



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'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie Chimique

Thème

Etude de la rétention d'un micropolluant organique par une biomasse valorisée

Présenté par

1- LARBI Soumia

Soutenu le 18/07/ 2021 devant le jury composé de :

Président :	B. BESTANI	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur :	D. MEKHATRIA	MCB	Université de Mostaganem
Examinatrice :	I. TOUMI	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	K. SOLTANE	MAA	Université de Mostaganem
Encadrante :	M. MEKIBES	MAA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Le mémoire présenté ici est le résultat du travail effectué au sein du laboratoire structure, élaboration et application des matériaux moléculaires (SEA2M).

Je tiens à adresser mes vifs remerciements à mon encadrante Madame K. ZOHRA qui par ses encouragements renouvelés, ses remarques pertinentes, ses conseils, sa disponibilité, et son soutien qui ne m'a jamais fait défaut, j'ai pu achever ce travail de recherche dans les meilleures conditions.

Mes vifs remerciements s'adressent à Monsieur B. BESTANI Professeur à l'université de Mostaganem de m'avoir honorée par sa présence en tant que président du jury.

Je remercie Monsieur D.MEKHATRIA Maître de conférences B à l'Université de Mostaganem, Madame I. TOUMI Maître de conférences A à l'Université de Mostaganem et Madame K.SOLTANE Maître-assistant A à l'Université de Mostaganem qui, m'ont fait l'honneur d'examiner et de juger ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de mes meilleurs sentiments.

Je remercie, également, l'ensemble des enseignants qui ont assuré ma formation tout au long de mon cursus universitaire

Pour finir, j'adresse mes remerciements à ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Résumé

Notre travail avait pour objectif de préserver les milieux aquatiques et environnement contre l'invasion des pollutions en appliquant des méthodes de piégeages des substances indésirables parmi ces procédés, le procédé d'adsorption qu'on a utilisé pour l'élimination d'un polluant textile « Rouge Erionyl ».

De ce fait, nous avons commencé par la caractérisation du charbon avec deux paramètres très simples, l'indice d'iode et l'indice bleu de méthylène. Les résultats ont montré que ce charbon a une microporosité développée et une mésoporosité appréciable.

L'étude des facteurs d'adsorption (temps, dose et pH) ont montré que les meilleurs taux d'élimination de ce polluant (rouge Erionyl) par le charbon sélectionné (CHA1) sont obtenus pour un temps de 30 mn, une dose de 4 g/L et à pH acide égal à 2. De plus, les résultats montrent que l'adsorption du polluant par cet adsorbant s'avère de type L et suit parfaitement le modèle de Langmuir avec une capacité d'adsorption de 250mg/g. La cinétique d'adsorption suit le modèle du pseudo-second ordre avec une capacité calculée presque similaire à celle expérimentale.

Mots-clés : Adsorption ; Charbon actif ; rouge Erionyl

Abstract

Our work had for objective to preserve the aquatic environments and environment against the invasion of the pollutions by applying methods of trapping of the undesirable substances among these processes, the process of adsorption which we used for the elimination of a textile pollutant "Erionyl Red".

Therefore, we started with the characterization of the coal with two very simple parameters, the iodine index and the blue index of methylene. The results showed that this coal has a developed microporosity and an appreciable mesoporosity.

The study of adsorption factors (time, dose and pH) showed that the best removal rates of this pollutant (Erionyl red) by the selected carbon (CHA1) are obtained for a time of 30 min, a dose of 4 g/L and at acid pH equal to 2. Moreover, the results show that the adsorption of the pollutant by this adsorbent is of type L and follows perfectly the Langmuir model with an adsorption capacity of 250mg/g. The adsorption kinetics follows the pseudo-second order model with a calculated capacity almost similar to the experimental one.

Keywords: Adsorption; Activated carbon; Erionyl red.

Liste des figures

Figure I.1. Schéma de l'adsorption physique.	5
Figure I.2. Mécanisme du transport d'un adsorbat au sein d'un liquide.	6
Figure I.3. Représentation graphique de l'isotherme de Freundlich.	8
Figure I.4. Représentation graphique de l'équation de Langmuir.	9
Figure I.5. Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre.	11
Figure I.6. Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo second ordre.	12
Figure I.7. Représentation linéaire du modèle cinétique de la diffusion intraparticule.	13
Figure I.8. Formes du charbon actif	15
Figure I.9. Forme des zéolithes	16
Figure I.10. Forme d'argile	16
Figure II.1. Structure du rouge Erionyl.	21
Figure II.2. Courbe d'étalonnage du rouge Erionyl.	23
Figure II.3. Evolution du taux d'élimination en fonction du temps.	24
Figure II.4. Evolution du taux d'élimination en fonction de la dose.	25
Figure II.5. Evolution du taux d'élimination en fonction du pH.	26
Figure II.6. Isotherme d'adsorption du rouge Erionyl.	28
Figure II.7. Application du model de Langmuir pour l'adsorption du rouge Erionyl.	28
Figure II.8. Application du model de Freundlich pour l'adsorption du rouge Erionyl.	29
Figure II.9. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du rouge Erionyl
(Pseudo premier ordre).	31
Figure II.10. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du rouge Erionyl
(Pseudo deuxième ordre).	31
Figure II.11. Représentation graphique de la diffusion intra particule.	32
Figure II.12. Effet de la température sur l'adsorption du rouge Erionyl de concentration 100 mg/L.	34
Figure II.13. Evolution de $\ln K_d$ en fonction de $1/T$ pour l'adsorption du rouge Erionyl de concentration 100 mg/L.	35

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.	6
Tableau I.2. Classement et caractéristiques des pores.....	14
Tableau II.1. Résultats de l'indice d'iode pour le charbon actif	19
Tableau II.2. Résultats de bleu de méthylène pour le charbon actif	20
Tableau II.3. Les propriétés du rouge Erionyl RS.....	22
Tableau II.4. Etablissement de la courbe d'étalonnage du rouge Erionyl.....	22
Tableau II.5. Etude du temps d'équilibre de l'adsorption du rouge Erionyl.....	24
Tableau II.6. Effet de la dose sur l'adsorption du rouge Erionyl avec un charbon actif (1/3, 500°C et 2H).....	25
Tableau II.7. Effet du pH sur l'adsorption du rouge Erionyl de concentration de 100 mg/L.	26
Tableau II.8. Résultats obtenue d'isotherme d'adsorption du rouge Erionyl.....	27
Tableau II.9 .Paramètres de model de Freundlich et de Langmuir.	29
Tableau II.10. Cinétique d'adsorption du rouge Erionyl de concentration 100 mg/L	30
Tableau II.11. Les paramètres cinétiques d'adsorption du rouge Erionyl.....	32
Tableau II.12. Résultats de l'effet de la température sur l'adsorption du rouge Erionyl de concentration de 100 mg/L.....	33
Tableau II.13. Paramètres thermodynamiques d'adsorption du rouge Erionyl (100 mg/L). ..	34

