



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdel Hamid Ibn Badis University - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



N° d'ordre : M2...../GC/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Thème

***ISOTHERMES D'ADSORPTION D'UN POLLUANT DE
L'INDUSTRIE TEXTILE***

Présenté par :

1. Gharbi Hanane kheira
2. Guentrah Khadidja

Soutenu le 12 /07 / 2021 devant le jury composé de :

Présidente	Abdelmalek Fatiha	Pr.	Université AHIB de Mostaganem
Examineurs	Mme Benalioua	MCB	Université AHIB de Mostaganem
	Mme Mahrez Nouria	MCB	Université AHIB de Mostaganem
	Mr Dahmane Abdellah	MAA	Université AHIB de Mostaganem
Encadreur	Mr Bestani Benaouda	Pr.	Université AHIB de Mostaganem
Co-encadreur	Mme Gouaich Imane	Doctorante	Université AHIB de Mostaganem

Année Universitaire : 2020 / 2021

Dédicaces

Avant tout c'est grâce à Dieu que nous sommes arrivées là. On a le grand plaisir de dédier ce modeste travail:

- A nos chers parents, pour leurs soutiens durant toutes nos années d'études.
- A nos frères et nos chères sœurs
- A nos chères nièces et neveux.
- A tous nos chers (s) amis (es) pour leur soutien moral.
- A l'ensemble de nos professeurs, pour leur soutien durant ces longues années d'études universitaires.
- A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant les moments difficiles.

Gharbi Hanane kheira

Guentrah Khadidja

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à **Mr Bestani Benaouda** professeur à l'Université AHIB de Mostaganem pour avoir accepté de nous encadrer en nous prodiguant ses précieux conseils, et pour son aide durant la période du travail.

Nous remercions également notre co-encadreur **Mme Gouaich Imane** qui a dirigé et suivi nos travaux et qui nous a toujours fait confiance et nous a apporté l'aide nécessaire, tant sur le plan scientifique que moral.

Nous remercions vivement **Mme Abdelmalek Fatiha**, professeur à l'Université AHIB de Mostaganem, qui nous a fait l'honneur de présider ce jury.

Nos sincères remerciements vont aussi aux membres du jury **Mme Benalioua Bahia** Maitre de conférences à l'Université AHIB de Mostaganem, **Mme Mahrez Nouria** Maitre de conférence à l'Université AHIB de Mostaganem et **Mr Dahmane Abdellah** Maitre-assistant à l'Université AHIB de Mostaganem pour avoir accepté d'évaluer notre travail et l'améliorer par leurs suggestions.

Merci du fond du cœur aux membres du Laboratoire **Mme Z. Mekibes**, **Mme Dellali** et **Mr Benzakri** pour leur aide et leur patience.

Nous aurons enfin une dernière pensée pour nos amies particulièrement à **Amina**, **Nour lhouda**, **Soumia**, **khadidja**, **Mansouria** et **Siham** pour leur amitié. Nous avons passé des bons moments surtout pendant la période de travail au Laboratoire.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur l'adsorption

I.1. Introduction	01
I.2. Définition de l'adsorption	01
I.3. Types d'adsorption	02
I.3.1. Adsorption physique	02
I.3.2. Adsorption chimique	02
I.4. Effet des différents facteurs influençant à l'adsorption	02
I.4.1. La surface spécifique	03
I.4.2. Le pH	03
I.4.3. La concentration	03
I.4.4. La vitesse d'adsorption	03
I.4.5. La nature de l'adsorbant	03
I.4.6. La nature de l'adsorbat	03
I.4.7. La température	04
I.5. Isothermes d'adsorption	04
I.5.1. Capacité d'adsorption	04
I.5.2. Modèles d'isotherme d'adsorption	04
I.5.2.1. Modèle de Langmir	05
I.5.2.2. Modèle de Freundlich	05
I.5.2.3. Modèle de Temkin	06
I.6. Etude des paramètres thermodynamiques	06
I.6.1. Coefficient de distribution	07

Chapitre II : Adsorbants et colorants

II.1. Les adsorbants	09
II.1.1. Généralités	09
II.1.2. Charbon actif	10
II.1.3. Origine des charbons actifs	10
II.1.3.1. Origine végétale	10
II.1.3.2. Origine animale	10
II.1.3.3. Origine minérale	10
II.1.4. Structure du charbon actif	11
II.1.5. Classification des charbons actifs	11
II.2. Les colorants	12

II.2.1. Définition	12
II.2.2. Les type des colorants	13
II.2.2.1. Colorants naturels	13
II.2.2.2. Colorants synthétiques	13
II.2.3. Classification des colorants	13
II.2.4. Toxicité des colorants	14

Chapitre III : Partie expérimentale

III.1. Matériels et appareillage	16
III.1.1. Matériels utilisés	16
III.1.2. Appareillage	17
III.2. Les produits utilisés	18
III.2.1. L'orange de méthyle	18
III.2.2. Les produits utilisés pour l'ajustement du pH	19
III.2.3. Les produits utilisés pour la caractérisation de l'adsorbant	19
III.3. Caractérisation de l'adsorbant	19
III.3.1. Indice d'iode	19
III.3.1.1. Définition	19
III.3.1.2. Méthode iodométrique	19
III.3.1.3. Préparation des solutions	19
III.3.1.4. Détermination de l'Indice d'iode	20
III.3.2. Détermination de l'Indice Bleu de méthylène	20
III.3.3. Taux d'humidité	21
III.4. Adsorption de l'orange de méthyle	22
III.4.1. Préparation des solutions de l'orange de méthyle	22
III.4.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage	22
III.4.3. Optimisation des paramètres d'adsorption	23
III.4.3.1. Effet du temps de contact sur l'adsorption de l'orange de méthyle	23
III.4.3.2. Effet de la dose sur l'adsorption de l'orange de méthyle	25
III.4.3.3. Etude de l'influence du pH de la solution sur l'adsorption de l'orange de méthyle	26
III.4.3.4. Etude de l'influence de la température sur l'adsorption de l'orange de méthyle	27
III.5. Isotherme d'adsorption de l'orange de méthyle	30
Conclusion	35
Bibliographie	36

Liste des figures

Figure I.1 : Phénomène d'adsorption

Figure I.2 : Les types d'adsorption

Figure II.1 : Les principaux adsorbants

Figure II.2 : Structure du charbon actif

Figure II.3 : Charbon actif granulé

Figure II.4 : Charbon actif en poudre

Figure II.5 : Colorants

Figure III.1 : Spectrophotomètre UV visible (OPTIZEN)

Figure III.2 : Dosage d'une espèce chimique en solution

Figure III.3 : Orange de méthyle en poudre

Figure III.4 : Courbe d'étalonnage de l'orange de méthyle

Figure III.5 : Evolution du taux d'élimination en fonction du temps

Figure III.6 : Evolution de taux d'élimination en fonction de la dose

Figure III.7 : Taux d'élimination en fonction du pH

Figure III.8 : Taux d'élimination à différentes températures

Figure III.9 : Evolution de $\ln K_d$ en fonction de $1/T$

Figure III.10 : Isotherme d'adsorption de l'orange de méthyle

Figure III.11 : Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption de l'orange de méthyle

Figure III.12 : Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption de l'orange de méthyle

Figure III.13 : Application du modèle de Temkin pour l'adsorption de l'orange de méthyle

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients des charbons actifs en poudre et granulé

Tableau III.1 : Accessoires et verreries

Tableau III.2 : Caractérisation physico-chimique du colorant orange de méthyle

Tableau III.3 : Valeurs des indices d'iode et du bleu de méthylène charbon actif préparé

Tableau III.4 : Valeur du taux d'humidité du charbon actif préparé

Tableau III.5 : Valeurs de : $A = f(C)$ de la courbe d'étalonnage de l'orange de méthyle

Tableau III.6 : Résultats du temps d'équilibre de l'adsorption de l'orange de méthyle

Tableau III.7 : Effet de la dose sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Tableau III.8 : Effet du pH sur l'adsorption de l'orange de méthyle

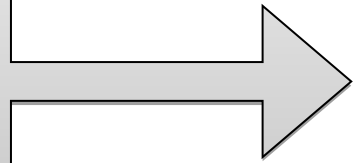
Tableau III.9 : Effet de la température sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Tableau III.10 : Paramètres thermodynamiques d'adsorption de l'orange de méthyle

Tableau III.11 : Résultats obtenus de l'isotherme d'adsorption de l'orange de méthyle

Tableau III.12 : Constantes de Langmuir, Freundlich et Temkin pour l'adsorption de l'orange de méthyle

*Introduction
générale*



Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à l'existence des êtres vivants. Son rôle est fondamental pour le développement économique de la civilisation humaine, vu son utilisation dans de nombreux secteurs notamment l'industrie et l'agriculture. Cette ressource vitale est très connue par sa grande fragilité. D'où la nécessité d'amélioration des moyens efficaces pour sa protection contre la pollution.

Depuis des siècles, l'homme a utilisé des colorants dans nombreux secteurs industriels tels que : le textile, la papèterie, le cosmétique et l'alimentaire. Les colorants synthétiques sont les plus utilisés, dus à leur facilité de synthèse et leur rapidité de production en grande quantité. En outre, la majorité de ces colorants sont toxiques et provoquent beaucoup de problèmes dans l'environnement et sur la santé humaine, d'où l'intérêt de traitement des eaux usées chargées de ces colorants et rejetées dans l'environnement sans aucun traitement préalable.

Afin de réduire les quantités de ces contaminants des effluents liquides, plusieurs procédés de traitement ont été développés. Le procédé d'adsorption est l'un des techniques les plus prometteuses en raison de sa commodité et de sa simplicité d'utilisation. Le charbon actif est l'adsorbant le plus communément utilisé en raison de sa grande capacité d'adsorption des contaminants organiques et inorganiques. Toutefois, son cout élevé limite son utilisation pour le traitement des grands volumes d'eaux polluées. La recherche des adsorbants alternatifs et efficaces à faibles couts de préférence issus des substances naturelles et déchets locaux a été mise à l'étude par plusieurs chercheurs.

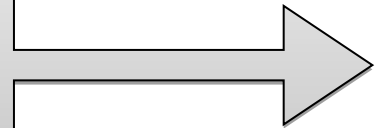
Dans le cadre de notre mémoire, nous avons utilisé le charbon actif à base des feuilles d'eucalyptus pour l'élimination de l'orangé de méthyle, un polluant dont l'effet néfaste sur la population et son environnement est important (pollution des eaux, cancérigène, mutagène...).

Ce travail de recherche a pour le but d'étudier une méthode pratique et économique pour le piégeage du colorant l'orangé de méthyle à partir de solutions simulées et se compose de trois chapitres :

- Les deux premiers chapitres sont consacrés à l'étude théorique englobant des rappels sur le phénomène d'adsorption et quelques généralités sur les colorants et le charbon actif.
- Le troisième chapitre de ce mémoire représente l'étude expérimentale. Cette partie fait l'objet traitement par adsorption d'une solution aqueuse d'orange de méthyle d'une manière générale et en particulier une étude détaillée sur l'effet de quelques paramètres physico-chimiques importants sur sa fixation sur le support adsorbant préparé.

