

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

**ALOUI Hicham**  
**BERNOU Oussama**

Pour l'obtention du diplôme de

## MASTER

Filière : Génie des procédés  
Spécialité : Génie chimique

### ADSORPTION DE LA FUCHSINE BASIQUE SUR DES ADSORBANTS NATURELS

A présenter le 26 / 11 / 2020

Devant le jury composé de :

Nom enseignants	grade	Université d'affiliation	Examineur
Mme GHEBRID Nassima	MAB	UAMOB	Examineur 1
Mr AOUDJIT Farid	MCB	UAMOB	Examineur 2
Mme BETTAYEB Souhila	MAA	IT-UAMOB	Encadrant

# Remerciements

*Avant tout nous remercions ALLAH qui nous a donné le courage et la force pour continuer. Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.*

*Nos remerciements les plus vifs vont tout d'abord à notre promotrice **M<sup>me</sup> BETTAYEB Souhila**, pour son suivi, pour son soutien, pour sa confiance et pour nous avoir fourni le cadre et les moyens nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche, nous lui sommes profondément reconnaissants. C'est une chance inouïe d'avoir eu l'occasion de travailler sous votre direction. Merci*

*Notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements s'adressent à Monsieur le Professeur **Mohamed Bououdina**, Département de physique, Faculté des Sciences, Université de Bahreïn pour son aide très précieuse concernant les synthèses et les articles, sa permanente disponibilité, son encouragement, la pertinence de ses conseils et avis sur les travaux que nous avons pu mener, qu'il veuille accepter toute ma reconnaissance.*

*Nos remerciements vont aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce mémoire.*

*Enfin nos remerciements sont adressés plus particulièrement à nos familles et nos amis(es) qui ont su nous soutenir, nous encourager, nous aider et nous supporter tout au long des années.*

# Dédicaces

*Je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce point. Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte.*

*Ce travail est dédié à la raison de mon succès la raison de mon sourire tous les jours, mon cher papa « **Ali** ». Pour son soutien et son encouragement...*

*A mon âme, mon cœur, ma chère maman « **Saàdia** » pour sa Tendresse et sa grande générosité ....*

*A mes chers frères : **Fatima Zohra, Salim, Samira, Mohamed, Warda, Leila, Djalila***

*A tous mes très chers petites anges : **Mohamed Ali, Khalil, Sadjida, Moussab, Rahil, Saïd et Adam***

*Et tous mes amis (es) que j'aime*

*Et à tous ceux qui m'ont aidé de Près ou de loin....*

***Ficham***

# Dédicaces

*Je dédie ce travail :*

*A mon très chère mère*

*Quoi que je fasse ou dise,*

*Je ne peux pas vous remercier correctement.*

*Votre affection me couvre, votre miséricorde me guide*

*Et votre présence auprès de moi a toujours été la source de ma force,*

*Vous étiez la mère et le père pour nous, qu'Allah vous protège.*

*A mon très cher père*

*Aucune dédicace ne peut exprimer l'amour,*

*L'appréciation, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu Pour toi.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit*

*Pour mon éducation et mon bien être.*

*Accordé pour mon éducation et ma formation.*

*Rien n'apprécie ce que vous avez hérité de votre haute et belle morale.*

*Ce travail que j'ai fait est le fruit de ton sacrifice*

*Si Allah le veut Qu'Allah ait pitié de vous et vous mettrai au paradis*

*A mes chères sœurs et mes chers frères.*

*A tous mes amis et mes collègues.*

*A tous ceux et celles qui sont chères à mon cœur.*

*A tous ceux qui nous aidons, de près ou de loin, même avec un mot*

*d'encouragement et de gentillesse.*

*Oussama*

# *Listes des Figures*

---

## **Chapitre I : Généralités sur les colorants**

<b>Figure I.1:</b> Exemple de colorant Azoïque Figure .....	06
<b>Figure I.2:</b> Exemple de colorant anthraquinonique.....	07
<b>Figure I.3:</b> Exemple de colorant indigoïdes.....	07
<b>Figure I.4 :</b> Exemple de colorant xanthènes.....	07
<b>Figure I.5 :</b> Exemple de colorant phtalocyanines.....	08
<b>Figure I.6 :</b> Exemple de colorant nitré et nitrosée.....	08
<b>Figure I.7 :</b> Exemple de colorant triphénylméthane.....	09
<b>Figure I.8 :</b> Structure chimique de la néo-fuchsine basique.....	11

## **Chapitre II : Généralités sur l'adsorption**

<b>Figure II-1 :</b> Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain.....	25
<b>Figure II.2 :</b> Représentation des différentes isothermes d'adsorption selon Giles et al.....	29
<b>Figure. II.3 :</b> Modèle d'adsorption en monocouche.....	29
<b>Figure. II.4 :</b> Modèle d'adsorption en multicouche.....	30
<b>Figure II-5 :</b> Représentation schématique de la surface spécifique d'un adsorbant .....	35

# *Liste des Tableaux*

---

## **Chapitre I : Généralités sur les colorants**

<b>Tableau I.1</b> : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité.....	06
<b>Tableau I.2</b> : Composition de la néo-fuchsine basique.....	11
<b>Tableau I.3</b> : Fiche technique de la fuchsine.....	12
<b>Tableau I.4</b> : Principales classes de toxicité, Échelle de Gosselin.....	14

## **Chapitre II : Généralités sur l'adsorption**

<b>Tableau II.1</b> : Caractéristiques d'adsorptions physique et chimique .....	24
---	----

## *Liste des abréviations*

---

**AH** : Acide humique

**Al-MCM-41** : Aluminosilicate mésoporeux

**BCM** : Cucumeropsis mannii Naudin

**BM** : Bleu de méthylène

**CO Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-HA** : Noyau de ferrite de cobalt de Spinel activé avec de l'acide humique

**COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-HA-ECH** : Noyau de ferrite de cobalt de Spinel activé avec de l'acide humique et réticulée avec de l'épichlorhydrine

**FB** : fuchsine basique

**pH** : Potentiel d'hydrogène

**RC** : Rouge de Congo

**TPP** : Polymère poreux à base de triptycène greffé

**TPP-SO<sub>3</sub>H** : polymère poreux à base de triptycène greffé avec de l'acide sulfonique

**VM** : Vert de malachite

**VME** : Violet de méthyle

**Uv** : Ultraviolet



# *Table Des Matières*

Liste des Figures .....I

Liste des Tableaux .....II

Liste des Abréviations .....III

**Sommaire**

**Introduction Générale .....01**

*Références Bibliographique .....03*

*Chapitre I: Généralités sur les colorants*

I.1 Historique Des Colorants .....04

I.2 Définition .....04

I.3 Propriétés des colorants .....05

I.4 Classification des colorants .....05

    I.4.1 Classification selon la Structure chimique .....05

        I.4.1.1 Colorants azoïques .....06

        I.4.1.2 Colorants anthraquinoniques.....06

        I.4.1.3 Colorants indigoïdes .....07

        I.4.1.4 Colorants xanthène .....07

        I.4.1.5 Phtalocyanines .....08

        I.4.1.6 Colorants nitrés et nitrosés .....08

        I.4.1.7 Colorants triphénylméthanes .....08

    I.4.2 Classification selon le domaine d’application .....09

# *Table des matières*

---

I.4.2.1 Colorants directs .....	09
I.4.2.2 Colorants à mordant .....	09
I.4.2.3 Colorants acides ou anioniques .....	09
I.4.2.4 Colorants basiques ou cationiques .....	10
I.4.2.5 Colorants dispersés .....	10
I.4.2.6 Colorants de cuve .....	10
I.4.2.7 Colorants réactifs .....	10
I.5 Colorant étudié .....	10
I.5.1 Néo-fuchsine basique .....	11
I.5.2 Fuchsines acides .....	12
I.6 Impacts environnementaux .....	13
I.7 Toxicité des colorants .....	13
I.8 Procédés de traitements des colorants .....	15
I.8.1 Procédés physicochimiques .....	15
I.8.1.1 Coagulation-précipitation .....	15
I.8.1.2 Echange d'ions .....	15
I.8.2 Procédés chimiques .....	16
I.8.2.1 Procédés d'oxydation classique .....	16
I.8.2.2 Procédés d'oxydations avancées (POA) .....	17
I.8.3 Procédés physiques .....	17
I.9 Application des colorants .....	18
<i>Références Bibliographiques</i> .....	20

## Chapitre II: Généralités sur l'adsorption

II.1 Introduction .....	23
II.2 Définition .....	23
II.3 Types d'adsorption .....	23
II.3.1 Adsorption physique (physisorption) .....	23
II.3.2 Adsorption chimique (chimisorption) .....	24
II.4 Description du mécanisme d'adsorption.....	24
II.4.1 Diffusion externe .....	25
II.4.2 Diffusion interne .....	25
II.4.3 Diffusion de surface .....	25
II.5 Facteurs influençant l'adsorption .....	25
II.6 Isothermes d'adsorption .....	26
II.6.1 Classification des isothermes d'adsorption.....	27
II.6.2 Modèles d'adsorption .....	28
II.6.2.1 Modèle de Langmuir .....	28
II.6.2.2 Modèle de Freundlich .....	29
II.6.2.3 Modèle de Temkin .....	30
II.6.2.4 Modèle d'Elovich .....	31
II.6.2.5 Modèle de Dubinin-Radushkevich (D-R) .....	31
II.7 Paramètres thermodynamiques .....	32
II.8 Généralités sur les adsorbants .....	33
II.8.1 Définition d'un adsorbant .....	33

## *Table des matières*

---

II.8.2.Principaux adsorbants industriels .....	33
II.8.2.1 Charbon actif .....	33
II.8.2.2 Adsorbants minéraux .....	33
II.8.2.3 Adsorbants à base de polymères .....	34
II.8.3 Propriétés physiques des adsorbants .....	34
II.8.4 Critères de choix d'un adsorbant .....	35
II.9 Application de l'adsorption en phase liquide .....	35
II.10 Application de l'adsorption dans l'élimination des colorants textiles .....	36
II.11 Conclusion .....	36
<i>Références Bibliographiques</i> .....	37

### *Chapitre III: Synthèse bibliographique*

III.1 Introduction .....	41
III.2 Les travaux réalisés dans l'élimination de la fuchsine basique .....	41
III.2.1 Adsorbants naturels de type animal .....	41
III.2.2 Adsorbant naturels de type végétal .....	42
III.2.2.1 Coquilles de graines .....	42
III.2.2.2 Déchets agricoles .....	43
III.2.3 Adsorbant naturel de type minéral .....	44
III.2.4 Autres types d'adsorbants .....	44
III.3 Travaux sur L'élimination des colorants par adsorption .....	47
III.3.1 Adsorbants naturels .....	47

## *Table des matières*

---

III.3.2 Adsorbants naturels de type végétal .....	47
III.3.3 Autres types d'adsorbant .....	55
<i>Références Bibliographiques</i> .....	58
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>63</b>



# *Introduction Générale*

# **Introduction générale**

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète pour les êtres humains, les animaux, les plantes, et les microorganismes vivant. Pratiquement, tous les phénomènes vitaux de la biosphère, sont liés à la disponibilité de l'eau. L'eau n'est donc pas uniquement une espèce vitale, vecteur énergétique au moyen de transport, mais également un élément essentiel pour tout genre de production [1].

Avec la croissance de l'humanité, de la science et de la technologie, notre monde atteint de nouveaux horizons mais le coût que nous payerons dans le futur proche va sûrement être trop haut. Parmi les conséquences de cette croissance rapide est le désordre environnemental avec un grand problème de pollution. Sans compter d'autres besoins, la demande de l'eau a augmenté énormément avec la consommation de l'agricole, de l'industriel et des secteurs domestiques qui consomment 70, 22 et 8% de l'eau douce disponible, respectivement, ceci a eu comme conséquence la génération de grandes quantités d'eau usagées contenant un certain nombre de polluants [2].

Les colorants sont parmi les polluants organiques qui se manifestent en grande quantité dans les rejets industriels. Ils sont difficiles à traiter car les colorants ont une structure moléculaire complexe qui les rend plus stables et difficiles à être biodégradable.

Les procédés d'adsorption utilisés sont souvent une technique de choix, et complémentaire à la filière de base, parce que l'adsorption s'avère efficace dans la rétention, et l'élimination des composés organiques et minéraux solubles dans l'eau sans être modifiés [3].

Dans ce contexte, notre étude a porté sur l'élimination du colorant : la fuchsine basique par adsorption sur un adsorbant naturel.

Ce travail est constitué de trois chapitres :

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les colorants et la pollution des colorants et leurs effets sur l'environnement.
- Le deuxième chapitre donne des généralités sur le phénomène d'adsorption avec quelques modèles d'isothermes d'adsorption en mode statique et en mode dynamique.

- Le troisième chapitre est une synthèse consacré aux travaux réalisés dans l'élimination de la fuchsine basique ainsi qu'aux travaux employant la méthode d'adsorption.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

[1] L. AMMAR KHODJA, L. AIT KHELIFA, Elimination des colorants textiles par adsorption sur un déchet naturel. Mémoire Master, Université de Bouira. (2015).

[2] M. Auta, B.H. Hameed .Chitosan–clay composite as highly effective and low-cost adsorbent for batch and fixed-bed adsorption of methylene blue. Chemical Engineering Journal 237 (2014) 352–361.

[3] F. Benamraoui, « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l’agriculture», Thèse Magister, Université Ferhat Abbas Sétif-1. (2014).



*Chapitre I : Généralités  
sur les colorants*

## Chapitre I : Généralités sur les colorants

### I.1 Historique des colorants

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont été appliqués dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne pour la peinture et la teinture du papier, de la peau et des vêtements, etc. Jusqu'à la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, les colorants appliqués étaient d'origine naturelle. Des pigments inorganiques tels que l'oxyde de manganèse, l'hématite et l'ancre étaient utilisés. Par ailleurs, des colorants naturels organiques ont été appliqués, surtout dans l'industrie de textile. Ces colorants sont tous des composés aromatiques qui proviennent essentiellement des plantes, tel que l'alizarine et l'indigo.

L'industrie des colorants synthétiques est née en 1856 quand le chimiste anglais W. H. Perkin, dans une tentative de synthèse de la quinine artificielle pour soigner la malaria, a obtenu la première matière colorante synthétique qu'il appela "mauve" (aniline, colorant basique). Perkin a breveté son invention et a installé une chaîne de production, qui serait bientôt suivie par d'autres. De nouveaux colorants synthétiques commençait à paraître sur le marché. Ce processus a été stimulé par la découverte de la structure moléculaire du benzène en 1865 par Kékulé. En conséquence, au début du 20<sup>ème</sup> siècle, les colorants synthétiques ont presque complètement supplantés les colorants naturels [1].

On dénombre environ 8000 colorants synthétiques chimiquement différents, répertoriés dans le Colour Index sous 40000 dénominations commerciales. Chaque colorant y est classé sous un nom de code indiquant sa classe, sa nuance ainsi qu'un numéro d'ordre (par exemple : C.I. Basic Violet 14).

### I.2 Définition

Un colorant textile est un composé organique coloré qui absorbe fortement la lumière dans la région du visible (400 à 800 nm) [2] et peut fermement s'attacher à la fibre par une ou plusieurs forces physiques comprenant la liaison hydrogène, de Van der WAALAS, ou les forces ioniques ainsi que dans certains cas chimiquement liées par des liaisons covalentes [3].

### I.3 Propriétés des colorants

Un colorant est un composé chimique, naturel (d'origine animale, végétale) ou synthétique (Chimique, ou biochimique), en général organique, qui a la propriété de colorer durablement le support sur lequel il est appliqué dans certaines conditions. Il est utilisé pour colorer les produits alimentaire pharmaceutiques, cosmétique, le textile, etc....

Les propriétés des colorants dépendent de leurs structures. En général les produits utilisés comme colorants sont des composés organiques insaturés et aromatiques, comportant dans leur molécule certains groupes d'atomes appelés chromophores. L'absorption sélective d'énergie par les chromophores est responsable de la transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion. Ce sont principalement les doubles liaisons éthyléniques  $-C=C$ , les groupements carbonyles  $-C=O$ , et les groupements azoïques  $-N=N-$ . La molécule qui les contient devient chromogène. Ils peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore, ils sont appelés groupement auxochromes. La molécule chromogène n'a de possibilités tinctoriales que par l'adjonction des groupements auxochromes, de nature acide ou basique qui donnent des sels de colorants permettant de fixer avec efficacité les colorants souhaités sur les supports traités [4].

### I.4 Classification des colorants

Les colorants peuvent être classés selon leur structure chimique ou leurs méthodes d'application aux différents substrats tels que les fibres textiles, le papier, le cuir, les matières plastiques ... etc. En fait on est amené à tenir compte simultanément des deux classifications chimiques, qui intéresse surtout le fabricant de matières colorantes par domaine d'application, utilisé par le teinturier [5].

#### I.4.1 Classification selon la Structure chimique

Les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores (groupes aromatiques conjugués (liaison  $\pi$ ), comportant des liaisons non liantes (électron n) ou des complexes de métaux de transition), auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, perylène, 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  $\pi$  diminue tandis que l'activité des électrons  $\pi$  ou n augmente et

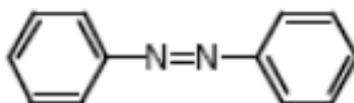
produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même, lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy,...) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système p, la molécule absorbe dans les grandes longueurs d'onde et donne des couleurs plus foncées [4]. Les chromophores et auxochromes habituels sont résumés dans le tableau I-1 [6].

