption ou de l'hétérogénéité de surface. Elle devient plus hétérogène lorsque sa valeur se rapproche de 0.
- Une valeur de $1/n$ en dessous de 1 indique un isotherme de Langmuir normal en revanche au dessus de 1 indique une adsorption coopérative (les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules).

c) La Cinétique de l'adsorption

Deux modèles ont été utilisés pour tester les données expérimentales tels que les modèles de pseudo premier ordre et du pseudo deuxième ordre.

- Le modèle de pseudo premier ordre est représenté par l'équation :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} T$$

q_e et q_t : les quantités de colorant adsorbé (mg.g^{-1}).

k_1 : constante de vitesse (min^{-1}).

- Le modèle cinétique d'ordre pseudo-seconde représenté par l'équation suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e}$$

K_2 : la constante de vitesse de l'adsorption de pseudo seconde ($\text{g.mg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

Le tableau 3.6 représente les paramètres cinétiques de l'adsorption de bleu de méthylène sur PVA à $300 \pm 0,5$

Tableau 3.6 : Paramètres cinétiques de l'adsorption de bleu de méthylène sur PVA à $300 \pm 0,5$

Concentration de colorant (mgg^{-1})	$Q_{e, \text{exp}}$ (mgg^{-1})	Pseudo-premier ordre			Ordonnance de second ordre		
		K1	$Q_{e, \text{cal}}$ (mgg^{-1})	R^2	K ₂	$Q_{e, \text{cal}}$ (mgg^{-1})	R^2
PVA							
5	0,81	0,034	0,20	0,89	0,420	0,83	0,999
10	1,60	0,029	0,42	0,90	0,244	1,70	0,991
15	2,36	0,035	0,89	0,92	0,087	2,44	0,999
20	3,01	0,031	0,78	0,86	0,077	3,11	0,999
25	3,71	0,036	1,02	0,94	0,076	3,83	0,999

- Les valeurs obtenues de la capacité d'adsorption $q_{e, \text{cal}}$ (mg.g^{-1}) ont donné un meilleur accord avec celles des valeurs expérimentales $q_{e, \text{exp}}$ (mg.g^{-1}) et du coefficient de corrélation $R^2 > 0,99$ donc le processus d'adsorption suit un modèle cinétique d'ordre pseudo-seconde.
- Application du modèle de pseudo seconde ordre suggère que la réaction chimique pourrait être responsable de l'adsorption du bleu de méthylène sur l'alcool polyvinylique.

d) Etude thermodynamique

Cette étude a été réalisée avec quatre températures différentes dans un bain thermostaté, la capacité d'adsorption est passée de 0,30 à 1,23 mg.g^{-1} entre 303 à 333 K.

Les paramètres thermodynamiques tels que la variation d'énergie libre de Gibbs (ΔG), la variation d'enthalpie (ΔH) et la variation d'entropie (ΔS) peuvent être utilisés ainsi que la caractérisation de l'effet de température.

Ces paramètres ont été calculés à l'aide des équations suivantes :

$$\Delta G = -RT \ln K_L \quad (\text{équation de Gibbs})$$

$$\ln k_L = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (\text{équation de Van't Hoff})$$

Avec $K_L \frac{q_e}{C_e}$, est la constante molaire du gaz (8,314 J/mol k), k_L est la constante d'équilibre obtenue pour chaque température à partir de model de Langmuir.

Les valeurs des paramètres thermodynamiques sont indiquées dans le tableau 3.7

Tableau 3.7 : Les paramètres thermodynamiques pour l'adsorption du bleu de méthylène sur le PVA.

PVA						
Concentration de colorant (mg l^{-1})	ΔH (KJmol $^{-1}$)	ΔS (Jmol $^{-1}K^{-1}$)	ΔG (KJmol $^{-1}$)			
			303K	313K	323K	333K
5	-0,57	-22,5	6,32	6,41	6,65	7,01
10	-1,15	-24,8	6,44	6,41	6,74	7,21
15	-1,53	-26,5	6,56	6,77	6,74	7,46
20	-0,96	-26,0	6,96	6,71	7,42	7,71
25	-2,30	-30,9	7,08	7,37	7,61	8,03

- On observe que les valeurs d'enthalpies d'adsorption (ΔH) sont négatives et se situent entre -0,57 et -2,30 ce qui montre que le processus d'adsorption était de nature exothermique.
- Ces valeurs indiquent qu'il n'y a pas une forte interaction chimique entre l'adsorbant et l'adsorbé.
- Variation de l'énergie libre (ΔG) était positive ce qui suggère que le processus d'adsorption était non spontané et a conduit à une augmentation de l'énergie libre de Gibbs.
- L'augmentation des valeurs de (ΔG) avec l'augmentation de la température indiquait que l'adsorption était plus facile à réaliser à basse température.

Les valeurs négatives de (ΔS) montrent la diminution du degré de liberté, ce qui indique que les molécules de colorant ont été adsorbées de manière ordonnée sur la surface de l'adsorbant.

3.4.3. L'adsorption de bleu de méthylène sur la sciure de cèdre et la brique concassée

Oualid Hamdaoui a mené une étude intitulée : « Batch study of liquid-phase adsorption of methylene blue using cedar sawdust and crushed brick », où l'auteur a travaillé sur un lots d'adsorbants cité respectivement, sciure de cèdre et brique concassée en mode batch, le but de cette étude est de déterminer la cinétique d'adsorption et les isothermes par les équations de vitesse de diffusion et par les modèles de Freundlich et Langmuir, mais aussi de trouver l'influence de la température et du pH de la solution sur le processus d'adsorption [82].

3.4.3.1. Matériaux et méthode

Deux adsorbants ont été utilisés :

- la brique (nettoyé, séché puis passé à travers un tamis de taille de particule de 315 μm)
- la sciure de cèdre (séchée à l'air et broyée en poudre fine).

Ces adsorbants ont été utilisés directement sans traitement, les matériaux ont été placés dans un récipient hermétique pour une utilisation ultérieure.

Ces expériences ont été réalisées dans des conditions, pour l'isotherme des quantités d'adsorbant (0,001 à 0,015) a été agité en continu à 400 tr/min avec 10 ml de solution aqueuse de bleu de méthylène à 40 mg. L⁻¹ dans un bain thermostaté à 20 °C pendant 5 h puis centrifugé le contenu des bouteilles durant 15 min à 3000 tr/min.

Les expériences de cinétique d'adsorption par lot ont été réalisées en agitant une vitesse de 400 tr/min 0,5 g d'adsorbant avec 1 L de solution aqueuse de bleu de méthylène de 40 mg.L⁻¹ dans des flacons en verre placés dans un bain marie à une température 20 °C, les solutions ont été centrifugées à 3000 tr/min, puis ils ont analysés les solutions surnageantes pour la concentration finale de bleu de méthylène à l'aide de spectrophotomètre UV-Vis avec une longueur d'onde de 665 nm.

Le pH a été étudié en ajustant le pH de solution de colorant en utilisant des solutions diluées de HCl et de NaOH.

