

Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique

Département de Chimie

Filière : Chimie appliquée

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Chimie appliquée
Option : Chimie appliquée

THEME :

ÉLIMINATION DES POLLUANTS PAR LE CHARBON ACTIF MODIFIE

Présenté par :

M^{elle} Belarbi Siham

M^{elle} Amar Ikram

Encadrant : Pr BELOUATEK Aissa

Co-encadrant: BOUABBACi Siham

Devant le jury composé de:

Dr BELALIA Mahmoud

Pr. BENMALTI Amine

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu pour tout le courage et la force que nous a donné pour faire ce travail.

Mes remerciements spéciaux vont au **Mr .BELOUATEK Aissa** ; professeur à l'université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem, pour avoir assuré la direction scientifique de ce travail. Sa patience, sa disponibilité, et son soutien constant m'ont été précieux tout au long de la préparation de ce mémoire.

Nous remercions vivement **M^{me} .BOUABBACI Siham** ; Doctorante a l'université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem, pour nous encadrer du côté pratique et pour sa disponibilité exceptionnelle, ainsi que pour les précieux conseils qu'elle ma prodigués.

Nos vifs remerciements vont au **Mr. BENMALTI** ; professeur a l'université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem d'avoir accepté de présider ce jury.

Nous tenons à remercier également **M^{me} .MESSAOUDI Nadia** ; Maître de Conférences à la Faculté des Sciences exacte et informatique de Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem, qu'elle m'a fait un Grand honneur de jurer et examiner mon mémoire.

Cette étude à été réalisée au sein de laboratoire de recherche de l'université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem. En premier lieu, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux ingénieurs de laboratoire **SADJI Rabiaa, TAHRA Hasnia** avec qui nous avons eu le plaisir de travailler, et nous remercions les ingénieurs et les techniciens de laboratoire pédagogique de la Faculté de siens exactes et l'informatique Abd El Hamid Ibn Badis **RAHMANI Touatia , Mr GHERIBI Mohamed Hmida , BOUAZA Touati**

Enfin, nous remercions tous nos amis et nos collègues, toutes les personnes qui nous ont encouragé et soutenu de prés ou de loin durant la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de ma chère *grande mère* qui est toujours présente dans mon cœur.

À *ma mère et mon père*

Merci pour votre aide et merci pour votre patience qui m'a poussé vers le succès vous êtes toujours les plus importants dans ma vie.

À *mes sœurs*, Maroua et Cherifa Malek.

À *mon Fiancé* qui m'a soutenu durant mes études.

À *mes chères tantes* : Fatima, Zohra, Fatma.

À *mes petites cousines* : Djawhara et Joumana.

À *mes chères cousines* : Fatiha, Meriem, Fatma, Lila.

À *mes chères amis* : Amina, Hadjer, Maroua, Chaima, Ikram, Kaoutar, Fatiha.

À tous les étudiants de ma promotion.

À Toute *ma famille* AMAR

IKRAM

Dédicace

Je dédie ce travail :

À *mon père* Mohammed et *ma mère* abbassa hadja

La lumière de ma vie

À *mes grandes parentes*, que dieu lui protège

À *mes chères frère et sœurs*: Feriel, Zakaria, Reda qui je leur

Souhaite un grand succès dans leur cursus scolaire

À *ma grande* sœur Assia et *son mari* Mortet Zoubir

À *mes chères* nièces : Lina et Imran

À *ma cousine*: Dalila.

À *mes chères amis* : Amina, Chaima, Maroua, Hadjer, Houda, khadidja.

À toute ma famille Belarbi et Abassa.

À tous les étudiants de ma promo.

À tous ceux qui m'ont aidé.

A Tous nos proches qu'on n'a pas cités mais qui sont dans nos cœurs.

Siham

SOMMAIRE

Introduction générale	01
-----------------------	----

Etude bibliographique

I. Pollution	03
I.1-Généralité sur la pollution	03
I.2-Définition d'une pollution	03
I.3-Pollution de l'eau	03
I.4-Principaux polluants de l'eau	03
I.4.1-La pollution physique	03
I.4.2- La pollution chimique	04
I.4.3- Les polluants biologiques	04
I.5- Les différents types de pollution de l'eau	04
I.5.1-Les eaux usées domestiques	04
I.5.2- Les eaux usées industrielles	04
I.5.3-Les eaux usées agricoles	04
I.5.4- Les eaux pluviales	04
II : Colorants	05
II-1 .Classification des colorants	05
II-1-1.Classification chimique	06
II-1-1-1.Les colorants azoïques	06
II-2.Vert de malachite	07
II.3-Les différentes méthodes de traitement	07
II.3.1- Biologique	08
II.3.2-Chimique	08
II.3.2.1- Oxydation	08

II.3.2.2- Réduction (Na_2SO_4)	08
II.3.2.3- Méthode compleximétrique	08
II.3.2.4- Résine échangeuse d'ions	08
II.3.3- Physique	08
II.3.3.1-Méthode de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation)	08
II.3.3.2-Osmose inversé, filtration	09
II.3.3.3 L'adsorption	
III. Adsorption	09
III.1.Définition	10
III.2 -Types d'adsorption	10
III.3-Adsorption physique	10
III.3.1-Adsorption physique (physisorption)	11
III.3. 2-Adsorption chimique (chimisorption)	11
III.3.3-Adsorption dissociative	11
III.4-Mécanisme d'adsorption	12
III.5-Nature de l'adsorbant	13
III.6-L'influence de l'adsorbat	13
III.6.1-Effet de la température	13
III.6.2-Effet de la surface spécifique	14
III.6.3-Effet de l'agitation	14
III.6.4-L'effet du pH	14
III.6.5-Effet de la concentration	15
III.7Isothermes d'adsorption	16
III.7.1-Classification des isothermes d'adsorption	16
IV Adsorbant	17
IV.1 Définition	17

IV. 2-Différents types d'adsorbants	17
IV. 3-Les adsorbants Minéraux	17
IV.4-Critère de la bonne qualité de l'adsorbant	18
V. Charbon actif	19
V.1- Le charbon actif comme adsorbant	19
V.2- Origine et fabrication	19
V.2.1- Origine	19
V.2.2- Fabrication	19
V.3-Les différentes formes du charbon actif	20
V.4- Les caractéristiques de charbon actif	20
V.5-Les propriétés de charbon actif	21
V.6-Utilisations du charbon actif	22

Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

I-Matériels et réactifs	24
II-Préparation des solutions mères de vert de malachite (VM)	25
III-préparation un charbon active à base d'OT	25
II- préparation de (OTEP)	25
III- Caractérisations d'OTEP	25
III-1. Indice d'iode	26
III-2.La charge de surface d'OTEP	27
III-3.Indice bleu du méthylène	27
IV-Elimination un colorant basique (VM) par OTEP	27
IV-2. Etude cinétique	29
IV-2-1 .Modèle de pseudo premier ordre	29

VI-2-2. Modèle de pseudo deuxième ordre	30
IV-3. Effet de dose	30
IV-4. Effet de pH	30
IV-5. Effet de température	30

CHAPITRE 2 : RESULTATS ET DISCUSSION

I Caractérisations d'OTEP	31
I-1. L'indice d'iode	31
I-2 .L'indice bleu de méthylène	31
I-3 .la charge de surface	32
II-Elimination un colorant basique (VM) par OTEP	32
II-1. Etude cinétique	33
II-2. Les modules de centrique	34
II-2-1. Le modèle de pseudo –premier ordre	34
II-2-2 .Le modèle de pseudo – seconde ordre	34
III-2 Effet de dose d'OTEP	35
III-3 .effet de PH	36
III-4 .Effet de Température	37
III-5 .L'isotherme	38
III-5-1.Modèle de Langmuir	39
III-5-2. Modèle de Freundlich	40
Conclusion générale	41

Listes de Tableaux

- Tableau 1** Propriétés physicochimiques du colorant vert de malachite.
- Tableau 2** Différentes principales entre l'adsorption physique et chimique.
- Tableau 3** Les différents types de charbon actif.
- Tableau 4** Les réactifs et les appareils utilisés.
- Tableau 5** Absorbance de différentes concentrations de VM à $\lambda=617\text{nm}$.
- Tableau 6** Paramètres cinétiques d'adsorption du colorant VM sur OTEP.
- Tableau 7** Paramètre thermodynamique de l'adsorption VM par OTEP.
- Tableau 8** Paramètre des modèles des isothermes des colorants VM sur OTEP.

Liste des Figures

- Figure 1** Vert de malachite.
- Figure 2** Structure de la molécule de verte de malachite.
- Figure 3** Les principales interactions entre un atome ou une molécule et un solide à L'interface solide/liquide.
- Figure 4** Schéma du mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain.
- Figure 5** Classification des isothermes d'adsorption selon Giles.
- Figure 6** Représentation schématique des différents types de pores.
- Figure 7** Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant.
- Figure 8** L'OT en poudre.
- Figure 9** Courbe d'étalonnage de verte malachite.
- Figure 10** Courbe d'étalonnage du BM.
- Figure 11** Détermination le point de charge nulle pour OTEP.
- Figure 12** Effet de temps de contacte sur l'adsorption du VM en solution aqueuse par l'OTEP.
- Figure 13** Application du modèle de pseudo – premier ordre pour l'adsorption du VM par OTEP.
- Figure 14** Application du modèle de pseudo – seconde ordre pour OTEP.
- Figure 15** Effet de dose d'OTAP sur l'adsorption du VM en solution aqueuse.
- Figure 16** Effet de pH de VM en solution sur l'adsorption par OTEP.
- Figure 17** Le taux d'élimination VM par OTEP a déférent Température.
- Figure 18** Effet de la température sur l'adsorption du VM par OTEP.
- Figure 19** L'isotherme de l'adsorption du VM en solution aqueuse par l'OTEP.
- Figure 20** L'application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du VM par OTEP.
- Figure 21** L'application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du VM par OTEP.

LISTE DES ABREVIATIONS

Abs	Absorbance de la solution.
BM	Bleu de méthylène.
C₀	Concentration initiale en adsorbat on phase liquide (mg/l).
C_e	Concentration à l'équilibre en adsorbat on phase liquide (mg/l).
K_L	La constante de Langmuir.
K_F et n	Les constantes de Freundlich.
K₁	La constante de vitesse pour une cinétique de pseudo première ordre.
K₂	La constante de vitesse du modèle cinétique du pseudo- second ordre.
L	Langmuir
M	Masse de l'adsorbat (g)
pH_i	pH initial
pH_e	pH à équilibre.
pH_{pez}	pH isoélectrique.
Q_e	Quantité adsorbée à l'équilibre par un gramme d'adsorbant (mg/g).
Q_m	Quantité d'adsorbat nécessaire couvrir la première couche de l'adsorbant (mg/g).
Q_t	La capacité d'adsorption à l'instant (t).
R_L	Paramètre d'équilibre.
pH_e	pH à équilibre.
pH_{pez}	pH isoélectrique.
Q_e	Quantité adsorbée à l'équilibre par un gramme d'adsorbant (mg/g).
T	temps (min).
T	température °C.
UV	Ultraviolet.
V	Volume de solution(<i>l</i>).
VM	vert de malachite.
R²	valeurs des coefficients.
DH°	l'enthalpie standard.

DG°

l'enthalpie libre standard.

DS°

l'entropie standard.

I

L'indice d'iode.

Introduction générale

La vie des être humaines dépend de l'eau, après l'avoir utilisé elle ne restera pas la même car l'homme rejette une partie dans l'environnement, c'est ce que l'on appelle l'eau usée.

Cette dernière contient différents polluants. Cela est devenue un problème commun pour la plupart des pays, la présence de certains produits chimiques d'origine organique (détergents, diluants, colorants, des huiles, engrais, pesticides, des produits Pharmaceutiques, ...) ou bien des métaux lourds (Cuivre, plomb, Magnésium, Mercure, ..) qui a des effets toxiques sur la santé humaine et le milieu récepteur [1].

Les rejets des effluents colorés dans la nature n'est pas seulement désagréable pour l'environnement mais affecte beaucoup de cycles biologiques. En plus, plusieurs colorants sont toxiques et causent la destruction directe de plusieurs communautés aquatiques.