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Rappels bibliographiques

I. Introduction.....	4
I.1. Définition de l'adsorption	4
I.2. Paramètre d'adsorption	4
I.3. Types d'adsorption.....	5
I.3.1. L'adsorption chimique (ou chimisorption)	5
I.3.2. L'adsorption physique (ou physisorption)	5
I.4. Mécanisme d'adsorption	6
I.5. Facteur influençant l'adsorption.....	7
I.6. Isotherme d'adsorption.....	7
I.6.1. Modèle de Freundlich	7
I.6.2. Modèle de Langmuir.....	8
I.6.3. Modèle de Langmuir- Freundlich.....	10
I.7. Cinétique d'adsorption	10
I.7.1. Modèles cinétiques	10
I.7.1.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre	11
I.7.1.2. Modèle cinétique du pseudo second ordre.....	12
I.7.1.3. Diffusion intraparticule	13
I.8. adsorbants.....	13
I.8.1. Charbon actif	13
I.8.1.1. Texture.....	14
I.8.1.2. Les différentes formes du charbon actif.....	14
I.8.2. Les zéolithes	15
I.8.3. Les argiles.....	16

Chapitre II : Partie expérimentale

II.1. Introduction.....	18
II.2. Caractérisation de l'adsorbant.....	18
II.2.1. Indice d'iode.....	18
II.2.1.1. Définition	18

II.2.1.2. Méthode iodométrique.....	18
II.2.1.3. Détermination de l'indice d'iode	19
II.2.2. Indice bleu de méthylène.....	20
II.2.2.1. Protocole expérimental.....	20
II.3. Dosage par spectrophotométrie.....	20
II.3.1. Loi d'absorption.....	20
II.3.2. Loi de Beer- Lambert	20
II.4. Application à l'adsorption du rouge Erionyl	21
II.4.1. Rouge Erionyl RS.....	21
II.4.2. Détermination de la courbe d'étalonnage.....	22
II.4.2.1. Préparation de la solution mère (SM)	22
II.4.2.2. Préparation des solutions filles	22
II.4.2.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage.....	22
II.5. Détermination du temps d'équilibre	23
II.6. Effet de la dose de l'adsorbant sur le processus d'adsorption	24
II.7. L'effet du pH sur l'adsorption du rouge Erionyl	25
II.8. Isotherme d'adsorption du rouge Erionyl	27
II.9. Cinétique d'adsorption du rouge Erionyl.....	30
II.10. L'influence de la température sur le processus d'adsorption du rouge Erionyl	33
II.11. Paramètres thermodynamiques d'adsorption du rouge Erionyl	34
Conclusion.....	37
Références bibliographiques	39

Introduction générale

Introduction générale

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, en effet de nombreuses substances chimique et organiques provenant des activités industrielles ,agricoles ou domestiques atteignent directement ou indirectement les eaux .toutes peuvent avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatique et sur la santé humaine et constitue une source de stress pour l'être humain, donc elle trouve à l'heure actuelle un intérêt particulier à l'échelle internationale.

Ainsi, l'eau est un élément vital pour l'être humain. Il est important de l'avoir en quantité suffisante et en qualité garantissant une vie saine, durable et sans danger à long terme. Les produits chimiques en général ont une certaine toxicité, sont considérés comme des micropolluants cancérigènes et dangereux même lorsqu'ils existent sous forme de traces.

L'élimination de ces polluants est très souvent réalisée par des traitements chimiques classiques tels que : la coagulation-floculation, l'électrocoagulation entre autres, se sont révélés efficaces, mais dans la plupart des cas, très onéreux.

Le traitement par la technique d'adsorption est plus utilisé pour son efficacité dans l'abattement des micropolluants organiques, en mettant en jeu des interactions solide liquide. Les recherches se sont alors orientées vers les procédés de traitement utilisant les matériaux adsorbants, tel que charbons actifs, en raison de leur disponibilité et de leurs faibles coûts.

L'application du charbon actif en poudre ou en grains dans le domaine de traitement des eaux a commencé à se développer après la seconde guerre mondiale. Utilisé initialement durant la première moitié du siècle pour assurer la décoloration des eaux, par la suite le

charbon actif est mis en œuvre dans de très nombreuses stations afin d'affiner la qualité des eaux.

L'objectif de cette étude est l'application d'un charbon actif valorisé à partir d'un déchet végétal existant sur le territoire national en vue de l'élimination des polluants organiques tels que le Rouge Erionyl RS.

Ce mémoire comprend deux parties: Une recherche bibliographique contenant des rappels sur l'adsorption et les adsorbants.

Une partie expérimentale, dans laquelle on étudie l'application à l'adsorption du polluant textile, l'effet des paramètres influençant l'adsorption tels que, la température, le pH, la dose et le temps de contact ainsi que la caractérisation du charbon actif préparé et enfin une étude cinétique de l'adsorption effectuée sur le polluant choisi.

Chapitre I
Rappels
bibliographiques

Chapitre I : Rappels bibliographiques

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons parler en premier lieu de l'adsorption, qui est une technique de dépollution, nous donnerons alors sa définition, ses types ... Nous parlerons en second lieu des adsorbants et en particulier du charbon actif, nous donnerons alors sa définition, ses types.

I.1. Définition de l'adsorption

L'adsorption à l'interface d'un solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans un effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbat. Ce phénomène spontané provient de l'existence à la surface du solide de forces non composées, qui sont de nature physique ou chimique. Ces forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption : la chimisorption et la physisorption [1].

I.2. Paramètre d'adsorption

L'adsorption est un processus exothermique qui se produit donc avec un dégagement de chaleur, ce qui peut conduire à un échauffement du solide et à une réduction des quantités adsorbées. Les variations de températures sont souvent importantes dans les procédés industriels d'adsorption et peuvent constituer un des principaux facteurs de la dégradation de performances. L'exothermicité d'un système d'adsorption est caractérisée par les chaleurs d'adsorption qui peuvent être mesurées par des techniques calorimétriques ou estimées à partir des isothermes d'adsorption à différentes températures [4].

I.3. Types d'adsorption

I.3.1. L'adsorption chimique (ou chimisorption)

La chimisorption est un phénomène d'adsorption qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant. La chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Par ce type d'adsorption, les molécules sont directement liées au solide [5].

La chaleur d'adsorption est relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol [6].

I.3.2. L'adsorption physique (ou physisorption)

Dans l'adsorption physique, les liaisons mises en jeu entre l'adsorbat et l'adsorbant font intervenir des forces d'attraction secondaire dites de Van Der Waals.

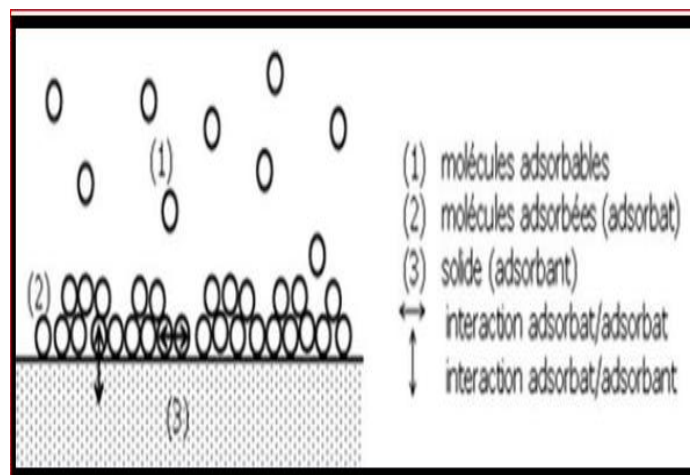


Figure I.1. Schéma de l'adsorption physique.