3.4.3.2. Résultats et discussion

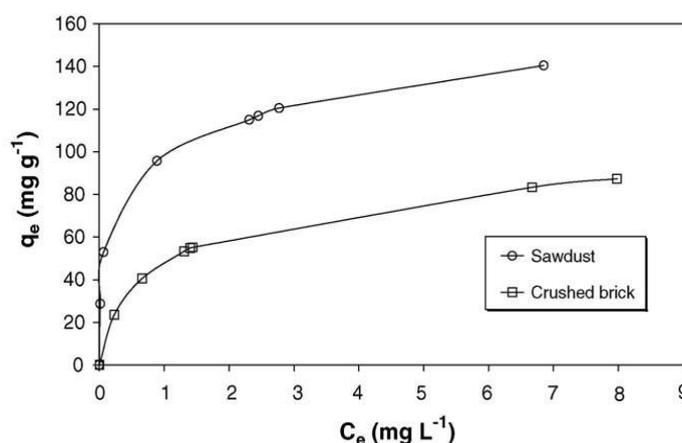
Les résultats obtenus montrent une meilleure adsorption de bleu de méthylène sur la sciure de cèdre, les isothermes ont montré la forme du type L selon la classification de Giles et al, la forme L des isothermes signifie qu'il n'a pas une forte concurrence entre le solvant et l'adsorbat pour occuper les sites adsorbants. Le but de cette partie est d'appréhender les interactions bleu méthylène-adsorbants à la validation des modèles et aussi de trouver des paramètres permettant la comparaison des adsorbants testés.

Le tableau 3.8 résume les résultats obtenus :

Tableau 3.8 : Paramètres isothermes de Langmuir et coefficients de corrélation

	Langmuir I			Langmuir II			
	Q_m (mg g^{-1})	K_L (L mg^{-1})	R^2	Q_m (mg g^{-1})	k_L (L mg^{-1})	R^2	$R_L (10^{-3})$
Sciure de cèdre	111,97	20,89	0,985	142,36	3,04	0,995	8,16
Brique concassée	80,60	1,73	0,992	96,61	1,03	0,999	23,7

Les résultats obtenus montrent que les coefficients de corrélation de l'équation de Langmuir de la forme II sont supérieurs à ceux de la forme I. On constate que les capacités d'adsorption (tableau 3.8) monocouche déterminées à l'aide de la forme linéarisée I sont inférieures aux valeurs expérimentales (figure 3.1). Les valeurs de la constante de Langmuir déterminées à l'aide de la forme I sont supérieures à celles obtenues par la forme II.

**Figure 3.1** : Isothermes d'adsorption du bleu de méthylène par la sciure de cèdre et la brique concassée.

La constante de Langmuir déterminée pour la sciure de cèdre est supérieure à celle obtenue pour la brique concassée.

Toutes ces observations prouvent que la meilleure forme de linéarisation de l'équation de Langmuir est celle de Weber (forme II).

Les valeurs R_L pour l'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de cèdre et la brique concassée étaient inférieures à 1 et supérieures à zéro indiquant une adsorption favorable.

Les isothermes de Freundlich pour l'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de cèdre et la brique concassée sont présentées dans le tableau 3.9.

Tableau 3.9 : Paramètres isothermes de Freundlich et coefficients de corrélation

	Freundlich			
	K_F ($\text{mg}^{1-1/n}\text{L}^{1/n}\text{g}^{-1}$)	n	Q_m (mg g^{-1})	R^2
Sciure de cèdre	92,78	3,94	236,63	0,990
Brique concassée	44,93	2,89	165,44	0,981

Les valeurs de capacité d'adsorption maximale, déterminées à partir du modèle de Freundlich, sont beaucoup plus élevées que les valeurs expérimentales. Les coefficients de corrélation ont montré que le modèle de Langmuir (forme II) correspondait mieux aux résultats que le modèle de Freundlich.

L'amplitude de l'exposant n donne une indication de la favorabilité de l'adsorption.

$n < 1$	$1 < n < 2$	$2 < n < 10$
Médiocres	Moyennement difficiles	Bonnes caractéristiques d'adsorption

Dans ce cas ils ont trouvé que $2 < n < 10$ donc Les matériaux étudiés sont de bons adsorbants pour le bleu de méthylène.

a) La cinétique d'adsorption

Les données d'adsorption de bleu de méthylène sur la sciure de cèdre et la brique concassée en fonction du temps de contact sont présentées dans la figure 3.2.

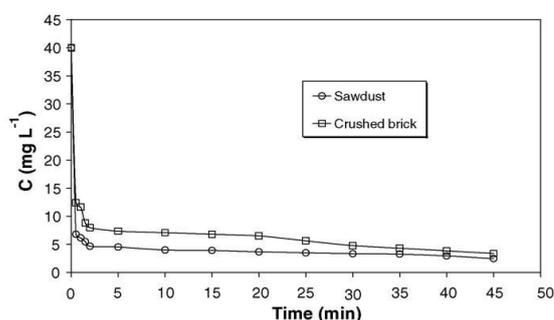


Figure 3.2 : Dynamique de l'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de cèdre et la brique concassée

Le taux d'adsorption du bleu de méthylène sur la sciure de cèdre est supérieur à celui obtenu sur la brique concassée. Les différences entre les taux d'adsorption semblent plus marquées au début de l'adsorption; la variation observée diminue avec le temps.

L'adsorption peut être décrite comme une série d'étapes:

- transport de l'adsorbat du fluide vers la surface externe de l'adsorbant à travers la couche limite (diffusion de film),
- diffusion de l'adsorbat dans les pores de l'adsorbant (diffusion de particules),
- l'adsorption elle-même sur la surface.

La cinétique d'adsorption suit le modèle cinétique du pseudo-second ordre. Les résultats cinétiques ont montré que la diffusion de films et de particules sont des mécanismes d'adsorption efficaces.

Tableau 3.10 : Coefficients cinétiques et de transfert de masse

	$\gamma(L\ mg^{-1}\ min^{-1})$ $\times 10^{-3}$	$K_{ads2}\ (g\ mg^{-1}\ min^{-1}) \times 10^{-3}$	$K_sA\ (m^3\ s^{-1})$ $\times 10^{-6}$	$K_w\ (mg\ m^{-3}\ s^{-0.5})$
Sciure de cèdre	1,032	53,33	4,19	154,54
Brique concassée	0,797	20,15	3,34	70,89

- Le coefficient de vitesse (γ) de la sciure de cèdre est supérieur à celui de la brique concassée, qui est 1,3 fois supérieur à celui de la brique concassée.
- La variation observée entre les coefficients de vitesse est certainement due à des différences de phénomènes de diffusion en raison de la nature différente des adsorbants.
- La valeur du coefficient de diffusion (K_w) intraparticulaire déterminée pour la sciure de cèdre est deux fois supérieure à celle obtenue pour la brique concassée.

b) Effets du pH et la température

La figure 3.3 représenté ci-dessous, montre l'effet du pH sur l'élimination du bleu de méthylène par la sciure de cèdre et la brique concassée (concentration de colorant initiale = $40\ mg\ L^{-1}$, poids de l'adsorbant = 0,05 g, volume = 10 ml, température = 20 °C, temps de contact = 5 h).

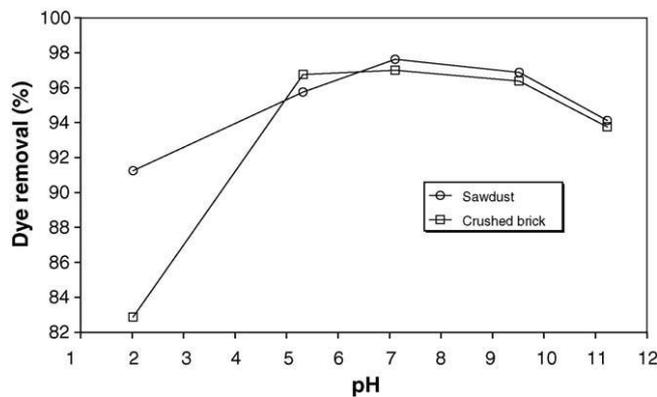


Figure 3.3 : L'effet du pH sur l'élimination du bleu de méthylène par la sciure de cèdre et la brique concassée.

