

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES
SCIENCES
DE LA NATURE ET DE LA
VIE
N:.....



DOMAINE: SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE
FILIERE: BIOTECHNOLOGIE
OPTION: BIOTECHNOLOGIE
VEGETALE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: Khaoula Bouguerra

Intitulé

**Elimination des colorants en ses
solution aqueuses par adsorption sur
les charbons actifs et les argiles**

Soutenu devant le jury composé de:

BOUNAR Rabah	Université de M'Sila	Président.
TERCHI Smail	Université de M'Sila	Rapporteur.
DJRIOUI Ammar	Université de M'Sila	Examineur.

Année universitaire : 2022/2023

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents qui m'ont fortement soutenu tout au long de ma vie et dans tout projet que j'ai voulu mettre en place. Tous mes sentiments de gratitude et de fierté en eux. Dieu Tout-Puissant. Je leur donne santé et bonheur tout au long de leur vie, à tous mes frères et amis qui n'ont jamais cessé un seul instant de me soutenir et de m'encourager pour que j'aille de l'avant, et enfin à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cet humble projet.

Remerciement

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant qui m'a donné la santé morale et physique ainsi que le courage et la force qui m'ont permis d'entreprendre ce travail. Notre professeur, M. Ismail Tershi, a fourni sa formation et ses précieux conseils, sa patience et sa générosité, et je remercie tous ceux qui m'ont enseigné au cours de mon parcours universitaire. Bien sûr, je n'oublie pas tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à faire ce travail, et enfin un merci tout particulier à tous les membres de ma famille, dirigés par mon père, ma mère, mes sœurs Soumia, Hafsa et Lamia, et mon seul soutien est mon frère Zakaria, ainsi qu'à mes amis et collègues pour leur soutien et leurs encouragements.

sommaire

Sommaire

Liste des figures

Listes de tableaux

Introduction générale.....01

Chapitre I : Etude Bibliographique

1.Pollution.....	03
1.1. Définition de la pollution.....	03
1.2 Source de pollution.....	04
1.3. Différents types de pollution	04
1.3.1. Pollution de l'air.....	05
1.3.2. Pollution de sol.....	06
1.3.3 Pollution de l'eau	07
2.LES COLORANTS.....	15
2.1. Historique des colorants	15
2.2. Généralité des colorants	16
2.3. Définition et caractéristiques d'un colorant	17
2.4. Classification des colorants	18
2.5. Toxicité des colorants.....	26
2.6. Impacts environnementaux	28
2.7. Législation sur l'environnement	29
2.8. Méthodes de traitement	29
3.Adsorption	31
3.1. Généralités sur l'adsorption.....	31
3.2. Définition de l'adsorption.....	32
3.3. Types d'adsorption.....	32
3.4. Types des adsorbants.....	33
3.4.1. Le charbon actif	33
3.4.2. Les argiles	36

Chapitre II: utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

❖ Matériel d'argile	42
❖ Matériel du charbon actif.....	47
Conclusion	57
Références Bibliographiques.....	58
Résumé	

Liste des figures

Figure	Titre du figure	la Page
01	Déférents types de pollution	05
02	Pollution des airs	06
03	Pollution de sol	07
04	Répartition de l'eau douce sur terre	08
05	Partage de l'eau dans le monde	09
06	Pollution de l'eau	10
07	Formule développée d'azobenzène	22
08	Formule développée d'Anthraquinone	22
09	Formule développée d'Indigo	23
10	Formule développée duXanthène	24
11	Formule développée de la phtalocyanine	24
12	Formule développée de 2-Nitrophénol	25
13	Formule développée de la Triphénylméthane	26
14	Exemple de pollution d'une rivière avec des teintures d'usine textile	27
15	Phénomène d'adsorption	32
16	Structure d'un charbon actif	34
17	Images de microscopie électronique à balayage de la structure d'un charbon actif	35

18	Représentation schématique de la structure de la kaolinite	37
19	Schéma des structures de la kaolinite et de l'halloysite	38
20	Représentation schématique de la structure d'une montmorillonite	39

Liste des tableaux

Tableau	Titre du tableau	la Page
01	Les Principales classes de toxicité, Échelle de Gosselin	27
02	Classification des principaux types de minéraux argileux.	40
03	Comparaison de la capacité d'absorption d'un groupe de colorants à l'aide d'argile	42
04	adsorption de divers colorants par du charbon actif de différentes sources.	47

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

Le recyclage de l'eau est un aspect important des ressources en eau et des politiques de gestion de l'environnement. Des ressources alternatives et fiables, réduisent la pollution de l'environnement. Le développement industriel a entraîné une augmentation de la quantité de polluants et de déchets toxiques résultant de ce développement, devenu un réel danger. Il affecte l'environnement avec tous ses éléments (eau, air, sol), et parmi les polluants de l'eau les plus importants que nous trouvons les colorants, qui sont l'un des agrégats les plus grands et les plus importants utilisés dans l'industrie chimique dans le monde, où la quantité de colorants produits en (1996 après JC) a atteint 4,5 millions de tonnes. La plupart de ces quantités produites sont des colorants destinés aux industries textiles. La plupart des colorants sont inertes ou non toxiques, bien que certains colorants le fassent. Avec sa haute toxicité sur l'homme.

Les chercheurs ont trouvé plusieurs moyens principaux d'éliminer les polluants de l'eau. Méthodes d'identification des propriétés physico-chimiques et biologiques du polluant. Et ça tourne. Procédés de purification de l'eau utilisant différentes technologies telles que l'échange d'ions et l'osmose inverse...etc. Les méthodes sont coûteuses et ne peuvent être comparées à la technologie d'adsorption en termes d'efficacité et de coût et d'efficacité.

L'adsorption est l'une des technologies les plus importantes de nos jours et l'un des meilleurs moyens d'éliminer les colorants provenant d'eau polluée. À cet égard, j'ai décidé de présenter les études les plus importantes qui ont porté sur le projet d'élimination des colorants des solutions aqueuses à l'aide de charbon actif et de matériaux argileux.

Ce mémoire comprend deux chapitres:

Le premier chapitre est une recherche bibliographique contenant des rappels sur des différents types de pollution (air, sol et spécialement des eaux) et les colorants (définitions, classifications, utilisations et ses impacts sur l'être humain et l'environnement).

Le deuxième chapitre nous présenterons un résumé du groupe d'études menées sur l'argile et le charbon actif pour éliminer les colorants des solutions. et termine par une conclusion.

Chapitre (I): Etude Bibliographique

1. Pollution

1.1. Définition de la pollution

Dans les sociétés modernes où les progrès technologiques et les évolutions sociologiques ont profondément modifié le mode de vie de l'homme et des espaces qui l'entourent, le respect de l'environnement est devenu l'une des préoccupations majeures, voire un problème mondial dans la mesure où sa dégradation, sa pollution et ses modifications ont atteint des proportions importantes dans la plus part des grandes villes, à l'instar de la crise de déchets à Naples (Italie, 2008) et Pékin (Chine). (www.france24.org)

Cette prise de conscience sur la pollution se traduit sur le terrain par l'organisation de nombreux forums, séminaires et conférences sur la thématique très sensible de la sauvegarde du patrimoine naturel.

Avant donc d'aborder ce problème sérieux qui est d'actualité, nous avons jugé utile de définir d'abord le terme pollution : qui est l'introduction de substances (substances chimique, substances biologiques et microbiologiques ou énergie sous forme de bruit, de chaleur ou de lumière) dans l'environnement à un point que ses effets deviennent nuisibles à la santé humaine, à celle d'autres organismes vivants et à l'environnement ou au climat. (Le ROY J.B, 1986)

On peut aussi dire que la pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures, introduites de manière directe ou indirecte qui affecte et modifie parfois de façon durable la santé humaine, la qualité des écosystèmes et la biodiversité aquatiques ou terrestre. On considère ainsi une pollution lorsqu'un écosystème ne peut pas ou plus

dégrader les substance introduites dans son milieu par conséquent le seuil critique de sa capacité à éliminer naturellement les substances est dépassé l'équilibre de l'écosystème est dit brisé .En outre une définition contemporaine du terme pollution le désigne comme étant un phénomène ou élément perturbateur d'un équilibre établi et plus particulièrement si cet élément est nuisible à la vie. (John et al ,1983).

1.2. Source de pollution

Les principales sources de pollution de la biosphère, dues aux activités humaines sont les suivantes :

- La production d'énergie, notamment de l'énergie électrique
- Le transport routier, mais aussi ferroviaire ou aérien
- L'industrie et surtout l'industrie chimique
- L'agriculture intensive et la déforestation
- Les agglomérations urbaines (ce dernier point englobe les établissements sanitaires, les logements communs et individuels etc.).

De même, il existe une très grande diversité de polluants (les insecticides, les colorants, les bactéries, le bruit, les POPs et bien d'autres) mais il est très difficile de donner une classification exhaustive car aucun des nombreux critères possibles n'est entièrement satisfaisant. On peut considérer néanmoins les agents polluants selon leurs natures (physiques, chimiques, microbiologiques etc.) ou de façon écologique en tenant compte du milieu dans lequel il est émis où ils exercent leurs méfaits (atmosphère, eaux et sols).(Tzagou et Sobze,2006)

1.3. Déférents types de pollution

La pollution est la contamination de l'air, de l'eau ou du sol (par des substances chimiques, organiques ou radioactives) altérant la santé de

l'homme, la qualité de la vie ou le fonctionnement naturel des écosystèmes.(Encarta,2009).



Figure 01 : D'efférents types de pollution.

1.3.1. Pollution de l'air

D'origine naturelle ou anthropique, les substances émises peuvent être de nature physique (radioactivité, énergie. . .), chimiques (gaz, particules, aérosols. . .) ou biologiques (pollens, acariens, moisissures. . .). Cette première partie présente succinctement les sources de la pollution atmosphérique ayant directement ou indirectement un impact sur la santé et en se limitant aux rejets chimiques d'origine anthropique (hors gaz à effet de serre et hors semi-volatils comme les pesticides).Ces pollutions sont dites primaires lorsqu'elles s'échappent directement des pots d'échappements,

des cheminées ou des surfaces agricoles, etc. Elles vont ensuite se disperser, se diluer, se transporter voire se transformer en d'autres composés dits « secondaires » comme l'ozone ou le nitrate d'ammonium (Charpin et al, 2016).



Figure 02 : Pollution des airs.

1.3.2. Pollution de sol

A L'opposé de la pollution atmosphérique, qui en dépit de son ubiquité, sévit avec le maximum d'intensité dans les zones urbaines et industrielles, la pollution des sols affecte, elle, de façon plus particulière, les zones rurales. Elle résulte de nombreuses causes, en particulier des tombées de polluants atmosphériques, provenant d'industries chimiques et métallurgiques, de l'usage des combustibles fossiles et, de plus en plus fréquemment, d'incinérateurs de déchets urbains et surtout de l'usage des produits chimiques en agriculture. On peut distinguer parmi les divers produits chimiques utilisés en agriculture, des substances minérales et des composés organiques de synthèse comme les engrais et les pesticides. On peut distinguer une pollution d'origine ponctuelle associée à des sites

industriels en activité ou désaffectés (friches industrielles) et une pollution diffuse.

Cette dernière provient de transferts de contaminants au sol par suite de la pollution atmosphérique provoquée par l'usage des combustibles fossile, par les activités minières, métallurgiques, enfin par celles de diverses industries chimiques, Les conséquences de la pollution des sols, écologiques par les fertilisants, conséquences de la perte de matière organique des sols cultivés, perturbation des cycles biogéochimiques par l'emploi des fertilisants (Ramade, 2005).



Figure 03 : Pollution de sol.

1.3.3. Pollution de l'eau

1.3.3.1. Généralité sur l'eau

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Suivant l'évolution de la température, on la retrouve sur trois états physiques : Solide, liquide et gazeux. De nombreuses études faites sur l'eau révèlent que 97,2% de l'eau de la planète est salée (mers et océans), donc impropre à la consommation domestique, industrielle et agricole. L'eau douce ne représente que 2,8% de volume total, dont la majeure

partie (99,4%) se trouve confiner dans la glace ou dans des nappes souterraines. Cette ressource, bien qu'une infime partie constituée par des eaux superficielles et souterraines soit directement accessible, il se trouve qu'elle est très inégalement répartie (Fig. 04), devenant ainsi un enjeu géopolitique majeur (Koyaouili ,2016).

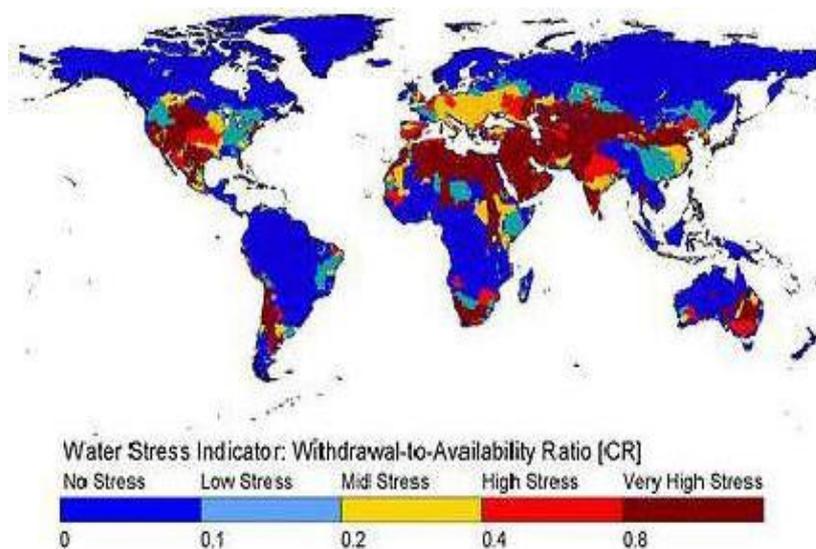


Figure 04: Répartition de l'eau douce sur terre.

