



**Université Kasdi-Merbah Ouargla**  
**Faculté des sciences appliquées**  
**Département de Génie des Procédés**



## **Mémoire**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

### **MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine** : Sciences et Technologies.

**Filière** : Sciences et Génie de l'Environnement.

**Spécialité** : Génie des Procédés de l'Environnement

Présenté Par :

**Houri Rania**

**Kebaili Maroua**

**Mogdad Sara**

**Thème :**

**Elaboration d'un biofiltre pour la dépollution des eaux  
contaminées par des colorants**

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Mr.	MAA	Président	UKM Ouargla.
Mr.	Pr	Examineur	UKM Ouargla.
Mr. Ladjel Segni	Pr	Rapporteur	UKM Ouargla.

**Année : 2020**

# Dédicace

*Je dédie ce travail à :*

*La source d'amour, la flamme de mon cœur, ma vie et  
mon bonheur, ma mère.*

*Mon support dans ma vie, celui qui s'est sacrifiée pour me  
voir réussir et m'a dirigé vers la gloire, mon père.*

*Mes dédicaces s'adressent également à mes chères sœurs  
Soumaïa et Loubna, et mon frère Farouk.*

*Mon cher oncle Kamel, qui m'a aidé et ma supporté.*

*Mes chères amis surtout Djouhaina.*

*Aussi, je dédie ce travail à tous les enseignants et toutes  
les enseignantes de génie des procédés.*

*Aux personnes qui m'ont aidé, m'ont encouragé et m'ont  
accompagné durant mes études.*

**RANIA**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon père*

*A ma mère*

*Merci pour votre aide et merci pour votre patience qui  
m'a poussé*

*Vers le succès vous étiez toujours les plus importants  
dans ma vie.*

*A mon frère Abdalmoumen & Taha & Marwan*

*A ma sœur Khaoula & Ibtihal & Manar*

*A toute ma famille Mogdad & Merabet*

*A tous ceux qui m'ont aidé et m'ont conseillé.*

*A mes chers amis.*

*SARA*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail tout d'abord à la mémoire de **mon père Rachid** Puisse Dieu, le tout puissant, lui accorder le paradis !*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer (L'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous).*

*A ma **chère mère** qui m'a toujours fort encouragé et aider dans la recherche du savoir durant tout mon parcours avec beaucoup de tendresse de dévouement de gentillesse d'amour.*

*A mes chers frères **Abdelouaheb, Abdellatif, <sup>Med</sup> El Hocine.***

*Mon cher grand père **Mohammed Kebaili**, qui m'a aidé et ma supporté.*

*A mes amis(e) : **Aya, Malak, Sahar, Batoul.***

*A tout la famille **Kebaili et Benabdessadok.***

*Un spécial dédicace à la mémoire de mon professeur **Sekhri Lakhdar** Puisse Dieu, le tout puissant, lui accorder le paradis !*

**Maroua**

# Remerciements

*Avant tout, Nous tenons à remercier Allah le tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.*

*Un remerciement exceptionnel à notre encadreur Pr. Ladjel Segni pour sa gentillesse, ses conseils et de nous avoir guidé pas à pas dans notre travail.*

*Aussi nous tenons également à exprimer notre gratitude aux membres de jury pour avoir accepté de jugé et évaluer ce travail.*

*Nos remerciements également à Dr Zerrouki, Meflah Siham de nous avoir si bien accueillis au sein du Laboratoire de génie des procédés de centre de recherche, Ayachi Omar Asma et aussi à tous nos enseignants du département de Génie des Procédés de l'Université Kasdi Merbah.*

*Enfin, grands merci à nos familles respectives et nos amis qui nous ont aidés. Nous profitons de l'occasion pour remercier tous ceux qu'ont collaborés de près ou de loin à la réalisation de ce projet*

## الملخص:

الهدف من هذا العمل هو تطوير مرشح (فيلتر) حيوي يعتمد على الفحم المنشط من نواة التمر وبعض مشتقات النخيل.

من اجل معالجة الأصباغ الموجودة في المياه الصناعية، النتائج المتحصل عليها جد مرضية. حيث تحصلنا على مردود معالجة 99 بالمائة، كما أن المرشح (الفيلتر) متوافق مع مختلف درجات الحموضة والأصباغ.

## الكلمات المفتاحية:

مرشح حيوي، فحم منشط، نواة التمر، أصباغ كيميائية، كيمياء خضراء

## Abstract:

The objective of this work is to develop a biofiltre based on active coal from the core of dates and derive from the date palm.

In order to treat the dyes contained in industrial waters, the results obtained are very satisfactory. A treatment yield of 99% was expected and our biofiltre is compatible with different pH and dyes.

**Keywords:** Biofiltre, activated charcoal, core of dates, chemical dyes, green chemistry

## **Résumé :**

L'objectif de ce travail est de développer un biofiltre à base de charbon actif de noyaux de dattes et de dériver du palmier dattier.

Dans le but de traiter les colorants contenus dans les eaux industriels, les résultats obtenus sont très satisfaisants on a attendu un rendement de traitement de 99% et notre biofiltre et compatible avec les différents pH et colorants.

**Mot clés :** Biofiltre, Charbon actif , noyaux de date, colorants chimiques, chimie verte.

## Tableau des matières :

N°	Le titre	Page
	Dédicace	I
	Dédicace	II
	Dédicace	III
	Remerciement	IV
	Résumé	V
	Table des matières	VI
	Liste des tableaux	IX
	Liste des figures	XI
	Liste des abréviations	XII
	Liste des symboles	XIII
	Introduction générale	XIV
<b>Chapitre I : Généralités sur les colorants chimiques</b>		
	Introduction	2
<b>Partie 1 : Généralités sur les colorants</b>		
<b>I.1.1</b>	Généralités sur les eaux colorées	4
<b>I.1.2</b>	Définition d'un colorant	4
<b>I.1.3</b>	Historique d'un colorant	5
<b>I.1.4</b>	Classification de colorant	5
<b>I.1.5</b>	Utilisation des colorants	10
<b>I.1.6</b>	Impact des colorants sur l'environnement et la sante	10
<b>Partie 2 : Généralités sur l'adsorption</b>		
<b>I.2.1</b>	Définition de l'adsorption	13
<b>I.2.2</b>	Types d'adsorption	13
<b>I.2.3</b>	Le mécanisme d'adsorption d'un colorant	15

<b>I.2.4</b>	Les isothermes d'adsorption	16
<b>I.2.5</b>	Les facteurs influençant les paramètres d'adsorption	29
<b>I.2.6</b>	Les principaux adsorbants	20
<b>Chapitre II : Notions sur les 12 principes de la chimie verte</b>		
	Introduction	23
<b>II.1</b>	Historique de la chimie	24
<b>II.2</b>	Gestion des risques	25
<b>II.3</b>	Définition de la chimie verte	26
<b>II.4</b>	Les 12 principes de la chimie verte	26
<b>II.5</b>	Pour quoi 'Verte' ?	28
<b>Chapitre III : Cas pratique de biomatériaux (biofiltre)</b>		
<b>Partie1 : Biomatériaux</b>		
	Introduction	31
<b>III.1.1</b>	Définition	31
<b>III.1.2</b>	Biocompatibilité	32
<b>III.1.3</b>	Bioactivité	32
<b>III.1.4</b>	Les différentes classes de biomatériaux	32
<b>III.1.4.1</b>	Métaux et alliages métalliques	32
<b>III.1.4.2</b>	Les Céramiques	33
<b>III.4.3</b>	Les polymères	34
<b>III.4.4</b>	Les autres matériaux	35
<b>Partie2 : Généralité sur le charbon actif</b>		
<b>III.2.1</b>	Définition	37
<b>III.2.2</b>	Origine et fabrication	37
<b>III.2.3</b>	Fabrication	37
<b>III.2.4</b>	Texture du charbon actif	38



<b>III.2.5</b>	La surface spécifique	39
<b>III.2.6</b>	Les différentes formes du charbon actif	40
<b>III.2.7</b>	Principales applications	40
<b>Partie expérimentale IV</b>		
<b>IV.1 : pratique</b>		
	Introduction	42
<b>IV.1.1</b>	Matériels et appareillage	42
<b>IV.1.2</b>	Les produits utilisés	43
<b>IV.1.3</b>	L'adsorbats et l'adsorbant	44
<b>IV.1.4</b>	Procède de fabrication du charbon actif	45
<b>IV.1.5</b>	Mode opératoire	45
<b>IV.1.6</b>	La structure poreuse	48
<b>IV.1.7</b>	Préparation de solution mère le méthyl orange	49
<b>IV.1.8</b>	Méthode d'analyse	50
<b>IV.1.9</b>	Préparation de biofiltre	50
<b>IV.1.10</b>	Effet de pH	51
<b>IV.1.11</b>	Formule de calcul	52
<b>IV.1.12</b>	Modèles d'isothermes d'adsorption	52
<b>IV.2 : Résultats et discussions</b>		
	Introduction	54
<b>IV.2.1</b>	La courbe d'étalonnage	54
<b>IV.2.2</b>	Effet de pH sur l'adsorption de MO	55
<b>IV.2.3</b>	Le rendement d'adsorption	56
	Conclusion générale	57
	Références	

## Liste des tableaux :

N°	Titre	Page
<b>Chapitre 1 : Généralités sur les colorants chimiques</b>		
<b>Tab I</b>	Relation entre la fréquence absorbée et la couleur transmise	4
<b>Tab II</b>	Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante	5
<b>Tab III</b>	Les principales différences entre les deux types d'adsorption	14
<b>Chapitre 3 : Cas pratique de biomatériaux (biofiltre)</b>		
<b>Tab IV</b>	Principales céramiques utilisées pour les applications médicales	34
<b>Pratique</b>		
<b>Tab V</b>	L'effet de pH sur d'adsorption de MO	52
<b>Tab VI</b>	Les valeurs des densités optiques correspondantes aux différentes concentrations	55
<b>Tab VII</b>	L'influence de pH sur l'adsorption de MO sur le biofiltre	56

## Liste des figures :

N°	Titre	Page
	<b>Chapitre I : Généralités sur les colorants chimiques</b>	
Fig 1	L'indigo	6
Fig 2	Le safran	6
Fig 3	Les racines de granace	6
Fig 4	Le kermès	6
Fig 5	la cochenille	6
Fig 6	Structure de colorant azoïque	7
Fig 7	Structure de colorant triphénylméthane	7
Fig 8	Structure de colorant anthraquinonique	8
Fig 9	Structure de colorant indigoïde	8
Fig 10	Structure de colorant xanthéne.	8
Fig 11	Structure de colorant nitré et nitrosé	9
Fig 12	Structure de colorant phtalocyanines	9
Fig 13	Phénomène d'adsorption	15
Fig 14	Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al [site]	16
Fig 15	Application du modèle de Langmuir.	18
Fig 16	Application du modèle de Freundlich	19
	<b>Chapitre II : notions sur les 12 principes de la chimie verte</b>	
Fig 17	Quelque produits élaborés grâce à des procédés chimiques	23
Fig 18	Des accidents industriels	24
Fig 19	Livre "Green Chemistry : theory and practice"	26
	<b>Chapitre III : Cas pratique de biomatériaux (biofiltre)</b>	
Fig 20	Représentation schématique des différents types de pores.	39
Fig 21	Représentation schématique de la surface interne et externe d'un charbon actif	39
Fig 22	CA en grain (CAG).	40
Fig 23	CA en tissu (CAT).	40
Fig 24	CA en poudre (CAP).	40
	<b>Partie expérimental</b>	
Fig 25	Spectres d'absorption en UV- visible	43