La physisorption s'accompagne de faibles chaleurs d'adsorption sans changement violent ou structurel sur la surface (les énergies associées à ces liaisons de Van Der Waals sont relativement faibles, et ne dépassent pas les 21 K J/mol (5 Kcal/mol).

Contrairement à la chimisorption, la physisorption peut conduire à une couverture de la surface par plus d'une couche. Elle est non spécifique et en général réversible, où l'équilibre est obtenu lorsque les vitesses d'évaporation et de condensation sont égales.

Tableau I.1 : Principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Nature de liaison	Physique (Van Der Waals)	Chimique
Energie d'adsorption	≤ 5 kcal/mole	> 10 kcal/mole
Température du processus	Relativement basse	Elevée
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	Lente
Etat de surface	Formation de multicouches	Formation d'une monocouche

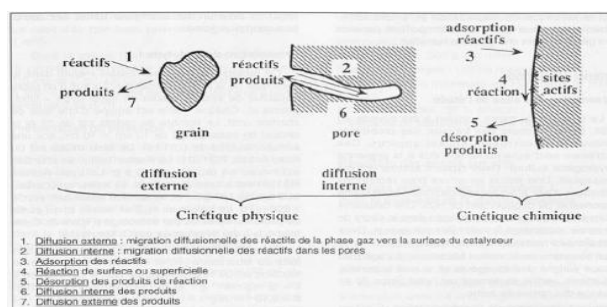
I.4.Mécanisme d'adsorption

A chaque fois qu'un gaz ou un liquide est en contact avec un solide ; celui-ci est retenu par les atomes superficielle du solide et se concentre a sa surface .Ce processus se déroule en trois étapes :

Diffusion externe : elle correspond au transfert du soluté (molécules de la phase liquide) de la solution a la surface externe des particules. Le transfert de matière externe dépend des conditions hydrodynamiques de l'écoulement d'un fluide dans un lit d'adsorbant.

Diffusion interne : les particules de fluide pénètrent a l'intérieur des pores. Elle dépend du gradient de concentration du soluté.

Diffusion de surface ou diffusion superficielle : elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores [7].

**Figure I.2.** Mécanisme du transport d'un adsorbat au sein d'un liquide.

I.5. Facteur influençant l'adsorption

La surface spécifique : La surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux. Il est clair que l'on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique, cette grandeur désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant

La température : Les processus de l'adsorption qui ne se compliquent pas par des réactions chimiques s'accompagnent toujours par de dégagement de chaleur (exothermique), de sorte qu'une augmentation de la température, le phénomène de désorption devient dominant. Par contre, pour une adsorption activée (chimisorption), l'équilibre d'adsorption n'est pas atteint rapidement et l'augmentation de la température favorise l'adsorption.

Le pH : Le pH détermine le degré d'ionisation des métaux dans l'eau et par conséquent leurs mobilités qui influent sur leur adsorption [8].

I.6. Isotherme d'adsorption

L'étude de l'adsorption d'un liquide ou gaz par un solide est en général destinée à fournir des informations sur la surface spécifique et de la structure poreuse du solide.

La quantité d'adsorption fixée par l'adsorbant en fonction de sa concentration dans la solution est représentée par une courbe que l'on appelle « isotherme d'adsorption ».

La capacité d'adsorption est maximale, lorsqu'on atteint la saturation, c'est-à-dire lorsque la concentration d'adsorbat dans la solution reste constante à l'équilibre. Quelques modèles d'adsorption sont décrits ci-dessous:

I.6.1. Modèle de Freundlich

En 1909, Freundlich a observé que l'adsorption des corps dissous par le récipient qui les contient ne semble pas et conduire à des couches d'épaisseur dépassant celle d'une molécule, il a proposé une relation décrivant bien l'équilibre représenté par l'équation suivante :

$$\frac{x}{m} = K_F C_{eq}^{1/n} \quad (1)$$

La constante K_F est égal à la valeur de x/m lorsque la concentration à l'équilibre est égale à 1. Le modèle de Freundlich implique que la distribution d'énergie pour les sites d'adsorption est exponentielle [4]. Les vitesses d'adsorption et de désorption varient avec l'énergie d'adsorption des sites et plusieurs couches sont possibles. Ce modèle ne suppose pas que lorsque la concentration augmente, le recouvrement de surface approche à une valeur limite correspondant à une monocouche complète. Il est utilisé dans les eaux de rejet.

La représentation de $\log(x/m)$ en fonction de $\log(C_{eq})$ est une droite de pente $1/n$ et d'ordonnée à l'origine de $\log(K_F)$.

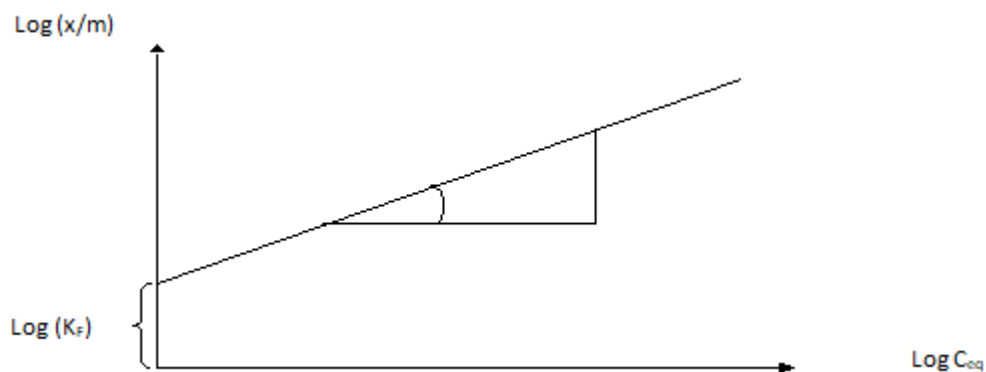


Figure I.3. Représentation graphique de l'isotherme de Freundlich.

I.6.2. Modèle de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé, il repose sur les hypothèses suivantes :

- On admet que seule une couche mono moléculaire se forme sur le solide.
- L'adsorption s'effectue sur des sites bien définis uniformément distribués sur la surface du solide.
- Tous les sites sont thermodynamiquement équivalents et il n'y a pas d'interaction entre les particules adsorbées.

Ce modèle a deux paramètres à la forme suivante :

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

Où :

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

X/m : Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption. (mg/g)

K_L : Constante correspondant à l'énergie d'adsorption.

b : Capacité maximale d'adsorption.

La représentation graphique de $C_{eq}/(x/m)$ en fonction de C_{eq} est donc une droite d'ordonnée à l'origine $1/K_L b$, et de coefficient angulaire $1/b$.