Enfin, on termine par une conclusion générale qui résumera les principaux résultats et une liste bibliographique.

Chapitre-I



I.1. Introduction

L'adsorption est un phénomène physico-chimique se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles. Ce phénomène de surface ne doit pas être confondu avec l'absorption, phénomène de profondeur. Il existe cinq types d'interfaces selon la nature des deux phases mises en jeu : (gaz/liquide), (gaz/solide), (liquide/liquide), (liquide/solide) et (solide/solide). Pour chacun de ces types d'interfaces, on peut distinguer le cas où ces phases sont pures de celui où elles constituent des mélanges. Il sera examiné dans cette étude que les phénomènes d'adsorption se rapportant aux interfaces liquide/solide, à savoir donc l'adsorption des liquides, purs ou en mélange, par les solides considérés généralement comme des phases pures [1].

I.2. Définition de l'adsorption

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide) viennent se fixer sur la surface d'un solide. La phase constituée de molécules adsorbées est appelée « **soluté** » ou « **adsorbat** » et le solide est nommé « **adsorbant** ». La surface du solide comprend les surfaces externes et internes engendrées par le réseau des pores et des cavités à l'intérieur de l'adsorbant [2].

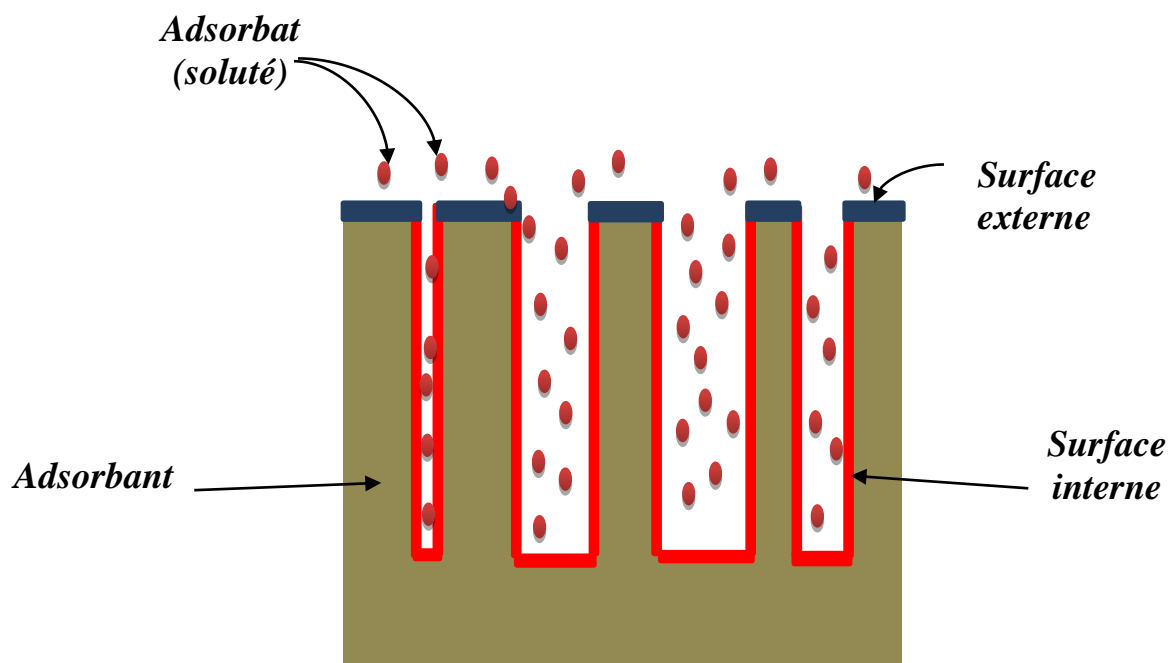


Figure I.1 : Phénomène d'adsorption

1.3. Types d'adsorption

Suivant l'importance des énergies mises en jeu entre l'adsorbant et l'adsorbé, les forces responsables du phénomène d'adsorption peuvent être de nature physique ou chimique, conduisant ainsi à deux types d'adsorption: l'adsorption physique « **physisorption** » et l'adsorption chimique « **chimisorption** ».

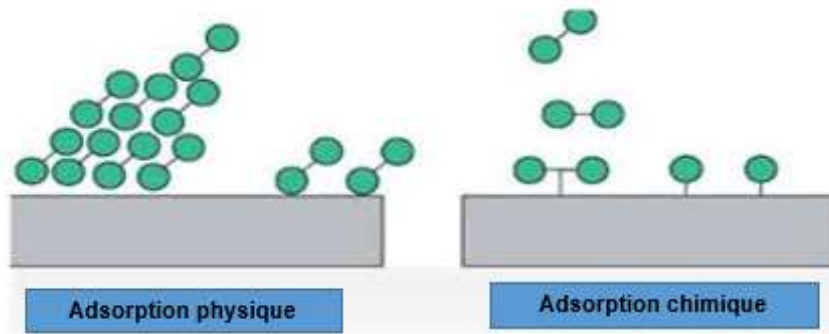


Figure I.2 : Les types d'adsorption

1.3.1. Adsorption physique

L'adsorption physique ou physisorption met en jeu de très faibles interactions entre entités moléculaires comme les forces d'attraction de Van der Waals et des forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation, elle est réversible et peu spécifique, L'adsorption physique est rapide et généralement limitée par les phénomènes de diffusion. [3]

1.3.2. Adsorption chimique

Dite chimisorption, est un phénomène irréversible dû à une liaison chimique forte de type covalente entre les atomes superficiels du solide et les molécules adsorbées. Ce type d'adsorption met en jeu des énergies d'attractions élevées, qui conduisent à des chaleurs d'adsorption élevées [3].

1.4. Effet des différents facteurs influençant l'adsorption [4]

La théorie de l'adsorption des liquides par les solides est nettement moins complète que celle de l'adsorption des gaz ou des vapeurs par les solides. Ce qui est dû sans doute à de nombreux facteurs qui rendent l'étude de tels phénomènes difficile à interpréter. Parmi ces facteurs, on peut citer :

1.4.1. La surface spécifique

La surface spécifique, appelée aussi l'aire massique représente la surface totale par unité de masse du produit accessible aux atomes et aux molécules, sa connaissance contribue à améliorer le contrôle de la réactivité d'un échantillon lorsque celui-ci sera mis en présence d'autres matériaux, car la vitesse de réaction varie avec l'état de division des matériaux.

1.4.2. Le pH

Le pH a parfois un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique particulièrement à l'adsorption de substances acides.

1.4.3. La concentration

Pour les faibles concentrations dissoutes, on observe en général que le taux d'adsorption obéit à la loi de Freundlich.

1.4.4. La vitesse d'adsorption

L'adsorption physique en phase liquide est beaucoup moins rapide. La viscosité de la solution doit être un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption et il est vraisemblable qu'en diminuant la viscosité par chauffage, on croit la vitesse. C'est une des raisons pour lesquelles on effectue à température élevée la décoloration de solution par les adsorbants solides.

1.4.5. La nature de l'adsorbant

Etant donné que les substances à adsorber doivent se mouvoir dans un solvant plus ou moins visqueux, l'adsorbant travaillant en phase liquide, a en général des caractéristiques différentes de celles des adsorbants utilisés en phase gazeuse.

1.4.6. La nature de l'adsorbat

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont déterminantes et jouent un rôle primordial lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant. La structure moléculaire est l'un des principaux paramètres qui influence la rétention des adsorbats. Plus la structure moléculaire est volumique plus sa rétention par certaines phases solides est difficile.

1.4.7. La température

L'adsorption est un processus exothermique et son déroulement doit être favorisé par l'abaissement de la température avec quelques cas très rares d'endothermicité ont été reportés.

1.5. Isothermes d'adsorption

Une isotherme d'adsorption est la variation $q_{eq} = f(C_{eq})$ de la quantité adsorbée sur un solide à l'équilibre en fonction de la concentration à l'équilibre du composé adsorbable à une température donnée. La quantité adsorbée à l'équilibre peut s'exprimer dans différentes unités ; on utilise principalement dans le cas d'adsorption en phase aqueuse le mg/g.

1.5.1. Capacité d'adsorption

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est définie comme étant la quantité de substrat (masse ou volume) adsorbée par unité de poids d'adsorbant pour une température donnée. Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres aussi bien pour l'adsorbat (taille des molécules, solubilité dans l'eau ..., etc.) que pour l'adsorbant (surface spécifique, structure et type de particules le constituant.... etc.) [5]. Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_{eq}) * V}{m} \quad (1)$$

Où :

q_e : capacité d'adsorption du support (mg/g).

C_0 : concentration initiale du substrat (mg/L) à $t=0$.

C_{eq} : concentration à l'équilibre (mg/L).

V : volume de la solution(L).

m : masse du support (g).

1.5.2. Modèles d'isotherme d'adsorption

Le phénomène d'adsorption a été établi par plusieurs modèles mathématiques et empiriques, dont chacun repose sur des hypothèses et des approximations. Parmi les modèles largement utilisés on cite :

1.5.2.1. Modèle de Langmuir

La théorie de Langmuir a permis l'étude de l'adsorption de molécules de gaz sur des surfaces métalliques. L'isotherme de Langmuir est difficilement utilisable pour des systèmes naturels où l'adsorption en couche simple sur un seul type de site est rarement rencontrée.

L'isotherme est représentée par l'équation suivante [6]:

$$\frac{C_{eq}}{q_e} = \frac{1}{K_L b} + \frac{1}{b} C_{eq} \quad (2)$$

Où :

C_{eq} : concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/L).

q_e : quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g).

K_L : constante correspond à l'énergie d'adsorption.

b : capacité maximale d'adsorption.

1.5.2.2. Modèle de Freundlich

En 1962, Freundlich a proposé un autre modèle pour décrire l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. Ce modèle est représenté par une équation à deux paramètres (K_f et n) et consiste en une distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption à la surface du support et se caractérise par une adsorption en sites localisés [7]. Ce modèle est décrit par :

$$q_e = K_f C_{eq}^{1/n} \quad (3)$$

Sachant que :

q_e : la quantité d'entités adsorbées par gramme d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

C_{eq} : la concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre (mg/L).

K_f : la constante de Freundlich (L/mg).

n : paramètre énergétique de Freundlich.

Lorsque la valeur de n est comprise entre $1 < n < 10$ cela indique une adsorption favorable, par contre si la valeur est $n < 1$ révèle une faible adsorption.