Fig 26	Caractéristiques physico-chimiques du méthylorange et sa structure chimique	44
Fig 27	lavage des noyaux	45
Fig 28	calibrage des noyaux	45
Fig 29	chauffage des noyaux	45
Fig 30	séchage des noyaux	45
Fig 31	l'acide chlorhydrique (HCl)	46
Fig 32	l'hydroxyde de sodium (NaOH)	46
Fig 33	L'activation des noyaux des dattes	46
Fig 34	Le pH des noyaux au début de traitement	47
Fig 35	Le pH des noyaux lave avec l'eau distillée	47
Fig 36	Le four de carbonisation	47
Fig 37	Les noyaux avant la carbonisation	48
Fig 38	Les noyaux après la carbonisation	48
Fig 39	La structure poreuse de charbon actif par MRB	49
Fig 40	Solution mère de méthyl orange	49
Fig 41	Solutions diluées du MO	50
Fig 42	Le biofiltre	50
Fig 43	Teste de l'effet de pH sur l'adsorption de MO	51
Fig 44	L'adsorption de MO par le biofiltre	51
Fig 45	Courbe d'étalonnage de méthyle orange	55
Fig 46	L'influence de de pH sur l'adsorption de MO sur le biofiltre.	56

## Liste des Abréviations :

MO	Méthyle orange
CA	Charbon actif
HCl	Acide Chlorhydrique
NaOH	Hydroxyde de sodium
pH	Le potentiel hydrogène
SiO <sub>2</sub> nH <sub>2</sub> O	Gel de silice
AlO <sub>2</sub> M <sub>1</sub> nSiO <sub>2</sub>	Alimuno silicates
C	Carbone
CO	Monoxyde de carbone
H <sub>2</sub>	Hydrogène
H <sub>2</sub> O	L'eau
CAG	Charbon actif en grain
CAT	Charbon actif tissu
CAP	Charbon actif en poudre
IUPAC	International union of pure and Applied Chemistry
ABS	Absorption
MEB	Microscope électronique à balayage
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumine
ZrO <sub>2</sub>	Zircone
Na <sub>2</sub> CaOP <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Si	Barreier
Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub>	Hydroxyapatite
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> )	Phosphate tricalcique

### Liste des symboles :

Symboles	Grandeur	Unités
$C_0$	La concentration initiale de MO (à $t=0$ )	mg/L
$C_e$	La concentration en colorant à l'instant $t$	mg/L
$q_e$	La quantité adsorbée à l'équilibre	mg/g
$q_m$	La quantité maximale d'adsorption	mg/g
$M$	La quantité de charbon actif	g
$V$	Le volume de la solution	L
$X$	La concentration résiduelle de MO à l'instant.	
$Y$	l'absorbance (A) à l'instant.	
$K_l$	constante de Langmuir	L/mg
$K_f$	La capacité d'adsorption	
$N$	la constante énergétique de distribution numérique des sites.	
$R$	Le rendement d'adsorption	

## **Introduction générale :**

Le développement considérable des activités industrielles permettant de répondre aux besoins de notre société, s'accompagne inévitablement d'un accroissement important des rejets polluants [1]. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique beaucoup plus prononcé. Les colorants et adjuvants utilisés par les industries textiles peuvent constituer une menace sérieuse pour l'environnement car leur présence dans l'eau, même à des quantités très faibles, est très visible et indésirable ; par conséquent, leur présence dans les systèmes aquatiques réduit la pénétration de la lumière et retarde ainsi l'activité photosynthétique. Ils ont également une tendance à complexer les ions métalliques en produisant une micro-toxicité pour la faune et d'autres organismes [2].

La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour l'élimination des colorants est devenue une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation [3].

Le travail présenté rentre dans le cadre de préparation de mémoire de master en génie des procédés de l'environnement, et dans le thème " Elaboration d'un biofiltre pour la dépollution des eaux contaminées par des colorants " qui traite le développement durable et la chimie verte.

Les colorants sont des produits chimiques minéraux et organiques qui sont les plus difficiles à traiter dans les stations de traitement des eaux.

Notre contribution porte sur l'élimination et traitement de ces polluants dangereux par voie biologique (biofiltre), ce dernier est composé de charbon actif de noyaux de datte variété "GHARS" ainsi que quelque dériver du palmier dattier.

Le travail présenté est composé de 3 chapitres plus une partie expérimentale.

Le premier chapitre est composé en généralités sur les colorants.

Le deuxième chapitre traite les 12 principes de la chimie verte.

Le 3<sup>ème</sup> chapitre présente les biomatériaux.

En fin la partie expérimentale qui compte le Protocol de traitement

## *Chapitre I*

# *Généralités Sur Les Colorants Chimiques*



## **Introduction :**

Dans ce chapitre, nous avons essayé de donner en premier lieu un aperçu général sur l'origine de la couleur, la classification des colorants, et l'utilisation des colorants et leur impact sur l'environnement.

Dans la deuxième partie nous étudions le procédé d'adsorption et ses types, ainsi que les caractéristiques de chaque type, les facteurs influençant et les isothermes d'adsorption. Nous étudions aussi quelques principaux adsorbants.

*Partie 1*  
*Généralités sur les colorants*

**I.1.1.Généralités sur les eaux colorées :**

Les eaux usées industrielles ont une composition très variable d'une industrie à l'autre. La plupart des procédés industriels conduisent à des rejets polluants suite au contact de l'eau avec des solides, des liquides ou des gaz. Dans certaines industries (industrie alimentaire, chimique, textile, ...) on trouve une pollution dissoute, qui peut avoir un caractère biodégradable mais certaines eaux de fabrication contiennent des produits toxiques dont la présence peut masquer la valeur réelle de la pollution biodégradable. A titre d'exemple, les teintures synthétiques utilisées en industries textiles qui génère une pollution très importante du milieu aqueux avec des rejets fortement contaminés par des colorants [4]. La production mondiale des colorants est estimée à 700 000 tonnes/ an, dont 140 000 sont rejetées dans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection. Ces rejets, composés de surfactants, composés biocides, suspensions solides, agents de dispersion et de mouillage, colorants et métaux traces, sont toxiques pour la plupart des organismes vivants [5].

**I.1.2.Définition d'un colorant :**

On appelle colorant toute substance colorée ou non qui, mise au contact de façon appropriée avec un support (se fixe ou se dissout dans ce dernier de façon durable, en lui conférant une nouvelle propriété : la couleur). [6]

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophore, La relation entre la longueur d'onde et la couleur transmise est donnée dans le (Tableau I.1) [7].

Tab I : Relation entre la fréquence absorbée et la couleur transmise.

$\lambda$ longueur d'onde absorbée (Å)	Couleur observe (transmise)
4000 (violet)	Jaune verdâtre
4250 (bleu nuit)	Jaune
4500 (bleu)	Orange
4900 (bleu vert)	Rouge
5100 (vert)	Pourpre
5300 (jaune vert)	Violet
5500 (jaune)	Bleu nuit
5900 (orange)	Bleu

### I.1.3.Historique d'un colorant :

C'est en 1876 que Witt remarqua que les substances colorées renfermaient tout un groupement caractéristique qu'il appela chromophore. Il constata qu'en introduisant un chromophore dans un hydrocarbure (composé non coloré) celui-ci se colorait. Il devient donc un chromogène ; c'est à dire une molécule plus ou moins fortement colorée. Les chromophores sont des groupes portant des doubles liaisons (Tableau I.2). La présence d'un groupe chromophore (avec une double liaison chromophorique) est donc responsable de la coloration de la molécule.

De plus si le chromogène possède un deuxième groupe appelé auxochrome alors il devient un colorant. Les groupes auxochromes permettent la fixation des colorants sur les substrats. En effet, l'auxochrome a la propriété d'augmenter sa coloration. Les groupes amine (-NH<sub>2</sub>) et hydroxyle (-OH) sont deux exemples d'auxochrome (Tableau II). [8]

Tab II : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante [6]

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amine primaire (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-N=O)	Amine secondaire (-NHR)
Carbonyl (=C=O)	Amine tertiaire (-NR <sub>2</sub> )
Vinyl (-CH=CH-)	Hydroxyl (-OH)
Nitro (-NO <sub>2</sub> )	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Donneurs d'élecctrons (-CL)

### I.1.4.Classification des colorants :

Il existe deux grandes classes de colorants, en l'occurrence les colorants naturels et les colorants synthétiques.

#### I.1.4.1.Les colorants naturels :

La majorité des colorants utilisés sont d'origine végétale, extraits des plantes, des arbres ou des lichens, ou bien d'origine animale, extraits des insectes comme le kermès et la cochenille ou des mollusques comme la pourpre, ou bien encore dans les micro-organismes. [4]

- Le bleu est obtenu à partir de l'indigo, qui est une plante légumineuse
- Le rouge est obtenu à partir de la racine de garance.
- Le jaune est obtenu à partir du safran. [10]



Fig 1: L'indigo



Fig. 2 : Le safran



Fig. 3 : Les racines de granace



Fig. 4 : Le kermès



Fig. 5 : la cochenille

#### ***1.1.4.2 .Les colorants synthétiques :***

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

##### ***1.1.4.2.1.Classification chimique :***

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore. [11]

##### **A. Les colorants azoïques :**

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes. [12]

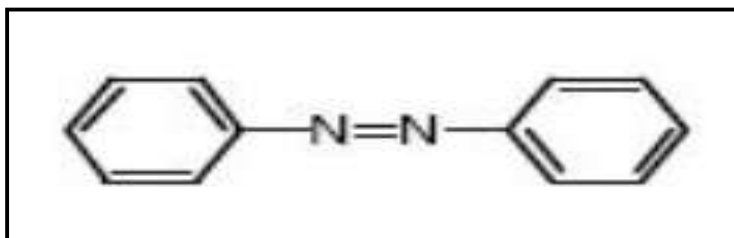


Fig. 6 : Structure de colorant azoïque.

### B. Les colorants triphénylméthanés :

Les colorants triphénylméthanés dérivent du triphénylméthane, qui est un hydrocarbure possédant trois cycles phényle liés à un carbone central. On retrouve cette structure de base dans un grand nombre de composés organiques colorés. Les colorants triphénylméthanés et leurs dérivés hétérocycliques constituent la plus ancienne classe de colorants synthétiques. Actuellement bien moins importants que les colorants azoïques et anthraquinoniques, ils ont conservé une certaine valeur commerciale, car ils permettent de couvrir la totalité de la gamme de nuances. Les triphénylméthanés sont utilisés intensivement dans les industries papetières et textiles pour teindre le nylon, la laine, la soie et le coton. Leur utilisation ne se limite pas à l'industrie. On les retrouve également dans le domaine médical comme marqueur : biologique et comme agent antifongique chez les poissons et la volaille. [11]

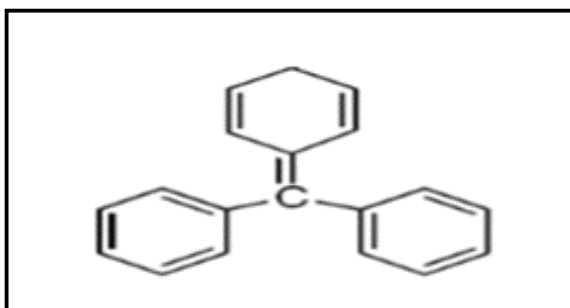


Fig. 7 : Structure de colorant triphénylméthane.

### C. Les colorants anthraquinoniques :

Sont d'un point de vue commercial les plus importants après les colorants azoïques. Leurs formules générales dérivées de l'anthracène montrent que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino. [9]

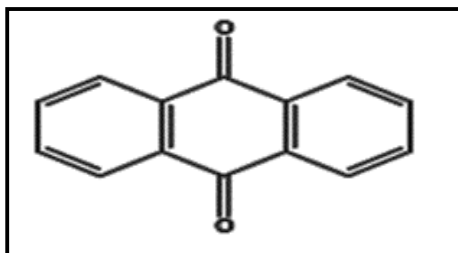


Fig. 8 : Structure de colorant anthraquinonique

#### D. Les colorants indigoïdes :

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ces colorants peuvent être utilisés comme additifs dans les produits pharmaceutiques ainsi que dans les diagnostics médicaux. [13]

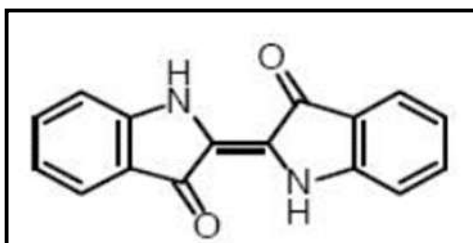


Fig. 9 : Structure de colorant indigoïde.