Une dizaine de pays seulement se partage les 2/3 de la ressource en eau (Fig.04). Un rapport des Nation Unies a établi que neuf pays (le Brésil, la Colombie, la Russie, l'Inde, le Canada, les Etats-Unis, l'Indonésie, le Congo et la Chine) se partagent 60% du débit annuel mondial de l'eau. 37 pays dans le monde connaissent un stress hydrique extrêmement élevé: conséquence, les tensions régionales s'aggravent, notamment dans le bassin méditerranéen, où la pression sur la ressource en eau se fait plus forte (Koyaouili ,2016).



Figure 05 : Partage de l'eau dans le monde.

1.3.3.2. Définition de la Pollution de l'eau

La pollution de l'eau peut être définie comme la dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles par des déchets ou sous-produits solides, liquides ou gazeux d'origines diverses. Ce phénomène qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs, est le résultat d'énormes quantités de rejets des déchets aqueux qu'ils reçoivent sans un traitement préalable ou avec un niveau de traitement insuffisant (Tarkwa,2019).



Figure 06 : Pollution de l'eau.

1.3.3.3. Les sources de la pollution

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

a. Source urbaine

L'origine des eaux résiduaires urbaines est principalement domestique où les populations génèrent les $\frac{3}{4}$ des eaux usées. Ces effluents sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines telles que les urines, fèces, eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères).

Les eaux usées urbaines peuvent aussi contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle, mais normalement, ces dernières doivent avoir subi

un prétraitement pour atteindre des caractéristiques comparables à celles des eaux usées domestiques pour permettre un traitement en commun (Groscaude, 1999).

b. Source industrielle

Elle constitue les déchets liquides obtenus lors de l'extraction et de la Transformation de matières premières en produits industriels. Les eaux résiduaires proviennent principalement de l'eau consommée dans de nombreuses opérations de fabrication par voie humide, comme par exemple: la précipitation, le lavage, le nettoyage des appareils, les ateliers, les filtrations, les distillations, etc (Meinck et al, 1977).

Les effluents industriels peuvent causer des pollutions organiques (industries agroalimentaires, papeteries), chimiques (tanneries, usines textiles...) ou physiques (réchauffement par les centrales thermiques, matières en suspension des mines ou de la sidérurgie). Ils sont responsables de l'altération des conditions de clarté et d'oxygénation de l'eau, pouvant aussi causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticide, radioactivité). La pollution peut aussi être due à l'infiltration de produits toxiques mal entreposés, à des fuites dans les réservoirs ou à des accidents lors du transport de matières dangereuses menant à des concentrations dans les eaux qui peuvent aisément atteindre 1g/l (Olivier, 2005).

c. Source agricole

La pollution d'origine agricole provient surtout des engrais et pesticides épandus dans le sol sur de très grandes surfaces à proximité ou pas de cours d'eau (Olivier, 2005). Ce type de pollution s'est intensifié depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation assez

avancé. La concentration des élevages entraîne un excédent de déjections animales qui finissent par enrichir les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés, encourageant ainsi une source de pollution bactériologique. L'utilisation massive des engrais chimiques (nitrates et phosphates) altèrent aussi la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés.

d. Source naturelle

Ce phénomène se retrouve pour toute eau en contact avec l'atmosphère car celle-ci contient du gaz carbonique CO₂ qui est soluble dans l'eau pour donner de l'acide carbonique de formule H₂CO₃. On comprend ainsi qu'une concentration de CO₂ dans l'atmosphère conduit à une acidification de l'eau à son contact. Ainsi, même avant l'existence des pluies acides d'origine anthropique, les pluies naturelles étaient légèrement acides, ceci étant toujours le cas dans des zones protégées telles que les forêts amazoniennes (Olivier, 2005).

e. Source microbiologique

La qualité microbiologique de l'eau peut aussi être à l'origine de problèmes, qu'ils soient aigus ou chroniques. Des accidents peuvent avoir lieu lors d'une mauvaise désinfection des canalisations, donnant une eau de mauvaise qualité microbiologique qui peut être un facteur de risque de plusieurs pathologies, surtout digestives (Martineau, 1997).

1.3.3.4. Paramètres de pollution des eaux**a. Les matières en suspension (MES)**

Elles désignent toutes les matières organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau pour donner une eau trouble. Les MES diminuent la luminosité

dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent (Koller,2004).

b. Les sels minéraux

Les sels minéraux représentent des polluants majeurs de par les masses mises en jeu ainsi que par leurs effets biologiques. Ils affectent la potabilité des eaux superficielles, même pour usages industriels si leur concentration est assez importante. (Koller,2004)

c. Les éléments nutritifs

L'agriculture n'est pas la seule responsable des rejets dans l'environnement d'azote, de phosphates et d'autres éléments nutritifs bien que dans les pays développés, elle joue un rôle majeur à cet égard et est d'environ les 2/3 des rejets d'azotes dans les masses superficielles d'eau douce et de mer et d'environ 1/3 de phosphore. (OCDE,2001)

L'azote est déjà présent en abondance dans la nature comme résidu de la vie des végétaux (humus du sol), des animaux (lisiers) et des hommes (rejets d'eaux usées industrielles ou domestiques). Il peut aussi être apporté par des engrais minéraux de synthèse. Les nitrites sont rarement présents dans les eaux de surface (moins de 1mg/l), mais leur présence peut être suspecte car elle est souvent liée à une détérioration microbiologique de l'eau. En revanche, les nitrates (stade final de l'oxydation de l'azote) sont beaucoup plus abondants. Ils sont très solubles et peuvent s'infiltrer dans le sol et dans les eaux souterraines ou se déverser dans les cours d'eau par ruissellement. Les limites imposées en 2001 sont de 50 mg/L et de 0.1 à 0.5 mg/L pour les nitrates et nitrites, respectivement.(Graindorge et Landot,2007)

d. Les micro-organismes

L'origine de la pollution microbiologique peut être au niveau de la ressource (eau brute, ouvrage de captage), mais elle peut être aussi dans le réseau ou dans les ouvrages de stockage. Aussi comme mentionné auparavant, au cours de son transport, l'eau peut subir des dégradations et notamment des contaminations microbiologiques. Ce sont, par exemple, les intrusions de pollutions extérieures par des retours d'eau ou des fuites, des phénomènes de corrosion ou de perméabilisation liés à la nature des matériaux. (Graindorge et Landot,2007)

e. Les matières colorantes

Dans la pollution de l'eau industrielle, la couleur produite par les petites concentrations de colorants synthétiques dans l'eau est importante, car en plus d'avoir les effets toxiques possibles, la couleur de l'eau est visiblement désagréable. Les effluents de la teinture textile sont généralement très colorés, avec de grandes quantités des matières en suspensions organiques. Les colorants synthétiques sont conçus pour être récalcitrants à la biodégradation et donc les processus de traitement biologique sont inefficaces pour éliminer la couleur des eaux usées.(Uddin et al,2009)

f. Les phénols

Le phénol est un polluant organique de l'eau, sa structure est simple, mais il comporte un cycle aromatique et une fonction alcool (OH-). A température ordinaire, Il se présente comme un solide blanc cristallisé. Le phénol est un composé utilisé dans l'industrie chimique (médecine et pharmaceutique). Il est très irritant pour les yeux et la peau et très

toxique, d'où les précautions à prendre en le manipulant. Une dose de 1mg/L est suffisante pour anéantir la plupart des espèces aquatiques. La teneur en phénol dans les eaux potable doit être inférieure à 0.1µg/l (Perrin et Scharff,1993).

2. LES COLORANTS

2.1. Historique des colorants

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont fait l'objet de plusieurs travaux liés à notre vie journalière à savoir la peinture et la teinture du papier, de la peau et des vêtements, etc. Jusqu'à la moitié du 19ème siècle, les colorants appliqués étaient d'origine naturelle. Des pigments inorganiques tels que l'oxyde de manganèse, l'hématite et l'encre étaient utilisés. Par ailleurs, des colorants naturels organiques ont été appliqués, surtout dans l'Industrie textile. Ces colorants sont tous des composés aromatiques qui proviennent essentiellement des plantes, tels 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 commencent à paraître sur le marché. Ce processus a été stimulé par la découverte de la structure moléculaire du benzène en 1865 par du 20ème siècle les colorants synthétiques ont presque complètement supplantés les colorants naturels. La production mondiale des colorants synthétiques est estimée à 700 000 tonnes/an en 1991 (données récentes sur la production actuelle)(Trabelsi,2014).

2.2. Généralité des colorants

Les premières substances colorées ont été utilisées par l'homme dans les grottes décorées (Lascaux ou Altamira) vers 12000 ans avant J-C. Elles étaient constituées de charbon de bois ou d'argiles. Les teintures les plus anciennes proviennent de textiles chinois datant de 3000 ans avant J-C. Vers 2000 ans avant J-C, on utilisait la garance et l'indigo; en Inde, en Palestine et en Egypte. Jusqu'au XIX^{ème} siècle, les colorants utilisés ne sont qu'une quinzaine. Ils sont tous extraits de produits naturels et souvent d'origine végétale. Il y a plus de 4000 ans, les colorants sont apparus afin de teindre des pièces d'art confectionnées à cette époque. Très tôt, les colorants naturels sont obtenus à partir d'extraits de plantes ou d'animaux, par exemple, de fruits, de mûres, de racines et bien d'autres. Les colorants organiques naturels ont aussi connus plusieurs applications dans l'histoire, spécialement comme colorants textiles. Une des premières teintures qui fut utilisée est l'indigo. Curieusement, elle est encore utilisée de nos jours pour teindre le «bleu jeans». Une découverte importante est survenue en 1856, alors qu'un jeune chimiste anglais William Perkin réalisa la première synthèse d'un colorant sous l'appellation de mauvéine et la quinine (un dérivé des hydrocarbures aromatique contenu dans le goudron de la houille obtenue à partir de l'aniline. Aujourd'hui, plus de 10000 colorants synthétiques ont été créés donnant aussi naissance à une industrie de plusieurs milliards de dollars. Les colorants synthétiques sont plus populaires que les colorants naturels, car les premiers ont une plus grande durabilité et une plus grande brillance et de leur bon marché. Ils sont utilisés intensivement dans de nombreux secteurs industriels (automobiles, chimie, papeterie et textile). Il est estimé qu'environ 20% de la production totale des colorants dans le monde est perdue au cours des différentes étapes d'application et de confection et évacuée sans

traitement préalable dans l'environnement. La plupart des colorants synthétiques sont reconnus comme étant génotoxiques pour les organismes vivants (bactériens et mammifères), par leurs métabolites (amine cancérogène pour les azoïques et leuco dérivé pour les triphenylméthanes).(Djellal et Fatiha, 2010)

2.3. Définition et caractéristiques d'un colorant

Un colorant est une substance chimique ayant la capacité de teindre une fibre ou tout support avec lequel il a une affinité particulière. Les colorants organiques acides et basiques ont une affinité particulièrement développée pour les fibres, ce qui par conséquent explique leur persistance dans l'environnement. En effet, dans le but de prolonger leur durée de vie, les colorants chimiques appliqués et les produits textiles résultant doivent répondre à un certain nombre de critères tels que la résistance à l'abrasion, une stabilité photolytique, la résistance à l'oxydation et aux attaques biologiques.(Bouafia, 2010)

Les colorants sont largement utilisés dans les imprimeries, les produits alimentaires, cosmétiques et cliniques, mais en particulier dans les industries textiles pour leur stabilité chimique et la facilité de leur synthèse et leur variété de couleurs. Cependant, ces colorants sont à l'origine de la pollution une fois évacués dans l'environnement. La production mondiale des colorants est estimée à plus de 800 000 t•an⁻¹ et les colorants azoïques sont majoritaires et représentent 60- 70 %. Compte tenu de la composition très hétérogène de ces derniers, leur dégradation conduit souvent à la conception d'une chaîne de traitement physique chimique et biologique assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives. Des études ont montré que plusieurs

colorants azoïques sont toxiques et mutagènes et le traitement biologique de ces colorants semble présenter un intérêt scientifique majeur. Les traitements physico-chimiques communs (adsorption, coagulation/floculation, précipitation etc.) sont couramment utilisés pour les effluents industriels. Malgré leur rapidité, ces méthodes se sont avérées peu efficaces compte tenu des normes exigées sur ces rejets. Le traitement biologique constitue une alternative fiable; en effet, plusieurs microorganismes sont capables de transformer les colorants azoïques en sous-produits incolores. Les bactéries dégradent les colorants azoïques en deux étapes : un clivage de liaison azo, par l'intermédiaire de l'azoréductase, suivi d'une oxydation des amines aromatiques formées lors de la première étape. L'azoréduction constitue alors une étape clé du traitement des effluents chargés de ces colorants (Ben Mansour,2010).

Les colorants sont caractérisés par leur capacité à absorber les radiations du spectre de la lumière visible (380-750 nm) grâce à leurs groupes chromophores et/ou auxochromes. Les groupes auxochromes les plus présents sont: $-NH_2$ (amino), $-COOH$ (carboxyl), $-SO_3H$ (sulfonâtes), et $-OH$ (hydroxyl). En revanche, les chromophores sont des groupes aromatiques (système π), conjugués (liaison π), comportant des liaisons non liantes (électron n) ou des complexes des métaux de transition. Les groupes chromophores sont représentés par le groupe azo ($-N = N-$), le groupe d'éthylène ($= C = C =$), un groupe méthine ($-CH =$), un groupe carbonyle ($=C = O$), carbone-azote ($= C = NH$; $-CH = N-$), carbone-soufre ($= C = S$; $\equiv CS-SC \equiv$), nitro ($-NO_2$; $-NO-OH$), nitroso ($-N = O$; $= N-OH$), etc.(Carmen et Daniela, 2012)

2.4. Classification des colorants

Contrairement à l'usage établi en chimie organique, la terminologie employée dans le domaine des colorants n'obéit à aucune règle absolue.