**Tableau I.1** : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité.

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH <sub>3</sub> )
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO <sub>2</sub> ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulfure (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons

#### I.4.1.1 Colorants azoïques

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



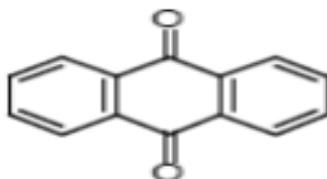
**Figure I.1** : Exemple de colorant Azoïque.

(E)-diphényldiazène.

#### I.4.1.2 Colorants anthraquinoniques

D'un point de vue commercial, ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'antracène montre que le

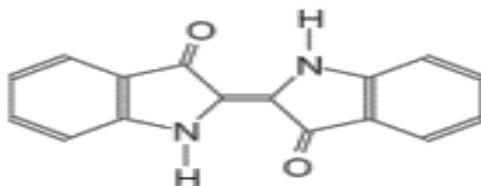
chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines.



**Figure I.2** : Exemple de colorant anthraquinonique.  
(9,10-dihydro-9,10-dioxoanthracène, dérivé de l'anthracène)

#### I.4.1.3 Colorants indigoïdes

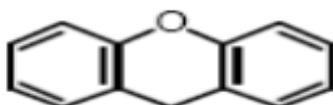
Ils tirent leur appellation de l'Indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénié, soufré et oxygéné du Bleu Indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise.



**Figure I.3** : Exemple de colorant indigoïdes.  
2-(1,3-dihydro-3-oxo-2H-indole-2-ylidène)-1,2-dihydro-3H-indole-3-one

#### I.4.1.4 Colorants xanthène

Ces colorants sont dotés d'une intense fluorescence. Le composé le plus connu est la fluorescéine. Peu utilisé en tant que teinture, leur faculté de marqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie.



**Figure I.4** : Exemple de colorant xanthènes.  
9H-xanthène

#### I.4.1.5 Phtalocyanines

Ils 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.). Exemple phtalocyanine de cuivre

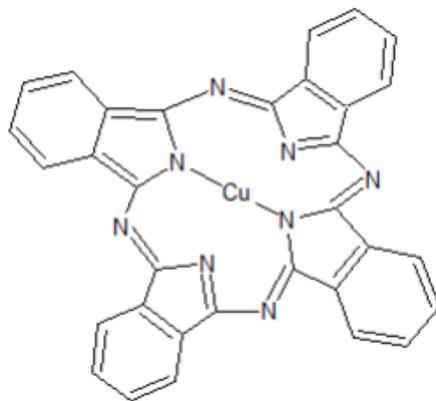


Figure I.5 : Exemple de colorant phtalocyanines.

#### I.4.1.6 Colorants nitrés et nitrosés

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

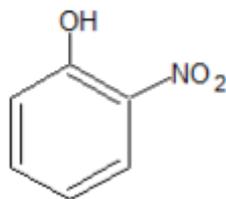


Figure I.6 : Exemple de colorant nitré et nitrosé.

#### I.4.1.7 Colorants triphénylméthanés

Les triphénylméthanés 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. Exemple : C.I. Basic Green 4

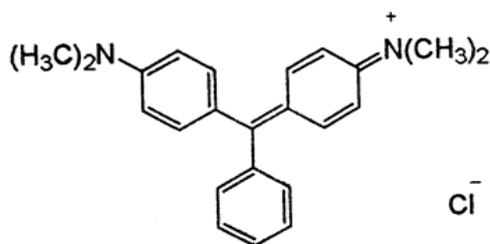


Figure I.7 : Exemple de colorant triphénylméthane.

## I.4.2 Classification selon le domaine d'application

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes [7].

### I.4.2.1 Colorants directs

Les colorants directs contiennent ou sont capable de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosique sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule [6].

### I.4.2.2 Colorants à mordant

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile [6]. Cette classe de colorants est généralement employée pour teindre la laine, la soie, le coton, le papier, l'encre et le cuir [8].

### I.4.2.3 Colorants acides ou anioniques

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

L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles [7].

#### **I.4.2.4 Colorants basiques ou cationiques**

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaitre dans la teinture de laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes [7].

#### **I.4.2.5 Colorants dispersés**

Les colorants dispersés sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer [7].

#### **I.4.2.6 Colorants de cuve**

Les colorants de cuve sont habituellement des colorants insoluble dans l'eau qui peuvent être chimiquement réduits en présence de la base pour former un dérivé hydrosoluble et sans couleur [9].

#### **I.4.2.7 Colorants réactifs**

Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Soluble dans l'eau, ils sont utilisés dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides [7].

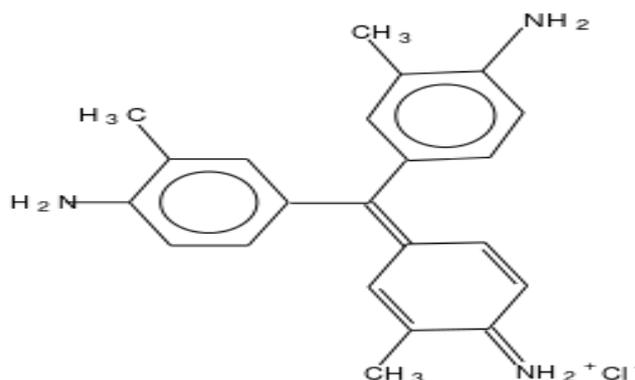
### **I.5 Colorant étudié**

Dans ce travail, nous sommes intéressés à l'étude du colorant fuchsine (Violet de base 14). C'est un dérivé de colorant triphénylméthane

La fuchsine est un colorant rouge violacé. Ce produit intervient dans la coloration de Gram, mais aussi dans les milieux de culture bactériens. Dans un tout autre domaine, la

fuchsine est aussi utilisée pour faire des tracés à la peau (aussi appelés « tatouages ») persistants notamment en radiothérapie externe.

François-Emmanuel Verguin déposa le 8 avril 1859 un brevet pour cette substance qu'il avait réussi à synthétiser, et le vendit la même année à la société Renard Frères qui la mit sur le marché sous le nom commercial de magenta, tandis que d'autres producteurs la nommaient « fuchsine » évoquant la couleur des fleurs de fuchsia [10].



**Figure I.8** : Structure chimique de la néo-fuchsine basique.

On distingue deux types de la fuchsine basiques :

### I.5.1 Néo-fuchsine basique

Elle est utilisée dans la fuchsine de Ziehl (coloration de Gram, coloration de Ziehl-Neelsen) ou la fuchsine de Kinyoun (coloration de Kinyoun). Sa structure est présentée dans la figure I.8.

**Tableau I.2** : Composition de la néo-fuchsine basique.

Composition de la fuchsine de Ziehl		Composition de la fuchsine de Kinyoun	
<b>Fuchsine basique</b>	10 g	<b>Fuchsine basique</b>	33,3 g
<b>Phénol</b>	50 g	<b>Phénol</b>	66,6 g
<b>Éthanol</b>	100 Ml	<b>Éthanol</b>	166 mL
<b>Eau distillée</b>	1 L	<b>Eau distillée</b>	1 L

### I.5.2 Fuchsines acides

Elles sont incolores. En effet, ce sont des leucodérivés (c'est-à-dire des dérivés blancs) de la fuchsine basique obtenue par réaction avec cette dernière et de l'oxyde de soufre. Elles prennent une coloration rose en cas de réduction. Exemples d'utilisation :

- la réaction de Schiff pour mettre en évidence les aldéhydes.
- la coloration à l'acide périodique utilisée en histologie utilisant le même principe.

**Tableau I.3** : Fiche technique de la fuchsine.

<b>Nom</b>	<b>Violet de base 14</b>
<b>Synonymes</b>	La Fuchsine basique ; C.I. 42510 ; MAGENTA, FUCHSINE
<b>Marque</b>	XCWY
<b>Formule moléculaire</b>	C <sub>20</sub> H <sub>19</sub> N <sub>3</sub> . HCl
<b>Poids moléculaire</b>	337.85 g/mol
<b>Numéro de Registre CAS</b>	632-99-5
<b>EINECS</b>	211-189-6
<b>pH</b>	5.6
<b>Propriétés</b>	
<b>Point de fusion</b>	250 °C
<b>Point d'éclair</b>	200 °C
<b>Solubilité dans l'eau</b>	4 g/L (25 ° c)

## **I.6 Impacts environnementaux**

Les principales questions environnementales soulevées par les activités de l'industrie concernent essentiellement les rejets dans l'eau, les émissions dans l'air ainsi que la consommation d'énergie. Parmi celles-ci, l'eau représente la préoccupation première. En effet, pour l'industrie textile, l'eau constitue le principal vecteur pour éliminer les impuretés, appliquer les colorants ainsi que pour générer de la vapeur. A l'exception d'une faible quantité d'eau évaporée pendant le séchage, la majeure partie de l'eau utilisée est rejetée sous forme d'effluents aqueux. Par conséquent, la quantité d'eau évacuée et la charge chimique qu'elle véhicule constituent un problème majeur [11].

La charge de pollution produite par les activités de l'industrie textile et majoritairement imputable aux substances contenues dans la matière première avant qu'elle n'entre dans la phase du processus d'ennoblissement. On retrouve généralement les substances ci-après :

- Produits d'encollage.
- Produits de préparation.
- Impuretés des fibres naturelles et matière associées.

Les impacts les plus importants sur l'environnement sont dus aux sels détergents et aux acides organiques. Le rejet de ces résiduaire dans l'écosystème est une source dramatique de pollution d'eutrophisation et de perturbation non esthétique dans la vie aquatique et par conséquent présente un danger potentiel de bioaccumulation qui peut affecter l'homme par transport à travers la chaîne alimentaire [11].

## **I.7 Toxicité des colorants**

Les rejets d'effluents des industries textiles, chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire considérablement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité, donc, pourrait être liée à la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Par ailleurs, Leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible. De ce fait, ils peuvent persister longtemps dans ce milieu, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore (pouvoir d'auto épuration des

cours d'eau, inhibition de la croissance des végétaux aquatiques...) et dans la faune (destruction d'une catégorie de poissons, de microorganismes...) [12]. 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 I-3 présente, les différentes classes de la toxicité en fonction de la dose létale [13].

**Tableau I.4 :** Principales classes de toxicité, Échelle de Gosselin.

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

Les composés de la famille des triphénylméthanes telle que (la fuchsine) sont des composés reconnus comme étant génotoxiques pour les cellules bactériennes et mammifères [14]. Fernandes et al. [15], Rao [16] et Culp et al. [17] ont établi que le vert malachite, colorant couramment utilisé en industrie et comme antifongique, est un composé fortement cytotoxique pour les mammifères. La nature cancérigène des triphénylméthanes se manifeste principalement par leurs métabolites leuco dont les dérivés N-diméthyle sont obtenus par voie bactérienne [18] ou levure.

Les effets toxicologiques de la fuchsine basique sont plus dangereux, que ce soit du point de vue de l'écologie ou de la santé humaine ; comme les triphénylméthanes ont une nature cancérigène peut causer une toxicité aiguë par voie orale qui est estimé à plus de 2.000 mg/kg En cas d'ingestion, brûlures graves de la bouche et de la gorge, ainsi que danger de perforation de l'œsophage et de l'estomac. Toxicité aiguë par inhalation estimée à plus de 20 mg/l ; 4 h ; vapeur, conséquences possibles : irritation des muqueuses, toux, insuffisance respiratoire, lésions des voies respiratoires. Toxicité aiguë par voie cutanée estimée à plus de 2.000 mg/kg pouvant entraîner une irritation de la peau. Irritation des

yeux : le mélange provoque de graves lésions oculaires, danger de perte de la vue dans la plupart des cas.

Les rajouts des déchets de colorants provenant d'usines dans les océans et dans la mer ont provoqué une perturbation ; un impact sur l'écosystème, la fuchsine est facilement dégradable de manière à provoquer une toxicité pour les poissons et pour les organismes aquatiques.

## I.8 Procédés de traitements des colorants

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

### I.8.1 Procédés physicochimiques

#### I.8.1.1 Coagulation-précipitation

Cette technique permet l'élimination des colorants par coagulation-floculation-décantation, grâce à l'ajout de cations trivalents, tels  $\text{Fe}^{3+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$  [19]. Cette méthode consiste en une annulation du potentiel zêta (coagulation) par l'ajout d'un réactif chimique, ce qui entraîne la déstabilisation des particules colloïdales, suivie de leur agglomération (floculation) en microflocs, puis en flocons volumineux et décantables. La neutralisation de la charge superficielle (potentiel zêta) est réalisée au moyen de coagulants minéraux à base de cations trivalents, tels que sulfate et chlorure d'alumine, chlorure et sulfate ferrique, ou organiques de synthèse à caractère cationique, tel que l'épichlorhydrine diméthylamine.

#### I.8.1.2 Echange d'ions

L'échange d'ions est un procédé par lequel, dans certaines conditions, un matériau solide (résines échangeuses d'ions) attire un ion positif ou négatif d'une solution et rejette un autre ion de même signe. Le procédé de traitement des eaux par échange d'ions s'applique aux effluents contenant des colorants [20].

## I.8.2 Procédés chimiques

### I.8.2.1 Procédés d'oxydation classique

Les techniques d'oxydation classiques utilisent des oxydants puissants et variés tels que l'hypochlorite de sodium ( $\text{NaOCl}$ ), l'ozone ( $\text{O}_3$ ), ou encore le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), en présence ou non de catalyseur. Ces méthodes de traitement sont couramment utilisées pour l'épuration d'effluents contenant des polluants organiques, y compris des colorants, en raison de leur mise en œuvre relativement facile. Dans le cas des colorants toxiques réfractaires à la biodégradation, l'action de ces composés permet l'obtention de sous-produits dégradables par les microorganismes. Enfin, l'oxydation par l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène est un procédé utilisé en complément ou en concurrence avec l'adsorption sur charbons actifs ou la nanofiltration [21].

#### a) Hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium ( $\text{NaOCl}$ ) s'attaque en particulier à la fonction amine des colorants, il enclenche et accélère la destruction du motif azoïque. Cependant, l'hypochlorite de sodium est de moins en moins utilisé dans les processus de traitement des eaux usées, en raison des effets négatifs qu'il induit [22], notamment par la formation d'amines aromatiques et d'organochlorés qui sont des composés cancérigènes. Ces inconvénients ont motivé son remplacement par l'ozone ou d'autres oxydants.

#### b) Ozone

L'ozone est un oxydant très puissant, particulièrement en raison de sa grande instabilité, l'ozonation est surtout adaptée à la dégradation des molécules de colorants ayant une double liaison, dont la destruction conduit à la formation de molécules plus petites. Les sous-produits d'oxydation à l'ozone présentent l'avantage d'être biodégradables [23].

#### c) Peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) est utilisé dans la plupart des procédés de décoloration par oxydation. Cependant, en raison de la stabilité de ce composé à l'état pur, il est nécessaire de l'activer [22]. Le rendement des méthodes d'oxydation à base de

peroxyde d'hydrogène diffère en fonction de l'agent d'activation, les plus utilisés étant l'ozone, les rayons UV et les sels ferreux.

### **I.8.2.2 Procédés d'oxydations avancées (POA)**

Les procédés d'oxydations avancées regroupent des méthodes chimiques, photochimiques ou électrochimiques leur développement est en plein essor depuis environ trois décennies. Elles consistent à dégrader les molécules de colorants en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O au moyen de l'UV en présence de peroxyde d'hydrogène [24].

#### **a) Procédé d'oxydation avancée chimique : réaction de Fenton**

La possibilité d'utilisation du réactif de Fenton dans le domaine de l'environnement, en particulier dans le traitement des eaux usées, a été abordée durant les deux dernières décennies. Le réactif de Fenton n'est autre que le peroxyde d'hydrogène activé au moyen d'un sel ferreux et constitue un agent oxydant adapté au traitement d'effluents contenant des colorants résistants à la biodégradation ou toxiques vis-à-vis des microorganismes [22].

#### **b) Procédés d'oxydation avancée électrochimique**

Le traitement des effluents colorés par électrochimie semble être plus intéressant, dans la mesure où le procédé dans ce cas fait preuve d'une bonne efficacité technique et économique. En effet, les effluents recueillis en sortie ne présentent généralement aucun danger pour les organismes vivants et la mise en œuvre de ce procédé nécessite très peu ou pas du tout de réactifs chimiques [20].

#### **c) Procédés d'oxydation avancée photochimique**

La photodégradation des colorants peut avoir lieu en présence ou non de catalyseurs et/ou d'agents oxydants, tels que le peroxyde d'hydrogène, ou l'ozone. La réaction peut conduire à la minéralisation complète de la molécule polluante. Ce phénomène est dû en particulier à l'action des radicaux hydroxyles [23].

### **I.8.3 Procédés physiques**

#### **a) Filtration sur membrane**

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse. L'effluent passe à travers

une membrane semi- perméable qui retient en amont les contaminants de taille supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméant purifié et un concentré qui reçoit les impuretés organiques. Parmi les quatre types de procédés, la nanofiltration et l'osmose inverse sont les plus adaptés à la réduction partielle de la couleur et des petites molécules organiques, mais l'osmose inverse reste la plus répandue [25].

#### **b) Adsorption sur charbon actif**

Lors de l'adsorption, le polluant est transféré de la phase liquide vers la phase solide. Le charbon actif est l'adsorbant le plus communément utilisé pour la réduction de la couleur [25], mais il reste très onéreux. Des recherches ont opté pour valoriser ou utiliser certaines matières naturelles (argile, sciure, écorce et farine de bois...) moins onéreuses pour l'élimination des colorants par adsorption [26].