Les deux paramètres de Freundlich K_f et n peuvent être déterminés expérimentalement par le passage au logarithmique de l'expression pour donner :

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_{eq} \quad (4)$$

1.5.2.3. Modèle de Temkin

L'isotherme de **Temkin** tient compte du fait que la chaleur d'adsorption de l'ensemble des molécules de la couche de recouvrement diminue linéairement avec le recouvrement en raison de la diminution des interactions adsorbant-adsorbé. L'adsorption est donc caractérisée par une distribution uniforme des énergies de liaison en surface. L'isotherme de Temkin est exprimée sous la forme [8] :

$$q_e = \left(\frac{RT}{b_t}\right) \ln(K_t \cdot C_e) \quad (5)$$

Ou sous la forme linéaire:

$$q_e = B_1 \ln K_t + B_1 \ln C_{eq} \quad (6)$$

Avec $B_1 = RT/b_t$ (J/mole), la constante de Temkin relative à la chaleur de sorption et K_t (L/g), la constante d'équilibre d'adsorption correspondant à l'énergie de liaison maximale.

1.6. Etude des paramètres thermodynamiques [9]

Les paramètres thermodynamiques mettant en évidence le changement de l'énergie libre de Gibbs ΔG , de l'enthalpie ΔH et de l'entropie ΔS , permettent de prévoir la spontanéité d'un processus. D'une façon générale, le phénomène d'adsorption est toujours accompagné d'un effet thermique qui peut être, soit exothermique ($\Delta H < 0$) ou, endothermique ($\Delta H > 0$).

La mesure de la chaleur ΔH est le principal critère permettant de différencier entre la chimisorption de la physisorption. Les grandeurs thermodynamiques sont déterminées à partir de l'équation de

Van't Hoff :

$$\ln k_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (7)$$

Et la relation thermodynamique de Gibbs-Helmholtz :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (8)$$

Où :

K_d : Coefficient de distribution (L/g).

ΔH : Enthalpie (kJ/mole).

ΔS : Entropie (kJ/mole).

ΔG : Energie libre (kJ/mole).

R : constante des gaz parfaits (8,314 J/mole. K).

T : température (K).

Le tracé de la droite $\ln K_d$ en fonction de $1/T$ permet de calculer les valeurs des paramètres thermodynamiques ΔH et ΔS à partir de l'ordonnée à l'origine et la pente.

I.6.1. Coefficient de distribution [10]

Le coefficient de distribution représente le rapport entre la quantité x/m (masse adsorbée par gramme d'adsorbant) et la concentration dans la solution à l'équilibre, soit :

$$k_d = \frac{q_e}{C_{eq}} = \frac{(C_0 - C_{eq}) * V}{m * C_{eq}} \quad (9)$$

Où :

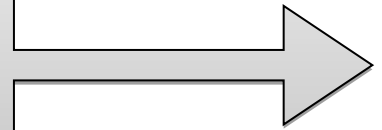
C_0 : concentration initiale de l'adsorbat (mg/L).

C_{eq} : concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/L).

m : masse de l'adsorbant (g).

V : volume de la solution (L).

Chapitre-II



II.1. Les adsorbants

II.1.1. Généralités

Tous les solides agissant comme adsorbant sont caractérisés par une structure microporeuse qui leur confère une très grande surface active de masse. Les adsorbants utilisés dans la pratique sont, soit de nature organique (végétale ou animale), soit de nature minérale. Ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but d'augmenter leur porosité.

Les adsorbants les plus utilisés dans les applications de traitement des eaux sont les suivants :



Figure II.1 : Les principaux adsorbants

II.1.2. Charbon actif

Le charbon actif ou encore charbon activé est un matériau constitué essentiellement de matière carbonée à structure poreuse, ayant subi une préparation particulière et qui, de ce fait, possède, à un haut degré la propriété de fixer et de retenir les fluides amenés à son contact. Il s'agit d'une structure amorphe composée principalement d'atomes de carbone et généralement obtenue après une étape de carbonisation à haute température, présentant une très grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant. [11]

II.1.3. Origine des charbons actifs

La fabrication du charbon actif passe nécessairement par l'identification et le choix de la matière première. Les matières premières peuvent être obtenues à partir d'un grand nombre de matériaux d'origine végétale, animale ou minérale [12].

II.1.3.1. Origine végétale

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

- Déchets agricoles non utilisables : noyaux de fruit, coque de noix de coco, bagasse de canne à sucre, coque de fruit flamboyant, coque de graines de palmiste..., etc.
- Paille et enveloppes de céréales : blé et riz.
- Arbre sous forme de copeaux ou sciure de bois : chêne, eucalyptus, lignite. [13]

II.1.3.2. Origine animale

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

II.1.3.3. Origine minérale

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

II.1.4. Structure du charbon actif

Le **charbon actif** peut être défini comme une forme rudimentaire de graphite avec une structure aléatoire ou amorphe qui est extrêmement poreuse sur une large gamme de tailles de pores, de fissures et de crevasses visibles à l'œil nu à celles de dimensions moléculaires. La purification au **charbon actif** se fonde principalement sur un phénomène appelé **adsorption**, dans lequel les molécules d'un liquide ou d'un gaz sont piégées par sa surface externe ou interne [14].

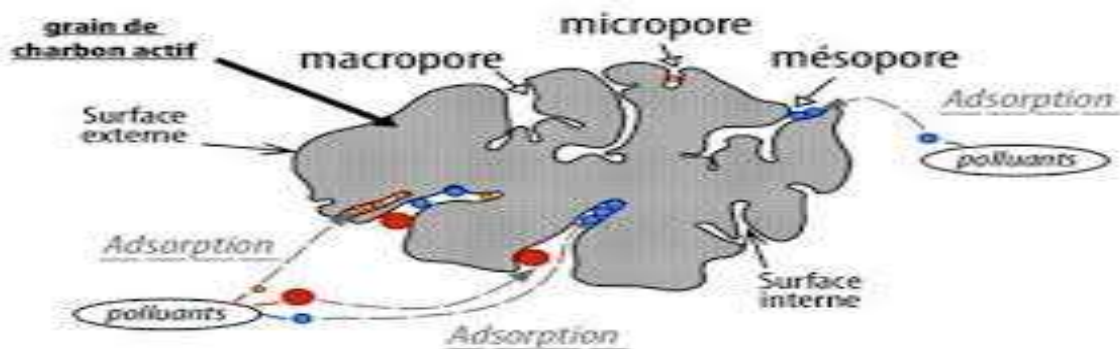


Figure II.2 : Structure du charbon actif.

II.1.5. Classification des charbons actifs [15]

Les charbons actifs sont disponibles sous deux formes : charbon actif en poudre (CAP) et le charbon actif en grains (CAG). Le CAG est, la plupart du temps, employé dans le traitement de l'eau en mode continu.



Figure II.3 : charbon actif granulé



Figure II.4 : charbon actif en poudre

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients des charbons actifs en poudre et granulé.

	<i>Charbon actif en poudre</i>	<i>Charbon actif granulé</i>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Le charbon actif en poudre est 2 à 3 fois moins cher que le charbon actif en granulé • Des quantités supplémentaires peuvent être rajoutées en cas de pointes de pollution accidentelles ou temporaires. • L'adsorption est rapide dans la mesure où une grande partie de la surface de contact est directement disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Il est inerte et on peut l'utiliser en toute sécurité. • Il est facilement disponible et de bon marché. • Il a une grande capacité d'adsorption pour les substances organiques en particulier les solvants.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Il est difficile d'enlever les dernières traces d'impuretés sans ajouter une quantité très importante de charbon actif en poudre • La détection des pointes de pollution est problématique et sa concentration applicable est limitée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie limitée. • Préfiltration : Les carburants dissous et les matières en particules peuvent rapidement encrasser le charbon, nécessitant un prétraitement dans la plupart des cas.

II.2. Les colorants

II.2.1. Définition

Un colorant est une matière chimique capable de se fixer sur un support, la coloration plus ou moins intense des différentes substances est liée à leur constitution chimique. Les premières matières colorantes étaient d'origine végétale (garance, indigo, gaude, campêche) ou même animale (cochenille). En chimie, un groupement d'atomes dont l'absorption lumineuse cause la couleur s'appelle un chromophore. Un colorant soluble se désigne comme teinture, sinon c'est un pigment [16].



Figure II.5 : Colorants

II.2.2. Les types des colorants

Il existe deux types de colorants : naturels et synthétiques

II.2.2.1. Colorants naturels

Les colorants naturels sont extraits des plantes (bois, racines, grains, fleurs et fruits etc.) et même dans les corps d'animaux. Les colorants jaunes sont les plus nombreux. On rencontre deux catégories de colorants naturels : les colorants à mordant et les colorants de cuve. Seuls les premiers sont peu solubles dans l'eau.

II.2.2.2. Colorants synthétiques

Les propriétés des colorants synthétiques peuvent être précisément adaptées à leur utilisation. Tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir des produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphtalène, xylène et anthracène) [17]. Ils sont de plus en plus utilisés dans l'industrie de coloration et des textiles grâce à leurs couleurs comparées aux colorants naturels [18].

II.2.3. Classification des colorants

Les colorants peuvent être classés selon leur nature chimique ou tinctoriale. La classification chimique est fonction de la structure chimique du colorant, plus précisément de la nature de son

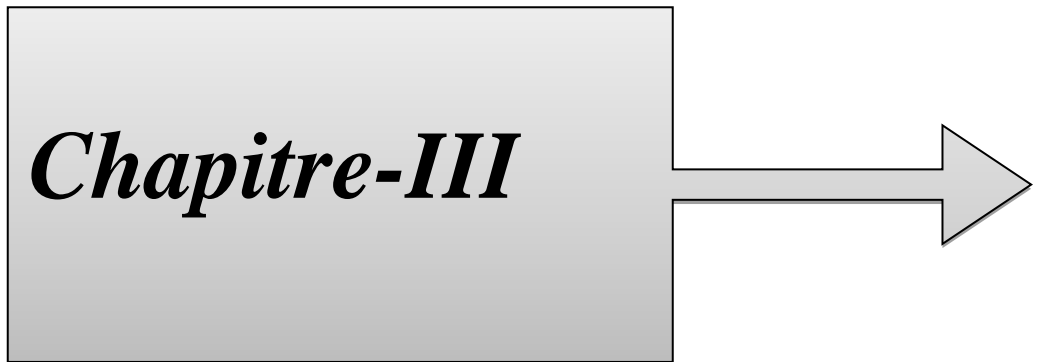
groupe chromophore. La classification tinctoriale est basée sur le mode d'utilisation et d'application de la couleur qui dépend à son tour du groupe auxochrome.

II.2.4. Toxicité des colorants

Actuellement de nombreuses stations d'épuration des industries textiles rejettent des quantités importantes d'eau et de boues colorées dans la nature. Ces rejets peuvent se transmettre à l'être humain et à l'environnement par :

- Action de vent (poussière en été).
- Infiltration du colorant dans les nappes phréatiques.
- La chaîne alimentaire (végétaux, animaux).
- L'accumulation des doses du colorant sur certains sites de l'organisme provoquant ainsi des cancers.