L'adsorption de colorant était minimale à pH=2. L'adsorption de colorant par la sciure de cèdre et la brique concassée a été affectée sur une plage de pH de 2 à 5 et le plus élevée de 9,5 à 11, ce pH (2 à 5) était défavorable à l'adsorption (le nombre de sites d'adsorbant chargés négativement et le nombre de sites de surface chargés positivement), faible adsorption dans le pH acide due à la présence d'un excès de proton H^+ .

La sciure de cèdre et la brique concassée peuvent être sujettes à une hydrolyse, ce qui crée des sites chargés positivement. Cela peut être l'une des raisons de la diminution de l'adsorption à des valeurs de pH élevées.

La valeur optimale du pH pour l'adsorption de colorant a été observée à pH=7 pour les deux adsorbats d'après la figure 3.3.

L'adsorption du bleu de méthylène a été réalisée pour une plage de température 20 à 55°C.

Elle diminue avec l'augmentation de la température de la solution. Ceci peut s'expliquer par l'exothermicité et la spontanéité du processus d'adsorption et par l'affaiblissement des liaisons entre les molécules de colorant et les sites actifs des adsorbants pour les températures élevées.

3.4.4. Adsorption de bleu de méthylène sur un biomatériau à base de cactus

Nous avons choisi une autre étude réalisée par F. Sakr, A. Sennaoui, M. Elouardi, M. Tamimi, A. Assabbane, intitulée « Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur un biomatériau à base de cactus », où ils ont proposé de tester un bioadsorbant à base de Cactus (figuier de barbarie), de la région de Sous Massa Draa de Sud du Maroc. Le cactus est un arbre originaire des régions arides et semi-arides du Mexique. Cet adsorbant a été utilisé à l'état brut, sur le colorant du Bleu de Méthylène. Différents paramètres expérimentaux ont été analysés : masse d'adsorbant, pH, température. La capacité d'adsorption du Cactus a été étudiée en utilisant les isothermes de Langmuir, Freundlich [83].

3.4.4.1. Matériels et méthodes

a) Le colorant et l'adsorbant utilisés

Le Bleu de Méthylène (BM) qui est un colorant cationique, pris comme polluant model est utilisé sans aucune purification préalable. Les solutions sont préparées en dissolvant les quantités du colorant dans de l'eau distillé.

Les raquettes du figuier de Barbarie sont lavées, séchées à l'aire libre puis à l'étuve (103°C) pendant 48H, puis broyées et tamisées. Les broyats sont conservés dans des petits sachets dans un dessiccateur.

b) Méthodes d'analyse

Les échantillons prélevés sont filtrés sur membrane Millipore de type 0,45 µm HA. Les mesures d'absorbance ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre type JASCO V-630 spectrophotomètre UV/Visible. La longueur d'onde maximum d'absorption du BM est 662 nm. La quantité adsorbée est calculée on utilisant la formule suivante :

$$Q_{ads} = \frac{(C_0 - C_{eq})}{R}$$

Avec : C₀: Concentration initial à t=0 en (mmol/L)

C_{eq} : Concentration à l'équilibre en (mmol/L)

R : Masse de la poudre par unité de volume de solution en (g/L).

3.4.4.2. Résultats et discussion

a) Effet de la taille des particules

La taille de la particule est un facteur important, qui affecte la capacité de l'adsorption. La cinétique d'adsorption a été étudiée pour les différentes granulométries de la poudre allant de 40 µm à plus que 500 µm. Ils ont montrés que la quantité du bleu de méthylène augmente quand la taille de la particule diminue. Ceci explique que plus la granulométrie des particules est fine plus la surface spécifique augmente plus l'adsorption augmente. Ils ont étudiés la cinétique d'adsorption pour la taille ≤ 40µm.

b) Effet du rapport R

Pour examiner l'effet du rapport R (dose d'adsorbant) sur la capacité d'adsorption du bleu de méthylène (BM), ils ont variés la quantité initiale de l'adsorbant tout en conservant constante la concentration du colorant dans la solution (10⁻⁴ mol/L). L'étude de l'influence de la masse

du BM sur les quantités adsorbées de ce polluant est représentée par la courbe de la figure 3.4. Ils ont remarqués qu'à partir de la masse 1 g les quantités adsorbées de bleu de méthylène n'évolue plus.

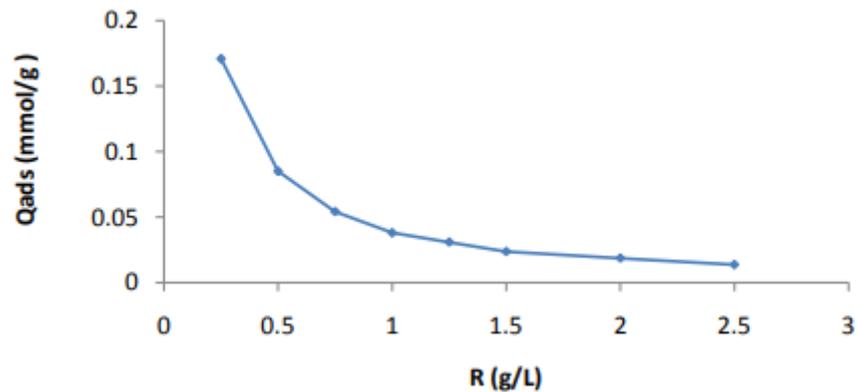


Figure 3.4 : Quantité adsorbée du BM en fonction de la masse du Cactus.

c) Cinétique d'adsorption du Bleu de Méthylène

Pour déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption du bleu de méthylène, des expériences ont été réalisées sur un volume de 200 ml d'une solution du bleu de méthylène de concentration égale à 10^{-4} mol/L, à pH initial et avec un rapport de 1g/L de la poudre du Cactus.

A des intervalles de temps régulier, ont été effectués des prélèvements. Après filtration sur membrane Millipore, les échantillons sont analysés par spectrophotomètre UV/Visible à $\lambda = 662$ nm. Ils ont étudiés les variations de la quantité adsorbée du bleu de méthylènes en fonction du temps.

Les résultats obtenus montrent que la cinétique d'adsorption du Bleu de méthylène présente deux étapes distinctes. La première étape est rapide et correspond au transfert de masse externe tandis que la seconde est lente et liée au phénomène de diffusion. Ils ont considéré que l'adsorption du BM sur la poudre de Cactus est un processus rapide, puisque ils ont obtenu un temps d'équilibre avoisinant de 10 min. Au-delà, la quantité adsorbée reste pratiquement constante jusqu'à 90 min de réaction. Dans la suite de leur étude, ils ont travaillé avec un temps de 60 min.

d) Effet du pH

L'effet du pH sur le taux d'adsorption du BM, a été étudié sur une large gamme de pH= 1-10. Avec une concentration initiale de 10^{-4} mol/L, une masse de l'adsorbant de 1 g/L et à température ambiante. Le pH de la solution a été ajusté aux valeurs désirées par l'addition de HNO_3 ou de NaOH . Les mélanges sont soumis à une agitation constante pendant 1 h. Après filtration, le filtrat est récupéré et analysé par UV-Visible. La figure 3.5 montre une augmentation de la quantité adsorbé de BM entre pH=1-2 de 29% à 46%.

