

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département De Génie Des Procédés



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Génie d'environnement

Thème

Étude de l'adsorption des colorants (bleu de méthylène)

Sur un biomatériau à base de cactus

Présentés par :

Belalia nihad

messeguem meriem

Encadré par :

Pr. Z.benmaamar

2019/2020

Remerciements

الحمد لله رب العالمين

Avant tout développement nous tenons à remercier le Bon DIEU le tout puissant de nous avoir éclairés de son savoir et de nous avoir guidés tout au long de ce travail.

*Egalement, nous tenons à remercier le **pr .z.benmaar**, pour l'aide offerte lors des différentes étapes de la réalisation de ce travail.*

Nos vifs remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à nos formations tout au long de nos études.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont également à l'encontre de toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*Je dédie ce travail à mes très chers parents (mon père benyoucef et ma mère fadila) qui m'ont menée pas à pas à la réussite et à la concrétisation de mes objectifs
Et à toute ma famille(kheira ,chaima ,naaima,zahra, hadjer,) maternelle et paternelle.*

Mon binôme nihade

Ainsi que tous mes amis soumia ,khaoula et tous ceux qui me sont très chers.....

messeguem meriem

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A MES CHERS ET ADORABLE FRERES ET SŒURS

À ma soeur sarah,mes fèrees hcene et hocine

À mon fiancé zaki

A MES AMIS DE TOUJOURS

Meriem. Sihem , ilhem, hala imen

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.....

Nihade belalia

ملخص

يعد تلوث المياه مشكلة خطيرة في العديد من البلدان. يمكن أن يتسبب هذا التلوث في آثار ضارة على البيئة. هناك العديد من العمليات مثل معالجة مياه الصرف الصحي ، معالجة مياه الشرب [التلبد ، التكوير] ، تغيير اللون . نستخدم تقنية الامتزاز لإزالة وتقليل الآثار الضارة لهذه الملوثات. في دراستنا قسمنا العمل إلى قسمين. يتحدث الجزء الأول من مفهومه الأول بشكل عام عن مادة الامتصاص والامتصاص مع العلم أننا استخدمنا (الصبار) كمادة كثيفة وفي المفهوم الثاني يتحدث عن الامتزاز بشكل عام وبشكل خاص. بالنسبة للجزء الأخير يركز على التوليف البيولوجي المتعلق بفعالية التين الشوكي.

résumé

La pollution des eaux est un sérieux problème dans plusieurs pays et provoque des effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement. Plusieurs procédés de traitement des eaux usées et/ou de traitement des eaux potables [floculation, coagulation], décoloration (La pollution des eaux issues des rejets industriels ont été utilisés). Parmi eux, La technologie d'adsorption est très utilisée pour éliminer et/ou réduire les effets néfastes de ces polluants. Cette étude consiste à présenter , dans un premier volet, une partie théorique liée aux adsorbants, aux adsorbats notamment ceux à base de figue de Barbarie (cactus). Le deuxième volet est focalisé sur une synthèse bibliographique liée aux efficacités des figues de Barbarie

abstract

Water pollution is a serious problem in several countries and causes harmful effects on human health and the environment. Several wastewater treatment and / or drinking water treatment processes [flocculation, coagulation], discoloration (pollution of water from industrial discharges have been used). Among them, adsorption technology is widely used to eliminate and / or reduce the harmful effects of these pollutants. This study consists in presenting, in a first part, a theoretical part related to adsorbents, adsorbates in particular those based on prickly pear (cactus). The second part is focused on a bibliographical synthesis related to the effectiveness of prickly pears (cacti).

Sommaire

Introduction

Chapitre I: Généralités sur le cactus et les colorants

I.1- Définition de charbon actif	1
I.2- Choix du matériau d'origine	1
I.3- Les précurseurs utilisés pour la fabrication de charbon actif	1
I.4 - domaine d'utilisation du charbon.....	2
I.5- Régénération du charbon actif.....	2
I.5.1-Régénération à la vapeur	2
1.5.2-Régénération thermique	2
I.5.3-Régénération chimique.....	3
I.6- Généralité sur le cactus	3
I.7- Généralité sur les colorants.....	7
I.7.1- Classification technique.....	7
I.7.2- Classification chimique.....	8
I.7.3-Classification tinctoriale.....	9
I.8- Le bleu de méthylène.....	9
I.9- Toxicité et impact environnemental.....	10
I.10- Toxicité sur les milieux aquatiques.....	10

Chapitre II: Théorie d'adsorption

II.1- Définition	12
II.2- Types d'adsorption.	13
II.2.1- Adsorption physique.....	13
II.2.2- Adsorption chimique.....	13
II.3- Description du phénomène d'adsorption.....	14
II.4- Cinétique d'adsorption.....	15
II.4.1-Description mécanisme d'adsorption (cinétique d'adsorption)	15
II.5- Modélisation de la cinétique d'adsorption.....	16
II.6- Classification des isothermes d'adsorption.....	18
II.6.1- Classe L.....	20
II.6.2- Classe H.....	20
II.6.3- Classe C.....	20
II.6.4- Classe S.....	21
II.7- Modèles d'isothermes d'adsorption.....	21
II.8- Facteurs influençant le phénomène d'adsorption	23
II.8.1-Nature de l'adsorbant	23
II.8.2- L'influence de l'adsorbat.	23
II.8.3-Effet de la température.....	23
II.8.4-Effet de la surface spécifique.....	24
II.8.5 -Effet de l'agitation.....	24
II.8.6 -L'effet du ph.....	24
II.8.7- Effet de la concentration.....	24
II.9- Les application industrielle de l'adsorption.....	24
II.10- Utilisation d'adsorption.....	25

Chapitre III: Synthèse bibliographie

III.1- Enquête sur l'activité de coagulation de la poudre de cactus dans le traitement de l'eau.....	26
III.2- Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus.....	27
III.3- Etude de l'adsorption d'un colorant sur un biomatériau à base des noyaux de mangue.....	28
III.4- Etude de L'efficacité des feuilles de cactus et du charbon de bois en tant que faible coût potentiel Adsorbant pour l'élimination des métaux lourds toxiques des effluents industriels.....	29
III.5- Etude Biosorption du Bleu de Méthylène en milieu aqueux : Etude comparative entre le cactus (<i>Opuntia ficus indica</i>) de la ville de Lomé (CL) et celui de Marrakech (CM).....	30
III.6- Élimination des ions de plomb et de la turbidité des eaux usées par des matériaux adsorbants dérivés des feuilles de cactus.....	31
III.7- Etude de Poudre de cladodes de figue de barbarie d' <i>Opuntia ficus indica</i> comme biosorbant rentable pour l'élimination des colorants des solutions aqueuses.....	32
III.8- Potentiel de cactus dans l'élimination des métaux lourds (Pb et Cd) dans un échantillon d'eau prélevé dans une zone rurale autour de la ville d'Adigrat.....	33
III.9- Adsorbants à base de matériaux de cactus pour l'élimination des métaux lourds et des colorants.....	34
III.10- Cactus un matériau écologique pour le traitement des eaux usées	35
III.11- Bio sorption de l'amoxicilline de l'eau contaminé sur la biomasse d'écorce de palme	36
III.12- potentiel d'adsorption du charbon actif induit par NH_4Cl pour l'élimination de l'antibiotique amoxicilline de l'eau.....	37
III.13- Adsorption du bleu de méthylène par l'argile.....	38
III.14- Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Photographie montrant la plante de cactus.

Figure 2: Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption.

Figure 3: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.

Figure 4: Etapes du processus d'adsorption.

Figure 5: Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante.

Tableau 2 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante.

Tableau 3 : regroupe les propriétés physicochimiques du bleu de Méthylène.