Une classification rationnelle des matières colorantes organiques présente de grandes difficultés. Certains auteurs regroupent ces colorants d'après leur constitution chimique, en tenant compte de la nature des chromophores qui les composent : groupement azoïque, anthraquinone, triarylméthane et phtalocyanine (Seyewetz et Sisley, 1896); d'autres les regroupent d'après les diversités des technologies d'application : colorants anioniques (acides, à mordant-acide, directs, réactifs, de cuve, colorants au soufre) ou cationiques (basiques) (Kataraman, 1901).

Les noms commerciaux rappellent les nuances, leur emploi principal ou le nom de leur inventeur. Les chiffres et les lettres qui suivent parfois le nom précisent la nuance ou certaines propriétés comme la résistance à la lumière ou à divers agents.

a. Classification technologique ou (appellation usuelle)

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

- Le nom générique de la classe d'application.
 - La couleur.
 - Le numéro d'ordre chronologique d'inscription au "coloré index "
- (Boulal et al, 2014).

b. Classification technique

Les colorants utilisés dans l'industrie textile contiennent habituellement des groupes acides sulfoniques qui leur confèrent une

hydrosolubilité appropriée et qui permettent à la molécule du colorant de se lier ioniquement aux sites chargés du réseau polymérique du tissu.

(Dor, 1989)

- On peut classer les colorants organiques en deux catégories suivant leur synthèse:

1/ Colorants naturels : Ils sont très répandus, surtout dans les plantes (bois, racines, graines fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux. On les trouve à l'état libre ou liés à des glucides ou des protéines, exemple : garance, cochenille, indigo, pourpre.

Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup du fait de leur cherté, on ne les utilise dans l'industrie textile, du cuir et du papier que pour des traitements spéciaux. Ils restent, en revanche très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques soumis à des réglementaires plus strictes (Boulal, 2014).

2/Colorants synthétiques : Les colorants synthétiques dominent aujourd'hui le marché surtout que leurs propriétés peuvent être précisément adaptées à leur utilisation. Tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir des produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphthalène, xylène et anthracène) (Simont, 1982). Ils sont de plus en plus utilisés dans les industries de coloration et des textiles grâce à leur synthèse assez facile, à leur production rapide et à la variété de leurs couleurs comparées aux colorants naturels (Griffiths, 1984).

c. Classification chimique

La classification des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupe chromophore (Tableau 1).

- **Les colorants azoïques**

C'est en 1863 que Mitscherlich a découvert l'azobenzène $C_6H_5-N=N-C_6H_5$, mais c'est Peter Griess qui a effectué les premiers travaux systématiques à partir de 1858 en décrivant la méthode de préparation très générale de ces produits. Les colorants azoïques constituent la famille la plus importante tant sur le plan des applications qui représentent plus de 50 % de la production mondiale de matières colorantes, soit 800 000 tonnes (Bauer et al., 2001; Ganesh et al., 1994; O'Neill et al., 1999; Pandey et al., 2007), que sur celui de la multiplicité des structures étudiées, soit 60 à 70 % des colorants synthétiques (Zollinger, 1987).

Le nombre de colorants azoïques a connu une évolution importante et a atteint, dans les années 90, plus de 10 000 molécules commercialisées. Ces colorants sont impliqués dans un large éventail de domaines : textile, imprimerie, alimentaire, cosmétique et pharmaceutique (Zollinger, 1987). L'industrie textile représente la partie majeure du marché de ces colorants (Galindo, 1998).

On nomme « azoïques » les composés 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 ($-N=N-$). (Ben Madani et al, 2010)

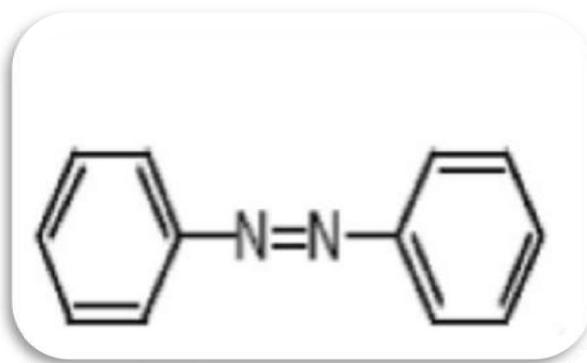


Figure 07 : Formule développée d'azobenzène.

- **Les colorants anthraquinoniques:**

sont, d'un point de vue commercial, les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino. (Ben Madani et al, 2010) .

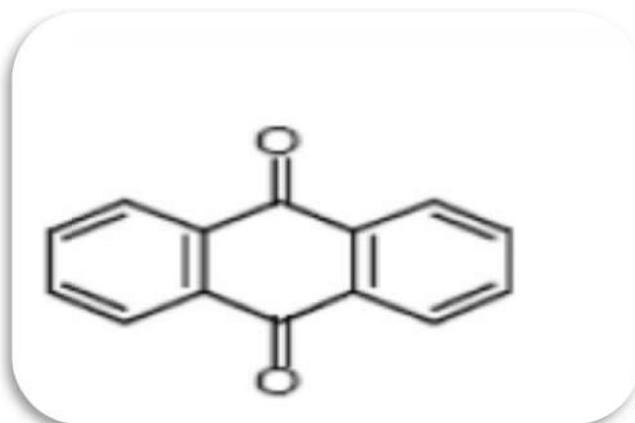


Figure 08: Formule développée d'Anthraquinone.

- **Les colorants indigoïdes:**

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénisés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. Les colorants indigoïdes sont

utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicales (Stolte et al, 2001 ; Moncada et al, 1991).

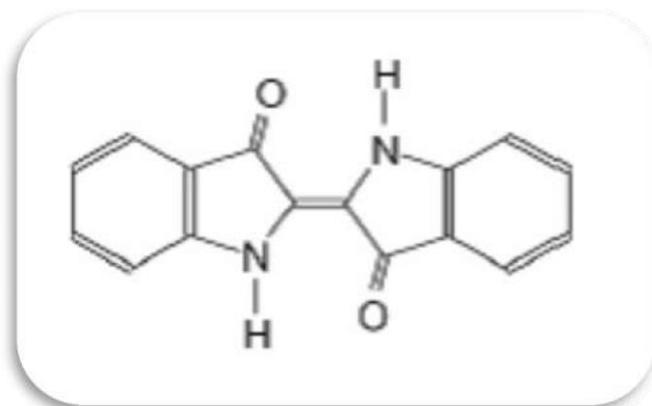


Figure 09 : Formule développée d'Indigo.

- **Les colorants xanthènes:**

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 (Nestmann et al, 1979 ; Kornbrust et al, 1985)

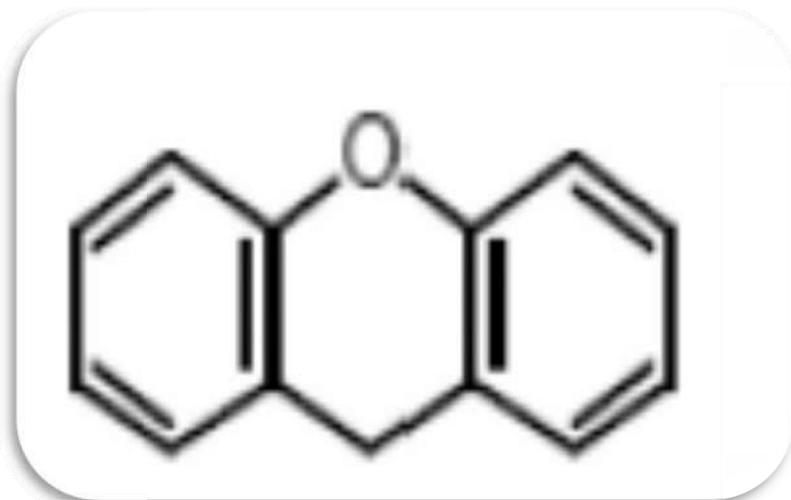


Figure 10 : Formule développée du Xanthène.

- **Les phtalocyanines**

Les phtalocyanines 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.). (Ben Madani et al, 2010).

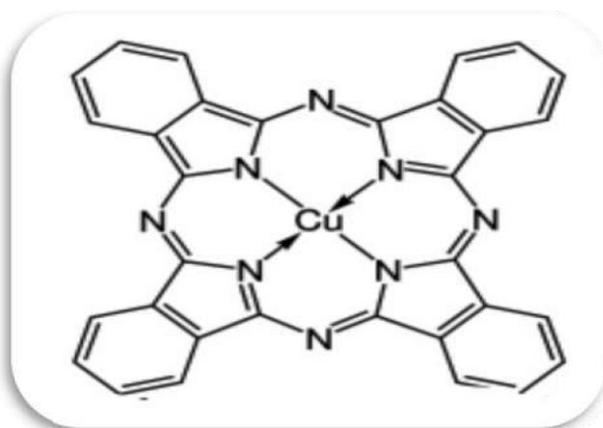


Figure 11: Formule développée de la phtalocyanine.

- **Les colorants nitrés et nitrosés:**

Ils forment une classe de colorant 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.

Les colorants nitrosés doivent leur nom à la présence dans leurs molécule d'un ou plusieurs groupes nitroso (-NO), par contre les colorants nitrés sont caractérisés par la présence d'un ou plusieurs groupes nitro (-NO₂). (Myebeck, 1963).

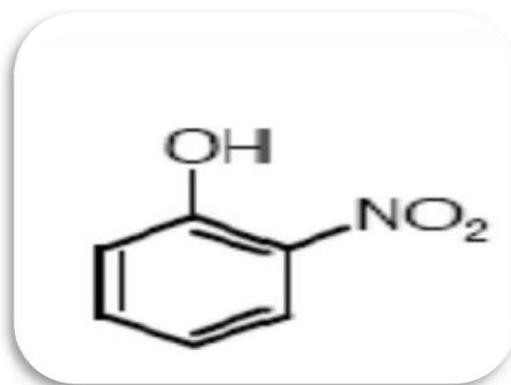


Figure 12 : Formule développée de 2-Nitrophénol.

- **Les colorants triphénylméthanes:**

Les triphénylméthanes sont des dérivés du méthane pour lesquels les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles substitués dont au moins un est porteur d'un atome d'oxygène ou d'azote en para vis-à-vis du carbone méthanique. Le triphénylméthane et ses homologues constituent les hydrocarbures fondamentaux d'où dérivent toute une série de matières colorantes. (Ben Madani et Kharef, 2019).

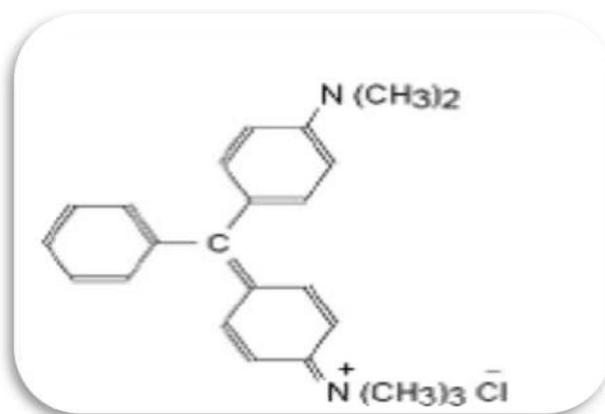


Figure 13 : Formule développée de la Triphénylméthane.

2.5. 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...). (Bousnoubra, 2010).



Figure 14:Exemple de pollution d'une rivière avec des teintures d'usine textile.

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-2 présente, les différentes classes de la toxicité en fonction de la dose létale.(Trabelsi, 2014).

Tableau 01: Les Principales classes de toxicité, Échelle de Gosselin.

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

2.6. 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 (Chaven,2011).

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 résiduares dans l'écosystème est une source dramatiques 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 chaine alimentaire (Chaven, 2011).

2.7. Législation sur l'environnement

Les effluents textiles contiennent des espèces chimiques organiques et inorganiques qui ont un effet néfaste sur la santé humaine et l'environnement.

Les colorants ou colorants organiques sont des polluants persistants et non facilement biodégradables en raison de la complexité de leurs Structures.

Les concentrations de ces polluants dans les effluents doivent être contrôlées afin de respecter les normes environnementales et la législation sur la qualité de l'eau. (Salhi et al, 2015).

La législation sur les rejets d'eaux résiduaires devient de plus en plus stricte. L'Algérie est dotée d'une réglementation (Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993) sur les rejets d'effluents dans le milieu hydrique. (J.O.R.A., 1993)

2.8. Méthodes de traitement

Dans les pays développés les eaux usagées des usines de colorants et de textiles sont traitées par plusieurs techniques d'élimination avant de quitter l'usine (**Hunger, 2003**).

Parmi ces techniques on peut citer quelques procédés biologiques chimiques et physico chimique :

a. Traitement biologique

C'est la technique la plus utilisée dans le traitement des effluents colorés, elle a été utilisée pendant plus de 150 années. Il y a deux types de traitement biologique, l'aérobie à besoin de l'air (l'oxygène) pour que les bactéries effectuent le processus de dégradation sur laboure activée, tandis que les bactéries anaérobiques fonctionnent en absence d'air (**Hunger, 2003**).