Cette toxicité, donc pourrait être liée à la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Par ailleurs, elle est due à leur très faible biodégradabilité.



Chapitre-III

Etapes réalisées dans cette partie :

- Caractérisation de la structure poreuse du charbon actif préparé.
- Etude de l'influence des principaux paramètres physico-chimiques influençant l'adsorption de l'orange de méthyle à partir des solutions aqueuses.
- Modélisation des résultats obtenus : application d'isothermes d'adsorption.

III.1. Matériels et appareillages

III.1.1. Matériels utilisés

Tableau III.1 : Accessoires et verreries

				
<i>Bécher</i>	<i>Erlenmeyers</i>	<i>Eprouvette gradué</i>	<i>Fioles jaugées</i>	<i>pipette et propipette</i>
				
<i>Verre de montre</i>	<i>Entonnoir</i>	<i>Spatules</i>	<i>Tubes à essais</i>	<i>Papier filtre</i>
				
<i>Barreau magnétique</i>	<i>Burette graduée</i>	<i>Pissette pour l'eau distillée</i>	<i>Electrode pH mètre</i>	<i>Thermostat d'immersion</i>
				
<i>Centrifugeuse</i>	<i>Etuve</i>	<i>Balance électronique</i>	<i>Dessiccateur en verre</i>	<i>Agitateur magnétique</i>

III.1.2. Appareillage

Un spectrophotomètre UV visible (OPTIZEN), l'analyse par cet instrument s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse passer une fraction de lumière incidente, la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché comme le montre la loi de **Beer- Lambert** :

$$A = \log(I_0/I) = \log(1/T) = \epsilon LC \quad (10)$$



Figure III.1 : Spectrophotomètre UV visible (OPTIZEN).

Avec :

T : facteur de transmission ou transmittance.

A : absorbance ou densité optique.

C : concentration massique du composé dosé.

I, I_0 : intensité du faisceau émergent et incident.

ϵ : Coefficient d'extinction.

L : épaisseur de la cuve.

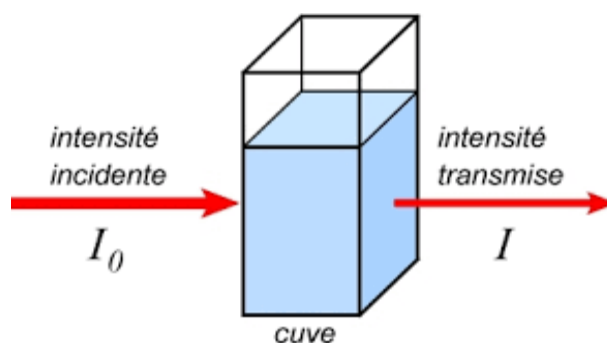


Figure III.2 : Dosage d'une espèce chimique en solution

III.2. Produits utilisés

III.2.1. L'orange de méthyle

L'orange de méthyle, autrement appelée l'hélianthine, orangé III ou encore méthylorange, est un **indicateur coloré** utilisé en chimie pour marquer la présence d'un milieu acide ou d'un milieu basique. Donc l'orangé de méthyle est un indicateur de pH fréquemment utilisé dans le titrage en raison de sa variance de couleur claire et distincte à différentes valeurs de pH. L'orangé de méthyle présente une couleur rouge en milieu acide et une couleur jaune en milieu basique [19].



Figure III.3 : Orange de méthyle en poudre

Tableau III.2 : Caractérisation physico-chimique du colorant orange de méthyle [20]

Nom IUPAC	sodium ; 4-[[4-(diméthylamino) phényle] diazenyl] benzenesulfonate
structure	
Nom chimique	L'orange de méthyle; Orange III; Gold Orange; Eniamethyl Orange; Hélianthine; méthylorange
Formule moléculaire	$C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$
Masse moléculaire	327,334 g/mol
Point de fusion	>300 °C
Etat physique	Solide (poudre orange-jaune ou balance cristalline)
solubilité	Soluble dans l'eau et plus soluble dans l'eau chaude (200 mg/L à 25 °C), légèrement soluble dans la pyrimidine, insoluble dans l'éther et l'alcool.
λ_{max}	465 nm

III.2.2. Les produits utilisés pour l'ajustement du pH

- Solution de NaOH (0,1N) pour l'ajustement de pH dans les milieux basiques.
- Solution d' HCl (0,1N) pour l'ajustement de pH dans les milieux acides.

III.2.3. Les produits utilisés pour la caractérisation de l'adsorbant

- L'iodure de potassium et l'iode sublimé pour la préparation de solution d'I₂ (0,1N).
- Solution de Thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃ (0,1N).
- Solution d'HCl (5%).
- Solution de bleu de méthylène.
- Solution d'acide acétique (5%).

III.3. Caractérisation de l'adsorbant

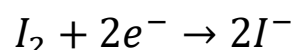
III.3.1. Indice d'iode

III.3.1.1. Définition

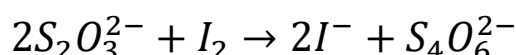
L'indice d'iode fournit une indication sur la microporosité de l'adsorbant. C'est le nombre de milligrammes d'iode adsorbé par gramme d'adsorbat à une concentration résiduelle de 0,02 N [21].

III.3.1.2. Méthode iodométrique

L'iodométrie concerne la réaction avec une solution titrée d'iode. L'iodométrie est reliée au titrage de l'iode libéré dans les réactions chimiques :



L'analyse par iodométrie est basée sur les phénomènes d'oxydo-réduction, si l'on ajoute de l'iode libre à une solution de thiosulfate de sodium (réducteur), il se produit la réaction suivante :



III.3.1.3. Préparation des solutions

Pour préparer une solution d'iode de concentration 0,1 N. On pèse 30 g **d'iodure de potassium cristallisé** et on les dissout dans la quantité d'eau, la plus faible possible. Après, on pèse 12,69 g **d'iode sublimé** et on le rajoute à l'iodure de potassium se trouvant dans la fiole jaugée,

ensuite on agite, la fiole étant fermée, jusqu'à ce que l'iode se dissolve, on complète alors avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (1L). Enfin, on laisse la solution à l'abri de la lumière.

Pour préparer une solution de thiosulfate de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, de concentration 0,1 N, on introduit 24,817 g de ce sel dans une fiole jaugée à 1 litre. On ajoute un peu d'eau distillée jusqu'à ce que le thiosulfate se dissolve, puis on complète jusqu'au trait de jauge.

III.3.1.4. Détermination de l'indice d'iode

Pour déterminer l'indice d'iode de l'adsorbant, il faut :

- Une solution d'acide chlorhydrique de concentration 5%.
- Une solution d'iode 0,1 N.
- Une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0,1 N.

Peser 0,2 g de l'échantillon qui a été séché auparavant à 150 °C dans l'étuve pendant 3 heures, le transposer dans un flacon, ajouter 10 cm³ d'**HCl** et remuer doucement jusqu'à ce que l'échantillon soit complètement mouillé, porter à ébullition pendant 30 secondes. Laisser refroidir à température ambiante, transposer 100 mL de la solution d'iode dans le flacon, le boucher immédiatement et agiter pendant 30 secondes rigoureusement, filtrer, ensuite écarter les 20 à 30 mL du filtrat et récupérer le reste dans un bécher. Pipeter 50 mL du filtrat dans un erlenmeyer propre de 250 mL, titrer avec **thiosulfate de sodium** jusqu'à ce que la solution devienne jaune pâle, ajouter 2 mL d'amidon fraîchement préparé et titrer goutte à goutte jusqu'à ce que la solution devienne transparente, noter le volume V' .

On calcul l'indice d'iode suivant l'équation :

$$\text{Indice d'iode} = \frac{((V-V') * N * 126,69)}{m} \quad (11)$$

III.3.2. Détermination de l'Indice Bleu de méthylène

L'indice bleu de méthylène est la quantité du bleu de méthylène (colorant aromatique) adsorbée par le charbon actif dans des conditions définies. Ce paramètre est une indication de la structure méso poreuse du charbon actif. Il y'a une relation pour la détermination de la surface spécifique par adsorption du bleu de méthylène sur le charbon actif [22]:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_{eq})}{m} * V \quad (12)$$

Avec :

V : volume de la solution(L).

C_0 : concentration initiale (mg/L).

C_{eq} : concentration à l'équilibre (mg/L).

m : la masse du charbon actif (g).

Tableau III.3 : Valeurs des indices d'iode et de Bleu de méthylène du charbon actif préparé.

<i>Caractérisation</i>	Indice d'iode (mg/g)	Indice de bleu de Méthylène (mg/g)
<i>Charbon actif</i>	741,14	93,42

Le charbon actif utilisé présente une microporosité importante. D'une façon générale, l'indice d'iode est une grandeur essentielle pour indiquer la performance du charbon actif pulvérisé. Il donne une conception sur la surface complète pour l'adsorption des micropolluants.

Les résultats présentés dans le tableau (III.3) indiquent que le charbon actif utilisé dans cette étude présente une texture hétérogène.

III.3.3. Taux d'humidité [23]

La **teneur en humidité du charbon actif** est mesurée en fonction de la perte de poids après avoir chauffé le charbon actif à 100°C et l'avoir laissé sécher jusqu'à ce qu'il retrouve son poids de départ (généralement au bout de 4 heures). La teneur en humidité du charbon actif en sec augmente généralement pendant le transport et le stockage. Les utilisateurs de charbon actif dans les applications où l'humidité peut être cruciale doivent le savoir. La Teneur en humidité, en sec, est généralement **inférieure à 5 %**.

On calcule le taux d'humidité suivant l'équation :

$$TH = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (13)$$

Où :

m_1 : la masse du charbon avant le séchage(g).

m_2 : la masse du charbon après le séchage(g)

Tableau III.4 : Valeur du taux d'humidité du charbon actif préparé.

$m_1(g)$	$m_2(g)$	<i>temps(h)</i>	<i>Température (°C)</i>	<i>Taux d'humidité(%)</i>
5	4,843	4	100	3,14

On obtient un taux d'humidité inférieur à 5%, la basse teneur en eau indique une qualité supérieure et favorise ainsi l'adsorption.

III.4. Adsorption de l'orange de méthyle

III.4.1. Préparation des solutions de l'orange de méthyle

Pour préparer une solution mère de l'orange de méthyle de concentration 1g/L on pèse 1g de poudre de l'orange de méthyle et on la rajoute dans une fiole jaugée de 1000 mL et on les dissout dans la quantité d'eau, la plus faible possible, ensuite on agite, la fiole étant fermée jusqu'à ce que la masse se dissolve, on complète alors avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (1000 mL), la concentration correspondante est de 1g/L.

Les solutions de faibles concentrations ont été préparées à partir d'une solution mère.