Tableau 4 : Le tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption de MB par cactus

Tableau 5 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption de BM par cactus

Tableau 6 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption de d'acide orange par les noyaux de mangue

Tableau 7 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption de métaux lourds toxiques les feuilles de par cactus

Tableau 8 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption de BM par cactus

Tableau 9 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption de les ions plomb par les feuilles de cactus

Tableau 10 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption des colorants des solutions aqueuses par la poudre de cladodes

Tableau 11 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption des métaux lourds par cactus

Tableau 12 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption des métaux des solutions aqueuses par cactus

Tableau 13 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base de traitement des eau usée cactus

Tableau 14 : tableau représente l'ensemble des référents paramètres de base d'adsorption l'amoxicilline (AMX) par l'écorce de palme

LISTE DES ABREVIATIONS

BM: Bleu de méthylène.

DBO5 : la demande biochimique en oxygène pendant cinq jour .

DCO : La demande chimique en oxygène .

Kbb : Kaolin.

q : quantité de polluant par unité de masse de l'adsorbant (mg.g-1) .

q : quantité de polluant par unité de masse de l'adsorbant (mg.g-1) .

m : masse de l'adsorbant (g) .

V : volume de l'adsorbat (L) .

C₀ : Concentration initiale en adsorbat on phase liquide (mg/l).

C_e : Concentration à l'équilibre en adsorbat on phase liquide (mg/l).

K₁ : La constante de vitesse pour une cinétique de pseudo première ordre.

q_t : La capacité d'adsorption à l'instant t.

q_e : La capacité d'adsorption à l'équilibre.

K₂ : La constante de vitesse du modèle cinétique du pseudo- second ordre (mg.g⁻¹ min⁻¹).

q : Quantité d'adsorbat adsorbée par gramme de solide à l'équilibre (mg/g).

K_d : Coefficient de distribution .

q_m : Quantité d'adsorbat nécessaire couvrir la première couche de l'adsorbant (mg/g) .

b : Sont des constantes caractéristiques du système adsorbat/adsorbant. La constante (min⁻¹).

K, F, E, t, n : Les constantes de Freundlich.

F.C : opuntia f. indica.

A.E : acacia etbiaca .

C_d : cadmium.

p_b : plomb.

C_r : chrome.

C_l: carbone actif dans la ville de Lomé (TOGO).

C_M: charbon actif dan la Marrakech .

P_b²⁺ :l'ion plomb.

PPCP : la poudre de cladodes de figue de barbarie d'Opuntia ficus indica.

AO51 : Acid Orange 51 .

RR75 : Réactive Red .

AMX : l'amoxicilline .

NAC : NH₄Cl .



Introduction générale

Les rejets des effluents colorés dans la nature ne sont pas seulement désagréable pour l'environnement mais affecte beaucoup de cycles biologiques. Ces rejets présentent un véritable danger pour l'homme et son environnement en raison de leur

stabilité et de leur faible biodégradabilité. Plusieurs traitements ont été utilisés pour diminuer l'effet néfaste des effluents rejetés.

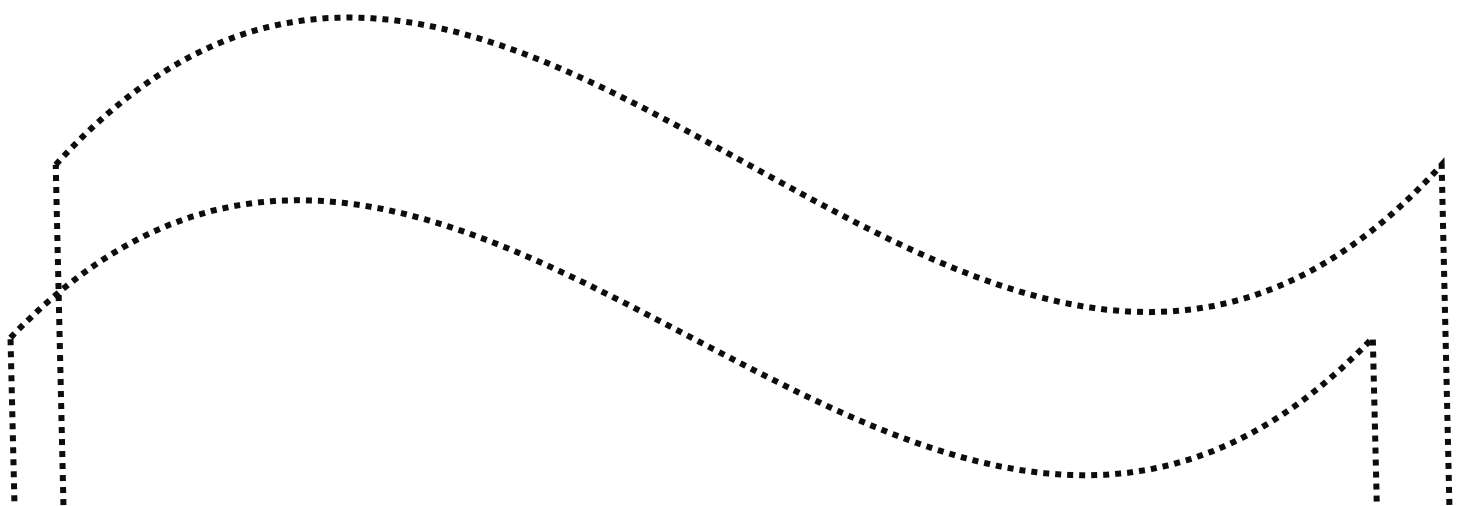
Les procédés traditionnels tels que les procédés biologiques donnent des résultats non satisfaisants, du fait de la composition de ces rejets en matières toxiques et colorants qui sont difficilement biodégradables. L'adsorption reste parmi les techniques les plus utilisées et facile à mettre en œuvre. L'élimination des colorants dans les solutions aqueuses par adsorption sur différents matériaux solides, en particulier sur le charbon actif, a fait l'objet de beaucoup de travaux.

Les applications principales du charbon activé sont, entre autres, la purification, décoloration, désodorisation et en général la désintoxication des eaux potables ainsi que la purification de l'air et des produits chimiques, alimentaires...etc. L'adsorption de molécules organiques telles que celles des colorants sur le charbon actif s'est révélée être une technique de traitement très efficace. Néanmoins dans le cas de certains colorants récalcitrants, des surdosages de charbon sont exigés pour une meilleure efficacité, ce qui rend le coût de l'opération excessif. Par ailleurs, la régénération du charbon actif est une opération délicate et ne fait pas l'unanimité sur son utilité. Pour cette raison, de nouveaux matériaux font l'objet de plusieurs recherches ces dernières années.

Dans ce contexte, nous nous sommes proposé de tester un bio-adsorbant à base de Cactus (figuier de barbarie) qui est un arbre originaire des régions arides et semi-arides du Mexique.

Il appartient au genre *Opuntia*, c'est une plante xérophytique succulente capable d'emmagasiner une grande quantité d'eau et ne présente aucun danger vis-à-vis de la santé humaine. Elle présente également des valeurs considérables dans les domaines : cosmétique, médicinale et alimentaire.

Dans ce travail, ce biomatériau a été utilisé à l'état brut en tant qu'adsorbant envers le colorant du Bleu de Méthylène.



Chapitre 1:

Généralités sur le cactus et les colorants

1.1 Définition de charbon actif (adsorbant):

Les charbons actifs sont les adsorbants les plus fabriqués et les plus utilisés industriellement. Ils sont préparés à partir de matériaux carbonés de nature minérale ou organique, carbonisés et activés [1],

1.2 Choix du matériau d'origine :

Tout matériau peu coûteux, contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage en matière inorganique, peut servir à fabriquer des charbons actifs. Ils sont généralement obtenus à partir de bois, charbon, noix de coco, lignite, tourbe....etc.

La valorisation de différents déchets, tels que ceux issus de l'industrie du pétrole et des huiles lubrifiantes, connaît actuellement un essor important. Nous pouvons aussi citer comme autres exemples l'utilisation de résidus de la fabrication du café ou de la pyrolyse de boues activées. L'utilisation de sous-produits industriels s'inscrit dans une démarche de développement durable et de valorisation des déchets [1],

1.3.Fabrication de charbon actif :

Des branches de cactus sont lavées abondamment à l'eau, afin d'éliminer les impuretés, séchées dans une étuve, puis broyées.