D'après (Hammami, 2008), Les procédés d'épuration par voie biologique sont basés sur la biotransformation microbienne des colorants. En outre, la majorité des colorants sont très stables et non biodégradables. Néanmoins, beaucoup de recherches ont démontré la biodégradation partielle ou complète des colorants par voie biologique. Si ces techniques sont adaptées à un grand nombre de polluants organiques, elles ne sont pas toujours applicables sur les effluents industriels en raison des fortes concentrations de polluants, de leur toxicité qui entraînerait la mort des microorganismes ou de leur très faible biodégradabilité.

b. Traitement chimique

Le traitement chimique de l'effluent avec un agent de floculation est généralement la manière la plus efficace et la plus puissante d'enlever la couleur. Le processus implique l'ajout d'un agent de floculation, tel que les ions ferrique (Fe^{+3}) ou d'aluminium (Al^{+3}) l'effluent.

L'oxydation chimique est une méthode plus récente de traitement d'effluent, particulièrement les effluents chimiques. Ce procédé emploie des oxydes forts tels que l'ozone, le peroxyde d'hydrogène, le chlore, ou le permanganate de potassium pour forcer la dégradation même de certaines molécules organiques plus résistantes (**Hunger, 2003**).

En plus du Réduction ($Na_2S_2O_4$), Méthode complexométrique, Résine échangeuse d'ions. [(Barclay, Buckley (2000). (Kurbus et al ,2002)] .

c. Traitement physique

Il existe plusieurs techniques physiques pour le traitement des eaux colorées entre autres la filtration sur membrane, l'osmose inverse, l'adsorption.

L'adsorption est la technique la plus largement utilisée dans le traitement des eaux usées urbaines ou industrielles vu sa mise en oeuvre facile et peu couteuse par rapport aux autres techniques (Bolton, 1994).

3. Adsorption

3.1. Généralités sur l'adsorption

Les meilleurs adsorbants sont ceux avec des surfaces spécifiques significatives, ce sont les matériaux poreux. Ils se présentent sous une forme pulvérulente ou granulaire. Les adsorbants industriels les plus courants sont les charbons actifs, les gels de silice, les alumines activées et les zéolites (Miguet,2015).

L'adsorption, est l'un des procédés les plus utilisés dans le monde en vue d'élimination des colorants dans les réseaux des eaux usées. Cependant, les charbons actifs commerciaux, principaux adsorbants utilisés en traitement des eaux, sont relativement chers et par conséquent ces matériaux sont peu accessibles à grande échelle. Au cours des récentes décennies, la recherche de matériaux adsorbants bon marché, ayant une efficacité comparable à celle des charbons actifs commerciaux, en ce qui a trait à leur utilisation en traitement d'eaux, a constitué un important sujet de recherche.

En effet, d'énormes quantités de déchets sont généralement disponibles au niveau des exploitations agricoles et des installations agroindustrielles

de nombreux pays, où notamment les résidus de l'agriculture représentent une part importante (Ben amraoui, 2014).

3.2. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un procédé de traitement, bien adapté pour éliminer une très grande diversité de composés toxiques dans notre environnement. Elle est essentiellement utilisée pour le traitement de l'eau et de l'air. Au cours de ce processus les molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant (Arias, 2002).

Aujourd'hui, le phénomène d'adsorption est devenu un outil pour la purification et la séparation de toute substance indésirable. Il trouve son application dans différentes industries (pétrolière, chimique, pharmaceutique, etc...) (Aksu,2005).

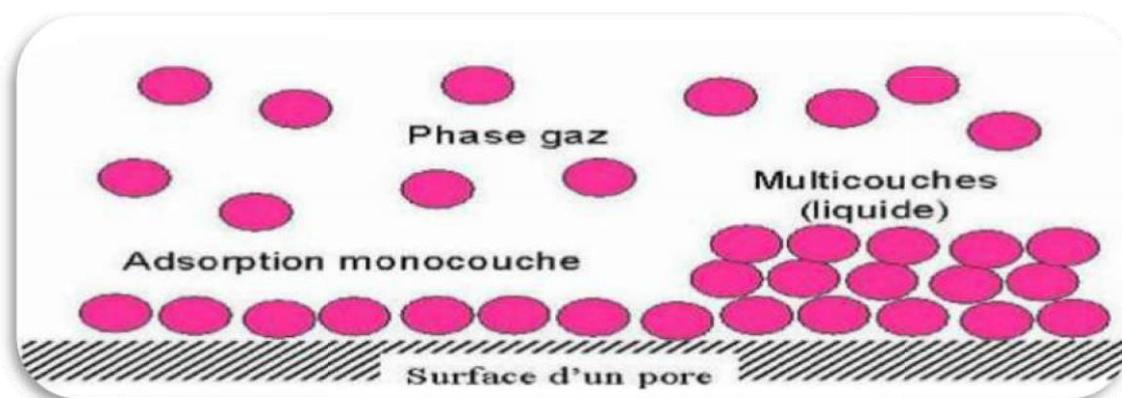


Figure 15: Phénomène d'adsorption (Boukrah Hafida, 2008).

3.3. Types d'adsorption

Deux types d'adsorption peuvent être distingués l'adsorption physique et chimique plus de détails sont évoqués ci-dessous :

a. Adsorption physique

La fixation des molécules d'adsorbat sur la surface de l'adsorbant se fait essentiellement grâce aux forces de Van der Waals, et aux forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation, dipôle et quadrupole pour les adsorbants ayant une structure ionique. L'adsorption physique se produit sans modification de la structure moléculaire et est parfaitement réversible (c'est-à-dire que les molécules adsorbées peuvent être facilement résorbées en diminuant la pression ou en augmentant la température (Boughaita, 2017).

b. Adsorption chimique

Dans le cas de l'adsorption chimique, il y a création de liaisons entre les atomes de la surface et les molécules de l'adsorbat. Les énergies d'adsorption peuvent être de l'ordre de 200 kJ/mole (~ 20 kJ/mole dans le cas de l'adsorption physique (Slasli, 2002).

L'énergie de liaison est beaucoup plus forte que dans le cas de l'adsorption physique et le processus est beaucoup moins réversible et même parfois irréversible. Dans la plupart des procédés d'adsorption industriels, l'adsorption physique est largement prépondérante par rapport à la chimisorption (Boughaita, 2017).

3.4. Types des adsorbants**3.4.1. Le charbon actif**

Le charbon actif est, historiquement parlant, le premier matériau adsorbant utilisé à grande échelle. C'est un matériau obtenu par pyrolyse du bois, noix de coco, charbon, lignite, et en général tout composé organique, suivi d'une oxydation à haute température par le dioxyde de carbone ou par la vapeur d'eau (un mode de préparation alternatif, par activation chimique, existe également) (Slasli, 2002).

Il est caractérisé par une surface quasi non polaire, qui lui permet d'adsorber préférentiellement les composés organiques ou non polaires par rapport aux composés polaires tels que l'eau. Il peut ainsi être utilisé pour des opérations de séparation/purification de gaz sans déshumidification préalable contrairement à la plupart des autres adsorbants. L'énergie de liaison adsorbat/adsorbant est généralement plus faible pour le charbon actif que pour les autres adsorbants, ce qui diminue la quantité d'énergie nécessaire pour la phase de régénération (Khirani, 2007) (Clause, 2008). Le charbon actif présente une faible sélectivité (capacité à séparer deux composés) par rapport aux autres adsorbants du fait de sa large distribution de tailles de pores. Cependant cette grande distribution permet d'adsorber de nombreuses espèces chimiques en particulier les composés organiques volatiles COV (Tadgia, 2011).

La figure 16 représente la structure du charbon actif :

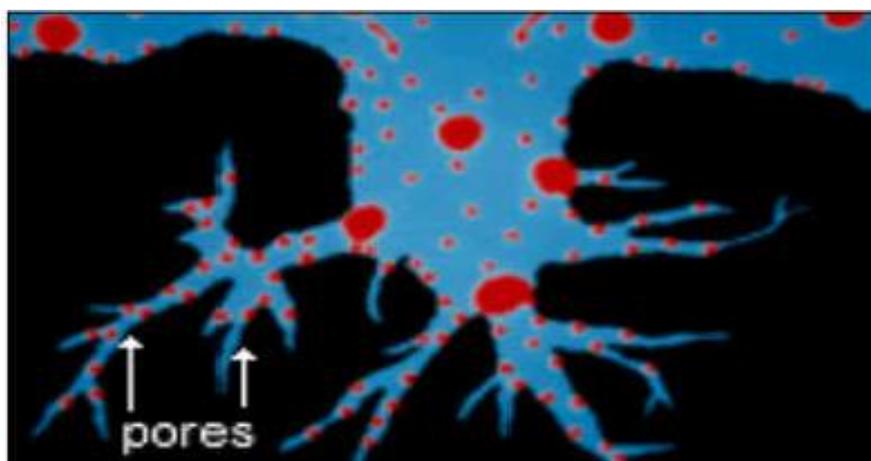


Figure 16 : Structure d'un charbon actif.

Le charbon actif (ou activâtes charbon) ou encore charbon activé est une poudre noire et légère, constituée essentiellement de matière carbonée à structure microporeuse (figure 17).

C'est en fait, une sorte de charbon de bois présentant une très grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant (Tadjia, 2011).

De part cette porosité, la surface développée par le charbon actif est énorme, un gramme de charbon actif présente une surface interne pouvant atteindre plus de 1500 m²/g et cette caractéristique unique est responsable de ses propriétés d'adsorption (Tadjia, 2011).

Plusieurs paramètres permettent de caractériser un charbon actif:

- Le volume poreux et la taille des pores sont déterminés par manométrie d'adsorption désorption (sous azote à 77 K).

- La surface spécifique d'un adsorbant qui est une surface par unité de masse (m² /g), représentant l'aire disponible pour adsorber une monocouche de molécules. Ce paramètre est obtenu en appliquant la théorie de BRUNAUER-EMMET et TELLER (BET) (Monacha et al,2003)

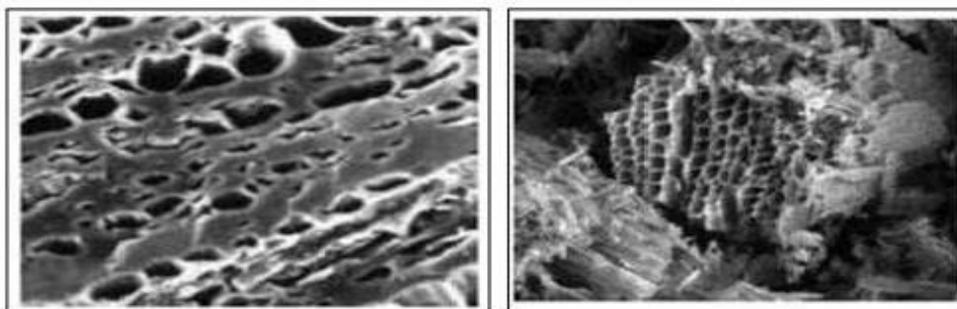


Figure 17 : Images de microscopie électronique à balayage de la structure d'un charbon actif .

3.4.2. Les argiles

Le mot argile vient du grec Argilos dérivé d'argos qui veut dire blanc. Les argiles, en général, sont des produits de décomposition des roches siliceuses, par désagréations physique et mécanique puis par altération chimique. Selon Eslinger et Peaver (Mouanga et al, 2009), les argiles sont des particules de phyllosilicates dont le diamètre des grains est inférieur à deux micromètres. La fraction fine de l'argile ($< 2\mu\text{m}$) contient souvent des minéraux non phyllosilicates (carbonates, quartz, feldspaths composés minéraux amorphes sous forme d'oxyde ou hydroxyde de fer et d'aluminium). Ces derniers constituent des minéraux dits accessoires ou associés aux minéraux argileux. Les minéraux argileux sont liés entre eux par des liaisons de natures très diverses, en formant des agrégats de tailles beaucoup plus grande (Bitenc et al, 2012).

3.4.2.1. Classification des argiles

Les principaux critères de classification des phyllosilicates sont basés sur la combinaison des feuillets, le type de cations dans l'octaèdre et le tétraèdre, la charge de la couche et la nature des espèces dans l'espace interfoliaire.

a. Minéraux de type 1:1 (ou T-O)

À une couche d'octaèdres et une couche de tétraèdres. L'équidistance caractéristique est d'environ 7,1 Å. A ce type correspond le groupe de la kaolinite (figure18). Les minéraux de ce type présentent peu de substitutions isomorphiques et ont par conséquent peu ou pas de cations interfoliaires. Dans ce groupe, l'halloysite est une espèce particulière qui s'apparente à une kaolinite hydratée. Sa morphologie est tubulaire avec un diamètre moyen de 20 nm. Son espace interfoliaire renferme deux

couches d'eau et son équidistance à l'état hydraté est de l'ordre de 1 nm (Brigatti et al., 2006).