Quelques colorants sont à l'origine des maladies allergiques, irritation de la peau et même peuvent être des causes essentielles de cancer. 10 000 colorants existent avec diverses structures chimiques classées comme anioniques, cationiques et non ioniques en fonction de la charge ionique sur les molécules de colorant [2]. Parmi les quel on a le vert de malachite qui est un agent antifongique dont l'utilisation est approuvée pour le poisson en aquarium. C'est un colorant cationique [3, 4].

Parmi les procédés de traitement des rejets liquides, l'adsorption reste une technique relativement utilisée et facile a mettre en œuvre. Le charbon actif est l'adsorbant le plus largement utilise en raison de sa grande capacité d'adsorption des matériaux organiques [5].

Dans cette étude, nous avons préparé un charbon actif à base d'un déchet végétale afin d'éliminer un colorant cationique le vert de Malachite.

Ce manuscrit comporte deux grandes parties :

-La première partie de ce mémoire présente une étude bibliographique relative à la pollution des eaux, aux colorants et au charbon actif.

Introduction générale

La deuxième partie est divisée en deux chapitres :

Le premier chapitre donne une description du matériel et les méthodes expérimentales utilisés dans la réalisation de ce travail.

Le deuxième chapitre est consacré à la description du mode d'activation du charbon actif, la caractérisation, les isothermes d'adsorption et enfin leurs application dans l'élimination du colorant cationique choisi.

Enfin nous achèverons ce travail par une conclusion générale.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I - POLLUTION

I.1-Généralité sur la pollution

Pollution également appelée pollution environnementale, c'est l'ajout de toute substance (solide, liquide ou gazeux) ou de toute forme d'énergie (telle que la chaleur, le son ou la radioactivité) à l'environnement à un rythme plus rapide qu'il ne peut être dispersé dilué, décomposés, recyclés ou stockés sous une forme inoffensive.

Les principaux types de pollution, généralement classés par environnement sont la pollution de l'air, la pollution de l'eau et la pollution des sols [6].

I.2-Définition d'une pollution

La pollution désigne toute modification défavorable du milieu naturel qui partait comme un sous-produit de l'action humaine, aux travers des effets directs ou indirects altérant. Les critères de répartition des flux d'énergie des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Elle peut être défini aussi comme la surexploitation des capacités d'autoépuration du milieu naturel [7].

I.3-Pollution de l'eau

L'eau est la deuxième en importance après l'air pour la vie humaine sur Terre La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe la vie aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et les eaux souterraines [8, 9].

I.4-Principaux polluants de l'eau

Trois grandes familles caractérisent la pollution :

I.4.1-La pollution physique

Cette pollution est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau. Le rejet d'eau chaude des centrales nucléaires dans les cours d'eau constitue la préoccupation de nombreux pays [10].

I.4.2- La pollution chimique

Ce type de pollution des eaux de surface résulte le plus souvent de l'introduction dans le milieu de substances à effet toxique, de critères multiples et d'origines diverses (pesticides, détergents, métaux lourds, etc.) [11].

I.4.3- Les polluants biologiques

Les humains sont les plus importants pollueurs biologiques de la planète :

les contaminants fécaux sont parmi les polluants biologiques des sources d'eau potable par conséquent l'homme et les animaux domestiques sont souvent contaminés par des microbes pathogènes [12].

I.5- Les différents types de pollution de l'eau

Quatre (04) types d'eaux usées peuvent être distingués en prenant en considération la qualité et l'origine des matériaux polluants:

I.5.1-Les eaux usées domestiques

Les eaux dégagées après les différentes tâches ménagères et le quotidien domestique qui contient des déchets organiques comme les graisses et des produits chimiques comme les détergents.

I.5.2- Les eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles contiennent des composants chimiques et des métaux lourds. Contrairement aux eaux usées domestiques, les polluants existant dans ces eaux varient d'une industrie à l'autre par exemple dans l'industrie agroalimentaire les polluants sont des graisses.

I.5.3-Les eaux usées agricoles

Elles proviennent du lessivage des terres cultivées et traitées avec des engrais et des pesticides, l'utilisation extensive de ces produits sont à l'origine de la présence des nitrates et des éléments traces métalliques (Zn, Cu, Pb,...) dans ces eaux [13].

I.5.4- Les eaux pluviales

Le chemin des gouttelettes d'eau de pluie les mets en contact avec divers polluants que soit en atmosphère ou sol avec toutes ces impuretés et déchets.

II- LES COLORANTS

Un grand nombre d'activités industrielles rejettent des effluents contenant de forte Concentration en colorants. C'est le cas des industries textiles des industries de papier ; des matières plastiques des tanneries et cuir des industries agroalimentaires et de chimie minérale. [14]

Dès les débuts de son aventure, l'homme a mis des couleurs dans sa vie. Il a d'abord utilisé des pigments des <<terre colorée>> puis ceux de fibres végétales et animales [15].

L'utilisation par l'homme des substances colorées remonté à la plus haute antiquité mais ce n'est qu'en 1856[16], que fut découvert, par William Henry Perkin et Hofmann. On distingue parmi la substance colorée les pigments et les teintures.

II-1 .Classification des colorants

Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, alors que l'on compte des milliers de colorants synthétiques [17]. Les colorants sont classifiés de plusieurs manières par leur structure chimique et par leur domaine d'application [18].

II-1-1.Classification chimique

Comme On peut les classer chimiquement : par rapport au groupe chimique dont il appartient Et leurs molécules, ce qui conduit à distinguer les principales familles suivantes:

●Les colorants azoïques

Les colorants azoïques sont des composés chimiques dans les qu'elle le groupement azoïques (-N=N-) relie deux noyaux benzéniques. Ce type est le plus utilisable avec une production mondiale de 50% ou plus.

●Les colorants anthraquinoniques

La formule des colorants anthraquinoniques sont des dérivées de l'anthracène ces colorants Sont utilisés pour la coloration des fibres polyester acétate et triacétate de cellulose, sa Formule chimique " $C_{14}HO_2$ "ils ne sont pas permit en production alimentaire depuis les années 1970.

•Les colorants indigoïdes

Les colorants indigoïdes prennent son nom du terme l'indigo, avec une formule chimique " $C_{16}H_{10}N_2O_2$ ", sont utilisés dans la fabrication des textiles exactement les jeans.

•Les colorants triphénylméthanes

Les colorants triphénylméthanes, possédant trois cycles phényle liés à un carbone central leurs formule chimique est " $C_{19}H_{16}$ ", sont utilisés dans les industries textiles et papetières.

•Les colorants xanthènes

Les colorants xanthènes sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine Halogénée " $C_{13}H_{10}O$ ". Ils sont appliqués dans les industries alimentaires, textiles et cosmétiques.

•Les phtalocyanines

La particularité de ces colorants qu'ils possèdent un atome métallique centrale. Ce qui le rend un composé complexe

• Les colorants nitrés et nitrosés

Les colorants nitrés et nitrosés présentent le groupe nitro ($-NO_2$). Ce dernier est placé dans la position ortho avec un groupe hydroxyle ou aminés.

•Les colorants acides ou anioniques

Ces colorants sont solubles dans l'eau pour cause avoir un groupement sulfonâtes ou carboxylates. Ils sont utilisés en coloration des fibres animales et des fibres acryliques modifiées dans un bain d'acide.

•Les colorants développés ou azoïques insolubles

Les colorants développés, appelés aussi colorants au naphthol. Ces colorants sont formés directement dans les fibres. Ils sont utilisés sur les fibres cellulosiques et les autres fibres.

•Les colorants basiques ou cationiques

Le nom "colorant basique" c'est comment en appeler les colorants cationique ayant une bonne solubilité dans l'eau ils sont utilisés dans la coloration de coton, la laine [19].

Partie bibliographique

Dans ce travail on utilise un colorant cationique comme polluants nous choisis ce colorant parce que il est très soluble dans l'eau et leur l'utilisation de ce colorants sur l'industrie.

III-Vert de malachite

Le Vert Malachite (VM) est un agent antifongique destiné à être utilisé chez les poissons d'aquarium.... D'autre part, l'essentiel de l'érosion des poissons destinés à la consommation humaine ; Le VM est interdit dans les œufs de poissons, les poissons et coquillages dans certains pays pour le traitement des infections fongiques et parasitaires externes. C'est une fongicide efficace en particulier comme désinfectant général dans les écloseries. Le VM est également utilisé comme colorant industriel dans certaines applications, notamment la pâte à papier, le papier et les textiles [20].



Figure 1. Vert de malachite [21].

Tableau 1. Le tableau suivant résume quelques propriétés physicochimiques du colorant vert de malachite.

Propriétés physicochimiques	
Apparence	Cristaux verte foncé
Formule brute	$C_{23}H_{23}ClN_2$
Masse Molaire (g/mol)	364.911
Couleur	Bleu-vert
Nom UICPA	4-[(4-diméthylaminophényl)-phényl-méthyl]-N,N-diméthyl-aniline



Figure 2. Structure de la molécule de verte de malachite [22].

IV- Différentes méthodes de traitement

IV-1. Biologique

-Traitement Aérobie: générer des effluents de très bonne qualité, était auparavant la solution appliquée à la plupart des types d'eaux usées industrielles.

-Traitement Anaérobie: élimination des composés organiques biodégradables. Il est particulièrement adapté pour les déchets organiques et les flux d'eaux usées fortement chargés en contaminants organiques [23].

IV-2. Chimique

IV-2-1 .Oxydation

Oxydation par l'oxygène, l'ozone, l'oxydation tels que NaOCl et le H₂O₂ pour la désinfection avant usage domestique ou industriel pour éviter tout risque de contamination bactériologique [24].

IV-2-3. Réduction (Na₂SO₄)

La réduction concerne principalement le chrome hexa valent qui ne précipite pas dans cet état d'oxydation. Nous le changeons donc en état d'oxydation +3 (Cr⁺³) en utilisant généralement du bisulfite de sodium (hydrogène sulfite de sodium NaHSO₃) [25].

IV-2-3. Méthode compleximétrique

Est une forme de titrage dans laquelle on transforme un ion libre en complexe coloré [26].

IV-2-4. Résine échangeuse d'ions

Cette permutation appelée échange d'ions permet de modifier la composition ionique du liquide objet du traitement sans modification du nombre total de charges existant dans ce liquide avant l'échange [27].

IV-3. Physique

IV-3-1. Méthode de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation)

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des Matière en suspensions et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floc dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou filtration [28, 29].

IV-3-2 .Osmose inversé, filtration

La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui idéalement retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat) [30,31].

IV-3-3. Incinération est une technique de transformation par l'action du feu

IV-3-3 -1. Adsorption

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des ions ou des molécules (gaz, métaux, molécules organiques...) d'une manière plus ou moins réversible. Il y a transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide.

V – ADSORPTION

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier une condensation de gaz à la surface et d'une adsorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse en fin, le terme désorption a été proposé en 1909 par bain. Il désigne aussi bien le phénomène d'adsorption que celui de désorption [32].

IV-1. Définition

L'adsorption est l'accumulation (concentration) à la surface d'un solide ou d'un Liquide, soumis à une atmosphère gazeuse, d'ions, molécules et particules colloïdales Provenant de la phase vapeur et qui modifient les propriétés physiques et chimiques L'espèce adsorbée est l'adsorbat et la surface adsorbant est l'adsorbant [33].

Il est Compréhensible que si une substance dissoute tend à diminuer la tension superficielle et donc l'énergie interne du système sa concentration dans la couche superficielle soit plus élevée que dans la solution elle-même .Il existe quatre paramètres remarquables :

1-L'adsorbant : un facteur de purification qui élimine les impuretés.

2-La molécule à adsorber : les molécules polluantes.

3-L'eau à traiter : échantillon qui prend les molécules polluantes.

4-La surface spécifique des matériaux : les solides dans les milieux naturels (Argile, silice, ...) possèdent des surfaces spécifiques variables.

V -2 .Types d'adsorption

On distingue les types d'adsorption suivante :

V-2-1. Adsorption physique

V-2-1.1 Adsorption physique (physisorption)

Adsorption physique (physisorption) C'est un phénomène spontané et réversible. L'accessoire des molécules d'adsorbat à la surface adsorbant est sensiblement dû aux forces de van der Waals, les forces polaires découlant d'un champ électrique à la surface des connexions adsorbants ou sur des liaisons d'hydrogène dues à la présence de certains groupes de surface [34, 35].