### **I.9 Application des colorants**

L'industrie des colorants constitue aujourd'hui un secteur capital de la chimie. Les colorants ont pour but d'améliorer l'aspect des produits mis en marché, ils sont employés pour la teinture des fibres textiles, fourrure, cuir (textiles à usage vestimentaires, de décoration, du bâtiment, du transport, textiles à usage médicale...), que l'industrie de textile reste l'un des principaux secteurs d'utilisation (la gamme produite est complète, unique et identifiable). Les supports naturels (soie, coton, laine) valorisent admirablement ces colorants et offrent aux coloristes un vaste champ de possibilités) [27].

Ils servent aussi à préparer des peintures, des vernis et trouvent un emploi comme additifs de produits alimentaires (Une alimentation sans additifs est désormais inconcevable. Les aliments à l'état brut paraîtraient aux yeux des consommateurs comme « moins bons ». La couleur, l'aspect de la nourriture ont une influence psychologique sur le goût perçu des aliments) [28].

Ils sont utilisés aussi dans l'industrie des cosmétiques, la coloration des métaux (aluminium anodisé), la photographie (sensibilisateurs), la biologie (colorations des préparations microscopiques), les indicateurs colorés de pH, et certains d'entre eux sont employés en thérapeutique (antiseptiques, antimalariques, etc.).

Dans le domaine de l'industrie de peinture et des bâtiments, les colorants sont utilisés pour toutes les techniques de la peinture ainsi que pour la préparation des couleurs à la chaux pour les précolorations et enduits sur bâtiments.

Les colorants sont utilisés aussi dans le domaine de l'impression des papiers peints, la teinture du papier et du parchemin ainsi que la préparation des encres pour but d'améliorer et optimiser le colorant imprimé. Les pigments et colorants sont parmi les constituants les plus importants de l'encre, puisqu'ils lui confèrent ses caractéristiques optiques. Ce sont eux qui portent le message, créent le décor, apportent la couleur, le brillant, etc. La plupart des pigments utilisés aujourd'hui dans les encres d'imprimerie sont des pigments organiques de synthèse. Les pigments sont sélectionnés suivant leurs propriétés et leur prix, qui peut représenter jusqu'à 65 % du prix « matière » de l'encre [29].

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] A. Welham, The theory of dyeing (and the secret of life). J. Soc. Dyers Colour. 116 (2000) 140-143.
- [2] M. Iqbal, « Textile dyes », Ministry of science and technology (applied chemistry) (2008)
- [3] L. Hunger, Needles« Textile fibres, dyes, finiches, and processus », university of California Davis California (mars 1986).
- [4] S. Boumaza, « Optimisation et Modélisation de la fabrication du charbon actif Application à l'extraction d'un colorant en solution aqueuse », mémoire de magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (2011).
- [5] K. Winnacker, L. Küchler, «Traité de Chimie appliquée», Tome 7 : Chimie organique, 3<sup>ème</sup> partie, Editions Eyrolles, Paris 5<sup>e</sup>, 1968, 165-166.
- [6] L. NAIDJA, « élimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption», mémoire magister en chimie analytique, physique et environnement, Université Mentouri de Constantine (2010).
- [7] S. BENHABILES, « Elaboration et caractérisation d'un charbon actif à base de résidu du café : application à l'étude de l'adsorption des colorants en solution aqueuse», mémoire de magister, Université, Abderrahmane mira de bejaia (2009).
- [8] K. HUNGER, « industriel dyes: chemistry, proprieties, application», Edition: WILLEY-VCH (2003).
- [9] L. Hunger, Needles« Textile fibres, dyes, finiches, and processus », university of California Davis California (mars 1986).
- [10] A. W. Hofman, « Chimie organique. Recherches sur les matières colorantes dérivées de l'aniline », Comptes rendus hebdomadaire des séances de l'Académie des sciences, Paris, t. 54, janvier 1862, p. 428-439
- [11] Chavan, R.B., 16 environmentally friendly dyes A2 - Clark, M, in Handbook of Textile and Industrial Dyeing. 2011, WoodheadPublishing : p. 515-561.

- [12] I. Bousnoubra, Etude comparative de la photodégradation du vert de méthyle par divers procédés photochimiques en milieu aqueux, mémoire magistère, université mentouri constantine (2010)
- [13] H. Trabelsi, Etude de la dégradabilité et de la toxicité des colorants par ozonation et photocatalyse, thèse de doctorat, université de Monastir Tunisie (2014).
- [14] A. Kleemann, J. Engels; pharmaceutical substances, 4th edition (2000)
- [15] S.K. Lee, A. Mills: Luminescence of Leuco-Thiazine Dyes. *Journal of Fluorescence* 13(2003) 375-377.
- [16] K. Kottke-Marchant, B. Davis: *Laboratory Hematology Practice: processing and normal morphology*, WILEY-BLACKWELL, UK; 1<sup>ère</sup> édition (2012)
- [17] T. M. Wilson: On the chemistry and staining properties of certain derivatives of the methylene blue group when combined with eosin. *American Journal of Physiology* 19 (1907) 647-670.
- [18] M.N. Crepy. "Dermatoses professionnelles aux colorants", Fiche d'allergologie dermatologie professionnelles hôpital Cochin, 2004
- [19] S. Venkat. P.V. Mane, V. Babu. Studies on the adsorption of Brilliant Green dye from aqueous solution onto low-cost NaOH treated sawdust. *Desalination* 273 (2011) 321–329.
- [20] M. Ghaedi, H. Hossainian, M. Montazerzohori, A. Shokrollahi, F. Shojaipour, M. Soylak, M.K. Purkait, A novel acorn based adsorbent for the removal of brilliant green, *Desalination* 281 (2011) 226–233.
- [21] S.R. Shirsath, A.P. Patil , R. Patil , J. B. Naik , P.R. Gogate. S.H. Sonawane. Removal of Brilliant Green from wastewater using conventional and ultrasonically prepared poly (acrylic acid) hydrogel loaded with kaolin clay: A comparative study. *Ultrasonics Sonochemistry* 20 (2013) 914–923.
- [22] M.P. Tavlieva, S. D. Genieva, V.G. Georgieva, L.T. Vlaev. Kinetic study of brilliant green adsorption from aqueous solution onto white rice husk ash. *Journal of Colloid and Interface Science* 409 (2013) 112–122.

[23] R. Kumar, M.A. Barakat. Decolourization of hazardous brilliant green from aqueous solution using binary oxidized cactus fruit peel. *Chemical Engineering Journal* 226 (2013) 377–383.

[24] F. Benamraoui., 2014. Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture », Mémoire de Magister, Université de Sétif,

[25] H. Ben Mansour, O. Boughzala, D. Dridi, D.Barillier, L. Chekir-Ghedira et R. Mosrati (2011) : Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : criblage de la toxicité et des méthodes de traitement." *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science* 24(3) : 209-238,

[26] N. MERZOUG., 2014, Application des tiges de dattes dans l'adsorption des polluants organiques », Mémoire Magister, Université de Souk Ahras

[27] J.-A Ghautier ,J.-G. Kiger et F. Pellerin,« Les Colorants Naturels et de Synthèse à Usage Pharmaceutique et Alimentaire». Mises au point de chimie analytique, Paris, Masson, 1964

[28] M. Flett, St. C., *J. Chem. Soc.*, 1948, p. 1441.

[29] A. Blayo, Formulation des encres pour l'impression ; Pigments et colorants.10 mars 2007. <https://www.techniques-ingenieur.fr>



*Chapitre II : Généralités  
sur l'adsorption*

## **Chapitre II : Généralités sur l'adsorption**

### **II.1 Introduction**

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques. Dans ce chapitre nous allons donner quelques généralités sur l'adsorption pour mieux définir l'importance de ce processus, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les éléments influant l'adsorption.

### **II.2 Définition**

L'adsorption est un phénomène physico-chimique de transfert de matière d'un fluide vers la surface d'un solide. La substance qui se fixe est appelée adsorbat, le solide qui est le siège de l'adsorption est nommé adsorbant. Ce phénomène spontané provient de l'existence, à la surface du solide des forces non compensées, qui sont de nature physique ou chimique. Elle se traduit en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles (gaz/solide ou liquide/solide) [1].

### **II.3 Types d'adsorption**

Selon les catégories des forces attractives, l'énergie et la nature des liaisons mises en jeu, nous distinguons deux types d'adsorption : l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

#### **II.3.1 Adsorption physique (Physisorption)**

L'adsorption physique est un phénomène réversible gouverné par des forces attractives de nature physique, comprenant les forces de Vander Waals. Ces forces ne détruisent pas l'individualité des molécules adsorbées et lorsqu'elles opèrent, elles correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de 10 Kcal par mole. Ce phénomène consiste essentiellement en la condensation de molécules sur la surface du solide est favorisé par un abaissement de la température [2].

### II.3.2 Adsorption chimique (Chimisorption)

L'adsorption chimique est un phénomène irréversible géré par des interactions chimiques (liaisons covalentes) qui provoque un transfert ou une mise en commun d'électrons entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. On assiste donc à une destruction de l'individualité des molécules adsorbées et la formation de nouveaux composés à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie élevée variant de 10 à 100 Kcal par mole [2, 3].

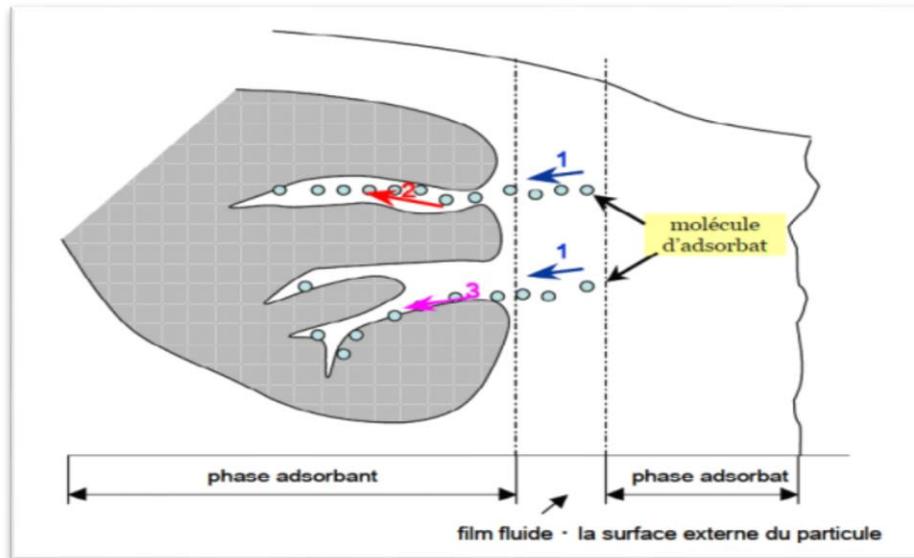
Les majeures caractéristiques des deux types d'adsorption sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau II.2 :** Caractéristiques d'adsorptions physique et chimique.

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	5 à 10 Kcal/mole	10 à 100 Kcal/mole
Température	Basse	Elevée
Nature de liaison	Physique (Wan derWaals)	Chimique (covalente)
Nature du support	Le rendement dépend de l'adsorbant plus que l'adsorbat.	Dépend du support et de l'adsorbat (affinité spécifique).
Energie d'activation	Non appréciable	Importante
Cinétique	Très rapide, réversible	Lente, irréversible
Etat de surface	Formation de multicouches	Formation d'une monocouche
Désorption	Plus ou moins parfaite	Difficile

### II.4 Description du mécanisme d'adsorption

Le transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention de soluté à la surface de l'adsorbant se fait en plusieurs étapes (Figure II-1) dont une ou plusieurs peuvent être déterminante de la cinétique globale du processus :



**Figure II-1** : Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbant au sein d'un grain [4].

**1. Diffusion externe** : elle correspond au transfert du soluté (molécules de la phase liquide) du sein de la solution à la surface externe des particules. Le transfert de matière externe dépend des conditions hydrodynamiques, de l'écoulement du fluide dans le lit d'adsorbant et de l'épaisseur de la couche limite formée entre l'adsorbant et l'adsorbant.

**2. Diffusion interne** : les particules de fluide pénètrent à l'intérieur des pores. Elle dépend du gradient de concentration du soluté ;

**3. Diffusion de surface** : elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores. Cette diffusion de surface englobe deux phénomènes, l'adsorption et la réaction chimique.

## II.5 Facteurs influençant l'adsorption

Dans le cas de l'adsorption en phase liquide, un grand nombre de facteurs est susceptible d'avoir une influence sur le processus d'adsorption, parmi eux on distingue les facteurs liés à :

**a) La nature de l'adsorbant [5] :**

- Surface spécifique.
- La densité et la nature des groupes fonctionnels qui se trouvent à sa surface.
- La distribution de la taille des pores.
- Le taux de cendres.

**b) La nature de l'adsorbat [6]**

- Sa masse moléculaire.
- Sa polarité : un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant polaire. Il faut que l'adsorbant et l'adsorbât soient de polarité voisine.
- Sa solubilité : Plus la solubilité est grande, plus faible sera l'adsorption.
- La taille des molécules.
- La nature des groupements fonctionnels (acides ou basiques).

**c) Les conditions opératoires [7]**

- La concentration en adsorbant et en adsorbat.
- La température de la solution l'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique), alors que l'adsorption chimique demande des températures plus élevées (phénomènes endothermique).
- La présence d'espèces compétitives pour les mêmes sites d'adsorption (cas des mélanges).
- Le pH du milieu : influe sur l'ionisation des fonctions de surface, et par suite sur la charge globale de l'adsorbant.
- Le temps de contacts entre l'adsorbant et l'adsorbat.
- La vitesse d'agitation.

**II.6 Isothermes d'adsorption**

Tous les systèmes adsorbant/adsorbât ne se comportent pas de la même manière. Les phénomènes d'adsorption sont souvent abordés par leur comportement isotherme. Les courbes isothermes décrivent la relation existante à l'équilibre d'adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant donné à une température constante.

Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} = \frac{X}{m} \quad (\text{II-1})$$

Sachant que :

**C<sub>0</sub>**: Concentration initiale de soluté (mg/L)

**C<sub>e</sub>**: Concentration de soluté à l'équilibre (mg/L)

**$q_e$** : Quantité de soluté adsorbé à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g)

**X** : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg);  $X = (C_0 - C_e) \cdot V$

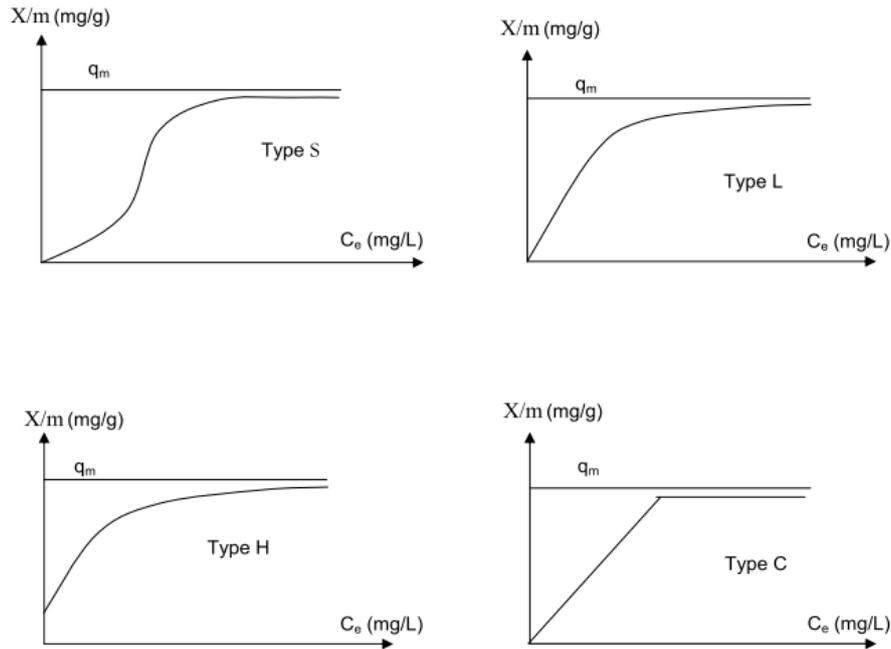
**m** : masse d'adsorbant (g)

**V** : volume de la solution (L)

### II.6.1 Classification des isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption représente les quantités adsorbées de soluté en fonction de la concentration de ce dernier en solution à une température donnée (Figure II.2). L'allure de la courbe d'isotherme varie selon le couple adsorbat-adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption des solutés ont été classées par Giles et coll. en quatre principales classes [8] :

- a) **isothermes de type S** (dite sigmoïde): Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut.
- b) **isothermes de type L** (dite Langmuir): sont les plus fréquentes. Ce comportement se rencontre dans le cas où l'adsorption est faible et lorsque les molécules de l'adsorbat sont orientées à plat.
- c) **isothermes de type H** (haute affinité) : La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes.
- d) **isothermes de type C** sont sous forme de ligne droite, ce type de courbe est obtenu lorsqu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant.



**Figure II.2 :** Représentation des différentes isothermes d'adsorption selon Giles et al [9].

## II.6.2 Modèles d'adsorption

Différents modèles mathématiques ont été établis pour représenter l'équilibre d'adsorption. Les modèles les plus souvent utilisés sont :

### II.6.2.1 Modèle de Langmuir

Etabli en 1918, ce modèle d'adsorption en monocouche est basé sur les hypothèses suivantes [10] :

- Les molécules sont adsorbées sur des sites bien définis à la surface de l'adsorbant.
- Tous les sites sont identiques.
- Chaque site ne peut fixer qu'une seule molécule (couche mono-moléculaire).
- Absence d'interaction entre les sites adjacents.
- L'énergie de chaque molécule adsorbée est indépendante de sa position sur la surface.