#### E. Les colorants xanthènes :

Sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence. Leur propriété de marqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression. [11]

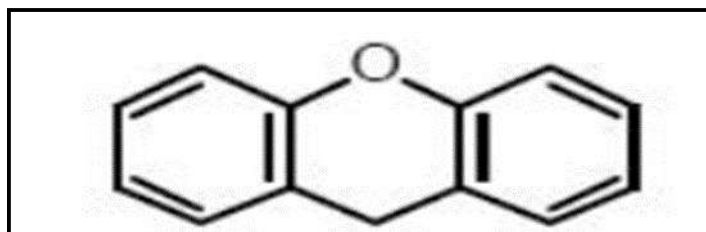


Fig. 10 : Structure de colorant xanthène.

**F. Les colorants nitrés et nitrosés :**

Les colorants nitrés et nitrosés forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés). [12]

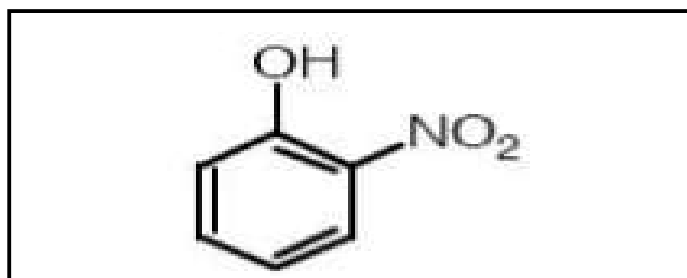


Fig. 11 : Structure de colorant nitré et nitrosé.

**G. Les phtalocyanines :**

Les phtalocyanines ont une structure complexe possédant un atome métallique central. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.). [11]

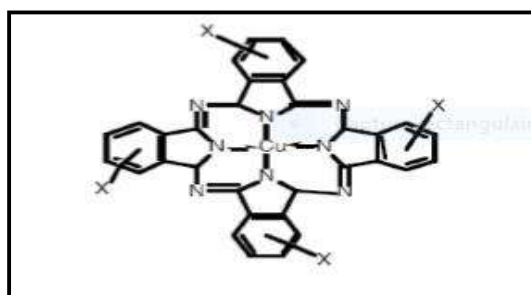


Fig. 12 : Structure de colorant Phtalocyanine.



### I.1.5. Utilisations des colorants :

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

- Pigments (industrie des matières plastiques).
- Encre, papier (imprimerie).
- Colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire).
- Pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment).
- Colorants capillaires (industrie des cosmétiques).
- Colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique).
- Carburants et huiles (industrie automobile etc....).
- Colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical etc. [14]

### I.1.6. Impact des colorants sur l'environnement et la santé :

L'utilisation des colorants peut entraîner des dangers soit sur l'environnement ou bien sur l'être humain.

#### *I.1.6.1 .L'environnement :*

- A. **Eutrophisation** : Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes.
- B. **Couleur, turbidité, odeur** : L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, prolifération bactérienne, odeurs pestilentielles et colorations anormales. Willmott et al ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain à partir de  $5 \cdot 10^{-6}$  g L<sup>-1</sup>. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques. [9]

***1.1.6.2. La santé :***

Les colorants sont dangereux pour la santé humaine, ils peuvent être :

- Mutagènes.
- Génotoxiques.
- Entraîner des cancers de la thyroïde.
- Entraîner des tumeurs des glandes surrénales.
- Contenir des substances cancérigènes.
- Avoir des actions sur le système nerveux central.
- Inhibition ou déficit de certaines enzymes.
- Augmentation de la perméabilité intestinale. [15]

## *I.2. Généralités sur l'adsorption*

### **I.2.1.Définition de l'adsorption :**

Le phénomène d'adsorption est un phénomène de dépôt de molécules en phase fluide (liquide ou gaz) (l'adsorbat) sur une surface solide (l'adsorbant). Tous les constituants d'un mélange ne s'adsorbent pas à la même vitesse et dans les mêmes proportions. Cela entraîne un phénomène de séparation. [16]

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier entre la condensation du gaz à la surface, et une absorption du gaz, processus dans lequel les molécules de gaze pénètrent dans la masse. L'adsorption à l'interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbât. Ce phénomène résulte de l'existence, des forces à la surface du solide, qui sont de nature physique ou chimique. [17]

### **I.2.2.Types d'adsorption :**

La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption ; adsorption physique et adsorption chimique [4] :

#### ***I.2.2.1.L'Adsorption physique (physisorption) :***

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

Ce type d'adsorption se caractérise par :

- ✓ La rapidité dans l'établissement de l'équilibre entre la phase adsorbée et la phase fluide.
- ✓ Une chaleur d'adsorption sensiblement du même ordre que la chaleur de liquéfaction du gaz adsorbé.
- ✓ Une réversibilité relativement facile et une absence de spécificité.

Ce phénomène consiste essentiellement en la condensation de molécules sur la surface du solide est favorisé par un abaissement de la température. [17]

#### ***I.2.2.2.L'adsorption chimique (Chimisorption) :***

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

La chimisorption se caractérise par :

- ✓ Un équilibre long à atteindre entre la phase adsorbée et le milieu fluide.

## Chapitre I :.....Généralités Sur Les Colorants Chimiques

- ✓ Une augmentation de la quantité de matière adsorbée avec la température ;
- ✓ Une chaleur dégagée durant l'adsorption comparable aux chaleurs de réaction (de 40 à 100 kJ/mol), environ 10 fois supérieure à l'adsorption physique ;
- ✓ La non-réversibilité ;
- ✓ Une spécificité marquée, dans le sens que sur un adsorbant déterminé se fixent certains adsorbats.

L'enthalpie relative à la chimisorption est plus grande que celle de la physisorption et les valeurs se situent généralement autour de 200 kJ/mol [7]

Le tableau suivant résume les principales différences entre la physisorption et la chimisorption :

Tab. III : les principales différences entre les deux types d'adsorption [4]

Caractéristique	Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption (Kcal.mol <sup>-1</sup> )	1 à 10	10 à 25
Vitesse de processus	En générale rapide	Appréciable
L'effet de la température sur la capacité de fixation	Diminution de la capacité d'adsorption	Complexe
Réversibilité	Réversible	Réversible et irréversible
Spécificité	Relativement non spécifique	Spécifique
La nature de la chaleur d'adsorption	Exothermique	Exothermique et endothermique
Existence d'énergie d'activation	Rarement	Oui
Ordre de grandeur de l'énergie d'activation	Rarement supérieur à quelques calories par mole	Supérieur à 20Kcal.mol <sup>-1</sup>
Nature de la couche	Mono et multicouches	Mono couche seulement
Existence de transfert d'électron	Pas de transfert d'électron bien qu'une polarisation de l'adsorbat puisse se produire	Transfert d'électron, formation de liaisons entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant.

### I.2.3. Le mécanisme d'adsorption d'un colorant :

L'adsorption est un processus, largement répandu pour l'élimination d'un colorant a également une applicabilité large dans le traitement des eaux résiduaires. La séparation par adsorption est basée sur une adsorption sélective (thermodynamique et /ou cinétique) des polluants (appelés adsorbats) par un adsorbant, grâce à des interactions spécifiques entre la surface du matériau et les produits adsorbés : c'est un simple transfert de masse à partir de la phase liquide vers la surface du solide, ce processus s'opère en plusieurs étapes.

- **Diffusion externe** : correspond au transfert du soluté (un colorant) du sein de la solution à la surface externe des grains. Le transfert de la matière externe dépend des conditions hydrodynamiques de l'écoulement d'un fluide dans un lit adsorbant.
- **Diffusion interne** : les particules de fluide pénètrent à l'intérieur des pores. Elle dépend de gradient de concentration du soluté.
- **Diffusion de la surface au contact des sites actifs** : elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores. [17]

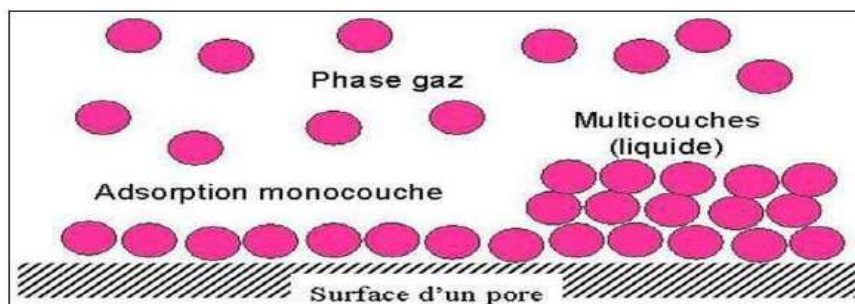


Fig. 13 : Le phénomène d'adsorption

### I.2.4.Les isothermes d'adsorption :

#### I.2.4.1 Définition de l'isotherme :

Les isothermes d'adsorption sont des courbes représentant la quantité d'adsorbat retenue par unité de masse ou de volume d'adsorbant en fonction de la concentration en solution de l'adsorbat à l'équilibre. On obtient une telle courbe à partir des résultats d'essais effectués à une température constante. Pour ce faire, on introduit des quantités connues de solide dans des volumes de solution à traiter, et après un temps de contact donné, on mesure la concentration résiduelle de la solution.

On peut calculer la quantité adsorbée à l'aide de l'équation suivante :

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

Où :

$C_0$ : concentration initiale du soluté adsorbat en (mg/l);

$C_e$ : concentration du métal à l'équilibre dans la solution en (mg/l);

$X$  : masse du métal fixée en (mg) ;

$m$  : masse de l'adsorbant ;

$q_e = (X/m)$  : quantité du métal adsorbée par unité de masse de l'adsorbant en (mg/g);

$V$  : volume de la solution (L) [14]

#### I.2.4.2. Classification des isothermes d'adsorption :

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoide), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante). La figure I.2 illustre la forme de chaque type d'isothermes. [4]

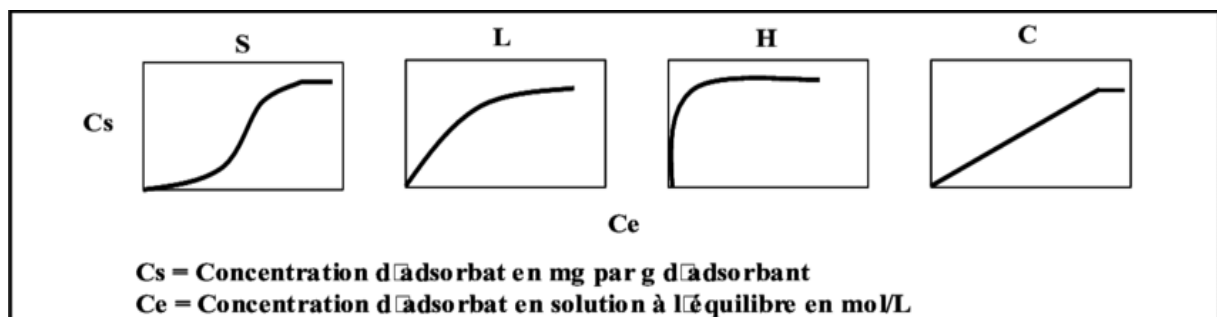


Fig. 14 : Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al [site]

Après cette description nous abordons l'interprétation des différentes classes d'isothermes.