V-2-2. Adsorption chimique (chimisorption)

La chimisorption est vraiment plus proche de la réaction chimique. Dans ce cas, le processus résulte de l'interaction chimique entre les molécules adsorbant qui forment la surface des solides et les molécules résolues avec la formation de composés chimiques entre les molécules adsorbées et la surface adsorbant [36]. Ce type d'adsorption se développe à haute température et implique des énergies interactives élevées comprises entre 40 kJ/mole et 200 kJ/mole [37 - 38]. Ce phénomène peut provenir de l'hétérogénéité de la surface et de l'existence de la répulsion entre les molécules adsorbées [39].

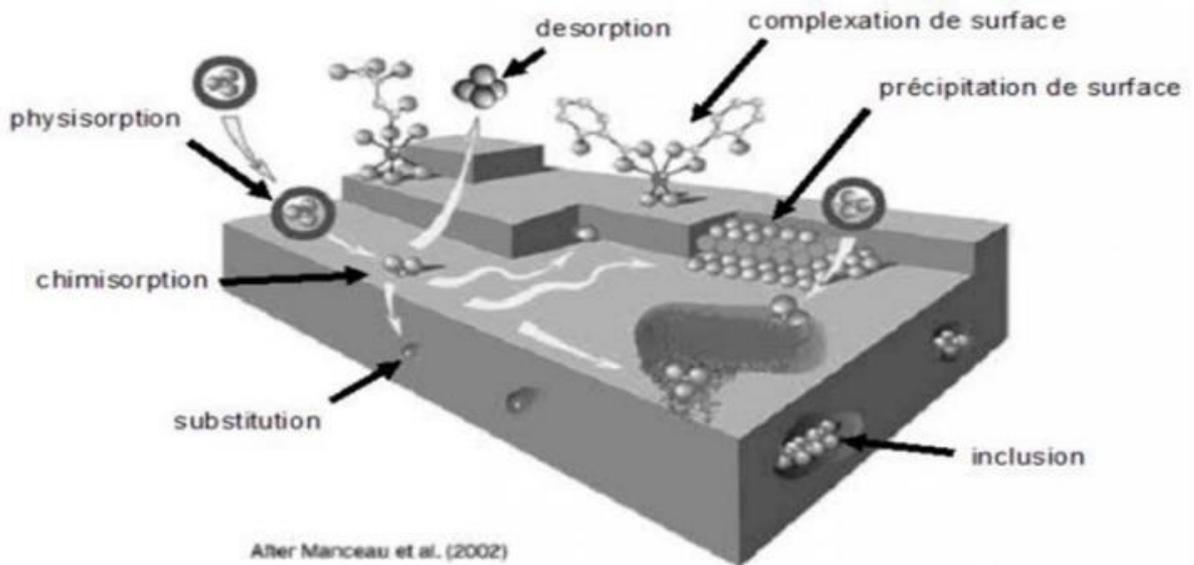


Figure 2. Les principales interactions entre un atome ou une molécule et un solide à L'interface solide/liquide [40].

Il existe deux types d'adsorption chimique :

V-2-3. Adsorption dissociative

Les molécules dont les atomes sont parfaitement saturés, s'adsorption de façon dissociative c'est-à-dire avec rupture de la molécule pour former des liaisons avec la surface métallique, cas de l'hydrogène (H_2) adsorbé sur le platine réduit [41].

V -2-4. Adsorption associative

Les molécules insaturées ont la possibilité de s'adsorber sur le métal par ouverture de la liaison et formation de deux nouvelles liaisons covalentes avec la surface métallique cas de l'éthylène adsorbé sur le nickel [42].

Tableau 2. Différentes principales entre l'adsorption physique et chimique [43].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Type de liaison	Physique	Chimique
Chaleur d'adsorption	$\leq 6 \text{ kcal/mole}$	$> 10 \text{ kcal/mole}$
Température du Processus	Favorisée par un abaissement de température.	Favorisée par accroissement de température.
Désorption	Facile	Difficile
Spécificité	Non spécifique	Spécifique (dépend de la nature des liens)
La distance entre les molécules et la surface de solide	Grande	Petite
La vitesse d'adsorption	Rapide	Lente
Les énergies de liaisons	0 et 40 KJ/mole	$> 40 \text{ kJ/mol}$
Prise de saturation	Phénomène multicouches	Phénomène monocouches
La nature d'adsorbat	La quantité d'adsorbat élevée dépend davantage de l'adsorbat que sur l'adsorbant.	Dépend de l'adsorbant et de l'adsorbat.

V-3. Mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en trois étapes, intervenant chacune dans l'expression de la vitesse totale du processus figure 3.

1- Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté (adsorbat) vers la surface des Grains (adsorbant)).

2- Diffusion intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).

3- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée la molécule est Considérée comme immobile [44].

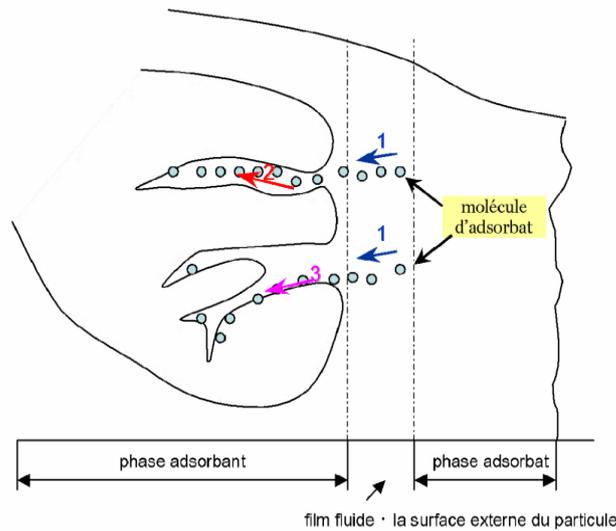


Figure 3. Schéma du mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain [45].

1- diffusion externe, 2- diffusion interne (dans les pores), 3- diffusion de surface

V-3- 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 [46].

V-3 -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 [47].

V-3-3 .Effet de la température

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature de molécules adsorbées [48].

V-3-4 .Effet de la surface spécifique

L'adsorption est proportionnelle à la surface spécifique. Généralement, la surface spécifique [49]. externe ne représente qu'une portion minimale 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 [50].

V-3-5 .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 [51].

V-3-6. 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 [52].

V-3-7 .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. Il se produit plus lentement [53].

V-4 .Isothermes d'adsorption

La performance d'un adsorbant dépend dans une très large mesure de l'équilibre entre les deux phases. Cet équilibre fixe en effet la capacité maximale qui peut être atteinte dans les conditions opératoires. L'équilibre est généralement représenté sous forme graphique. Il rend compte de la relation entre la quantité de soluté retenue par le solide (q_e) et la concentration en équilibre en soluté (C_e) dans la phase liquide. La relation obtenue est appelée « isotherme d'équilibre » à condition que l'expérience soit effectuée à température constante.

Partie bibliographique

Donc l'isotherme d'adsorption est la courbe liant, caractéristique de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbant et un adsorbat.

Elles sont exprimées généralement sous formes d'équations mathématiques, non cinétiques ($q_e = f(C_e)$), que l'on nomme isothermes, lesquelles sont obtenues à partir d'expériences réalisées en batch [54].

VI-ADSORBANTS

VI-1. Définition

Au sens strict, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques.

Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de $100 \text{ m}^2/\text{g}$ atteignant même quelques milliers de m^2/g . Ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou mésoporeux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm (selon la classification de l'UPAC) [55].

Les premiers adsorbants utilisés, il y a plusieurs siècles, furent les argiles et les terres décolorantes, puis à la fin du XIX^{ème} siècle furent développés les charbons actifs. La première guerre mondiale vit apparaître les gels de silice, puis dans les années 1939-1940, les alumines activées. En 1945 sont reconnues les propriétés d'adsorption exceptionnelles des zéolithes naturelles. En 1950 les premières zéolithes synthétiques ouvrent la voie au fantastique développement des tamis moléculaires comme catalyseurs et adsorbants. A côté de ces adsorbants utilisés en quantités industrielles se sont développés ces dernières années de nouveaux produits de meilleures propriétés [56].

Seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante peuvent avoir un intérêt pratique. Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques supérieures à $100 \text{ m}^2/\text{g}$ et pouvant atteindre quelques milliers de m^2/g [57].

Ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou mésoporeux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm.

Les adsorbants sont caractérisés par leurs propriétés extérieures telles que leur surface spécifique ou leur polarité. Une importante surface spécifique est préférable pour avoir une grande capacité d'adsorption. La taille des micropores détermine l'accessibilité des molécules adsorbables à la surface interne d'adsorption, il est donc

possible de caractériser les adsorbants par la distribution de la taille des pores, et donc de choisir tel ou tel adsorbant pour une séparation particulière [58].

VI-1-2. Différents types d'adsorbants

VI -1-2-1.Adsorbant à faible Capacité

On peut citer la scorie, les cendres ainsi que les argiles. Ces solides ne sont pas régénérables [59]. L'adsorbant le plus utilisé dans cette classe est l'argile [60].

V-1-2-2.Adsorbants à haute Capacités

Dans cette classe, on distingue les différentes marques de charbon actif les gels de silice, les résines synthétiques macroporeuses et autre solide. Tous ces adsorbants sont régénérables [61].

V-1-2-3.Les adsorbants Minéraux

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

- **Les argiles** : Les argiles sont des aluminosilicates. Ce sont des produits naturels qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbant.

-**Les zéolithes** : Les zéolithes sont des adsorbants de squelette cristalline aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres SiO_4 et AlO_4 de formule globale $(\text{AlO}_2\text{M}, \text{NSiO}_2)$ ou M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et N. Il existe plus de 100

V-1-2-4. Les charbons actifs

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

d'application et leur coût font des charbons actifs les adsorbants plus répandus [62]. Microporeuse fait de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés adsorbant.

Ils sont sous forme de poudre granulés ou extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas $900 \text{ m}^2/\text{g}$. mais, ils présentent une bonne sélectivité [63].

VI-2 .Critère de la bonne qualité de l'adsorbant

*Un bon adsorbant doit avoir les qualités suivantes :

*Une haute capacité d'adsorption.

*Une grande efficacité pour adsorber des substances de faibles concentrations.

*Une sélectivité élevée.

*Une aptitude à être facilement régénéré et utilisé de nouveau.

*Une grande inertie chimique.

*Un prix peu élevé.

Grâce à leur structure cristalline en feuillets, les argiles et zéolites sont de bons adsorbants naturels. Les oxydes d'aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$), fabriqués à partir de bauxite par traitement thermique, sont des corps extrêmement poreux amorphes partiellement hydratés. Ils sont couramment employés pour le séchage des gaz l'élimination de l'eau dans les liquides [64].

VII- CHARBON ACTIF

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement pour augmenter sa surface. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 100 à 2000 m² /g d'où sa grande capacité d'adsorption.

La structure du charbon actif est proche de celle du graphite ordonnée sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone disposés en hexagones réguliers [65].

VII-1. Le charbon actif comme adsorbant

Les charbons actifs sont de loin les adsorbants les plus fabriqués et utilisés dans de nombreuses applications domestiques et industrielles.

Notamment dans les domaines de la purification de l'eau, et de l'air. Le pouvoir d'adsorption des charbons actifs est attribué à la porosité la surface spécifique, et les groupements fonctionnels de surface comme le rapportent [66].

VII-2. Origine et fabrication

VII-2-1. Origine

D'origine organique ou minérale, il provient de diverses matières animales et végétales (coque de noix de coco, tourbe, houille...) les charbons actifs issus de ces derniers produits sont les plus souvent employés pour le traitement de l'eau naturelle ou résiduaire. Pour des recherches spécifiques, on peut avoir recours à des produits carbonisés comme le sucre qui donne du charbon actif chimiquement pur [67].

VII-3. Fabrication

VII-3-1. Procédé physique

Le matériau brut est carbonisé à une température d'environ 600°C pendant 6 à 8h. L'activation est une oxydation ménagée à haute température (700 à 1000°C) en présence d'un mélange faiblement oxydant de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone pendant 24 à 72h[68].