III.4.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage

A partir de la solution mère, préparation par dilutions successives d'une série de solutions de concentrations bien déterminées de 2 à 10mg/L. Celles-ci sont, par la suite, analysées par spectrophotométrie UV visible après filtration ou centrifugation. La droite d'étalonnage ainsi établie représente la densité optique, au maximum de la bande d'absorption, en fonction de la concentration C et qui obéit à la relation de Beer-Lambert.

Le spectre d'absorption de l'orange de méthyle présente un pic à la longueur d'onde $\lambda_{\max} = 465 \text{ nm}$, c'est donc cette longueur d'onde qui a été utilisée pour faire les mesures par la suite. La droite d'étalonnage présentée sur la Figure (III.4) pour l'orange de méthyle, montre une bonne linéarité. Il faut noter que les échantillons ont été filtrés avant l'analyse afin d'éviter toute perturbation due à la présence de solide en suspension. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (III.5) et représentés graphiquement sur la figure (III.4).

Tableau III.5 : Valeurs de : $A = f(C)$ de la courbe d'étalonnage de l'orange de méthyle

$C_0 \text{ (mg/L)}$	0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0,234	0,300	0,374	0,502	0,602	0,701	0,827	0,929	0,997

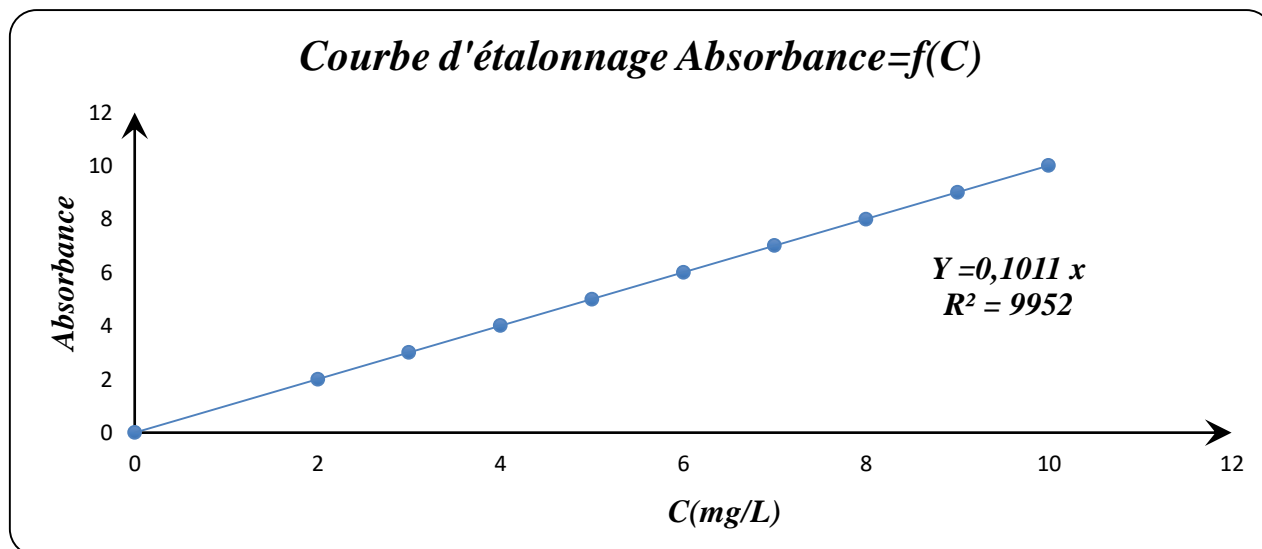


Figure III.4 : Courbe d'étalonnage de l'orange de méthyle

On constate que la courbe est une droite avec un coefficient de corrélation égale à **0,9952** représentant un bon ajustement linéaire.

L'équation de la droite donnant l'absorbance A en fonction de la concentration du méthylorange est : $A = 0,1011 \cdot C$. Cette équation sera utilisée pour calculer la concentration d'une solution inconnue de l'orange de méthyle.

III.4.3. Optimisation des paramètres d'adsorption

Afin de déterminer les meilleures conditions d'adsorption du colorant, notre étude a porté sur la variation des paramètres suivants :

III.4.3.1. Effet du temps de contact sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Afin d'étudier le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption pour l'orange de méthyle, nous avons préparé deux solutions arbitraires de concentrations de 50 mg/L et 100mg/L et nous avons suivi la procédure suivante :

Dans une série de béchers, on a introduit successivement une masse connue de charbon actif (déterminée auparavant) préparé et 25 mL de la solution préparée. L'ensemble est agité à des temps d'agitation allant de 10 à 180 minutes, puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie afin de déterminer la concentration restante du colorant.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (III.6) et représentés graphiquement sur la figure (III.5).

Tableau III.6: Résultats du temps d'équilibre de l'adsorption de l'orange de méthyle.

t (min)	10	30	60	90	120	150	180
$C_0=50\text{mg/L}$							
C_{eq} (mg/L)	7,082	7,072	6,726	4,846	4,154	3,907	3,778
Taux d'élimination $E(\%)$	85,835	85,855	86,547	90,306	91,691	92,185	92,443
$C_0=100\text{mg/L}$							
C_{eq} (mg/L)	39,762	37,091	36,201	31,948	31,355	30,267	28,189
Taux d'élimination $E(\%)$	60,237	62,908	63,798	68,051	68,644	69,732	71,810

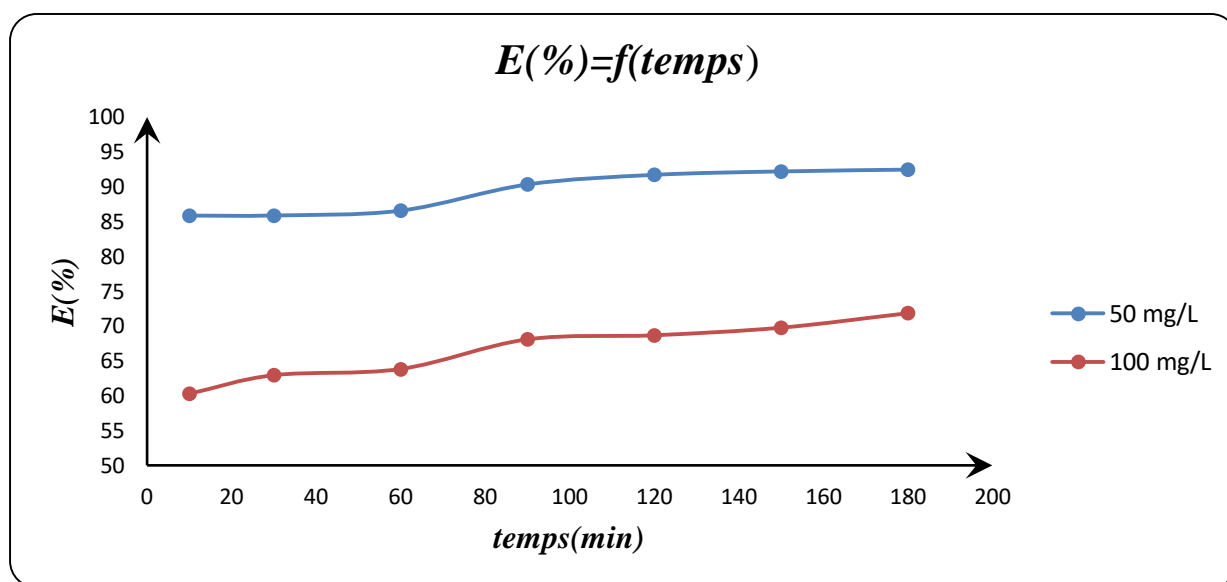


Figure III.5 : Evolution du taux d'élimination en fonction du temps.

La figure (III.5) montre les résultats d'adsorption obtenus pour l'orange de méthyle par l'adsorbant. On remarque que le taux d'élimination augmente avec le temps jusqu'à obtention d'un

palier de saturation ou ce rapport ne change plus montrant que l'interaction adsorbant adsorbé a atteint l'équilibre.

Correspondant à un temps d'une heure 30 minutes où ce pourcentage ne change plus, toutes les expériences d'adsorption seront faites pour un temps de contact adsorbant adsorbé 1h 30 min, temps supposé suffisant pour ce système.

III.4.3.2. Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption de l'orange de méthyle

On introduit dans une série de béchers contenant successivement des masses de 0,025 ; 0,05 ; 0,075 ; 0,1 ; 0,125 ; 0,150 ; 0,175 et 0,2 grammes de notre adsorbant et 25 ml de la solution de l'orange de méthyle de concentration de 100 mg/L.

L'ensemble est agité pendant 1h 30 min puis centrifugé et analysé par un spectrophotomètre. Les résultats de ces mesures sont regroupés dans le tableau (III.7) et représentés graphiquement sur la figure (III.6).

Tableau III.7 : Effet de la dose sur l'adsorption de l'orange de méthyle.

<i>Masse(g)</i>	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,150	0,175	0,2
<i>Dose (g/L)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>E(%)</i>	45,499	52,225	55,885	66,567	68,545	69,535	71,315	72,205

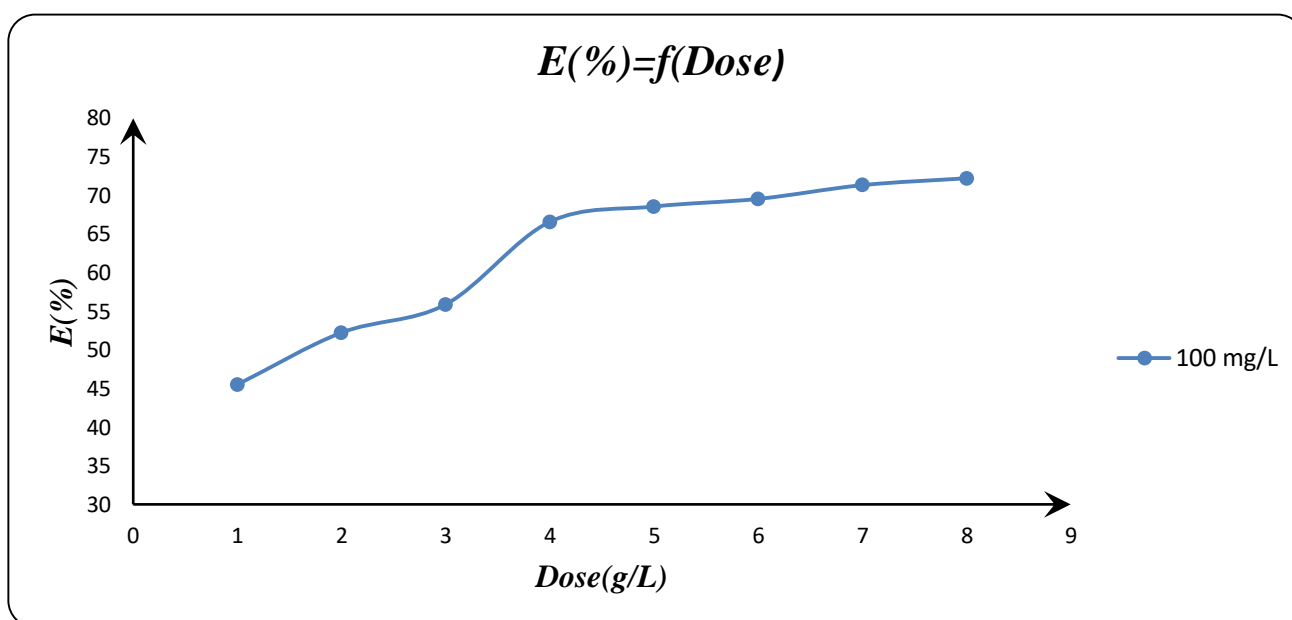


Figure III.6 : Evolution du taux d'élimination en fonction de la dose.