Pour le domaine du pH=2-10 on remarque une stabilité de la quantité adsorbé de 51%. Cela peut être expliqué en raison des faibles valeurs du pH, la surface de l'adsorbant serait entourée par les ions H^+ ce qui diminue l'interaction des ions du bleu de méthylène (polluant cationique) avec les sites de l'adsorbant, par contre au pH élevé, la concentration en H^+ diminue ce qui engendre une bonne interaction entre les ions du colorant et les sites de la surface. Par la suite, les expériences seront réalisées à pH initial de la solution pH= 5,4.

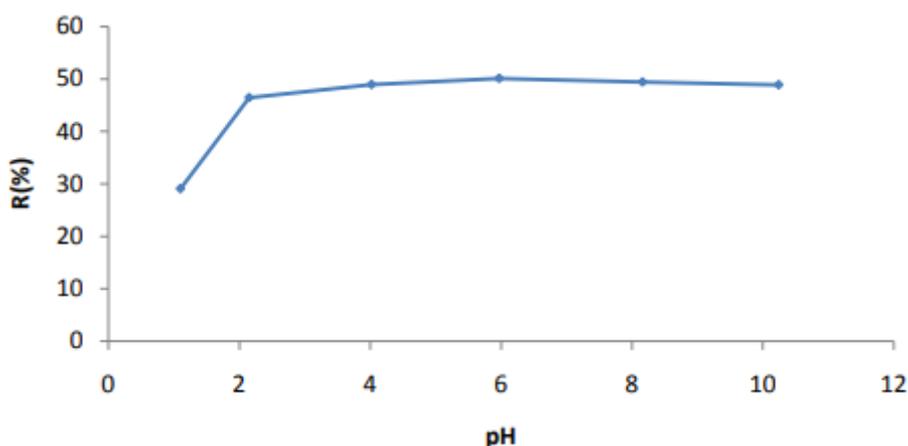


Figure 3.5 : Effet du pH sur l'adsorption du BM par le Cactus

e) L'effet de la température

Afin de déterminer la température optimale qui permet d'avoir la meilleure adsorption, des études ont été faites, en utilisant un bain marie, permettant le maintien de la température à la valeur désirée (entre 25°C et 60°C). Les expériences ont été réalisées en ajoutant 1g/L du Cactus à la solution du BM (200 ml, 10^{-4} mol/L, pH initial). La figure 3.6 montre une diminution de la rétention de BM en fonction de l'augmentation de la température, ce qui indique que la réaction est exothermique. L'élévation de la température défavorise le déroulement du phénomène d'adsorption. Donc les meilleurs résultats sont obtenus dans le domaine de la température ambiante.

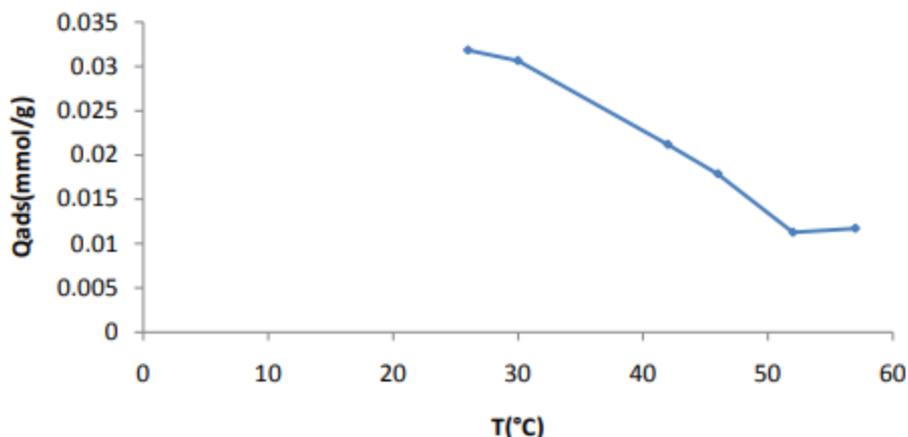


Figure 3.6 : Effet de la température sur l'adsorption du colorant BM par le Cactus

f) Isothermes d'adsorption du Bleu de Méthylène

Les données de fixations du colorant sur le Cactus sont traitées selon les équations linéaires de Langmuir, Freundlich. Le but de cette linéarisation est de pouvoir vérifier le modèle selon lequel se fait l'adsorption et d'en déduire les quantités maximales adsorbées ainsi que l'affinité de l'adsorbat vis-à-vis de l'adsorbant comme cela est montré sur la figure 3.7.

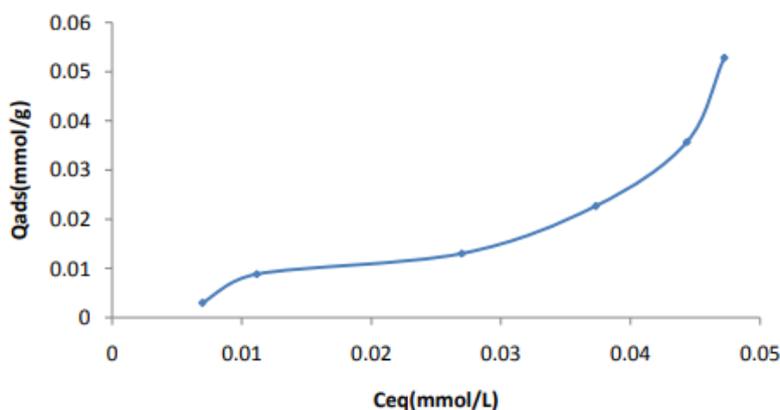


Figure 3.7 : Isotherme d'adsorption du Bleu Méthylène

f.1) L'isotherme de Langmuir

Les résultats obtenus montrent que le coefficient de corrélation R^2 ($R^2 = 0,9972$) du modèle de Langmuir est très proche de 1. Dans le cas où le R^2 est proche de 1, la détermination de Q_{\max} n'est pas possible car la capacité maximale d'adsorption (Q_{\max}) ne peut pas prendre des valeurs négatives. De même, le paramètre K_L est déduit en utilisant Q_{\max} qui n'a pas pu être déterminé. De ce fait le modèle de Langmuir ne permet pas de décrire les isothermes d'adsorption du Bleu de méthylène.

f.2) L'isotherme de Freundlich

Les valeurs numériques de la constante de Freundlich K_F et de L'amplitude de l'exposant n calculées respectivement, sont représentées sur le tableau 3.11

Tableau 3.11 : Paramètres de Freundlich

Isotherme de Freundlich		
n	K_F	R^2
0,73	2,478	0,9502

Avec R^2 : coefficient de corrélation.

D'après les résultats obtenus des deux modèles, ils ont constatés que l'isotherme de Freundlich décrit mieux le phénomène d'adsorption du Bleu de Méthylène sur le Cactus par rapport aux isothermes de Langmuir.