Da ce fait, l'équation empirique donnée par Langmuir est représentée par la relation (II-2) suivante :

$$q_e = \frac{X}{m} = \frac{q_m K_L C_e}{(1 + K_L C_e)} \quad (\text{II-2})$$

Où :

$\frac{x}{m}$  : Quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g) ;

$q_m$  : Quantité maximale de soluté par gramme d'adsorbant nécessaire pour couvrir la surface d'une couche mono-moléculaire (mg/g) ;

$K_L$  : Constante de Langmuir, elle indique l'affinité de l'adsorbât pour l'adsorbant.

La linéarisation de l'équation de Langmuir (II-2) permet de déduire la capacité ultime ( $q_m$ ) et la constante de Langmuir  $K_L$ . Cette linéarisation est donnée par la relation (II-3)

suivante : 
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L} \quad (\text{II-3})$$

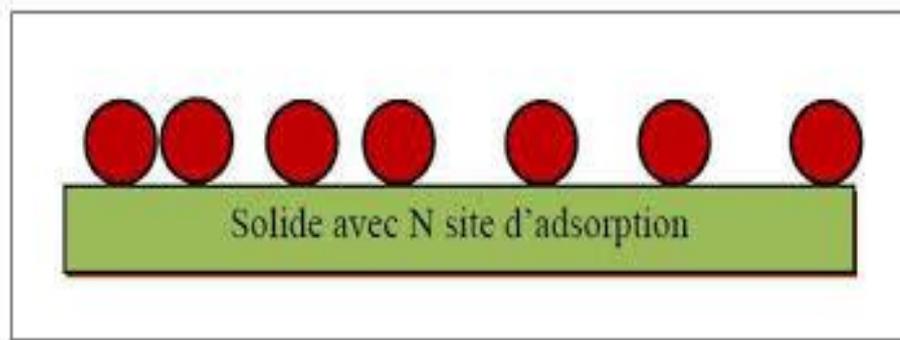


Figure. II.3 : Modèle d'adsorption en monocouche.

### II.6.2.2 Modèle de Freundlich

Ce modèle établit une relation entre la quantité d'impureté adsorbée et la quantité restante en phase liquide, cette équation est basée sur une distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption, elle s'exprime par la relation (I-4) suivante :

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad (\text{II-4})$$

$K_f$  et  $1/n$  : Constantes de Freundlich, leur détermination se fait à l'aide de l'équation (II-5) suivante :

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{II-5})$$

L'équation de Freundlich implique une distribution d'énergie justifiable par l'hétérogénéité de la surface. Selon cette équation, la quantité adsorbée s'accroît à l'infini avec l'augmentation de la concentration ou de la pression. En général, même si elle est peu satisfaisante pour des concentrations élevées, elle représente bien l'adsorption des composés dilués dans le solvant, ce qui est le cas des pesticides dans l'eau. Contrairement à la modélisation de Langmuir, l'adsorption selon Freundlich est en multicouches.

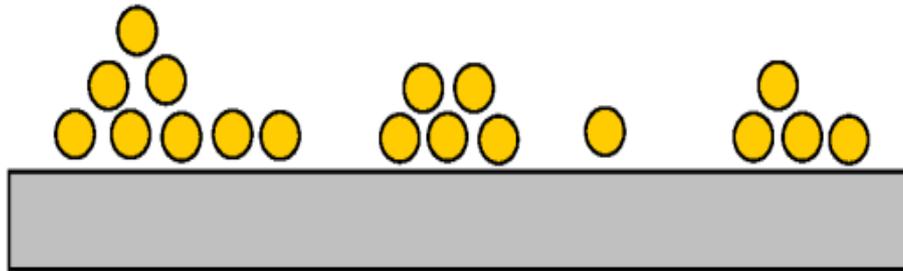


Figure. II.4 : Modèle d'adsorption en multicouche.

### II.6.2.3 Modèle de Temkin

Cette isotherme contient un facteur qui prend explicitement en compte les interactions adsorbant-adsorbat. En négligeant la valeur extrêmement faible et importante des concentrations, le modèle suppose que la chaleur d'adsorption (fonction de la température) de toutes les molécules de la couche diminuerait de façon linéaire plutôt que logarithmique avec la couverture [11, 12]. Comme l'implique l'équation, sa dérivation est caractérisée par une distribution uniforme des énergies de liaison (jusqu'à une certaine énergie de liaison maximale) a été effectuée en traçant la quantité sorbe  $q_e$  contre  $\ln C_e$  et les constantes ont été déterminées à partir de la pente et de l'interception. Le modèle est donné par l'équation suivante [11]:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(A_T C_e) \quad (\text{II-6})$$

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \left(\frac{RT}{b}\right) \ln C_e \quad (\text{II-7})$$

$$B = \frac{RT}{b_T} \quad (\text{II-8})$$

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (\text{II-9})$$

$A_T$  : Constante de liaison à l'équilibre isotherme de l'épiderme (L/g).

$b_T$  : Constante isotherme du temkin.

$R$  : constante universelle des gaz parfaits (Kj/mol.K).

**T** : Température à 298K.

**B** : Constante liée à la chaleur de sorption (J/mol).

#### I.6.2.4 Modèle d'Elovich

Le modèle d'Elovich est basé sur le principe d'une cinétique supposant que les sites d'adsorption augmentent exponentiellement avec l'adsorption, ce qui implique la formation de multicouche sur la surface de l'adsorbant [13].

L'équation de modèle est donnée par l'expression suivante :

$$\frac{q_e}{q_m} = (K_e C_e) \exp\left(-\frac{q_e}{q_m}\right) \quad (\text{II-10})$$

Où:

**K<sub>e</sub>**: Constante d'équilibre d'Elovich.

**q<sub>m</sub>**: Capacité maximale d'adsorption (mg/g).

Ces deux constantes sont déterminées en passant par la forme linéaire de cette équation qui se présente comme suit :

$$\ln\left(\frac{q_e}{C_e}\right) = \ln(K_e q_m) - \left(\frac{q_e}{q_m}\right) \quad (\text{II-11})$$

**K<sub>e</sub>**: Constante d'équilibre d'Elovich (l/mg).

**q<sub>m</sub>**: Capacité maximale d'adsorption (mg/g).

#### II.6.2.5. Modèle de Dubinin-Radushkevich (D-R)

L'isotherme de Dubinin-Radushkevich suppose une surface hétérogène [14]. Ce modèle a été appliqué pour distinguer l'adsorption physique de l'adsorption chimique [15]. L'équation de l'isotherme de D-R [16,17] est comme suit:

$$q_e = q_m \exp(-\beta \varepsilon^2) \quad (\text{II.11})$$

La forme linéaire de l'isotherme de D-R est la suivante [18, 19, 20]:

$$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2 \quad (\text{II.12})$$

**β** : une constante liée à l'énergie libre moyenne de l'adsorption par mole d'adsorbant (mol<sup>2</sup>.J<sup>-2</sup>).

**q<sub>e</sub>**: quantité adsorbée par poids spécifique (mg.g<sup>-1</sup>).

$q_m$ : la capacité théorique de saturation et  $\varepsilon$  le potentiel de Polanyi, lequel est égal à

$$q_m = RT \ln \left( 1 + \frac{1}{c_e} \right) \quad (\text{II.13})$$

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

$R$ : constante universelle des gaz parfaits ( $\text{Kj/mol.K}$ ).

$T$ : température (K).

La constante  $\beta$  ( $\text{mol}^2.\text{Kj}^{-2}$ ) donne une idée sur la signification de l'énergie libre,  $Ea$  ( $\text{KJ.mol}^{-1}$ ) et peut être calculée en utilisant la relation suivante [21, 22, 23, 17] :

$$Ea = \frac{1}{(2\beta)^{1/2}} \quad (\text{II.14})$$

La valeur de  $Ea$  est utile pour estimer le type de processus de l'adsorption [24,19]. Si  $Ea$  est entre 8 et 16  $\text{kJ.mol}^{-1}$ , l'échange ionique est le facteur dominant et si  $Ea < 8 \text{ kJ.mol}^{-1}$  c'est une physisorption qui se produit. Pour  $Ea > 16 \text{ kJ.mol}^{-1}$ , la sorption est dominée par la chimisorption [16 ,25].

## II.7 Paramètres thermodynamiques

D'une façon générale, le phénomène d'adsorption est toujours accompagné d'un processus thermique qui peut être soit exothermique ( $\Delta H < 0$ ) ou endothermique ( $\Delta H > 0$ ) [26]. La mesure de la chaleur d'adsorption  $\Delta H$  est le principal critère qui permet de différencier la chimisorption de la physisorption. La chaleur d'adsorption  $\Delta H$  est donnée par la relation de Gibbs-Helmholtz [27] :

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (\text{II-15})$$

$$\Delta G^\circ = -RT \cdot \text{LnKe} \quad (\text{II-16})$$

$$\text{LnKe} = (\Delta S^\circ/R) - (\Delta H^\circ/RT) \quad (\text{II-17})$$

Où :

$\Delta G^\circ$ : l'énergie libre ;  $\Delta H^\circ$ : l'enthalpie ;  $\Delta S^\circ$ : l'entropie.

$R$ : la constante des gaz parfaits ( $\text{Kj/mol.K}$ ).

**$K_e$**  : la constante thermodynamique de l'équilibre de l'adsorption.

$$K_e = C_{ae}/C_e \quad (\text{II-18})$$

**$C_{ae}$**  : la masse en mg de l'adsorbat adsorbée par litre de solution à l'équilibre.

**$C_{ae}$**  :  $C^\circ - C_e$ ,  $C_e$  : la concentration de la solution de l'adsorbat à l'équilibre.

Si nous portons graphiquement  **$\ln K_e$**  en fonction de  **$1/T$** , nous aurons une droite de pente  $-\Delta H^\circ / R$  et d'ordonnée à l'origine  $\Delta S^\circ / R$ .

## II.8 Généralités sur les adsorbants

### II.1 Définition d'un adsorbant

Les adsorbants sont des solides microporeux présentant des surfaces par unité de masse importantes (de 100 m<sup>2</sup>/g et jusqu'à ou plus de 1000 m<sup>2</sup>/g) afin de maximiser la capacité d'adsorption (quantité adsorbée par unité de masse d'adsorbant).

### II.8.2 Principaux adsorbants industriels

#### II.8.2.1 Charbon actif [28]

Les charbons actifs sont préparés par pyrolyse d'une matière contenant du carbone, charbon ou matériau végétal, pour conduire à un charbon de bois qui est ensuite oxydé par la vapeur d'eau dans des conditions contrôlées pour créer une structure microporeuse. Il existe plusieurs centaines de qualités de charbons actifs, suivant le précurseur et les conditions de traitement. On peut aussi trouver des charbons actifs dits «chimiques», car activés à chaud en présence d'agents chimiques déshydratants, comme l'acide phosphorique ou le chlorure de zinc ce sont des adsorbants hydrophobes dont la surface spécifique se situe entre 500 et 1500 m<sup>2</sup>/g. Leur porosité, leur vaste domaine d'application et leur coût font des charbons actifs les adsorbants les plus répandus.

#### II.8.2.2 Adsorbants minéraux

Les adsorbants minéraux peuvent exister à l'état naturel ou synthétisés.

- a) **Argiles** : sont des aluminosilicates. Ce sont des produits naturels, qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbantes.

- b) **Zéolithes** : sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres  $\text{SiO}_4$  et  $\text{AlO}_4$ , de formule globale  $(\text{AlO}_2\text{M}, n\text{SiO}_2)$  où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux. Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique. Ils ont une structure microporeuse faite de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés adsorbants. Ils sont sous forme de poudre, granulés ou extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas  $900 \text{ m}^2/\text{g}$  mais, ils présentent une bonne sélectivité [29].
- c) **Gels de silice** : sont préparés à partir de  $\text{Si}(\text{OH})_4$  en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice. Les groupements Si-OH conduisent à des liaisons hydrogène. Il existe deux types de gels de silice: les microporeux, assez hydrophiles, et les macroporeux, versatiles, qui diffèrent par la taille des pores comme le nom l'indique. Leur surface spécifique peut être de  $300$  à  $800 \text{ m}^2/\text{g}$  [30].

### II.8.2.3 Adsorbants à base de polymères

Ce sont pour la plupart des produits en développement qui n'ont actuellement que des applications très spécifiques et peu nombreuses. Le plus répandu est un copolymère du styrène et du divinylbenzène: le polystyrène forme des chaînes reliées entre elles par des ponts de divinylbenzène, ce qui confère une porosité interchaînes à la structure. Une caractéristique importante de ces adsorbants est qu'ils sont très hydrophobes. Ces produits peuvent être utilisés tel quel ou subir une carbonisation. On obtient alors des adsorbants voisins des charbons actifs. Si le polymère initial est préparé en fibres, on peut le tisser et obtenir des tissus de charbon actif. Le diamètre de fibre étant de l'ordre de 10 microns, le temps de transfert est beaucoup plus rapide que pour tous les autres adsorbants. Sa surface spécifique peut atteindre pour les tissus de charbon actif  $2000 \text{ m}^2/\text{g}$  [31].

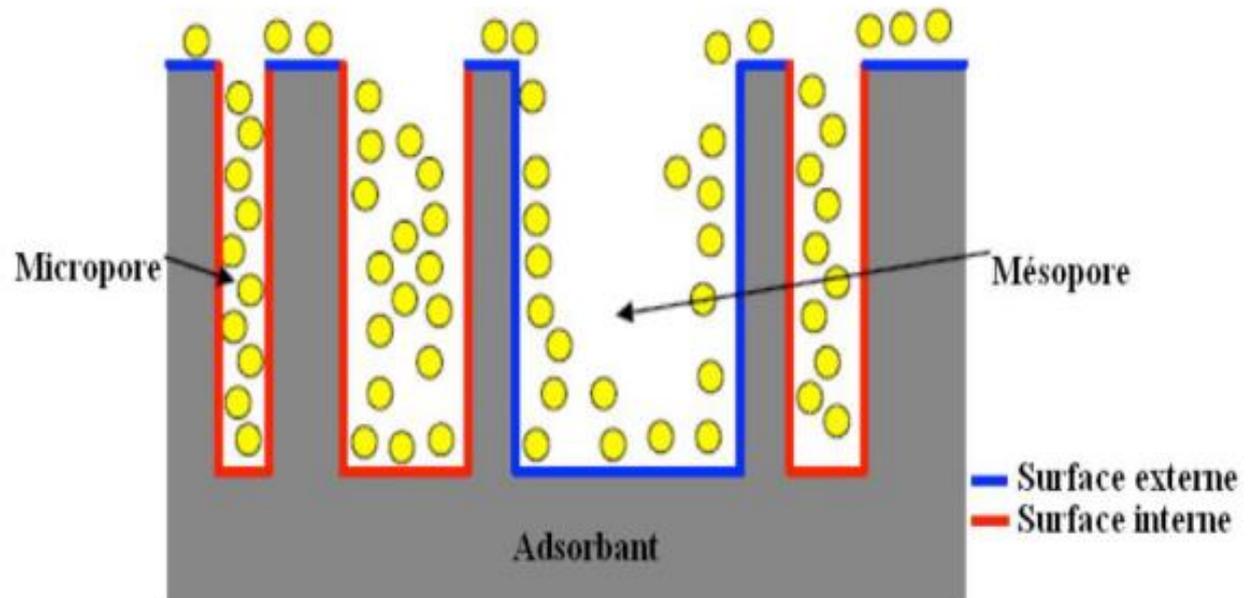
### II.8.3 Propriétés physiques des adsorbants

Tous les adsorbants précédents sont caractérisés par un certain nombre de propriétés physiques telle que: la porosité interne ; masse volumique de la particule ; surface spécifique des pores ; rayon moyen des pores et finalement la capacité théorique d'adsorption correspondant à la quantité maximale de soluté qui peut être adsorbée dans les conditions opératoires par unité de masse d'adsorbant frais.

### II.8.4 Critères de choix d'un adsorbant

La caractérisation complète d'un adsorbant pourrait se concevoir comme la connaissance de quatre entités.

- La surface spécifique : cette grandeur désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant.



**Figure II-5 :** Représentation schématique de la surface spécifique d'un adsorbant [4].

- La distribution de tailles des grains.
- Le facteur de forme ou de rugosité.
- La distribution des tailles de pores.

### II.9 Application de l'adsorption en phase liquide

On peut classer les applications de l'adsorption en phase liquide en deux domaines :

Celui du traitement des solutions diluées et celui du fractionnement des mélanges liquides, bien que, dans les deux cas, il s'agisse toujours de séparation de composés chimiques.

Les applications industrielles concernant le traitement des solutions diluées (purification et extraction) sont extrêmement nombreuses. Les traitements les plus importants en tonnage concernent :

- La décoloration des jus sucrés.
- La purification de divers produits pétroliers et de matières grasses animales et végétales.
- Le traitement des eaux (élimination, des métaux lourds, des odeurs et de la matière organique).
- La dessiccation des produits organiques industriels [32].

### **II.10 Application de l'adsorption dans l'élimination des colorants textiles**

C'est la méthode la plus utilisée dans le traitement des eaux usées, elle est basée sur le contact entre l'effluent et la poudre ou les granules poreux, tels que le charbon actif, l'argile, déchets agricoles et les grignons d'olive [33, 34].

La capacité de décoloration par adsorption sur charbon actif est maximal pour les colorants cationiques à mordant et les colorants acides, tandis qu'elle est très faible pour les colorants dispersés, directs, réactifs et les pigments [35]. Comme les colorants ne sont pas tous ioniques, la plupart des adsorbants ne peuvent pas réduire tous les colorants [36].

