

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

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie des procédés de l'environnement

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Par

- **BOURAYA NOURELHOUDA**
- **LEFKIR KHADIDJA**

Intitulé

***ETUDE CINETIQUE ET ISOTHERME D'ADSORPTION D'UN
COLORANT SUR DES CHARBONS A BASE NATUREL***

Soutenu le : 30/06/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
M.AYECHE RIAD	MCA	Président	Univ-BBA
M.BAHAH SALEH	MCB	Examineur	Univ-BBA
M.KARCE HOUSSAM EDDINE	MCB	Encadreur	Univ-BBA
M.BEN HAMOUDA BARKAHOUM		Co-encadreur	Univ-BBA

Année Universitaire 2021/2022



REMERCIEMENTS

*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout puissant, qui nous a aidée et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude, et qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Le grand merci à notre encadreur Dr. **KARCE HOUSSAM EDDINE** pour sa gentillesse et ses idées et ses nombreux conseils ainsi que pour son aide qui permis d'arriver à ces résultats.*

Nous le remercions de nous avoir fait confiance d'accomplir ce travail

*Nous remercions vont également à Dr. **BENHAMOUDA BARKAHOUM** pour le suivi continuél tout le long de la réalisation de ce mémoire, pour tout le savoir qu'elle a su nous transmettre, elle n'a pas cessé de nous donner conseils et remarques intéressantes.*

*Nous remercions Mr **AYECHE RIAD** pour nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.*

*Nous tenons également remercier Mr **BAHAH SALEH** d'avoir accepté d'être l'examineur de ce modeste travail.*

Nous tenons à remercier infiniment toutes les personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire et spécifiquement les ingénieurs de laboratoire : Madame Habbiche Farida, Mr (s); Soliman, Fouad, Issam, et ainsi à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin, à accomplir ce travail.





Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À la source d'amour, ma vie et mon bonheur, ma mère.

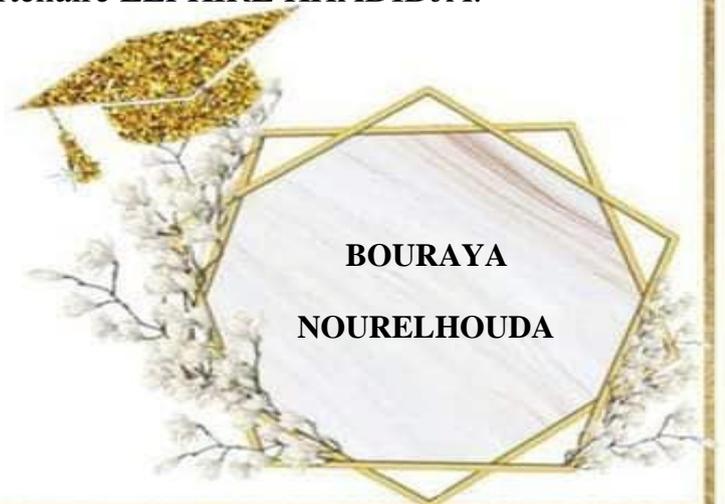
À qui m'a appris m'a supporté et m'a dirigé vers la gloire, mon père.

Aux personnes dont j'ai bien aimé, mes deux frères et ma sœur, mes amis, mes collègues d'étude, et à toutes ma famille.

A la librairie RIHABE pour son aide.

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

A la fin je dédie ce projet à ma partenaire LEFKIRE KHADIDJA.





Dédicace

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail

A mon mari AMINE, qui m'a donné l'espoir de vivre et de réussir malgré toutes les difficultés, et à mon fils qui n'est pas encore née.

A ma chère mère et ma belle-mère, qui m'ont encouragé et soutenu durant la préparation du mon projet.

A mon cher père et mon beau père, qui mon donné le courage de continuer mes études.

A toutes ma famille, mes amis, ainsi mes collègues de la promo génie des procédés.

Enfin, je dédier ce travail à mon binôme BOURAYA NOUELHOUDA.



**LEFKIRE
KHADIDJA**

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités sur les colorants

I. Généralité sur les colorants	3
I.1 Définition	3
I.2 Classification des colorants.....	3
I.3 Bleu de méthylène.....	5
I.4 Toxicité des colorants (bleu de méthylène)	5
I.4.1 Toxicité sur l'environnement.....	5
I.4.2 Toxicité sur la santé humaine	6
I.5 Procédés d'élimination des colorants.....	6
I.5.1 Procédés chimiques	6
I.5.1.1 Les procédés d'oxydation classique.....	6
I.5.1.2 L'hypochlorite de sodium	6
I.5.1.3 L'ozone	6
I.5.1.4 Le peroxide d'hydrogène	7
I.5.2 Les procédés d'oxydation avancée (POA)	7
I.5.2.1 Procédé d'oxydation avancée chimique (réaction de Fenton)	7
I.5.2.2 Procédés d'oxydation avancée électrochimique	7
I.5.2.3 Procédés d'oxydation avancée photochimique	7
I.6 Procédés physicochimiques	8
I.6.1 La coagulation-précipitation.....	8
I.6.2 Les techniques membranaires.....	8
I.6.3 L'échange d'ions	8
I.6.4 L'adsorption.....	8

Chapitre II: Generalites sur l'adsorption

II. Généralités sur l'adsorption	11
II.1 Définition	11
II.2 Types d'adsorption.....	11
II.2.1 Physisorption	11
II.2.2 Chimisorption.....	11
II.3 Les facteurs influençant sur l'adsorption.....	11
II.4 La cinétique d'adsorption	12

Sommaire

II.5	Modélisation des cinétiques d'adsorption.....	13
II.5.1	Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre (modèle Lagergren)	13
II.5.2	Le modèle pseudo-second-ordre (PSO)	13
II.5.3	Le modèle de Weber et Morris (modèle de diffusion intra particulaire)	14
II.6	Isothermes d'adsorption.....	14
II.6.1	Classification des isothermes d'adsorption	14
II.6.2	Modélisation des isothermes d'adsorption	16
II.6.2.1	Modèle de Langmuir	16
II.6.2.2	Modèle de Freundlich	16
II.6.2.3	Modèle de Dubinin- Radushkevich (D-R)	17
II.7	Types d'adsorbants	18
II.7.1	Les zéolithes	18
II.7.2	Les alumines activées.....	18
II.7.3	Les gels de silice	19
II.7.4	Les argiles activées.....	19
II.7.5	Les charbons actifs	19
II.7.5.1	Définition	19
II.7.5.2	Matériaux constitutifs	20
II.7.5.3	Fabrication du charbon actif	20
II.7.5.4	Propriétés	21
II.7.5.5	Les différentes formes du charbon actif.....	21
II.8	Domaines d'application de l'adsorption	22

Chapitre III: Partie expérimentales

III.	Partie expérimentales.....	24
III.1	Introduction.....	24
III.2	Adsorbats (colorant).....	24
III.3	Les adsorbants (charbons actifs).....	24
III.3.1	Préparation des adsorbants	25
III.3.1.1	Purification et séchage.....	25
III.3.1.2	Broyage.....	25
III.3.1.3	Tamisage.....	25
III.3.1.4	Activation thermique	26
III.3.1.5	Activation chimique	26
III.3.1.6	Lavage	26
III.3.2	La caractérisation des adsorbants	26
III.3.2.1	Le pH	26
III.3.2.2	Le pH point zéro charge (PZC)	27
III.3.2.3	Taux d'humidité	27
III.3.2.4	Densimètre.....	27
III.4	Application d'adsorption	27
III.5	Effets des paramètres opératoires	28

Sommaire

III.5.1 Temps de contact (cinétique d'adsorption)	28
III.5.2 Effet de pH	29
III.6 Isotherme d'adsorption	29
III.6.1 Calcul des quantités adsorbées	30

Chapitre IV: Resultats et discussion

IV. Résultats et discussion.....	32
IV.1 Résultats de caractérisation.....	32
IV.1.1 Les paramètres physico-chimiques	32
IV.1.2 Le point de charge nulle	32
IV.2 Résultats d'adsorption.....	33
IV.2.1 Effet des paramètres opératoires	33
IV.2.1.1 Effet de pH.....	33
IV.2.1.2 La cinétique d'adsorption	34
IV.2.1.3 La modélisation d'adsorption	35
IV.2.1.4 L'équilibre d'adsorption	37
IV.2.1.5 La modélisation de l'équilibre.....	38
IV.3 Comparaison des charbons préparés	40
conclusion.....	43

References bibliographiques

Résumé

Liste des tableaux :

Tableau 1: Classification des colorants en fonction de leur nature chimique.....	3
Tableau 2: Caractéristiques physico-chimiques du BM.....	5
Tableau 3: Caractéristiques physico-chimique du bleu de méthyléné.....	24
Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des deux adsorbants.....	32
Tableau 5 : Résultats de cinétiques d'adsorption de BM par les deux charbons modifiées selon le modèle de Lagergren.	35
Tableau 6 : Résultats de cinétiques d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiées selon le modèle de pseudo- second- ordre.	36
Tableau 7 : Résultats d'isotherme d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiés selon le modèle de Langmuir.	38
Tableau 8 : Résultats d'isotherme d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiés selon le modèle de Freundlich.	39
Tableau 9 : Résultats d'isotherme d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiés selon le modèle de D-R.....	40
Tableau 10: comparaison entre les parametres des deux charbons preparer.	41

Liste des figures

Figure 1: Structures chimiques bleu de méthylène	5
Figure 2: Schéma représente le phénomène D'ADSORPTION	11
Figure 3: Différents étapes de l'adsorption	12
Figure 4: Les quatre types d'isotherme selon Giles et all.	15
Figure 5: schématisation de la structure du charbon actif.	20
Figure 6: des adsorbants brute.....	25
Figure 7: adsorbant avant activation.	26
Figure 8: présente les solutions de BM de différentes concentrations.	28
Figure 9: la courbe d'étalonnage.....	28
Figure 10: l'outil utiliser pour la séparation.....	29
Figure 11: application de l'isotherme.	30
Figure 12: courbes représentent le pzc des deux charbons.	33
Figure 13 : l'effet de pH sur le phénomène d'adsorption des deux charbons.	33
Figure 14 : cinétique d'adsorption du BM sur C.A.1 (v=100ml, m=50mg, C=20mg/l).	34
Figure 15 : cinétique d'adsorption du BM sur C.A.2 (v=100ml, m=50mg, C=20mg/l).....	34
Figure 16 : Modèle de Lagergren des deux charbons.	35
Figure 17 : modèle de 2 ^{EME} ordre des deux charbons.	36
Figure 18 : modèle de diffusion intra-particulaire des deux charbons.....	37
Figure 19 : L'isotherme d'adsorption du BM sur C .A.1 et C.A.2 (V = 100 ml, m = 50 mg, t =150 min).....	37
Figure 20 : Modèle de Langmuir de C.A.1 et C.A.2.....	38
Figure 21: Modèle de Freundlich de C.A.1 et C.A.2.	39
Figure 22 : Modélisation d'isotherme sur l'adsorption du BM sur le C.A.1 et C.A.2 modifier par D-R.	40

Liste des abréviations

- ABS** : absorbance ;
- (AlO₂M, nSiO₂)** : aluminosilicates cristallisés microporeux ;
- Al(OH)₃** : tri hydroxyde d'aluminium ;
- BM** : bleu de méthylène ;
- CAG** : charbons actifs en grain ;
- CAP** : charbons actifs en poudre ;
- CAE** : Charbon Actif Extrudé ;
- C** : représente la valeur de l'épaisseur de la couche limite ;
- C_e** : Concentration à l'équilibre (mg/l) ;
- C_e** : La concentration de polluant à l'équilibre exprimée en mg/l ;
- C_i** : La concentration initiale de polluant exprimée en mg/l ;
- DBO₅** : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jour ;
- DCO** : Demande chimique en oxygène ;
- (D-R)** : Dubinin- Radushkevich;
- (H₂O₂)** : peroxyde d'hydrogène ;
- HCl**: Acide de chlorhydrique;
- IUPAC**: International Union of Pure and Applied Chemistry;
- k₁** : La constante de vitesse pour une cinétique du pseudo premier ordre (min⁻¹) ;
- k₂** : Constante de vitesse de réaction de second ordre (g/mg/min) ;
- (K₂ qe²)** : Est la vitesse initiale d'adsorption (mg /g min) ;
- K_{INT}** : La constante de la diffusion intra particule (mg/g min^{1/2}) ;
- K_L** : Constante de Langmuir ;
- K_F** : Constante de Freundlich ;
- m** : La masse d'adsorbant ;
- n** : caractéristiques de la solution et de l'adsorbant ;
- (NaOCl)** : l'hypochlorite de sodium ;
- NaOH** : Hydroxyde de sodium ;
- (O₃)** : l'ozone ;
- pH** : potentiel d'hydrogène ;
- PSO** : pseudo-second ordre ;
- (PZC)** : Le PH point zéro charge ;
- PK_a** : constant d'acidité ;
- Ph_i** : potentielle d'hydrogène initial ;
- Ph_f** : potentielle d'hydrogène final ;

Liste des figures

(POA) : Les procédés d'oxydation avancée ;

q_t : La capacité d'adsorption à l'instant t ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ d'adsorbant sec) ;

q_e : La capacité d'adsorption à l'équilibre ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ d'adsorbant sec) ;

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

q_t : quantité adsorbée au temps t (mg/g) ;

q_m : quantité d'adsorption maximale (mg/g) ;

R : Constant de loi des gaz parfait ;

T : Température (k) ;

R : Taux d'élimination (%) ;

V : Le volume de solution exprimé en l.