3.5 Etude comparative pour le bleu de méthylène

Tableau 3.12 : Etude comparative entre les paramètres qui influence sur l'adsorption

	étude 2	étude 3		étude 4
Auteurs	S. A.Umoren et al.	Oualid Hamdaoui.		F. Sakr et al.
Adsorbants	Poly alcool vinylique	La sciure de cèdre	la brique concassée	Le cactus (Les raquettes du figuier de Barbarie)
Adsorbats	Bleu de Méthylène			
Isotherme de Langmuir	$Q_m=13,80$ $K_L=0,0014$ $R^2=0,971$	$Q_m=142,36$ $K_L=3,04$ $R^2=0,995$	$Q_m=96,61$ $K_L=1,03$ $R^2=0,999$	$Q_m= /$ $K_L= /$ $R^2=0,9972$
Isotherme de Freundlich	$n=1,19$ $K_F=0,50$ $R^2=0,998$	$n=3,94$ $K_F=92,78$ $R^2=0,990$	$n=2,89$ $K_F=44,93$ $R^2=0,981$	$n=0,73$ $K_F=2,478$ $R^2=0,9502$
pH	4	7		6
Température	30°C	20°C		25°C

Remarque :

- Pour Q_m de l'étude 3 n'est pas possible de la calculé car elle ne peut pas prendre des valeurs négatives, et pour déduire le paramètre K_L en utilisant Q_m n'a pas pu être déterminé. Dans ce cas le modèle de Langmuir ne permet pas de décrire les isothermes d'adsorption de bleu de méthylène.

- On remarque que la capacité d'adsorption diffère d'un adsorbant à un autre.
- L'amplitude de l'exposant n donne une indication de la favorabilité de l'adsorption, donc l'adsorbant de la sciure de cèdre qui donne une bonne adsorption.
- L'adsorption est faible pour un pH acide (due à la présence d'un excès de proton)
- L'adsorption diminue avec l'augmentation de température de la solution.

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié quatre articles scientifiques qui traitent le phénomène d'adsorption, le premier article est la purification des eaux usées de l'industrie textile polluée par des colorants organiques synthétiques à l'aide des déchets industriels et des mélanges matériaux locaux, et pour les trois autres articles sont des études faites pour éliminer le bleu de méthylène des rejets textiles par différents adsorbants tels que (alcool polyvinylique, la sciure de cèdre et la brique concassée, biomatériau à base de Cactus), après avoir comparer entre les résultats obtenus dans chaque études on constate que :

- La capacité d'adsorption diffère d'un adsorbant à un autre
- L'isotherme est favorable lorsque $0 < R_L < 1$
- La taille des particules jouent un rôle très important. Plus la taille est très fine plus il adsorbe mieux.
- Si la température est en dessous de 25°C on aura une meilleure adsorption
- Le pH optimum pour une bonne adsorption, se situe dans la neutralité avec $\text{pH}=7$.

A decorative border resembling a scroll, with a grey shaded area on the left side and a grey shaded area on the top right corner.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Les données bibliographiques montrent d'une part la technique utilisée souvent dans le traitement des effluents issus des activités industrielles et d'autres parts montrent les polluants présents dans les eaux usées. Les colorants synthétiques sont les plus utilisés généralement dans plusieurs secteurs industriels tels que le secteur textiles, le secteur chimique, domaine automobile,..... etc.), ces colorants peuvent poser des dangers à court et à long terme.

Il existe plusieurs techniques pour éliminer les colorants et traiter les eaux de l'industrie textile, parmi ces techniques on a choisit l'adsorption. Ce processus est donc basé sur l'interaction de l'adsorbat avec une surface, il s'agit d'un phénomène de séparation qui sert à éliminer les polluants dilués dans les solutions aqueuses, il existe deux types le premier c'est la physisorption basé sur les forces de Vander Waals, le second c'est la chimisorption qui vient de la formation de la liaison chimique.

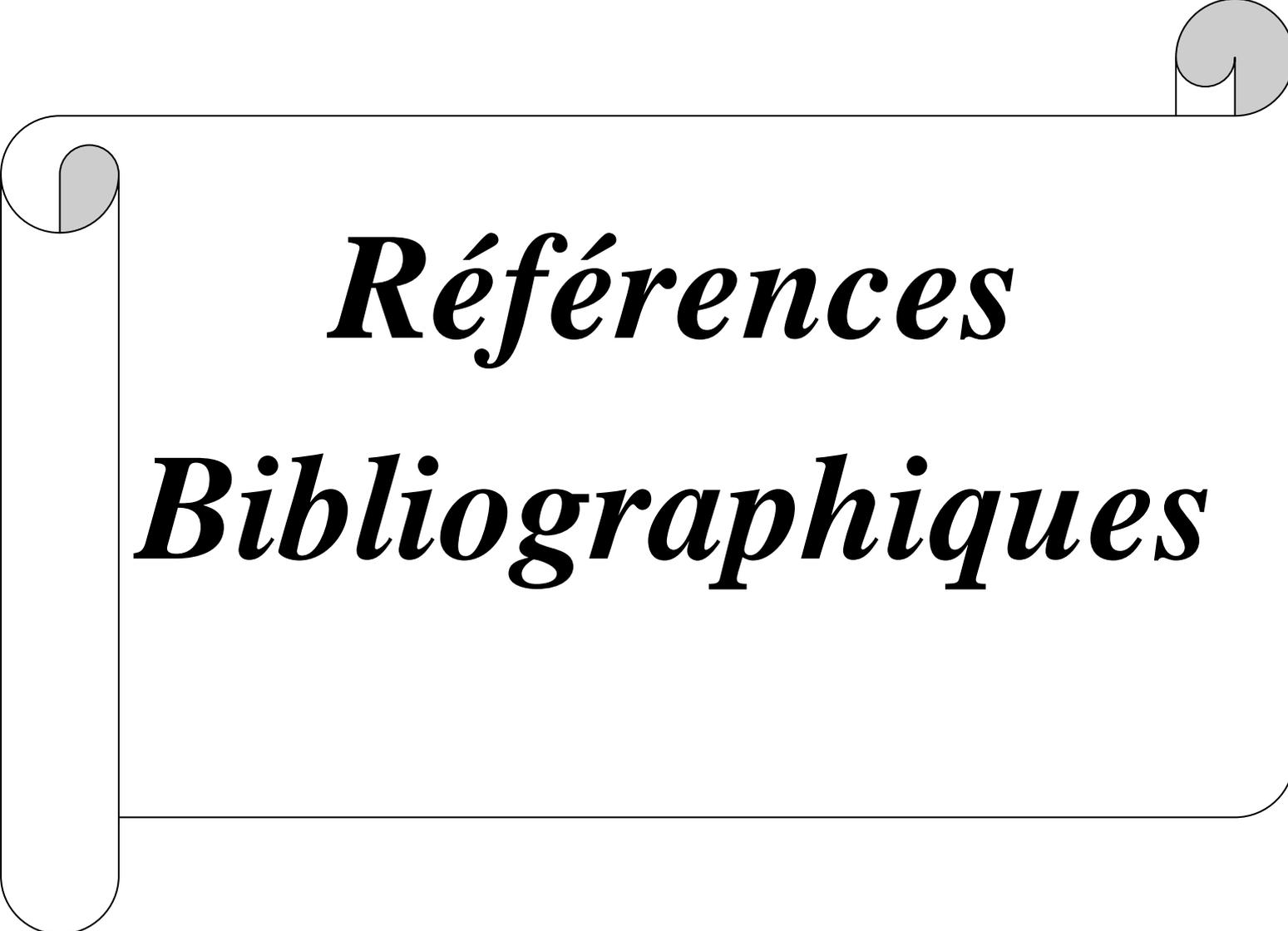
Dans notre travail, on s'est basée sur des études déjà faites sur l'adsorption de bleu de méthylène par plusieurs adsorbants (poly alcool vinylique, la brique concassée, la sciure de cèdre et le cactus) d'une part, le but de cette synthèse est d'élire le meilleur adsorbant en choix d'efficacité et d'abordabilité dans le but d'éliminer les colorants des eaux résiduelles de l'industrie textile. A partir des résultats obtenus on a pu comparer entre le pH, la température, l'isotherme de Langmuir, et de Freundlich des trois articles, ce qui en ressort de cette synthèse c'est que la sciure de cèdre est un bien meilleur adsorbant que les trois autres avec une capacité d'adsorption de 236,63 mg/g représenté par Q_m et un exposant qui indique la favorabilité d'adsorption n qui est égale à 3,94.