VII-3-2. Procédé chimique

La carbonisation et l'activation sont réalisées simultanément entre 400 et 600°C en présence d'acide phosphorique ou de chlorure de zinc (ce dernier est interdit pour les applications agroalimentaires). Ces agents interviennent comme catalyseur d'oxydation et permettent à la fois le développement de la microporosité et de la

méso porosité par élargissement du diamètre des pores. La fabrication s'achève par des opérations de granulations, de tamisage et de conditionnement [69].

VII-4 Différentes formes du charbon actif

Plus de 100 types de charbons actifs pour toutes vos applications.

Nous mentionnons trois types célèbres :

- ✓Charbon actif en poudre (CAP).
- ✓Charbon actif granulé (CAG).
- ✓Le charbon actif extrudé (CAE).

Les différents types de charbon, leur caractérisations et utilisations sont déterminés sur le tableau 3

1. Tableau 3. Les différents types de charbon actif [70].

Charbon actif en poudre (CAP)	Charbon actif granulé (CAG)	Le charbon actif extrudé (CAE)
<p>-des particules avec une taille de moins de 0,18 mm. - est principalement employé dans des applications en phase liquide et pour le traitement des flux gazeux. -est 2 à 3 fois moins cher que le (CAG).</p> 	<p>-des particules de forme irrégulière de taille allant de 0,2 mm à 5 mm. -utiliser pour des applications en phases liquide (le traitement des eaux) et gazeuse. Ce composé de faible poids moléculaire favorise une durée de vie prolongée, avec une grande capacité d'adsorption.</p> 	<p>-De forme cylindrique avec des diamètres allant de 0,8 mm à 5 mm. -est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, et de sa faible teneur en poussière.</p> 

VII-5. Les caractéristiques de charbon actif

Les caractéristiques des charbons actifs varient en fonction du précurseur (matériau de départ), de méthode de préparation et les conditions de traitement (température de pyrolyse et le temps D'activation...).

Ils peuvent être présentés sous trois formes différentes : grain, poudre, ou fibres. La différence entre charbons actifs en grain et en poudre est établie sous la base de critères granulométriques :

La taille moyenne des particules est inférieure à 0,18 mm pour le charbon actif en poudre et inférieure à 0,6 mm pour le charbon actif en grain. Le cas des fibres ne sera pas abordé du fait de leur utilisation limitée dans le domaine du traitement des eaux.

De nombreux matériaux carbonés, tels que le bois, les coquilles de noix de coco le charbon naturel, les résidus d'agricultures sont utilisés comme précurseurs pour la préparation de charbons actifs [71].

Le processus de fabrication de ces adsorbants comporte deux grandes étapes :

La carbonisation et l'activation (Je l'ai mentionné dans le titre précédent Fabrication ...Procédé physique et Procédé chimique). Il existe deux procédés d'activation qui sont l'activation physique et l'activation chimique. Cette dernière, notent [72], permet d'obtenir un meilleur rendement une plus grande surface spécifique et un meilleur développement de la structure poreuse du charbon.

VII-6 .Les propriétés de charbon actif

VII-6-1. Structure poreuse (Texture)

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de ce solide. Un pore ouvert est un pore dont l'accès se situe à la surface du grain il est donc accessible au fluide. Ce volume poreux en $\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$, est donc uniquement caractéristique de la porosité ouverte figure 5

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

- Les micropores de diamètre inférieur à 2 nm
- Les méso-pores de diamètre compris entre 2 et 50 nm
- Les macro-pores de diamètre supérieur à 50 nm



Figure 5. Représentation schématique des différents types de pores.

Chaque type de pore joue un rôle particulier dans le phénomène d'adsorption. Les macro-pores permettent au fluide d'accéder à la surface interne du charbon actif. Les méso-pores favorisent le transport de ce fluide et les micropores sont les sites de l'adsorption. Les micropores déterminent pratiquement à eux seuls la capacité d'adsorption d'un charbon actif : ils représentent presque la totalité de la surface offerte à l'adsorption [73].

VII-6-2. La surface spécifique

La surface spécifique ou aire massique (en $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) est la surface totale par unité de masse d'adsorbant accessible aux molécules.

Toute la surface des particules de l'adsorbant est considérée, porosité ouverte comprise, pour le calcul de la surface spécifique qui cumule donc la surface intérieure de tous les pores constituant le grain d'adsorbant. La surface spécifique comprend la surface externe et la surface interne d'un adsorbant (figure 6).

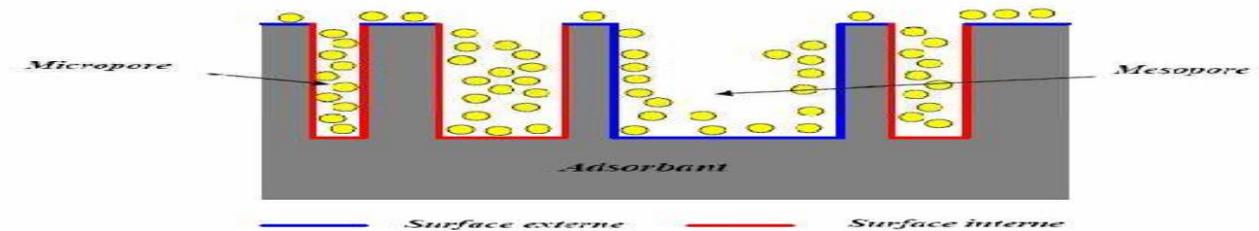


Figure 6. Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant.

La surface interne est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores.

La surface externe est la surface non-microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macro-pores, ainsi que la surface non poreuse de l'échantillon.

D'un point de vue physique, la différence entre la surface interne et la surface externe est que la valeur de l'énergie d'adsorption peut être jusqu'à deux fois plus grande sur les parois des micropores que sur la surface externe. Ce phénomène s'explique par la présence de deux parois opposées proches créant une double interaction pour une molécule adsorbée dans un micropore [74].

VII-7. Utilisations du charbon actif

L'utilisation du charbon actif est répartie en différents domaines comme :

*Traitement des eaux potables et résiduaires.

Partie bibliographique

*Purification de produits industriels.

*Le charbon actif élimine les couleurs et les impuretés de produits bruts il est employé par exemple pour la décoloration du sucre de canne ou de betterave.

*Le charbon actif est employé dans l'équipement d'air conditionné ainsi que pour l'élimination des odeurs d'égouts et d'émanations chimiques.

Les filtres à charbon actif contenus dans certaines voitures, fixent les émanations d'hydrocarbures imbrûlés qui s'échappent des véhicules à l'arrêt.

Ces dernières années, l'utilisation du charbon actif s'est élargie au traitement des eaux usées en raison non seulement de ses qualités d'adsorbant mais aussi du rôle épurateur joué par les bactéries qui y sont fixées.

Les études faites sur l'utilisation du charbon actif comme support bactérien montrent que :

Les charbons actifs possèdent une texture idéale pour le développement bactérien.

Le charbon actif n'a pas un rôle bactérien sélectif, en effet plusieurs sortes de bactéries sont observées, généralement des bactéries ciliées.

Le charbon macroporeux favorise le développement bactérien beaucoup plus que le charbon microporeux en raison de la dimension des bactéries [75].

PARTIE EXPERIMENTALE

MATERIALE ET METHODE

Dans le domaine de l'environnement, il est très important de disposer d'outils capables de détecter la présence de polluants ou de substances toxiques aux milieux aqueux. Cette Partie est subdivisée en deux Chapitres, Dans le premier Chapitre on présente toutes les caractérisations de matériaux utilisés de cette étude. Dans le second Chapitre on présente les résultats des essais de l'adsorption du colorant Vert de malachite (VM) sur le charbon actif OTEP ainsi que leur interprétation. Au cours de cette expérience, nous avons essayé d'étudier l'influence des différents paramètres sur le processus d'adsorption qui sont : le temps de contact, la masse d'adsorbants le pH et la température.

I-Matériels et réactifs

Le tableau suivant **tableau 4** représente les matériels et réactifs utilisés dans cette étude.

Tableaux 4. Les réactifs et les appareils utilisés

Les réactifs et les appareils	Les produits chimiques
Bêchers 100 ml Erlenmeyer Fioles jaugées de 1000 ml - 100ml Eprouvette graduée Verre de montre Pipette graduée Entonnoirs Pissettes Papier filtre Ballon monocaule Barreaux magnétiques Thermomètre Cristalliseur Spatule Balance analytique	Acide phosphorique L'iode I ₂ Iodure de potassium Thiosulfate de sodium Bleu de méthylène Vert de malachite

Plaques chauffantes	
Spectre UV-Visible	
Four de pyrolyse	
Centrifugeuse	
pH mètre	

II-Préparation des solutions mères de vert de malachite (VM)

Pour préparer une solution mère, nous avons dissout 150 mg du (VM) dans un litre l'eau distillée dans une fiole jaugée. A l'aide d'un agitateur magnétique, nous avons obtenu une solution homogène de pH = 3,71.

III-préparation un charbon active à base de (OT)

Notre étude concerne l'évaluation d'un charbon actif synthétisé à partir déchet végétales. Après séchage et tamisage, le produit (OT) figure 7 obtenue est de couleur marron.



Figure 7. L'OT en poudre.

II- préparation de (OTEP)

Les 10g de (OT) ont été mélangés avec l'acide phosphorique H_3PO_4 . Le mélange est soumis à l'air libre pendant 24h. Le produit obtenu a été calciné à une température de $550^\circ C$ avec une vitesse de chauffage $10^\circ C/min$ pendant 3h. Le produit est ensuite lavé avec l'eau distillée et séché à $110^\circ C$ durant 24h.

III- Caractérisations d'Otep

III-1. Indice d'iode

L'indice d'iode fournit une indication sur la micro porosité du charbon. C'est le nombre de milligrammes d'iode adsorbé par gramme d'adsorbant à une concentration résiduelle de 0.02N.

Pour déterminer l'indice d'iode du (OT1), il faut :

1-une solution de HCl 5%

2-une solution d'iode 0.1N

3-une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0.1N.

La masse de 1g de (CA), qui a été séché auparavant dans l'étuve pendant 3H, est dissoute dans un flacon 10ml de HCl et remuer doucement jusqu'à ce que l'échantillon soit complètement mouillé à ébullition pendant 30s. Après refroidissement à température ambiante, on transporte 100ml de la solution d'iode dans le flacon sous agitation pendant 30 secondes. Ensuite on filtre un volume de 20 ml à 30ml du filtrat et on récupère le reste dans un bécher.

Un volume de 50ml du filtrat est titré avec le $Na_2S_2O_3$ jusqu'à ce que la solution devienne jaune pâle. Ensuite, on ajoute 2ml d'amidon et on titre goutte à goutte jusqu'à ce que la solution devienne transparente, et on note le volume V_2 .

L'indice d'iode est calculé selon les étapes suivantes :

1-Calculer la molarité de filtrat R : $R = (0.001 * V_2) / 2$

2-calculer le facteur de correction D : $D = (0.01/R)^{165}$

L'indice d'iode = $((1269.1 - (V_2 * 27.92)) * D) / m$ [76].

III-2. Charge de la surface d'OTEP

L'adsorption de soluté sur une surface solide dépend fortement du pH de la solution ainsi que de pH_{pzc} (pH du point de charge zéro ou nulle), correspond à la valeur de pH pour laquelle, la charge nette de la surface des adsorbants est nulle [77].

La mesure du pH_{PCZ} est effectuée comme suit: un volume de 50ml d'une solution de NaCl (0.01N) est placé dans de flacons à bouchons. Ajustement du pH (de 2 à 12) est établi par l'addition de l'hydroxyde de sodium ou l'acide chlorhydrique. Une masse de 0,15g d'OTEP est additionné à la solution de NaCl. Après 48h d'agitation le pH final est mesuré. On trace le pH final en fonction du pH initial.

III-3. Indice bleu du méthylène

L'indice de bleu de méthylène est le nombre de milligrammes du BM adsorbé par un gramme de charbon actif lorsque la concentration à l'équilibre du BM est égale à 1mg/l [78]. Cet indice donne une idée sur la surface disponible pour les adsorbants micro et méso poreux [79].

Dans un bécher de 100ml, on dissout une masse de 0.1g de charbon dans un volume de 25 ml de solution de bleu méthylène de concentration 1200mg/l sous agitation pendant 30min. Le mélange est filtré avec du papier filtre. A titre de précaution les premières 5ml du filtrat sont jetées. Les mesures de l'absorbance du filtrat sont effectuées à 620nm.