Introduction générale

Introduction générale

La contamination des ressources en eau, principalement au niveau de la qualité, est un problème qui se pose avec acuité de nos jours. Elle est le résultat de l'utilisation massive de polluants organiques et minéraux d'origine agricole, urbaine et industrielle. Ainsi, les colorants synthétiques employés dans l'industrie textile, représentent ce type de contaminants. Dans ces conditions, la contamination est essentiellement due à leurs rejets dans les rivières[1]. Afin de préserver et d'améliorer la qualité de ces eaux, des techniques de traitements ont été déjà mises en œuvre. La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour l'élimination des colorants est devenue une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation[2].

Le principe du traitement par adsorption est de piéger les colorants par un matériau solide appelé adsorbant. Il existe, dans la littérature, plusieurs matériaux pouvant être utilisés dans ce procédé tel que : les argiles, les zéolites et le charbon actif...[3].

Ce manuscrit est composé, suite à cette introduction, de quatre chapitres, et enfin une conclusion générale.

-Le premier chapitre aborde la problématique de la pollution causée par les colorants, en présentant le colorant étudié.

- Le second chapitre présente les aspects théoriques de l'adsorption, la description du mécanisme d'adsorption, la modélisation de la cinétique et de l'équilibre d'adsorption.

- Le troisième chapitre présente la méthodologie expérimentale suivie dans ce travail, notamment, la préparation des adsorbants, le matériel utilisé, et le protocole suivi pour réaliser les essais d'adsorption,

Enfin, le dernier chapitre détaille les résultats et la discussion des expériences d'adsorption de bleu de méthylène par les deux adsorbants préparés.

Le manuscrit se termine par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus et les perspectives du présent travail.

Chapitre I

Généralités sur les colorants

I. Généralités sur les colorants

I.1 Définition

Un colorant est une substance naturelle ou synthétique, qui a la propriété de colorer durablement le support sur lequel elle est appliquée dans certaines conditions. Ces composés sont utilisés pour colorer les textiles, les encres, les peintures, les vernis, les produits alimentaires, etc. La terminologie industrielle moderne définit un colorant commun produit contenant un colorant organique pur avec différents additifs et agents de coupage, qui facilitent son utilisation[4].

I.2 Classification des colorants

Les colorants peuvent être classés selon une classification tinctoriale et une classification chimique.

TABEAU 1: CLASSIFICATION DES COLORANTS EN FONCTION DE LEUR NATURE CHIMIQUE[5].

Classe	Substrat	Méthode d'application	Types chimiques
Acide	Laine, nylon, soie, cuiret papier.	A partir d'un bain neutre ou acide.	Anthraquinone, xanthène, azoïque, nitro, et triphénylméthane.
basique	Encres, papier, le poly acrylonitrile, le nylon traité, et de polyester	A partir des bains de teintures acides.	Hémocyanine, azoïque, cyanine, diazahemicyanine, diphénylméthane azine, xanthine, triarylméthane, l'acridine, l'anthraquinone et oxazine.

Chapitre I : Généralités sur les colorants

Direct	Nylon, le papier, le cuir et le coton.	A partir d'un bain neutre ou alcalin contenant un électrolyte supplémentaire.	Phtalocyanine, azoïque, oxazine, et le stilbène.
Disperser	Polyamide, un polyester acrylique, l'acétate, et les matières plastiques	Très peu solubles dans l'eau, appliquée sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Sont en mesure à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer.	Benzodifuranone, azoïque, anthraquinone, nitro, et styryle.
Réactif	La laine, le coton, la soie et le nylon.	Site réactif sur colorant réagit avec un groupe fonctionnel sur la fibre assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres sous l'influence de la chaleur et de pH.	Anthraquinone, formazan, phtalocyanine, azoïques et oxazine.
Soufre	Viscose et le coton.	Obtenus par la sulfuration de combinaisons organiques. Ils sont transformés en leuco dérivé sodique par réduction à l'aide de sulfure de sodium.	Structures Indéterminée
Cuve	Laine et coton.	colorants insolubles dans l'eau et doivent être transformés en leuco dérivés par réduction alcaline.	Indigoïdes et anthraquinone.

Chapitre I : Généralités sur les colorants

I.3 Bleu de méthylène

Le colorant bleu de méthylène est un colorant cationique d'indice CI 52015, sa Formule est (C₁₆H₁₈N₃SCI). C'est une molécule organique appartenant à la famille des Xanthines. Il est utilisé dans plusieurs applications, sa structure chimique et ses caractéristiques sont représentées sur la Figure (1), et dans le Tableau (2) respectivement[6].

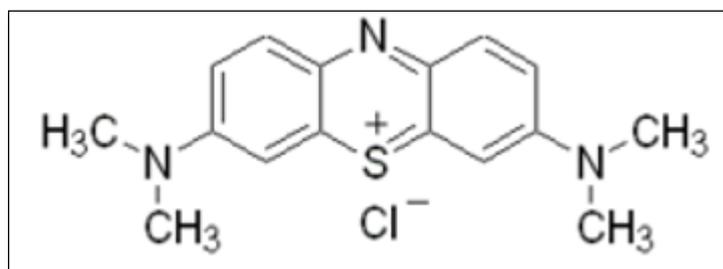


FIGURE 1: STRUCTURES CHIMIQUES BLEU DE METHYLENE[6].

TABLEAU 2: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU BM[6].

Nom usuel	Bleu de méthylène
Formule chimique	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S
Masse moléculaire	319.86 g.mol ⁻¹
Solubilité dans l'eau	Elevée
PKa	3.8

I.4 Toxicité des colorants (bleu de méthylène)

I.4.1 Toxicité sur l'environnement :

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. Par ailleurs, Leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible. De ce fait, ils peuvent persister longtemps dans ce milieu, en gendres ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore et dans la faune[4].

I.4.2 Toxicité sur la santé humaine :

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. En effet, des chercheurs ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane[5].

I.5 Procédés d'élimination des colorants

I.5.1 Procédés chimiques

I.5.1.1 Les procédés d'oxydation classique :

Les techniques d'oxydation classique utilisent des oxydants puissants et variés tels que l'hypochlorite de sodium (NaOCl), l'ozone (O_3), ou encore le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), en présence ou non de catalyseur. Ces méthodes de traitement sont couramment utilisées pour l'épuration d'effluents contenant des polluants organiques, y compris des colorants, en raison de leur mise en œuvre relativement facile. Dans le cas des colorants toxiques réfractaires à la biodégradation, l'action de ces composés permet l'obtention de sous-produits dégradables par les microorganismes. Enfin, l'oxydation par l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène sont des procédés utilisés en complément ou en concurrence avec l'adsorption sur charbons actifs ou la nano filtration[7].

I.5.1.2 L'hypochlorite de sodium :

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) s'attaque en particulier à la fonction amine des colorants, il enclenche et accélère la destruction du motif azoïque. Cependant, l'hypochlorite de sodium est de moins en moins utilisé dans les processus de traitement des eaux usées, en raison des effets négatifs qu'il induit, notamment par la formation d'amines aromatiques et d'organochlorés qui sont des composés cancérigènes. Ces inconvénients ont motivé son remplacement par l'ozone ou d'autres oxydants[8].

I.5.1.3 L'ozone :

L'ozone est un oxydant très puissant, particulièrement en raison de sa grande instabilité, l'ozonation est surtout adaptée à la dégradation des molécules de colorants ayant une double liaison, dont la destruction conduit à la formation de molécules plus petites. Les sous-produits d'oxydation à l'ozone présentent l'avantage d'être biodégradables[9].

I.5.1.4 Le peroxyde d'hydrogène :

Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) est utilisé dans la plupart des procédés de décoloration par oxydation. Cependant, en raison de la stabilité de ce composé à l'état pur, il est nécessaire de l'activer. Le rendement des méthodes d'oxydation à base de peroxyde d'hydrogène diffère en fonction de l'agent d'activation, les plus utilisés étant l'ozone, les rayons UV et les sels ferreux[9].

I.5.2 Les procédés d'oxydation avancée (POA) :

Les POA regroupent des méthodes chimiques, photochimiques ou électrochimiques. Le développement de ces méthodes est en plein essor depuis environ trois décennies. Ces méthodes de traitement consistent à dégrader les molécules de colorants en CO_2 et H_2O au moyen du rayonnement UV en présence d'hydrogène peroxyde[10].

I.5.2.1 Procédé d'oxydation avancée chimique (réaction de Fenton) :

La possibilité d'utilisation du réactif de Fenton dans le domaine de l'environnement, en particulier dans le traitement des eaux usées, a été abordée durant les deux dernières décennies. Le réactif de Fenton n'est autre que le peroxyde d'hydrogène activé au moyen d'un sel ferreux et constitue un agent oxydant adapté au traitement d'effluents contenant des colorants résistants à la biodégradation ou toxiques vis-à-vis des microorganismes[10].

I.5.2.2 Procédés d'oxydation avancée électrochimique :

Traitement des effluents colorés par électrochimie semble être plus intéressant, dans la mesure où le procédé dans ce cas fait preuve d'une bonne efficacité technique et économique. En effet, les effluents recueillis en sortie ne présentent généralement aucun danger pour les organismes vivants et la mise en œuvre de ce procédé nécessite très peu ou pas du tout de réactifs chimiques[11].

I.5.2.3 Procédés d'oxydation avancée photochimique :

La photo dégradation des colorants peut avoir lieu en présence ou non de catalyseurs et/ou d'agents oxydants, tels que le peroxyde d'hydrogène, ou l'ozone. La réaction peut conduire à la minéralisation complète de la molécule polluante. Ce phénomène est dû en particulier à l'action des radicaux hydroxyles[12].

I.6 Procédés physicochimiques

I.6.1 La coagulation-précipitation :

Cette technique permet l'élimination des colorants par coagulation-floculation-décantation, grâce à l'ajout de cations trivalents, tels Fe^{3+} ou Al^3 . Cette méthode consiste en une annulation du potentiel zêta (coagulation) par l'ajout d'un réactif chimique, ce qui entraîne la déstabilisation des particules colloïdales, suivie de leur agglomération (floculation) en micro floccs, puis en flocons volumineux et décantables. La neutralisation de la charge superficielle (potentiel zêta) est réalisée au moyen de coagulants minéraux à base de cations trivalents, tels que sulfate et chlorure d'alumine, chlorure et sulfate ferrique, ou organiques de synthèse à caractère cationique, tel que l'épichlorhydrine dim-éthylamine[11].

I.6.2 Les techniques membranaires :

Les procédés membranaires sont des techniques de séparation par perméation à travers une membrane, sous l'action d'un gradient de pression. La séparation se fait en fonction des tailles moléculaires des composés, mais aussi de leur forme, leur structure, leur polarisabilité, leur solubilité, de la présence de Co-solutés, du matériau et de la configuration de la membrane, des paramètres opératoires, des phénomènes de colmatage, etc... Les techniques membranaires regroupent la microfiltration, l'ultrafiltration, la nano filtration et l'osmose inverse. Parmi eux, l'ultrafiltration et nano filtration sont des techniques efficaces pour l'élimination de toutes classes des colorants[11].

I.6.3 L'échange d'ions :

L'échange d'ions est un procédé par lequel, dans certaines conditions, un matériau solide (résines échangeuses d'ions) attire un ion positif ou négatif d'une solution et rejette un au trois ion de même signe. Le procédé de traitement des eaux par échange d'ions s'applique aux effluents contenant des colorants[12].

I.6.4 L'adsorption :

L'adsorption est un procédé de transfert de matière entre une phase liquide (ou gazeuse) chargée en composés organiques ou inorganiques et une phase solide (adsorbant). Pendant des décennies, les charbons actifs commerciaux ont été les principaux, voire les seuls adsorbants utilisés dans les filières de traitement des eaux. En effet, l'adsorption sur charbons actifs présente

Chapitre I : Généralités sur les colorants

de nombreux avantages : elle permet l'élimination d'une large gamme de polluants, tel que les colorants[13].