Toutefois, cette technique présente l'inconvénient du fait que la pollution se déplace de l'état liquide à l'état solide. De plus, ces techniques, non destructives, nécessitent des opérations postérieures et onéreuses de régénération et de post traitement des déchets solides [37, 38].

### **II.11 Conclusion**

Au cours de ce chapitre, il nous a été possible de définir l'adsorption comme étant essentiellement une réaction de surface et de différencier entre la physisorption et la chimisorption. Nous avons présenté aussi les différents types d'isothermes d'adsorption et exposé les modèles les plus utilisés pour illustrer ces isothermes.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] I. BOUNOUR, Modélisation des isothermes d'adsorption dans le cas de : phénol et de bleu de méthyle sur le charbon actif en grain, mémoire d'ingénieur d'état, école nationale supérieure polytechnique, 2009, p 3.
- [2] S. ARRIS, CHEBIRA, Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales, thèse de doctorat, université de Mentouri Constantine, 2008 p 26.
- [3] S.BENDOUCHE, Utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture, mémoire de magistère, université M'Hamed Bougera Boumerdes, 2009, p 32.
- [4] N. YAHIAOUI, Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olives sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, Thèse de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie (2012).
- [5] A. Talidi, « Etude de l'élimination du Chrome et du bleu de méthylène en milieu aqueux par adsorption sur la pyrophyllite traitée et non traitée », Thèse de doctorat, L'université Mohammed V-Agdal Rabat, (2006).
- [6] I.I. Salam, T. J. Bandoz, « Roll of surface chemistry in adsorption of phenol on activated carbon », Journal of colloid and interface Science 264, 37-312 (2005).
- [7] M. Bagane, « Elimination d'un colorant des effluents de l'industrie textile par adsorption », Annal de Chimie Paris, (2000).
- [8] C. Giles, D. Smith, J. Colloid interf. Sci.(1974).47,755-765.
- [9] R. Desjardins, Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> Edition revue et améliorée, Édition de l'École Polytechnique de Montréal. (1990).
- [10] S. MESKI, Etude de la rétention de métaux lourds sur les apatites: Modélisation du procédé de sorption et de l'élaboration des apatites par les plans d'expériences, Thèse de Doctorat, Université de Bejaia, Algérie (2012).
- [11] M.I. Tempkin, V. Pyzhev, Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst, Acta Phys. Chim. USSR 12 (1940), 327-356.

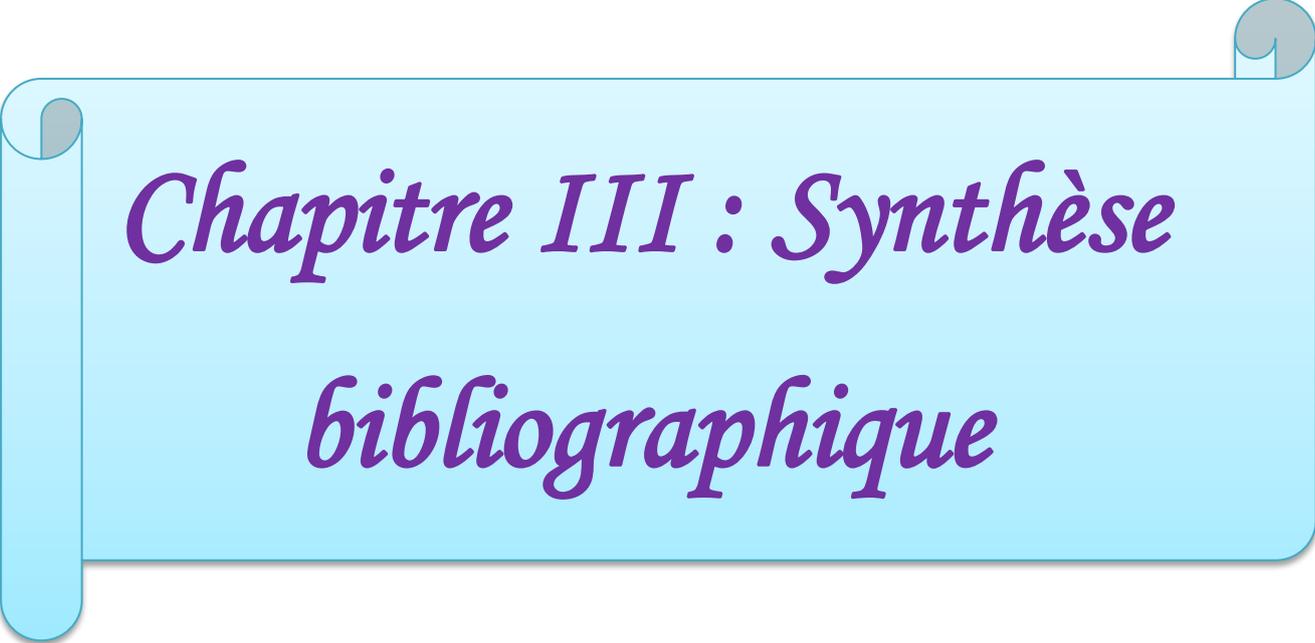
- [12] C. Aharoni, M. Ungarish, Kinetics of activated chemisorption. Part 2. Theoretical models, J. Chem. Soc. Faraday Trans. 73 (1977).
- [13] V.Lenoble, « Elimination de l'arsenic pour la production de l'eau potable : oxydation chimique et adsorption sur des substrats solides innovants», thèse doctorat de limog.
- [14] Argun M. E, Dursun S., Ozdemir C. & Karatas M. Heavy metal adsorption by modified oaksawdust: Thermodynamics and kinetics. Journal of Hazardous Materials 141 (2007) 77-85.
- [15] Benhammou A., Yaacoubi A., Nibou L., & Tanouti B., Adsorption of metal ions onto Moroccan stevensite: kinetic and isotherm studies. Journal of Colloid and Interface Science 282 (2005) 320-326.
- [16] Dubinin M.M. & Radushkevich L.V., Equation of the Characteristic Curve of ActivatedCharcoal. Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, Physical Chemistry Section55 (1947) 331–333.
- [17] Akar S.T., Yetimoglu Y. & Gedikbey T., Removal of chromium (VI) ions from aqueoussolutions by using Turkish montmorillonite clay: effect of activation and modification.Desalination 244 (2009) 97-108.
- [18] Sljivic M., Smiciklas I., Plecas I. & Mitric M., The influence of equilibration conditions andhydroxyapatite physico-chemical properties on to retention of Cu<sub>2+</sub> ions. Chemical Engineering Journal 148 (2009) 80-88.
- [19] Eloussaief M., Kallel N., Yaacoubi A. & Benzina M., Mineralogical identification, Spectroscopic characterization and potential environmental use of natural clay materials on chromate removal from aqueous solutions. Chemical Engineering Journal 168 (2011) 1024 1031.
- [20] Marjanović V., LazarevićS., Janković-Častvan I., JokićB., JanačkovićD.j. & PetrovićR., Adsorption of chromium (VI) from aqueous solutions onto amine-functionalized natural and acid-activated sepiolites. Applied Clay Science 80-81 (2013) 202-210.
- [21] Hobson J. P., Physical adsorption isotherms extending from ultrahigh vacuum to vapor pressure. The Journal of Physical Chemistry 73 (1969) 2720-2727.
- [22] Hasany S. M. & Chaudhary M. H., Sorption potential of Haro river sand for the removal of antimony from acidic aqueous solution. Applied Radiation and Isotopes, 47 (1996) 467-471.
- [23] Dubey S. S. & Gupta R. K., Removal behavior of Babool bark (Acacia nilotica) for submicro concentrations of Hg<sub>2+</sub> from aqueous solutions: a radiotracer study. Separation and purification technology 41(2005) 21-28.

- [24] Erdem B., Özcan A., Gök Ö. & Özcan A. S., Immobilization of 2, 2'-dipyridyl onto bentonite and its adsorption behavior of copper(II) ions. *Journal of Hazardous Materials* 163 (2009)418-426.
- [25] Yadav D., Kapur M., Kumar P. & Mondal M. K., Adsorptive removal of phosphate from aqueous solution using rice husk and fruit juice residue. *Process Safety and Environmental Protection* 94 (2015) 402-409.
- [26] Ramesh A., Lee D.J., Wong J.W. (2005). *Journal of Colloid and Interface Science*, 291, pp : 588.
- [27] Abd El-Rahman K.M., El-Kamash A.M., El-Sourougy M.R., Abdel-Moniem N.M. (2006). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 268, p: 221.
- [28] G.D. Halsey, The role of surface heterogeneity, *Advances Catalysis*. 4 (1952) 259-269.
- [29] Fiani, Adsorption de polluants gazeux sur des filtres à charbon actif, Modélisation des échanges couplés de matière et de chaleur, INPG-EMSE. Saint-Etienne. France. (2000).
- [30] Industrial alumina chemicals, ACS Monograph. 184 (1986).
- [31] C. Moreno-castilla, Adsorption of organic molecules from aqueous solution on carbon materials, (2004) 42, 83, 94. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- [32] C. E. Chittour, *Physicochimie des surface : L'adsorption gaz-solide et liquide-solide*, (2008) 415-17.
- [33] L. Pereira, M. Alves, *Dyes Environmental Impact and Remediation, Environmental Protection Strategies for Sustainable Development, Strategies for Sustainability, Chapter 4*, Springer Science Business Media B.V (2012) 111-162
- [34] T. Robinson, G. McMullan, R. Marchant, P. Nigam, Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative, *Bioresources Technology*, 77(2001)247-255
- [35] Z. Carmen, S. Daniela, *Textile Organic Dyes – Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents-A Critical Overview, Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update*, Edition Dr. Tomasz Puzyn, (2012)55-87

[36] S.D. Lambert, N.J.D. Graham, C.J. Sollars, G.D. Fowler, Evaluation of inorganic adsorbents for the removal of problematic textile dyes and pesticides. *Water Science and Technology*, 36 (1997) 173-180

[37] G. McKay, G. Ramprasad, P. Mowli, Desorption and regeneration of dye colours from low-cost materials. *Water Research*, 21(3) (1987) 375-377

[38] Y. Anjaneyulu, N.S. Chary, D. S. Suman Raj, Decolourization of industrial effluents - available methods and emerging technologies, a review, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4(2005)245–273

A light blue scroll graphic with a white border, featuring a vertical strip on the left side and a circular tab on the right side. The text is centered within the scroll.

*Chapitre III : Synthèse  
bibliographique*

## Chapitre III : Synthèse bibliographique

### III.1 Introduction

La littérature concernant l'élimination de la fuchsine basique en solution aqueuse est très variée. La majorité des travaux ont pour objectif d'exploiter et/ou d'explorer des matériaux naturels utilisés comme adsorbants afin d'éliminer ces colorants de l'eau.

### III.2 Les travaux réalisés dans l'élimination de la fuchsine basique

#### III.2.1 Adsorbants naturels de type animal

**M. El Haddad [1]** a étudié l'élimination de la fuchsine basique en utilisant un adsorbant naturel de type animal, il s'agit des coquilles de moules. Les données cinétiques montrent que le processus d'adsorption suit un modèle de pseudo-second ordre est celui qui décrit le mieux la cinétique. Les données d'adsorption présentent le meilleur ajustement à une capacité d'adsorption de  $q_m=123.78 \text{ mg.g}^{-1}$  avec le modèle d'isotherme de Langmuir, suggérant que l'adsorption se produit par la formation d'une monocouche. Les données thermodynamiques  $\Delta H^\circ$  ( $5247 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) montrent que l'adsorption du colorant fuchsine basique sur les coquilles de moules est un processus faisable de nature spontanée et endothermique.

De même, **W. Bessashia, et al [2]** ont étudié l'élimination de la fuchsine basique de l'eau à l'aide d'une membrane de coquille d'œuf à faible coût comme nouveau bioadsorbant par adsorption en mode batch à 293 K. Les résultats des données d'adsorption cinétique ont été bien adaptés par le modèle de pseudo-second ordre. A la lumière de ces résultats, il apparaît que la quantité adsorbée à l'équilibre  $q_e$  (de 3.891 à 50  $\text{mg.g}^{-1}$ ) augmente avec l'augmentation de la concentration initiale de la fuchsine basique (de 20 à 250 ppm). On peut observer que le modèle d'isotherme d'adsorption de Freundlich est le plus approprié, alors que les deux modèles de Langmuir et de Temkin s'écartent des données obtenues ayant, alors l'adsorption des molécules de fuchsine basique à l'aide du biosorbant étudié obéit à l'isotherme d'adsorption de Freundlich. Les paramètres thermodynamiques ont révélé que la valeur négative de  $\Delta H^\circ$  signifie la nature exothermique de la réaction qui se produit pendant le processus d'adsorption.

### III.2.2 Adsorbant naturels de type végétal

#### III.2.2.1 Coquilles de graines

**Katia. S et al [3]** ont utilisé la coquille de la graine d'Euryale ferox Salisbury comme un adsorbant alternatif nouveau, efficace, écologique et économiquement peu coûteux par rapport à d'autres adsorbants coûteux pour éliminer le colorant fuchsine basique de l'eau. Les résultats ont montré que la biomasse des résidus d'Euryale ferox pourrait être très efficace pour éliminer les colorants cationiques comme la fuchsine basique du milieu aqueux. La capacité de biosorption maximale d'Euryale Ferox s'est avérée être de 19,48 mg/g, ce qui pouvait éliminer jusqu'à 97,4% du colorant d'une solution aqueuse de concentration 40 mg/L à 298 K. Les données isothermes et cinétiques correspondaient le mieux à Freundlich et au modèle de pseudo second ordre respectivement. L'étude thermodynamique a révélé la nature exothermique et spontanée du processus d'adsorption.

Ainsi, le travail d'**E.O. Oyelude et al [4]** consiste à étudier l'efficacité de l'utilisation de purée de sorgho malté modifiée avec HCl pour éliminer le colorant fuchsine basique d'une solution aqueuse. Les résultats montrent que, l'isotherme d'adsorption pour le processus a été mieux décrite avec le modèle de Langmuir. La capacité d'adsorption maximale calculée était de 58,48 mg.g<sup>-1</sup>. Les données sur la cinétique d'équilibre ont été mieux ajustées avec le modèle de pseudo-second ordre donc c'est lui qui décrit le mieux le processus d'adsorption. Le processus d'adsorption était favorable, de nature endothermique et physique.

Dans les travaux **V.K. Gupta et al, [5]** deux adsorbants ont été utilisés; le déchet agricole "soja déshuilé" et le déchet de centrale électrique "cendres résiduelles" pour éliminer la fuchsine basique dans une solution aqueuse. D'après les résultats, les deux déchets, les cendres résiduelles et le soja déshuilé, peuvent être utilisés avec succès pour l'élimination du colorant fuchsine basique. Les résultats des études des isothermes révèlent que l'adsorption est un processus favorable et les deux adsorbants vérifient les modèles isothermes d'adsorption de Langmuir. Les études cinétiques confirment l'implication de la cinétique de pseudo-second ordre pour les adsorbants.

### III.2.2.2 Déchets agricoles

**J. Georgin et al [6]** ont utilisé les feuilles de mandacaru (*Cereus jamacaru*) comme un biosorbant en poudre, celui-ci est testé comme matériau alternatif pour traiter les solutions aqueuses contenant la fuchsine basique dans des systèmes discontinus et continus. Les isothermes ont été mieux représentées par le modèle de Langmuir, avec une capacité de biosorption maximale de  $398,90 \text{ mg.g}^{-1}$  à 328 K. Selon les paramètres thermodynamiques, le processus de biosorption de la fuchsine basique sur la feuilles de mandacaru en poudre est spontané, favorable et endothermique avec une valeur de  $\Delta H^\circ = 1,52 \text{ kJ mol}^{-1}$ , étant contrôlé par l'entropie. Pour les modèles cinétiques les données expérimentales étaient en bon accord avec le modèle de pseudo-second ordre par rapport à la fuchsine basique, qui est contrôlé par le taux d'adsorption avec une valeur limite de 56,4 mg/g.

De même, **M. El-Azazy et al [7]** ont utilisé les déchets agricoles recyclés des coquilles de pistaches comme un adsorbant naturel pour faire l'étude de l'élimination par biosorption de la fuchsine basique des échantillons d'eaux usées. Les études d'équilibre montrent qu'il s'agit d'une physisorption avec une énergie d'adsorption de 7,4 kJ, et une capacité maximum de 58,8mg/g comme indiqué par les isothermes de Dubinin-Radushkevich et Langmuir. L'étude cinétique montre que l'adsorption est du pseudo second ordre par rapport à la fuchsine basique, qui est contrôlé par le taux d'adsorption avec une valeur limite de 56,4 mg/g.

A partir des travaux de **L. Huang et al, [8]** différents adsorbants ont été utilisés ; à partir de la dérivé de *Zizania latifolia* (riz sauvage de Mandchourie). *Zizania latifolia* a été préparée pour les charbons actifs avec la méthode d'activation  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Sur la base des charbons actifs de *Zizania latifolia*, l'adsorption de la fuchsine basique sur les charbons actifs de *Zizania latifolia* et les charbons actifs de *Zizania latifolia* modifiés par Fe (III) et Mn (II) a été étudiée respectivement. La capacité d'adsorption maximale sur la *Zizania latifolia* était de 135,14 mg/g, tandis que pour la *Zizania latifolia*-Fe et la *Zizania latifolia*-Mn étaient de 212,77 et 238,10 mg/g, respectivement.