### **A. Isothermes de type S :**

La courbe est sigmoïdale et elle présente un point d'inflexion. Ce type d'isotherme est toujours le résultat d'au moins deux mécanismes opposés. Les composés organiques non polaires sont un cas typique ; ils ont une basse affinité avec les argiles, mais dès qu'une surface d'argile est couverte par ces composés, d'autres molécules organiques sont adsorbées plus facilement ce phénomène est appelé l'adsorption coopérative.[9]

### **B. Isothermes de type L :**

Les courbes de type L dite de « Langmuir » sont les plus fréquentes. Elles sont caractérisées par une courbe concave par rapport à l'axe des concentrations. Ce type de courbes suggère que l'adsorption de la molécule de soluté se fait à plat sur la surface de l'adsorbant et la compétition entre les molécules de solvant et du soluté pour l'occupation des sites d'adsorption est faible. [4]

### **C. Isotherme de type H :**

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. L'isotherme de classe H est aussi observée lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formées à partir des molécules de soluté. [11]

### **D. Isotherme de type C :**

Les courbes sont sous formes ligne droite croissante ceci signifie qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites, avec toujours le même partage (partage constant). [14]

## **I.2.4.4.Modèles d'isothermes d'adsorption :**

### **A. Isotherme de Langmuir :**

Langmuir [78] fut le premier à proposer une relation entre la quantité d'un gaz adsorbé et sa pression d'équilibre. Langmuir définit l'équilibre d'adsorption comme un processus dynamique entre les molécules arrivant à la surface et celles quittant la surface.

Le modèle repose sur les hypothèses suivantes :

- ✓ L'adsorption est localisée et ne donne lieu qu'à la formation d'une monocouche.
- ✓ Tous les sites d'adsorption énergétiquement équivalents et la surface est uniforme.
- ✓ Une seule molécule peut s'adsorber par un site.
- ✓ Il n'y pas d'interactions entre les molécules adsorbées. [16]

L'équation modélisant l'adsorption est la suivante :



$$q_e = q_m \frac{kl ce}{1+kl ce}$$

Avec :

$q_e$  : quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre.

$q_m$  : représente la capacité maximale d'adsorption.

$K_l$  : constante d'équilibre, égale au rapport des vitesses d'adsorption et de désorption. Cette

$C_e$  : concentration de l'adsorbat à l'équilibre dans la phase liquide.

Équation peut être linéarisée sous la forme suivante :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_l} + \frac{C_e}{q_m} \quad [18]$$

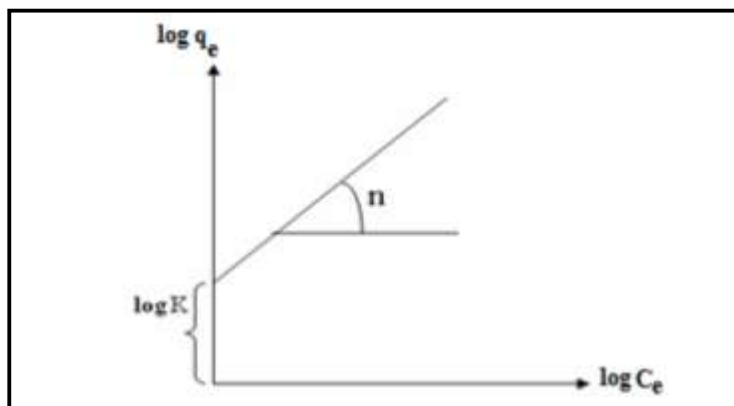


Fig. 15 : Application du modèle de Langmuir.[11]

### B. Isotherme de Freundlich :

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle ne repose sur aucune base théorique. Toutefois l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles [88]. Elle se présente sous la forme : [11]

$$q_e = K C_e^{1/n}$$

$$\text{Linéarisable en } \log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e$$

$K$  : Capacité d'adsorption,

$n$  : Constante dépendant de la constante énergétique de distribution numérique des sites.

Les constantes  $K$  et  $n$  dépendent de la nature du soluté et du charbon actif utilisé

Cette isotherme présente une singularité lorsque  $n < 1$  : sa pente à l'origine est infinie.[16]

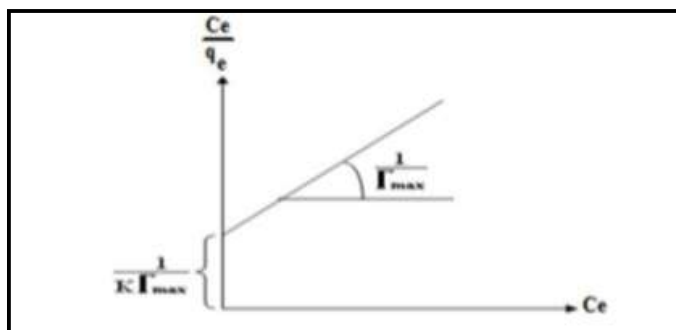


Fig. 16 : Application du modèle de Freundlich [12]

### **I.2.5. Les facteurs influençant les paramètres d'adsorption :**

L'adsorption correspond à l'accumulation d'un soluté présent dans une phase liquide ou gazeuse à la surface d'un matériau adsorbant. L'importance relative de ces interactions est fonction de plusieurs facteurs [12] dont les principaux sont décrits ci-après :

#### ***I.2.5. Surface spécifique :***

Elle est définie comme étant sa surface par unité de masse (exprimée en  $m^2/g$ ), La quantité de substance adsorbée augmente avec l'accroissement de la surface adsorbante, pour atteindre un effet d'adsorption important, il est nécessaire que la surface de l'adsorbant soit le plus grand possible.

#### ***I.2.5.2. Nature de l'adsorbant :***

Tout solide peut être considéré comme adsorbant potentiel, mais la capacité d'un adsorbant varie d'un adsorbant à un autre. Par exemple des substances ayant une structure spongieuse ou fortement poreuse ; ou celles qui sont finement pulvérisées (état de dispersion élevée) constituent de bons adsorbants.

#### ***I.2.5.3. pH :***

L'adsorption est maximum au point isoélectrique, car les liaisons avec l'eau y sont minimums, de même une molécule neutre est mieux adsorbée qu'une autre.

#### ***I.2.5.4. Polarité :***

L'affinité de l'adsorbant polaire pour le solvant est plus élevée quand ce dernier est plus polaire que le solvant.

***1.2.5.5.Température :***

L'adsorption physique est généralement exothermique, d'où les résultats sont meilleurs à froid. La chimisorption par contre est endothermique. On cite par exemple une application curieuse et intéressante de l'action de la température dans l'épuration des eaux de teinturerie, pour obtenir une adsorption sélective des colorants en présence de détergents. [19]

**1.2.6.Les principaux adsorbants :**

***1.2.6.1.Les charbons actifs :***

Le charbon actif, en grains ou en poudre ce sont des produits carbonés dotés d'une structure poreuse présentant une très grande surface de contact interne ; Ces matériaux issus d'un procédé industriel peuvent adsorber une large variété de substances, c'est-à-dire qu'ils sont capables de fixer des molécules sur une surface interne ; Ils sont en conséquence appelés adsorbants » [16].

***1.2.6.2.Gels de silice :***

Les gels de silice ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) peuvent être obtenus par précipitation de la silice, en faisant réagir une solution de silicate de sodium avec un acide minéral (sulfurique ou chlorhydrique). Le gel obtenu est ensuite lavé, séché et activé. La structure des pores est créée par l'agglomération des microparticules sensiblement sphériques de dimension à peu près uniforme comprise entre 2 et 20 nm. La surface des gels de silice est rendue polaire par les groupements hydroxyles. Ces gels adsorbent de préférence les molécules polaires comme l'eau et les alcools.

Les utilisations principales des gels de silice sont le séchage, la séparation des composés aromatique, le traitement du gaz naturel, ...etc. [15]

***1.2.6.3.Zéolithes :***

Les zéolithes sont des alumino-silicates cristallisés microporeux de formule globale ( $\text{AlO}_2\text{M}$ ,  $n\text{SiO}_2$ ) où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et  $n \geq 1$ . Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique. [20]

***1.2.6.4.Les argiles activées :***

Les argiles activées sont des alumino-silicates de formule brute proche de celles des zéolithes, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage.[20]

***1.2.6.5.Les tamis moléculaires :***

Ce sont des solides carbonés possédant une distribution très fine de taille des pores.[16]

*Chapitre II :*  
*Notions Sur Les 12 Principes*  
*De La Chimie Verte*

### Introduction

La chimie est omniprésente dans notre quotidien. Le dentifrice, les plastiques ou les crèmes solaires sont autant de produits élaborés grâce à des procédés chimiques. La chimie verte est inspirée du concept de développement durable. Elle intègre l'optimisation de l'efficacité et du coût énergétique des procédés, l'économie et le recyclage de matières premières et des sous-produits des réactions chimiques, la réduction des déchets ultimes et de l'impact sur la santé de l'Homme et sur l'environnement. Car la chimie moderne repose sur un paradoxe : la nécessité de produire en quantité de plus en plus importante (du fait d'une démographie croissante, pour notre développement ou notre confort) tout en réduisant ses impacts sur notre environnement et notre santé, et en garantissant la sécurité sanitaire [21].



Fig. 17 : Quelque produit élaboré grâce à des procédés chimiques

### II.1. Historique de la chimie

Les dangers liés aux produits sont, grâce à eux, souvent identifiés et les risques, définis sommairement comme le produit du danger par la probabilité de le rencontrer, sont en général maîtrisés. Il n'en reste pas moins que le siècle dernier a été marqué par un nombre trop important d'accidents et de catastrophes parmi lesquels on peut citer ceux qui ont été les plus dramatiques : l'émission de dioxine à Seveso en 1976, de gaz toxique à Bhopal en 1984, les explosions de nitrate d'ammonium à Oppau en 1921 et à Toulouse en 2001. Les risques chroniques et diffus sont aussi à l'origine de désastres immédiats ou différés : formation du trou d'ozone, pluies acides, contamination de l'eau à Minamata, de 1932 à 1968, et incendie de Sandoz, en Suisse, responsable d'une forte pollution du Rhin en 1986 [22].



Fig. 18 : Des accidents industriels

La thalidomide (années 1950) [24] : le médicament thalidomide a été prescrit aux femmes enceintes du monde entier comme sédatif pour lutter contre les nausées matinales. Au lieu d'être « complètement sûr », comme l'avait promis la publicité, la thalidomide a provoqué des « déformations » chez les enfants nés de mères qui ont pris le médicament [25]. Le distilbène

## **Chapitre II : ..... Notions sur les 12 principes de la chimie verte**

---

utilisé dans le temps pour traiter les avortements prématurés. Son utilisation actuelle est interdite pour les femmes enceintes, mais les filles des mères traitées en subissent maintenant les méfaits. Bien qu'il soit difficile de quantifier la part de la chimie dans les problèmes liés au changement climatique, elle est souvent montrée du doigt comme en partie coupable d'un phénomène responsable d'une hausse de température de la planète [22].

### **II.2.Gestion des risques :**

Conscients des risques liés aux émissions de produits toxiques dans l'air et la pollution de l'eau, les pays industrialisés ont parfois réagi en prenant des mesures pour limiter ces nuisances.

En 1983, l'Assemblée Générale des Nations Unies a proposé la création d'une commission mondiale sur l'environnement et le développement, Présidée par Madame Brundtland, cette commission, réunie en 1987, a produit un rapport « Our Common Future » dans lequel apparaît pour la première fois la définition du développement durable : « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Au cours du premier sommet de la Terre, en 1992 à Rio de Janeiro, les Nations Unies ont proposé un cadre de travail sur le changement climatique et publié l'Agenda 21 programme des actions à entreprendre dans chaque domaine où l'Humain affecte directement l'environnement. Différentes initiatives mondiales ont suivi, comme le premier sommet de la Terre tenu à Johannesburg en 2002 (dixième anniversaire du sommet de Rio), qui réunissait toutes les nations autour du thème du développement durable [22]. En 1990 Le Congrès des USA a adopté la loi de prévention de la pollution pour contrôler la pollution industrielle [25].

A la potentialité des risques sanitaires et environnementaux répond la volonté de développer une recherche dite d'Innovation Responsable consistant pour la politique scientifique à « minimiser les risques et maximiser les bénéfices ». Cette recherche se situe au croisement des quatre domaines :

- demande des consommateurs
- contraintes environnementales
- efficacité économique
- innovation scientifique

C'est au recouvrement de ces quatre domaines que l'on trouve l'autre engagement volontaire des chimistes qui a conduit à proposer la Chimie Verte [22].