Chapitre II

Généralités sur l'adsorption

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

II. Généralités sur le phénomène d'adsorption

II.1 Définition

L'adsorption est un phénomène physico-chimique de transfert de matière d'un fluide vers la surface d'un solide. La substance qui se fixe est appelée adsorbat, le solide qui est le siège de l'adsorption est nommé adsorbant. Ce phénomène spontané provient de l'existence de forces non compensées à la surface de l'adsorbant. Il se traduit en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles (gaz /solide ou liquide/solide)[14].

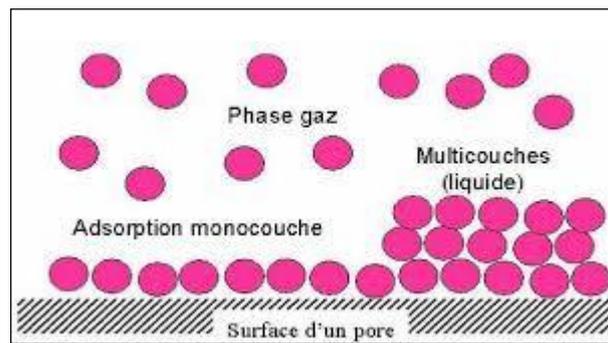


FIGURE 2: SCHEMA REPRESENTE LE PHENOMENE D'ADSORPTION [17].

II.2 Types d'adsorption

II.2.1 Physisorption :

C'est une adsorption de type physique, qui se produit lorsque les forces qui fixent l'adsorbat dans une couche mono ou multimoléculaire à la surface de l'adsorbant sont du même ordre que les forces de VAN DER WAALS. Ce type est prédominant à basses températures, il est caractérisé par une énergie d'adsorption faible (la molécule adsorbée n'est pas donc fortement liée)[15].

II.2.2 Chimisorption :

C'est une adsorption du type chimique, qui résulte des forces de liaison de nature chimique avec mise en commun ou transfert d'électrons ; il y a donc des ruptures et des créations de liaisons chimiques en surface entre le réactif et les sites actifs de l'adsorbant. La chimisorption génère de fortes énergies d'adsorption et est favorisée par les températures élevées[15].

II.3 Les facteurs influençant sur l'adsorption

Le processus d'adsorption peut être influencé par différents facteurs liés soit à l'adsorbant, l'adsorbat ou les conditions opératoires.

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

- Facteurs liés à l'adsorbant : La nature des groupements fonctionnels ; La surface spécifique ; La distribution des diamètres des pores ; La masse de l'adsorbant.
- Facteurs liés à l'adsorbat : La solubilité de l'adsorbat ; La polarité ; La masse molaire ; La taille des particules.
- Facteurs liés aux conditions opératoires : Le pH ; La température du milieu ; La vitesse d'agitation du milieu réactionnel ; La compétition entre les espèces présentes dans le milieu ; Le temps de contact entre l'adsorbat et l'adsorbant ; La force ionique[16].

II.4 La cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption représente la variation de la quantité de soluté adsorbé par un adsorbant en fonction du temps de contact soluté/adsorbant. Sa modélisation permet d'identifier les mécanismes contrôlant la vitesse de l'adsorption[17]. Quatre étapes limitantes sont généralement considérées dans la littérature :

1-La diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.

2-La diffusion externe, au cours de laquelle le soluté se propage à travers le film liquide vers la surface de l'adsorbat.

3-La diffusion intra particulaire, où les molécules se diffusent à travers des réseaux de micropores.

4-La cinétique d'adsorption : les molécules s'adsorbent en surface avec une vitesse finie, ils sont considérées comme immobiles. Cette étape est très rapide dans le cas d'une physisorption et par conséquent la cinétique d'adsorption globale est uniquement limitée par les processus de transport[18].

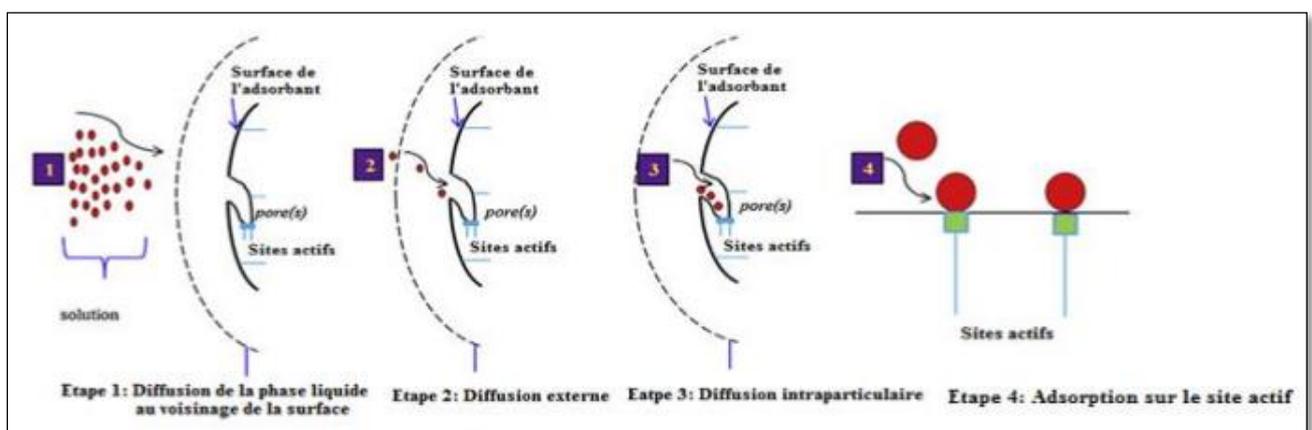


FIGURE 3: DIFFERENTS ETAPES DE L' ADSORPTION [20].

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

II.5 Modélisation des cinétiques d'adsorption

Les données expérimentales peuvent être modélisées par des équations mathématiques. Il existe des nombreux modèles cinétiques, les trois plus fréquents sont les modèles du pseudo-premier et du second ordre, et le modèle de Weber et Morris, etc.[17].

II.5.1 Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre (modèle Lagergren) :

En 1898 Lagergren a proposé un modèle d'ordre 1 basé sur une relation linéaire entre la quantité de soluté fixé à la surface du matériau en fonction du temps. Le modèle cinétique ordre proposé par Lagergren est exprimé par la relation suivante[19] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (1)$$

Où :

k_1 : La constante de vitesse pour une cinétique du pseudo premier ordre (min⁻¹),

q_t : La capacité d'adsorption à l'instant t (mg. g⁻¹ d'adsorbant sec),

q_e : La capacité d'adsorption à l'équilibre (mg. g⁻¹ d'adsorbant sec).

Après intégration et l'application des conditions aux limites (t=0, q_t=0) et (t=t, q=q_t), l'équation I.6 devient :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t \quad (2)$$

En traçant Log ($q_e - q_t$) en fonction du temps t, on peut déterminer les paramètres cinétiques du modèle Lagergren[19].

II.5.2 Le modèle pseudo-second-ordre (PSO) :

Une expression également très souvent utilisée est celle du pseudo-deuxième ordre. Ce modèle suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électrons par exemple entre molécule d'adsorbat et l'adsorbant solide. Il est représenté par la formule suivante[20] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Où

k_2 : Constante de vitesse de réaction de second ordre en (g/mg/min).

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

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

q_t : quantité adsorbée au temps t en (mg/g).

La linéarisation de l'équation précédente donne :

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (5)$$

$(K_2 q_e^2)$ Est la vitesse initiale d'adsorption en (mg /g min).

On trace $t/q_t = f(t)$, on obtient une droite qui donne k_2 et q_e [21].

II.5.3 Le modèle de Weber et Morris (modèle de diffusion intra particulaire) :

L'équation de Weber et Morris permet la détermination de la vitesse de diffusion dans les pores en utilisant l'équation suivante[22] :

$$qt = k_{int} t^{\frac{1}{2}} + C \quad (6)$$

Où : K_{INT} : La constante de la diffusion intra particule en (mg/g min^{1/2}) ;

q_e : Quantité adsorbée au temps t (mg/g) ;

C : représente la valeur de l'épaisseur de la couche limite ;

t : temps (min).

La constante k est déduit de la pente de la partie linéaire de l'équation représentant ce modèle[23].

II.6 Isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption traduisent l'existence ou non d'un équilibre dynamique qui s'établit, à température fixe, entre la fraction d'adsorbat fixée à la surface d'adsorbant et la fraction restant libre en solution. La connaissance des isothermes d'adsorption des corps purs permet de déterminer la quantité de produit adsorbé tout comme la sélectivité d'un solide vis-à-vis des composés du mélange[16].

II.6.1 Classification des isothermes d'adsorption :

Giles et all ont divisé les isothermes d'adsorption en quatre principales classes, qui sont représentées sur la Figure (4) : H (Haute affinité),C (partition Constante),S (Sigmoide) et L (Langmuir)[17].

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

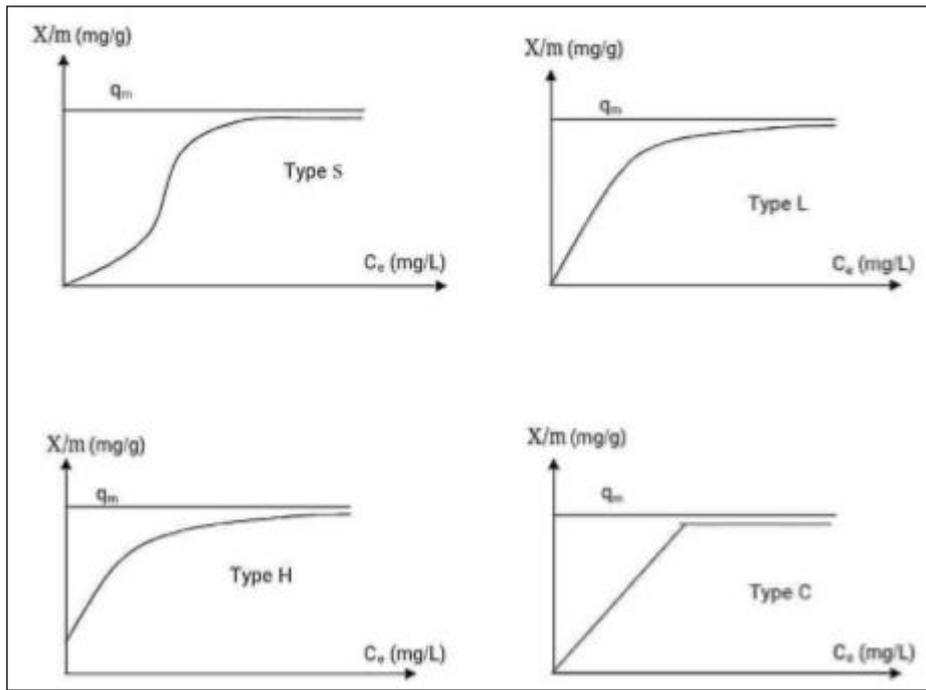


FIGURE 4: LES QUATRE TYPES D'ISOTHERME SELON GILES ET ALL [17].

- **Type H :**

Ne commence pas à zéro mais à une valeur positive, et indique une haute affinité souvent observée pour des solutés adsorbés sous forme de micelles. Cela signifie qu'aux faibles concentrations l'adsorption est totale[24].

- **Type C :**

Ligne droite, cela signifie qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites, toujours avec le même partage[24].

- **Type S :**

Indique une adsorption verticale de molécules monofonctionnelles polaires sur un adsorbant polaire. Ici le solvant rivalise avec le soluté pour l'occupation des sites de l'adsorbant[24].

- **Type L :**

Langmuir normal, indique l'adsorption à plat de molécules bi fonctionnelles. Dans ce cas l'adsorption du solvant est faible et celle du soluté sur le solide se fait en monocouche[24].

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

II.6.2 Modélisation des isothermes d'adsorption :

La modélisation mathématique fournit une relation entre la concentration du soluté en solution et la quantité adsorbée par unité de masse. Il existe un nombre important de modèles mathématiques disponibles (simples ou complexes) dans la littérature[25]. Dans ce mémoire en a utilisé les isothermes de Langmuir, Freundlich et de Dubinin- Radushkevich (D-R).

II.6.2.1 Modèle de Langmuir :

L'isotherme de Langmuir, proposée en 1918, repose sur les hypothèses ci-dessous[26] :

- a) Il existe plusieurs sites d'adsorption à la surface du charbon activé.
- b) Chacun de ces sites peut adsorber une seule molécule ; par conséquent, une seule couche de molécules peut être adsorbée par le charbon activé.
- c) Chacun de ces sites a la même affinité pour les impuretés en solution.
- d) L'activation à un site donné n'affecte pas l'activation aux sites adjacents.

L'isotherme peut être modélisée par l'Equation[27] :

$$q_e = \frac{q_m \cdot k_L \cdot c_e}{(1 + k_L \cdot c_e)} \quad (8)$$

Où : q_m est la quantité d'adsorption maximale (mg/g), k_L est la constante d'équilibre d'adsorption dite constante de Langmuir.