IV-Elimination d'un colorant basique (VM) par OTEP

Le traitement des rejets industriels contenant ce type de colorant s'avère d'un grand intérêt. Une large variété de techniques physiques, chimiques et biologiques a été développée et testée dans le traitement des effluents chargés en colorants. Parmi les procédés de traitement des rejets liquides, l'adsorption reste une technique relativement utilisée et facile à mettre en œuvre. Le charbon actif est l'adsorbant

le plus largement utilisé en raison de sa grande capacité d'adsorption des matériaux organiques [80, 81].

IV-1. Courbe d'étalonnage de VM

Pour déterminer λ_{\max} du colorant, on prépare une solution très diluée et on fait un balayage entre 400nm – 800nm par spectrophotomètre. La longueur maximum d'adsorption est égal 617nm sachant que l'intervalle théorique de ce colorant varie entre 616-620 nm.

Les résultats de la courbe d'étalonnage obtenus sont donnés par la figure 8.

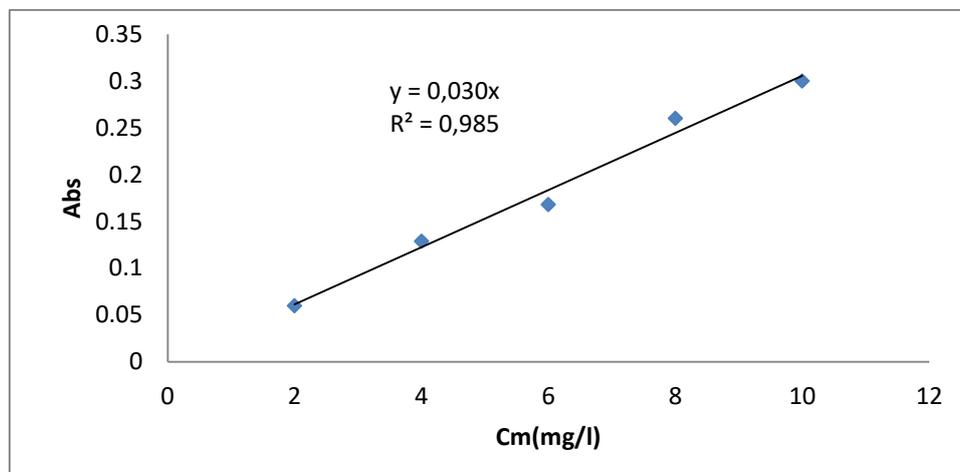


Figure 8. Courbe d'étalonnage du vert de malachite

IV-2. Etude cinétique

La cinétique représente l'étude de la vitesse d'adsorption du soluté à la surface de charbon actif. Elle consiste à suivre la variation de la concentration résiduelle du soluté dans la solution en fonction du temps.

Nous avons effectué une étude sommaire de la cinétique pour déterminer le temps de contact au bout duquel l'équilibre s'établit. Les mélanges de plusieurs solutions de 50 ml de concentration initiale de 150mg/l et une masse de charbon de 50mg sont soumis sous agitation magnétique pendant des durées variables de 5 jusqu'au 120min.

L'adsorption du colorant après centrifugation a été mesurée par l'analyse du surnageant par spectrophotomètre UV-Visible. La quantité adsorbée est calculée à l'aide des formules suivantes :

$$A = C_{eq} * a \quad C_{eq} = A/a \quad \text{avec } a = 0.025 \text{ l/mg.}$$

$$Q = ((C_0 - C_{eq}) * v) / m \quad \text{avec } v = 0.05 \text{ l et } m = 0.05 \text{ g}$$

$$Q = ((C_0 - C_{eq})) / 100 \quad R = ((C_0 - C_{eq})) / C_0$$

C_0 : la concentration initiale en adsorbat (mg/l)

V : volume de la solution

Q_e : Quantité fixé de colorant en mg par gramme a l'équilibre

C_e : Concentration instantané a l'équilibre (mg/l)

IV-2-1 Modèle de pseudo premier ordre

LANGRANGE (1889) a proposé un modèle cinétique du pseudo première ordre exprimée par la relation suivante:

$$dq/dt = k_1 / (q_e - qt)$$

L'intégration de l'équation donne :

$$\text{Log}(q_e - qt) = \log q_e - (k_1 / 2.303) \cdot t$$

VI-2-2 Modèle de pseudo deuxième ordre

Le modèle du pseudo deuxième ordre suggère l'existence d'une chimisorption un échange d'électron par exemple entre molécule d'adsorbat et l'adsorbant solide [82, 83].

$$dq_t/dt = K_2 (q_e - qt)^2$$

$$1/q_t = 1/K_2 \cdot q_e^2 + q_1/t$$

IV-3. Effet de dose

L'étude de l'effet de dose a été réalisée avec une concentration de 150mg/l et une masse de charbon actif varie entre 10-100 mg.

$$\text{Pourcentage} = ((C - C_{eq}) / C) * 100$$

$$X/m = ((C_0 - C_{eq}) * v) / m \quad \text{avec } v = 0.05 \text{ l et } m = (0.01 - 0.1 \text{ g})$$

$$X/m = ((C_0 - C_{eq})) / 1000$$

IV-4. Effet de pH

Le pH initial de la solution est de 3.71. L'étude de l'influence du pH a été réalisée en traitant une concentration de 150mg/l du vert malachite avec une masse de charbon de 40 mg à différentes valeurs du pH de 2, 3 6 et 8. Le temps d'équilibre est de 30 minutes.

IV-5. Effet de température

L'étude de l'effet de la température a été réalisée en traitant une concentration de 150mg/l de VM avec une masse de charbon 40mg à différentes températures de 25, 35, 45 et 55°C. Le temps d'équilibre est de 30 minutes.

RESULTAT ET DISCUSSION

I. Caractérisations de l'OTEP

Comme il a été mentionné, l'indice d'iode est un paramètre très important dans la caractérisation des charbons actifs. Pour déterminer cet indice, on fait les calculs suivants :

I-1. L'indice d'iode

$$V_{eq}: 29\text{ml}$$

$$R = (0.001 * 29) / 2 \quad R = 0.0145$$

$$D = ((0.01 / 0.0145))^{0.165}$$

$$D = 0.94053$$

$$I = (((1269.1 - (V * 27.92)) * D) / m) \quad \text{avec } m = 1\text{g}$$

$$I = (((1269.1 - (29 * 27.92)) * 0.94053)$$

$$I = 485.9\text{mg/g}$$

A partir de ce résultat, on remarque l'existence d'une bonne microporosité du charbon étudié.

I-2. L'indice bleu de méthylène

Pour déterminer la quantité de BM adsorbé sur OTEP, on a réalisé la courbe d'étalonnage du bleu de méthylène ($A = f(C_m)$) et les résultats sont représentés par la figure 9.

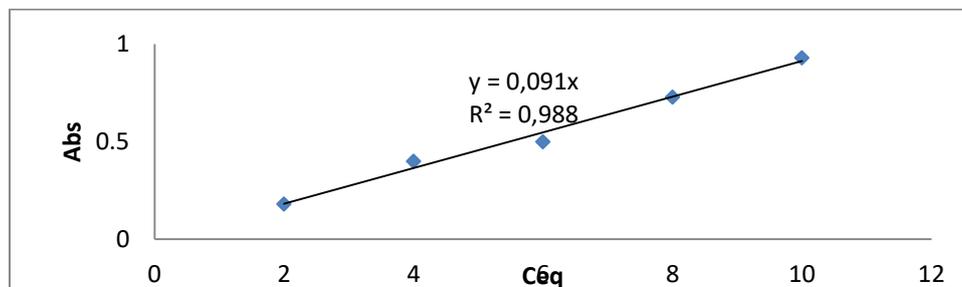


Figure 9. Courbe d'étalonnage du BM

L'indice de BM est déterminé par les formules suivantes:

$$\text{Abs}=0.091$$

$$C_{eq} = A/a \quad C_{eq}=0.091/6*10^{-5} \quad C_{eq}= 22.75 \text{ mg/l}$$

$$Q = ((C-C_{eq}) * v) / (*m) \quad \text{avec } m=0.1\text{g et } v=0.025 \text{ l}$$

$$Q = 294.32 \text{ mg/g.}$$

A partir de ce résultat, on remarque l'existence d'une bonne mésoporosité du charbon étudié

I-3. La charge de surface

La pH_{PCZ} de la solution est de 3.2. Le traitement chimique de déchet végétal par l'acide phosphorique augment les groupements fonctionnels acides.

Dans notre travail le pH du milieu réactionnel est supérieur au pH_{PCZ} (la figure 10).

Le $\text{pH}(\text{VM})=3.71 > \text{pH}_{\text{PCZ}}=3.38$, ce qui prouve que la surface est chargée négativement. Cette surface devient attractive aux adsorbats ayant des charges positives.

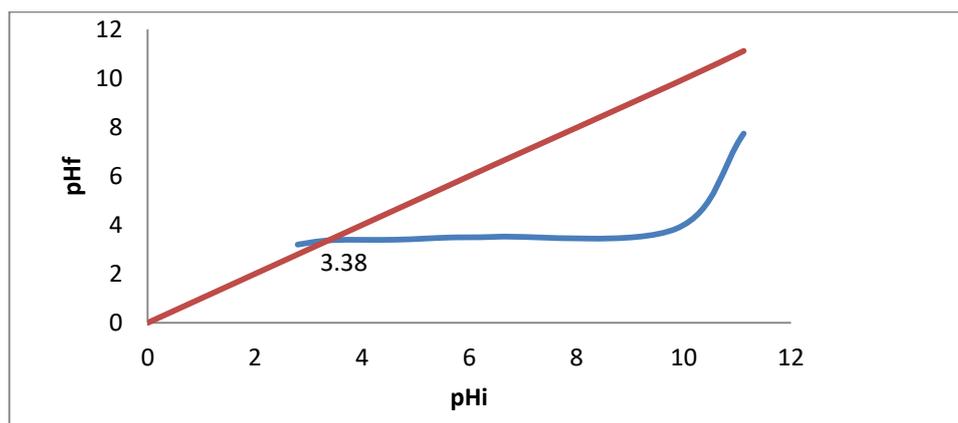


Figure 10. Détermination le point de charge nulle pour l'OTEP.

IV-Elimination un colorant basique (VM) par l'OTEP

IV-1. Etude cinétique :

Selon la figure 11, l'allure des courbes décrivent une forte adsorption rapide. On observe que l'équilibre d'adsorption est atteint après 30 min. Ces résultats montrent qu'il y a une grande affinité entre le VM et les surfaces des adsorbants. L'allure générale des courbes est identique. Elle est composée de deux parties: **1^{ère} étape** : de 5min à 30 min, une adsorption rapide qui croît proportionnellement avec le temps de contact.

2^{ème} étape : de 30 min à 120 min, la vitesse d'adsorption devient faible pour tous les adsorbants et que l'équilibre est atteint au bout de 120 min.

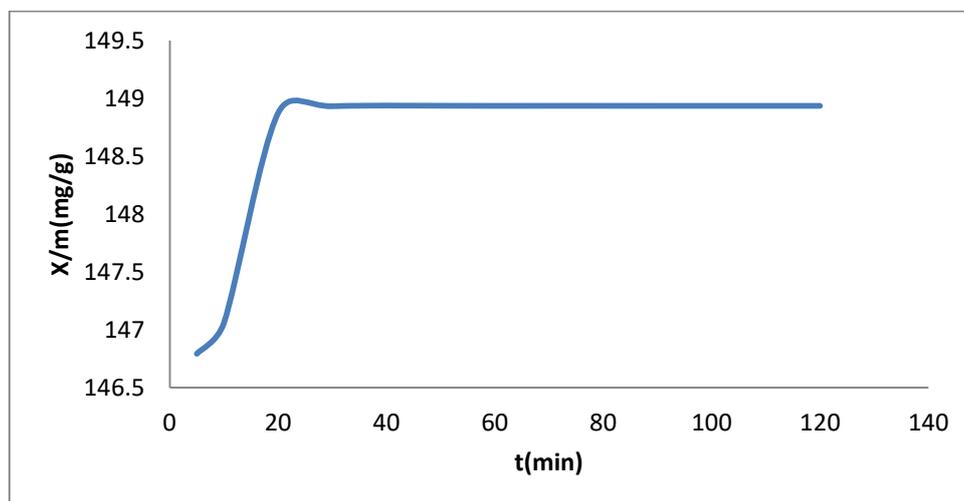


Figure 11. Effet du temps de contacte sur l'adsorption du VM en solution aqueuse par l'OTEP.