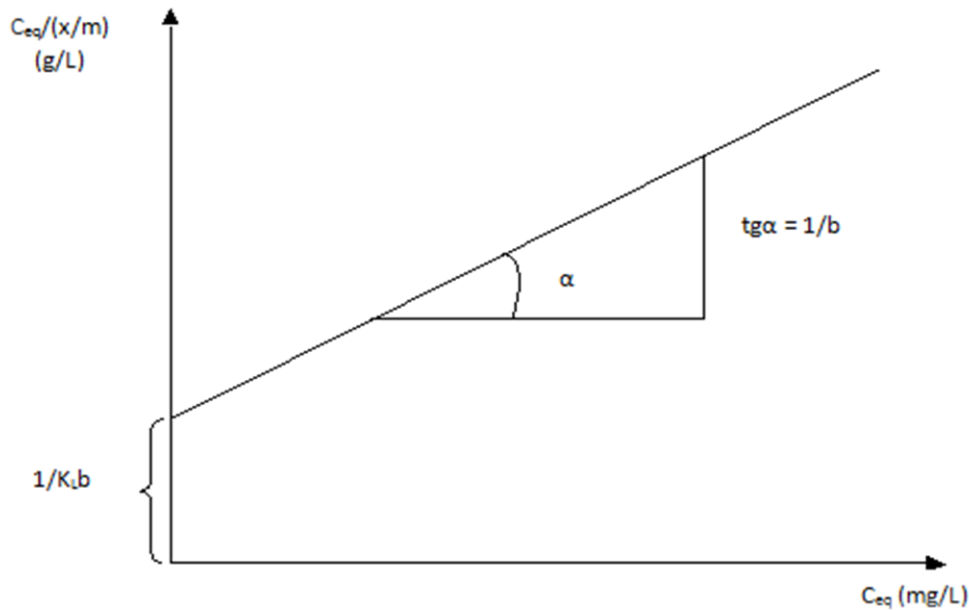


Figure I.4. Représentation graphique de l'équation de Langmuir.

I.6.3. Modèle de Langmuir- Freundlich

Ce modèle a trois paramètres à la forme suivante :

$$\frac{X}{m} = \frac{K_L b C_{eq}^{1/n}}{1 + K_L C_{eq}^{1/n}} \quad (3)$$

Connu aussi par l'équation de Sips [5]. Elle a été utilisée pour l'adsorption du benzène et du toluène des solutions aqueuses sur les charbons actifs granulés [6].

I.7. Cinétique d'adsorption

La connaissance de la cinétique de l'adsorption présente un intérêt pratique considérable pour la mise en œuvre optimale d'un adsorbant dans une opération industrielle fondée sur les phénomènes d'adsorption, ainsi que pour connaître les facteurs conduisant à la cinétique la plus rapide possible [9].

- Le transfert de masse externe, étape qui implique le transfert de l'adsorbat de la phase liquide à la surface de la particule d'adsorbant.
- Le transfert de masse interne, impliquant la pénétration de l'adsorbat dans la système poreux de l'adsorbant.
- L'adsorption proprement dite, cette dernière étape est considérée comme extrêmement rapide en cas des gaz, et lente en cas des liquides. Si l'adsorbant n'est pas poreux, c'est l'étape du transfert de masse externe qui contrôle la vitesse d'adsorption en faisant intervenir les paramètres classiques du transfert de masse. Cependant, avec des adsorbants poreux, ce qui est le cas le plus courant, c'est l'étape de transfert de masse interne qui limite la vitesse d'adsorption.

I.7.1. Modèles cinétiques

Divers modèles de la cinétique d'adsorption sont utilisés afin d'étudier le mécanisme du processus d'adsorption tel que la réaction chimique, la diffusion et le transfert de masse

[10,11]. Deux modèles cinétiques sont souvent utilisés pour l'analyse des résultats expérimentaux.

I.7.1.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre

Le modèle cinétique du pseudo premier ordre peut être exprimé par l'équation suivante [4] :

$$\frac{dq}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (4)$$

Après intégration de l'équation entre les instants 0 et t on obtient :

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k}{2.303} t \quad (5)$$

Avec

k_1 : Constante de vitesse du pseudo premier ordre (heure⁻¹)

t : Temps de contact (heure)

q_e : Capacité d'adsorption (mg /g) du matériau en mono couche (équilibre expérimental)

q_t : Quantité adsorbée (mg /g) par unité de masse du sorbant à l'instant t.

Dans le cas d'une cinétique apparente du premier ordre, le tracé de $\log (q_e - q_t)$ en fonction du temps donne une droite de pente égale à $k_1/2,302$ et une ordonnée à l'origine égale à $\log (q_e)$.

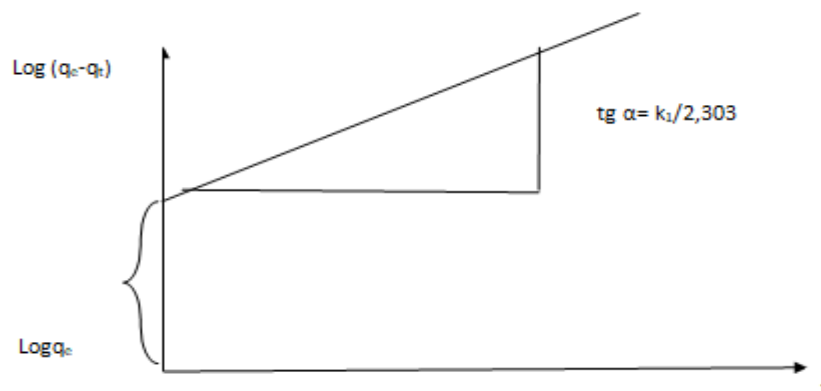


Figure I.5. Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre.

I.7.1.2. Modèle cinétique du pseudo second ordre

Le modèle cinétique du pseudo second ordre de HO et Mc Kay [13,14] est le suivant :

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_{e2} - q_t)^2 \quad (6)$$

L'intégration de cette équation suivie de sa linéarisation nous donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{e2}^2} + \frac{1}{q_{e2}} t \quad (7)$$

Avec

k_2 : Constante de vitesse apparente du pseudo second ordre.

q_{e2} : Capacité d'adsorption du matériau à la saturation (mg/g).

q_t : Quantité de colorant adsorbée (mg/g) par le matériau à l'instant t .

h : Qui correspond à $k_2 q_{e2}$, est la vitesse initiale d'adsorption (mg/g h).

Le tracé de t/q_t en fonction du temps t donnera une droite de pente égale à $1/q_{e2}$ et d'ordonnée à l'origine égale à $1/k_2 q_{e2}^2$. Ces valeurs obtenues permettent la détermination de la constante de vitesse apparente k_2 et la capacité d'adsorption du matériau à la saturation (q_{e2}).

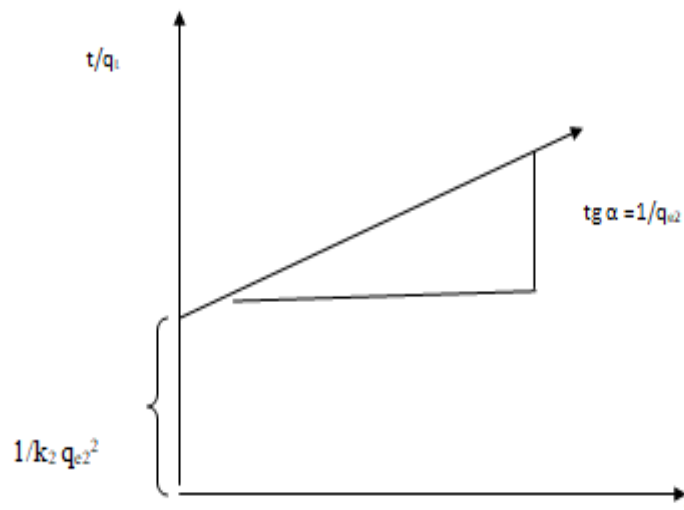


Figure I.6. Représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo second ordre.