L'équation de Langmuir peut être écrite aussi sous cette forme[28] :

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{k_L \cdot q_m \cdot c_e} \quad (9)$$

Le tracé de $(1/q_e)$ en fonction de $(1/c_e)$ permet de déterminer les paramètres de Langmuir q_m et k_L .

II.6.2.2 Modèle de Freundlich :

Le modèle Freundlich permet de déterminer l'hétérogénéité de la surface de l'adsorbant. il est appliqué plutôt en adsorption multicouches. Ce type d'isotherme est observé dans le cas d'adsorbants ayant un volume macroporeux ou méso-poreux important. Il repose sur l'équation empirique suivante[19] :

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

$$q_e = K_f \cdot c_e^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

Avec :

c_e : Concentration à l'équilibre, exprimé en (mg/l),

q_e : quantité du produit adsorbé à l'équilibre par unité de masse d'adsorbant exprimé en (mg/g),

k_f et n : paramètres de Freundlich, caractéristiques de la solution et de l'adsorbant, déterminés expérimentalement.

L'isotherme de Freundlich est linéaire sous la forme suivante :

$$\ln q_e = \ln k_f \cdot \frac{1}{n} \ln c_e \quad (11)$$

Graphiquement la relation $\ln q_e = f(\ln c_e)$ nous permet de déduire les constantes de Freundlich k_f et n .

II.6.2.3 Modèle de Dubinin- Radushkevich (D-R) :

Dubinin et Radushkevich (D-R) ont développé une équation empirique applicable au remplissage des volumes microporeux du charbon. En dérivant cette équation pour l'adsorption en phase liquide, la quantité adsorbée correspondant à la concentration en adsorbant est supposée obéir à une fonction gaussienne du potentiel de Polanyi ε . L'isotherme de D-R est plus générale que l'isotherme de Langmuir, car elle ne suppose pas une surface homogène ou un potentiel constant d'adsorption. L'équation de D-R. est[23] :

$$q_e = q_{DR} \cdot \exp(-B \cdot \varepsilon^2) \quad (11)$$

Avec : q_e : est la quantité adsorbée à l'équilibre (mg.g⁻¹) ;

q_m : est la capacité maximale de sorption (mg.g⁻¹) ;

β : est une constante (mol².kJ⁻²) ;

ε : est le potentiel de Poanyi donné par :

$$\varepsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{c_e}\right) \quad (12)$$

Avec : R : constant des gaz parfait (8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹) ;

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

T : température en K ;

Ce : concentration à l'équilibre (mg.L-1).

L'équation (Eq. 8) peut être linéarisée et exprimée comme suite :

$$\ln q_e = \ln q_{DR} - \beta \cdot \varepsilon^2 \quad (13)$$

L'énergie libre moyenne est donnée par la relation[28] :

$$E = \frac{1}{\beta\sqrt{2}} \quad (14)$$

En portant $\ln q_e$ en fonction de ε^2 , on obtient une droite de pente β et d'ordonnée à l'origine égale à $\ln q_m$. La valeur de l'énergie calculée (E) donne des informations importantes sur les propriétés du processus d'adsorption :

- $E < 8 \text{ kJ.mol}^{-1}$ le procédé d'adsorption est de nature physique.
- $8 < E < 16 \text{ kJ.mol}^{-1}$ le procédé d'adsorption est de nature chimique.

II.7 Types d'adsorbants

On distingue cinq grands types d'adsorbants : les zéolithes, les alumines, les gels de silice, les argiles activées et les charbons actifs[29].

II.7.1 Les zéolithes :

Les zéolithes sont des aluminosilicates cristallisés microporeux de formule globale $(\text{AlO}_2\text{M}, n\text{SiO}_2)$ où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et $n=1$. Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique. La présence de cations dans les micropores génère des champs électriques de l'ordre de 10^{10} V.m^{-1} , ce qui fait de ces corps de puissants adsorbants polaires[29].

II.7.2 Les alumines activées :

Les alumines activées sont obtenues par thermolyse flash du tri hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$ qui conduit à un produit de composition approximative $\text{Al}_2\text{O}_3, 0.5 \text{ H}_2\text{O}$, possédant une structure poreuse résultant du départ de molécules d'eau. La surface des pores est couverte de groupements Al-OH, et l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles[29].

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

II.7.3 Les gels de silice :

Les gels de silice sont préparés à partir de $\text{Si}(\text{OH})_4$ en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice (suspension dans un liquide, tel que l'eau, de microparticules (20 à 100 nm), appelées micelles, stables car trop petites pour décanter), ou bien par hydrolyse d'un alcoxyasilane. La solution fluide obtenue ne tarde pas à polymériser, ce qui conduit à un gel qui conserve sa structure lâche après rinçage et séchage. Les groupements Si-OH conduisent à des liaisons hydrogène. Il existe deux types de gels de silice : les microporeux, assez hydrophiles, et les macroporeux, versatiles, qui diffèrent par la taille des pores comme le nom l'indique[29].

II.7.4 Les argiles activées :

Les argiles activées sont des aluminosilicates de formule brute proche des zéolithes, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage[29].

II.7.5 Les charbons actifs :

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[11].

II.7.5.1 Définition :

Le charbon actif est un squelette carboné qui, par oxydation ménagée, a acquis une intense porosité. Sa structure est voisine de celle du graphite. Elle se présente sous la forme d'un empilement de couches planes d'atomes de carbone ordonnés en hexagones réguliers. Cette structure définit des pores à l'intérieure de la particule de charbon.[26]

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

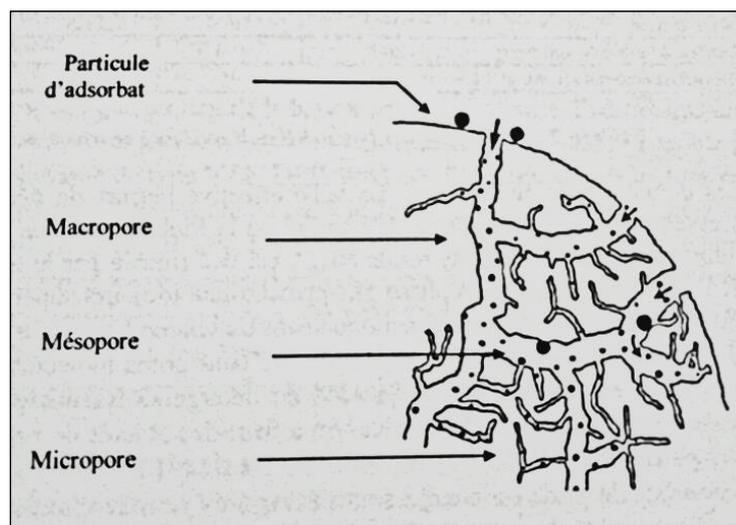


FIGURE 5: SCHEMATISATION DE LA STRUCTURE DU CHARBON ACTIF [29].

II.7.5.2 Matériaux constitutifs :

Le charbon actif peut être produit à partir de nombreux matériaux contenant du carbone. Le plus souvent, on utilise la houille, le bois, la noix de coco, ou le lignite pour des raisons économiques. On distingue le charbon actif végétal et le charbon actif minéral en fonction du matériau d'origine[30].

II.7.5.3 Fabrication du charbon actif :

Le charbon actif se fabrique en fonction de la nature du matériau constitutif, de la forme physique du produit désiré et des caractéristiques souhaitées, deux procédés sont appliqués pour la fabrication de charbon actif[30].

a. Procédé physique :

Le matériau premier est carbonisé à une température d'environ 600°C pendant 6 à 8h. L'activation est une oxydation ménagée à haute température (700 à 1000°C) en présence d'un mélange faiblement oxydant de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone pendant 24 à 72h. Le carbone est consommé par la réaction : $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$

La réaction se développant plus facilement suivant des directions où le carbone est moins dense, elle crée des « tunnels », ce qui développe la microporosité. Le procédé physique se caractérise par un faible rendement global[30].

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

b. 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. En général, les charbons actifs à base de bois sont activés par le procédé chimique, et ceux à base de noix de coco et de houille par le procédé physique[30].

II.7.5.4 Propriétés :

Un certain nombre de paramètres permettent de caractériser un charbon actif et de déterminer ses conditions d'utilisation, parmi eux[30] :

- **Le volume poreux et la taille des pores :** Selon la classification IUPAC, les tailles de pores sont réparties en 3 classes :

Micropore < 1nm (1nm=10⁻⁹ m) Mesopore 1 – 25 nm Macropore > 25nm

Le volume poreux total des charbons actifs est de 0,5 à 1 cm³.g⁻¹ (50 à 70% en volume).

- **La surface spécifique :** Elle correspond à la surface des pores. Le volume poreux étant important, la surface développée est énorme : de 500 à 1500 m²/g. Ce sont essentiellement les micropores et mésopores qui créent de la surface. La capacité d'adsorption est proportionnelle à la surface.

- **La taille des grains :** Elle conditionne la vitesse d'adsorption (plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide) et la perte de charge à travers le lit.

- **La densité :** La densité indique le niveau d'activation du charbon actif. Elle conditionne l'efficacité des traitements et c'est également un élément déterminant de son prix. La densité du charbon actif utilisé pour le traitement de l'eau est en général comprise entre 0.20 et 0.55 g/cm³.

II.7.5.5 Les différentes formes du charbon actif :

Selon leurs applications, les charbons actifs sont disponibles soit en poudre, soit en grains, soit sous forme extrudée[31].

Chapitre II : Généralités sur l'adsorption

	<p>Le Charbon Actif en Grain (CAG) : ce sont des particules de formes irrégulières parmi une gamme de tailles allant de 0.2 mm à 5 mm Ce type de charbon est utilisé pour des applications en phase liquide et gazeuse.</p>
	<p>Le Charbon Actif en Poudre (CAP) : pulvérisé avec une taille de moins de 0.18 mm. Ce charbon est principalement employé dans des applications en phase liquide et pour le traitement des flux gazeux.</p>
	<p>Le Charbon Actif Extrudé : de formes cylindriques avec des diamètres allant de 0.8 mm à 5 mm Le charbon Actif extrudé est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussières.</p>

II.8 Domaines d'application de l'adsorption

Des nombreuses applications de l'adsorption existent[15] :

- La rétention des très petites particules, comme par exemple les colloïdes ;
- La rétention des composants à très faible concentration, par exemple, des impuretés ou des molécules et ions métalliques qui confèrent aux produits, couleurs, odeurs ou saveurs désagréables, voire une toxicité ;
- La sélectivité de l'adsorbant par rapport à certains constituants du mélange. Parmi les applications, on cite :
 - Le séchage, la purification et la désodorisation des gaz ;
 - Le raffinage des produits pétroliers ;
 - La catalyse de contact ;
 - La déshumidification et la désodorisation de l'air ;
 - La récupération de solvants volatils et d'alcool dans les processus de fermentation ;
 - La décoloration des liquides.

Chapitre III
Partie expérimentales

Chapitre III : Partie Expérimentales

III. Partie expérimentales

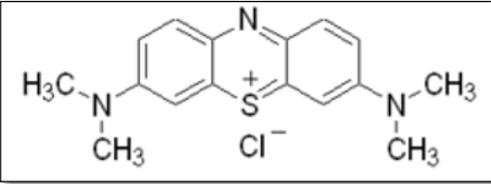
III.1 Introduction

Ce chapitre est réalisé au laboratoire pédagogique de département de génie des procédés de l'environnement à l'université MOHAMMED EL BACHIR EL IBRAHIMI, nous avons fait une étude expérimentale sur la cinétique et l'isotherme d'adsorption du bleu de méthylène en solution aqueuse sur les charbons actifs à base naturel.

III.2 Adsorbat (colorant)

L'adsorbat étudié est Le bleu de méthylène (BM) qui est un colorant cationique, il est utilisé dans plusieurs applications, ça structure chimique et ses caractéristiques sont représentée dans le Tableau (3).

TABLEAU 3: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHEMIE DU BLEU DE METHYLENE.

Nom usuel	Bleu de méthylène
Formule chimique	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
Masse moléculaire	$319.86 \text{ g.mol}^{-1}$
Solubilité dans l'eau	Elevée
PKa	3.8
Structure chimique	

III.3 Les adsorbant (charbons actif)

Dans cette étude on a préparé deux charbons actifs à deux différents arbres, afin d'obtenir un produit applicable dans le traitement des eaux et notamment pour la décoloration des effluents utilisés dans l'industrie textile. Donc cette étude présente un intérêt double. Tout d'abord, il s'agit

Chapitre III : Partie Expérimentales

de préparer deux charbons actifs. En second lieu, d'utiliser ces charbons dans le traitement des eaux.