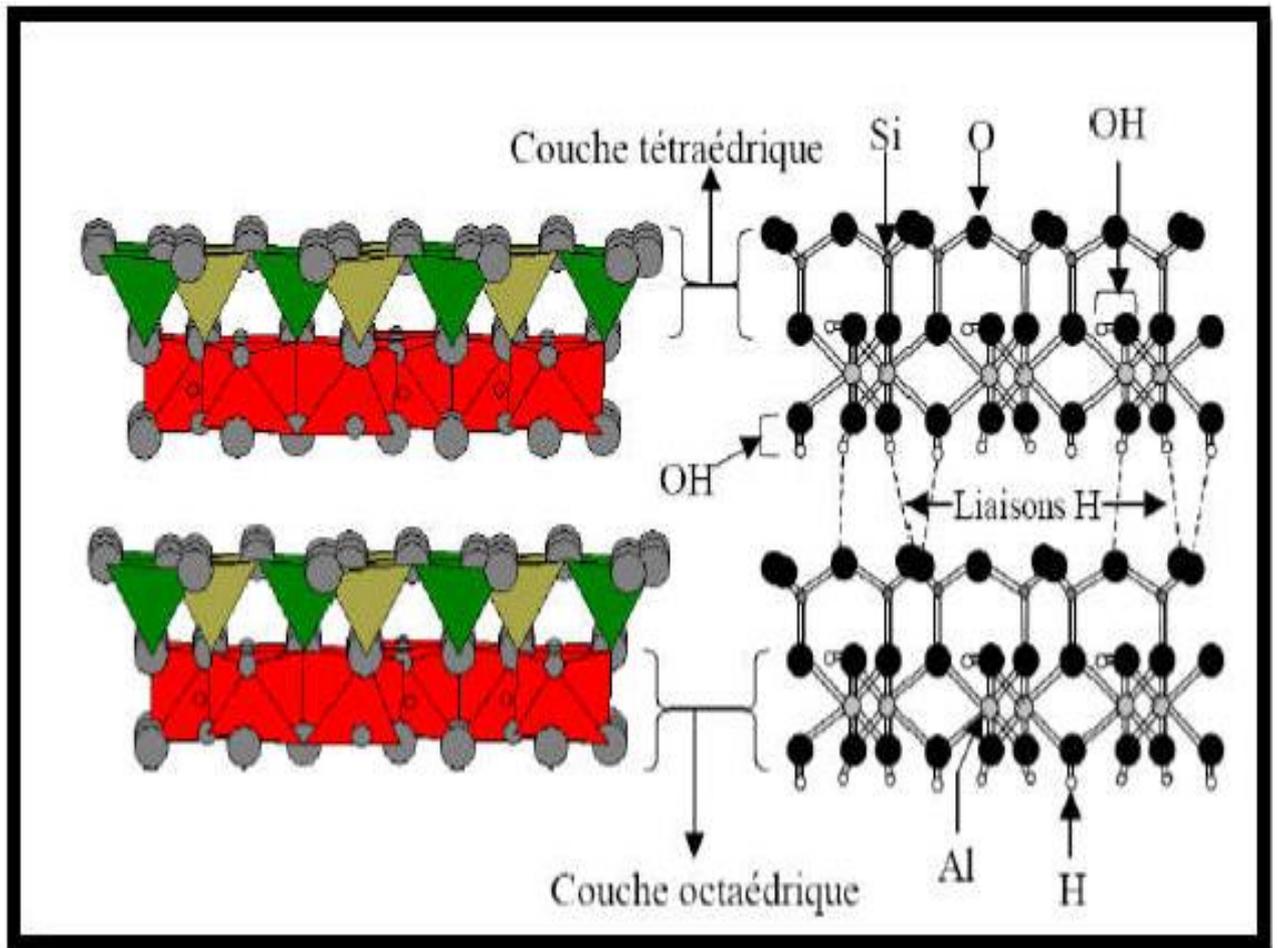


Figure 18: Représentation schématique de la structure de la kaolinite

La figure 19 représente les molécules d'eau supplémentaires dans l'halloysite en augmentant l'espace interfeuillet .

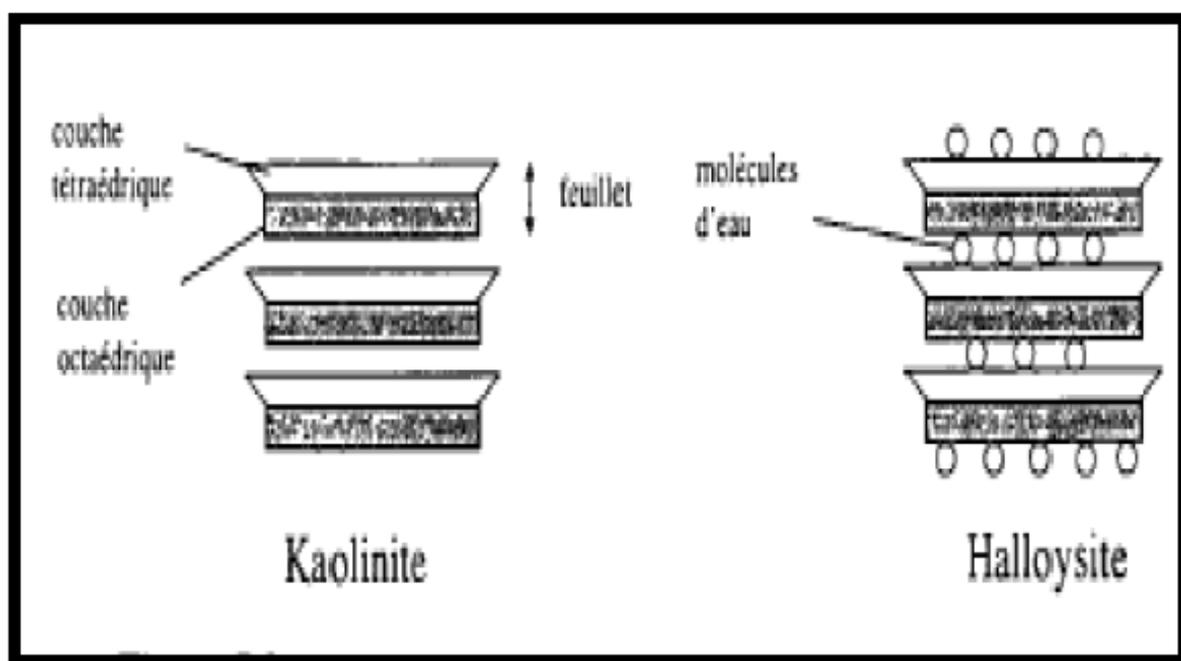


Figure 19: Schéma des structures de la kaolinite et de l'halloysite

(Thierry, M. 1999).

b. Minéraux de type 2 :1(ou T-O-T):

Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique, il est qualifié de T:O:T ou de type 2 :1, son épaisseur est d'environ 10Å. Par exemple la Montmorillonite, Illite et le Pyrophyllite (M'bodj O., N. et al 2004).

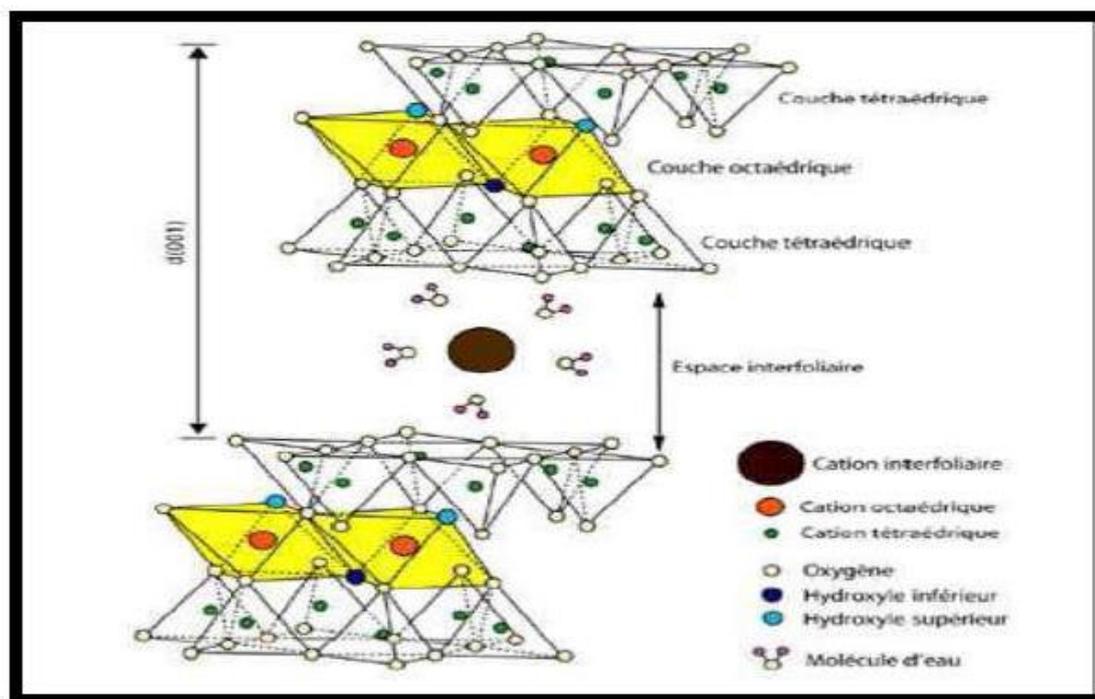


Figure 20: Représentation schématique de la structure d'une montmorillonite.

c. Minéraux de type 2:1:1(ou T-O-T-O)

A une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques, et un inter feuillet constitué par une couche d'octaèdres ; l'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å ; à ce type correspond le groupe du chlorite (Moore, D.M. et Reynolds R.C., 1997).

Tableau 02: Classification des principaux types de minéraux argileux.

Type	Groupe	Sous- groupe	Espèces	Formules
1:1	Kaolinite	Kaolinites	dickite, nacrite, kaolinite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
			métahalloysite, halloysite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$ $4H_2O$
2:1	Smectites	smectites dioctaédriques	montmorillonite	$(Al_{1,67}Mg_{0,33}Si_4O_{10}(OH)_2)$
		smectites trioctaédriques	saponite	$Mg_3(Si_{3,67}Al_{0,33}O_{10}(OH)_2)$
2:1:1	Chlorite	Chlorite dioctaédrique	sudoite	$Al_4(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$
		chlorite trioctaédrique	Espèces différentes	$(Mg,Fe\dots)_6(Si,A)O_{10}(OH)_8$

3-4-2-2- Propriétés des minéraux argileux

L'argile possède de nombreuses propriétés importantes dans les applications industrielles, dont les plus importantes sont:

- Son utilisation dans le domaine de l'épuration des eaux polluées.
- La petite taille de ses particules, la structure des plaques et leur charge variable.

- Il est abondant dans la nature avec son faible coût.
- Agrandissement de la surface spécifique.
- Échange d'ion.(Alain et Bruce,2004).

Chapitre II:
utilisation des
matériaux adsorbants
pour éliminer les
colorants

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

Dans ce chapitre, nous présenterons un résumé du groupe d'études menées sur l'argile et le charbon actif pour éliminer les colorants des solutions.

❖ Matériel d'argile

Dans ce tableau, nous montrons les résultats d'un groupe d'études qui ont traité le sujet de l'adsorption des colorants par différents types d'argile.

Tableau03: Comparaison de la capacité d'absorption d'un groupe de colorants à l'aide d'argile.

	Adsorbent	Adsorbat	Q _{max} (mg/g)	Référence
01	Bentonite modifiée	Méthyle Orange	47.8	Fernandes et al,2020
02	Argile activée		10	Bendaho et al,2017
03	Argile activée		11	Ma et al,2013
04	zéolithe Mésoporeuse		5	Radoor et al,2021
05	Argile riche en matière organique		41.67	Zayed et al,2018
06	Ver à soie modifié par tensioactif		78	Chen et al,2011
07	Montmorillonite modifiée		24	Chen et al,2011

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

08	Chitosan-caolin		100	Zhu et al,2010
09	Arcilla-chitosane		96	Umpuch et al,2013
10	Argile modifiée		100	Gamoudi et srasra,2019
11	Bentonite modifiée		125	Avila et al,2021
12	Argile activée		16.78	Ma et al,2012
13	Argiles calcinées riches en matière organique		34.48	Zayed et al,2018
14	Hydrogel Composite cellulose/argile		277	Wang et al,2019
15	Argile naturelle de taza		65.1	Balati et al,2014
16	Argile crue		582.79	بقاص و خلوط، 2021
17	Argile naturelle de djelfa		4579.0 5	Haqiq et qadouri,2021
18	Zéolite/chitosane composite		199	Khanday et al,2017
19	montmorillonite		556	Nogueira et al,2009
20	montmorillonite		106.38	Chang et al,2016
21	montmorillonite		69.11	Cottet et al,2014
22	Argile (montmorillonite et vermaculti polyaniline)		184.5	Mu et al,2016

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

23	zéolithe Naturelle		19.94	Han et al,2009
24	Kaolinite brute		13.99	Ghosh et Bhattacharyya,2002
25	Argile illitique marocaine		13.7	Amrhar et al,2015
26	Cendres volantes		5.72	www.sciencedirect.com (2022)
27	Balle modifiée		100	Auta et hameed,2012
28	Argile naturelle		62.5	Sakin et al,2018
29	Nanocomposites kaolin		45	Rida et al,2013
30	Rhassoul-argile		166	Bentahar et al,2019
31	palygorskite		132.72	Mu et wang,2016
32	montmorillonite		74	Zhou et al,2014
33	Perles d'argile modifiées à l'acide		223.19	Auta et hameed,2012
34	Argile naturelle		456.62	Loutfi et al, 2023
35	Argile activée		36.5	Sadki et al, 2014
36	Argile brute		19.194	
37	Argile brute		50	Bennani et al,2010

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

38	Argile purifiée		68.49	
39	Halloysite-Cyclodextrine Nanoéponges		226	Massaroet al,2017
40	Argile naturelle	Violet cristallisé	231.74	Ahmed et dhedan,2012
41	Biocomposite de pierre de mangue		500	Shoukar et al,2017
42	NC hydrogel poly(acrylamide)/kaoli		13.4	Shirsath et al,2015
43	Kappa-carraghénane-g-poly (acrylamide)/hydrogel de sépiolite NC		47	Mahdavinia et asgari,2013
44	Argile sépiolite	Bleu direct	106	Santos et boaventura,2016
45	Boue rouge	Acid orange 7	32.36	Hajjaji et al,2016
46	Kaolinite activée à l'acide	Rouge congo	12.36	Hai et al,2015
47	Argile naturelle de djelfa		1843.3	Haqiq et qadouri,2021
48	Bentonite modifiée au bis- imidazolium	Teintures telon	108	Makhoukhi el al,2015
49	Argiles décantées de safi	Vert malachite	88.70	Elmoubarki et al,2015
50	Bentonite naturelle modifiée	Colorant diazoïque	7.14	Toor et jin,2012
51	Bentonite activée à l'acide	Leuco-Vat de sodium	71.1	Espantaleona et al,2003

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

52	Bentonite activée à l'acide		119.1	Özcan et Özcan,2004
53	Roche argileuse riche en smectite		17.85	Chaari et al,2009
54	Minéraux d'argileux activés		500	Mouzdahir et al,2010
55	Kaolinite activée à l'acide		45.87	Sarma et al,2011
56	Minéraux d'argile verte		93.42	Amari et al,2018
57	Kaolinite traitée		30.08	Sales et al,2013
58	Activation acide de la kaolinite		101.5	Gao et al,2015
59	Argile locale saoudienne minérale		73	Kooli et al,2015
60	Argile naturelle activée à l'acide		15.45	Chaari et al,2021
61	Argile NCS	Drimarine jaune	%88	Kausar et al,2020
62	bentonite	Jaune	40.5	Benguella et yacouta-nour,2009
63	kaolin	bézanyl	30.6	
64	bentonite	Rouge	39.11	
65	kaolin	bézanyl	29.22	
66	bentonite	Vert	23.58	

67	kaolin	nylomine	9.45	
----	--------	----------	------	--

❖ **Matériel du charbon actif**

Tableau 04: adsorption de divers colorants par du charbon actif de différentes sources.