I.7.1.3. Diffusion intraparticule

La vitesse de diffusion intraparticule est déterminée en utilisant l'équation suivante [8] :

$$qt = k_{int}t^{1/2} + C \quad (8)$$

Avec :

k_{int} : constante de la vitesse de diffusion ($\text{mg/g h}^{-1/2}$).

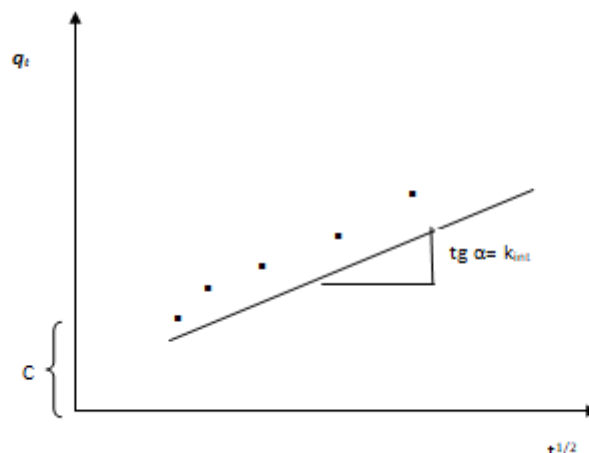


Figure I.7. Représentation linéaire du modèle cinétique de la diffusion intraparticule.

I.8. adsorbants [13]

Les adsorbants ont une caractéristique qu'est l'existence d'un réseau très développé de micropores, lesquels sont à l'origine de leur pouvoir adsorbant très important. Par conséquent, ces derniers constituent les matériaux les plus fabriqués et les plus utilisés dans la dépollution. Ils sont de différents types.

I.8.1. Charbon actif

Les charbons actifs sont des adsorbants formés majoritairement par des micropores et des méso pores de différents diamètres. Leur surface spécifique est de l'ordre de $1000 \text{ m}^2/\text{g}$,

ce qui contribue à une grande capacité d'adsorption. Ce paramètre dépend du matériau de base, de la méthode d'activation et de la densité.

I.8.1.1. Texture

La texture du charbon actif 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'intérieur de la particule de charbon. DUBLIN a classé les pores en trois catégories différentes.

- Macropore.
- Mésopore.
- Micropore.

Tableau I.2. Classement et caractéristiques des pores

	Macropore	Mésopore	Micropore
Rayon en nm	50 - 100	1.8 - 2	<1.8
Volume en mL/g	0,2 – 0,8	0,02 – 0,1	0,15 – 0,5
Surface massique en m²/g	0,5 - 2	25 - 75	95% surface total

I.8.1.2. Les différentes formes du charbon actif

Les formes du charbon actif les plus utilisées sont :

- **Le charbon actif en poudre**

Charbon actif en poudre (CAP) Le charbon actif en poudre présente une granulométrie inférieure à 100 micromètres (100 μm) avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25 μm . Il a une large surface externe et une faible profondeur de diffusion ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide

- **Le charbon actif en grain**

Charbon actif en grain (CAG) La forme granulaire du charbon est caractérisée par une taille des particules supérieure à 1 millimètre (1 mm), un faible diamètre des pores,

une grande surface interne et une surface externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans le processus d'adsorption.



Figure I.8. Formes du charbon actif

I.8.2. Les zéolithes

Les zéolithes sont des solides microporeux cristallisés, avec une structure fondée sur une charpente rigide anionique comportant des canaux et des cavités bien définis. La porosité parfaitement contrôlée et la présence de charge négative due à la présence de l'aluminium dans la charpente confèrent à ces matériaux des propriétés remarquables qui leur permettent de trouver des applications dans des domaines très variés et de nouvelles applications sans cesse envisagées. La charge négative de la maille est neutralisée par des cations de charge positive, typiquement des cations alcalins ou alcalino-terreux localisés à l'intérieur des pores des matériaux. Les cations de compensation sont souvent échangés et peuvent être remplacés par une grande variété de cations alcalins, métaux de transition, cations organiques et inorganiques.



Figure I.9. Forme des zéolithes

I.8.3. Les argiles

L'argile désigne une matière rocheuse naturelle à base de silicates ou d'aluminosilicates hydratés de structure lamellaire, provenant en général de l'altération de silicates à charpente tridimensionnelle, tels que les feldspaths.



Figure I.10. Forme d'argile.

Chapitre II

Partie expérimentale

Chapitre II : Partie expérimentale

II.1. Introduction

Dans cette étude nous avons travaillé avec un charbon actif déjà préparé au laboratoire, en vue d'élimination d'un colorant industriel textile.

Dans cette partie nous avons fait la caractérisation du charbon actif et son application à l'adsorption, à savoir :

- le mode opératoire ainsi que les techniques de mesure suivis pour l'étude d'adsorption, ainsi que les résultats obtenus.

II.2. Caractérisation de l'adsorbant

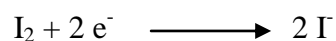
II.2.1. Indice d'iode

II.2.1.1. Définition

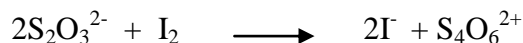
L'indice d'iode fournit une indication sur la micro porosité du l'adsorbant. C'est le nombre de milligrammes d'iode adsorbé par gramme d'adsorbat à une concentration résiduelle de 0,02 N.

II.2.1.2. 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'oxydoréduction, si l'on ajoute de l'iode libre à une solution de thiosulfate de sodium (réducteur), il se produit la réaction suivante :



II.2.1.3. 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.

On pèse 1g de chaque adsorbant préparé qui a été séché auparavant à 150 °C dans l'étuve pendant 3 heures, on le transpose dans un erlenmeyer, ajouter 10 mL de HCl et remuer doucement jusqu'à ce que l'échantillon soit complètement mouillé, on porte à ébullition pendant 30 secondes, on laisse refroidir à température ambiante, puis on ajoute 100 mL de la solution d'iode dans l'erlenmeyer, on agite rigoureusement pendant 30 secondes, on filtre, ensuite on écarte les 20 à 30 mL du filtrat et on récupère le reste dans un bécher. On pipete 50 mL du filtrat dans un erlenmeyer propre de 250 mL, on titre avec $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ jusqu'à ce que la solution devienne jaune pâle, on y ajoute 2 mL d'amidon ou de thiodène fraîchement préparé et on termine le dosage jusqu'à ce que la solution devienne transparente, on note le volume V'.

Le tableau II.1 ci-dessous résume les valeurs d'indice d'iode pour les deux charbons actifs.

Tableau II.1. Résultats de l'indice d'iode pour le charbon actif

Charbon actif	CA1 (R=1/3 t=2h T= 500 °C)
Indice d'iode (mg/g)	804,48

D'une façon générale, l'indice d'iode est une grandeur essentielle pour indiquer la performance. Il donne une conception sur la surface complète de l'adsorption des micropolluants.