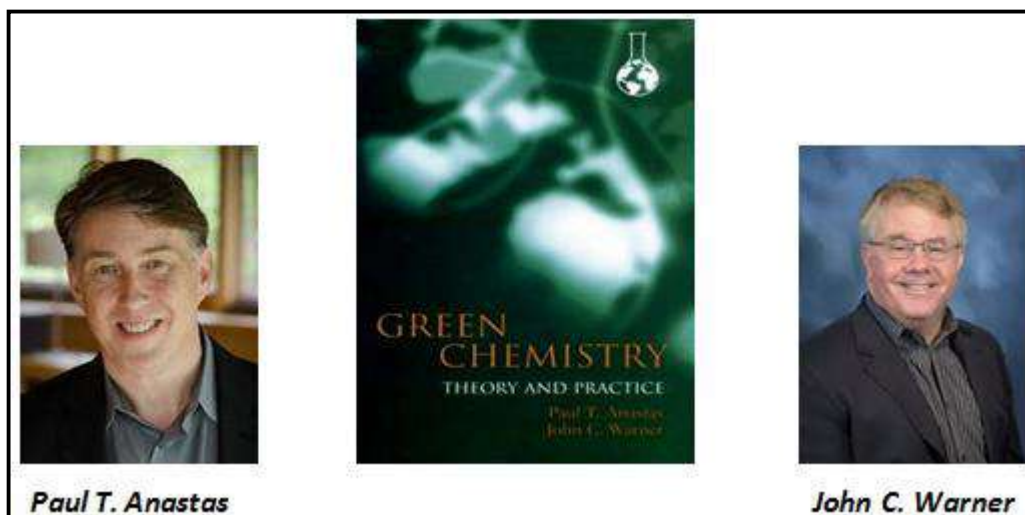


Fig 19: Livre "Green chemistry: theory and practice"

### II.3. Définition de la chimie verte

La chimie verte a pour fondements la conception, le développement et l'implantation de procédés et de produits chimiques, dans le but de réduire ou d'éliminer les substances dangereuses à la santé humaine ou l'environnement [25]

### II.4. Les 12 principes de la chimie verte :

En 1998 Paul Anastas et John Warner, chercheurs à l'Agence américaine pour l'environnement (EPA), ont jeté les bases théoriques de cette nouvelle discipline en publiant un ouvrage énonçant 12 principes fondateurs [26] :

#### *II.4.1. Prévenir la pollution à la source :*

C'est imaginer un procédé chimique qui évite la production de futurs résidus qui deviendront des déchets.

#### *II.4.2. Economiser la matière première :*

L'économie d'atomes, c'est être capable, au sein d'une même matière première, de récupérer toutes les molécules utilisables pour diverses applications dans l'énergie, la cosmétique, l'agro-alimentaire. Il faut pour cela des outils de séparation très puissants.

#### *II.4.3. Travailler dans des conditions plus sûres :*

C'est envisageable grâce à l'utilisation de conditions opératoires douces (température ambiante, faible pression...) et l'utilisation préférentielle de produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement.



### ***II.4.4. Concevoir des produits chimiques moins toxiques :***

Il faut mettre au point de nouvelles molécules à la fois plus efficaces et non toxiques. L'innocuité est évaluée par des études toxicologiques à l'échelle cellulaire et au niveau de l'organisme.

### ***II.4.5. Utiliser des solvants non toxiques :***

C'est rechercher des alternatives aux solvants organiques toxiques et polluants, tels que le benzène, le chloroforme, le trichloréthylène, produits chimiques de sinistre réputation.

### ***II.4.6. Economiser de l'énergie :***

C'est limiter les dépenses énergétiques et mettre au point de nouveaux matériaux efficaces pour le stockage de l'énergie. C'est aussi rechercher de nouvelles sources d'énergie à faible teneur en carbone pour générer de faibles émissions de gaz à effet de serre.

### ***II.4.7. Utiliser des ressources renouvelables :***

C'est préférable à l'utilisation de ressources fossiles ; La biomasse, qui représente l'ensemble de la matière organique qui compose les plantes, les arbres, les déchets animaux, agricoles ou urbains, peut judicieusement servir de matière première renouvelable. Dans le même esprit, ce concept peut être étendu à l'utilisation d'énergies renouvelables.

### ***II.4.8. Réduire l'utilisation de molécules intermédiaires :***

C'est préférer (lorsque c'est possible) mettre en œuvre des réactions directes. En effet, les étapes intermédiaires consomment des produits chimiques qui vont, fatalement devenir des déchets.

### ***II.4.9. Préférer les procédés catalytiques aux procédés classiques :***

Un catalyseur est une substance rajoutée à une solution chimique et qui rend possible une réaction chimique. Il accélère la vitesse de réaction en abaissant l'énergie nécessaire à apporter pour que deux molécules réagissent entre elles. Le catalyseur sort inchangé du processus chimique, il est donc recyclable.

### ***II.4.10. Concevoir un produit chimique en vue de sa dégradation finale :***

Un produit chimique finira irrémédiablement par devenir un déchet. Lorsque cela est possible, il vaut mieux le concevoir avec l'idée que tout ou partie du déchet qu'il va devenir peut-être recyclé. Il doit de plus être conçu de manière à ce que sa dégradation future, naturelle ou accélérée, ne conduise pas à la création de sous-produits dangereux.

## Chapitre II : ..... Notions sur les 12 principes de la chimie verte

---

### *II.4.11. Analyser en temps réel les produits chimiques et leur empreinte dans l'environnement :*

C'est prévenir la pollution, en contrôlant le suivi direct des réactions chimiques. Il faut être capable de détecter et de quantifier la présence d'agents chimiques et biologiques réputés toxiques, même à l'état de traces.

### *II.4.12. Développer une chimie fondamentalement plus sûre :*

C'est choisir judicieusement les matières premières chimiques pour prévenir les accidents, explosions, incendies et les émissions de composés dangereux. La forme du produit chimique est en outre importante : une molécule gazeuse diffuse plus dans l'environnement que la même molécule sous forme solide... » [21]

## **II.5. Pour quoi 'Verte' ?**

Dans une interview publiée dans le journal de recherche 'Nature' en 2011, anastas a été demandé comment avez-vous trouvé le nom de la chimie verte il a répondu que le vert est la couleur de la nature mais aux États-Unis, le vert est aussi la couleur de notre argent. Il a toujours été question de savoir comment atteindre simultanément vos objectifs environnementaux et économiques [27].

*Chapitre III*  
*Cas pratique de biomatériaux*  
*(biofiltre)*

*Partie 1*  
*Biomatériaux*

### Introduction

La science des biomatériaux est l'un des domaines les plus intéressants, jusqu'à nos jours de nombreuses questions sont toujours sans réponse. La difficulté le plus souvent abordée dans l'étude des biomatériaux est celle de la réponse de l'organisme aux implants. Cette réponse n'est pas toujours favorable à cause de nombreux problèmes qui peuvent apparaître après l'implantation. [28]

Cette science s'intéresse non seulement à l'élaboration de nouveaux matériaux utilisables en pratique clinique, mais aussi à l'évaluation de leur comportement globale dans le corps humain à plus ou moins long terme [29]

#### III.1.1.Définition

Un biomatériau est un matériau non viable conçu pour interagir avec les systèmes biologiques, il participe à la constitution d'un dispositif destiné à être mis en contact avec l'environnement physiologique. Le facteur vraiment important qui distingue un biomatériau des autres matériaux est sa capacité de pouvoir être maintenu en contact avec des tissus du corps humain sans causer d'endommagements de quelque nature que ce soit.

D'après Jandt, l'évolution des biomatériaux au cours du dernier siècle peut se diviser en quatre générations de matériaux qui se distinguent, en tenant compte des différents besoins, des matériaux implantables en contact avec le corps humain et en milieu biologique.

- La première génération comprend les matériaux en acier, en polyéthylène et les Métaux nobles tel que l'or
- La deuxième génération comprend des matériaux utilisés auparavant dans L'aéronautique, mais ils sont inertes et passifs avec d'excellentes propriétés mécaniques.
- La troisième génération a fait son apparition. Elle comprend les matériaux qui ont des similitudes avec les tissus de l'os au moins dans sa composition chimique comme l'hydroxyapatite, les composés de calcium-phosphates et les bio-glass.
- La quatrième génération présente une véritable révolution. Il s'agit des matériaux implantables qui interagissent en profondeur avec les systèmes biologiques. Ces matériaux peuvent même lutter contre les infections qui apparaissent après l'implantation.[28]

### III.1.2. Biocompatibilité :

La biocompatibilité est une propriété fondamentale dans le domaine des biomatériaux. Elle peut donc être définie comme la compatibilité entre un système technique et un système biologique. C'est aussi l'absence de réaction de l'organisme vis à vis d'un matériau sous la forme d'un élément complet ou sous forme de produits d'usure ou de corrosion susceptibles d'être libérés par cet élément.

La biocompatibilité se divise en deux catégories la biocompatibilité structurale et la biocompatibilité des surfaces.

#### III.1.2.1. Biocompatibilité structurale :

Elle est le résultat d'une harmonisation entre les propriétés de la structure du matériau artificiel et du système biologique,

#### III.1.2.2. La biocompatibilité des surfaces :

Est la compatibilité du point de vue topographique et biochimique entre le biomatériau et les cellules environnantes. Elle définit l'aptitude de la surface de l'implant à favoriser ou défavoriser l'adhésion et le développement cellulaire [30]

### III.1.3. Bioactivité :

La bioactivité est définie comme la propriété de créer des liens « chimiques » étroits au niveau de l'interface implant / tissu receveur. Elle dépend directement des propriétés physico-chimiques du matériau et elle s'oppose à la bioinertie (matériaux biocompatibles mais inertes).[31]

### III.1.4. Les différentes classes de biomatériaux :

#### III.1.4.1. Métaux et alliages métalliques

Ce sont en quelques sortes les « ancêtres » des biomatériaux puisque ce sont les premiers qui ont été utilisés pour faire des implants.

- **Les aciers inoxydables :**

L'intérêt de l'acier dans ce domaine réside dans ses excellentes propriétés mécaniques. Ils sont largement utilisés en chirurgie orthopédique.

- **Les alliages cobalt – chrome :**

Sont principalement utilisés dans le domaine des chirurgies cardiovasculaires, orthopédiques et l'implantation dentaire. On les trouve également utilisés en implant dentaire, barre spinale et dans la reconstruction d'orbite oculaire.

- **Les alliages à base de nickel :**

Le nickel est un métal facile à travailler, donc les alliages à base de nickel ont servi pour la fabrication de prothèses dentaires. Mais ces matériaux sont susceptibles d'être fissurés par corrosion, raison pour laquelle ils sont peu employés

- **Les alliages à base de titane :**

Le titane et ses alliages sont de loin les biomatériaux métalliques les plus fréquemment utilisés, grâce à leurs bonnes propriétés mécaniques.

Ils représentent des matériaux de choix pour les applications biomédicales.

- **Métaux nobles :**

A cette catégorie, on rattache le tantale, le palladium, le platine, l'or, l'argent, l'iridium et le niobium. La plus connue est l'utilisation de l'or en dentisterie.