Et d'une autre part on a étudié la purification des eaux usées de l'industrie textile polluée par les colorants organiques synthétiques à l'aide des déchets industriels et des mélanges de matériaux locaux son but est de déterminer un bon adsorbant pour éliminer les colorants présents dans les eaux résiduelles de l'industrie textile, ils ont déterminé le degré d'adsorption en % des différents colorants avec le mélange ($Mg(OH)_2$, $(MgOH)_2CO_3$ et $CaCO_3$), le traitement qu'ils ont proposés est efficace et bon marché (en qualité d'adsorbant est le mélange obtenu de déchets industriels et de bentonite locale), ils ont montrées que pour purifier 1 litre d'eau polluée par des colorants organiques synthétiques, directs et dispersifs de concentration 40 mg/L, il suffit d'utiliser 10 à 15 ml de liquide salé obtenu lors de la régénération des résines

Conclusion générale

d'échangeuses d'ions, et 50-80 ml de l'eau de mer. Lors de l'utilisation 1,5 ml de l'eau salée et 40 mg de bentonite la purification passée de 92,5 à 99,7% (le temps de contact est de 15min).

Une vision du futur qui engage l'Algérie à réaliser le développement durable dans le domaine de traitement des eaux usées est d'installer un système d'épuration naturel à base de plantes (phytoépuration), cela veut dire l'utilisation des plantes comme filtre. Ainsi l'utilisation des adsorbants naturels à base de déchets organiques (noyaux d'olives, des dattes, coque de café, pelure de banane, de pomme de terre, et noyaux d'abricots...etc.) est l'avenir de demain car à partir de ces déchets on peut purifier ces eaux usées et réduire de ce fait les déchets. Afin de s'inscrire dans un processus de valorisation de déchets et application pour le traitement des effluents liquides et gazeux, on propose à ce titre de valoriser plus de déchets riches en carbones pour les transformer en charbon en actif à fin de les utilisés pour le traitement des eaux usées. Pour les prochaines études on propose une autre méthode d'élimination du bleu de méthylène par une technique d'absorption.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Malika. Chenna, « Elimination des molécules récalcitrantes par procédés d'oxydation avancés et procédé d'électrocoagulation » thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, (2016)
- [2] V.K. Gupt, Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 2313–2342.
- [3] E. Forgacs, T. Cserhati, G. Oros. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environ. Int.* 30 (2004) 953–971.
- [4] H.S. Rai, M.S. Bhattacharyya, J. Singh, T.K. Bansal, P.Vats , U.C. Banerjee, Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: a review of emerging techniques with reference to biological treatment. *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.* 35 (2005) 219–238.
- [5] M. Elkassimi, D. Meziane, S. Abouarnadasse, H. Azizi, «Elimination des colorants de l'industrie de textile par le charbon de bois». *Proceeding de la 2ème conférence Maghrébine de Génie des Procédés*, 1998, 555-558.
- [6] S. Rangabhashiyam, N. Anu, N. Selvaraju. Sequestration of dye from textile industry waste water using agricultural waste products as adsorbents. *J. of Envir. Chem. Engin.* 1 (2013) 629-641.
- [7] G. ZAYANI, L. BOUSSELMI, A. GHRABI et K. GHOZZI (2002). « Etude de la Cinétique de Dégradation photocatalytique du Colorant Commercial Azoïque (Jaune Cibacron FN-2R) », *INRST, Laboratoire Eau & Environnement, Hammam Lif, Tunisie*, p. 838-845
- [8] Kifline Milebudí KIFUANI, Anatole KIFUANI KIA MAYEKO, Philippe NOKI VESITULUTA, Bernard ILINGA LOPAKA, Gracien EKOKO BAKAMBO, Blaise MBALA MAVINGA et Jérémie MUSWEMA LUNGUYA (2018). « Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles de (*Cucumeropsis manni* Naudin) », *Laboratoire de Chimie Organique Physique, Eau et Environnement Université de Kinshasa, Congo*, p. 190.
- [9] M.J. Ahmed, S.K. Dhedan. «Equilibrium isotherms and Kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural Wastes-based activated carbons», *Flui. Phas. Equil.* 317 (2012) 9-14. »
- [10] Elodie ZAWLOTZKI GUIVARCH (2004) ; « Traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée "Electro-Fenton".

Références Bibliographiques

- Application à la minéralisation des colorants synthétiques », Thèse de doctorat Université de Marne-La-Vallée France, 234 pages.
- [11] Arnauld, Paul. (1990). Cours de chimie organique. [Éd] Dunod. 15^{ème} édition.
- [12] C.H.Costa, B.Z.Dos Santos, A.P.G.Yamamura And M. Yamaura, adsorption Isotherm Of Uranyl Ions By Fish Scales Of Corvine, International Nuclear Atlantic Conference-Inac, Rio De Janeiro, R.J, Brazil, September 27 to October 2, (2009)
- [13] HALIMA CHENINI. « Etude la dégradation par voie photochimique de polluant organique ‘ orange ‘ en milieu aqueux homogène et hétérogène », thèse doctorat, Université Mentouri Constantine.
- [14] ABOUZAID. A, (2001). « Etude de différents traitements des effluents de l’industrie textile ». Thèse de Doctorat : Université Chouaib Doukkali, Maroc.
- [15] Christophe Le Coz, Progrès en Dermato-Allergologie : Strasbourg 2010, édition John Libbey Exrotext, 2010. 376 pages
- [16] Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, Dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir Ghedira et Ridha Mosrati « Les colorants textiles sources de contamination de l’eau: CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement » ; Revue des sciences de l'eau, volume 24, n° 3, 2011, p. 209-238.
- [17] Farida HARRLEKAS, (2008) ; « couplage des procédés membranaire aux techniques physico-chimiques ou biologiques pour le traitement des rejets liquides de l’industrie de textile » ; thèse de doctorat ; Université de Cadi Ayyad de Marrakech
- [18] HASSEN TRABELSI, (2014) ; « Etude de la dégradabilité et de la toxicité des colorants par ozonation et photocatalyse » ; thèse de doctorat : UNIVERSITE DE MONASTIR.
- [19] Raouf DJEBAR, (2019), Etude de la décoloration du (BM) en milieu hétérogène et homogène ; mémoire de master «Université BADJI MOKHTAR-ANNABA »
- [20] GAFFOUR Hafida, (2011), « Elimination du 4-nitrophenol par des procédés d’oxydation avancée », Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.
- [21] BENAÏSSA Akila, (2011) ; « Etude de la dégradation photocatalytique d’un colorant synthétique et d’un tensioactif » ; thèse de doctorat : Université de MENTOURI Constantine.
- [22] CHEBLI Derradji, (2012), « Traitement des eaux usées industrielles : Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d’oxydation avancée et un traitement biologique ». Thèse doctorat : Université FARHAT ABBAS, Sétif.