II.2 .2. Indice bleu de méthylène

II.2.2.1. Protocole expérimental

Le bleu de méthylène est un colorant type qui sert à calculer la surface accessible aux molécules assez grandes. Une masse de 0,1 g de charbon actif étudié est agité avec 25 mL de solution de bleu de méthylène à de concentration de 1200 mg (solution mère), le mélange est agité pendant 30 mn puis filtré et analysé.

Tableau II.2. Résultats de bleu de méthylène pour le charbon actif

Charbon actif	CA1 (2h, 500°C et rapport 1/3)
Indice BM (mg/g)	188,3

L'indice BM est aussi bien une grandeur essentielle pour la caractérisation de notre charbon. Il donne une conception sur la surface complète de l'adsorption des méso polluants.

II.3. Dosage par spectrophotométrie

L'analyse spectrophotométrie est fondée sur l'étude du changement d'absorption de la lumière par un milieu, en fonction de la variation de la concentration d'un constituant.

En analyse spectrophotométrie, on utilise une lumière sensiblement monochromatique. Cette méthode d'analyse est intéressante car elle permet de travailler sur des faibles quantités de substance et elle est non destructive vis-à-vis de l'échantillon : elle s'applique à un très grand nombre de dosage

II.3.1. Loi d'absorption

Les lois générales d'absorption sont valables pour les spectres d'absorption dans les domaines ultraviolets et visibles.

II.3.2. Loi de Beer- Lambert

Soit un faisceau de lumière monochromatique traversant une épaisseur l de solution d'un corps adsorbant. Soit I_0 la puissance rayonnante à l'entrée de la solution et I la puissance rayonnante à la sortie, C la concentration du corps absorbant et ℓ l'épaisseur de la cuve.

La loi de Beer-Lambert s'exprime sous la forme suivante :

$$A = \log(I_0/I) = \log(1/T) = k C \ell$$

Avec :

T : Facteur de transmission ou transmittance.

A : Absorbance ou densité optique.

C : Concentration massique du composé dosé.

I, I₀ : Intensité du faisceau émergent et incident.

K : Coefficient spécifique d'absorbance

ℓ: Epaisseur de la cuve.

II.4. Application à l'adsorption du rouge Erionyl

L'adsorption du rouge Erionyl a été effectuée sur un déchet végétal valorisé par activation chimique de rapport (1/3) suivi d'une activation thermique à une température de 500 °C pendant un temps de 2 h dans un four.

II.4.1. Rouge Erionyl RS

Rouge erionyl RS (AR 114), c'est un colorant bis-azoïque dérivé de la 3,3'-diméthylbenzidine, est utilisé pour teindre la laine, la soie, le jute et le cuir.

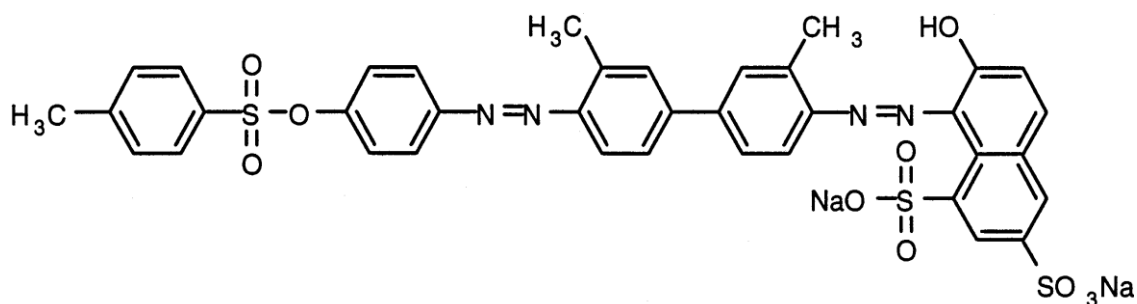


Figure II.1. Structure du rouge Erionyl.

Tableau II.3. Les propriétés du rouge Erionyl RS

Propriétés chimiques	
Formule brute	$C_{37}H_{28}N_4Na_2O_{10}S_3$
Masse molaire	830,8 g/mole
Propriétés physiques	
Nom chimique	8 - [3,3'-Diméthyl-4 ' [4 - [[4-méthylphényl] sulfonyl (oxy) phényle) azo] [1,1'-biphényl] -4-yl -hydroxy- Acide 1,3-naphtalènedisulfonique, sel di sodique
Solubilité	0,1 g.L ⁻¹ à 22,5 °C dans l'eau et très soluble dans l'éthanol

II.4.2. Détermination de la courbe d'étalonnage

II.4.2.1. Préparation de la solution mère (SM)

Une solution mère a été préparé en pesant 1g de rouge Erionyl, qu'on a dissout dans une fiole de 1000 mL, et on a complète avec de l'eau distillée, la concentration correspondante est de 1000 mg/L.

II.4.2.2. Préparation des solutions filles

A partir de la solution mère, on prépare des solutions étalon de concentration de 6 à 30 mg/L, on prélève un volume bien déterminer pour chaque concentration et on le met dans une fiole de 50 mL et on complet avec de l'eau distillée.

II.4.2.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Chaque étalon a été analysé dans le domaine du visible par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 497 nm, qui a été déterminée par balayage.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau II.4 et représentés graphiquement sur la figure II.2.

Tableau II.4. Etablissement de la courbe d'étalonnage du rouge Erionyl

C (mg/L)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Abs	0,008	0,02	0,028	0,039	0,04	0,051	0,057	0,073	0,08

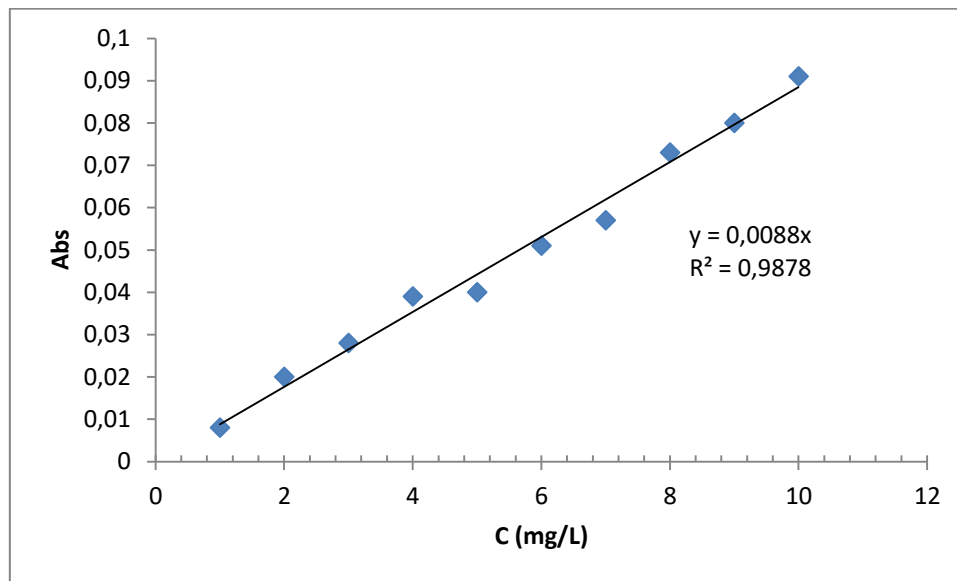


Figure II.2. Courbe d'étalonnage du rouge Erionyl.