III.3.1 Préparation des adsorbants :

Les deux charbons actifs ont préparé de la même méthode à partir des coquilles de deux arbres différents, La préparation des adsorbants s'est faite comme suit[32] :

III.3.1.1 Purification et séchage :

Les coquilles des arbres sont nettoyées et lavés plusieurs fois avec l'eau de robinet dans un premiers temps. Puis, avec l'eau distillée tiède, afin d'enlever les différentes substances collées dessus telles que la terre et la poussière et les substances hydrosolubles. Par la suite les adsorbants sont séchés à l'étuve pendant 12 heures afin d'éliminer l'humidité résiduelle et ainsi faciliter l'étape essentielle suivante, qui est le broyage.



FIGURE 6: DES ADSORBANTS BRUTE.

III.3.1.2 Broyage :

Les coquilles des arbres préalablement séchées sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique afin d'obtenir des poudres les plus fines possible.

III.3.1.3 Tamisage :

Les poudres obtenues sont passées dans un tamiseur de diamètre 200 μm afin d'obtenir des poudres de taille homogène.



FIGURE 7: ADSORBANT AVANT ACTIVATION.

III.3.1.4 Activation thermique :

Dans cette étape nous avons placé les poudres purifiées dans un four à moufle avec des températures variantes de la température ambiante à une température de 700°C, pendant 3heures avec une vitesse de chauffage de 5°C/5min et maintenu à cette température pendant une heure et demi (1heur30min) puis refroidissement à l'air libre. Le choix de ces températures est justifié par des travaux précédents[32].

III.3.1.5 Activation chimique :

Les charbons obtenus après la carbonisation doivent être activées avec une solution d'acide chlorhydrique HCl (0.1N) sous une agitation de 150 tours/min pendant 6heurs pour le charbon de première arbre et 24heurs pour la deuxième. Cette étape a but d'augmenter la surface spécifique des particules[32].

III.3.1.6 Lavage :

Après l'activation chimique, les charbons actifs obtenus sont lavé avec l'eau distillée plusieurs fois pour éliminer les traces d'agent activant résiduel. La poudre récupérée après le lavage est très humide, elle est soumise à un séchage dans l'étuve à (T=65°C) pendant 24 heures.

En fin, la dernière étape de préparation de charbon est le stockage dans un récipient.

III.3.2 La caractérisation des adsorbants

III.3.2.1 Le pH :

Dans 500ml d'eau distillée, on introduit 0,5g du charbon actif. Après l'agitation, on mesure le pH de la solution, à la température ambiante à l'aide d'un pH-mètre de type « WTW, Inolab PH 7110».

Chapitre III : Partie Expérimentales

III.3.2.2 Le pH point zéro charge (PZC) :

Le pH pzc ou 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. Une façon simple et rapide pour déterminer le pH pzc est de placer 100ml de la solution (l'eau distillée +BM) en erlenmeyer fermés et ajuster le pH de chacun (valeurs comprises entre 2 et 13) par addition de solution de NaOH ou HCl de 0.1M[11]. On ajoute ensuite à chaque erlenmeyer 50 mg du charbon préparé. Les suspensions doivent être maintenues en agitation dans bain marie, à température ambiante, pendant 24 h, et le pH final est alors déterminé. On porte sur un graphe $\Delta PH = f(PH_i)$, l'intersection de la courbe avec l'axe qui passe par les zéro donne le point isoélectrique.

III.3.2.3 Taux d'humidité :

Le taux d'humidité est un rapport exprimé en pourcentage, il est déterminé par l'appareil humidimètre. On met 2g du charbon dans l'appareil et le l'aise quelque minute pour augmenter la température et on attend les résultats.

III.3.2.4 Densimètre :

Dans 20ml d'eau distillé, on met 0,5g du charbon actif sous agitation pendant 5min. après, à l'aide d'une seringue on prend la solution et on l'injecte dans le densimètre. On attend quelques minutes pour nous donne le résultat.

III.4 Application d'adsorption

L'étalonnage se fait en préparant d'abord une solution-mère de concentration donnée (20mg. L^{-1}), à partir de laquelle nous préparons, par dilutions successives, une série de solutions de concentrations bien déterminées variant de 1 à 20 mg. L^{-1} . Les solutions préparées sont par la suite, analysées par spectroscopie UV-Visible de type SHIMADZU UV-1900 i. Les résultats obtenus nous permettent ainsi de tracer la courbe d'étalonnage figure (9).

Chapitre III : Partie Expérimentales

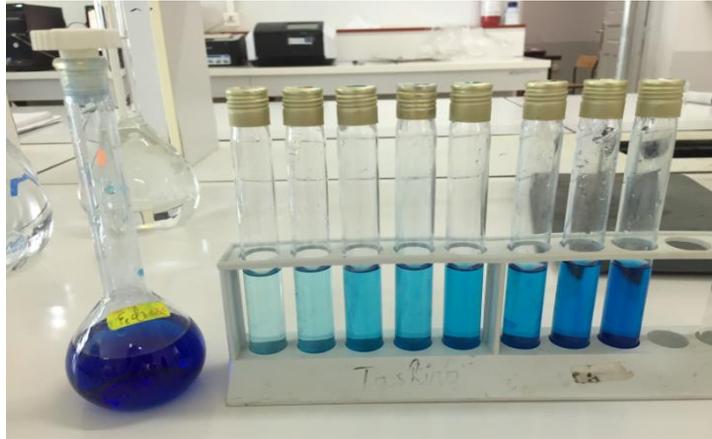


FIGURE 8: PRESENTE LES SOLUTIONS DE BM DE DIFFERENTES CONCENTRATIONS.

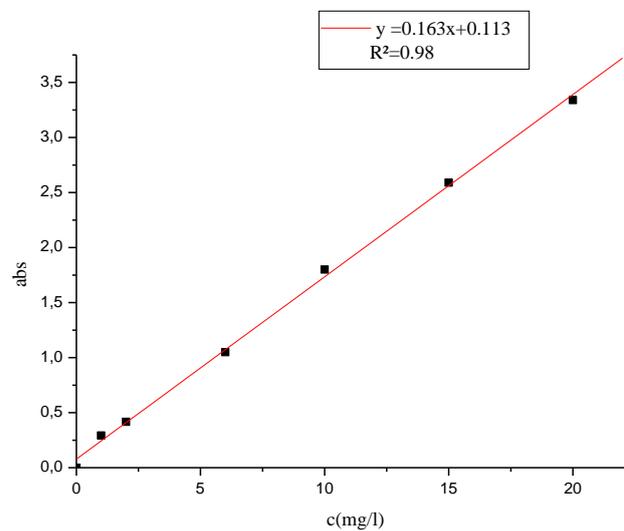


FIGURE 9: LA COURBE D'ETALONNAGE.

III.5 Effets des paramètres opératoires

III.5.1 Temps de contact (cinétique d'adsorption) :

Pour définir le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre de l'adsorption du BM sur les charbons actifs préparé, le protocole consiste à ajouter une masse de 50mg d'adsorbant à un volume de 100mL de chaque solution colorée de concentration initiale égale à 20 mg. L⁻¹, le mélange est introduit dans des erlenmeyers de 100mL. Ces derniers sont mis dans un bain thermostat à température 30°C et sous une agitation moyenne. A la fin de chaque période d'agitation, que l'on fait varier de 10 minutes à 180 min, les échantillons sont filtrés (par une seringue contient du coton) puis analysés par UV-Visible à une longueur d'onde de 664 nm. Le calcul des quantités adsorbées est effectué pour chaque temps de contact considéré.

Chapitre III : Partie Expérimentales



FIGURE 10: L'OUTIL UTILISER POUR LA SEPARATION.

III.5.2 Effet de pH :

Pour étudier l'influence du pH sur l'adsorption du BM sur les deux charbons actifs préparés, nous utilisons : 50mg d'adsorbant, 100mL de solution colorée de concentration 20mg.L^{-1} à des pH différents qui varie de 2.5 à 11, à une température ambiante et un temps de contact de 150 min.

III.6 Isotherme d'adsorption :

On peut décrire un processus d'adsorption à l'aide d'une isotherme d'adsorption, une telle isotherme est une courbe qui représente la réaction entre la quantité de polluant adsorbée par unité de masse d'adsorbant et la concentration de polluant restant en solution. On obtient ces isothermes par l'ajout d'une masse de 50mg à 100ml de solution colorée avec une concentration initiale varie de 10 à 50mg.L^{-1} . Les mélanges sont versés dans des erlenmeyers de 100ml et placés dans un bain thermostat à température 30°C et pendant un temps de contact constant égale à 2h 30 min pour tous les échantillons. Après filtration, les solutions sont analysées par UV-Visible pour déterminer les quantités adsorbées.

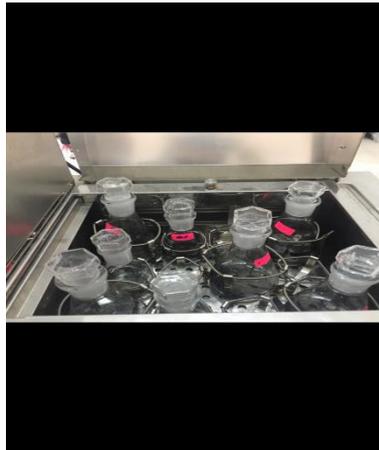


FIGURE 11: APPLICATION DE L'ISOTHERME.

III.6.1 Calcul des quantités adsorbées :

Un calcul relativement simple permet d'obtenir les quantités du colorant fixé. La quantité du colorant adsorbée exprimée en mg de soluté par gramme de solide adsorbant est donnée par la relation suivante :

$$q_t = (c_i - c_e) \frac{v}{m} \quad (15)$$

Les taux d'éliminations sont calculés par :

$$R(\%) = \left(\frac{c_i - c_e}{c_i} \right) 100 \quad (16)$$

q_t : La quantité de polluant adsorbé exprimée en mg/g ;

c_e : La concentration de polluant à l'équilibre exprimée en mg/l ;

c_i : La concentration initiale de polluant exprimée en mg/l ;

v : Le volume de solution exprimé en l ;

m : La masse d'adsorbant exprimée en g.

Chapitre IV
Résultats et discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV. Résultats et discussion

IV.1 Résultats de caractérisation

IV.1.1 Les paramètres physico-chimiques

Dans le tableau (4), nous avons résumés les différentes caractéristiques physico-chimiques des deux charbons activés préparés.

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des deux adsorbants.

Les paramètres	C.A.1	C.A.2
pH	8,3	8,4
Humidité (%)	4,54	5,96
Densité (mg/cm ³)	1,002	1,003

D'après le tableau (4), la faible différence entre les analyses physico-chimiques des deux adsorbants préparés est dans le taux d'humidité (H%) où le C.A.2 présente une valeur supérieure que celle du C.A.1 qui est lié sans doute à la composition différente des deux adsorbants (deux arbres différentes).

IV.1.2 Le point de charge nulle

D'après les courbes présentés dans la figure (12) qui relie la différence de ($\text{pH}_f - \text{pH}_i$) au pH_i , nous remarquons que les domaines de pH sont divisés en trois parties distinctes[33]:

- Si le $\text{pH}_f > \text{pH}_i$ (le milieu est acide) : les groupes fonctionnels de surface des adsorbants seront protonés par un excès de protons H^+ , donc la surface acquiert une charge globale positive.
- Si le $\text{pH}_f = \text{pH}_i$: les proportions en X-OH^+ et X-O^- sont équivalentes (charge positives et négatives égaux). C'est le point de zéro d'charge (PZC), donc la surface est électriquement neutre.
- Si le $\text{pH}_f < \text{pH}_i$ (le milieu est basique) : les groupes fonctionnels de surface seront déprotonés par la présence des ions OH^- dans la solution, donc la surface est chargée négativement.

Chapitre IV : Résultats et discussion

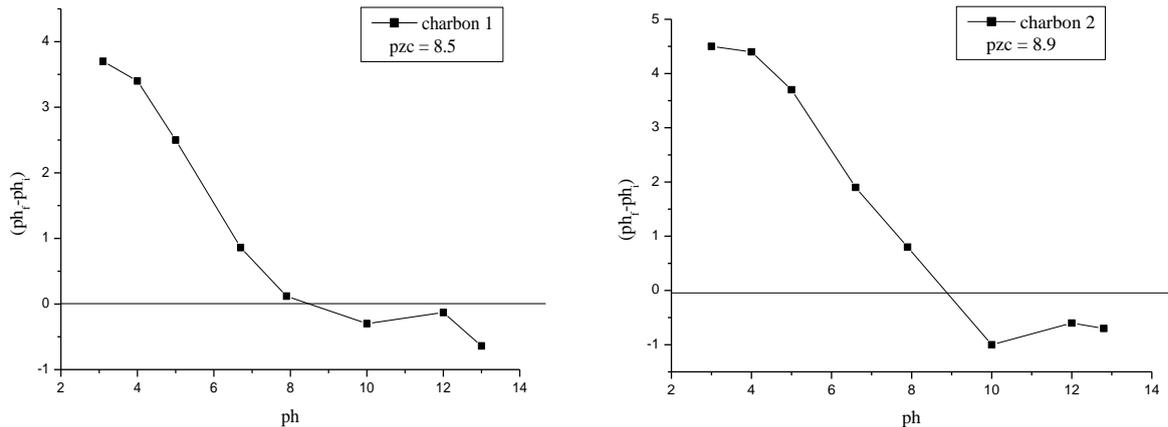


FIGURE 12: COURBES REPRESENTENT LE PZC DES DEUX CHARBONS.