La figure (III.6) montre qu'une augmentation dans la masse du charbon cause une augmentation du taux d'élimination, et que le taux maximal d'adsorption de l'orange de méthyle est atteint pour une dose de charbon égale à **4g /L**.

Par conséquent, on va utiliser cette nouvelle dose pour toutes les expériences d'adsorption suivantes.

III.4.3.3. Etude de l'influence de pH de la solution sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Le pH joue un rôle important dans le processus d'adsorption. Beaucoup d'études on montre que le pH est un important pour la détermination du potentiel d'adsorption des composés organiques cationiques et anioniques.

Dans une série des fioles, nous avons introduit 25 mL de solution connue de l'orange de méthyle de concentration 100mg /L à l'un de pH dans les cas échéant avec l'hydroxyde de sodium 0,1N ou l'acide chlorhydrique 0,1 N à des valeurs de pH choisi arbitrairement auxquelles nous avons ajouté une masse de 0,1 g de charbon actif.

Le mélange est agité pendant un temps de 1heure 30min, puis filtré et analysé par spectrophotomètre.

Les résultats de la variation du taux d'adsorption en fonction du pH sont rassemblés dans le tableau (III.8) et représentés graphiquement dans la figure (III.7).

Tableau III.8 : Effet de pH sur l'adsorption de l'orange de méthyle.

pH	2,077	4,107	6,636	7,057	9,036	10,101	12
E(%)	90,405	49,851	58,160	44,510	42,136	54,104	38,674

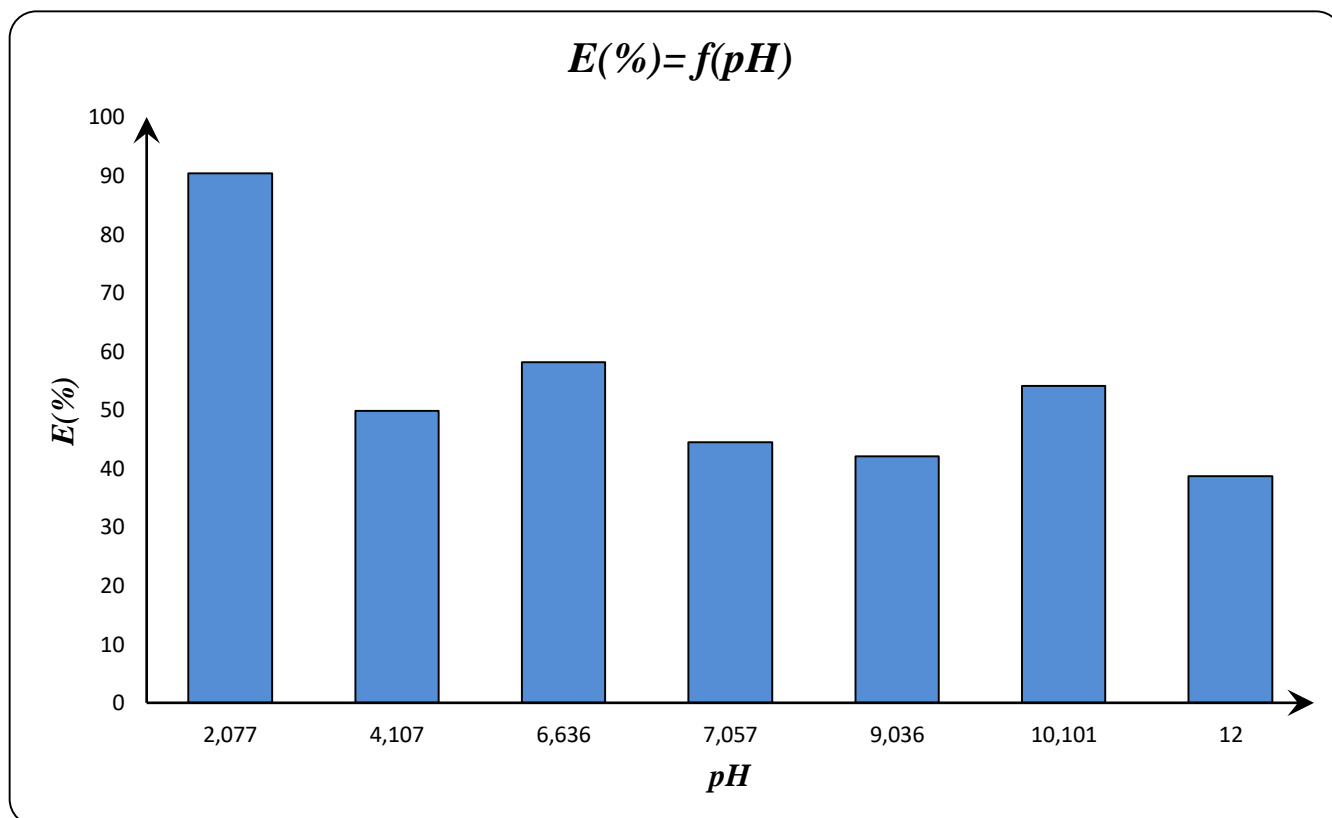


Figure III.7 : Taux d'élimination en fonction de pH.

D'après la figure (III.7) on constate que le meilleur taux d'élimination est obtenu d'une manière générale à pH acide, et que le taux d'élimination atteint son maximum à un pH égal à **2,077**. Ce pH va être établi l'isotherme d'adsorption.

III.4.3.4. Etude de l'influence de température sur l'adsorption de l'orange de méthyle

Afin d'étudier l'influence de la température sur l'adsorption de l'orange de méthyle par notre charbon, des flacons contenant 25mL de solution de l'orange de méthyle de concentration 150 mg/L et de pH connu, auxquelles nous avons ajouté 0,1g de charbon actif, et placé dans un bain marie muni d'un thermostat permettant de régler la température (25°C, 35°C, 45°C), l'ensemble est agité pendant une heure 30 min puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

Les résultats de ces mesures sont mentionnés dans le tableau (III.9) et représentés sur la figure (III.8).

Tableau III.9 : Effet de la température sur l'adsorption de l'orange de méthyle.

$C_0=150 \text{ mg/L}$			
$T(K)$	298	308	318
$1/T$	0,0033	0,0032	0,0031
$C_{eq} \text{ (mg/L)}$	6,340	7,309	8,575
K_d	5,664	4,880	4,122
Taux d'élimination	95,773	95,126	94,282
$\ln K_d$	1,734	1,585	1,416

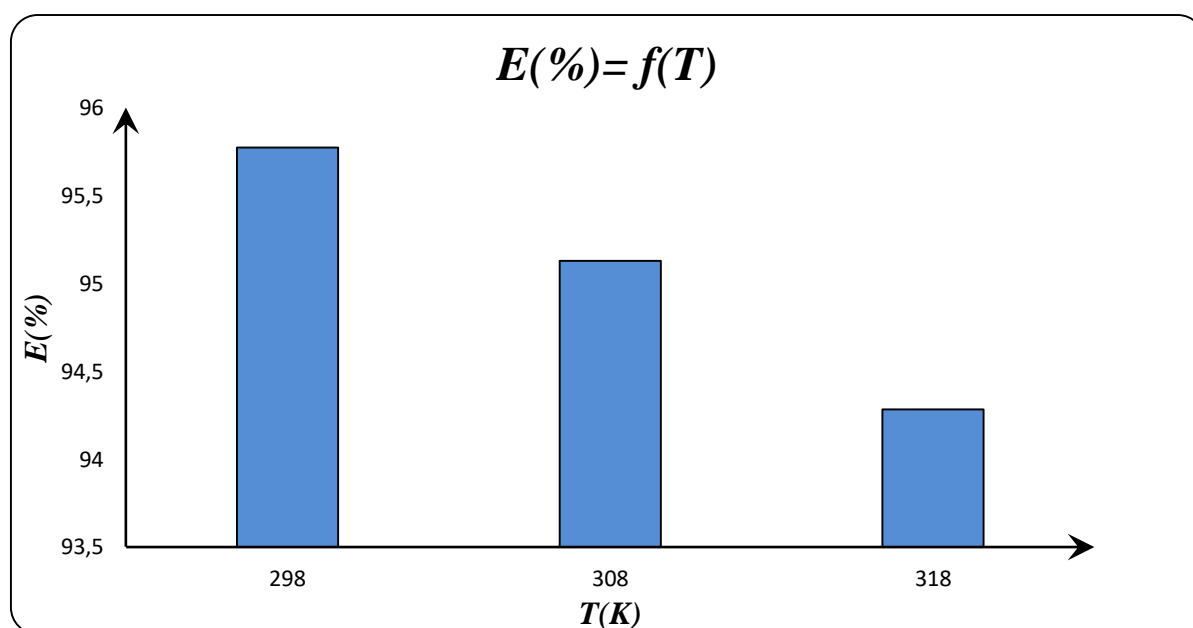


Figure III.8 : Taux d'élimination à différentes températures.

D'après la figure (III.8), on constate que le taux d'élimination de l'orange de méthyle diminue avec l'augmentation de la température.

Pour confirmer ces résultats, on a calculé les paramètres thermodynamiques (ΔG , ΔH et ΔS) liés au processus d'adsorption et le coefficient de distribution K_d .

Le tracé de $\ln K_d$ en fonction de $1/T$, pour l'ensemble des échantillons, est représenté sur la figure (III.9).