IV-2. Modules de cinétique

IV-2-1. Modèle de pseudo –premier ordre

Résultats et discussions

On applique modèle cinétique du pseudo première ordre exprimée par la relation suivant:

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log}(q_e) - (K_1 t) / 2.303$$

La figure 12 montre l'application de ce modèle.

$$\text{Log}(q_e - q_t) = 1.249 - (-0.119) t$$

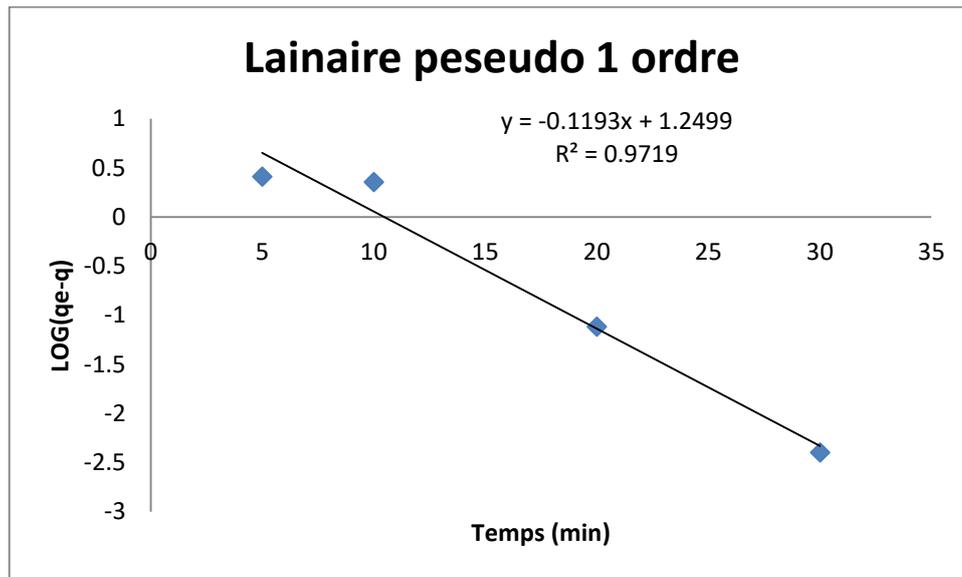


Figure 12. Application du modèle de pseudo – premier ordre pour l'adsorption du VM par OTEP

IIV-2-2. Le modèle de pseudo – seconde ordre

Pour le modèle de pseudo –seconde ordre exprimée par la relation suivante:

$$1/q = (1/(K_2 q^2)) (1/T) + (1/q)$$

La figure 13 montre l'application de ce modèle.

$$1/q = 0.001(1/T) + 0.006$$

Résultats et discussions

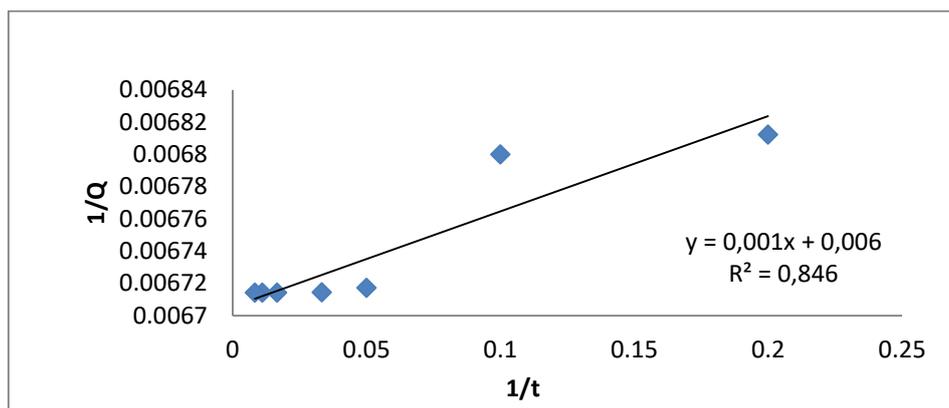


Figure 13. Application du modèle de pseudo – seconde ordre pour

A partir des résultats de tableau 6, on remarque que l'étude cinétique pseudo-premier ordre a une valeur de coefficient de corrélation R^2 est de 0.971 et la capacité maximale d'adsorption expérimentale calculée est largement différentes. Ceci élimine le modèle du pseudo premier ordre.

Pour l'étude cinétique pseudo-deuxième ordre la valeur de coefficient de corrélation R^2 est de 0.846. Tandis que la valeur de la capacité maximale d'adsorption expérimentale et graphiquement sont proche. On conclue que l'adsorption du vert de malachite par l'OTAP est régie par une cinétique du deuxième ordre. Les paramètres cinétiques d'adsorption du colorant VM par l'OTEP sont regroupés dans le tableau 6.

Tableau 6. Paramètres cinétiques d'adsorption du colorant VM par OTEP

Concentration initiale C_{m0}		152.8mg/l
$Q_{e_{exp}}$		155.5mg/g
Peseudo1er ordre	K_1 (g/mg.min)	0.27405
	Q_e (mg/g)	3.4868
	R^2	0.971
peseudo2ordre	K_2 (g/mg.min)	0.036
	Q_e (mg/g)	166.66mg/g
	R^2	0.846

IV-2 Effet de dose de l’OTEP

L’effet de la dose d’OTEP a été réalisé en utilisant des masses allant de 10mg jusqu’à 100mg. La figure 14 indique que la masse de 40 mg (0.8g/l) de l’OTEP a été suffisante pour atteindre l’équilibre et éliminer 97.98% du colorant VM.

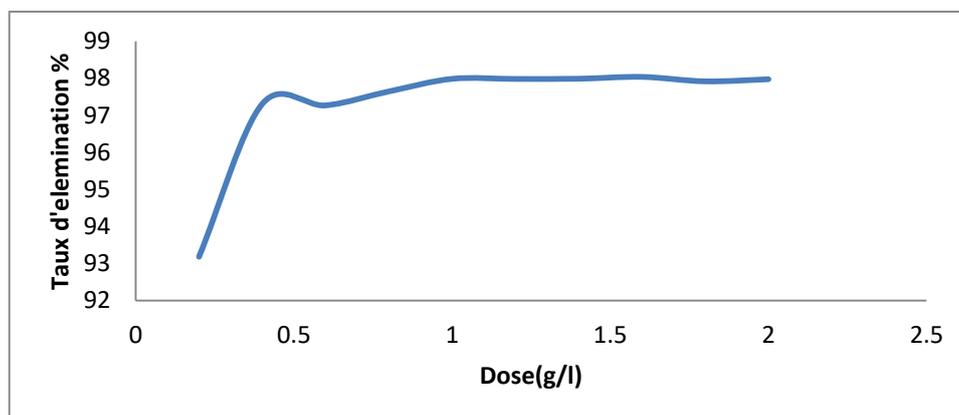


Figure14. Effet de dose d’OTAP sur l’adsorption du VM en solution aqueuse.

IV-3. Effet du pH

Les résultats de la figure 15 montrent du pH sur l’adsorption de VM sur l’OTEP. Nous pouvons constater que le meilleur rendement d’élimination est obtenu dans des milieux acides. Nous observons un meilleur taux d’adsorption à pH égal à 6.2 du VM avec un rendement d’élimination maximale de 96.97%.

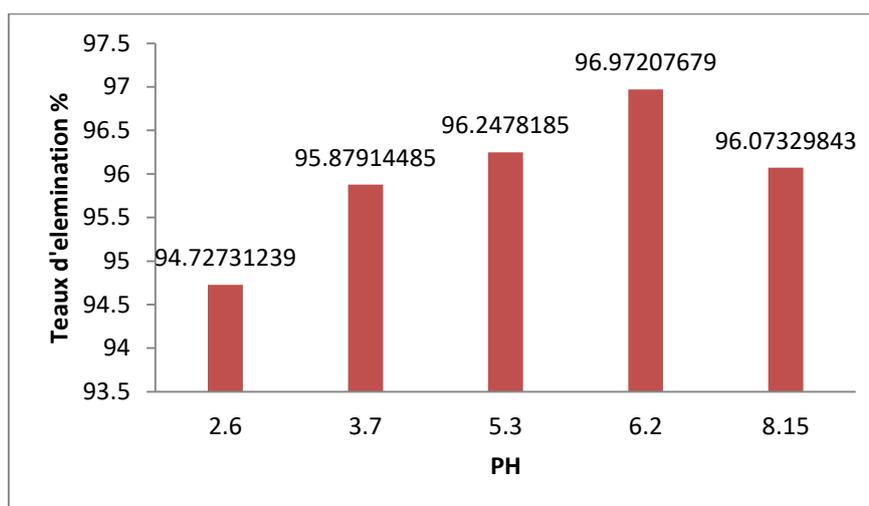


Figure 15. Effet de pH de VM en solution sur l’adsorption par l’OTEP.

IV-4. Effet de la température

Résultats et discussions

L'effet d'adsorption de VM par OTEP est réalisé à 25°C, 35°C, 45°C et 55°C

La figure 16 confirme que l'élévation de la température fait augmenter le taux de rétention et la capacité d'adsorption de l'OTEP. D'après la valeur de l'enthalpie ($\Delta H^\circ > 0$), l'adsorption est endothermique.

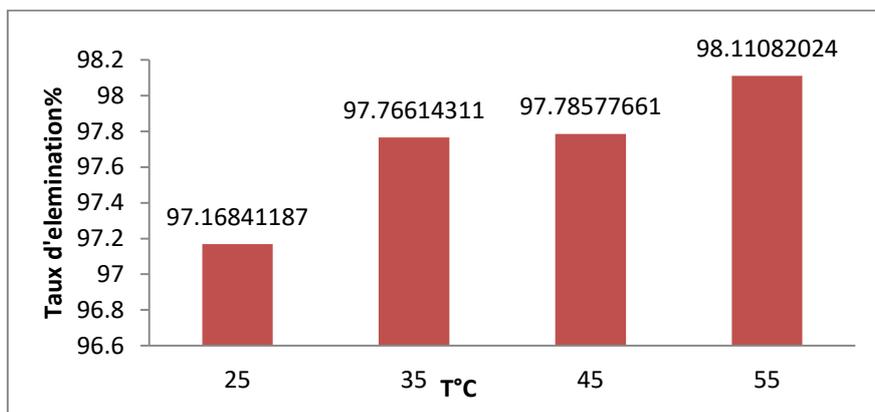


Figure 16. Taux d'élimination du VM par l'OTEP à différentes températures

L'ordonnée à l'origine ($\Delta S^\circ/R$) et la pente ($-\Delta H^\circ/R$) peuvent être déterminées par extrapolation à partir du tracé de la droite $\ln K_d = f(1/T)$ La figure 17.

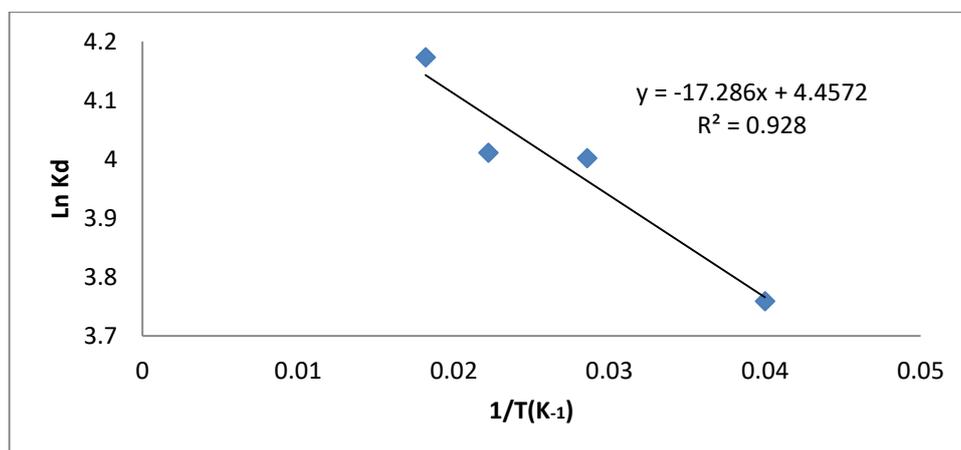


Figure 17. Effet de la température sur l'adsorption du VM par l'OTEP

Les valeurs calculées de ΔG° , ΔH° et ΔS° (tableau 7), indiquent que la réaction d'adsorption du colorant est spontanée ($\Delta G^\circ < 0$) et endothermique ($\Delta H^\circ > 0$).