Le processus d'adsorption s'accordait bien avec la cinétique du pseudo-second ordre et l'équation isotherme de Langmuir. L'énergie libre négative et l'enthalpie positive indiquent un processus d'adsorption spontané et endothermique. Les résultats ont également montré que l'effet d'adsorption de *Zizania latifolia* modifiées par Fe (III) et Mn (II) était bien meilleur que celui du de *Zizania latifolia*. Le présent travail a prédit que la *Zizania latifolia*, en tant que

nouveau type d'adsorbant, pourrait avoir un grand potentiel d'application dans l'élimination des colorants en solution aqueuse.

Dans l'étude de **S. Patil et al [9]**, six déchets agricoles, matériaux naturels différents ont été utilisés comme des adsorbants (poudre de peau d'ananas, poudre de fruit de mangrove, moelle de coco coir, poudre de feuilles de mangue, poudre de feuilles de plantes ornementales et poudre de coquilles de fruits de tamarin). Ces biomatériaux ont une excellente capacité d'adsorption par rapport à de nombreux autres adsorbants non conventionnels. Ils peuvent être utilisés comme une alternative attrayante et peu coûteuse au charbon actif coûteux. Les résultats montrent que les capacités maximales d'adsorption monocouche ( $q_m$ ) ont été trouvées entre 166,667 et 250 mg/g pour les adsorbants étudiés. Les paramètres isothermes de Langmuir et Freundlich ont confirmé que l'adsorption de la fuchsine basique sur ces adsorbants sont mieux adaptés et favorable. Le modèle cinétique le plus adapté et est le model de pseudo-second ordre. L'analyse thermodynamique a montré que l'adsorption de la fuchsine basique sur ces biomatériaux est : favorable et spontanée (valeurs négatives de  $\Delta G$ ), adsorption physique et endothermique (valeurs positives et petites  $\Delta H < 30$  kJ/mol).

### III.2.3 Adsorbant naturel de type minéral

**Y. Guan et al, [10]** ont utilisé un nouveau matériau Si-Al mésoporeux. **Al-MCM-41** a été synthétisé par lixiviation par calcination alcaline couplée à une synthèse hydrothermale et une calcination à l'aide de palygorskite naturelle. Les données cinétiques montrent que le processus d'adsorption suit un modèle de pseudo-premier ordre qui décrit le mieux la cinétique, la quantité adsorbée à l'équilibre est de  $3.89 \text{ mg.g}^{-1}$ . Les résultats montrent que, l'isotherme d'adsorption a été mieux décrite avec le modèle de Langmuir. Selon les paramètres thermodynamiques, le processus d'adsorption est spontané et de nature exothermique.

### III.2.4 Autres types d'adsorbants

**C. Li et al [11]** ont conçu un nouveau polymère poreux à base de triptycène greffé avec de l'acide sulfonique (TPP-SO<sub>3</sub>H) par la modification post-synthétique du polymère TPP non fonctionnalisé. Le polymère TPP-SO<sub>3</sub>H s'est avéré être un adsorbant rapide et efficace pour les colorants cationiques bleu de méthylène (BM), fuchsine basique (FB) et vert de malachite (VM), avec une élimination de plus de 95% observée en 10 minutes à partir de concentrations initiales de  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $300 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivement. Le comportement d'adsorption à l'équilibre du bleu de méthylène, fuchsine basique et vert de malachite, sur le

TPP-SO<sub>3</sub>H a suivi l'isotherme d'adsorption de Langmuir avec des capacités d'adsorption maximales théoriques de 983,4 mg.g<sup>-1</sup>, 588,2 mg g<sup>-1</sup> et 1947,0 mg.g<sup>-1</sup>, respectivement. Il convient de noter que les valeurs des capacités d'adsorption du BM, du FB et de la VM sur le TPP-SO<sub>3</sub>H étaient 5,5- 3 et 1,8 fois supérieures à celles du TPP polymère non modifié pour le même poids d'adsorbant. En outre, le TPP-SO<sub>3</sub>H présente une bonne stabilité cyclique, qui peut être régénérée au moins cinq fois sans perte significative de la capacité d'adsorption. Par conséquent, la facilité de synthèse, ainsi que l'excellente capacité d'adsorption et de réutilisation, font du polymère TPP-SO<sub>3</sub>H un adsorbant intéressant pour le traitement des eaux usées.

**S.C.W. Sakti, et al [12]** ont activé le noyau de ferrite de cobalt de Spinel (COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) avec de l'acide humique COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-HA par une méthode hydrothermale. Afin d'éviter tout détachement, la couche d'acide humique à la surface du COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-HA a été réticulée avec de l'épichlorhydrine pour obtenir du COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-HA-ECH. Les adsorbants synthétisés ont ensuite été testés pour leur capacité à éliminer la fuchsine basique (FB), le violet de méthyle 2B (VME) et le vert de malachite (VM) des solutions aqueuses. Les adsorbants synthétisés ont ensuite été testés pour leur capacité à éliminer la fuchsine basique FB, le violet de méthyle 2B (VME) et le vert de malachite (VM) à partir de solutions aqueuses. Les données cinétiques correspondaient bien à un modèle de pseudo-second ordre, ce qui suggère que l'adsorption est l'étape limitant la vitesse. La meilleure adaptation du modèle isotherme de Langmuir indique que l'adsorption se produit sur une seule couche sur une surface homogène. Les capacités d'adsorption maximales du COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-HA-ECH étaient de 96,494, 62,627 et 48,74 μmol · g<sup>-1</sup> pour FB, VM et VME, respectivement, qui étaient 10 fois supérieures à celles de COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Les études thermodynamiques suggèrent que les processus d'adsorption sont spontanément endothermiques. En outre, le COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-HA-ECH peut être récupéré et recyclé pendant 10 cycles au maximum.

**E. Sharifpour et al [13]** ont fabriqué des nanoparticules composites de séléniure de zinc coiffées d'amidon et chargées sur du charbon actif (ST-Zn-Se-NPs-AC), puis les ont utilisées pour éliminer la teinture de fuchsine basique (FB) d'une solution aqueuse. Le pourcentage d'élimination maximum de 99,34% a été obtenu par le modèle de prédiction dans les conditions optimales, ce qui était très proche de la valeur expérimentale (99,00%). La procédure suggérée avait un bon potentiel pour l'élimination de la FB des milieux aqueux par rapport à plusieurs autres adsorbants. Les données cinétiques et isothermes ont été expliquées

avec soin à l'aide de respectivement les modèles de pseudo-second ordre et celui de Langmuir. La capacité maximale d'adsorption acquise à partir du modèle de Langmuir pour la fuchsine basique était de  $Q_{\max} = 222,72 \text{ mg.g}^{-1}$  à  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**X. Yang et al, [14]** ont préparé de nouveaux aérogels anioniques de polyacrylamide/oxyde de graphène par une méthode de lyophilisation et utilisé pour éliminer la fuchsine basique des solutions aqueuses. Ces aérogels étaient solides comme une éponge, avec une structure légère, duveteuse et poreuse. Les expériences d'adsorption par lots ont été réalisées pour étudier l'effet de divers paramètres, tels que le pH de la solution, la dose d'adsorbant, le temps de contact et la température sur les propriétés d'adsorption de la fuchsine basique sur les aérogels anioniques de polyacrylamide/oxyde de graphène. La cinétique de l'adsorption correspondait au modèle cinétique du pseudo-second ordre. L'isotherme d'adsorption de Langmuir était appropriée pour décrire le processus d'adsorption à l'équilibre. La capacité d'adsorption maximale atteignait  $1034,3 \text{ mg.g}^{-1}$ , ce qui indiquait que les aérogels anioniques de polyacrylamide/oxyde de graphène étaient des adsorbants prometteurs pour l'élimination des colorants polluants d'une solution aqueuse. L'étude thermodynamique a montré que l'adsorption était un processus endothermique.

### III.3 Travaux sur l'élimination d'autres colorants par adsorption

#### III.3.1 Adsorbants naturels

C. Meztia et al [15] ont étudié l'élimination d'un colorant textile basique (Rouge Azucryl) d'une solution aqueuse par adsorption sur de l'argile régénérée. La substance utilisée dans cette étude, appelée la terre décolorante. Elle était régénérée par imprégnation dans une solution de chlorure d'ammonium (3M) suivie d'un traitement thermique d'une heure dans un four à 400 °C, puis par lavage avec une solution d'acide chlorhydrique 1M. Les résultats ont montré que le phénomène d'adsorption régissant ce processus était mieux décrit par le modèle de Langmuir. Le processus cinétique d'adsorption s'est avéré suivre un modèle de pseudo second ordre. Cette étude a montré que la régénération de la terre décolorante usée est possible et que le matériau a de bonnes capacités d'adsorption. L'étude de l'influence de divers paramètres a permis de conclure que le colorant basique est rapidement adsorbé sur les deux matériaux la terre vierge décolorante et la terre régénérée décolorante usée. Les capacités maximales d'adsorption ( $q_{max}$ ) à partir de l'isotherme de Langmuir de la terre régénérée décolorante usée et de la terre vierge décolorante sont respectivement égales à 73 mg/g et 84,03 mg/g.

De même, le travail d'I. Humelnicu et al [16] consiste à étudier l'adsorption du colorant textile Basic Blue 41 à partir des solutions aqueuses sur une zéolithe tuf (Nereju-Roumanie) en mode batch. Les études cinétiques montrent que l'adsorption suit la cinétique du pseudo-second ordre suivant un processus endothermique. Les données expérimentales ont été analysées selon les isothermes de Langmuir, Freundlich, Temkin et Dubinin-Radushkevich. L'équilibre d'adsorption a été mieux décrit par l'isotherme de Langmuir. Il y avait une capacité d'adsorption plus élevée des particules avec un diamètre moyen de 0,085 mm contenant de plus grandes quantités de zéolites (analcite prédominante). Une augmentation de la température de 8°C à 50°C influence favorablement l'équilibre d'adsorption. La capacité d'adsorption maximale du colorant textile basique étudié (colorant pur à environ 40%) était de 192,31 mg.g<sup>-1</sup> à 50°C (à pH 5) pour les particules de diamètre moyen tuf de 0,085 mm. La variation d'enthalpie positive pour le processus d'adsorption confirme la nature endothermique de l'adsorption et un changement d'énergie libre confirme la spontanéité du processus.

### III.3.2 Adsorbants naturels de type végétal

S. Wong et al [17] ont étudié l'élimination de colorant textile anionique Rouge Congo et le noir réactif 5 à l'aide d'un adsorbant synthétisé à partir de déchets de café modifiés avec lapolyéthylèneimine dans une solution aqueuse. Les pourcentages d'élimination des deux colorants ont augmenté avec la quantité de polyéthylèneimine dans l'adsorbant modifié. La modification a amélioré la chimie de la surface de l'adsorbant, tandis qu'une légère amélioration des propriétés texturales de l'adsorbant a également été observée. L'excellente performance de l'adsorbant a été démontrée par des pourcentages d'élimination élevés vers les colorants anioniques dans la plupart des séries expérimentales. Les résultats de la modélisation ont montré que l'adsorption des colorants anioniques se faisait par adsorption monocouche, et que la chimisorption était l'étape de contrôle du taux d'adsorption. Le modèle isotherme de Langmuir et le modèle cinétique de pseudo second ordre, s'adaptaient bien aux données d'adsorption des colorants de rouge Congo et de noir réactif 5. L'adsorbant possède une capacité d'adsorption maximale élevée, selon le modèle isotherme de Langmuir se sont avérées être de 77,52 mg/g (le noir réactif 5) et 34,36 mg/g (Rouge Congo). L'analyse thermodynamique indique que le processus d'adsorption des colorants est spontané et de nature endothermique  $\Delta H^\circ$  égale à 35.05 (kJ/mol) pour le Rouge Congo et 8.28 (kJ/mol) pour le noir réactif 5.

Dans les travaux K. M. KIFUANI et al [18], les déchets agricoles de Cucumeropsis manni Naudin (BCM) en réacteur discontinu ont été utilisés pour l'adsorption d'un colorant basique, bleu de méthylène (BM), en solution aqueuse. Les effets des paramètres ci-après ont été étudiés pour l'optimisation de l'adsorption : masse de bioadsorbant, temps d'adsorption, concentration et pH de la solution de BM. La capacité ultime d'adsorption vraie a été évaluée à 89,41 mg.g<sup>-1</sup> à pH 6,67, avec une surface spécifique de 251,87 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>. La capacité d'adsorption augmente avec la masse de bioadsorbant à cause de la disponibilité des sites libres. L'adsorption de BM sur BCM est meilleure en milieu basique, à cause des interactions électrostatiques entre la surface du BCM chargée négativement et les cations organiques de BM. Le BM est éliminé à 80,75% dans les conditions optimales. Les isothermes obtenues sont toutes de type S. Le coefficient de corrélation global obtenu avec le modèle de pseudo 1<sup>er</sup> ordre est nettement plus élevé que celui obtenu pour le modèle de pseudo 2<sup>nd</sup> ordre, ce qui indique que le modèle cinétique de pseudo 1<sup>er</sup> ordre est mieux approprié pour décrire l'adsorption de BM sur le bioadsorbant CM. L'adsorption de BM sur BCM est mieux

décrite par le modèle de Langmuir. Les résultats de cette étude montrent que le BCM est un bioadsorbant potentiel pour l'élimination des colorants organiques en solution aqueuse.

De même **M. A. Semião et al [19]** ont étudié l'élimination du colorant bleu 160 réactif des solutions aqueuses par l'application efficace de la terre de diatomées résiduelle de l'industrie brassicole, par rapport aux levures résiduelles et à la terre de diatomées pure. La terre de diatomées résiduelle et la levure résiduelle ont montré une capacité d'adsorption plus élevée à un pH égal à 2. La capacité maximale d'élimination du colorant de la terre de diatomées pure ( $1,51 \text{ mg.g}^{-1}$ ) était beaucoup plus faible que celle observée pour la terre de diatomées résiduelle et la levure résiduelle ( $7,96 \text{ mg.g}^{-1}$  et  $8,66 \text{ mg.g}^{-1}$ ), respectivement, ce qui indique que la présence de levure dans le biosorbant est fondamentale pour améliorer la biosorption du colorant. Le modèle cinétique d'ordre pseudo-second ordre décrivait bien les processus d'adsorption pour tous les adsorbants. L'adsorption à l'équilibre du colorant par la terre de diatomées résiduelle et la terre de diatomées pure suivait l'isotherme de Langmuir, tandis que la levure résiduelle correspondait mieux à l'isotherme de Freundlich, ce qui indique que les sites actifs de la levure résiduelle sont plus hétérogènes. Les valeurs négatives de  $\Delta H$  pour la levure résiduelle et la terre de diatomées pure montrent que la réaction d'adsorption est exothermique, tandis que pour la terre de diatomées résiduelle, l'adsorption est endothermique compte tenu de ses valeurs positives. L'analyse par FT-IR (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) et par microscopie électronique à balayage a confirmé la présence du colorant à la surface des adsorbants après l'adsorption. En outre, la terre de diatomées résiduelle présente plusieurs avantages opérationnels par rapport à la levure résiduelle, ce qui indique qu'il s'agit d'un matériau prometteur pour le traitement des eaux usées des industries textiles.

**C. V. T. Rigueto et al [20]**, ont évalué le potentiel des racines de jacinthe d'eau comme biosorbant pour l'élimination du colorant réactif rouge BF-4B des milieux aqueux. Les effluents générés par les industries textiles sont des polluants environnementaux potentiels en raison de la présence de colorants toxiques. La biosorption est un moyen prometteur pour éliminer ces contaminants de l'effluent. Cette technique est préférée lorsque les déchets sont utilisés comme biosorbants. En ce sens, l'utilisation de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), un macrophyte qui provoque l'eutrophisation, peut être une alternative pour la biosorption des colorants. Dans les essais cinétiques de biosorption, le temps d'équilibre a été atteint en 110 minutes environ, avec 95% d'élimination du colorant. Le

modèle pseudo-seconde ordre et Elovich étaient adéquats pour représenter la cinétique de profil de biosorption. Les isothermes ont indiqué que le processus de biosorption est favorable, tendant vers le modèle de Langmuir avec une capacité maximale de biosorption en monocouche de  $43,28 \text{ mg.g}^{-1}$ .

Dans les travaux de **M. A. Fawzy et al [21]**, des déchets de bioraffinage d'algues et des déchets de papier ont été utilisés dans la préparation de xérogels rentables et écologiques pour l'élimination du rouge Congo et du  $\text{Fe}^{2+}$ . Les propriétés des xérogels telles que la densité, le degré de gonflement et la porosité ont été modifiées par l'incorporation d'alginate extrait de l'algue brune *Cystoseira trinodis*. Les biosorbants développés présentaient une structure de réseau légère et poreuse et étaient caractérisés par une absorption rapide du RC et du  $\text{Fe}^{2+}$  et l'efficacité de l'adsorption était accrue à un pH de 6 à 8. La capacité d'adsorption à l'équilibre s'est avérée être de  $6,20 - 7,28 \text{ mg de RC g}^{-1}$  de biosorbant en utilisant différents xérogels. L'adsorption de RC obéissait à une cinétique du premier ordre. Le modèle de diffusion intraparticulaire suggère un effet de couche limite. La capacité d'adsorption a été obtenue au maximum à  $41,15 \text{ mg.g}^{-1}$  pour le RC en utilisant respectivement les xérogels de vieux papier/spiruline et de vieux papier/alginate/spiruline. L'isotherme de Temkin s'adapte mieux aux données d'équilibre de l'adsorption du RC que les modèles de Langmuir et de Freundlich. En outre, l'isotherme de Dubinin-Radushkevich a suggéré que le mécanisme d'adsorption du RC est principalement la physisorption. L'étude de paramètres thermodynamiques tels que  $\Delta H^\circ$  et  $\Delta S^\circ$  et  $\Delta G^\circ$  a confirmé la faisabilité, la spontanéité, le caractère aléatoire et la nature endothermique du processus d'adsorption. L'attraction électrostatique, la liaison H et les interactions n- $\pi$  ont été principalement impliquées dans le processus de biosorption du RC. Les résultats de cette étude ont montré que les xérogels développés pouvaient être appliqués efficacement pour les colorants et les métaux lourds à de faibles concentrations.