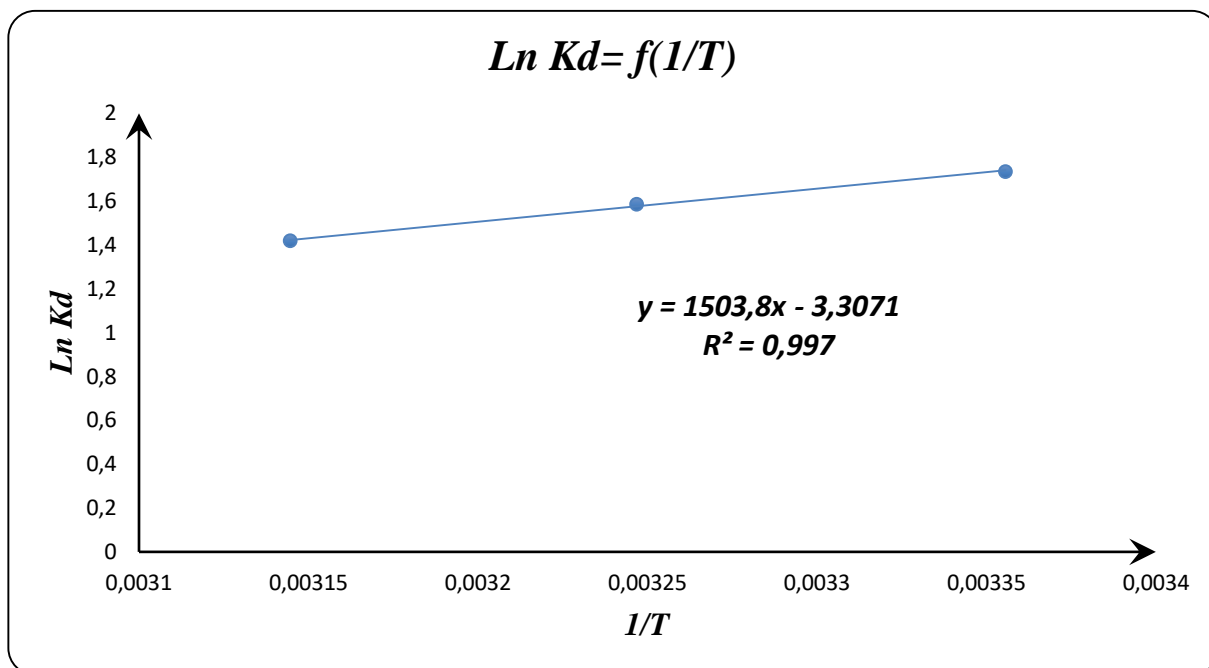


Figure III.9 : Evolution de $\ln K_d$ en fonction de $1/T$

A partir du tracé de la figure (III.9), ΔH et ΔS sont déduites respectivement, de la pente et de l'ordonnée à l'origine. Le tableau (III.10) regroupe les grandeurs thermodynamiques pour l'orange de méthyle.

Tableau III.10 : Paramètres thermodynamiques d'adsorption de l'orange de méthyle.

Adsorbant	Equation	$\Delta G(kJ/mol)$			$\Delta H(kJ/mol)$	$\Delta S(kJ/mol.K)$
		T=298 (K)	T=308 (K)	T=318 (K)		
Charbon actif	$y=1503,8x-3,3071$	-4,3368	-4,0628	-3,7888	-12,502	-0,0274

L'analyse des paramètres thermodynamiques montre que le processus d'adsorption de l'orange de méthyle se fait avec des réactions spontanées et favorables ($\Delta G < 0$).

Une valeur négative de ΔH implique une réaction exothermique entre l'adsorbat et l'adsorbant.

III.5. Isotherme d'adsorption de l'orange de méthyle

Dans une série de béchers, nous avons introduit successivement la quantité optimisée d'adsorbant et 25 ml des solutions filles connues, de concentrations qui varient entre 10 et 100 mg/L. Le mélange est agité pendant un temps déterminé (1h30min), puis filtré et analysé. On calcule ensuite la quantité adsorbée par la masse d'adsorbant.

Les valeurs de cette étude sont récapitulées dans le tableau (III.11) et représentées graphiquement sur les figures (III.10), (III.11), (III.12) et (III.13).

Tableau III.11 : Résultats obtenus de l'isotherme d'adsorption du l'orange de méthyle.

C_0 (mg/L)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C_{eq} (mg/L)	0,039	0,128	0,207	0,296	0,405	0,692	1,483	2,383	3,045	3,847
$\ln C_{eq}$	-3,229	-2,051	-1,571	-1,214	-0,902	-0,367	0,394	0,868	1,113	1,347
q_e (mg/g)	2,490	4,967	7,448	9,925	12,398	14,826	17,129	19,404	21,738	24,038
$\ln(q_e)$	0,912	1,602	2,007	2,295	2,517	2,696	2,840	2,965	3,079	3,179
C_{eq}/q_e	0,015	0,025	0,027	0,029	0,032	0,046	0,086	0,122	0,140	0,160

C_0 (mg/L)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
C_{eq} (mg/L)	4,451	5,044	5,835	6,824	8,011	9,099	10,682	11,770	12,759	16,716
$\ln C_{eq}$	1,493	1,618	1,764	1,920	2,080	2,208	2,368	2,465	2,546	2,816
q_e (mg/g)	26,387	28,738	31,041	33,293	35,497	37,725	39,829	42,057	44,310	45,820
$\ln(q_e)$	3,272	3,358	3,435	3,505	3,569	3,630	3,684	3,739	3,791	3,824
C_{eq}/q_e	0,168	0,175	0,188	0,204	0,225	0,241	0,268	0,279	0,287	0,364

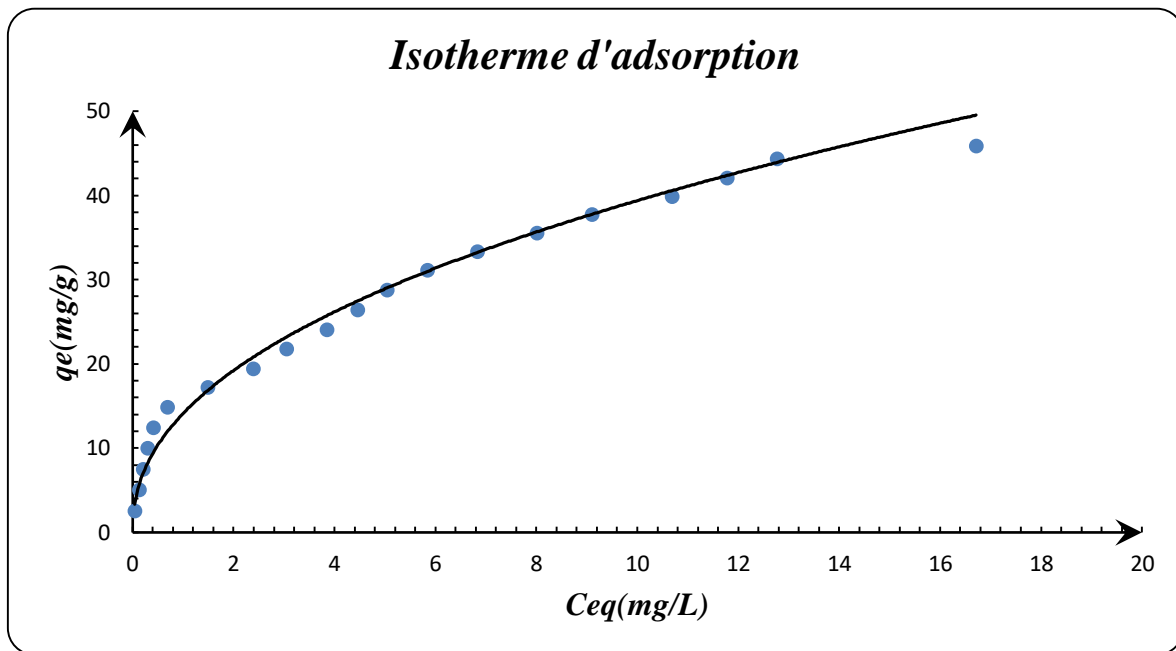


Figure III.10 : Isotherme d'adsorption de l'orange de méthyle

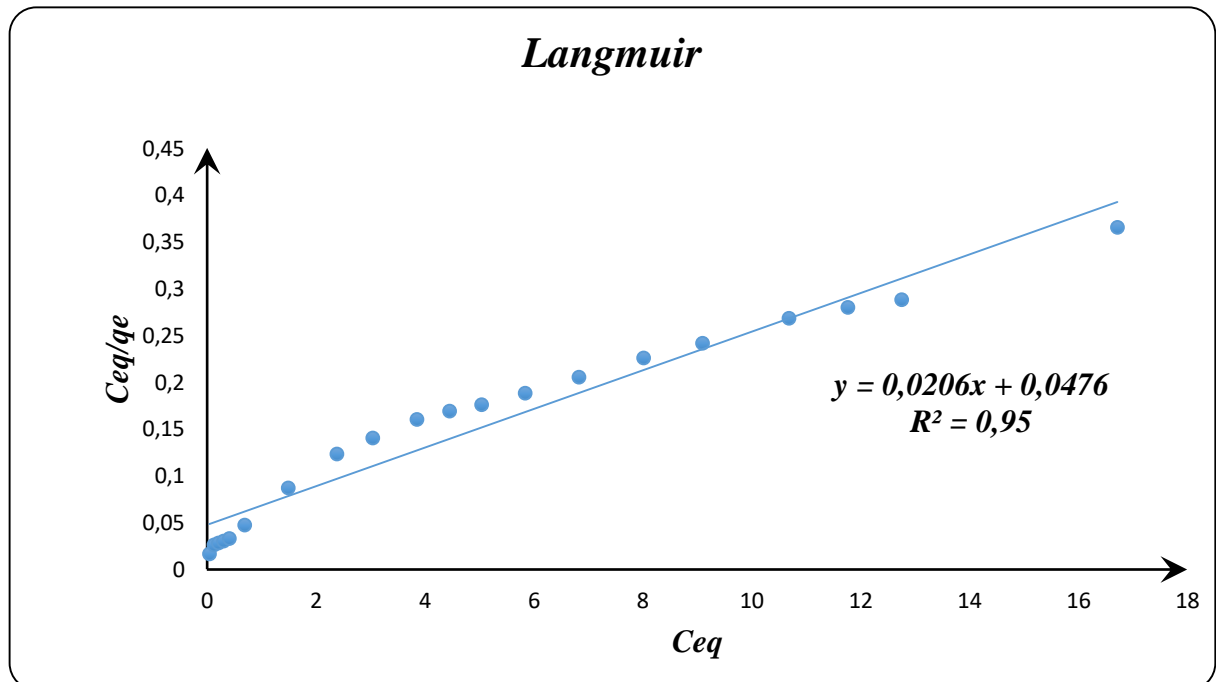


Figure III.11 Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption de l'orange de méthyle.