Cette courbe d'étalonnage permet ensuite de retrouver la concentration inconnue de la solution à doser.

II.5. Détermination du temps d'équilibre

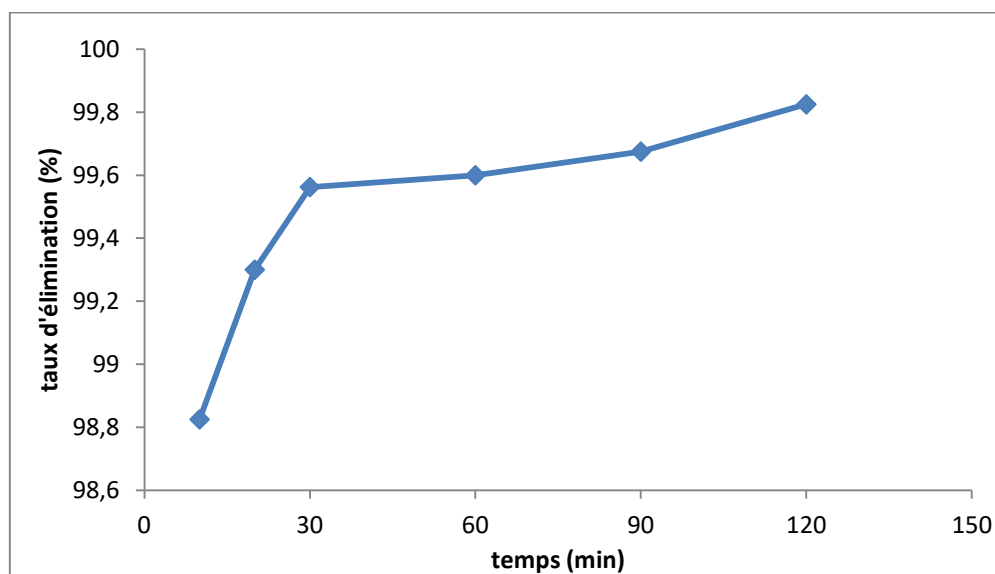
Afin d'étudier le temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption de rouge Erionyl, nous avons préparé une solution arbitraire de concentration 50 mg/L et nous avons suivi la procédure suivante :

Dans une série de béchers, on a introduit successivement 0,1 g de l'adsorbant et 25 mL de la solution de rouge Erionyl préparée. L'ensemble est agité à des temps d'agitation de 5 ; 30 ; 60 ; 90 et 120 minutes, puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau II.5 et représenté graphiquement sur la figure II.3.

Tableau II.5. Etude du temps d'équilibre de l'adsorption du rouge Erionyl.

$C_0=100 \text{ mg/L}$						
Temps (min)	10	20	30	60	90	120
C_e (mg/L)	1,17	0,7	0,44	0,4	0,32	0,17
Taux (%) d'élimination	98,82	99,3	99,56	99,6	99,67	99,82

**Figure II.3.** Evolution du taux d'élimination en fonction du temps.

On constate d'après la figure II.3 que le taux d'élimination de polluant du rouge Erionyl augmente avec le temps, jusqu'à atteindre une valeur constante, caractéristique de l'état d'équilibre entre le charbon et la substance présente dans la solution aqueuse.

Le temps nécessaire pour atteindre cet état d'équilibre est égal à 30 min pour le polluant ainsi que pour toutes les concentrations étudiées.

Toutes les expériences d'adsorption suivantes seront faites avec un temps de contact adsorbant /adsorbat de 30 min.

II.6. Effet de la dose de l'adsorbant sur le processus d'adsorption

On introduit dans une série de béchers contenant successivement des masses de 0,025 ; 0,05 ; 0,075 ; 0,1 ; 0,125 ; 0,150 et 0,2 grammes de notre adsorbant, 25 mL de la solution du polluant de concentration 100 mg/L pour rouge Erionyl. L'ensemble est agité pendant 30 min puis centrifugé et analysé par un spectrophotomètre.

Les résultats de ces mesures sont regroupés dans le tableau II.6 et représentés graphiquement sur la figure II.4.

Tableau II.6. Effet de la dose sur l'adsorption du rouge Erionyl avec un charbon actif (1/3, 500°C et 2H)

Masse (g)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2
Dose (g/L)	1	2	3	4	6	8
C_e (mg/L)	7,95	5,44	4,64	0,36	0,23	0,11
Taux (%) d'élimination	92,05	94,56	95,36	99,64	99,77	99,89

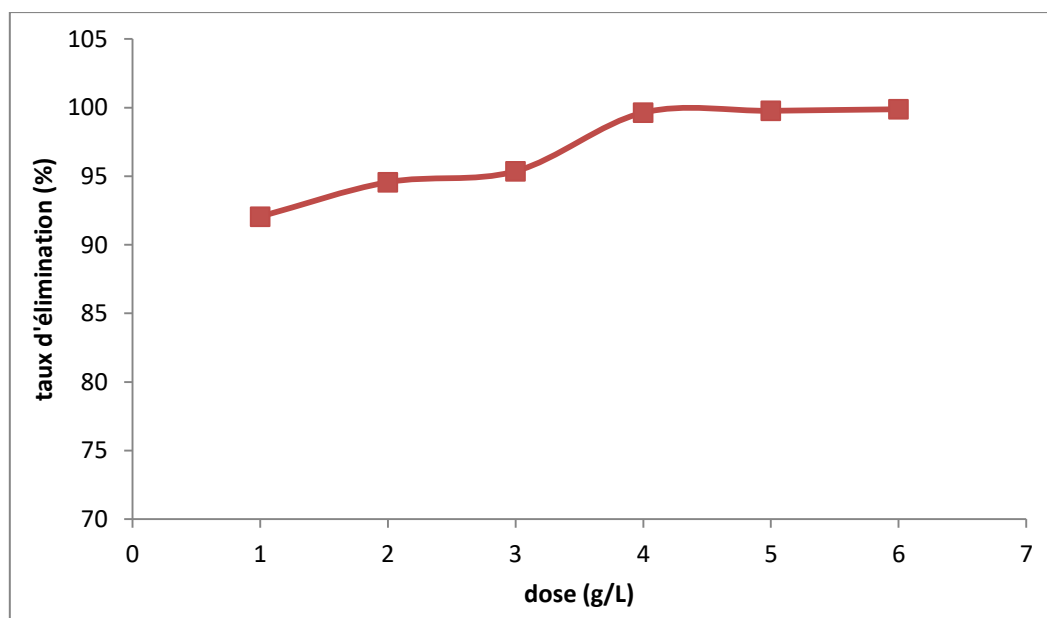


Figure II.4. Evolution du taux d'élimination en fonction de la dose.

La figure II.4 montre qu'une augmentation dans la masse du charbon cause une augmentation du taux d'élimination, et que le taux maximal d'adsorption est atteints pour une dose de charbon égale à 0,1 g /L.

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

II.7. L'effet du pH sur l'adsorption du rouge Erionyl

pH signifie le potentiel d'hydrogène. C'est la mesure qui nous permet de déterminer si une solution est acide ou alcaline. Le pH influe sur l'adsorption du fait de la nature de

l'adsorbant dont les sites comportent des groupements fonctionnels organiques qui peuvent être chargés et se dissocier suivant la valeur du pH.