Les particules récupérées sont tamisées. Seule la fraction inférieure à 100 µm est retenue .

Après l'activation on va obtenir la poudre finale [2],

les branches de cactus ayant subi une activation chimique par :

- Un sel ($ZnCl_2$)
- Un acide (H_3PO_4)
- Une base (KOH)

- Un sel (K_2CO_3)

1.4. Domaine d'utilisation:

Le charbon actif peut être utilisé [3],

- Comme neutralisateur d'odeurs dans les pièces et les dispositifs d'aération,
- Dans les centrales nucléaires pour éviter les gaz radioactifs,
- Dans les usines pour nettoyer les gaz d'échappement et les eaux usées,
- Comme colorant dans le domaine de la fabrication de denrées alimentaires (confitures, confiseries, ..., etc).

1.5 . Régénération du charbon actif :

Les méthodes plus utilisées pour la régénération du charbon actif sont :[4],

- Régénération à la vapeur,
- Régénération thermique,
- Régénération chimique.

1.5.1. Régénération à la vapeur :

Cette méthode est réservée à la régénération des charbons actifs qui ont simplement adsorbés des produits très volatils. Cependant, le traitement à la vapeur peut être utile pour déboucher la surface des grains de charbons et désinfecter le charbon.

1.5.2. Régénération thermique :

Cette opération est réalisée par pyrolyse ou en brûlant les matières organiques adsorbées par les charbons actifs. Dans le but d'éviter d'enflammer les charbons, ils sont chauffés aux alentours de 800 °C au sein d'une atmosphère contrôlée. C'est la méthode de régénération la plus largement utilisée et régénère parfaitement les

charbons actifs. Parmi les inconvénients de cette méthode, il y a une perte de charbon de l'ordre de 7-10 % .

1.5.3. Régénération chimique

Il faut injecter un solvant à une température de 100 °C et à un pH de l'ordre de 12 à 13. Cette technique permet de réduire les pertes de charbon à 1%.

1.6.Généralités sur le cactus :

Les Cactus, sont une famille de plantes à fleurs. Ce sont presque toutes des plantes grasses ou plantes succulentes, c'est-à-dire des plantes xérophytes qui stockent dans leurs tissus des réserves de « suc » pour faire face aux longues périodes de sécheresse.

Contrairement aux croyances populaires, les cactus ne sont pas considérés comme étant des arbres. Les cactus couvrent un large éventail de formes et de tailles. On en trouve des sphériques, cylindriques, en forme de pilier, avec des feuilles pointues ou en forme de raquettes appelées cladode. Le plus grand est *Pachycereus pringlei*, avec une taille mesurée de 19,2 m. Le plus petit est *Blossfeldia liliputiana*, d'1 cm de diamètre à sa taille adulte [5],



Figure 1: Photographie montrant la plante de cactus

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques des matériaux de cactus collectés à divers endroits.

Cactus / matériaux espèces / location	minéral majeur (mg/100 g)	acide gras majeur (%w/w)	Références
Cladodes <i>O. ficus-indica</i> (L.) (Central Kenya)	Ca: 316.5 K: 108.8 Mg: 63.4 Mn: 37.8 Na: 18.7	/	[6]
Cladodes (dried at 60 °C) <i>O. ficus indica</i> (Mexico)	/	Palmitique :26,83% linoléique: 28,61% linoléinique:21,58% Oléique : 11,03%	[7]
Cladodes <i>O. sulphurea</i> (Argentina)	/	Linoléique: 25,58% Linoléinique:27,41% Oléique : 11,4%	[8]
Cladodes <i>O. ficus indica</i> (Mexico)	Ca: 1795–3440 K: 5520–6335 Mg: 8–29 Mn: 880–955 Na: 20–55	/	[9]
Cladodes <i>O. streptacantha</i> (Mexico)	Ca:667 K: 2213 Mn: 16.5 Na: 70	/	[10]
Cladodes <i>O. hyptiacantha</i> (Mexico)	Ca: 740 K: 2690 Mn: 9.8 Na: 87	/	[11]

Cladodes <i>O. megacantha</i> (Mexico)	Ca:683 K: 1960 Mn: 13.3 Na: 137	/	[12]
Cladodes <i>O. ficus-indica</i> (Algeria)	/		[13]

- Le tableau 1 résumait la composition immédiate en protéines, lipides, cendres et glucides), les principaux minéraux et acides gras contenus dans les échantillons de cactus prélevés dans diverses régions. Généralement, le cactus contient des protéines et des lipides à de faibles concentrations, En outre, le cactus est une bonne source de minéraux principalement Ca, K, Mg, Mn et Na qui représentent les principaux minéraux.

Outre les données présentées dans le tableau 1, il a été démontré par de nombreux chercheurs que les espèces de cactus contiennent diverses molécules bioactives aux propriétés nutritionnelles et biologiques intéressantes (antimicrobiennes, antioxydantes, etc.)

1.7. Généralités sur les colorants (adsorbats)

Ce sont des substances colorées, naturelles ou synthétiques, qui, mises en contact avec un support dans des conditions appropriées, se fixent sur ce dernier de façon durable en lui communiquant une certaine couleur. Il existe des colorants naturels et d'autres synthétiques.

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La molécule colorante est un chromogène. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron et plus la couleur est intense. [14],

Tableau 2 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-NO= ou -N-OH)	Méthylamine (-NHCH ₃)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamine (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C=O)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou NO ₃)	Alkoxy (-OR)
Sulfures (>C- S)	Groupements donneurs d'électrons

1.7.1. Classification technique

On peut classer les colorants organiques en deux catégories suivant leur synthèse : [15],

- ✓ Colorants naturels.
- ✓ Colorants synthétiques
- **Les colorants naturels :**

Ils sont très répandus, surtout dans les plantes (bois, racines, graines, fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux.

- **Les colorants synthétiques :**

Tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir des produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphthalène, xylène et anthracène). 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 .

1.7.2 . Classification chimique

Il existe plusieurs classes :

- Les colorants azoïques,
- Les colorants anthraquinoniques,
- Les colorants triphénylméthanes,
- Les colorants indigoïdes,
- Les colorants xanthènes,
- Les phtalocyanines,
- Les colorants nitrés et nitrosés.

I.7.3 Classification tinctoriale

Le teinturier préfère le classement par domaines d'application.

- Colorants réactifs,
- Colorants directs,
- Colorants acides ou anioniques,
- Colorants basiques ou cationiques,
- Colorants mordants,
- Colorants de cuve.

1.8. Bleu de méthylène (BM):

Le BM est utilisé intensivement dans différents domaines telle que la chimie, la médecine, l'art dentaire et l'industrie des colorants. Dans ce qui suit, nous citons quelques usages de ce composé [16].

- Colorant vital de certaines structures histologiques;
- Accélérateur la réduction des méthémoglobines;

- Antiseptique et Antirhumatismal
- colorant du coton, bois, soie et papier
- Limiteur optique combiné à un polymère dans la protection des yeux contre les lasers intenses
- Traitement spécifique d'une méthémoglobinémie toxique.

Bleu de méthylène	
Fournisseur	MERCK Eurolab S.A
Couleur	Bleu foncé
Odeur	Presque inodore
Nomenclature selon l'IUPAC	Chlorure de bis-(diméthylamino)-3,7 phénazinium
Formule chimique	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S
Masse molaire	319,85 g.mol ⁻¹
Température de fusion (°C)	180 °C
Densité volumique à 20 °C (g /cm ³)	400-600 kg /m ³
La longueur d'onde maximale	666 nm
Solubilité dans l'eau (g/l) à 20°C	50 g /l

Tableau 3 : regroupe les propriétés physicochimiques du bleu de Méthylène[17].

I.9.Toxicité et impact environnemental :

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, peut provoquer la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. De ce fait, ils peuvent persister longtemps, 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...). Le traitement des effluents chargés en colorants s'avère donc indispensable pour la sauvegarde de l'environnement [18]

Chapitre 2 :

PHENOMENES
D'ADSORPTION

2.1- Définition :

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.