IV.2 Résultats d'adsorption

IV.2.1 Effet des paramètres opératoires

IV.2.1.1 Effet de pH

L'étude de l'influence du pH sur l'adsorption de BM par les deux adsorbants préparés a été menée dans la gamme de pH 2 à 12.

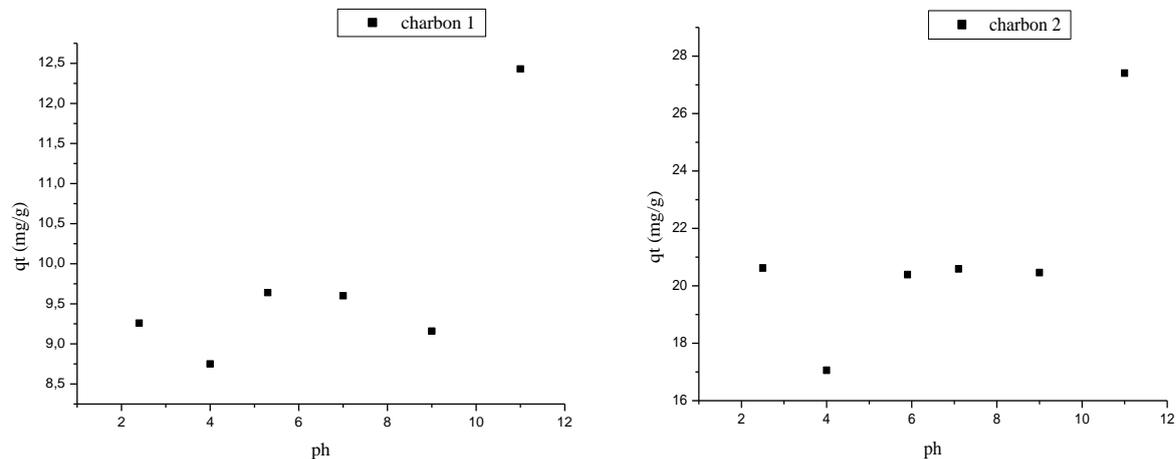


FIGURE 13 : l'effet de pH sur le phénomène d'adsorption des deux charbons.

D'après la figure (13) présentent l'évolution de la quantité du BM adsorbé par les charbons activés utilisés en fonction de différents pH. Chacune des courbes présentes une zone de diminution (pH=4) suivie d'une zone de stabilisation (entre pH=5et 9), ensuite une autre zone d'augmentation de la quantité adsorbée avec l'augmentation du pH.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.2.1.2 La cinétique d'adsorption

Les figures (14 et 15) présentent les résultats de cinétique d'adsorption ainsi que le rendement d'élimination de BM sur les deux charbons activés.

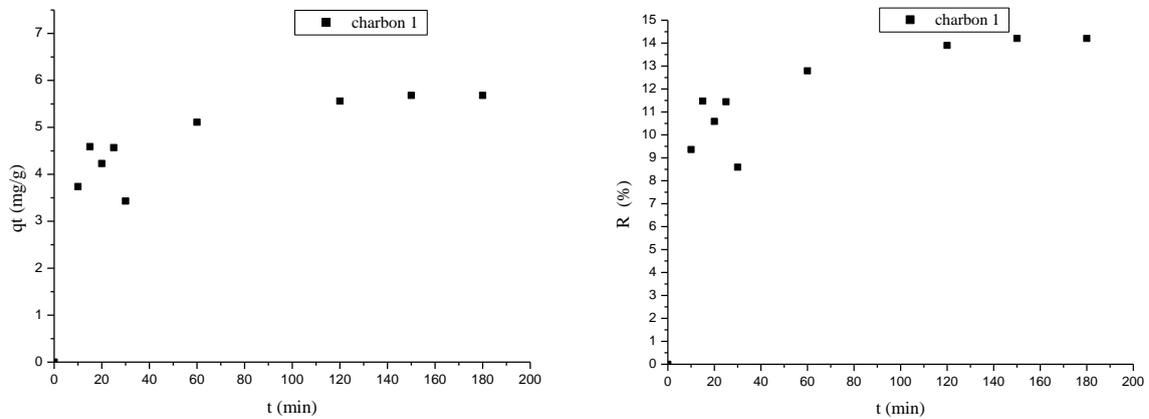


FIGURE 14 : cinétique d'adsorption du BM sur C.A.1 ($v=100\text{ml}$, $m=50\text{mg}$, $C=20\text{mg/l}$).

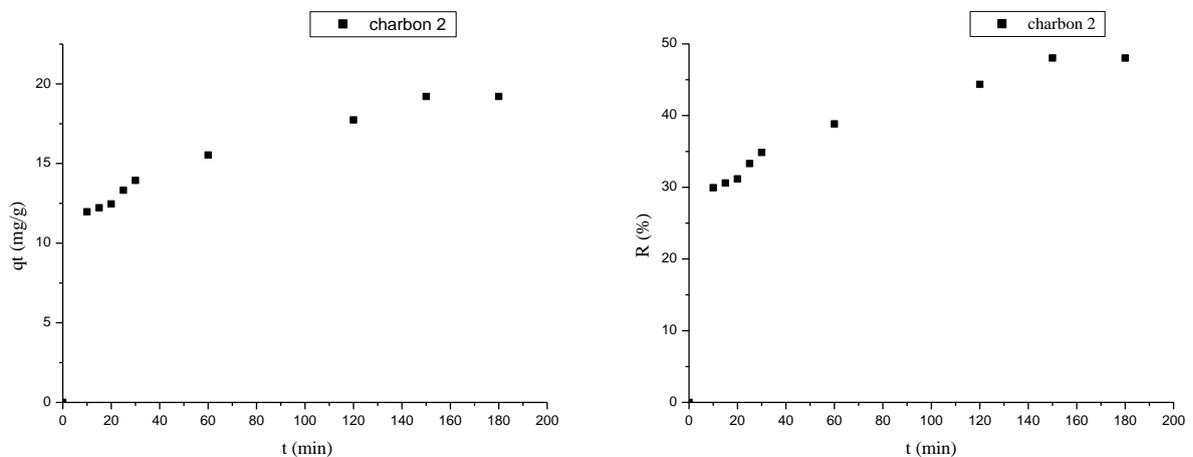


FIGURE 15 : cinétique d'adsorption du BM sur C.A.2 ($v=100\text{ml}$, $m=50\text{mg}$, $C=20\text{mg/l}$).

A partir des résultats présentés sur les figures, on constate que le taux d'élimination du BM par les deux charbons activés composées de deux parties. La première, correspond à une augmentation rapide du taux de rétention dès les premières minutes de la réaction. Elle peut être expliquée par l'existence de nombreux sites disponibles pour l'adsorption du BM. Alors que la seconde partie est une partie où le taux de rétention est constant et l'adsorption est lente (vitesse faible) ($R=14,20$ pour le C.A.1, $R=48,08$ pour le C.A.2).

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.2.1.3 La modélisation d'adsorption

a. Modèle du pseudo premier ordre (modèle Lagergren)

La relation $\ln(q_e - q_t)$ par rapport au temps est utilisée pour valider l'équation du modèle cinétique de pseudo-premier ordre. Les courbes d'ajustement du modèle à partir des données expérimentales de la cinétique d'adsorption de BM par les deux charbons sont représentées sur les figures (16).

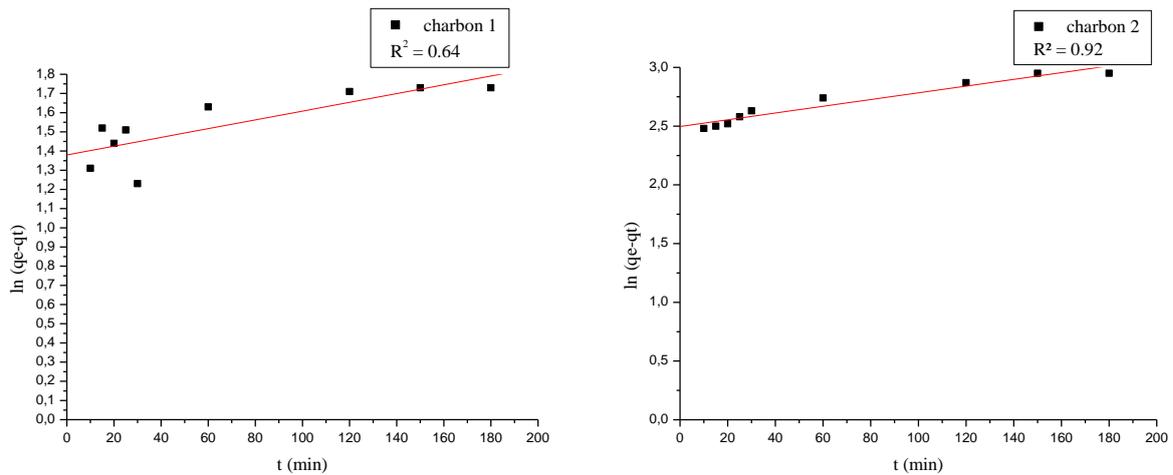


FIGURE 16 : Modèle de Lagergren des deux charbons.

L'allure non linéaire des différentes courbes figure (16) révèle le déficit du présent modèle pseudo-premier ordre pour décrire la cinétique d'adsorption du BM sur adsorbants préparés. Les valeurs des coefficients de corrélations R^2 qui sont loin de l'unité (entre 0,64 et 0,92) confirment bien évidemment ce résultat.

Les paramètres du modèle 1^{er} ordre calculés sont regroupés dans le tableau (5) :

Tableau 5 : Résultats de cinétiques d'adsorption de BM par les deux charbons modifiées selon le modèle de Lagergren.

Paramètres du modèle 1 ^{er} ordre	C.A.1	C.A.2
R^2	0,64	0,92
k_1	0,002	0,002
q_e (mg/g)	3,93	12,06

Chapitre IV : Résultats et discussion

b. Le modèle pseudo-second-ordre (PSO)

Pour valider l'équation du modèle cinétique de pseudo-second-ordre, on trace le rapport (t/qt) en fonction du temps. Les courbes de l'ajustement du modèle sur des données expérimentales de la cinétique d'adsorption de BM par les deux charbons sont représentées sur les figures (17) et les paramètres du modèle calculés sont regroupés dans le tableau (6).

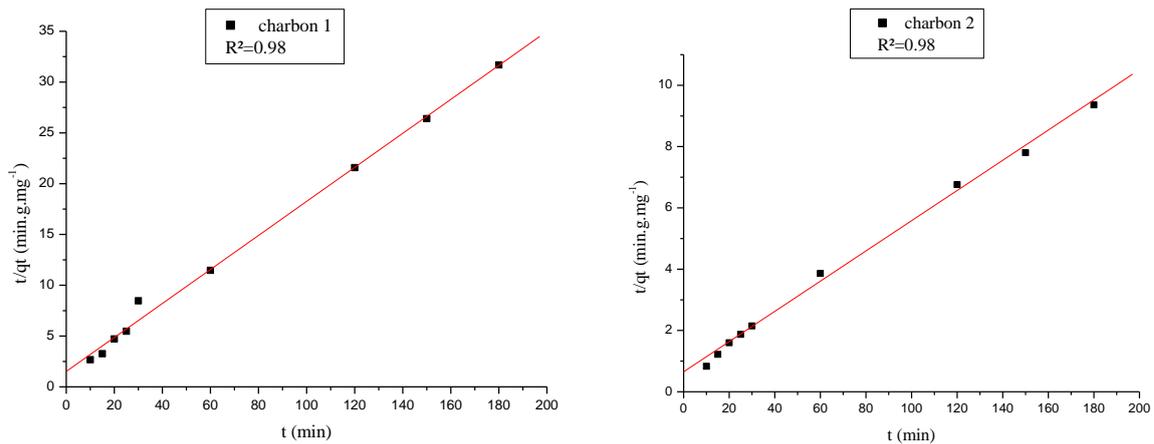


Figure 17 : modèle de 2^{EME} ordre des deux charbons.

Les différents tracés de ce modèle sont des lignes droites ce qui indique que les données expérimentales de la cinétique suivent parfaitement la variation linéaire exprimée par l'équation représentative du modèle de pseudo-second-ordre. Ceci est reflété par les valeurs très proches de l'unité des coefficients de corrélation ($R^2=0,98$).