N	colorant	précurseur	Capacité d'absorption (mg/g)	référence
01	Bleu de méthylène	Fibres de palmier (tige)	110.79	Maia et al,2021
02		Fibres de palmier (gaine de palmier)	162.54	
03		Graines de litsea glutinosa	29.03	Dao et al,2021
04		charbon actif	232.5	Kuang et al,2020
05		Mongoustan épluche	871.49	Zhang et al,2021
06		coquille de palmier	163.3	Wong et al,2015
07		Cendres volantes	6.02	Aarfene et

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

08		machefers	6.84	al,2014
09		CA	455	El Qada et al,2008
10		Fruit du dragon (hylocereus costaricensis)	195.2	Jawad et al,2021
11		Saponine de thé	604.1	Ma et al,2021
12		Calligonum polygonoides	769	Alamin et al,2021
13		Zeste de fruit du dragon AC	195.2	Jawad et al,2021
14		Gateau aux dattes	613.8	Heidarinejad et al,2018
15		Moelle de tournesol AC	580.6	Baysal et al,2018
16		Charbon selantik malais AC	491.7	Jawad et al,2019
17		Boisson périmée AC	404.73	Liu et al,2019
18			21	Aboudi et al,2017
19		graines de dattes	123.1	Banat et al,2003
20			163.67	Gherbia et al,2019

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

21		Graines de dattes irakiennes	14.88	Baidhany et al,2017
22		graine de datte Blanche Degla - Biskra	43.1	Gherbia et al,2019
23		Graines de dattes d'Oman	2500	Balushi et al,2017
24		Albizia lebbeck dosettes AC	381.22	Ahmed et theydan,2014
25		Balle de riz AC	362.6	Foo et hameed,2011
26		Coton médical	476.2	Martin-lara et al,2010
27		Pelures de plantain	47.3	Wen-hong et al,2011
28		Karang (pongamia pinnata) coques de fruits	154.8	Alting et al,2017
29		boue	13.27	Boach et daouali,2020
30		Merck	980	Kannan et sundaram,2001
31		Poussière de bambou	143	
32		Coque de noix de coco	278	
33		Coque d'arachide	165	

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

34		paille	472	
35		Balle de riz	343	
36		Copeaux de bambou AC	305.3	Jawad et abdulhameed ,2020
37		Coques de fruits karanj AC	239.4	Islam et al,2017
38		Bois AC	59.92	Danish et al,2018
39		Coquille de gland	357.1	Altinting et al,2017
40		fruits vides bouquet	31.25	Mubarak et al,2015
41		les dattes	249.46	Theydam et ahmed,2012
42		dérivé du riz décortiquer	321	Yang et al,2008
43		Charbon actif magnétique	169	Abuzerr et al,2017
44		Pin	556	Tseng et al,2003
45		Huile de bois de palmier	90.9	Ahmed et al,2007

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

46		Bois de sapin chinois	600	Zuo et al,2009
47	Méthyle Orange	Activé carbone	192.52	Bekhoukh et al,2021
48		Bois d'acacia minéral	181	Danish et al,2014
49		Pamplemousse pelures	94.59	Tao et al,2019
50		Vitis vinifera L. Pépins de raisin	79.7	Yonten et al,2020
51		Appuyer sure la boue de canne à sucre	na	Rondina et al,2019
52		Carbone mésoporeux CMK- 3	294.1	Mohammadi et al,2011
53		Charbon actif en poudre modifié par HNO ₃	384.62	Do et al,2011
54		Charbon actif	303.03	
55		Déchets de cellulose Fibres	337.8	Sun et al,2019
56		Biomasse	195.4	Zhang et wang,2019

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

57		ACRO20	344.827	ابراهيم خليل الطائي،2017	
58		ACRO25	212.765		
59		ACRN4	625		
60		ACRN3	833.333		
61		B.D.H	270.270		
62		Peau de pomelo déchet	163.105		Zhang et al,2019
63		Malachite vert	Activé carbone pastille		395
64	Déchetes de café		303.03	Altrong et al,2021	
65	Hévéa gazéifié brasiliensis		259.49	Ahmad et al,2021	
66	Boue d'igname		498	Tang et al,2021	
67	éléagnus angustifolia graines		115	Baytar et al,2021	
68	Palmier à huile vide bouquet de fruits		na	Loo et al,2021	
69	Alkekengi L.cosse		1989	Zhang et al,2021	
70	Pelures de banane		22.5	Liew et al,2018	

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

71	Rouge congo	Casuarina fruits vides	232	Amran et al,2021
72		Bombax buonopozense	510.2	Achour et al,2021
73		Poudre de café	831.82	Gupta et al,2020
74		Cornulaca monacantha Tige CA dérivé	78.19	Sharma et al,2019
75		ACRO20	588.235	ابراهيم خليل الطائي،2017
76		ACRO25	526.315	
78		ACRN4	714.285	
79		ACRN3	625	
80		B.D.H	714.285	
81		Sargasses fusioforme restes	234	Ma et al,2020
82		Rhodamine B	Sucre blanc	123.46
83	Raphia hookerie épicarpe des fruits		666.67	Inyinbor et al,2016
84	Coquille de noix de coco		94.08	Hoang et al,2020
85	scicure		35.7	Nguyen et al,2021
86	Palmiste coquilles		371	Lee et zaini,2020

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

87		Pelures de banane	952.38	Singh et al,2020
88		Ecorce de tapioca	33.1	Vigneshwaran et al,2021
90	Crystal violet	Biochar obtenu par pyrolyse de tige de ramie(fonctionnalisée)	374.686	Tan et al,2016
91		Charbon actif issu de la fleur de coco	85.84	Shoukar et al,2017
92		La Coque extérieure est en bois de pommier	19.8	Malarvizhi et Ho,2010
93		Charbon de sciure d'eucalyptus fonctionnalisé par CaAL	496.55	Missau et al,2021
94		La chitine	420.06	Tan et al,2016
95		Gousses crues de moringa oleifera	156.25	Omer et al,2022
96		Rouge de méthyle	ACRO20	312.5
97	ACRO25		277.777	
98	ACRN4		344.827	

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

99		ACRN3	370.370	
100		B.D.H	277.777	
101	Rouge acide	Nanotube de carbone matériaux composites	771.1	Wong et al,2014
102		Charbon actifs peche H4P207	34.24	Saratal,2016
103		Nanotube de carbone multiparois	166.6	Shirmardi et al,2012
104		Biochar non dopé	444.5	Reis et al,2023
105		Biochar dopé à l'azote	545.2	
106	Rouge astrazone F3BL	bagasse	942	Juang et al,2002
107		Noyau de prune	710	
108		Epi de mais	790	
109	Jaune acide 36	Sciure d'acajou	184	Malik,2003

Chapitre II Utilisation des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants

110		Balle de riz	87	
111	Red 195	Cendres volantes	24.15	Aarfane et al,2014
112		machefers	10	
113	Noir réactif 5	Champignons comestibles résidu	172.43	Chang,2004
114		boue	11.98	Boach et daouali,2020
115	Rouge acide 18	Boue d'épuration	52	Jenan et Al-Najar,2017
116	Violet basique		91	

CONCLUSION GENERALE

Conclusion

À la lumière de ce qu'il a dit, on peut dire que l'augmentation récente de la demande de routes Épuration à faible coût des eaux polluées provenant de diverses industries, en particulier celles qui sont polluées Avec les colorants, il a suscité un grand intérêt pour la biomasse issue de déchets végétaux ou non plantes, qui sont des polluants solides et constituent un problème environnemental, et j'ai donc l'intention d'examiner cette étude. Valoriser ces déchets, dont de grandes quantités sont gaspillées chaque année en vain en les transformant en Le charbon actif, en plus de l'argile, qui est considérée comme l'une des ressources naturelles les plus importantes Polluants organiques et inorganiques des solutions aqueuses en raison de leurs propriétés d'adsorption.

**LES REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références Bibliographiques

- 1-ZWLOTZKI GUIVARCH E., (2004)** Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée, electro-fenton, application à la minéralisation des colorants synthétique, thèse de doctorat, Université de Marne la vallée, p ,45 .
- 2-Benabdeli K.,benmansour S.,(1998).**Protection de l'environnement.réalisé avec le concours financier de l'assemblée populaire de la Wilaya de Sidi Bel –Abbès.237p.
- 3-Ramade F.,(2005).**Eléments d'écologie : écologie appliquée 6^e d'éd. Belgique : SNEL Grafics, Dépôt légal, pp 223-301.
- 4-Baker J. H., (2000).**The Oxford Companion to the Earth: environmental toxicology. Ed Paul Hancock and Brian J. Skinner.Oxford University Press.Oxford Reference Online.
- 5- reconsiderae.**
- 6-Emilian Koller .,(2004).** « Traitement de pollutions industrielles ».
- 7-F. Meinck, H. Stooff, H. Kohlschutter.,(1977).** « Les eaux résiduaires industrielles », 2ème édition MASSON .
- 8-John D. Spengler et K. A. Sexton.,(2006).** « Indoor Air Pollution: A Public Health Perspective », *Science*, vol. 221, no 4605, (1983), p. 9–17 .Journal Officiel de La République Algérienne N° 26 23, Décret exécutif n° 06-141 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril .
- 9-Julien Reungoat.,(2007).** Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone: Application au traitement d'effluents aqueux industriels. thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de toulouse, Université de toulouse .
- 10- Omar Bouras.,(2003).** Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles : synthèse et caractérisation. Ph, D, thèse, E.D.S.T.S, Université de limoges, 02.

11-Olivier Atteia .,(2005).«Chimie et pollution des eaux souterraines », Tec et Doc Lavoisier.

12-Encarta 2009

13-Guy Pierre Martineau ., (1997).« Maladies d'élevage des porcs » France agricole éditions.

14- Actes d'une réunion d'experts de l'OCDE.,(2001) . « indicateurs environnementaux pour l'agriculture » volume 3, édition OCDE, Zurich, Suisse .

15-Anonyme,Encyclopedia Britanica.,(2009) .online.

16-Md. Tamez Uddin, Md. Akhtarul Islam, Shaheen Mahmud, Md. Rukanuzzaman, “Adsorptive removal of methylene blue by tea waste”, Journal of Hazardous Materials 164, 53–60 (2009).

17-Gérard Groscaude « L'eau ». Volume 1, éditions Quae, ISBN,(1999).

18-Joel Graindorge, Eic Landot, « La qualité de l'eau potable, techniques et responsabilités » Territorial Editions, (2007).

19-S. C. DEHOU, Etude des propriétés d'adsorption des oxyhydroxydes de fer déposés sur un support naturel (la brique) : «Application à l'élimination du fer dans les eaux de forages en République Centrafricaine», Thèse de Doctorat, Université Lille 1, (2011), pp 157.

20-Thierry-Jocker Koyaouili, Etude des procédés plasmas dans l'élimination des polluants organiques persistants dans les effluents aqueux, Thèse de Doctorat en cotutelle, UPMC, UY1. (2016).

21-D. Charpina, J. C. Paironb, I. Annesi-Maesanoc, D. Caillaudd, F. de Blaye, G. Dixsautf, B. Houssetg, J. C. Meuriceh, I. Rousseli, D. Zmirouj, P. Delavalk, J. C. Dalphinl, La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire. Document d'experts du groupe pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF), 2016.