Ce procédé définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des molécules (gaz, ions métalliques, molécules organiques, etc.) d'une manière plus ou moins réversible. Au cours de ce processus, il y aura donc un transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide.

La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie dégagée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption : adsorption physique et adsorption chimique [19],



Figure 2: Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption

2.2- Types d'adsorption :

On distingue les types d'adsorption suivantes :

2.2.1. Adsorption physique :

L'adsorption physique ou physisorption d'un gaz ou d'un liquide (adsorbat) sur d'un solide (adsorbant) s'effectue essentiellement par des forces d'interaction molécules-surface active de type Van der Waals, qui sont des forces attractives.

L'adsorption physique se caractérise par une chaleur d'adsorption très faible (< 10kcal) avec une température basse et une réversibilité parfaite ; c'est-à-dire une augmentation de température ou diminution de la pression en gendre l'apparition du phénomène de désorption. Par élévation de la pression, il y aura formation de plusieurs superposée [20].

2.2.2. Adsorption chimique :

Dans le cas de l'adsorption chimique, l'adsorption est les fores d'interaction (molécules-surface active) sont pareilles à celles des liaisons covalentes, ou électrovalences. Comme les réactions chimiques, elle est soumise aux lois conventionnelles de la thermodynamique et de la cinétique et elle est caractérisée par une chaleur d'adsorption élevée (10-200kcal).

L'adsorption chimique se limite à la formation d'une seule couche moléculaire contrairement à l'adsorption physique. De plus, les molécules ne seront pas adsorbées qualitativement et quantitativement de la même façon en cas d'un mélange.

Généralement, l'adsorption réalisée à basse température et réversible, ce pendant certaine adsorption lorsqu'elles sont réalisées à haute température comme l'adsorption dissociative des hydrocarbures saturés sur les métaux peuvent ne pas restituer le composé d'origine, de telles adsorptions sont dites irréversibles, [21] ,

2.3. Description du phénomène d'adsorption :

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure 3 présente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide. [22],

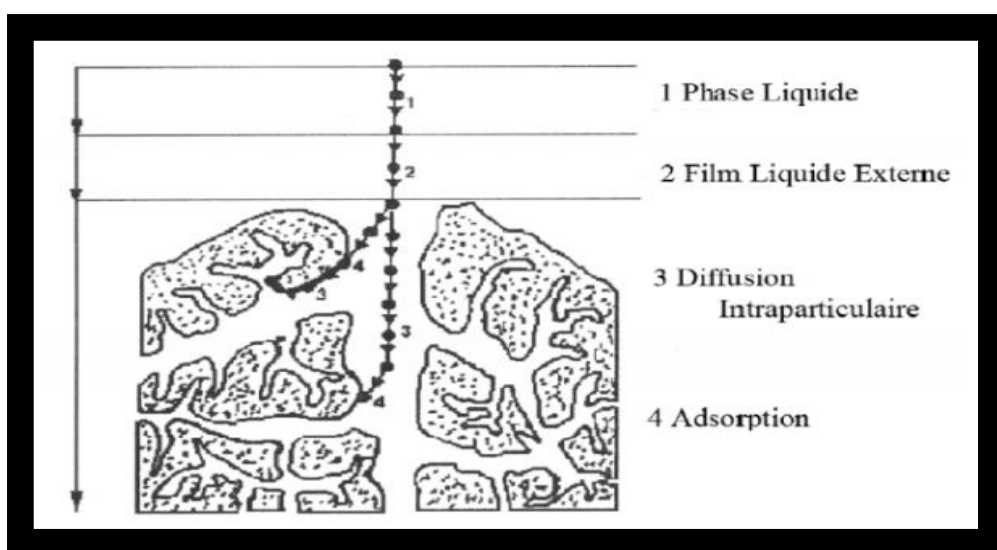


Figure 3: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux [22],

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes .[23] :

- 1)- Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant ;
- 2)- Diffusion extragranulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains) ;
- 3)- Transfert intragranulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains vers les sites actifs) ;

4)- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considéré comme immobile.

2.4. Modélisation de la cinétique

d'adsorption:

La cinétique d'adsorption dépend des conditions du système et des interactions adsorbant adsorbat, aussi elle s'intéresse à deux éléments le temps de rétention et le mécanisme pour déterminer le temps de séjour exigé pour accomplir la réaction d'adsorption.

Afin d'étudier la cinétique d'adsorption on détermine d'abord (qt) la quantité adsorbée exprimée en (μ moles, μ g ou mg) de soluté par gramme de solide adsorbant est donnée par la relation suivante [24]:

$$q_e = [c_0 - c_e] \cdot v / m$$

Avec, q : quantité de polluant par unité de masse de l'adsorbant (mg.g⁻¹)

m : masse de l'adsorbant (g)

V : volume de l'adsorbat (L)

C₀ : concentration initiale (mg.L⁻¹)

C_e : concentrations à l'équilibre (mg.L⁻¹)

Après un certain temps de contact adsorbant-adsorbat l'équilibre de fixation va être établi. La détermination de la constante de vitesse est à partir des modèles mathématiques.

La constante de vitesse d'adsorption K_v est exprimée par la relation suivante :

❖ **Pseudo-premier ordre:**

Il a été supposé que dans ce modèle la vitesse de sorption à l'instant t est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre q_e , et la quantité q_t adsorbée à cet instant t . [25],

L'expression du modèle du pseudo-premier ordre est de la forme [26]:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 \cdot (q_e - q_t)$$

q_e : Quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g)

q_t : Quantité adsorbée à l'instant t (mg/g).

k_1 : Constante de vitesse d'adsorption (min^{-1}).

L'intégration de l'équation (*) donne:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t$$

❖ **Pseudo-second ordre:**

Ce modèle suggère l'existence d'une chimio-sorption, il permet de caractériser les cinétiques d'adsorption en prenant en compte à la fois le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible. Il est représenté par l'équation suivant: [27].

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2$$

L'intégration de cette équation donne :

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

k_2 : Constante de vitesse d'adsorption ($\text{g.mg}^{-1}.\text{mn}^{-1}$).

q_e : Quantité d'adsorbat à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg/g)

La quantité d'adsorption à l'équilibre (q_e) et k_2 peuvent être déterminées expérimentalement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine du graphe de t/q_t en fonction de t [28] ,

2.5. Classification des isothermes

d'adsorption :

On distingue quatre classes principales des isothermes d'adsorption :

- \square **S** (Sigmoïde) **L** (Langmuir) **H** (Haute affinité) **C** (partition Constante).

La figure 6 illustre la forme de chaque type d'isothermes.

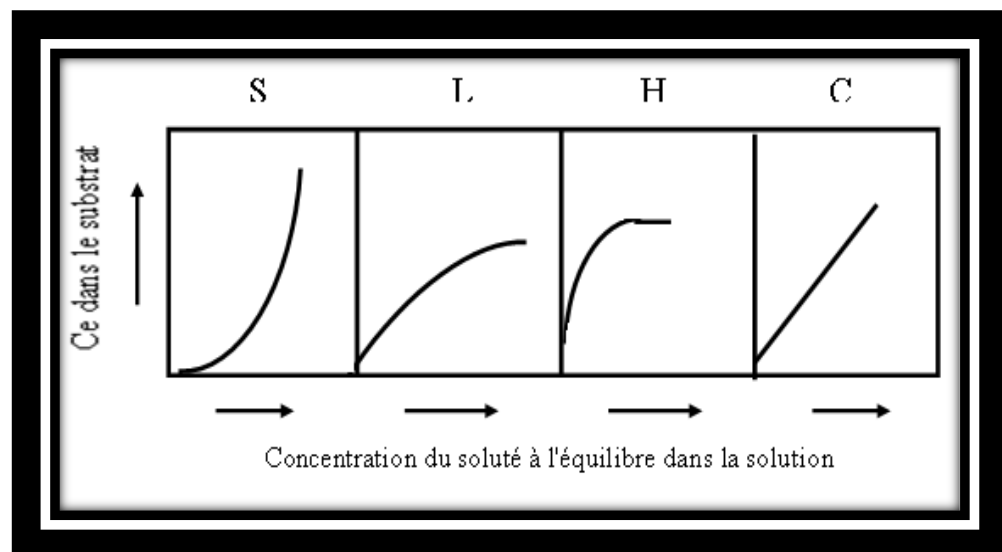


Figure 5 : Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et *al.* [29]

Cette classification tient compte entre autres d'un certain nombre d'hypothèses [30] :

- Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.

- Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente.
- L'orientation des molécules à la surface. On cite le cas où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface.
- En fin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption.

2.5.1. Classe L : Les isothermes de classe L présentent, à faible concentration en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption.

. Elle est souvent observée quand les molécules sont adsorbées horizontalement, ce qui minimise leur attractive latérale.

Elle peut également apparaître quand les molécules sont adsorbées verticalement et lorsque la compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté est faible. Dans ce cas, l'adsorption des molécules, isolées est assez forte pour rendre négligeable les interactions latérales [31].

2.5.2. Classe H :

La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes.

L'isotherme de classe H est aussi observée lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formées à partir des molécules de soluté [31].

2.5.3 Classe C :

Les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libre reste constant au cours de l'adsorption. Ceci signifie que les sites sont créés au cours de l'adsorption. Ce qui implique que les isothermes de cette classe sont obtenues quand les pores qui n'avaient pas été ouverts préalablement par le solvant.

La modélisation simplifiée de l'adsorption avec une isotherme linéaire n'est pas adaptée pour décrire l'adsorption d'un grand nombre de polluants.

2.5.4. Classe S :

Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent ultérieurement d'autres molécules (adsorption coopérative).

2.6. Modèles d'isothermes d'adsorption

Modèle de Langmuir :

L'équation de Langmuir est l'une des plus anciennes et des plus classiques. Cette équation est basée sur les hypothèses suivantes :

- La surface du solide est homogène,
- Les molécules adsorbées ne présentent pas d'interaction entre elles,
- Les molécules adsorbées ne peuvent former qu'une couche mono moléculaire sur la surface de soluté.

Les concentrations adsorbées et en solution sont liées par l'équation suivante:

$$q = \frac{q_m \cdot b \cdot c_e}{1 + b \cdot c_e}$$

Avec :

b : Constante d'équilibre [L/mg].

q_m : Capacité maximale d'adsorption [mg/g].

La linéarisation de l'équation de Langmuir permet de déduire la capacité ultime (q_m) et la constante de Langmuir $K_d = 1/b$ (K_d indique aussi la constante de dissociation de l'adsorbat). Cette linéarisation est donnée par l'équation suivant:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m \cdot b \cdot c_e} + \frac{1}{q_m}$$

Si on trace $(1/q)$ en fonction de $(1/C_e)$ on trouve une droite de pente $1/q_m$ et d'ordonnée à l'origine $1/(q_m \cdot b)$ [21],

Modèle de Freundlich :

L'isotherme d'adsorption de Freundlich a été représentée la première fois en 1926. Elle est largement utilisée pour les systèmes hétérogènes [32].

L'isotherme est décrite par l'équation empirique suivant:

$$q_e = k_F \cdot c_e^{1/n}$$

Avec:

K_F : constante de Freundlich.

n : intensité d'adsorption.

Les coefficients K_f et n sont déterminés expérimentalement à partir de la forme linéarisée de l'équation suivant:

$$\ln q_e = \ln k_F + (1/n) \ln c_e$$

Cette équation est celle d'une droite de pente $1/n$, et d'ordonnée à l'origine $\log K_F$.

En général, n est compris entre 0.8 et 2 et est proportionnel à la force d'adsorption.

Le modèle de Freundlich n'est valable que pour des solutions diluées pour lesquelles il est recommandé.

2.7. Facteurs influençant le phénomène d'adsorption :

2.7.1.Nature de l'adsorbant :

On peut classer les adsorbants en : adsorbants apolaires, ayant plus d'affinité pour substances non polaires. L'adsorbant polaire, adsorbe les électrolytes, dans ce cas l'adsorption est sélective. Ainsi selon la charge de la surface de l'adsorbant, les cations ou les anions seront fixés [33].

2.7.2.L'influence de l'adsorbat :

L'adsorption est aussi influencée par la structure chimique des corps dissous, ainsi les composés aromatiques s'adsorbent mieux par rapport aux composés aliphatique possédant le même nombre de carbone [34].

2.7.2.L'influence de l'adsorbat :

L'adsorption est aussi influencée par la structure chimique des corps dissous, ainsi les composés aromatiques s'adsorbent mieux par rapport aux composés aliphatique possédant le même nombre de carbone [34].

2.7.3.Effet de la température :

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature de molécules adsorbées [35].

2.7.4.Effet de la surface spécifique :

L'adsorption est proportionnelle à la surface spécifique. Généralement, la surface spécifique externe ne représente qu'une portion minime de la surface totale

disponible à l'adsorption. Cette surface totale peut être augmentée par broyage de la masse solide qui multiplie encore sa porosité totale

2.7.5.Effet de l'agitation :

Les expériences montrent que le type d'agitateur utilisé et l'intensité de l'agitation ont une influence parfois non négligeable sur la quantité adsorbée [36].

2.7.6.L'effet du ph :

Le ph peut conditionner à la fois la charge superficielle de l'adsorbant ainsi que la structure de l'adsorbat. Cette grandeur caractérise les eaux et sa valeur dépendra de l'origine de l'effluent. La technique de traitement à adopter dépendra fortement de la valeur du pH. [37] ,

2.7.7. Effet de la concentration :

L'adsorption de substances ou ions accroît avec l'augmentation de leur concentration dans la solution. Toutefois, cet accroissement n'est pas proportionnel à cette concentration et se produit plus lentement .[37],

2.8. Application industrielle de l'adsorption:

Les applications industrielles concernant le traitement des solutions diluées(Purification et Extraction) sont nombreuses. Les traitements les plus Importants concernent [38] :

- La décoloration des liquides ;
- Les purifications des divers produits pétroliers et de matières grasses
- Animales et végétales ;
- Le traitement des eaux ;
- Le raffinage des produits pétroliers ;
- La catalyse de contact ;
- La déshumidification et la désodorisation de l'air ;

- La dessiccation de produits organiques industriels

2.9. Utilisation d'adsorption:

Les principales utilisations de l'adsorption sont :

- Séparations gazeuses : Cette opération permet la déshumidification de l'air ou d'autres gaz, l'élimination d'odeurs ou d'impuretés sur des gaz, la récupération des solvants et le fractionnement des hydrocarbures volatils.
- Séparations liquides : Cette opération conduit à l'élimination des traces d'humidité dans les essences, le fractionnement des mélanges d'hydrocarbures, la décoloration des produits pétroliers et des solutions aqueuses de sucre. [39],



Chapitre 3 :

Synthèse bibliographie

Enquête sur l'activité de coagulation de la poudre de cactus dans le traitement de l'eau

Tessema Derbe Hailegebria, et al. [40] ont effectué une étude comparative sur quatre poudre de cactus et ont montré que le pourcentage d'élimination de la turbidité de l'échantillon d'eau trouble est passé de 23,9% à 54% et de 28,46% à 58,2% , respectivement.. Aussi, la salinité a augmenté respectivement de 0,4% à 0,69% et de 0,39% à 0,98% à mesure que la dose de poudre de cactus et d'alun augmentait de 0,50 g à 3,50 g,.. Les résultats ont révélé que la poudre de cactus est plus efficace pour maintenir le pH, et éliminer la salinité que l'alun, mais leur combinaison est la plus efficace en termes d'élimination de la turbidité, de réduction de la salinité. En conclusion, la combinaison d'alun et de poudre de cactus est plus efficace pour l'élimination de la turbidité, l'élimination de la salinité et le maintien du pH et de la conductivité que l'un ou l'autre d'entre eux utilisé individuellement.

Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus

F. Sakr,et al. [41] ont utilisé un nouvel adsorbant naturel et biodégradable à base de cactus marocain dans un procédé d'adsorption physico-chimique pour traiter des rejets industriels colorés. Les tests ont été réalisés sur le bleu de méthylène est un colorant cationique. Des résultats expérimentaux ont montré que l'adsorption du ce colorant dans le cactus atteint 61%.

Etude de l'adsorption d'un colorant sur un biomatériau à base des noyaux de mangue

M'hamed Bougara, et al. [42] ont utilisé les noyaux de mangue pour préparer un biomatériau dans le but de l'utiliser comme support naturel pour l'élimination d'acide orange 52 à partir des solutions aqueuses.

Les résultats de la présente étude montrent que les noyaux de mangue peuvent être avantageusement utilisés comme biosorbant à faible coût dans l'élimination du colorant acide à partir des solutions aqueuses.

Etude de L'efficacité des feuilles de cactus et du charbon de bois en tant que faible coût potentiel Adsorbant pour l'élimination des métaux lourds toxiques des effluents industriels

L'étude effectuée par **Abraha et al.** [43], sur l'évaluation de l'efficacité des feuilles de cactus (*Opuntia f. indica*) et du charbon actif à base de acacia *etbiaca* dans l'élimination des métaux lourds toxiques tel que (Cd, Pb et Cr) a montré que le cactus et le charbon actif fabriqué localement à partir d'acacia *etbiaca* se sont avérés efficaces et peu coûteux adsorbants alternatifs pour éliminer les métaux lourds toxiques des effluents industriels.

étude bio-sorption du bleu de méthylène en milieu aqueux: étude comparative entre le cactus (*Opuntia ficus indica*) de la ville de Lomé (CL) et celui de Marrakech (CM)

K. Degbe et al. [44] ont fait une étude porte sur l'utilisation du cactus comme biosorbant pour l'élimination du bleu de méthylène qui est un colorant cationique. L'étude a été portée sur la comparaison entre le cactus cactus de la ville de Marrakech noté CM (Maroc) et celui de Lomé noté CL (TOGO)

Les résultats correspondants ont montré une élimination rapide dans les 20 premières minutes pour les deux adsorbants, ils ont obtenu une élimination allant jusqu'à 72,38% pour le CM et 71,22% pour le CL.

Élimination des ions de plomb et de la turbidité des eaux usées par des matériaux adsorbants dérivés des feuilles de cactus

Benson Wachira et al, 2016 .[45] ,ont fait une étude sur l'utilisation du charbon de bois préparé en chauffant des feuilles de cactus sèches dans un four à air limité

pour une utilisation dans la purification de l'eau en éliminant les ions plomb et la turbidité de l'eau contaminée sont signalées. Les capacités d'adsorption des ions plomb sur les résidus de cendres, les cendres, le charbon de bois et la biomasse étaient respectivement de 1000,0000, 173,6201, 13,3352 et 3,1696 m /g. Les résultats ont montré que les adsorbants sont efficaces pour éliminer la turbidité et les ions plomb (II) de l'eau contaminée.

Etude de Poudre de cladodes de figue de barbarie d'Opuntia ficus indica comme biosorbant rentable pour l'élimination des colorants des solutions aqueuses

Dans cette étude, **Ibtihel L et al**, [46] ont utilisé la poudre de cladodes de figue de barbarie (PPCP) d'Opuntia ficus indica comme biosorbant écologique. Les résultats d'étude indiquent que le PPCP d'Opuntia ficus indica s'est avéré être un biosorbant peu coûteux, écologique et efficace pour l'élimination des colorants des solutions aqueuses.

Potentiel de cactus dans l'élimination des métaux lourds (Pb et Cd) dans un échantillon d'eau prélevé dans une zone rurale autour de la ville d'Adigrat

Tessema Derbe et al, 2015.[47], ont étudié la capacité d'élimination des métaux lourds (Pb et Cd) sur des poudres de cactus d'un échantillon d'eau utilisant les techniques d'adsorption FAAS.

Les résultats ont révélé que la poudre de cactus est utilisée comme agent d'élimination des métaux lourds (Pb et Cd) de l'échantillon d'eau. Cette capacité augmentait avec sa dose jusqu'à une certaine limite et diminue avec l'augmentation de la température et de la force ionique du sel de NaCl.

Adsorbants à base de matériaux de cactus pour l'élimination des métaux lourds et des colorants

Abdelfattah Amari et al. 2019. [48], ont exploré diverses préparations de biosorbants de cactus (cladodes, graines de fruits, écorces, etc.) qu'ils ont été testés

pour la décoloration et l'élimination des métaux. Les résultats correspondants ont montré une efficacité d'élimination élevée associée à une capacité d'adsorption similaire à d'autres matériaux d'origines diverses.

Cactus un matériau écologique pour le traitement des eaux usées

Ben Rebah et al, 2017 [49], ont passé en revue le traitement des eaux usées technologies par des cactus et ont montré que ce biomatériau peut être impliqué comme coagulant / flocculant, comme biosorbant (éliminer les métaux lourds et décoloration). Le cactus peut offrir un système enzymatique utile pour la transformation de colorants textiles toxiques. Les résultats obtenus dans la dépollution des eaux usées utilisant diverses préparations de cactus ont montré un polluant très élevé et prometteur efficacité d'élimination.

BIOSORPTION DE L'AMOXICILLINE DE L'EAU CONTAMINÉE SUR LA BIOMASSE D'ÉCORCE DE PALME

D. Balarak et al 2016 [50] ont étudié l'adsorption en système discontinu de l'amoxicilline (AMX) sur l'écorce de palme à partir de solutions aqueuses. Et ont montré une efficacité d'élimination maximale de de l'ordre de 98,1%. Des modèles d'isothermes d'adsorption incluant Langmuir, Freundlich et Temkin ont été testés qui ont permis de déduire que les modèles de Langmuir (avec des valeurs R très élevées) étaient les plus adaptés pour décrire la sorption d'AMX dans des solutions aqueuses.

potentiel d'adsorption du charbon actif induit par NH₄Cl pour l'élimination de l'antibiotique amoxicilline de l'eau

Pour leur part, **Ahmad-Alahabadi et al.**, 2013 [51] ont préparé et caractérisé un charbon actif induit par NH₄Cl (NAC) qu'ils ont utilisé dans l'élimination de l'amoxicilline en milieu aqueux. Cependant, une nouvelle

L'étude a montré qu'une augmentation de la température à 50 °C a conduit à une diminution de l'élimination d'AMX à 78,1%. Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que le NAC développé est un adsorbant efficace et pourrait être appliqué dans le traitement des contaminants dans l'eau.

Adsorption du bleu de méthylène par l'argile

KHOUALDI AZZEDINNE et al., 2017 [52] ont pu déterminer le pouvoir adsorbant de deux matériaux (kaolin et charbon actif) pour éliminer un colorant cationique le bleu de méthylène en milieu aqueux par adsorption en mode batch. Le charbon actif et le kaolin utilisés se sont avérés efficaces dans l'élimination des colorants cationiques et pourraient être donc des matériaux alternatifs et intéressants dans les processus de dépollution des eaux.

ETUDE DE L'ADSORPTION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES SUR LA BENTONITE

R. ZAGHDOUDI et Al., 2007 [46] ont étudié les possibilités d'utilisation des propriétés spécifiques d'adsorption de la bentonite vis-à-vis de composés organiques de type alkyl phénol. Les résultats obtenus ont montré que l'élimination du bleu méthylène par le traitement conventionnel n'est pas suffisante surtout pour les eaux contaminées par des composés organiques

- ❖ Dans ce qui suit nous résumons dans le Tableau ...ci-dessous quelques travaux en relation avec la thématique traitée.