Tableau 6 : Résultats de cinétiques d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiées selon le modèle de pseudo- second- ordre.

Paramètres du modèle 2 ^{er} ordre	C.A.1	C.A.2
R^2	0,98	0,98
k_2	0,016	0,002
q_e (mg/g)	6,25	25

Chapitre IV : Résultats et discussion

c. Le modèle de Weber et Morris (modèle de diffusion intra particulaire)

Les courbes d'ajustement des données expérimentales de la cinétique d'adsorption de BM sur les deux charbons étudiés à l'aide du modèle de diffusion intra-particulaire sont présentées sur les figures (18). Ils sont obtenus en extrapolant la trace q_t en fonction du $t \exp^{1/2}$.

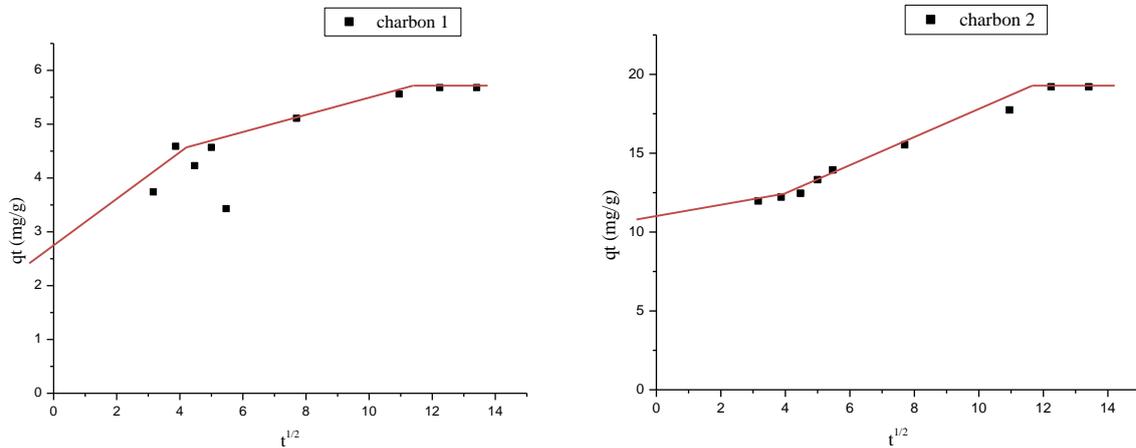


Figure 18 : modèle de diffusion intra-particulaire des deux charbons.

Le tracé de la quantité adsorbée q_t en fonction de $t^{1/2}$ donne lieu à trois tronçons : La première représente diffusion externe, la deuxième concerne la diffusion intra particulaire, et enfin, la troisième qui représente la réaction chimique de surface entre les fonctions de surface de l'adsorbant et les groupements actifs du colorant[34],[35].

IV.2.1.4 L'équilibre d'adsorption

Les figures (19) représentent les isothermes d'adsorption du B.M sur les deux charbons préparés.

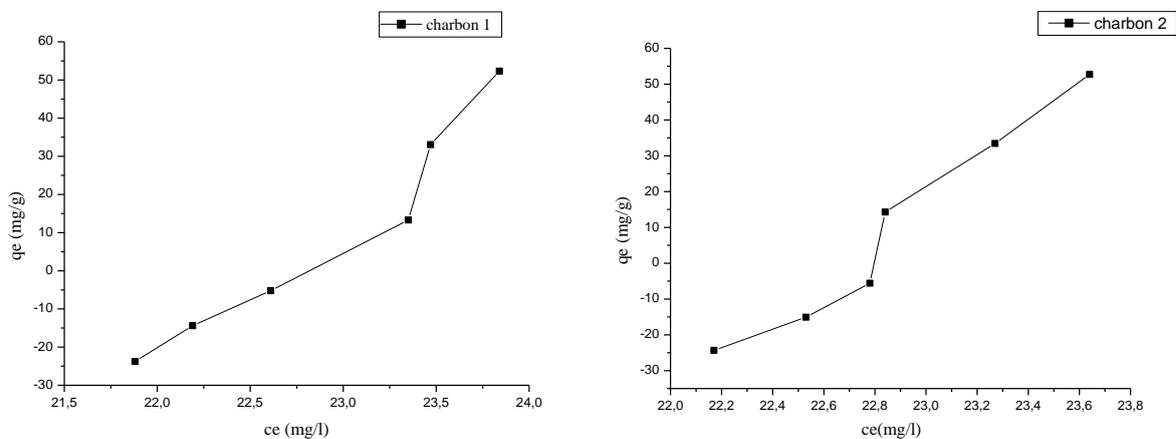


Figure 19 : L'isotherme d'adsorption du BM sur C.A.1 et C.A.2 ($V = 100$ ml, $m = 50$ mg, $t = 150$ min).

Chapitre IV : Résultats et discussion

Selon la classification de Giles et al[18], on constate que les isothermes sont de type S pour les deux charbons, indiquant une adsorption verticale de molécules monofonctionnelles polaires sur un adsorbant polaire. Ici le solvant rivalise avec le soluté pour l'occupation des sites de l'adsorbant. Cela est clairement observé d'après les valeurs de la capacité élevée d'adsorption qui augmente avec l'augmentation de c_e [24].

IV.2.1.5 La modélisation de l'équilibre

a. Modèle de Langmuir

La figure ci-dessous représente la modélisation de Langmuir de BM par les deux charbons préparés, les paramètres du modèle calculés sont regroupés dans le tableau (7).

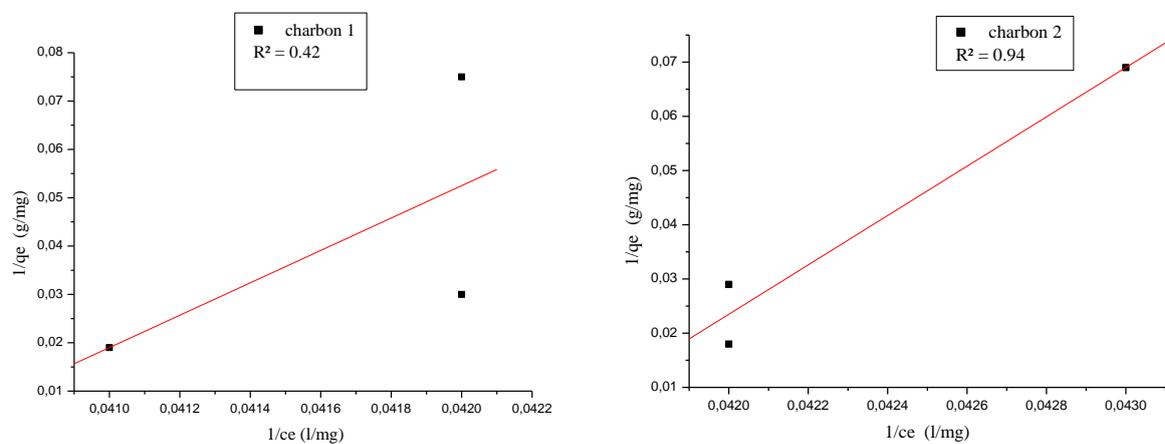


Figure 20 : Modèle de Langmuir de C.A.1 et C.A.2.

La modélisation de l'équilibre selon le modèle de Langmuir du BM adsorbé sur les deux adsorbants préparés montre que ce modèle d'équilibre est assez bien adapté à l'expérience, en particulier dans le cas de la rétention du BM par C.A.1 ($R^2=0.42$).

Tableau 7 : Résultats d'isotherme d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiés selon le modèle de Langmuir.

Paramètres de Langmuir	C.A.1	C.A.2
R^2	0,42	0,92
q_m (mg/g)	-0,74	-0,53
k_L	-45,27	-85,84

Chapitre IV : Résultats et discussion

b. Modèle de Freundlich

Les courbes suivantes représentent la modélisation de Freundlich de BM par les deux charbons préparés, les paramètres du modèle calculés sont regroupés dans le tableau (8).

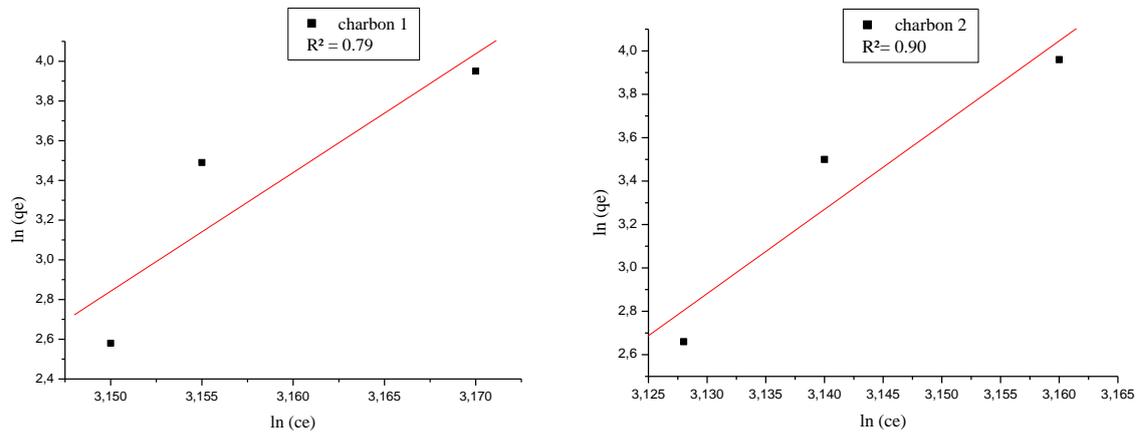


Figure 21: Modèle de Freundlich de C.A.1 et C.A.2.

Les résultats obtenus dans la figure (21) qui représente la modélisation d'adsorption selon le modèle de Freundlich présente une bonne linéarisation par rapport au modèle de Langmuir en particulier pour le C.A.1 ($R^2=0.79$). Tandis que, les facteurs de corrélations des deux modèles sont très proches pour le C.A.2.

Tableau 8 : Résultats d'isotherme d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiés selon le modèle de Freundlich.

Paramètres de Freundlich	C.A.1	C.A.2
R^2	0,79	0,90
k_f	5,22	4,77
N	0,01	0,02

c. Le modèle de Dubinin-Radushkevich

D'après la figure (22), qui représente la modélisation d'équilibre selon le modèle de Dubinin-Radushkevich, on remarque que le coefficient de corrélation du C.A.1 est faible, par

Chapitre IV : Résultats et discussion

contre le coefficient de corrélation du C.A.2 est très élevé. Les paramètres du modèle calculés sont regroupés dans le tableau (9).

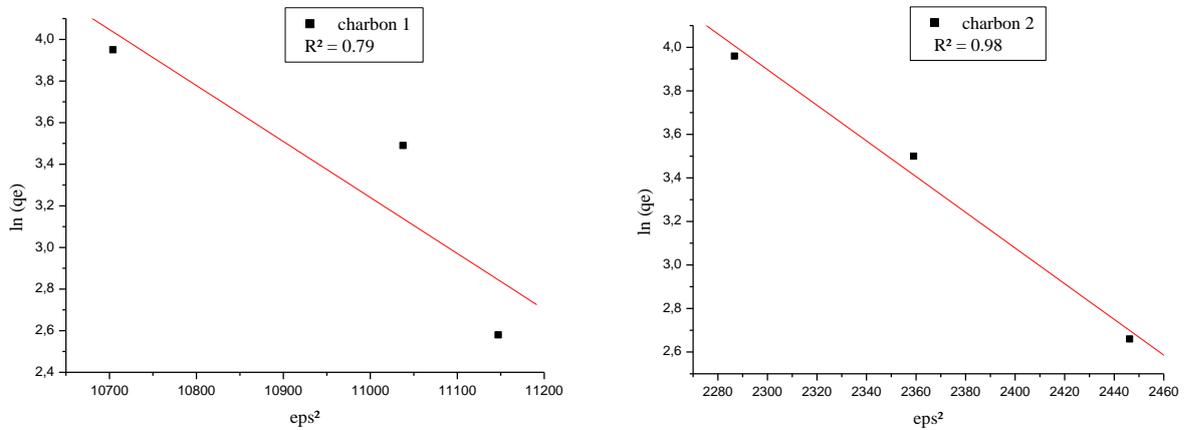


Figure 22 : Modélisation d'isotherme sur l'adsorption du BM sur le C.A.1 et C.A.2 modifier par D-R.

Tableau 9 : Résultats d'isotherme d'adsorption de BM par Les deux charbons modifiés selon le modèle de D-R.

Paramètres de D-R	C.A.1	C.A.2
R^2	0,79	0,98
q_{DR}	$1,8.10^{14}$	$7,53.10^9$
B	-0,002	-0,008
E	-353,55	-88,38

L'énergie d'adsorption (E) obtenue par le modèle de Dubinin-Radushkevich indique que l'élimination du BM par deux adsorbants préparés est une adsorption physique.