Tableau7. Paramètre thermodynamique de l'adsorption du VM par l'OTEP

T(k)	LnK _d	ΔG° (Kj.mol ⁻¹)	ΔS° (j.mol ⁻¹)	ΔH° (j.mol ⁻¹)
298	3,7587515	-9,319	37,08	143,76
308	4,00199224	-10,255		
318	4,01102096	-10,612		
328	4,17309847	-11,388		

IV-5. Isotherme

Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative). Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Vander Waals et se regroupent en écots dans lesquels elles se tassent les contres les autres. Ce comportement est favorisé, d'une part, quand les molécules de soluté sont adsorbées verticalement comme c'est le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel et d'autre part, quand les molécules se trouvent en compétition d'adsorption forte avec le solvant.

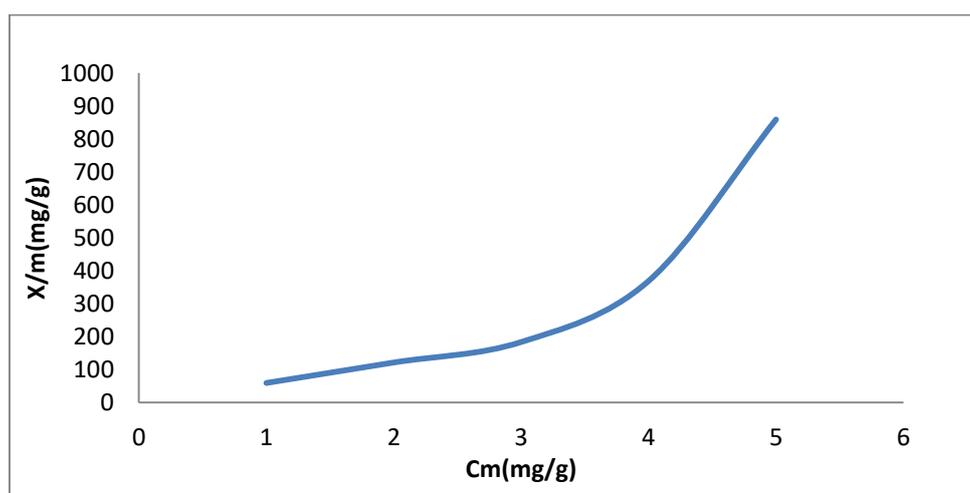


Figure 18. Isotherme de l'adsorption du VM en solution aqueuse par l'OTEP

IV-5-1. Modèle de Langmuir

Résultats et discussions

On applique la modélisation des isothermes d'adsorption de Langmuir selon la relation suivante :

$$C_e/Q = (1/Q_m) C_e + (1/(K_L Q_m))$$

La figure 19 représente le tracé de la droite de $C_e/Q = f(C_e)$ qui permet par extrapolation de déterminer les constantes Q_{max} ; K_L .

$$C_e/Q = 0.0017 C_e + 0.0236$$

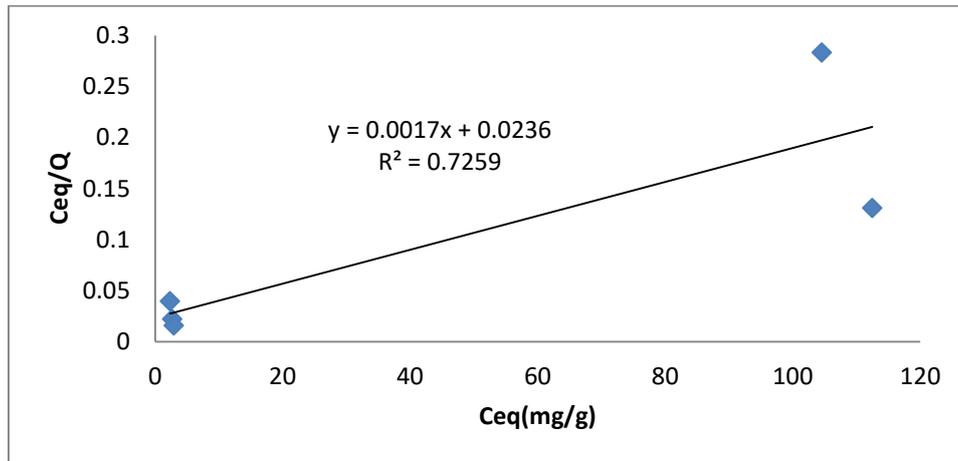


Figure 19. Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du VM par OTEP

IV-5-2. Modèle de Freundlich

La figure 20 représente le tracé graphique de $\ln Q_e = f(\ln C_e)$ qui permet par extrapolation de déterminer les constantes n et K_F selon les équations suivantes :

$$\ln Q_e = \ln K_F + 1/n \ln C_{eq}$$

$$\ln Q_e = 3.871 + 0.598 \ln C_{eq}$$

Résultats et discussions

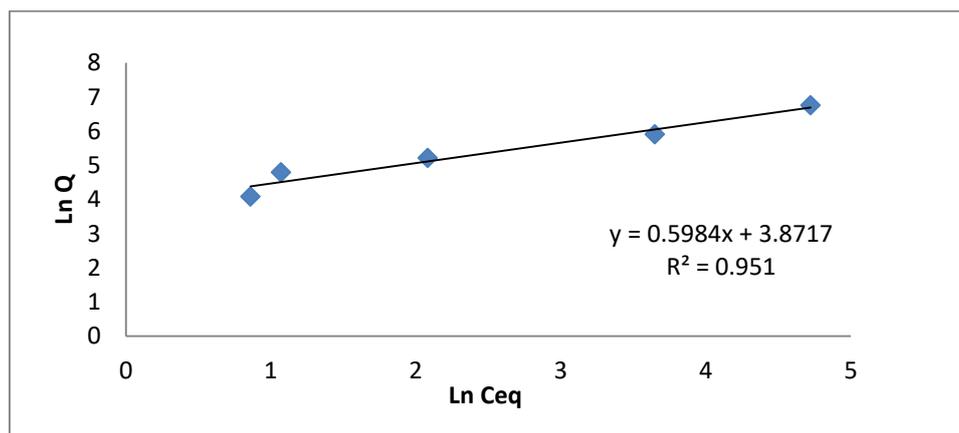


Figure 20. Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du VM par OTEP

Les valeurs du tableau 8 donnent les constantes de Langmuir et Freundlich obtenue à partir des équations de ces modèles. D'après les valeurs des coefficients de régression R^2 et les résultats obtenus montrent que l'adsorption du vert de Malachite par l'OTEP suit parfaitement le modèle de Freundlich avec un coefficient de corrélation 0.951 et une capacité d'adsorption de 1000mg/g.

Tableau 8. Paramètre des modèles des isothermes du colorants VM sur OTEP

Isotherme de Langmuir			Isotherme de Freundlich			
Qmax	K_L	R_L	r^2	KF	n	r^2
				$(\text{mg/g})(\text{L/mg})^{1/n}$		
1000mg/g	$2.3 \cdot 10^{-5}$	0.977	0.725	47.99	1.672	0.951

Conclusion générale

Les résultats expérimentaux des essais de la cinétique d'adsorption, les isothermes et la thermodynamique ont révélé que le charbon actif élaboré possède un pouvoir adsorbant vis-à-vis l'adsorbat utilisé.

L'étude cinétique a indiqué que le modèle de pseudo-second ordre convient mieux au processus d'adsorption. La quantité du colorant du vert malachite adsorbée par une masse de charbon actif augmente avec l'augmentation de la dose initiale de l'adsorbat dans la solution. D'après les valeurs de l'enthalpie libre standard ($\Delta G < 0$) et l'enthalpie standard ($\Delta H > 0$), la réaction d'adsorption de colorants spontanée et endothermique. Le modèle de Freundlich est plus adapté à l'équilibre de l'adsorption sur le charbon Actif.

- [1]-P.C. GWENAELE, (2010).Rétention de virus en ultrafiltration : protocole de caractérisation, THESE DE Doctorat ,UNIVERSITE DE TOULOUSE.
- [2]-N. FAYOUD, S. ALAMI YOUNSSI, S. TAHIRI, A.ALBIZANE ; Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur les cendres de bois (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of methylene blue on wood ashes), J. Mater.Environ. Sci. 6 (11) (2015) 3295-3306.
- [3]- V.KUMAR K, V.RAMAMURTHI, S.SIVANESAN; Modeling the mechanism Involved during the sorption of methylene blue onto fly ash. J.Coll. Int. Sci.284 (2004) 14-21.
- [4]- [E] <https://inspection.canada.ca/salubrite-alimentaire-pour-les-consommateurs/fiches-reenseignements/produits-et-risques/dangers-chimiquesvert-malachite/fra/1332268890141/1332268947157>.
- [5]- ETA.ROULIAM., A. VASSILIADIS, Interactions between C.I .Basic Blue41 and alumino-silicate sorbents. J. Colloid Interf, Sci.291 (2005) , 37-44.
- [6]-S, SATONAKA, T. ISOBE, and T. KAYAMA, Preparation of activated carbon with phosphoric acid from waste liquors, waste sludges and waste from deinking Research Bulletins of the college Experiments Forests. . 41 (2000). p. 551-560.
- [7]-K. MOKEDEMI; 2017. Étude spectroscopique d'un charbon actif par H₃PO₄, activation. Mémoire master, Chimie p26.
- [8]-MEENAKSHI GOYAL,SUKHMEHAR SINGH ; C,ROOP, D BANSAL ,Equilibrium and dynamic adsorption of Methylene Bleu from Aqueous Solutions by surface Modified Activated Carbons journal of carbon Science .Vol .5(2004),pp,170-179.
- [9]-F.BENAMRA, Mémoire de magister, Génie chimie ; Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidue de l'agriculture. 2014 p 35.
- [10]-Ecologix Environmental systems LLC120Ansley way Roswell GA 30075.Glossary of termes commonly used with activated carbon.

Références

- [11]-A.KHOUALDI, A. MEDJANI master GENIE CHIMIQUE ; Adsorption du bleu de méthylène par le charbon actif et l'argile.
- [12]-ROULIAM. ETA. A. VASSILIADIS, Interactions between C.I. Basic Blue 41 and aluminosilicate sorbents. *J. Colloid Interf. Sci.* (2005), 291, 37-44.
- [13]-J.ZELDOVITCH D'APRES J. CHAUSSIDON, A.JELLI. *Chimie physique des phénomènes de surface*, 1971.
- [14]-O.FERRANDON, H.BOUABANE ET M.MAZET. Contribution à l'étude de la validité de différences modèles, utilisés lors de l'adsorption de solutés sur charbon actif. *Journal of water science*, vol. 8, no 2, 1995, p. 183-20.
- [15]- [E]://www.britannica.com/science/pollution-environment.
- [16]-MELGHIT, MERIEM, qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau et sédiment de l'oued rhumel et des barrages hammam grouz et beni haroun, mémoire de magister université mentouri - constantine - : gestion des déchets, 2013, 141p
- [17]-JENG H , *encyclopedia of cancer and society*, ed. graham colditz., los angelus: sage publications inc., (2007)2,p : 695-697.
- [18] -dictionnaire sur l'environnement 1001 mots et abréviations et du développement durable.
- [19]-BEYADE, SIDI SALEM, caractérisation de la composition chimique des eaux usées traitées de la step de sebkha, Mémoire de master université cadix ayyad-merrakah- : eau et environnement, 2013, 65p.
- [20]-MELGHIT, MERIEM, qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau et sédiment de l'oued rhumel et des barrages hammam grouz et beni haroun , mémoire de magister université mentouri-constantine- : gestion des déchets ,2013.
- [21]-TREVORS J. T ETSALIER JR M. H - *regulation of pollution . water air soil pollution* (2007).