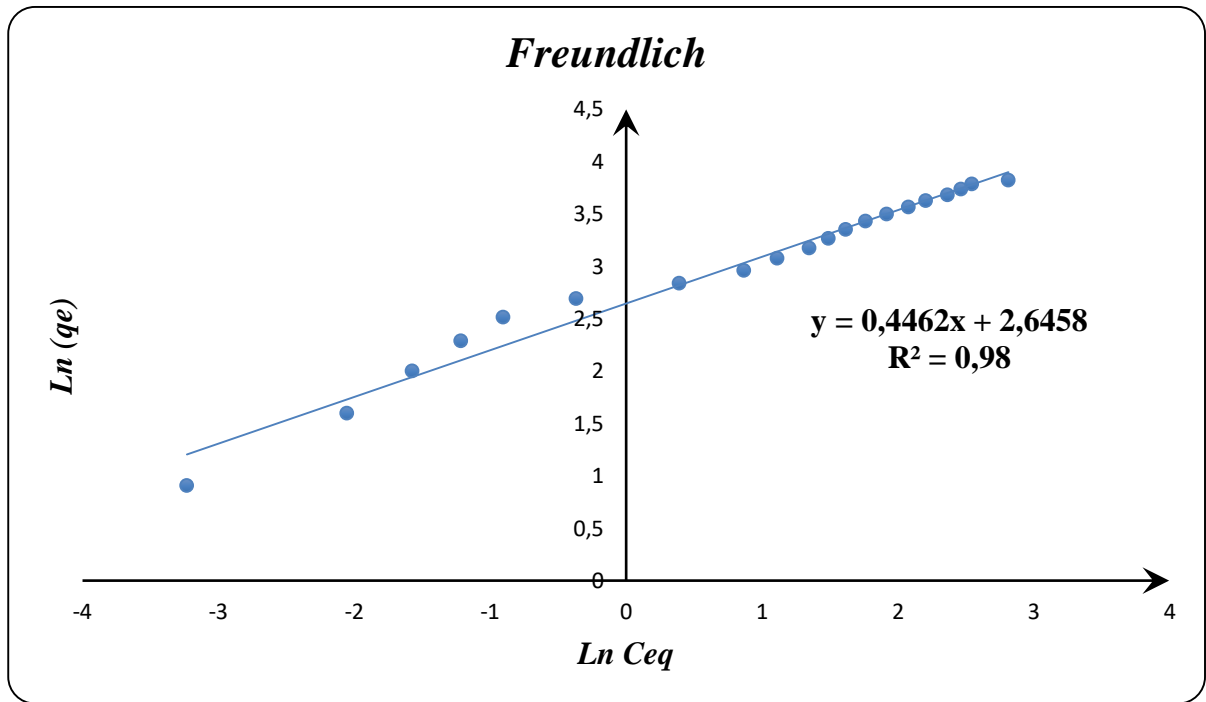


Figure III.12 : Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption de l'orange de méthyle

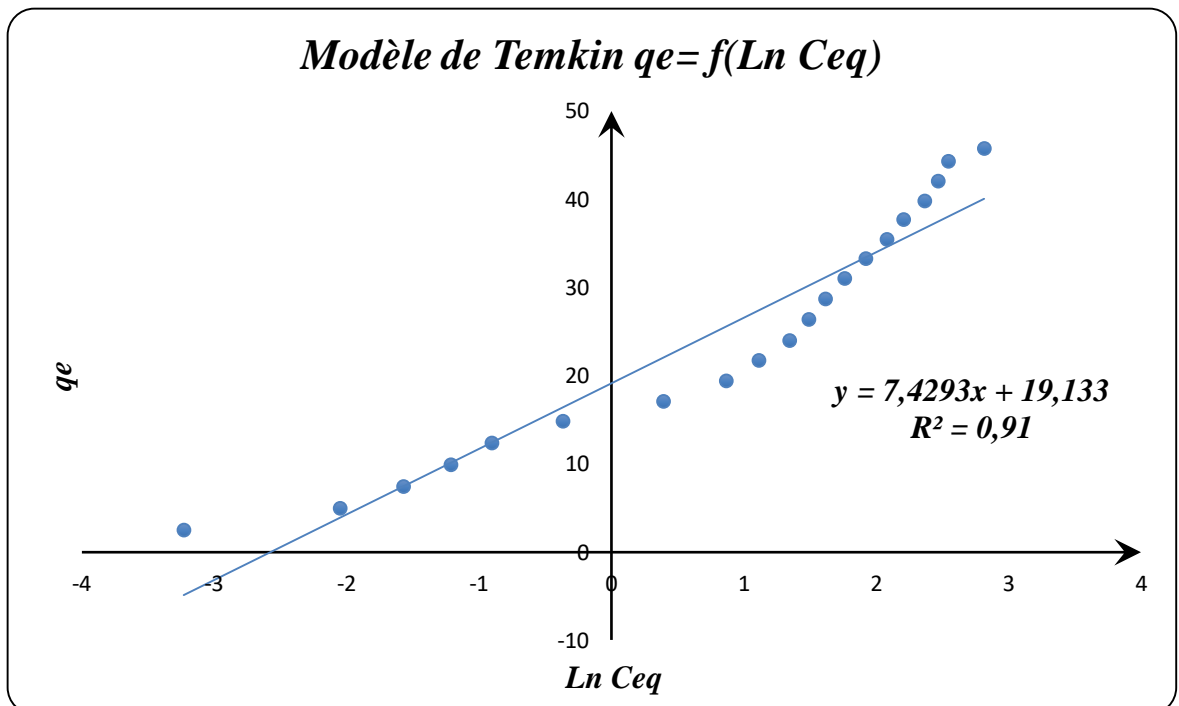


Figure III.13 : Application du modèle de Temkin pour l'adsorption de l'orange de méthyle.

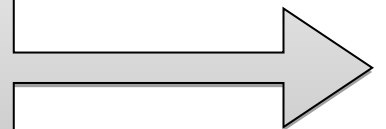
Tableau III.12 : Constantes de Langmuir, Freundlich et Temkin pour l'adsorption de l'orange de méthyle.

<i>Freundlich</i>			<i>Langmuir</i>			<i>Temkin</i>		
<i>n</i>	<i>K_F</i>	<i>R</i> ²	<i>b</i>	<i>K_L</i>	<i>R</i> ²	<i>b_T</i>	<i>K_T</i>	<i>R</i> ²
2,2411	14,0947	0,9759	48,5436	0,4327	0,9518	333,4866	13,1358	0,9121

Les figures (III.10), (III.11), (III.12), (III.13) et le tableau (III.12) nous montrent que :

- La capacité d'adsorption du méthyle orange par l'adsorbant augmente remarquablement avec l'augmentation de la concentration initiale.
- L'isotherme d'adsorption présente un palier indiquant la saturation des sites de la surface et donc formation de la monocouche.
- Les droites obtenues avec un bon coefficient de corrélation montrent que dans nos conditions expérimentales, l'adsorption de l'orange de méthyle sur le charbon actif suit les trois modèles : de Langmuir, Freundlich et de Temkin d'une façon acceptable dans les trois figures : (III.11), (III.12) et (III.13).
- La pente et l'ordonnée à l'origine déterminent la capacité maximale d'adsorption *b* ainsi que la constante *K* pour l'adsorbant étudié.

*Conclusion
générale*



Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'optimiser un procédé de traitement des eaux contaminées par les colorants. Le procédé sélectionné est l'adsorption sur un charbon actif préparé localement au laboratoire. Les résultats ont montrés une bonne élimination du polluant organique choisi.

D'après l'étude de plusieurs paramètres influençant la fixation de ce colorant, notamment : le pH, la masse de l'adsorbant, le temps de contact et la température ayant pour but d'optimiser l'adsorption de l'orange de méthyle sur le charbon actif préparé.

L'étude de l'effet du pH, met en lumière une efficacité de fixation maximale atteinte de 90,4% à pH=2,08. La rétention de l'orange de méthyle par le charbon actif est rapide pendant les premiers minutes de contact jusqu'à l'obtention d'un palier qui correspond à l'équilibre au bout de 90 minutes dans lequel il n'y a pas d'adsorption.

L'accumulation de l'orange de méthyle croit avec la quantité d'adsorbant introduite. Ce résultat s'explique par l'augmentation de la surface de contact offerte par l'adsorbant.

L'adsorption de l'orange de méthyle sur le charbon actif a été modélisée en utilisant les isothermes les plus courants tels que les modèles de Langmuir, Freundlich et de Temkin. L'isotherme qui décrit le mieux les différents tests d'adsorptions est celui de Freundlich, avec un coefficient de corrélation 0,98.

Le calcul des grandeurs thermodynamiques, a confirmé que cette réaction est un phénomène exothermique ($\Delta H < 0$), la réaction est de nature chimique. Le processus d'adsorption est spontané, en raison de la valeur négative de l'enthalpie libre ($\Delta G < 0$).

L'adsorption solide-liquide reste l'une des principales techniques de dépollution des eaux contaminées par les polluants solubles. Cette caractéristique est renforcée par des nombreux résultats. Ces résultats ont mis en évidence plusieurs types de matériaux naturels et organiques qu'on peut utiliser comme adsorbants et des substituts aux charbons actifs dont le coût reste un facteur limitant.

Références bibliographiques

- [1] L.NAIDJA, *Elimination du colorants orange en solution aqueuse, par voie photocchimique et par adsorption*, Constantine: Université de Mentouri, 2010.
- [2] AMEN, *adsorption-définitions et explications*, *Thechno-Science.net*.
- [3] N. BOUZIANE, «*Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre,*» Constantine.
- [4] S. B. H. KARIMI, *indian journal of dcience and technologie*, 5 mars 2012.
- [5] M. BELLIR, 2002, 2004.
- [6] A. E. C. Dipa et Coll, 2001;2002.
- [7] N. BOUGDAH, «*Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur le Bentonite,*» 2007.
- [8] K. E. Al, 2007.
- [9] H. D. .BAEHR, *Thermodynamique-Eline Einfuhrung in die Grundlagen und ihre technischen Anwendungen*, B. H. Springer, Éd., Berlin, 1988, p. 460.
- [10] J. C. W. J. WEBER Jr, *J. Saint, Eng Div. Am Soc Civil Eng*, 1963.
- [11] *A chaque application , son charbon actif*, *Industries and technologies*, 2015.
- [12] G. M, «*Système et étude des charbons actifs pour le traitement des eaux usées d'une tennerie.,*» Ouagadougou, Burkina faso.
- [13] K. F. T, «*Etude des performances des charbons actifs préparés à partir de biomasses tropicales pour l'élimination du chrome et diuron en milieu aqueux,*» Ouagadougou, Burkina Faso, 2012.
- [14] «*Chemical structure of activated carbon*».
- [15] I. GUERRADI, «*l'utilisation industrielle du charbon actif,*» Laghouate, 2013.
- [16] D. N., D. Salari et k. A.R, *Photochem, phtpbiol chemistry*, 2003, p. 157.
- [17] M. DORE, *chimie des oxydants et traitement des eaux*, Paris, 1989.
- [18] G. SIMONT, *Guides des techniques de l'ennoblissement textile*, *Industrie textile*, 1982.
- [19] D. .R, «*Line, Handbook of chimistry and physics,*» 2003/2004. [En ligne].
- [20] K. DIBI, «*Elimination de l'orange de méthyle dans l'eau par adsorption sur charbon actif préparé à partir de graines de palmiste,*» Cote d'Ivoire.
- [21] «<http://www.chemical-engineering-design.com>,.

[22] Ecologix environmental systems LLC Glossary termes commonly used with activated carbon, Ansley way Roswell GA, 2008.

[23] «DESOTEC ACTIVATED CARBON-carbonology,» .