Le coût élevé de ces matériaux rend leur utilisation de plus en plus rare.[31]

- **Les problèmes mal résolus avec les métaux et alliages métalliques sont :**

- corrosion électrochimique et durabilité,
- mécanismes de dégradation non électrochimiques incluant les interactions protéine/métal,
- réactions immunitaires et d'hypersensibilité,
- adaptation des propriétés mécaniques,
- propriétés de frottements et problèmes de débris [32]

### III.1.4.2. Les Céramiques :

Les céramiques sont des matériaux inorganiques, composés d'oxydes, de carbures, de nitrures et de borures. Les céramiques présentent des liaisons chimiques fortes de nature ionique ou covalente. Elles sont mises en forme à partir d'une poudre de granulométrie adaptée qui est agglomérée. Dans une deuxième étape la densification et la consolidation de cet agglomérat sont obtenues par un traitement thermique appelé frittage. Les matériaux les plus rencontrés sont l'alumine, la zircone, hydroxyapatite, phosphate tricalcique et les verres bioactifs. L'alumine et la zircone sont principalement utilisées dans les têtes de hanche et pour les implants dentaires [31]

- **Céramiques bioactives**

Comme déjà présenté, le terme de matériaux bioactifs s'applique aux biomatériaux conçus pour engendrer ou moduler une activité biologique. Les deux principaux composés représentant cette famille sont l'hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (HA) et les bio verres [31]

<b>céramique</b>	<b>Formule chimique</b>	<b>Type</b>
Alumine	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Bioinerte
Zircone	$\text{ZrO}_2$	Bioinerte
Barreier	$\text{Na}_2\text{CaOP}_2\text{O}_3.\text{Si}$	Bioinerte
Hydroxyapatite	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	Bioinerte
Phosphate tricalcique	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$	Bioactive+biorésorbable

- **Les principaux problèmes mal résolus avec les céramiques sont :**

- Les mécanismes de dégradation,
- La durabilité,
- La résistance à la fracture
- L'activité de surface,
- L'adhésion des protéines ou des cellules en surface [32]

### **III.1.4.3. Les polymères :**

Les polymères s'intéressent aux propriétés des matériaux formés de longues molécules, assemblages en chaînes de dizaines de molécules peuvent être observés à l'état solide, liquide, en solution, Il existe de nombreux matériaux polymères utilisés dans les biomatériaux. Les deux grandes tendances pour l'usage de ces matériaux concernent :

- **La recherche de polymères fonctionnels :**

C'est des matériaux susceptibles d'avoir une fonction chimique à l'interface matériau-tissu vivant. C'est par exemple en fixant sur le polymère des particules ionisés permettant une meilleure reconstruction osseuse ou ligamentaire. Cette fonctionnalité peut aussi prendre source dans la modification de l'état de surface du polymère.

- **La recherche de polymères résorbables :**

Tels que les copolymères d'acide lactique et glycolique utilisables en chirurgie orthopédique, qui sont utilisés dans les formes retard de médicaments.[31]



- *Les principaux problèmes des polymères non résorbables :*

- Instabilité au rayonnement gamma,
- Réactivité à certains types de médicaments,
- Stabilité hydrolytique,
- Calcification [32]

### **III.1.4.4. Les autres matériaux :**

D'autres matériaux comme les composites et les matériaux d'origine naturelle sont actuellement sources de nombreuses recherches. Les premiers présentent l'intérêt d'avoir la même structure que l'os qui lui-même est un matériau composite. En fin, les matériaux d'origine naturelle (cellulose, corail, nacre, chitosane, ...) présentent l'avantage d'être totalement biocompatibles. [28]

*Partie 2*

*Généralités sur le charbon actif*

### III.2.1.Définition :

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement pour augmenter sa surface. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 100 à 2000 m<sup>2</sup>/g d'où sa grande capacité d'adsorption.

La structure du charbon actif est proche de celle du graphite, ordonnée sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone disposés en hexagones réguliers [33]

### III.2.2.Origine et fabrication

La fabrication du charbon actif passe nécessairement par l'identification et le choix de la matière première. Les matières premières peuvent être obtenues à partir d'un grand nombre de matériaux contenant le carbone d'origine végétale, animale ou minérale.

#### *III.2.2.1.Origine végétale :*

Il existe une multitude de produits d'origine végétale qui peuvent intervenir dans la synthèse des charbons actifs et sous différentes formes variées :

- Déchets agricoles non utilisables exemple : Noyaux de fruit, coque de noix de coco ; bagasse de canne à sucre
- Paille et enveloppes de céréales exemple : blé et riz
- Arbre sous forme de copeaux ou de sciure de bois exemple : Bouleau, chêne, Eucalyptus lignite

#### *III.2.2.2.Origine animale :*

Les charbons activés sont essentiellement obtenus à partir d'ossements d'animaux, mais aussi à partir de leur sang voire de leur chair.

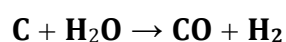
#### *III.2.2.3.Origine minérale :*

Les charbons actifs sont obtenus en grande majorité à partir de matériaux combustibles comme le charbon minéral (houille, coke) ou la tourbe. [19]

### III.2.3.Fabrication :

#### *III.2.3.1.Procédé physique :*

Le matériau brut est carbonisé à une température d'environ 600°C pendant 6 à 8h. L'activation est une oxydation ménagée à haute température (700 à 1000°C) en présence d'un mélange faiblement oxydant de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone pendant 24 à 72h. Le carbone est consommé par la réaction :



La réaction se développant plus facilement suivant des directions où le carbone est moins dense, elle crée des « tunnels », ce qui développe la microporosité. [7]

### ***III.2.3.2.Procédé chimique :***

La carbonisation et l'activation sont réalisées simultanément entre 400 et 600°C en présence d'acide phosphorique ou de chlorure de zinc (ce dernier est interdit pour les applications agroalimentaires).

Ces agents interviennent comme catalyseur d'oxydation et permettent à la fois le développement de la microporosité et de la méso porosité par élargissement du diamètre des pores. La fabrication s'achève par des opérations de granulations, de tamisage et de conditionnement. [34]

### **III.2.4.Texture du charbon actif**

La texture du charbon actif se caractérise essentiellement par deux paramètres qui sont l'aire spécifique et la porosité. Ils sont essentiels pour la détermination des capacités et des cinétiques d'adsorption. Une classification simple permet de distinguer trois sortes de pores Il s'agit des :

#### ***III.2.4.1.Macropores :***

Ils possèdent un rayon moyen compris entre 500 et 1000 Å et peut atteindre jusqu'à 20000 Å. L'ordre de grandeur de leurs aires massiques (0,5 à 2 m<sup>2</sup>/g) montre qu'ils influencent faiblement la capacité d'adsorption.

#### ***III.2.4.2.Mésopores :***

Ils ont un rayon compris entre 18-20 Å et 500-1000 Å. Leurs surfaces spécifiques (25 à 75 m<sup>2</sup>. g<sup>-1</sup>) montrent qu'ils peuvent influencer moyennement la capacité d'adsorption. En effet, les phénomènes de condensation capillaire ne peuvent se dérouler qu'à l'intérieur de ces mésopores. Ils sont considérés comme des pores de transition en contrôlant le passage des adsorbats vers les micropores.

#### ***III.2.4.3.Micropores :***

Ils constituent pratiquement l'essentiel de la surface spécifique totale (95 %). Leur rayon qui est inférieur à 18-20 Å (de l'ordre de la taille des molécules simples) leur confère un très grand rôle dans le processus d'adsorption. [11]

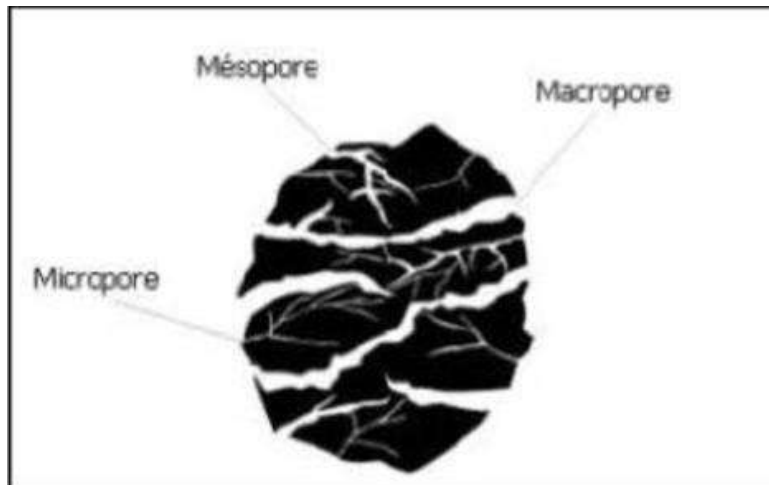


Fig. 20 : Représentation schématique des différents types de pores.

### III.2.5. La surface spécifique :

La surface spécifique représente la surface totale par unité de masse du produit accessible aux atomes et aux molécules. Il s'agit donc de considérer toute la surface de chaque particule, porosité ouverte comprise. Le volume poreux étant important, la surface développée est énorme : de 500 à 1500 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>. Notons que ce sont essentiellement les micro et mésopores qui créent de la surface. La surface spécifique est calculée en mesurant la quantité d'un gaz adsorbé à basse température (généralement l'azote à 77 K) et en supposant que la surface est recouverte par une monocouche de molécules. La surface spécifique dépend directement de la porosité ; plus la microporosité est grande plus la surface spécifique est importante. [16]

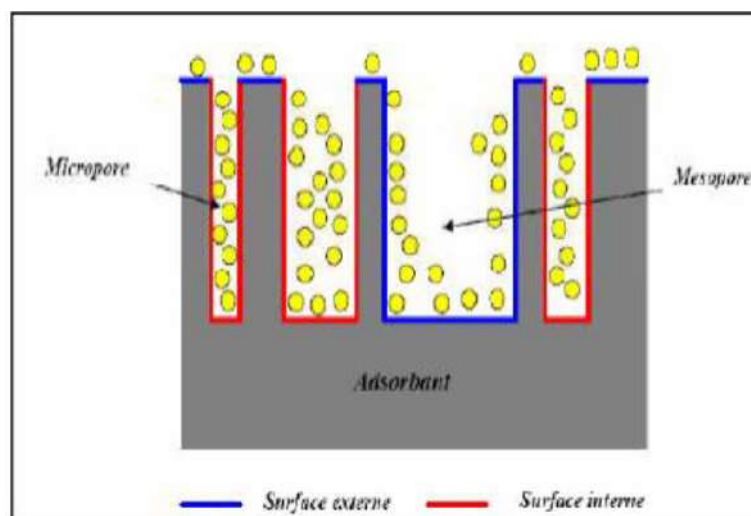


Fig. 21 : Représentation schématique de la surface interne et externe d'un charbon actif

### **III.2.6.Les différentes formes du charbon actif :**

Il Ya plisseurs type de charbon actif Nous mentionnons trois types célèbres :

Charbon actif en grain (CAG)

Charbon actif tissu (CAT)

Charbon actif en poudre (CAP)



Fig. 22 : CA en grain (CAG).



Fig. 23 : CA en tissu (CAT).



Fig. 24 : CA en poudre (CAP).

### **III.2.7.Principales applications :**

Les charbons actifs sont utilisés dans plusieurs domaines :

- 1- Le traitement des eaux potables ou des eaux industrielles ou des eaux résiduaires
- 2- La purification industrielle des produits pharmaceutiques, chimiques ou Alimentaires (sucre, huiles végétales...).
- 3- l'action catalytique en tant que support de catalyseur.
- 4- Le charbon actif élimine les couleurs et les impuretés de produits bruts, il est employé par exemple pour la décoloration du sucre de canne ou de betterave. [11]

## *Partie expérimentale IV*

### Introduction

Ce chapitre est réalisé au laboratoire de génie des procédés dans le centre de recherche à l'université Kasdi Merbah Ouargla. Nous exposons les produits et les matériels, ainsi que les méthodes expérimentales et analytiques, pour étudier les l'influence différents paramètres sur le processus d'adsorption colorant méthyl orange sur le charbon actif qui sont : La concentration initiale en polluant et le pH.

#### IV.1.1. Matériels et appareillage

- ✓ Pipette graduée
- ✓ Fiole jaugée
- ✓ Verre de montre
- ✓ Bécher
- ✓ Eprouvette graduée
- ✓ Pissette
- ✓ Papier pH-mètre
- ✓ Une étuve
- ✓ Burette
- ✓ Tube à essai
- ✓ Papier d'aluminium
- ✓ Coton
- ✓ Agitateur velp RX3
- ✓ Une balance analytique type Kern
- ✓ Four
- ✓ Colonne d'adsorption



### Spectre UV- visible



Fig. 25 : Spectres d'absorption en UV- visible

L'analyse par cet instrument s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse passer une fraction de lumière incidente, la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché [7].