Dans l'étude de **A. Khadir et al, [22]** le sisal est modifié avec du polypyrrole/polyaniline par une technique de polymérisation chimique oxydante in situ pour l'élimination de l'orange 5 réactif des milieux aqueux pour améliorer les performances et les applicabilités de sisal. Le sisal est un biomatériau fibreux naturel à faible coût qui se trouve fréquemment dans le milieu environnant et n'a pas d'effets toxiques. Le temps de contact optimal a été trouvé de 120 min, et à la dose d'adsorbant de 200 mg, près de 97 % de la teinture a été éliminée. À faible concentration de colorant (5-10 ppm), l'efficacité du système de sorption était sensiblement acceptable (99 %). Le pH 2 avait la capacité d'adsorption

maximale (12.43mg/g) en raison de l'attraction entre le colorant chargé négativement et la nature positive du composite de sisal. Compte tenu de la thermodynamique, le processus était endothermique et une meilleure élimination a donc été observée à 45°C. Langmuir/Freundlich et Pseudo-seconde ordre ont pu exposer de manière satisfaisante le système de sorption avec des valeurs de  $R^2$  supérieures à 0,99, montrant que la physisorption/chimisorption se produisait. Le sisal/polypyrrole/polyaniline était plus de 5,69 fois plus efficace que le sisal brut pour l'adsorption des colorants. Dans le cas des eaux usées synthétiques, l'efficacité d'élimination a atteint 81 %. Par conséquent, le composite sisal/polypyrrole/polyaniline à faible coût était une alternative prometteuse pour l'élimination de l'orange 5 réactif.

**W. Hassan et al [23]** ont étudié les capacités, les mécanismes et le potentiel de la biomasse de la tige *Haloxylon recurvum* (HRS) à faible coût pour la sorption du colorant brun acide 354 (AB354) à partir des eaux. Le spectroscope infrarouge à transformé de Fourier (FTIR), le microscope électronique à balayage (MEB), l'analyse thermique (TGA) et les analyseurs élémentaires ont été utilisés pour la caractérisation de la biomasse avant et après l'adsorption du colorant. Il y avait une amélioration de la capacité d'adsorption avec l'augmentation des concentrations de colorant. Avec une augmentation de la concentration initiale de colorant, l'augmentation de la capacité d'adsorption de la biomasse a été notée (c'est-à-dire 2,846 mg / g - 10,011 mg / g). Le degré d'élimination du colorant a diminué avec l'augmentation de la température (c'est-à-dire 77,7% à 52,9%) et la taille des particules de la biomasse (c'est-à-dire de 81,3% à 36,6%). Le modèle cinétique du pseudo-second ordre de Ho, ainsi que les isothermes d'adsorption de Langmuir et de Temkin, étaient bien en ligne avec les données d'adsorption et représentait le mieux la sorption du colorant à l'équilibre. Les valeurs négatives d'énergie libre de Gibb  $\Delta G$  et d'enthalpie  $\Delta H^\circ$  étaient l'indication de la nature spontanée, ainsi que faisable et exothermique du processus de sorption. Les recherches ont démontré que la biomasse HRS était un matériau attractif et potentiel pour l'élimination du colorant acide des effluents colorés que de nombreux autres rapportés dans la littérature.

**R. M. Moghazy et al [24]**, ont réalisé une nouvelle approche des feuilles de polymères d'algues par l'incorporation de deux algues (*Ulva fasciata* et *Sargassum dentifolium*) dans un polymère d'acétate de cellulose (CA) formant deux types de feuilles d'acétate de cellulose : *Ulva* (CA-U) et *Sargassum* (CA-S). Les données de caractérisation ont montré de bonnes propriétés pour le processus de biosorption. En outre, selon les données de conception factorielle, le temps de contact et la dose de biosorbants ont eu des effets positifs

sur la biosorption dans les deux feuilles. Les modèles de Freundlich, Langmuir et de pseudo-second ordre ont montré des données bien représentées dans les deux feuilles.

Il a été rapporté que les données du modèle d'adsorption de l'isotherme de Freundlich étaient plus représentatives que celles de l'isotherme de Langmuir. Les biosorbants à base d'algues ont atteint une capacité de biosorption plus de deux fois supérieure après leur incorporation dans la feuille de polymère. Les capacités maximales de biosorption de Langmuir des feuilles CA-U et CA-S étaient de 526,3 et 345 mg/g, respectivement, par rapport aux  $q_{\max}$  des biosorbants bruts avant leur incorporation dans CA où les  $q_{\max}$  étaient de 244 et 81,3 mg/g pour les biomasses *U. fasciata* et *S. dentifolium*, respectivement. En outre, les deux feuilles (CA-U, suivie de la feuille CA-S) ont été dotées avec succès d'une adsorption de plus de 98 % pour une concentration de 273 mg/l. En outre, les données de récupération et de réutilisation ont prouvé que les deux feuilles peuvent être utilisées avec succès pendant plus de trois cycles.

**K. N. A. Putri et al [25]** ont étudié un nouveau biosorbant à base de cellulose provenant de la feuille de citronnelle combinés avec de l'acétate de cellulose (TLGL-CA) pour l'adsorption du cristal violet (CV). La bonne adhérence entre le TLGL et CA dans la feuille TLGL-CA a été révélée par la microscopie électronique à balayage (MEB), l'analyse thermogravimétrique (TGA), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et les propriétés de traction. Le potentiel du biosorbant pour l'adsorption du CV était indiqué par sa grande capacité de gonflement et la présence de groupes fonctionnels de lignocellulose. Les résultats d'adsorption obtenus à différents temps de contact et concentrations initiales de CV montrent que l'adsorption est bien décrite avec le modèle de pseudo-second ordre et le modèle isotherme de Langmuir, la capacité maximale d'adsorption en monocouche était de 36,10 mg.g<sup>-1</sup> à 25 °C. Dans l'étude de désorption, les cinq cycles d'adsorption-désorption de CV ont été répétés avec succès avec la feuille TLGL-CA, en utilisant l'acide acétique comme agent de désorption. Sur la base des résultats de l'étude, il a été conclu que le biosorbant développé est efficace, peu coûteux et pratique à utiliser pour l'élimination du colorant cationique dans les eaux usées.

**F. B. Scheufele et al [26]** ont étudié l'élimination du colorant noir direct ECO TFA (DBET) de l'industrie de la tannerie par les enveloppes de racine de manioc (CRH) de l'industrie de l'amidon évalué comme matériau bioadsorbant. Les résultats ont vérifié que la CRH est un matériau non poreux, et que l'adsorption des colorants DBET a lieu, en

particulier, dans les groupes hydroxyle et carboxyle abondamment présents dans le biosorbant CRH. Les études de cinétique d'adsorption ont mis en évidence une cinétique favorable, décrit par le modèle du pseudo-second ordre, indiquant que l'adsorption elle-même est celle du processus global de transfert de masse, plutôt que des processus de diffusion. Les données d'équilibre ont été décrites par l'isotherme de Langmuir dans la plage de température évaluée (30°C, 40°C, et 50°C) avec des capacités d'adsorption ( $172.077 \pm 20.319$ ,  $160.155 \pm 22.837$ ,  $150.528 \pm 26.804$  mg g<sup>-1</sup>) respectivement. Néanmoins, des profils isothermes quasi linéaires (similaires à la loi de Henry) ont été observés. Les paramètres thermodynamiques ont indiqué un processus exotherme de physisorption ( $\Delta H_{ads} = -14,73$  kJ mol<sup>-1</sup>). Ainsi, les résultats démontrent le potentiel du biosorbant du CRH pour les colorants directs compte tenu des caractéristiques technico-opérationnelles observées ainsi que de son caractère renouvelable et des caractéristiques résiduelles, ce qui présente des avantages économiques et environnementaux pour ce biomatériau.

**C. E. d. F. Silva et al [27]** ont étudié l'élimination des colorants cationiques en solution aqueuse par l'évaluation d'efficacité de l'albédo d'orange comme adsorbant. L'équilibre a été atteint en 10 minutes environ, sans qu'il y ait de différences significatives entre les modèles cinétiques. La meilleure condition en termes de saturation des biosorbants a été trouvée lorsque 1% de la biomasse, 100 tr/min et 30°C ont été appliqués, atteignant un  $q$  expérimental de 70 mg/g pour 1000 mg/L. Le modèle isotherme le mieux adapté aux données expérimentales était le modèle de Langmuir-Freundlich, avec un  $q_{max}$  de 77,79 mg g<sup>-1</sup> à 30°C. Les résultats ont indiqué que l'augmentation de la température a négativement influencé l'adsorption du colorant, représentant une adsorption exothermique.

**V. S. Devi et al [28]** ont étudié l'élimination du colorant rouge Congo de la solution aqueuse par l'évaluation d'efficacité de la poudre de feuilles d'*Antigonon leptopus* (Biosorbant). Le taux de biosorption du colorant a été rapide dans la plupart des cas, l'équilibre ayant été atteint en 60 minutes. L'absorption à l'équilibre a augmenté et le pourcentage de biosorption a diminué avec l'augmentation de la concentration initiale. Le biosorbant a montré une forte augmentation du pourcentage de biosorption du rouge Congo par une augmentation du pH de 1,0 à 5,0 et ensuite une diminution du pourcentage de biosorption du colorant. Le pourcentage de biosorption du rouge Congo a augmenté avec l'augmentation du dosage du biosorbant. Le modèle d'isotherme le mieux adapté était le modèle d'équilibre de Langmuir. Le modèle cinétique qui représente le mieux le processus

d'adsorption est celui du pseudo-second ordre dans les deux cas et les valeurs prédites des capacités d'absorption à l'équilibre étaient comparables aux valeurs obtenues expérimentalement. Le pourcentage de biosorption et d'absorption de colorant augmente avec l'augmentation de la température de la solution, cela suggère la nature endothermique du processus. La performance de biosorption de l'Antigonon leptopus pour le rouge Congo ( $q_{\max} = 18,18 \text{ mg.g}^{-1}$ ) était significativement élevée.

**M. T. bai et al [29]** ont étudié la biosorption du jaune d'éosine à l'aide de la bagasse de canne à sucre. Des opérations par lots ont été effectuées pour observer l'effet de divers paramètres expérimentaux tels que le temps d'agitation, le pH, le dosage du biosorbant, la taille du biosorbant, la concentration initiale et la température. Une étude de la cinétique de la biosorption, des isothermes a été réalisée et les meilleurs taux d'ajustement pour les modèles cinétiques et des isothermes d'équilibre ont été obtenus. Les isothermes de Langmuir, Freundlich, Redlich-peterson, Temkin et Harkin-Jura ont été utilisées pour ajuster les données d'équilibre. D'après les résultats, le temps d'agitation à l'équilibre pour le colorant jaune Eosin était de 90 min et la valeur du pH de 6. L'absorption a été réduite et le pourcentage d'élimination a été augmenté avec une augmentation du dosage du biosorbant de 0,05-0,25 g et pour les tailles de biosorbant de 100 à 150 mm. Le pourcentage de biosorption du jaune d'éosine a été augmenté avec une augmentation de la température. Les données sur l'élimination du colorant du jaune d'éosine suivent le modèle de Langmuir avec le meilleur ajustement et la quantité absorption du colorant obtenue est de 58,47 mg/g. La biosorption du jaune d'éosine sur la bagasse de canne à sucre peut être mieux décrite avec une cinétique du pseudo-second ordre. L'étude révèle la nature endothermique de la biosorption puisque la  $\Delta H$  est positive, la nature irréversible de la biosorption, puisque la  $\Delta S$  est positive et la spontanéité de la biosorption comme l'indique la  $\Delta G$  négative pour le colorant jaune d'éosine. Les résultats ont montré que la bagasse de canne à sucre peut être utilisée comme un bon adsorbant du colorant jaune à faible coût.

**Y. Zhang et al [30]** ont étudié l'application de l'acide humique (AH) comme bioadsorbant pour l'adsorption et la dégradation des colorants en présence de radicaux libres persistants dans l'environnement (EPFR). Une relation linéaire a été observée entre la consommation de RFPE et les taux de dégradation des colorants. Dans les systèmes ternaires, l'AH est conforme aux modèles de Langmuir (476,19-1250,12 mg/L) et aux modèles cinétiques de pseudo-second ordre. Les valeurs dérivées de  $\Delta G^\circ$  étaient négatives, ce qui

suggère que l'adsorption des colorants par l'AH s'est produite spontanément. Ces travaux offrent de nouvelles perspectives sur les HA-EPFR et leurs applications potentielles.

### III.3.3 Autres types d'adsorbant

**D. Banerjee et al [31]** ont étudié l'élimination des colorants textiles par les nanotubes de carbone : Une comparaison entre l'adsorption et la photocatalyse assistée par UV. Les nanotubes de carbone synthétisés ont été utilisés pour éliminer deux colorants textiles différents, le méthyle orange et la rhodamine B de l'eau. Deux méthodes de retrait ont été suivies; c'est-à-dire l'adsorption et la catalyse assistée par UV, l'expérience d'adsorption a été réalisée dans diverses conditions. L'analyse des données d'adsorption a été réalisée à l'aide des modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin. Il a été montré que les échantillons tels que préparés peuvent être utilisés efficacement comme adsorbant de colorants textiles. L'exposition à la lumière visible ou UV ne peut avoir aucun effet supplémentaire significatif sur l'efficacité d'élimination. Aussi l'analyse a été faite en utilisant à la fois le modèle cinétique pseudo première-ordre et pseudo second ordre. Les résultats suggèrent que la cinétique suit le modèle pseudo-première-ordre, avec des capacités d'adsorption correspondant (MO 21.39 mg/gm, RhB 25.55 mg/g). Les données expérimentales ont été bien corrélées avec les modèles d'adsorption Langmuir-Freundlich, Temkin et Freundlich.

De même **A. Aarfane et al [32]** ont étudié l'élimination de deux colorants organiques (Red195 et bleu de méthylène BM) par adsorption sur les cendres volantes et les mâchefers issus d'une centrale thermique (province d'El Jadida). Les deux adsorbants ont été préalablement caractérisés. Une série d'expériences a été ensuite réalisée afin d'étudier l'influence sur la capacité d'adsorption de certains paramètres tels que la masse de l'adsorbant, le pH, le temps de contact, la concentration initiale des colorants, l'effet de sels et la température. L'ensemble des résultats obtenus montre que la cinétique d'adsorption des deux colorants sur les deux matériaux est bien décrite par le modèle du pseudo-second ordre. La capacité d'adsorption maximale des colorants Red195 et Bleu de méthylène est respectivement de 24,15 mg/g et 6,02 mg/g pour les cendres volantes. Pour les mâchefers cette capacité d'adsorption est d'environ 10 mg/g pour le Red195 et 6,84 mg/g pour le BM. Les isothermes d'adsorption des systèmes adsorbant/adsorbât étudiés sont décrites de manière satisfaisante par le modèle mathématique de Langmuir. Le pH de la solution a peu d'influence sur le rendement de décoloration. D'autre part, l'étude thermodynamique a révélé que l'adsorption est spontanée et exothermique.

**A. H. Jawad et al [33]** ont étudié l'élimination du colorant réactif rouge 120 d'une solution aqueuse par la modification et l'application de chitosan-glutaraldéhyde réticulé à la base de Schiff (CS-GLA). Différents rapports de nanoparticules de  $\text{TiO}_2$ , comme les nanoparticules de  $\text{TiO}_2$  à 25% (CS-GLA/TNC-25) et 50% des nanoparticules de  $\text{TiO}_2$ (CS-GLA/TNC-50), ont été chargées dans la structure. Les propriétés adsorbantes de CS-GLA, CS-GLA/TNC-25 et CS-GLA/TNC-50 pour le colorant réactif rouge 120 dans la solution aqueuse ont été évaluées. Le CS-GLA/TNC-25 a présenté la meilleure propriété adsorbante, probablement en raison du parfait équilibre entre la surface et les groupes amines disponibles ( $-\text{NH}_2$ ) dans la formulation composite. L'impact des paramètres d'adsorption, tels que la dose d'adsorbant (0,01-1,2 g/mL), la concentration de colorant réactif rouge 120 (30-400 mg/L), le pH de la solution (3-12) et le temps de contact (0-400 min) ont été étudiés par adsorption discontinue. L'adsorption a été bien décrite par le modèle de Freundlich et le modèle cinétique du pseudo-second ordre. La capacité d'adsorption du CS-GLA/TNC-25 pour le colorant réactif rouge 120 était de 103,1 mg/g à 30 °C. Le mécanisme d'adsorption du réactif rouge 120 sur la surface du CS-GLA/TNC-25 peut être attribué à diverses interactions, telles que l'attraction électrostatique, l'empilement  $n-\pi$  et la liaison H. Les résultats indiquent l'application potentielle du CS-GLA/TNC-25 comme biosorbant respectueux de l'environnement pour l'élimination des colorants acides et/ou textiles, tels que le réactif rouge 120, des environnements aqueux.