IV.3 Comparaison des charbons préparés

Pour évaluer les adsorbants préparés pour l'adsorption de BM en tant que polluant synthétique, en les comparants selon le type d'activation. Ceci nous permet de juger la capacité sorption-elle des adsorbants préparés.

Dans cette section nous comparons les deux adsorbants préparés afin d'évaluer l'impact d'origine de l'adsorbant sur la capacité de l'adsorption. Pour cela, trois paramètres de performance

Chapitre IV : Résultats et discussion

ont été considérées à savoir la quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant (q_e en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), le rendement d'élimination du polluant étudié (R%) et le temps d'équilibre (t_{eq} en min).

TABLEAU 10: COMPARAISON ENTRE LES PARAMETRES DES DEUX CHARBONS PREPARER.

Les paramètres de comparaison	C.A.1	C.A.2
q_e (mg/g)	5,689	10,904
R(%)	14,20	48,08
t_{eq} (min)	120	150

D'après les résultats obtenus nous remarquons, Le temps d'équilibre d'adsorption est différent pour les deux adsorbants. Alors que, la meilleure performance est obtenue dans le cas de C.A2. ($q_e= 10,904\text{mg/g}$, R= 48.08%).

Conclusion générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons étudié la cinétique et l'isotherme d'adsorption d'un colorant (bleu de méthylène) sur deux charbons actifs à base naturel, qui sont préparé au laboratoire à base des déchets d'arbre (les coquilles d'arbre), qui donne les résultats suivant :

- Le modèle de pseudo seconde ordre est le plus adéquat pour d'écrire l'adsorption des deux bios charbons.
- Le taux d'élimination du BM sur le premier charbon est 14,20%, et sur le deuxième charbon est 48,08%.
- La cinétique des deux bio charbons passe sur trois étapes : diffusion externe ; diffusion interne ; diffusion intra particulaire.
- Les résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption ont montré que :
 - Le modèle de Langmuir d'écrie bien les donnees de C.A.2.
 - Le modèle de Freundlich d'écrie mieux les donnees de C.A.1.

D'après les résultats obtenus On conclut que l'adsorption sur le bio charbon 2 est mieux par rapport au biocharbon1.

Perspectives de l'étude

En perspectives de ce travail, nous proposons :

- d'élargir l'étude à d'autres concentrations du polluant afin de déterminer les limites de ces charbons actifs.
- d'envisager l'application de ces charbons actifs pour éliminer d'autres polluants inorganiques et organiques.
- de modifier les conditions d'activation des charbons actifs préparés tel que la concentration d'agent activant et la température d'activation thermique.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] M. Lacheheb et R. Sadoudi, « ETUDE D'ADSORPTION DE VIOLET DE GENTIANE SUR LA SCIURE DE BOIS », Thesis, université Akli Mouhand Oulhadje-Bouira, 2018. Consulté le: 22 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/handle/123456789/6678>
- [2] M. J. Ahmed et S. K. Dhedan, « Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons », *Fluid Phase Equilibria*, vol. 317, p. 9-14, mars 2012, doi: 10.1016/j.fluid.2011.12.026.
- [3] R. S. Juang, F. C. Wu, et R. L. Tseng, « The Ability of Activated Clay for the Adsorption of Dyes from Aqueous Solutions », *Environ. Technol.*, vol. 18, n° 5, p. 525-531, mai 1997, doi: 10.1080/09593331808616568.
- [4] M. Y. A. T. Chaima, « Elimination d'un colorant par adsorption sur l'amidon », Thesis, Faculté des Sciences et Technologies, 2021. Consulté le: 12 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-bba.dz:443/xmlui/handle/123456789/1190>
- [5] A. Madani Med, « Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) sur différents adsorbants(charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite) جامعة محمد خيضر كلية العلوم و التكنولوجيا قسم الكيمياء الصناعية », déc. 2015, Consulté le: 12 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://archives.univ-biskra.dz:80/handle/123456789/6470>
- [6] ع. ا. مندل, « Adsorption du bleu de méthylène par charbon actif », 2018, Consulté le: 12 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-eloued.dz:80/xmlui/handle/123456789/589>
- [7] Y. M. Slokar et A. Majcen Le Marechal, « Methods of decoloration of textile wastewaters », *Dyes Pigments*, vol. 37, n° 4, p. 335-356, mai 1998, doi: 10.1016/S0143-7208(97)00075-2.
- [8] O. Joseph, « Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués. », Theses, INSA LYON, 2009. Consulté le: 12 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02435952>
- [9] T. Robinson, G. McMullan, R. Marchant, et P. Nigam, « Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative », *Bioresour. Technol.*, vol. 77, n° 3, p. 247-255, mai 2001, doi: 10.1016/S0960-8524(00)00080-8.
- [10] I. Kabdasli, M. Gürel, et O. Tünay, « Characterization and Treatment of Textile Printing Wastewaters », *Environ. Technol.*, vol. 21, n° 10, p. 1147-1155, oct. 2000, doi: 10.1080/09593330.2000.9619001.
- [11] F. Benamraoui, « Élimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture », Thesis, 2018. Consulté le: 24 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/handle/123456789/1871>
- [12] S. A. Avlonitis, I. Poullos, D. Sotiriou, M. Pappas, et K. Moutesidis, « Simulated cotton dye effluents treatment and reuse by nanofiltration », *Desalination*, vol. 221, n° 1-3, p. 259-267, mars 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.01.082.
- [13] T. A. Kurniawan, G. Y. S. Chan, W. Lo, et S. Babel, « Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals », *Sci. Total Environ.*, vol. 366, n° 2-3, p. 409-426, août 2006, doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.10.001.

Références Bibliographiques

- [14] M. L. Labed et S. Chekima, « Dépollution par charbon actif d'une eau contaminée par bleu de méthylène », 2017, Consulté le: 20 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-eloued.dz:80/xmlui/handle/123456789/2115>
- [15] *Aide-mémoire de génie chimique - 4e éd. - Emilian Koller*. Consulté le: 22 avril 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://www.decitre.fr/ebooks/aide-memoire-de-genie-chimique-4e-ed-9782100704651_9782100704651_9.html
- [16] N. Bouchelkia, L. Mouni, et promoteur, « Etude de l'élimination du plomb, du zinc et du cadmium par adsorption sur un charbone actif préparé à base des noyaux de jujuba », Thesis, Université Abderrahmane Mira- Bejaia, 2015. Consulté le: 29 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://172.17.1.105:8080/xmlui/handle/123456789/9746>
- [17] J. Febrianto, A. N. Kosasih, J. Sunarso, Y.-H. Ju, N. Indraswati, et S. Ismadji, « Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies », *J. Hazard. Mater.*, vol. 162, n° 2-3, p. 616-645, mars 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.06.042.
- [18] A. Boukhemkhem et K. (Rapporteur) Rida, « Synthèse et caractérisation des matériaux modifiés à partir du kaolin et de la bentonite pour l'élimination de quatre polluants organiques par adsorption et catalyse hétérogène », Thesis, 2018. Consulté le: 12 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-jjel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/3985>
- [19] N. Nordine et Z. Encadreur: BENGHAREZ, « Etude expérimentale du potentiel d'adsorption de polluants métalliques sur la sciure de bois brute et modifiée. Analyse cinétique et thermodynamique. », Thesis, 2018. Consulté le: 20 avril 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://rdoc.univ-sba.dz:8080/jspui/handle/123456789/2177>
- [20] M. Safa, « Etude de la capacité de rétention et d'élimination des cations métalliques par des adsorbants naturels. », p. 55, nov. 2015, Consulté le: 23 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-mascara.dz:8080/jspui/handle/123456789/142>
- [21] M. B. Djellouli, M. M. Boutahala, et M. S. Nacef, « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. », p. 103, 2014.
- [22] C. Djelloul, « EXPERIMENTATION, MODELISATION ET OPTIMISATION DE L'ADSORPTION DES EFFLUENTS TEXTILES », phd, Université Mohamed Khider - Biskra, 2014. Consulté le: 23 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://thesis.univ-biskra.dz/1272/>
- [23] F. Medjdoub, « Adsorption du paracétamol par l'utilisation des différents types d'adsorbants naturels », *undefined*, p. 105, 2018, Consulté le: 7 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/Adsorption-du-parac%C3%A9tamol-par-l%27utilisation-des-Medjdoub/a8e6df47c524cf253714479e783df831218b784e>
- [24] G. Limousin, J.-P. Gaudet, L. Charlet, S. Szenknect, V. Barthès, et M. Krimissa, « Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement », *Appl. Geochem.*, vol. 22, n° 2, p. 249-275, févr. 2007, doi: 10.1016/j.apgeochem.2006.09.010.
- [25] A. Reffas, « Etude de l'adsorption de colorants organiques (Rouge Nylosan et Bleu de Méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café », These de doctorat, Chambéry, 2010. Consulté le: 6 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.theses.fr/2010CHAMS041>
- [26] R. Desjardins, *Le traitement des eaux*. Presses inter Polytechnique, 1997.
- [27] I. Bouaziz Karime, « Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique », phd, Université de Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2014. Consulté le: 24 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://thesesups.ups-tlse.fr/2617/>

Références Bibliographiques

- [28] B. B. Hamouda, M. Kemiha, et N. Azzouz, « Effective removal of nitrate ions from aqueous solution using new clays: Tamazert kaolin treated under microwave irradiation », *DESALINATION WATER Treat.*, 2019, doi: 10.5004/dwt.2019.24060.
- [29] M. Serge, « L'adsorption et l'environnement - PDF Free Download », 2003, Consulté le: 24 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://docplayer.fr/19326830-L-adsorption-et-l-environnement.html>
- [30] L. Jinyan, « ETUDE COMPARATIVE SUR LES CHARBONS ACTIFS », p. 4-5-6, 2005.
- [31] N. J. Krou, « Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques », phd, 2010. Consulté le: 24 mai 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001145/>
- [32] H.-O. Chahinez, O. Abdelkader, Y. Leila, et H. N. Tran, « One-stage preparation of palm petiole-derived biochar: Characterization and application for adsorption of crystal violet dye in water », *Environ. Technol. Innov.*, vol. 19, p. 100872, août 2020, doi: 10.1016/j.eti.2020.100872.
- [33] O. Bouras, « Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles : synthèse et caractérisation », These de doctorat, Limoges, 2003. Consulté le: 21 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.theses.fr/2003LIMO0001>
- [34] M. Doğan, M. H. Karaoğlu, et M. Alkan, « Adsorption kinetics of maxilon yellow 4GL and maxilon red GRL dyes on kaolinite », *J. Hazard. Mater.*, vol. 165, n° 1-3, p. 1142-1151, juin 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.101.
- [35] M.-K. Ji *et al.*, « Nitrate and ammonium ions removal from groundwater by a hybrid system of zero-valent iron combined with adsorbents », *J. Environ. Monit. JEM*, vol. 14, n° 4, p. 1153-1158, avr. 2012, doi: 10.1039/c2em10911e.

Résumé

L'objectif de notre travail est l'étude de l'adsorption d'un colorant organique (bleu de méthylène) sur des charbons actifs d'origine végétal (les coquilles d'arbres). Les résultats des essais d'adsorption ont montré une grande efficacité des adsorbants préparés pour éliminer jusqu'à 48 % de colorant pour le C.A2. Les cinétiques d'adsorption du bleu du méthylène sur les deux charbons actifs préparé suivent le modèle du pseudo second ordre. Le modèle de Freundlich décrit au mieux les isothermes d'adsorption et les paramètres du modèle D-R montrent que le processus d'adsorption est de nature physique.

Mots clés : charbon actif ; bleu de méthylène ; cinétique ; adsorption ; les coquilles d'arbres.

Abstract

The objective of our work is the study of the adsorption of an organic dye (methylene blue) on active coals of plant origin (tree shells). The results of the adsorption tests showed a high efficiency of the prepared adsorbents to remove up to 48% dye for A.C.2. The kinetics of adsorption of methylene blue on the two prepared active coals follow the model of the pseudo second order. The Freundlich model best describes the adsorption isotherms and the parameters of the D-R model show that the adsorption process is physical in nature.

Keywords: activated charcoal; methylene blue; kinetics; adsorption; tree shells.

ملخص

الهدف من عملنا هو دراسة امتزاز الصبغة العضوية (الميثيلين الأزرق) على الكربون المنشط من أصل نباتي (قشور الأشجار). أظهرت نتائج اختبار الامتزاز مردود عالية للمواد المازة المحضرة في إزالة ما يصل إلى 48% من الصبغة لـ C.A.2. تتبع حركيات الامتزاز الخاصة بأزرق الميثيلين على نوعين من الكربون المنشط المحضرين للنموذج من الدرجة الثانية. يصف نموذج Freundlich بشكل أفضل التساوي في الامتزاز وتظهر معلمات نموذج D-R أن عملية الامتزاز هي فيزيائية بطبيعتها.