#### IV.1.2.Les produits utilisés

- ✓ L'eau distille
- ✓ Méthyl orange
- ✓ Charbon actif
- ✓ Hydroxyde de sodium (NaOH)
- ✓ Acide chlorhydrique (HCl)
- ✓ Gel de silice

### IV.1.3.L'adsorbats et l'adsorbant

#### IV.1.3.1.L'adsorbats

Plusieurs industries utilisent des colorants synthétiques pour teindre de différentes manières leurs produit, ce qui conduisent à la pollution par le rejet de ces déchets organiques. En effet, ces colorants doivent être traités pour minimiser leur impact.

Le colorant étudié est le méthylorange (MO) appartient à la famille anionique ou acide, aussi appelé Hélianthine de formule chimique  $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ . Ce colorant se présente sous forme d'une poudre cristalline d'un jaune orangé. Il est couramment utilisé en chimie comme indicateur coloré pour marquer la présence d'un milieu acide (il vire en rose-rouge) ou d'un milieu basique (il vire en jaune orangé). [33] Les propriétés chimiques et physiques de méthyle orange sont présentées dans la figure suivante :


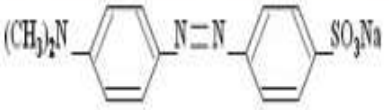
Nom commercial Nom chimique	Méthylorange Orange de Méthyle	Aspect et structure chimique
Famille	Colorants azoïques	 
Formule brute	$C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$	
Solubilité dans l'eau ( $g.L^{-1}$ ) à 19,85 °C	5,20	
Point de fusion	> 300°C	
pH	-	
Masse molaire ( $g.mol^{-1}$ )	327,33	
Masse volumique ( $g.cm^{-3}$ )	1,28	

Fig. 26 : Caractéristiques physico-chimiques du méthylorange et sa structure chimique

### IV.1.3.2. Adsorbant

L'adsorbant utilisé est charbon actif.

### IV.1.4. Procède de fabrication du charbon actif

Les procédés industriels de production de CA comportent généralement deux étapes sont : l'activation et la carbonisation.

Nous avons utilisé les noyaux de dattes de la région de Ouargla (sud-est d'Algérie) on a choisi les noyaux de dattes variété GHARS (les plus disponibles).

### IV.1.5. Mode opératoire :

- Les dattes sont lavées avec de l'eau et calibrées en petits morceaux.
- Chauffage des noyaux pendant 3 heures pour éliminer les huiles ajoutées dans les pores.  
Après avoir sécher au four.



Fig. 27 : lavage des noyaux



Fig. 28 : calibrage des noyaux



Fig. 29 : Chauffage des noyaux



Fig. 30 : séchage des noyaux

## Partie expérimentale IV

---

### *IV.1.5.1.Activation :*

L'activation assure un meilleur développement de la surface spécifique et de la Structure poreuse, Elle est réalisée à l'aide d'agents oxydants physiques ou chimiques

### *IV.1.5.2.L'activation physique :*

Dans notre travail, nous avons procédé à L'activation physique de nos charbons par l'utilisation de l'acide chlorhydrique (HCl)

### *IV.1.5.3.L'activation chimique :*

Nous avons lavé les noyaux avec l'hydroxyde de sodium (NaOH)

- ✓ Nous avons fait une double activation pour assurer qu'on a éliminé totalement tous les huiles et aussi pour assurer une bonne structure poreuse.



Fig. 31 : l'acide chlorhydrique (HCl)

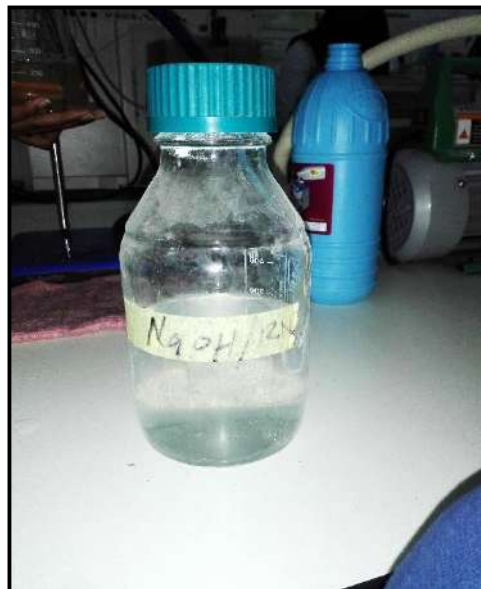


Fig. 32 : l'hydroxyde de sodium (NaOH)



Fig. 33 : L'activation des noyaux de dattes

## Partie expérimentale IV

Après Cette étapes nous avons lavés les noyaux avec l'eau distillé plusieurs fois pour éliminer le HCl et NaOH est obtenu un pH =6



Fig. 34 : Le pH des noyaux au début de traitement



Fig. 35 : Le pH des noyaux lave avec L'eau distillée

### *IV.1.5.4. Carbonisation :*

Nous avons mis les noyaux dans le four à 400°C pendant 2 heures et obtenu un charbon actif, nous le conserve dans des flacons fermés hermétiquement.



Fig. 36 : Le four de carbonisation



Fig. 37 : les noyaux avant la carbonisation



Fig. 38 : les noyaux après la carbonisation

### IV.1.6. La structure poreuse :

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

- Les micropores de diamètre inférieur à 2 nm ;
- Mésopores de diamètre compris entre 2 et 50 nm ;
- Macropores de diamètre supérieur à 50 nm [19]

Dans notre cas notre charbon a une structure poreuse mésopores. Chaque type de pore joue un rôle particulier dans le phénomène d'adsorption, les mésopores favorisent le transport de fluide à la surface interne du charbon actif.

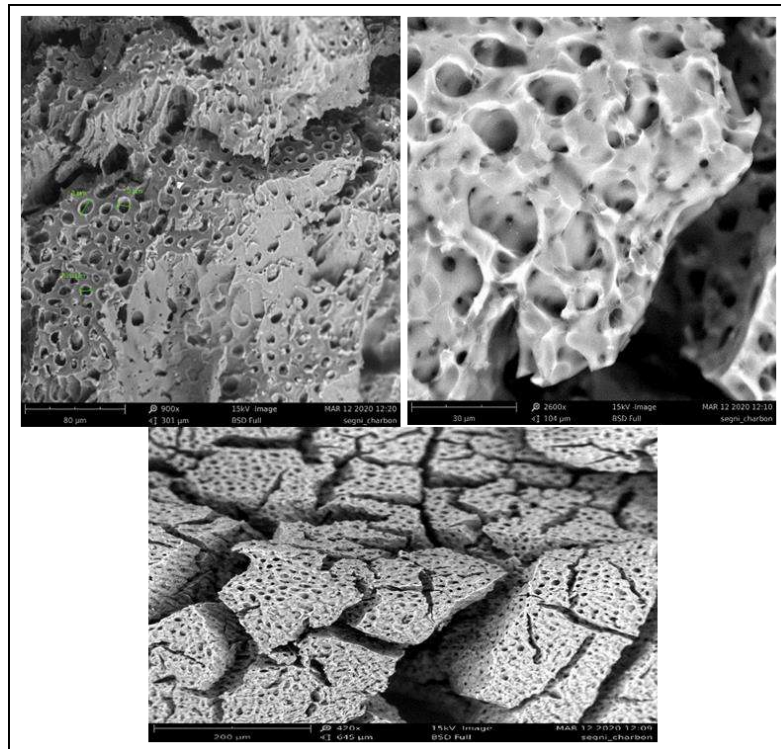


Fig. 39 : La structure poreuse de charbon actif par MEB

### IV.1.7. Préparation de solution mère le méthyl orange :

A l'aide d'une balance analytique et spatule, on met quelque quantité de MO dans une fiole jaugée (100mL) et on ajoute l'eau distillée jusqu'à trait de jauge avec l'agitation.

Nous avons rempli la cuve avec la solution mère et nous mettons dans le spectrophotomètre UV-visible pour obtenir la valeur maximale de la longueur d'onde,  $\lambda_{\max}=466\text{nm}$ .



Fig. 40 : Solution mère de méthyl orange

## Partie expérimentale IV

---

### IV.1.8.Méthode d'analyse :

Pour préparer les échantillons d'une solution de MO :

Nous avons préparé 15 solutions avec des concentrations à partir de 0.5mg/L à 50mg/L sous une agitation magnétique à la température de l'air ambiant. A l'aide de spectrophotomètre UV visible à  $\lambda_{\text{max}} = 466\text{nm}$  on mesure l'absorbance de la solution pour les différentes concentrations.



Fig. 41 : Solutions diluées du MO

### IV.1.9.Préparation de biofiltre :

- 20g du charbon actif (CA) (les noyaux de dattes) : Adsorbant
- La fibre de palmier : pour le calo-fluage et revêtement
- Le coton : pour éviter les fuites
- Le cartouche : pour le revêtement



Fig42 : Le biofiltre



### IV.1.10.Effet de pH :

Pour étudier l'effet de pH sur le phénomène d'adsorption de MO :

- Préparer une solution de méthyle orange de 40mg /L.
- Prendre 4 fioles dans chaque une on ajoute 100ml de la solution mère.
- Chaque fiole est réalisé sous un pH différent à l'autre (4, 7, 9, 11) (volume de solution de pH=10ml)
- Nous passons les solutions par le biofiltre.
- Les filtrats sont analysés par le spectromètre UV visible.



Fig. 43 : Teste de l'effet de pH sur l'adsorption de MO



Fig. 44 : L'adsorption de MO par le biofiltre

## Partie expérimentale IV

---

Tab V : L'effet de pH sur l'adsorption de MO

100ml de solution de MO+ 10ml de solution de pH	pH=4	pH=7	pH=9	pH=11
ABS	0.305	0.255	0.308	0.690

### IV.1.11. Formule de calcul :

Le rendement d'élimination du méthyle orange, noté R et exprimé en pourcentage (%), il est défini par :

$$R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \cdot 100$$

$C_0$  : La concentration initiale de MO à t=0 (mg/g)

$C_e$  : La concentration en colorant à l'instant t (mg/g)

*Partie 2*  
*Résultats et discussions*

### Introduction :

Dans cette partie, nous représentons les résultats obtenus à partir des expériences menées dans l'étude de l'adsorption du colorant azoïque (élimination du méthyle orange de l'eau par le biofiltre), discutés et interprétés.

#### IV.2.1. La courbe d'étalonnage :

La courbe d'étalonnage du MO a été obtenue en mesurant l'absorbance "A" des solutions du MO diluées à concentration comprises entre 0.5 et 50mg/L (le tableau VI) à la longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  = 466 nm (figure 45). Nous avons tracé la courbe de l'absorbance en fonction de la concentration (ABS=f(c)) avec un coefficient de corrélation  $R^2=0.9412$ .

Tab VI : Les valeurs des densités optiques correspondantes aux différentes concentrations.

C mg/L	0.5	1	2	3	4	5	10	15	20	25	0	35	40	45	50
ABS	0.047	0.094	0.189	0.283	0.378	0.473	0.946	1.805	2.147	2.566	2.679	2.648	2.719	3.176	3.571

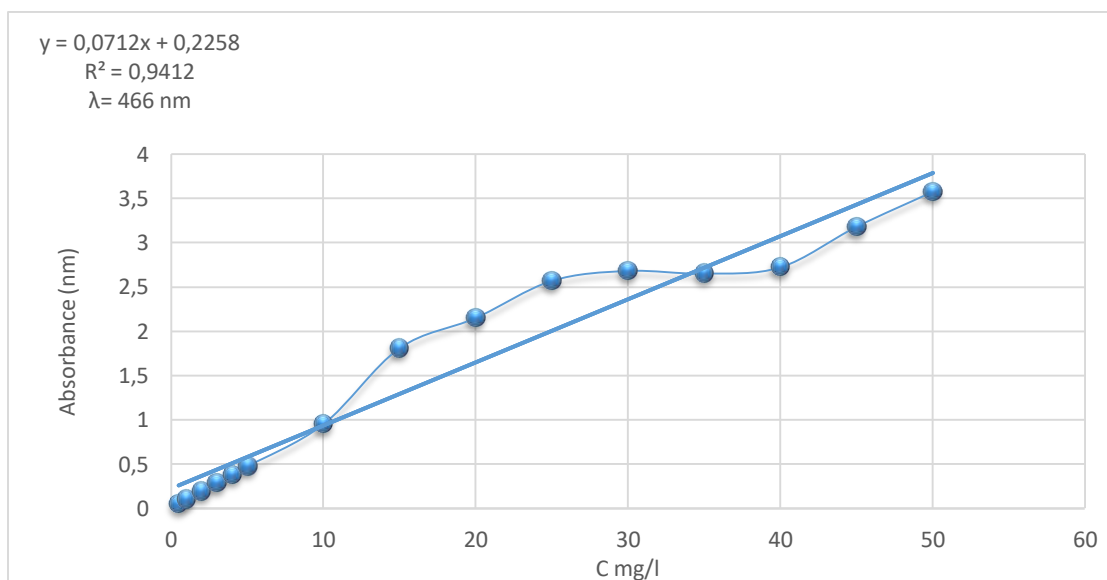


Fig. 45 : Courbe d'étalonnage de méthyle orange

Pour déterminer les concentrations résiduelles de MO dans la phase liquide à l'instant, on utilise l'équation linéaire suivante :

$$Y = 0.0712 X + 0.2258$$

Tel que :

Y : l'absorbance (A) à l'instant.