- 22- **Aboudi.I, et al**, Activated carbon synthesis using Moroccan dates stones as precursor and application for wastewater treatment, LCMN University of Guèliz Av Abdelkarim Elkhatabi, 40000 Marrakech, Morocco, JMES8(4), 2017, Page : 1483-1481.
- 23- **Banat.F et al**, Preparation and Examination of Activated Carbons from Date Pits Impregnated with Potassium Hydroxide for the Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions, Jordan University of Science and Technolog : 21(6), Irbid, Jordan., 2003. p 597-606.
- 24- **Gherbia A. et al**, Removal of methylene blue using activated carbon prepared from date stones activated with NaOH, LEDTEGE, Ecole Normale Supérieure, KOUBA, Université de Laghouat, Algeria, Global NEST Journal, Vol 21, No 3, pp 374-380.
- 25- **Dr. J.H. Al-Baidhany et al**, Evaluation of Methylene Blue Removal From Water by Adsorption onto Different Types of Adsorbent Beds, p 1-20.]83[Al-Balushi1.K. et al , Preparation of Activated Carbon from Date Seeds and Evaluation of Its Applications, CDMES-17, Bali (Indonesia), 2017. p 113- 117.
- 26- **M.A. Martin-Lara, I.L.R. Rico, I.D.A. Vicente, G.B. Garcia, M.C. de Hocés**, Modification of the sorptive characteristics of sugarcane bagasse for removing lead from aqueous solutions, Desalination256 (1-3),2010,p58-63.
- 27- **E. Altıntug, H. Altundag, M. Tuzen, A. Sari**, Effective removal of methylene blue from aqueous solutions using magnetic loaded activated carbon as novel adsorbent, Chem. Eng. Res. Des, 122,2017,p151-163.
- 28- **M.Y. Chang, R.S. Juang**, Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay, J. Colloid Interface Sci. 278 (1) ,2004,p18-25.
- 29-**Jenan A. Al-Najar**, Removal of Dyes from Synthetic Wastewater by Agricultural waste, Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering Vol.18 No.3 ,2017,p42.
- 30-**Wen-Hong Li, Qin-Yan Yue, Bao-Yu Gao, Zuo-Hao Ma, Yan-Jie Li, HaiXia Zhao**, Preparation and utilization of sludge-based activated

carbon for the adsorption of dyes from aqueous solutions, *Chemical Engineering Journal* 171 ,2011,p 320–327.

31- **B. Mu, J. Tang, L. Zhang, A. Wang**, Preparation, characterization and application on dye adsorption of a well-defined two-dimensional superparamagnetic clay/ polyaniline/Fe₃O₄ nanocomposite, *Appl. Clay Sci.* 132–133 (2016).

32- **L. Cottet, C.A.P. Almeida, N. Naidek, M.F. Viante, M.C. Lopes, N.A. Debacher**, Adsorption characteristics of montmorillonite clay modified with iron oxide with respect to methylene blue in aqueous media, *Appl. Clay Sci.* 95 (2014) 25–31.

33- **J. Chang, J. Ma, Q. Ma, D. Zhang, N. Qiao, M. Hu, H. Ma**, Adsorption of methylene blue onto Fe₃O₄/activated montmorillonite nanocomposite, *Appl. Clay Sci.* 119(2016) 132–140.

34- **K.T. Wong, N.C. Eu, S. Ibrahim, H. Kim, Y. Yoon, M. Jang**, Recyclable magnetiteloaded palm shell-waste based activated carbon for the effective removal of methylene blue from aqueous solution, *J. Clean. Prod.* 115 (2016) 337–342.

35- **E. Altıntig, H. Altundag, M. Tuzen, A. Sari**, Effective removal of methylene blue from aqueous solutions using magnetic loaded activated carbon as novel adsorbent, *Chem. Eng. Res. Des.* 122 (2017) 151–163.

36- **N.M. Mubarak, Y.T. Fo, H.S. Al-Salim, J.N. Sahu, E.C. Abdullah, S. Nizamuddin, N.S. Jayakumar, P. Ganesan**, Removal of methylene blue and orange-g from waste water using magnetic biochar, *Int. J. Nanosci.* 14 (2015) .

37- **H. Ma, J.-B. Li, W.-W. Liu, M. Miao, B.-J. Cheng, S.-W. Zhu**, Novel synthesis of a versatile magnetic adsorbent derived from corncob for dye removal, *Bioresour. Technol.* 190 (2015) 13–20.

38- **S.K. Theydan, M.J. Ahmed**, Adsorption of methylene blue onto biomass-based activated carbon by FeCl₃ activation: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies, *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 97 (2012) 116–122.

39- **N. Yang, S. Zhu, D. Zhang, S. Xu**, Synthesis and properties of magnetic Fe₃O₄- activated carbon nanocomposite particles for dye removal, *Mater. Lett.* 62 (2008).

- 40- **S. Abuzerr, M. Darwish, A.H. Mahvi**, Simultaneous removal of cationic methylene blue and anionic reactive red 198 dyes using magnetic activated carbon nanoparticles: equilibrium, and kinetics analysis, *Water Sci. Technol.* 2018 (2017) 534–545.
- 41- **HASSEN TRABELSI** , Etude de la dégradabilité et de la toxicité des colorants par ozonation et photocatalyse Pour obtenir le titre de Docteur De l'Université de Monastir, délivré par la Faculté des Sciences de Monastir ;Spécialité : Chimie.(2014).
- 42- **BOUKRAA DJELLAL SAIAH FATIHA**, Traitement des eaux de rejets par sorption de colorant organique sur des argiles anioniques type HDL et comparaison avec des matériaux mésoporeux et macro-mésoporeux hiérarchisés, En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT EN SCIENCES, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN MOHAMED BOUDIAF FACULTE DES SCIENCES - DEPARTEMENT DE .(2010).
- 44- **Hedi Ben Mansoura,b,c** : Oualid Boughzalaa, dorra Dradic, Daniel Barilliera, Leila Chekir-Ghedirab, Ridha Mosratia a:Équipe de Recherche en Physico-Chimie et Biotechnologie (ERPCB – EA3914), IUT-UFR Sciences, Université de Caen, Basse Normandie, France.(2010).
- 45- **M. Dore**. Chimie des oxydants et traitement des eaux. Edition 1989 Paris.
- 46- **J.Griffiths**. Developments in the light absorption properties of dyes–color and photochemical reaction. In: Developments in the Chemistry and Technology of Organic Dyes. Society of Chemistry Industry, Oxford, pp 1-30. (1984).
- 47- **Seyewet z A. et P. Sisle y (1896)**. Chimie des matières colorantes artificielles. Libraires de l'Académie de Médecine (Editeur), Paris Masson, France.
- 48- **BOUAFIA S., (2010)**. Dégradation des colorants textiles par procédés d'oxydation avancée basée sur la réaction de fenton, application a la dépollution des rejets industriels, Thèse Université PARIS-EST, p75-101.

- 49- **Carmen, S. Daniela.,(2012)** .Textile Organic Dyes – Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents-A Critical Overview, Organic Pollutants Ten Years Afterthe Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update, Edition Dr. Tomasz Puzyn, 55-87 .
- 50- **Tseng RL, Wu FC, Juang RS.** Liquid-phase adsorption of dyes and phenols using pinewood-based activated carbons. Carbon 2003;41(3):487–95.
- 51- **Ahmad AL, Loh MM, Aziz JA.** Preparation and characterization of activated carbon from oil palm wood and its evaluation on Methylene blue adsorption. Dyes Pigments2007;75(2):263 –72.
- 52- **Zuo S, Yang J, Liu J, Cai X.** Significance of the carbonization of volatile pyrolytic products on the properties of activated carbons from phosphoric acid activation of lignocellulosic material. Fuel Process Technol 2009;90:994 –1001 .
- 53- **Malarvizhi R, Ho YS.** The influence of pH and the structure of the dye molecules on adsorption isotherm modeling using activated carbon. Desalination2010;264(1 –2):97 –101.
- 54- **Danish M, Hashim R, Ibrahim MNM, Othman Sulaiman O.** Response surface methodology approach for methyl orange dye removal using optimized Acacia mangium wood activated carbon. Wood Sci Technol 2014;48:1085 –105.
- 55- **Santos, S.C.R., Oliveira, A.F.M., Boaventura, R.A.R.,** 2016. Bentonitic clay as adsorbent for the decolourisation of dyehouse effluents. J. Clean. Prod. 126.
- 56- **Mu, B., Wang, A.,** 2016. Adsorption of dyes onto palygorskite and its composites: a review. J. Environ. Chem. Eng. 4, 1274e1294.
- 57- **Hajjaji, W., Pullar, R.C., Labrincha, J.A., Rocha, F.,** 2016. Aqueous Acid Orange 7 dye removal by clay and red mud mixes. Appl. Clay Sci. 126, 197e206.
- 58- **Hai, Y., Li, X., Wu, H., Zhao, S., Deligeer, W., Asuha, S.,** 2015. Modification of acidactivated kaolinite with TiO₂ and its use for the removal of azo dyes. Appl. Clay Sci. 114, 558e567.

- 59- **Makhoukhi, B., Djab, M., Didi, M.A.**, 2015. Adsorption of Telon dyes onto bisimidazolium modified bentonite in aqueous solutions. *J. Environ. Chem. Eng.* 3, 1384e1392.
- 60- **Zhou, K., Zhang, Q., Wang, B., Liu, J., Wen, P., Gui, Z., Hu, Y.**, 2014. The integrated utilization of typical clays in removal of organic dyes and polymer nanocomposites. *J. Clean. Prod.* 81, 281e289.
- 61- **Auta, M., Hameed, B.H.**, 2012. Modified mesoporous clay adsorbent for adsorption isotherm and kinetics of methylene blue. *Chem. Eng. J.* 198e199, 219e227.
- 62- **Elmoubarki, R., Mahjoubi, F.Z., Tounsadi, H., Moustadraf, J., Abdennouri, M., Zouhri, A., ElAlban, A., Barka, N.**, 2015. Adsorption of textile dyes on raw and decanted Moroccan clays: kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Water Resour. Industry* 9, 16e29.
- 63- **Toor, M., Jin, B.**, 2012. Adsorption characteristics, isotherm, kinetics, and diffusion of modified natural bentonite for removing diazo dye. *Chem. Eng. J.* 187, 79e88.
- 64- **Chen, H., Zhao, J., Zhan, A.G., Jin, Y.X.**, 2011b. Removal capacity and adsorption mechanism of heat-treated palygorskite clay for methylene blue. *Chem. Eng. J.* 174, 143e150.
- 65- **Maia, L.S., da Silva, A.I., Carneiro, E.S., Monticelli, F.M., Pinhati, F. R., Mulinari, D.P., Environment, T.**, 2021. Activated carbon from palm fibres used as an adsorbent for methylene blue removal. 29, 1162–1175.
- 66- **Dao, M.U., Le, H.S., Hoang, H.Y., Tran, V.A., Doan, V.D., Le, T.T.N., Sirotkin, A.R.**, 2021. Natural core-shell structure activated carbon beads derived from *Litsea glutinosa* seeds for removal of methylene blue: Facile preparation, characterization, and adsorption properties. 198, 110481.
- 67- **Zhang, Z. , Xu, L. , Liu, Y. , Feng, R. , Zou, T. , Zhang, Y. , Kang, Y. , Zhou, P.J.M. ,** 2021c. Materials Efficient removal of methylene blue using the mesoporous activated carbon obtained from mangosteen peel wastes: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. 315, 110904.
- 68- **Jawad, A.H., Abdulhameed, A.S., Wilson, L.D., Syed-Hassan, S.S. A., ALOthman, Z.A., Khan, M.E.**, 2021. High surface area and

mesoporous activated carbon from KOH-activated Dragon fruit peels for methylene blue dye adsorption: Optimization and mechanism study. 32, 281–290.

69- **Ma, Z.-W., Zhang, K.-N., Zou, Z.-J., Lü, Q.E.**, 2021. High specific area activated carbon derived from chitosan hydrogel coated tea saponin: One-step preparation and efficient removal of methylene blue. 9, 105251.

70- **Alamin, N.U., Khan, A.S., Nasrullah, A., Iqbal, J., Ullah, Z., Din, I. U., Muhammad, N., Khan, S.Z.J.I.Jo.B.M.**, 2021. Activated carbon-alginate beads impregnated with surfactant as sustainable adsorbent for efficient removal of methylene blue. 176, 233–243.

71- **Bekhoukh, A., Moulefera, I., Zeggai, F.Z., Benyoucef, A., Bachari, K.J.Jo.P., Environment, T.**, 2021. Anionic Methyl Orange Removal from Aqueous Solutions by Activated Carbon Reinforced Conducting Polyaniline as Adsorbent: Synthesis, Characterization, Adsorption Behavior, Regeneration and Kinetics Study. 1–10

72- **Tao, X., Wu, Y., Cha, L., Research, P.**, 2019. Shaddock peels-based activated carbon as cost-saving adsorbents for efficient removal of Cr (VI) and methyl orange. 26, 19828–19842.

73- **Yönten, V., Sanyürek, N.K., Kivanç, M., Interfaces**, 2020. A thermodynamic and kinetic approach to adsorption of methyl orange from aqueous solution using a low cost activated carbon prepared from *Vitis vinifera* L. 20, 100529.

74- **Rondina, D.J.G., Ymbong, D.V., Cadutdut, M.J.M., Nalasa, J.R.S., Paradero, J.B., Mabayo, V.I.F., Arazo, R.S.**, 2019. Utilization of a novel activated carbon adsorbent from press mud of sugarcane industry for the optimized removal of methyl orange dye in aqueous solution. 9, 1–12

75- **Sun, B., Yuan, Y., Li, H., Li, X., Zhang, C., Guo, F., Liu, X., Wang, K., Zhao, X.J.**, 2019. Waste-cellulose-derived porous carbon adsorbents for methyl orange removal. 371, 55–63.

76- **Zhang, B., Wang, D.J.W.**, 2019. Preparation of biomass activated carbon supported nanoscale zero-valent iron (nZVI) and its application in decolorization of methyl orange from aqueous solution. 11, 1671.