[22]-[E]://www.toppr.com/guides/biology/natural-resources/water-and-water-pollution.

masson et cie, p. 35 paris, 1964.

[24]-VELDE B- introduction to clay minerals: chemistry, origins, uses and environmental significance », chapman et hall, p. 256, london, 1992.35 .

[25] -A.RAMDANI - thèse de doctorat (réduction de la salinité des eaux saumâtres sahariennes par rétention d'ions fluorures sur des matériaux naturels actifs : comparaison avec les procédés membranaires).

[26]-ZAWLOTZKI GUIVARCH E, traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée, électro-fenton, application à la minéralisation des colorants synthétiques, thèse de doctorat UNIVERSITE DE MARNE- LA- VALLEE, (2004).

[27]-KUSHWAHA A.K., GUPTA N., M.C.CHATTOPADHYAYA, removal of cationic methylene bleu and malachite green dyes from aqueous solution by waste materials of daucus, journal of Saudi chemical society, (2011).

[28]-MEHDIF; modification de la bentonite par un sel de diphosphonim – applications l'adsorption des colorants textiles (rouge, bleu et jaune bemacide), UNIVERSITEABOU BEKR BELKAIDTLEMEN, (2014).

[29]-[E] ; <https://inspection.canada.ca/salubrite-alimentaire-pour-les-consommateurs/fichesderenseignements/produitsrisques/dangerschimiques/vertmalachite/fra/1332268890141/1332268947157>].

[30]-BENGAID, YAMINA.- l'adsorption du bleu de méthylène et vert de malachite avec film chitosane/argile biocomposite. mémoire de master. UNIVERSITE - GHARDAÏA, (2021).

[31]-BAZINE KACEM, ACHOUR BAELHADJ - Elimination de composés phénoliques et vert malachite par adsorption sur des billes d'alginate/ charbon actif- ; mémoire de master UNIVERSITE - GHARDAÏA,(2021).

[32]-[E]<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja01864a025>.

[33]-C. LAFLEUR, J.FORTIER, L.KHAROUNE, M. KHAROUNE, « évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles », rapport commandité par la sodium

(SOCIETE DE DEVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE MARICOLEINC) ; (février 2008).

[34]-DEBRAY B , système d'aide à la décision pour le traitement des déchets spéciaux. science et technique du déchet, thèse de doctorat lyon, (1977), 313 p.

[35]-CRINIG, BADOT M, traitement et épuration des eaux industrielles polluées. press universitaire de franche-comté, France (2007).

[36]-DEBRAY B, système d'aide à la décision pour le traitement des déchets spéciaux., science et technique du déchet , thèse de doctorat lyon, (1977),313 p.

[37]-DESJARDINS R, le traitement des eaux. 2^{ème} édition, montréal, (1997),p 38-48.

[38]-ABDELHALIM S. H., SHEHATA A. M. A., EL-SHAHAT M. F, “removal of lead ions from industrial wastewater by different types of naturals materials”, water research, vol. 37, pp. 1678-1683; (2003).

[39]-JEAN-MARC BERLAND ET CATHERINE JUERY, « les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, documentation technique (fnadae), n°14, décembre(2002).

[40]-WINGENFELDER H.C., FURRER G., SCHULIN R.. removal of heavy metals from mine water by natural zeolites. Environ. sci. technol. 39: 4606-4613; (2005).

[41]-EMNA ERRAIS, thèse du diplôme de docteur de l'université de strasbourg (géochimie de l'environnement), réactivité de surface d'argiles naturelles. etude de l'adsorption de colorants anioniques, p47, 58, 59, (2011).

[42]-EMILIAN KOLLER, génie chimique, robert l., « techniques de l'ingénieur - génie des procédés », adsorption. Ruthven d. m., principales of adsorption and adsorption process, john wiley.

[43]-SEKIRIFA M.L, étude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des Noyaux de dattes : application au traitement d'effluent aqueux. thèse de doctorat. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA ;(2013).

[44]-SEDIRA N, étude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de

Noyaux de dattes. Mémoire de magister. UNIVERSITE MOHAMED CHERIF MASSAADIA SOUK- AHRAS; (2013).

[45]-HUCHON R, activité photocatalytique de catalyseurs déposés sur différents Supports (medias) application à la conception d'un photoréacteur pilote, Thèse de doctorat UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON ;(2006).

[46]-GUECHI E, enlèvement de colorants à partir de solutions aqueuses par des matériaux sorbants non conventionnels et à faible coût. Thèse de doctorat. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA ;(2013).

[47]-A ; HAMOUCHE ; Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels ; thèse de doctorat UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES ;(2013).

[48]-SLASLI M.A ; Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux : approches théorique et expérimentale ; thèse de doctorat Université de Neuchâtel ; (2002).

[49]-MANCEAU, A, MARCUS, M.A, TAMURA« quantitative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron x-ray techniques. in applications of synchrotron radiation in low-temperature geochemistry and environmental science ». reviews in mineralogy and geochemistry, MINERALOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 49, 341-428 , (2002).

[50]-J.F.LEPAGE, catalyse de contact –conception, préparation et mise en œuvre des catalyseurs industriels, Edition technique ;(1978).

[51]-J.F.LEPAGE, catalyse de contact –conception, préparation et mise en œuvre des catalyseurs industriels, édition technique, (1978).

[52]-I. ZKINALY; J. EKANY: chem. soc. Farady. Trans, (1989) p: 1-85.

[53]-HACHEMI FATIHA, MORTAD WAHIBA,- élimination des deux colorants par adsorption sur un matériau issu de la coquille d'escargot,- . mémoire de master. Université ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN- CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT, (2019).

Références

- [54]-LIANG-MIG SUN ET FRANCIS MEUNIER, technique de l'ingénieur, traité génie des procédés, adsorption aspects théoriques, centre français, p 2730-3.
- [55]-M. S.OULI, cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRE, 2008
- [56]-S. E. CHITOUR, chimie de surfaces, introduction à la catalyse, Edition opu alger (1981)
- [57]-M. S.OULI, cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, office des publications universitaire, (2008).
- [58]-FIANI. Adsorption de polluants gazeux sur des filtres à charbon actif.modélisation des échanges couplés de matière et de chaleur. inpg-emse, saint-etienne, france (2000).
- [59]- BARRER, zeolites and clay minerals adsorbent and molecular sieves
- [60]-S. E. CHITOUR, chimie de surfaces, introduction à la catalyse, Edition opu alger(1981)
- [61]-AFNOR. La qualité des sols, thermologie, échantillonnage, contrôle et qualité. tome 1. Editor afnor, paris, 1996, p 299-310.
- [62]-F.L.SLEJKO, M.DEKKER, adsorption technologie: a step by step approach to process
Evaluation and application, first edition, m.dekker, new york, p.37, (1985).
- [63]-S. CHITOUR, chimie physique des phénomènes de surface, opu, alger, 1976.
- [64] -AFNOR. la qualité des sols, thermologie, échantillonnage, contrôle et qualité. tome 1^{er}. Editor afnor, paris, p 299-310, 1996.
- [65]-F. EDELINE, l'épuration physico-chimique, théorie et technologie des eaux ed, cebedoc sprl liège, 1998.
- [66]-W. J. MESSCHELEIN. processus unitaires du traitement de l'eau potable. ed, cebedoc sprl liège1996.
- [67]-R. CALVET, le sol, propriété et fonctions, tome 1 constitution et structure, phénomènes aux interfaces, editions france agricole, p318, 2003.
- [68]-BREVET APG-RCC : pct / fr 99 / 00748 du 31 mars 1999.

Références

- [69]-J.JIMMY, L. HUMPHRY, e. george, procédé de séparation, technique sélection, dimensionnement, dunod 2001.
- [70]-J.OMLIN, L. CHESAUX, evaluation de charbons actifs en poudre (cap) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines, ecole polytechnique fédérale de lausanne 2010.
- [71]-L. MING SUN, F. MEUNIER. adsorption: aspects théoriques ; technique de l'ingénieur, opérations unitaires- génie de la réaction chimique, traité génie des procédés, j2730,p1-8,(2003).
- [72]-N. J. KROU, étude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel ad-ox d'élimination de polluants organiques; thèse de doctorat université de Toulouse ; (2010).
- [73]-N. PETIT. couplage des procédés d'adsorption sur charbon actif et de photocatalyse tio₂ / uv pour l'élimination de composés organiques volatils, thèse doctorat, UNIVERSITE DE RENNES 1(2007).
- [74]-R.MALIK, D.S. RAMTEKE, s.r. wate. adsorption of malachite green on groundnut shell waste based powdered activated carbon. waste management, 27 1129-1138, (2007).
- [75]-S.HAZOURLI, « adsorption et électrosorption de composés organiques sur charbon actif rn grains », thèse de doctorat USTHB 1991.
- [76]-G.GREVILLOT, « traitement d'air chargé en composés organiques volatils par adsorption sur solides microporeux », laboratoire des sciences du génie chimique, paris, 2004
- [77]-O. JOSEPH ;étude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués, ; thèse doctorat chimie Lyon (2009).
- [78]-DJIDEL TADJIA, étude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels, diplôme de magister, université des sciences et de la technologie med-boudiaf d'Oran (2011)

Références

- [79]-R. KUMAR, M.A. BARAKAT, decolourization of hazardous brilliant green from aqueous solution using binary oxidized cactus fruit peel. Chemical engineering journal 226. 377–383, (2013)
- [80]-O. JOSEPH, etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués. ECOLE DOCTORALE CHIMIE DE LYON., (2009)
- [81]-C.C. MANOLE. Procédé ad-ox d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique), thèse de doctorat, polytechnique de Toulouse (2007).
- [82]-N. NASUHA, B.H. HAMEED. adsorption of methylene blue from aqueous solution onto NaOH-modified rejected tea. chem. eng. j. 166 (2011) 783-786.
- [83]-LENNTECH, « traitement de l'eau et de l'air », 2004.

Résumé

Au cours de ce travail, nous avons étudié l'adsorption d'un colorant cationique (le vert de malachite) par un adsorbant à base de déchet végétale.

L'objectif de cette étude est de déterminer le pouvoir adsorbant du charbon actif, pour éliminer un colorant cationique le vert de malachite en milieu aqueux. Les expériences ont été menées en mode batch. L'influence de certains paramètres sur l'adsorption du colorant sur notre adsorbant, à savoir le temps de contact adsorbant-adsorbant, l'effet du pH de la solution, l'effet de la température et effet de dose

Le type de charbon actif étudié c'est une substance efficace dans l'adsorption des colorants et dans la lutte contre la pollution de l'eau.

Mots clés : adsorption; vert de malachite ; charbon actif; pollution de l'eau.

Abstract

In this work, we studied the adsorption of a cationic dye (malachite green) by an adsorbent based on vegetable waste.

The objective of this study is to determine the adsorption capacity of activated carbon to remove a cationic dye, malachite green, in an aqueous medium. The experiments were conducted in batch mode. The influence of certain parameters on the adsorption of the dye on our adsorbent, namely the adsorbent-adsorbate contact time, the effect of the pH of the solution, the effect of the temperature and the effect of dose

The type of activated carbon studied is an effective substance in adsorption of dyes and in the control of water pollution.

Keywords: adsorption; malachite green; activated carbon; water pollution.

ملخص

خلال هذا العمل ، درسنا امتزاز الصبغة الكاثيونية (أخضر الملكيت) بواسطة مادة ماصة تعتمد على بقايا النباتات

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد قوة الامتصاص للكربون المنشط للتخلص من صبغة الملكيت الخضراء الموجبة في وسط مائي ، وقد أجريت التجارب على دفعات. تأثير بعض المعلمات على امتصاص الصبغة على مادة الامتصاص لدينا ، أي وقت التلامس بين الممتزات ، وتأثير الأس الهيدروجيني للمحلول ، وتأثير درجة الحرارة وتأثير الجرعة

يعتبر نوع الكربون المنشط الذي تمت دراسته مادة فعالة في امتصاص الأصباغ وفي مكافحة تلوث المياه

الكلمات الأساسية فحم منشط الادمصاص تلوث الماء الملكيت الأخضر المعالجة الكيميائية.

RESUME