**K. G. Akpomie et al [34]** ont étudié la formation d'un nouveau combo magnétique (MApe-Mt) (Musa acuminata - composite magnétique), pour l'adsorption du bleu de bromophénol anionique (BPB) par l'imprégnation de nanoparticules de magnétite (Mt) sur la peau de Musa acuminata (MApe). La taille moyenne des cristaux de Mt sur MApe-Mt était de 21,13 nm. L'analyse au MEB a révélé que les Mt NP étaient agglomérés à la surface du biosorbant MApe, avec un diamètre moyen de 25,97 nm. Après imprégnation du Mt, on a obtenu une diminution de la surface spécifique (14,89 à 3,80  $\text{m}^2/\text{g}$ ) et une augmentation du diamètre des pores (2,25-3,11 nm), du volume des pores (0,0052-0,01418  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) et du point pH de la charge nulle (6,4-7,2). La présence d'ions Pb(II) en solution a largement diminué l'absorption de BPB sur MApe (66,1-43,8 %) et MApe-Mt (80,3-59,1 %), par rapport à d'autres ions concurrents (Zn(II), Cd(II), Ni(II)) dans la solution. La modélisation des isothermes a montré que le modèle de Freundlich représente mieux les données d'adsorption. En outre, l'absorption maximale en monocouche a été améliorée de 6,04 à 8,12 mg/g après imprégnation Mt. La cinétique a été bien décrite par les modèles de diffusion et de pseudo

premier ordre. La thermodynamique a révélé une adsorption physique et endothermique du BPB sur les adsorbants, avec  $\Delta H^\circ$  de 15,87-16,49 kJ/mol, corroboré par une forte désorption (plus de 90 %) de BPB provenant des matériaux chargés. La viabilité des adsorbants préparés a également été révélée dans sa réutilisabilité pour l'adsorption du BPB.

Dans les travaux de **A. Leudjo Taka et al [35]**, le polyuréthane insoluble de la nano-éponge  $\beta$ -cyclodextrine a été modifié avec des nanotubes de carbone multi-parois phosphorylés et décorés ensuite de dioxyde de titane et de nanoparticules d'argent. Cette modification de  $\beta$ -cyclodextrine polyuréthane a été obtenue par des réactions ultérieures d'amidation, de polymérisation croisée, en utilisant un liant fonctionnel tel que le diisocyanate, et un sol gel. Le nouveau nano-biosorbant polymère obtenu a été caractérisé par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier et la microscopie électronique à transmission; pour l'analyse de la surface, la méthode Brunauer-Emmett-Teller a été utilisée. Le nano-biosorbant développé, avec une surface élevée ( $352,5 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ), favorise l'adsorption du trichloréthylène et du colorant RC des échantillons d'eaux usées par une méthode discontinue. L'effet du pH de la solution, du dosage de l'adsorbant, les études isothermes, thermodynamiques ainsi que les études de régénération et de désorption sur le mécanisme d'adsorption ont également été explorées, la cinétique a été bien décrite par les modèles de diffusion de second ordre. Les capacités maximales d'élimination des nano-biosorbants de l'étude de Langmuir étaient respectivement de  $27507 \text{ mg.g}^{-1}$  (trichloréthylène) et  $146,96 \text{ mg.g}^{-1}$  (colorant RC). Les mécanismes d'adsorption du trichloréthylène et le colorant RC étaient bien établis et se déroulaient par un processus endothermique.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] M. El Haddad,, 2016,Removal of Basic Fuchsin dye from water using mussel shell biomass waste as an adsorbent: Equilibrium, kinetics, and thermodynamics Journal of Taibah University for Science,Volume 10, Issue 5, September 2016, Pages 664-674 <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.08.007>
- [2] W. Bessashia, Y. Berredjem, Z. Hattab, M. Bououdina, Removal of Basic Fuchsin from water by using mussel powdered eggshell membrane as novel bioadsorbent: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies. Environmental Research 186 (2020) 109484
- [3] S. Kalita, M. Pathak, G. Devi, H. P. Sarma, K.G. Bhattacharyya, A. Sarma, A. Devi, A., 2017. Utilization of euryale ferox salisbury seed shell for removal of basic fuchsin dye from water: equilibrium and kinetics investigation. RSC Adv. 7 (44), 27248–27259. <https://doi.org/10.1039/c7ra03014b>.
- [4] E.O. Oyelude, F. Frimpong, D. Dawson Studies on the Removal of Basic Fuchsin Dye from Aqueous Solution by HCl Treated Malted Sorghum Mash Article in Journal of Materials and Environmental Science· January 2015
- [5] V.K. Gupta, A. Mittal, V. Gajbe, J.Mittal, 2008. Adsorption of basic fuchsin using waste materials—bottom ash and deoiled soya—as adsorbents. J. Colloid .Interface Sci. 319 (1), 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.09.091>.
- [6] J. Georgin, D. Franco, F. C. Drumm, P. Grassi, M. S. Netto, D. Allasia , G.L. Dotto Powdered biosorbent from the mandacaru cactus (cereus jamacaru) for discontinuous and continuous removal of Basic Fuchsin from aqueous solutions. Powder Technology 364 (2020) 584–592
- [7] M. El-Azazy, A. S. El-Shafie, A. A. Issa, A. Ahmed, 2019. Eco-structured biosorptive removal of basic fuchsin using pistachio nutshells: a definitive screening design-based approach. Appl. Sci. (Switzerland) 9 (22). <https://doi.org/10.3390/ app9224855>.
- [8] L. Huang, J. Kong, W. Wang, C. Zhang, S. Niu, B. Gao. Study on Fe(III) and Mn(II) modified activated carbons derived from Zizania latifolia to removal basic fuchsin .Desalination 286 (2012) 268–276

- [9] S. Patil, J. Patil, N. Patel. Comparative study of kinetics of removal of fuchsin Basic from aqueous Solutions Using Biosorbents. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)* e-ISSN: 2319-2402, p- ISSN: 2319-2399. Volume 9, Issue 4 Ver. I (Apr. 2015), PP 08-20
- [10] Y. Guan, S. Wang, X. Wang, C. Sun, Y. Wang, L. Hu, Preparation of mesoporous Al-MCM-41 from natural palygorskite and its adsorption performance for hazardous aniline dye-basic fuchsin, *Microporous and Mesoporous Materials* (2016), doi:10.1016/j.micromeso.2016.04.025.
- [11] C. Li, Y. He, L. Zhou, T. Xu, J. Hu, C. Peng, H. Liu, Fast adsorption of methylene blue, basic fuchsin, and malachite green by a novel sulfonic-grafted triptycene-based porous organic polymer, *rsc.li/rsc-advances*, 7 December 2018.
- [12] S.C.W. Saktia, R. N. Lailya, S. Aliyaha, N. Indrasaria, M. Z. Fahmia, H. V. Leec, Y. Akemotod, S. Tanaka, Re-collectable and recyclable epichlorohydrin-crosslinked humic acid with spinel cobalt ferrite core for simple magnetic removal of cationic triarylmethane dyes in polluted water, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8 (2020) 104004
- [13] E. Sharifpour, M. Ghaedi, A. Asfaram, M. Farsadrooh, E. A. Dil, H. Javadian, Modeling and optimization of ultrasound-assisted high performance adsorption of Basic Fuchsin by starch-capped zinc selenide nanoparticles/AC as a novel composite using response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules* 152 (2020) 913\_921
- [14] X. Yang, Y. Li, Q. Du, J. Sun, L. Chen, S. Hu, Z. Wang, Y. Xia, L. Xia. Highly effective removal of basic fuchsin from aqueous solutions by anionic polyacrylamide/graphene oxide aerogels. *Journal of Colloid and Interface Science* 453 (2015) 107–114
- [15] C. Mezitia, A. Boukerroui; Removal of a Basic Textile Dye from Aqueous Solution by Adsorption on Regenerated Clay; *Procedia Engineering* 33 (2012) 303 – 312.
- [16] I. Humelnicu, A. Baiceanu, M-E. Ignat, V. Dulman; The Removal of Basic Blue 41 Textile Dye from Aqueous Solution by Adsorption onto Natural Zeolitic Tuff: Kinetics and Thermodynamics. *Process Safety and Environment Production*; <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.016>.

- [17] S. Wong, N. Abd Ghafar, N. Ngadi, F. A. Razmi, I. M. Inuwa, R. Mat & N. A. S. Amin; Effective removal of anionic textile dyes using adsorbent synthesized from coffee waste; Scientific RepoRtS |(2020) 10:2928 | <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60021-6>.
- [18] K. M. Kifuani, A. K. K. Mayeko, P. N. Vesituluta, B. I. Lopaka, G. E. Bakambo, B. M. Mavinga et J. M. Lunguya ; Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles de *Cucumeropsis mannii* Naudin ; Int. J. Biol. Chem. Sci. 12(1): 558-575, February 2018.
- [19] Semião MA, Haminiuk CWI, Maciel GM; Residual diatomaceous earth as a potential and cost effective biosorbent of the azo textile dye Reactive Blue 160, Journal of Environmental Chemical Engineering (2019), doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103617>.
- [20] C .V. T. Rigueto, J. S. Piccin, A. Dettmer, M. Rosseto, G. L. Dotto, A .P. d. O. Schmitz, D. Perondi, T.S.M.d.Freitas, R.A.Loss, C.A.Q.Geraldi; Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) roots, an amazon natural waste, as an alternative biosorbent to uptake a reactive textile dye from aqueous solutions; Ecological Engineering 150 (2020) 105817.
- [21] M. A. Fawzy, M. Gomaa; Use of algal biorefinery waste and waste office paper in the development of xerogels: A low cost and eco-friendly biosorbent for the effective removal of Congo red and Fe (II) from aqueous solutions; Journal of Environmental Management 262 (2020) 110380.
- [22] A. Khadir, M. Negarestani, H. Ghiasinejad; Low-cost sisal fibers/polypyrrole/polyaniline biosorbent for sequestration of reactive orange 5 from aqueous solutions; Journal of Environmental Chemical Engineering 8 (2020) 103956.
- [23] W. Hassan, S. Noureen, M. Mustaqeem, T. A. Saleh, S. Zafar; Efficient adsorbent derived from *Haloxylon recurvum* plant for the adsorption of acid brown dye: Kinetics, isotherm and thermodynamic optimization; Surfaces and Interfaces 20 (2020) 100510.
- [24] R. M. Moghazy, A. Labena, Sh. Husien, E. S. Mansor, A. E. Abdelhamid; Neoteric approach for efficient eco-friendly dye removal and recovery using algal-polymer biosorbent sheets: Characterization, factorial design, equilibrium and kinetics; International Journal of Biological Macromolecules 157 (2020) 494–509.

- [25] K. N. A. Putri, A. Keereerak, W. Chinpa; Novel cellulose-based biosorbent from lemongrass leaf combined with cellulose acetate for adsorption of crystal violet; *International Journal of Biological Macromolecules* 156 (2020) 762–772.
- [26] F. B. Scheufele, J. Staudt, M. H. Ueda, C. Ribeiro, V. Steffen, C. E. Borba, A. N. M'odenes, A. D. Kroumov; Biosorption of direct black dye by cassava root husks: Kinetics, equilibrium, thermodynamics and mechanism assessment; *Journal of Environmental Chemical Engineering* <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103533>.
- [27] C. E. d. F. Silva, B. M. V. d. Gama, A. H. d. S. Gonçalves et al., Basic-dye adsorption in albedo residue: Effect of pH, contact time, temperature, dye concentration, biomass dosage, rotation and ionic strength, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.04.006>.
- [28] V. Sri Devi, B. Sudhakar, K. Prasad et al., Adsorption of Congo red from aqueous solution onto *Antigonon leptopus* leaf powder: Equilibrium and kinetic modeling, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.715>.
- [29] M. Tukaram bai, O. Shaik, J. Kavitha et al., Biosorption of eosin yellow dye from aqueous solution using sugarcane bagasse: Equilibrium, kinetics and thermodynamics, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.051>.
- [30] Y. Zhang, M. Yin, X. Sun, Jing Zhao; Implication for adsorption and degradation of dyes by humic acid: Lightdriven of environmentally persistent free radicals to activate reactive oxygen species; *Bioresource Technology* 307 (2020) 123183.
- [31] A. K. Dutta, U. K. Ghorai, K. K. Chattopadhyay, D. Banerjee ; Removal of textile dyes by carbon nanotubes: A comparison between adsorption and UV assisted photocatalysis ; *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 99 (2018) 6–15.
- [32] A. Aarfane, A. Salhi, M. El Krati, S. Tahiri, M. Monkade, E.K. Lhadi, M. Bensitel; Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of Red195 and Methylene blue dyes on fly ash and bottom ash in aqueous medium); *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (6) (2014) 1927-1939.

[33] A.H. Jawad, N. Shazwani Abdul Mubarak, A. Saud Abdulhameed, Tunable Schiff's base-cross-linked chitosan composite for the removal of reactive red 120 dye: Adsorption and mechanism study, *International Journal of Biological Macromolecules* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.014>.

[34] K. G. Akpomie, J. Conradie ; Efficient synthesis of magnetic nanoparticle- *Musa acuminata* peel composite for the adsorption of anionic dye; *Arabian Journal of Chemistry* (2020) 13, 7115–7131.

[35] A. Leudjo Taka, E. Fosso-Kankeu, K. Pillay, X. Yangkou Mbianda; Metal nanoparticles decorated phosphorylated carbon nanotube/cyclodextrin nanosponge for trichloroethylene and Congo red dye adsorption from wastewater; *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8 (2020) 103602



# *Conclusion Générale*

### Conclusion générale

Les colorants, plus particulièrement industriels (textiles), sont des sources dramatiques de pollution, d'eutrophisation et de perturbation dans la vie sur terre et par conséquent présentent un danger potentiel de bioaccumulation qui peut affecter les espèces animales et végétales y compris l'homme par transport à travers la chaîne alimentaire. Il est devenu, alors impératif de réduire voire éliminer ces colorants par des voies de traitement biologique ou physico-chimique. Dans cette étude, nous avons opté pour le procédé d'adsorption qui est considéré comme l'une des techniques de traitement les plus utilisées pour la dépollution des eaux.

Le présent travail a porté essentiellement sur l'étude bibliographique de l'élimination d'un colorant synthétique qui est la fuchsine basique sur différents adsorbants naturels animale, végétale et minérale qui peut être présents dans les effluents industriels par adsorption.

La première partie du travail accompli dans le cadre de cette étude consistait en des généralités sur les colorants textiles et leurs effets sur l'environnement et leur application et procédés de traitements, nous avons donné également des généralités sur le phénomène d'adsorption et son application dans l'élimination des colorants textiles avec quelques modèles d'isothermes d'adsorption.

La deuxième partie concerne une synthèse bibliographique sur les différents travaux réalisés dans l'élimination des colorants en utilisant des différents adsorbants naturels notamment la fuchsine basique. Nous nous sommes intéressés particulièrement à quelques paramètres comme les capacités maximales d'adsorption  $q_{\max}$ , la nature, la cinétique et les isothermes d'adsorption. A partir de la synthèse bibliographique on constate que les chercheurs ont un vrai penchant vers les adsorbants naturels qui offrent plus de facilité de préparation, d'efficacité de séparation, de disponibilité, et de minimisation des coûts du processus d'adsorption.

## Résumé

Dans ce travail nous avons établi une synthèse sur l'élimination de la fuchsine basique à partir des différents adsorbants naturels animale et végétale tel que les résidus de l'agriculture, coquilles de moules et des minéraux comme l'argile par le procédé le plus efficace pour éliminer les colorants textiles qui est la méthode d'adsorption. Nous avons également donné des généralités sur les colorants textiles, la pollution des colorants et leurs effets sur l'environnement ainsi que sur le phénomène d'adsorption avec quelques modèles d'isothermes d'adsorption en mode statique et en mode dynamique.

L'objectif de ce travail est d'établir une synthèse bibliographique et une étude sur les différents travaux réalisés dans l'élimination de la fuchsine basique utilisant des différents adsorbants naturels. On cite également les différents travaux sur l'élimination des colorants par adsorption.

**Mots clés :** Adsorption, colorants textiles, adsorbant naturel, fuchsine basique.

## Abstract

In this work we have established a synthesis on the elimination of basic fuchsine from the different natural animal and plant adsorbents such as agricultural residues, mussel shells and minerals such as clay by the most efficient process to remove textile dyes which is the adsorption method. We also gave generalities on textile dyes, pollution of dyes and their effects on the environment as well as on the phenomenon of absorption with some models of isothermal absorption in static mode and in dynamic mode.

The objective of this work is to establish a bibliographic synthesis and a study on the various works carried out in the elimination of basic fuchsin using different natural adsorbents. We also cite the various works on the elimination of dyes by adsorption.

**Key words:** Adsorption, textile dyes, natural adsorbent, basic fuchsin.

## ملخص:

في هذا العمل، أنشأنا تحليلاً حول إزالة الفوشسين الأساسي من مختلف الممترزات الحيوانية والنباتية الطبيعية مثل المخلفات الزراعية وقشور بلح البحر والمعادن مثل الطين بأكثر العمليات كفاءة. لإزالة الصبغات النسيجية وهي طريقة الامتزاز. كما أعطينا عموميات حول الأصباغ النسيجية، وتلوث الأصباغ وتأثيرها على البيئة وكذلك على ظاهرة الامتصاص مع بعض نماذج الامتصاص الحراري في الوضع الثابت والنمط الديناميكي.

الهدف من هذا العمل هو إنشاء تحليل ببليوغرافي ودراسة حول الأعمال المختلفة التي تم إجراؤها في التخلص من الفوشين الأساسي باستخدام مواد ماصة طبيعية مختلفة. نستشهد أيضاً بالأعمال المختلفة المتعلقة بإزالة الأصباغ عن طريق الامتزاز.

**الكلمات المفتاحية :** الامتزاز، أصباغ النسيج، الممترزات الطبيعية، الفوشين الأساسي.