- 77- **Tang, S.H., Zaini, M.**, 2020. Development of activated carbon pellets using a facile low-cost binder for effective malachite green dye removal. 253, 119970.
- 78- **Altıntug, E., Yenigun, M., Sari, A., Altundag, H., Tuzen, M., Saleh, T.A.J.E.T., Innovation**, 2021. Facile synthesis of zinc oxide nanoparticles loaded activated carbon as an eco-friendly adsorbent for ultra-removal of malachite green from water. 21, 101305
- 79- **Ahmad, A.A., Ahmad, M.A., Yahaya, N.K.E., Karim, J.J.A.Jo.C.**, 2021. Adsorption of malachite green by activated carbon derived from gasified Hevea brasiliensis root. 14, 103104
- 80- **Tang, S.H., Zaini, M., Interfaces**, 2021. Microporous activated carbon prepared from yarn processing sludge via composite chemical activation for excellent adsorptive removal of malachite green. 22, 100832.
- 81- **Baytar, O., Ceyhan, A.A., Şahin, Ö.J.I.Jo.P.**, 2021. Production of activated carbon from *Elaeagnus angustifolia* seeds using H₃PO₄ activator and methylene blue and malachite green adsorption. 23, 693–703.
- 82- **Loo, W.W., Pang, Y.L., Lim, S., Wong, K.H., Lai, C.W., Abdullah, A. C.**, 2021. Enhancement of photocatalytic degradation of Malachite Green using iron doped titanium dioxide loaded on oil palm empty fruit bunch-derived activated carbon. 272, 129588.
- 83- **Zhang, B., Jin, Y., Qi, J., Chen, H., Chen, G., Tang, S.**, 2021a. Innovation Porous carbon materials based on *Physalis alkekengi* L. husk and its application for removal of malachite green. 21, 101343.
- 84- **Liew, R.K., Azwar, E., Yek, P.N.Y., Lim, X.Y., Cheng, C.K., Ng, J.-H., Jusoh, A., Lam, W.H., Ibrahim, M.D., Ma, N.**, 2018. Microwave pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: a new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption. 266, 1–10.
- 85- **Amran, F., Zaini, M.A.A.J.E.T., Innovation**, 2021. Sodium hydroxide-activated *Casuarina* empty fruit: Isotherm, kinetics and thermodynamics of methylene blue and congo red adsorption. 23, 101727.

- 86- **Achour, Y., Bahsis, L., Ablouh, E.-H., Yazid, H., Laamari, M.R., El Haddad, M.J.S.**, 2021. Interfaces Insight into adsorption mechanism of Congo red dye onto Bombax Buonopozense bark Activated-carbon using Central composite design and DFT studies. 23, 100977.
- 87- **Gupta, V.K., Agarwal, S., Ahmad, R., Mirza, A., Mittal, J.**, 2020. Sequestration of toxic congo red dye from aqueous solution using ecofriendly guar gum/activated carbon nanocomposite. 158, 1310–1318.
- 88- **Dil, E.A., Ghaedi, M., Asfaram, A., Bazrafshan, A.S.**, 2018. Ultrasound wave assisted adsorption of congo red using goldmagnetic nanocomposite loaded on activated carbon: Optimization of process parameters. 46, 99–105.
- 89- **Abbas, M., Trari, M.J.P.S., Protection, E.**, 2015. Kinetic, equilibrium and thermodynamic study on the removal of Congo Red from aqueous solutions by adsorption onto apricot stone. 98, 424–436.
- 90- **Sharma, A., Siddiqui, Z.M., Dhar, S., Mehta, P., Pathania, D.J.Ss**, 2019a. Technology Adsorptive removal of congo red dye (CR) from aqueous solution by *Cornulaca monacantha* stem and biomass-based activated carbon: isotherm, kinetics and thermodynamics. 54, 916–929.
- 91- **Ma, M., Ying, H., Cao, F., Wang, Q., Ai, N.E.**, 2020. Adsorption of congo red on mesoporous activated carbon prepared by CO₂ physical activation. 28, 1069–1076
- 92- **Xiao, W., Garba, Z.N., Sun, S., Lawan, I., Wang, L., Lin, M., Yuan, Z.**, 2020. Preparation and evaluation of an effective activated carbon from white sugar for the adsorption of rhodamine B dye. 253, 119989
- 93- **Inyinbor, A., Adekola, F., Olatunji, G.R., Industry**, 2016. Kinetics, isotherms and thermodynamic modeling of liquid phase adsorption of Rhodamine B dye onto *Raphia hookerie* fruit epicarp. 15, 14–27.
- 94- **Hoang, L.P., Van, H.T., Nguyen, T.T.H., Nguyen, V.Q., Quang Thang, P.C.**, 2020. Coconut shell activated carbon/CoFe₂O₄ composite for the removal of rhodamine B from aqueous solution. 2020.
- 95- **Nguyen, D.T., Nguyen, T.T., Nguyen, H.P.T., Khuat, H.B., Nguyen, T.H., Tran, V.K., Chang, S., Nguyen-Tri, P., Nguyen, D.D.**,

La, D. Chemical Engineering Research and Design 186 (2022) 276–299 297 T., Innovation, 2021. Activated carbon with ultrahigh surface area derived from sawdust biowaste for the removal of rhodamine B in water. 101811.

96- **Lee, L.Z., Ahmad Zaini, M.R.,** 2020. One-step ZnCl₂/FeCl₃ composites preparation of magnetic activated carbon for effective adsorption of rhodamine B dye. 1–18.

97- **Singh, S., Kumar, A., Gupta, H.S.,** 2020. Activated banana peel carbon: a potential adsorbent for Rhodamine B decontamination from aqueous system. 10, 1–8.

98- **Vigneshwaran, S., Sirajudheen, P., Karthikeyan, P., Meenakshi, S. J.S.,** 2021. Interfaces Fabrication of sulfur-doped biochar derived from tapioca peel waste with superior adsorption performance for the removal of Malachite green and Rhodamine B dyes. 23, 100920.

99- **BOYER E., (1990).** priorities of the professionate, scholarship.

100- Asmaa Bennani Karim, Badia Mounir, Mohsine Hachkar, Mina Bakasse and Abdelghani Yaacoubi. 2010. Élimination du colorant basique « Bleu de Méthylène » en solution aqueuse par l'argile de Safi Removal of basic dye “Methylene Blue” in aqueous solution by Safi clay. Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science.

101- **H. Sadki*, K. Ziat et M. Saidi.2014.** Adsorption d'un colorant cationique d'un milieu aqueux sur une argile locale activée (adsorption of dyes on activated local clay in aqueous solution).

102- Laboratoire Physico-Chimie des Matériaux, Substances Naturelles et Environnement, Département de chimie, Faculté des Sciences et Techniques de Tanger, Université Abdelmalek Essaâdi, Maroc.

103- **Z. Gao, X. Li, H. Wu, S. Asuha,** Magnetic modification of acid-activated kaolin: synthesis, characterization, and adsorptive properties, Microporous Mesoporous Mater. 202 (2015) 1–7.

104- **F. Kooli, Y. Liu, R. Al-Faze, A. Al Suhaimi,** Effect of acid activation of Saudi local clay mineral on removal properties of basic blue 41 from an aqueous solution, Appl. Clay Sci. 116-117 (2015) 23–30.

105- **A. Amari, H. gannouni, M.I. Khan, M.K. Almesfer, A.M. Elkhaleefa, A.**

Gannouni, Effect of structure and chemical activation on the adsorption properties of green clay minerals for the removal of cationic dye, *Appl. Sci.* 8 (2018) 1–18.

106- **A .G. Espantaleona, J.A . Nietoa, M. Fernandezb, A . Marsalc**, Use of activated clays in the removal of dyes and surfactants from tannery wastewater, *Appl. Clay Sci.* 24 (2003) 105–110.

107- **A .S. Özcan, A . Özcan**, Adsorption of acid dyes from aqueous solutions onto acid-activated bentonite, *J. Colloid Interface Sci.* 276 (2004) 39–46.

108- **I. Chaari, M. Feki, M. Medhioub, J. bouzid, E. Fakhfakh, F. Jamoussi**, Adsorption of a textile dye “indanthrene blue RS (C.I. Vat Blue 4)” from aqueous solutions onto smectite-rich clayey rock, *J. Hazard. Mater.* 172 (2009) 1623–1628.

109- **Y. El Mouzdahir, A. Elmchaouri, R. Mahboub, A. Gil, S.A. Korili**, Equilibrium modeling for the adsorption of methylene blue from aqueous solutions on activated clay minerals, *Desalination* 250 (2010) 335–338.

110- **G.K. Sarma, S. SenGupta, K.G. Bhattacharyya**, Methylene blue adsorption on natural and modified clays, *Sep. Sci. Technol.* 46 (2011) 1602–1614.

111- **P.F. de Sales, Z.M. Magriotis, M.A.L.S Rossi, R.F. Resende, C.A. Nunes**, Optimization by response surface methodology of the adsorption of coomassie blue dye on natural and acid-treated clays, *J. Env. Mang.* 130 (2013) 417–428.

112- **Islem Chaari , Mounir Medhioub , Fakher Jamoussi , Ahmed Hichem Hamzaoui a.2021**. Acid-treated clay materials (Southwestern Tunisia) for removing sodium leuco-vat dye : Characterization, adsorption study and activation mechanism. Useful Materials Valorization Laboratory, National Center for Research in Materials Sciences, Soliman, Tunisia b Faculty of Science, Sfax, Tunisia c Georessources Laboratory, CERTE, 273 –8020 Soliman, Tunisia.

113- **Wang, Y., Zhu, J., Dong, G., Zhang, Y., Guo, N., Liu, J., 2015**. Sulfonated halloysite nanotubes/polyethersulfone nanocomposite membrane for efficient dye purification. *Separ. Purif. Technol.* 150, 243–251.

114- **Zhang, S., Wang, J., Zhang, Y., Ma, J., Huang, L., Yu, S., Chen, L., Song, G., Qiu, M., Wang, X., 2021**. Applications of water-stable metal-organic frameworks in the removal of water pollutants: a review. *Environ. Pollut.* 291.

115- **M. Baysal, K. Bilge, B. Yılmaz, M. Papila, Y. Yürüm**, Preparation of high surface area activated carbon from waste-biomass of sunflower piths: Kinetics and equilibrium studies on the dye removal, *J. Environ. Chem. Eng.* 6 (2) (2018).

- 116- **A.H. Jawad, K. Ismail, M.A.M. Ishak, L.D. Wilson**, Conversion of Malaysian lowrank coal to mesoporous activated carbon: Structure characterization and adsorption properties, *Chin. J. Chem. Eng.* 27 (7) (2019) 1716–1727.
- 117- **Y. Liu, Z. Huo, Z. Song, C. Zhang, D. Ren, H. Zhong, F. Jin**, Preparing a magnetic activated carbon with expired beverage as carbon source and KOH as activator, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 96 (2019) 575–587.
- 118- **M.J. Ahmed, S.K. Theydan**, Optimization of microwave preparation conditions for activated carbon from Albizia lebeck seed pods for methylene blue dye adsorption, *J. Anal. Appl. Pyrol.* 105 (2014) 199–208.
- 119- **K.Y. Foo, B.H. Hameed**, Utilization of rice husks as a feedstock for preparation of activated carbon by microwave induced KOH and K₂CO₃ activation, *Bioresour. Technol.* 102 (20) (2011) 9814–9817.
- 120- **A.H. Jawad, A.S. Abdulhameed**, Statistical modeling of methylene blue dye adsorption by high surface area mesoporous activated carbon from bamboo chip using KOH-assisted thermal activation, *Energy Ecol. Environ.* 5 (2020) 456–469.
- 121- **M.A. Islam, S. Sabar, A. Benhouria, W.A. Khanday, M. Asif, B.H. Hameed**, Nanoporous activated carbon prepared from karanj (*Pongamia pinnata*) fruit hulls for methylene blue adsorption, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 74 (2017) 96–104.
- 122- **M. Danish, T. Ahmad, R. Hashim, N. Said, M.N. Akhtar, J. Mohamad-Saleh, O. Sulaiman**, Comparison of surface properties of wood biomass activated carbons and their application against rhodamine B and methylene blue dye, *Surf. Interfac.* 11 (2018) 1–13.

Références arabes

- 1- بقاص صفاء و خلوط بشيرة، إزالة الأصبغة الكاتيونية من المحاليل المائية بواسطة الطين الطبيعي والطين المحسن، مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي في الكيمياء العضوية، جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي-2021.
- 2- سيماء إبراهيم خليل الطائي، تحضير أنواع جديدة من الكربون المنشط واختبار كفاءتها من خلال امتزاز بعض الأصباغ عليها، دراسة ثيرموداينميكية وحركية، مذكرة مقدمة لنيل شهادة الدكتوراء في الكيمياء الصناعية، جامعة الموصل كلية التربية للعلوم والصرف، 2017.

RESUME

ملخص

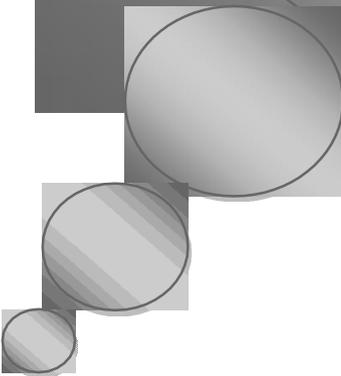
يهدف هذا العمل إلى دراسة قابلية أنواع الطين والكربون النشط باعتبارهما مادة طبيعية أكثر وفرة وذات تكلفة منخفضة لإزالة الملوثات الأصباغ خصوصا من المحاليل المائية باستخدام عملية الإمتزاز وكبداية تم التعريف بمصطلح التلوث وأنواعه إضافة إلى الأصباغ والممترات ليختتم بنتائج أهم الدراسات حول الموضوع.

الكلمات المفتاحية: الطين، الكربون النشط، إمتزاز، صبغة.

Résumé

Ce travail vise à étudier la susceptibilité des argiles et du charbon actif en tant que matériaux naturels plus abondants et peu coûteux à éliminer les polluants et les colorants, en particulier des solutions aqueuses, en utilisant le procédé d'adsorption.

Mots clés : argile, charbon actif, adsorption, colorant.



summary

This work aims to study the susceptibility of clays and active carbon as more abundant and low-cost natural materials to remove pollutants and dyes, especially from aqueous solutions, using the adsorption process.

Keywords: clay, activated carbon, adsorption, dye.