Références Bibliographiques

- [23] SAMIHA HAMMAMI, (2008), « Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels » ; thèse de doctorat : Université Paris-Est.
- [24] BOUSNOUBRA Ibtissem, (2017), « Contribution à l'élimination de colorants (Vert de méthyle et Bromocrésol pourpre) par procédés photochimiques en phase homogène (séparés et mélangés), en phase hétérogène en milieu aqueux et par adsorption (Vert de méthyle) sur ZnO ». Thèse de doctorat : université de Constantine.
- [25] Yassine BENTAHAR, (2016), « Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse » ; thèse de doctorat : UNIVERSITE DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS - UFR Sciences.
- [26] Lamri NAIDJA, (2010) ; « Elimination du colorant ORANGE II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption » ; thèse de Magister : université de Constantine.
- [27] K. Winnacker, L. Küchler, «Traité de Chimie appliquée», Tome 7 : Chimie organique, 3^{ème} partie, Editions Eyrolles, Paris 5^e, 1968, 165-166.
- [28] Manahan S.E; 1994; Lewis publishing; 6e edition; Atlanta; GA; USA.
- [29] Willmott N.J., J.T. Guthrie and G. Nelson; 1998, «The biotechnology approach to colour removal from textile effluent», J. Soc. Dyers Colour; 114, 38-41
- [30] C. Derradji ; (février 2012); « traitement des eaux usées industrielles: dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique », Thèse de Doctorat : université Ferhat Abbas Sétif, 187 pages.
- [31] SERVAIS P. (1999) ; La matière organique dans les milieux naturels. Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 49 pages.
- [32] Ganesh R (1992), Thèse de doctorat, Chimie Virginia, Polytechnic Institute and State University; Blacksburg, VA, USA; 193 p.
- [33] Brown M.A ET S.C. Devito; 1993; predicting azo dye toxicity; Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 12, 405-414.
- [34] santé Canada, Sous produits de désinfection (SPCD), texte préparé par le groupe de travail sur SPC, Novembre 1999
- [35] Décret exécutif n° 06-141, « les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels», Journal Officiel de la République Algérienne N°26,23 avril 2006.

Références Bibliographiques

- [36] S. Bouafia, (2010), « Dégradation des colorants textiles par procédés d'oxydation avancée basée sur la réaction de Fenton : application à la dépollution des rejets industriels », Thèse de Doctorant, «Université de Paris-est et Université Saâd Dahlab Blida ».
- [37] Khaldi. K, « Etude de l'adsorption du bleu de méthylène par matériaux aluminosilicates d'origine algérien étude cinétique et thermodynamique ».
- [38] Benamraoui. F, « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs Synthétisés à partir des résidus de l'agriculture », Magister: Université Ferhat Abbas SETIF, 2014.
- [39] Khalfaoui. A, « Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange et de Banane », Thèse: université Mentouri, Constantine, 2012.
- [40] Guiza.S, Bagane.M, « Étude cinétique de l'adsorption du rouge de Congo sur une bentonite » .Revue Des sciences de l'eau. 2013;26(1):39-50.
- [41] Aliouche .S, « Etude de l'élimination d'un colorant par différentes méthodes photochimiques en milieu aqueux ». Mémoire Magister: Université Mentouri. Constantine, 2007.
- [42] Kebiche. Ounissa, « Biodégradabilité, adsorbabilité et échange ionique de quelques colorants Cationiques présents dans les effluents liquides de la teinturerie de l'unité couvertex de Ain.DJASSER ». Thèse de Magistère Université Mentouri Constantine (1996).
- [43] Yatome. C, Ogawa. T, Itosh. K, Sugigama. A and Idaka. E, J. SD.C, 103, 11,395-398 (1987).
- [44] Perineau. F, Molinier. J and Gazet. A, Wat Res. 17, 5, 559-67 (1983).
- [45] Dussart. O, Marmier – Dussart. D, and Seraud. B, la tribune de l'eau. 44, 554, 15-22 (1991).
- [46] Benaissa A. « Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains Matériaux déchets d'origine naturelle ». Mémoire Master: Université Abou Bakr Balkaid.
- [47] David Bousquet. « Modalisation de l'adsorption dans les matériaux nanoporeux flexibles ». Thèse de doctorat : université de sarbone, paris, 2013.
- [48] Ghali S. « Etude de la carbonisation d'un précurseur végétal les noyaux d'oliviers utilisation dans le traitement des eaux ». Mémoire: Université du 20 aout 1955 SKIKDA, 2008.

Références Bibliographiques

- [49] Salah NH. « Etude de la dégradation photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe ». Thèse: Université de Mentouri. CONSTANTINE, 2005.
- [50] Creanga M. « Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique) » INPT; 2007.
- [51] Atheba.GP, « Traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif : conception et réalisation du procédé ». Thèse: Université Paul Verlaine. LORRAINE ,2009.
- [52] N.BOUGDAH, « Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite », Mémoire Magister, Université de Skikda, 2007.
- [53] BOUZIANE N.2007, « Elimination de 2_mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre », Mémoire de master Université Mentouri Constantine.
- [54] Z. Ali, V. U. Ahmad, T. M. Zahid and R. B. Tareen. « Benzoic acid derivatives from *Stocksia Brahuica* ». *Phytochemistry* Vol. 48. No. 7 (1998) ; 1271-1273
- [55] A. El Gaidoumi A, A. Chaouni Benabdallah A, A. Lahrichi B, A. +Kherbeche A, et Quot; Adsorption Du Phénol En Milieu Aqueux Par Une Pyrophyllite Marocaine Brute Et Traitée & Quot, *J.Master .Environ. Sci* 161, 1507–1514, (2009).
- [56] Raoul Calvet (2005), « Les pesticides dans le sol : conséquence agronomiques et Environnementales », France agricole Editions, p.673.
- [57] Grégorion Crini, pierre-Marie Badot (2007). « Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique, presses » Univ. Franche-Comté, p.352.
- [58] Nora Sedira, « Etude De L'adsorption Des Métaux Lourds Sur Un Charbon Actif Issu De Noyaux De Dattes », Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, 2013.
- [59] Belmouden, M. Faculté des Sciences d'Agadir. 2000. Thèse de doctorat.
- [60] N.YAHIAOUI, 2012, Mémoire de Magister Université de Tizi Ouzou.
- [61] Dada. A. O, Olalekan A. P, Olatunya A. M & Dada. O. J. I. J. C. (2012). *Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of Zn²⁺ unto phosphoric acid modified rice husk. IOSR Journal of Applied Chemistry*, 3(1), 38-45.