❖

Tableau 18: Résumé des tableaux

Les articles	Nome de plante	Adsorbant	Adsorbant	Ph	La concentration	La masse	La température	COD	Turbidity	Rendment	RE F
1.Enquête sur l'activité de coagulation de la poudre de cactus dans le traitement de l'eau	Opuntia F.indica	salinité que l'alun	Opuntia f. indica	3-7.57	-	0.50 g à 3.50 g (cactus)	70-90 la salinité que l'alun	-	-	28.46 % à 58.2%	[40]
2. Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus	Opuntia f. indica	bleu de méthylène	Opuntia f. indica	Entre 1 et 10	-	-	entre 25 et 60°C	-	-	61%	[41]
3. Etude de l'adsorption d'un colorant sur un biomatériau à base des noyaux de mangue	LE noyaux de mangue	colorant acide orange 52	le noyaux de mangue	6	-	(10-100) mg	entre 25 et 55°C	-	-	-	[42]
4. Etude de L'efficacité des feuilles de cactus et du charbon de bois en tant que faible coût potentiel Adsorbant pour l'élimination des métaux lourds toxiques des effluents industriels	Opuntia f. indica acacia etbiaca	Cd Pb cr	Opuntia f. indica acacia etbiaca	2 à 7	1mg/l	6g(F.C) 1g(A.E)	80°C	-	-	94.5% Cr, , 95% Cd, 96%, Pb	[43]
5- Etude Bio sorption du bleu de Méthylène en milieu aqueux etude comparative entre le cactus (Opuntia ficus indica) de a ville de lomé (CL) et celui de marrakech (CM)	CM CL	Bleu de méthylène	CM CL	12.5	20mg/l	-	60.100° C	-	-	72.38 % 71.22 %	[44]
6-Élimination des ions de plomb et de la turbidité des eaux usées par des matériaux adsorbants dérivés des feuilles de cactus	Les feuilles de cactus	Pb ²⁺	Les feuilles de cactus		10mg/l	-	25°C	-	-	89.38 % à 99.51 %	[45]
7- Etude de Poudre de cladodes de figue de barbarie d'Opuntia ficus indica comme biosorbant rentable pour l'élimination des colorants des solutions aqueuses	Opuntia ficus indica	Colorant d'acide orange 52 Acid Orange 51 (AO51) et Reactive Red (RR75)	Cladodes d'Opuntia ficus indica	2-12	25-1000mg /l	-	20-60°C	-	-	-	[46]
8-Potentiel de cactus dans	Opuntia ficus	Pb	Opuntia ficus	10		2g à 5g	25 °C à			65,05 % à	[47]

l'élimination des métaux lourds (Pb et Cd) dans un échantillon d'eau prélevé dans une zone rurale autour de la ville d'Adigrat	indica(cactus)	Cd	indica		-	(cactus)	150 °C.		-	29% pb 43% à 31% cd	
9-Adsorbants à base de matériaux de cactus pour l'élimination des métaux lourds et des colorants	Cladodes O. ficus-indica	Pb cd	Cladodes O. ficus-indica	13	1mg/l		60-80°C.	-	-	65%(pb,cd)	[48]
10-Cactus un matériau écologique pour le traitement des eaux usées	Opuntia f.indica	Les eau usée	Opuntia f.indica	11	8g/l	-	30°c à120°c	75%	95%	-	[49]
11-BIOSORPTION DE L'AMOXICILLINE DE L'EAU CONTAMINÉE SUR LA BIOMASSE D'ÉCORCE DE PALME	l'écorce de palme	l'amoxicilline (AMX)	l'écorce de palme	-	d'AMX (10 à 100 mg / L) l'écorce de palme (0,5 à 5 g / L)	-	25C	-	-	98,1%	[50]
12-potential d'adsorption du charbon actif induit par NH4Cl pour l'élimination de l'antibiotique amoxicilline de l'eau	charbon actif	l'amoxicilline de l'eau	charbon actif induit par NH4Cl (NAC)	6	50 mg / L (AMX) 0,4 g de NAC / L	-	10 à 50 ° C	-	-	78,1%	[51]
13-Adsorption du bleu de méthylène par l'argile	kaolin	bleu de méthylène	l'argile	5-12	-	10 mg	20, à50)°C,	-	-	75%	[52]
14-ETUDE DE L'ADSORPTION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES SUR LA BENTONITE	composés organiques de type alkyl phénol	Bleu méthylène	bentonite	6.8	100mg/l	-	25°C	-	-	63%-86%	[53]



Conclusion

générale

CONCLUSION GENERALE

Ce travail s'inscrit dans l'orientation actuelle de traitement des pollutions par l'étude de moyens facilement applicables. Il s'inscrit donc dans le contexte de la gestion durable de l'environnement. L'importance de l'adsorption dans les mécanismes naturels de dépollution étant mise en évidence, nous nous sommes, par la suite intéressés, à cette catégorie de procédé.

L'adsorption qui se base sur la propriété des différents matériaux, constitue une méthode alternative dans le traitement des eaux.. Le compromis entre un bas prix de revient et la disponibilité de tels matériaux en plus d'une technologie facile à mettre en œuvre nous ont incités à étudier et à comparer les efficacités entre le charbon actif et le cactus.

Nous avons utilisé une poudre de cactus *Opuntia ficus indica* comme matériau biosorbant. Les cactus sont connus pour être non toxiques car certains d'entre eux sont utilisés pour nourrir les animaux et leurs fruits sont consommés par la population locale. *Acacia etbaica* et *Opuntia ficus indica* est également utilisé comme source d'énergie à des fins médicinales.

Le but initial de cette étude est l'évaluation de synthétiser puis utiliser des poudres adsorbants à base de feuilles de cactus (renouvelables, abondants, respectueux de l'environnement, adaptables et biodégradable) et du charbon de bois (disponibles localement, abondants et peu coûteux) pour éliminer les métaux lourds toxiques (Cr, Cd et Pb) et certains colorants (en milieux aqueux).

L'exploitation des articles consultés nous a permis d'avancer les conclusions suivantes :

- l'efficacité de cactus dans élimination des colorants comme le bleu méthylène avec des taux de l'ordre de 61% à 98% et élimination les métaux lourds comme Pb 65.05% à 29% et Cd 43% à 31%.
- Les tiges de barbarie sont très efficaces pour éliminer les polluants en milieux aqueux Le but étant non atteint à cause de la pandémie covid19, nous recommandons donc de compléter et de poursuivre cette étude en effectuant :
 - synthèse et caractérisation de nouvelles poudres biosorbantes à base de cactus.
 - Application à la dépollution des eaux contaminées par les ETM et/ou polluants organiques
 - Essais régénération de ces poudres.

❖ Références Bibliographiques

[1] Nora SEDIRA, Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes, Thèse magister , Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, 2012-2013.

[2] Boumaza salim, optimisation et modélisation de la fabrication du charbon actif application à l'extraction d'un colorant en solution aqueuse, Thèse magister USTHB 2011.

[3] MAMERI Imane, Etude d'adsorption du rouge congo sur charbon actif

préparé à partir des noyaux de jujube, Thèse magister , Université Akli Mohand Oulhadj, BOUIRA, 2016/2017.

[4] LU Jinyan, Etude comparative sur les charbons actifs, office international de l'eau (OIE)– SNIDE 2005

[5] A. K. Degbe, Biosorption du Bleu de Méthylène en milieu aqueux Etude comparative entre le cactus (*Opuntia ficus indica*) de la ville de Lomé (CL) et celui de Marrakech, Thèse magister ,Université Cadi Ayyad, Marrakech, MAROC , 2016.