X : La concentration résiduelle de MO à l'instant.

### IV.2.2. Effet de pH sur l'adsorption de MO :

Le pH initial des solutions colorées est un paramètre très important pour contrôler le processus d'adsorption, il a un effet sur la quantité adsorbée. Il peut changer la charge de la surface de l'adsorbant, le degré d'ionisation de l'adsorbat et le degré de la dissociation des groupes fonctionnels des sites actifs de l'adsorbant.

Dans notre étude nous avons suivi l'effet de pH sur l'adsorption de Mo par le biofiltre sur une concentration de 40mg/L à différentes pH (4, 7, 9, 11). Le tableau (VII) et figure (46) représentent les résultats sur l'effet de pH sur l'adsorption de MO.

Tab VII : L'influence de pH sur l'adsorption de MO par le biofiltre.

pH	4	7	9	11
C mg/L	1,112	0,41	0,115	0,651

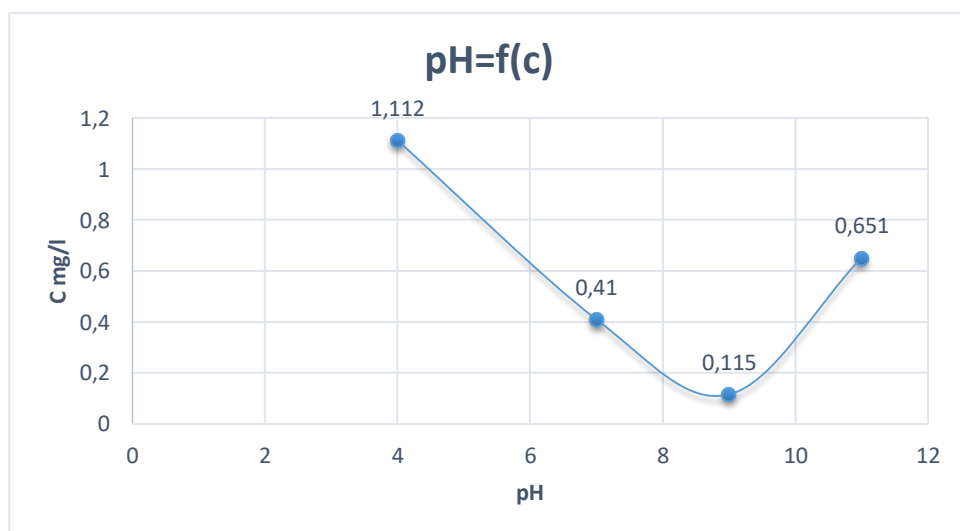


Fig. 46 : L'influence de de pH sur l'adsorption de MO par le biofiltre.

pH < 7 (milieu acide) : Les groupes fonctionnels de surfaces des adsorbants seront protonés par un excès de proton  $H^+$ , donc la surface acquiert une charge positive.

pH > 7 (milieu basique) : Les groupes fonctionnels des surfaces des adsorbants seront déprotonés par la présence des ions  $OH^-$  de la solution, donc la charge de surface est négative.

Les résultats présentés dans la figure (46) montrent que la concentration de MO atteint sa valeur maximale à pH=4 avec 1.112mg/L. On s'attend qu'il y'a des attractions électrostatiques élevées entre les charges positives des surfaces de l'adsorbant et les charges négatives du MO dans la solution aqueuse acide (pH<7).

Alors qu'en milieu basique les charges négatives ( $OH^-$ ) sont augmentées avec l'augmentation de pH (pH > 7), ce qui favorise la répulsion électrostatique entre le colorant chargé positivement et la surface chargée négativement.

Nous concluons que cette colorant est bien adsorbée par le biofiltre en milieu basique à pH=9.

### IV.12.3.Le rendement d'adsorption :

Nous avons calculé le rendement par la relation suivante :

$$R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

Où :

$C_0$  : La concentration initiale de MO à t=0 = 50mg/L

$C_e$  : La concentration en colorant à l'instant t (mg/g) = 0.5mg/L

$$R = \frac{50 - 0.5}{50} \times 100 = 99\%$$

On a atteint un rendement de traitement de 99%

## **Conclusion générale :**

L'objectif de ce travail est de développer un biofiltre pour traiter les colorants chimiques des eaux industriels.

Les résultats obtenus sont très encourageants, le rendement de traitement pour le biofiltre ont attend 99%, le biofiltre conçu et compatible au pH acide et basique ainsi aux colorants organiques et minérales.

On souhaite que notre solution trouve un intérêt particulier et une application pour une startup.

Comme recommandation on propose d'élargir l'application de ces biofiltres dans différent secteur de traitement des effluents que ce soit potable ou non potable, de même usage domestique et industriel.

## REFEENCES :

- [1]: M. Daoud, O. Benturki, *Activation d'un charbon à base de noyaux de jujubes et application à l'environnement. Adsorption d'un colorant de textile*, Revue des Energies Renouvelables SIENR Ghardaïa, 2014, pages 14:155-62.
- [2]: H.Kaur, *Polluted Environment and Mental Sickness*, Shaheed Udham Singh College of Education, Mehlan Chowk, Tehsil Sunam, Distt. Sangrur, March 2015
- [3]: M.J. Ahmed, S.K. Dhedan, *Equilibrium isotherms and Kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural Wastes-based activated carbons*, Fluid Phase Equilibria, 317 (2012) 9-14.
- [4] : Khaoula Sehailia & Fatma Talbi, *Etude d'adsorption du Rouge Congo en phase aqueuse sur les feuilles de palmier*, Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019, page 4,6,16,17,19
- [5] : Mr BELHADJI Hicham & MOUMENI Ouassini, *Etude des performances épuratoires d'une station d'épuration des eaux usées de l'industrie textile : cas de la STEP de Sebdou*, Mémoire de master, UNIVERSITE ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN, 2016, page 11
- [7] : Medekhel Abdallah, *Adsorption du bleu méthylène par charbon actif*, Mémoire de master, Université Echahid Hamma Lakhdar -El Oued-, 2018, page 4, 5,12, 27,28
- [8] : CHEBLI Derradji, *Traitement des eaux usées industrielles : Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique*, Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, 2012, page 5
- [9] : Nour BOUANIMBA, *Etude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants : Impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photocatalytique de TiO<sub>2</sub>*, Thèse de doctorat, Université - Constantine 1, 2014, page 7, 9 ,12,13,17
- [11] : Mr Lamri NAIDJA, *Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption*, Magister en chimie, Université Mentouri de Constantine, 2010, page 9,10,11,26,27,29,31,32
- [12] : HALIMACHENINI, *Etude de la dégradation par voie photochimique de polluant organique « ORANGE G » en milieu aqueux homogène et hétérogène*, Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine, page 5,8
- [13] : Samira Guendouz, *Biosorption des colorants textiles, Ecarlate Solophényl BNLE et Vert Cibacron par la biomasse sèche de lentilles d'eau*, thèse de doctorat, Université de Badji Mokhtar Annaba, 2014, page 18
-



- [14] : ARAR SOUMIA, *ADSORPTION DU COLORANT JAUNE D'ALIZARINE SUR DIFFERENTS BIOMATERIAUX*, Mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi Oum el bouaghi, 2015/2016, page 9,24,25,27
- [15] : GHEDABNA DJIHED, *Elimination des colorants bleu de méthylène et jaune d'alizarine des eaux par adsorption sur un biomatériau*, mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi (Oum el bouaghi), 2016, page 8,18,19
- [16] : SEKRIFA Mohamed Lamine, *Étude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux*, thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2012/2013, page 3,4,6, 23,30
- [17] : Mlle Benamraoui Faouzia, *Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture*, Diplôme de magister, Université Ferhat Abbas Setif-1, 2014, page 10,11
- [18] : BENAÏSSA Asma, *Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle*, Mémoire de master, Université Abou Bakr Balkaid ,Tlemcen-Algérie, 2012, page 14
- [19] : Samia. ZEGGAI et Lemya KHERCHOUCHE, *Etude de l'adsorption d'un colorant textile en solutions aqueuses sur un charbon actif*, Mémoire de master, Ain Defla, Université Djilali Bounaama KHEMIS MILIANA, 2018, page 16, 20,21
- [20] : Ines BOUAZIZ KARIME, *Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique*, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2014, Page 35
- [21], F. Legrand, *chimie verte : repenser la chimie pour le monde de demain*, cea de la recherche à l'industrie, page 4,55,56, 20/01/2015
- [22], A. lattes, *Du développement durable à la chimie verte*, Résumé de la conférence l'Assemblée générale "Chercheurs Toujours", page 9,10,11, 17 Janvier 2012
- [23], Y. Fort, *la chimie verte*, Conférence La chimie éco-compatible: mythe ou réalité ?, Université de Lorraine, 26 avril 2012
- [24], Ch. A. chisholm, *Life after the scandal: thalidomide, family, and rehabilitation in modern canada, 1958-1990*, Thesis of doctorate, Carleton University, page ii, 2019
- [25] : Gro Harlem Brundtland, *World Commission on Environment and Développement*, rapport Brundtland , United Nations, 1987
- [26] :S. Sarrade, *La Chimie d'une planète durable*, Editions Du pommier, 2011
- [27]:K. Sanderson, *Chemistry: It's not easy being green*, journal of Nature, 469, 18–20(2011),
-

- [28] : CHETIBI Loubna, *Elaboration et étude des biomatériaux nanostructures de type Hydroxyapatite/MWCNTs/TiO2/Ti*, Thèse de Doctorat, Université Constantine 1, 2014, page 1,3,4, 6
- [29] : RAHAL Bouzid, *Elaboration d'un biomatériau à base de titane par frittage et sa caractérisation électrochimique en comparaison avec un implant classique*, mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2009, page 16
- [30] : BELGHERRAS MOHAMMED ELNEDHIR, *Comportement mécanique du ciment orthopédique sous chargement dynamique*, Thèse de doctorat, Université Djilali Liabes Sidi Bel-Abbes, 2018, page 41,43
- [31] : OUALID Zouaoui, *Effet du Na2O sur la synthèse du verre 52S4 par voie sol-gel*, mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016, page 4,7,8
- [32] : Laurent SEDEL et Christian JANOT, *rapport rédigé sur biomatériau*, Faculté de Médecine Lariboisière – Paris l'Université Joseph Fourier - ILL - Grenoble page 10,11,12
- [33] : F. Announ& K.Chaou, *Modélisation par les plans d'expériences d'un procédé d'oxydation électrochimique du méthylorange sur une électrode de MnO2/Ti*, Mémoire de master, Université de Bejaia, 2018, page 7

### **Sites web :**

[6] : file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Garance\_Chap2.pdf

[10]:file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Colorants%20végétaux%20et%20naturels%20dans%20les%20tapis%20%20Tout%20Sur%20Les%20Tapis%20%20%20Tout%20sur%20les%20tapis.htm

---