Références Bibliographiques

- [62] Damien Leinekugel-Le-Cocq. Contribution à la modélisation dynamique simplifiée d'un procédé d'adsorption modulée en pression (P.S.A.). Autre. Université Claude Bernard -Lyon I, 2004.
- [63] Fadi Al Mardini. « Etude de l'adsorption du pesticide Bromacil sur charbon actif en poudre En milieu aqueux. Effet compétiteur des matières organiques naturelles ». Thèse de doctorat .Université de Poitiers.2008.
- [64] B.SERPAUD « adsorption des métaux lourds (Cu, Zn, Cd, et Pb) par les sédiments Superficiels d'un cours d'eau rôle de pH, de la température, et de la fraction de sédiment» revue des sciences de l'eau 1994.
- [65] SARAH MOUMENINE « élimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant», Mémoire d'ingénieurs UNIBOU.
- [66] S.GUERGAZI, D.AMINEUR, S.ACHOUR « élimination des substances chimique des deux eaux de surface algériennes par adsorption sur charbon actif et sur bentonite » Journal n=°13 P.125-137-2013.
- [67] Do, Duong D. Adsorption analysis: equilibria and kinetics. Vol. 2. London: Imperial college Press ,1998.
- [68] Boutchiche. M. « Etude de la capacité d'adsorption d'un charbon actif végétal sur le méthyle parabène ». Mémoire Master : Université Dr Tahar Moulay. Saida, 2018.
- [69] Mark Clause « Etude d'un procédé d'adsorption TSA (temperatur swing adsorption) a chauffage et refroidissement indirects », Thèse de doctorat, INSA-Lyon, (2013)
- [70] Dubinin, M.M. Izv. AKad.Nauk. SSSR, Ser. khir., pp. 19-61(1979).
- [71] D. Ruthven, S. Farooq et K. Knaebel. « Pressure swing adsorption ». VCH: New York, NY, 1994.
- [72] BOUCHELKIA N, 2015, « Étude de l'élimination du plombe et du zinc par adsorption sur un charbon actif préparé a base des noyaux de jujube ».
- [73] Khezzane.A, Maamri.H, Allal. B. « Dépollution par charbon actif d'une eau contaminée par le rouge Congo ». Mémoire Master Académique. Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued, 2017.
- [74] Koller E. Génie chimique Dunon ed 2001.
- [75] Zhu H, Ji J, Lin R, Gao C, Feng L, Shen J. Surface engineering of poly(D, L-lactic acid) by entrapment of chitosan-based derivatives for the promotion of chondrogenesis. JBiomed Mater Res. 624. (2002) 532–539.

Références Bibliographiques

- [76] HY Kweon, MK Yoo, IK Park; TH Kim, HC Lee, HS Lee, A novel degradable Polycaprolactone networks for tissue engineering. *Biomaterials*. 24 (2003) 801–808.
- [77] C. Moreno-castilla, «Adsorption of organic molecules from aqueous solution on Carbon materials », (2004), p 42, 83, 94. Available online at www.sciencedirect.com
- [78] Bounif. R. « Conception d'une colonne à lit fixe au charbon actif granulé appliquée à l'étude dynamique de l'adsorption de bleu de méthylène ». Mémoire Master. Université : Akli Mohand Oulhadj. Bouira, 2017.
- [79] Mustapha Rechache, « Synthèse et caractérisation d'un nouveau Matériau composite à base De polymère », Thèse de doctorat, Université d'Oran. 2019.
- [80] Nabieue, M., Kaddour, O., Nabieue, A.M., Khettabi, N., Gater, SN., « Purification des eaux usées de l'industrie textile polluée par des colorants organiques synthétiques à l'aide des déchets industriels et des mélanges matériaux locaux » *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 1:2 (2015) 58-63.
- [81] UMOREN, S. A., ETIM, U. J., et ISRAEL, A. U. «Adsorption of methylene blue from industrial effluent using poly (vinyl alcohol) ». *J. Mater. Environ. Sci*, 2013, vol. 4, no 1, p. 75-86.
- [82] Oualid Hamdaoui. « Etude par lots de l'adsorption en phase liquide du bleu de méthylène à l'aide de sciure de cèdre et de briques concassées », *Journal of Hazardous Materials B135*, (2006), p. 264-273.
- [83] Sakr, F., Sennaoui, A., Elouardi, M., Tamimi, M., & Assabbane, A. (2015). Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus (Adsorption study of Methylene Blue on biomaterial using cactus). *Journal of materials and Environmental Science*, 6(2), 397-406.

Résumé

La pollution des eaux issues des rejets industriels textiles est un problème conséquent, cette pollution peut provoquer des effets nocifs sur l'environnement ainsi que sur notre santé, pour réduire cette pollution et ces dangers, plusieurs techniques sont mise en œuvre, parmi elle l'adsorption. Dans cette étude on a pris en considération des études déjà menée sur l'adsorption de bleu de méthylène par différents adsorbants comme poly alcool vinylique, le cactus, la sciure de cèdre et la brique concassée, on a étudié l'influence de certain paramètres tels que le pH , la température, la taille des particules, effet de la concentration initiale ainsi que l'effet du dosage de la concentration, la capacité d'adsorption a été démontrée par les isothermes de Freundlich et Langmuir, les résultats ont montrés que l'adsorption est faible avec un pH acide, une température élevée,...etc. La taille des particules joue un rôle très important, en comparant entre les quatre adsorbants, la sciure de cèdre ressort comme étant le meilleur adsorbant dans cette étude.

Mots clés : Adsorption, les colorants textiles, bleu de méthylène, adsorbant, isotherme de l'adsorption, tailles des particules.

Abstract

The pollution of water from industrial textile discharge is a significant problem, this pollution can cause harmful effects on the environment and on our health. To reduce this pollution and these dangers, several techniques are implemented, among them adsorption. In this study we have taken into consideration studies already carried out on the adsorption of methylene blue by different adsorbents such as polyvinyl alcohol, cactus, cedar sawdust and crushed brick, we have studied the influence of certain parameters such as pH, temperature, particle size, effect of the initial concentration as well as the effect of the concentration dosage, the adsorption capacity was demonstrated by the Freundlich and Langmuir isotherms, the results showed that the adsorption is weak with acid pH, high temperature, ect. The particle size plays a very important role, comparing between the four adsorbents, cedar sawdust emerged as the best adsorbent in this study.

Keywords: Adsorption, textile dyes, methylene blue, adsorbent, adsorption isotherm, and particle sizes

المخلص

يعد تلوث المياه من مخلفات النسيج الصناعي مشكلة كبيرة، يمكن أن يتسبب في إحداث آثار ضارة بالبيئة وكذلك على صحتنا، للحد من خطورته، يتم تنفيذ عدة تقنيات ، من بينها الامتصاص. في هذه الدراسة أخذنا في الاعتبار الدراسات التي أجريت بالفعل على امتصاص أزرق الميثيلين بواسطة مواد ماصة مختلفة مثل كحول البولي فينيل والصابون ونشارة خشب الأرز والطوب المسحوق ، ودرسنا تأثير بعض العوامل مثل درجة الحموضة ودرجة الحرارة وحجم الجسيمات وتأثير التركيز الأولي وكذلك تأثير مقايسة التركيز ، وقد تم إثبات قدرة الامتصاص بواسطة متساوي الحرارة في Freundlich و Langmuir ، وأظهرت النتائج أن الامتصاص ضعيف مع درجة الحموضة الحمضية ، وارتفاع درجة الحرارة ، إلخ. يلعب حجم الجسيمات دورًا مهمًا للغاية، مقارنةً بالمواد الماصة الأربعة، ظهرت نشارة خشب الأرز كأفضل مادة ماصة في هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الامتصاص ، صبغات النسيج ، أزرق الميثيلين الممتصات ، متساوي الامتصاص ، أحجام الجسيمات.