[6] Abdel-Hameed E, Nagaty M, Salman M and Bazaid S 2014 Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA Food Chem. 160 31–8 2014

[7] Abdelkarim S, Mohammed, H and Nouredine B 2017 Sorption of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution Using an Agricultural Waste. Trends in Green Chem. 3 1–7 2017

[8] Abdolalia A, Guoa W S, Ngoa H H, Chenb S S, Nguyenb N C and Tunge K L 2014 Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: a critical review Bioresour. Technol. 160 57–66 Abdel 2014

[9] Abrha Y W, Kye H and Kang J 2019 Chemically treated cactus (*Opuntia*) as a sustainable biosorbent for the removal of heavy metals from aqueous solution: Characterization and adsorption capacity Desalin. Water Treat. 144 345–54 2019

- [10] Agrawal V R, Vairagade V S and Kedar A P 2017 Activated carbon as adsorbent in advance treatment of wastewater IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering 14 36–40 2017
- [11] li I and Gupta V K 2006 Advances in water treatment by adsorption technology Nature protocol 1 2661–7 2006.
- [12] Allen S J, McKay G and Porter J F 2004 Adsorption isotherm models for basic dye adsorption by peat in single and binary component systems J. Colloid Interface Sci. 280 322–33 2004
- [13] ALOthman Z A, Naushad M and Ali R 2013 Kinetic, equilibrium isotherm and thermodynamic studies of Cr(VI) adsorption onto low-cost adsorbent developed from peanut shell activated with phosphoric acid Environmental Science and Pollution Research 20 3351–65 2013
- [14] Benamraoui Faouzia, UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1 UFAS (ALGERIE) THEME magister , Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l’agriculture, 2014.
- [15] CREPY .M. Dermatoses professionnelles aux colorants. La revue Documents pour le médecin du travail, page 171, 2004 .
- [16] Benbrahim Fatima, Adsorption d’un colorant de bleu de méthylène en solution aqueuse sur un bioadsorbant issu de déchet agricole, mémoire magister Université Dr SAIDA Moulay Tahar, 2018/2019.
- [17] ALIOUCHE. S., Etude de l’élimination d’un colorant par différentes méthode photochimiques en milieu aquatique. Mémoire de Magister Université Mentouri, Constantine, 2017.
- [18] M lle BENAÏSSA Asma, Etude de la faisabilité d’élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d’origine naturelle, Mémoire de Magister, Université Abou Bakr Balkaid, Tlemcen – Algérie ,2012.
- [19] Bougdah Nabil, Etude de l’adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite, thèse magister , Présenté à l’Université 20 Août 55, Skikda,2007
- [20] J.F.LEPAGE, Catalyse de contact –conception, préparation et mise en œuvre des catalyseurs industriels, Edition technique, 151, 1978 .

[21] boutareg khadidja ,préparation d'un charbon actif à partir de déchets synthétique (pneu) et application dans l'adsorption du phénol , mémoire de magister université blida 1 ,2018.

[22] W.J.Weber.B.M Vanvliet,In. Activated carbon adsorption of organic from the aqueuse phase, Ed.I.H. Suffet, M.J.Mc cuive1 page 16 année 2010

[23] Mme : FZ.DJIAR ; Adsorption de colorant anionique sur un bioadsorbant à base d'un résidu agricole, mémoire de magister ,UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1 UFAS (ALGERIE 2016-2017

[24] Albaririjis, Alaminem., Kablih., Lacheaia., El Bourine A., Taitement et valorisation des sous produits du bois, application à l'élimination des colorants industriels, C.R.Chimie, mémoire de magister ,page 16 ,2016.

[25] Hai-lei SONG, Fei-peng JIAO, Xin-yu JIANG, Jin-gang YU, Xiao-qing CHEN, Shao-long DU. (2013) Removal of vanadate anion by calcined Mg/Al₂CO₃ layered double hydroxide in aqueous solution. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 23, 2017

[26] Ho Y. S., Wasse D. A. J, Forster C. F. (1996) Kinetic studies of competitive heavy meal adsorption by sphagnum moss peat. Env. Tech, 1771-77, 2013

[27] boutareg khadidja ,préparation d'un charbon actif à partir de déchets synthétique (pneu) et application dans l'adsorption du phénol , mémoire de magister université blida 1 ,2018.

[27]O. ABID, Adsorption par le charbon actif de micropolluants organiques en solutions Aqueuse, Thèse de Doctorat, Institut Nationale polytechnique de Toulouse (1987).

[29] Kayode O.A., Unuabonah E.I., Olu-Owolabi B.I., Kinetic and thermodynamic aspects of the adsorption of Pb²⁺ and Cd²⁺ ions on tripolyphosphate modified kaolinite clay. Chemical Eng. Journal 136, 99–107 (2008).

[30] AFNOR. La qualité des sols, thermologie, échantillonnage, contrôle et qualité. Tomme 1. Editor AFNOR, 1996, Paris, p 299-310.

[31] S. CHITOUR, Chimie physique des phénomènes de surface, OPU, Alger, 1976.

[32] L. AMALRIC, C. GUILLARD, E. Blanc-BRUDE, P. PICHAT, Water Res.30 , 1137-1142, 1996

[33] Tessema Derbe Hailegebrial , Hayelom Dargo Beyene, et Worku Batu Dirersa ,article, Volume 2016 |Article ID 7815903 | <https://doi.org/10.1155/2016/7815903>, .Enquête sur l'activité de coagulation de la poudre de cactus dans le traitement de l'eau,2016.

[34] F. Sakr, A. Sennaoui, M. Elouardi, M. Tamimi, A. Assabbane, Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus (Adsorption study of Methylene Blue on biomaterial using cactus),article , Université Ibn Zohr, Agadir. , B. P. 8106 Cité Dakhla, Agadir, MAROC ,2014.

[35] hamed Bougara,, Etude de l'adsorption d'un colorant sur un biomatériau à base des noyaux de mangue these maister , Université M'hamed Bougara, Boumerdès - Algérie.,2016

[36] Abraha Gebrekidan* and Alem Halefom. The Efficiency of Cactus Leaves and Wood Charcoal as a Potential Low-Cost Adsorbent for Removal of Toxic Heavy Metals from Industrial Effluents Department of Chemistry, College of Natural and Computational Sciences, P. O. Box 231, Mekelle University, Mekelle, Ethiopia ,2017

[37]A. K. Degbe, M. Koriko, S. Tchegueni, E. Aziabile, I. Tchakala, M. Hafidi, M. El Meray, G. Tchangbedji Biosorption of methylene blue solution: Comparative study of the cactus (*Opuntia ficus indica*) of Lomé (CL) and Marrakech (CM) J. Mater. Environ. Sci. 7 (12) (2016)

[38] Benson Wachira ,Journal of Natural Sciences Research www.iiste.org ISSN 2224-3186 (Paper) ISSN 2225-0921 (Online) Vol.6, No.14, 2016

[39] Ibtihel Louati,¹ Mariem Fersi,² Bilel Hadrich,² Bouthaina Ghariani,¹ Moncef Nasri,¹ and Tahar Mechichi Prickly pear cactus cladodes powder of *Opuntia ficus indica* as a cost effective biosorbent for dyes removal from aqueous solutions Published online 2018 Nov 12. doi: 10.1007/s13205-018-1499-1. ,2018

[40] Tessema Derbe , Potentiel de cactus dans l'élimination des métaux lourds (Pb et Cd) dans un échantillon d'eau prélevé dans une zone rurale autour de la ville d'Adigrat, Ndibewu, P.P.; Mnisi,R.L; Mokgalaka, S.N. and McCrindle, R. I.(2011). Heavy Metal Removal in Aqueous ,2011.

- [41] Abdel-Hameed E, Nagaty M, Salman M and Bazaid S 2014 Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars(*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA Food Chem.,2019.
- [42] Ben Rebah IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 6, Issue 10, 2018 | ISSN (online): 2321-0613.2018
- [43] Mohd Izwan Mahmu arti cl BIOSORPTION DE L'AMOXICILLINE DE L'EAU CONTAMINÉE SUR LA BIOMASSE D'ÉCORCE DE PALME Volume: 7 2016
- [44] Ahamd-Alahabadi thèse potentiel d'adsorption du charbon actif induit par NH₄Cl pour l'élimination de l'antibiotique amoxicilline de l'eau université A.M olhadj bouira 2013
- [45] KHOUALDI AZZEDINNE thèse Adsorption du bleu de méthylène par l'argile universiti de stife 2017
- [46] R. ZAGHDOUDI ,mémoire de magister ETUDE DE L' ADSORPTION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES SUR LA BENTONITE 2007.