Dans une séries de béchers, on a introduit successivement 25 mL de la solution de rouge Erionyl de concentration 100 mg/L au quelle on a ajouté une masse de 0,1g de charbon actif, on a ajusté le pH à différentes valeurs.

Le mélange est agité magnétiquement pendant une 30 mn, puis la suspension est séparée par centrifugation. La concentration résiduelle en solution de rouge Erionyl est déterminée par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 497 nm.

Tableau II.7. Effet du pH sur l'adsorption du rouge Erionyl de concentration de 100 mg/L.

pH	2	4	6,96	9	11
C_e (mg/L)	1,16	4,81	9,67	2,4	7,19
Taux (%) d'élimination	98,84	95,19	90,32	97,6	92,81

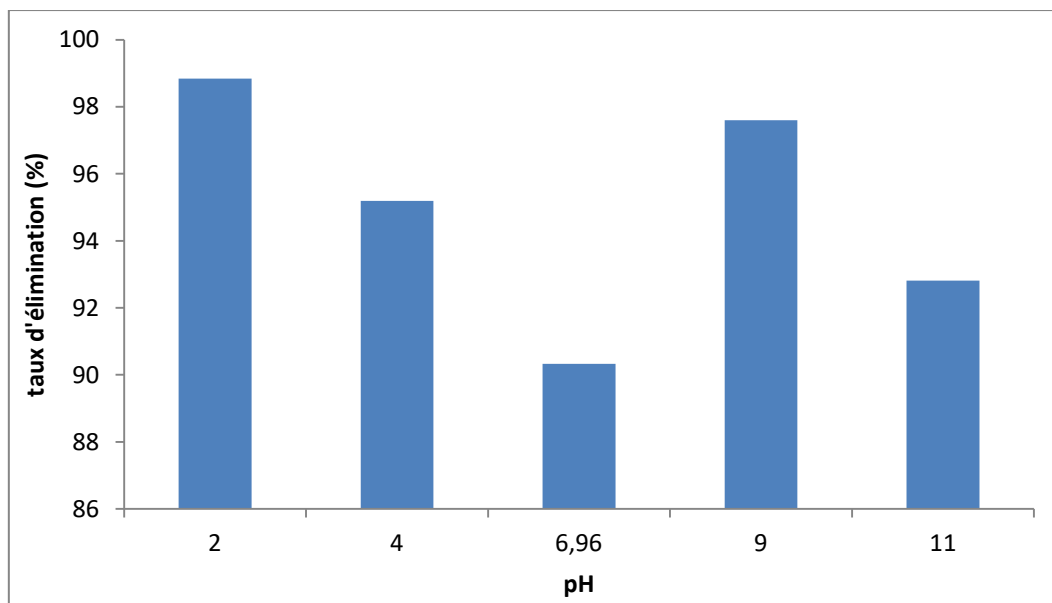


Figure II.5. Evolution du taux d'élimination en fonction du pH.

D'après la figure, on constate que la capacité d'adsorption de rouge Erionyl la plus élevée est obtenue pour un pH=2; c'est à ce pH que va être établie l'isotherme d'adsorption.

II.8. Isotherme d'adsorption du rouge Erionyl

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique représentative de l'équilibre thermodynamique entre adsorbant/adsorbat. Il caractérise le processus d'adsorption, et exprime la quantité d'adsorbat présente sur l'adsorbant x/m (exprimée mg/g) en fonction de la quantité d'adsorbat restant en solution C_e (exprimée en mg/L).

Dans une série de béchers contenant 25 mL de solution de concentrations qui varient entre 100 à 1000 mg/L, l'ensemble est agité pendant un temps de contact déterminé, puis centrifugé et analysé

La quantité x/m (masse adsorbée par gramme d'adsorbant) est déterminée par l'équation suivante :

$$\frac{x}{m} = \frac{(C_0 - C_e)}{m \cdot 1000} \cdot V$$

Où :

C_0 : Concentration initial de l'adsorbat (mg/L),

C_e : Concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg/L),

m : Masse d'adsorbant (g),

V : Volume d'adsorbat (mL),

Les valeurs de cette étude sont récapitulées dans le tableau II.8 et représentées graphiquement sur les figures : II.7, II.8 et II.9

Tableau II.8. Résultats obtenue d'isotherme d'adsorption du rouge Erionyl.

C_0 (mg/L)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
C_e (mg/L)	14,25	16,87	25,37	51,12	79,75	90	136,4	197,5	236,2	280
q_e (mg/g)	21,44	45,78	68,66	87,22	105,06	127,5	140,9	150,6	165,9	180

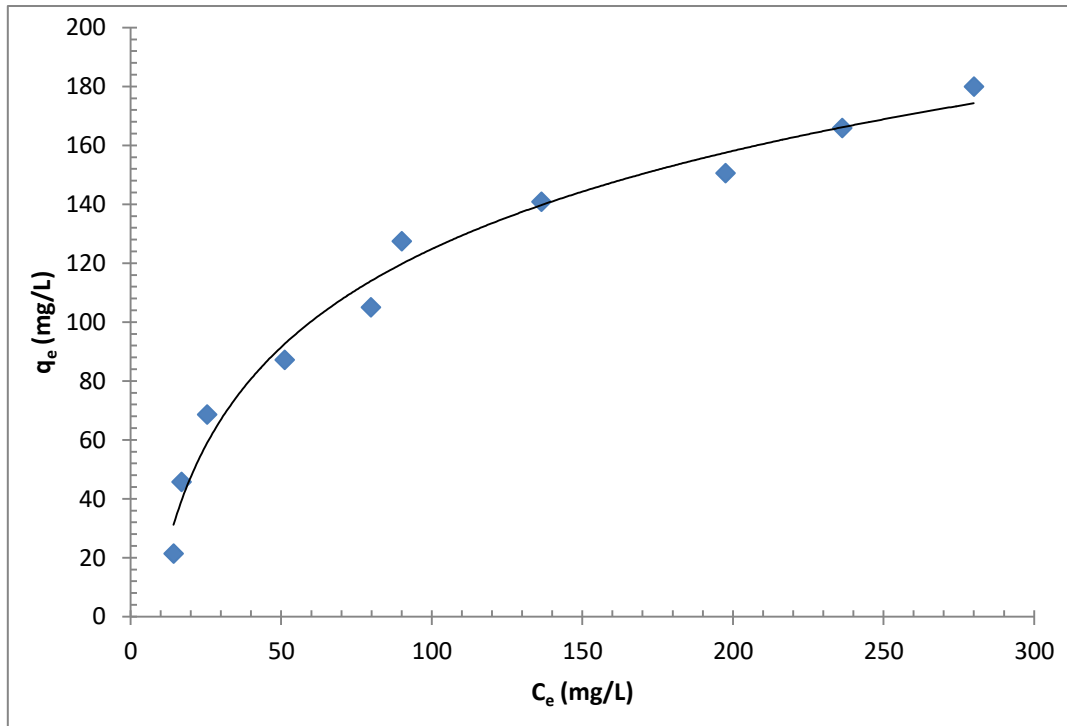


Figure II.6. Isotherme d'adsorption du rouge Erionyl.

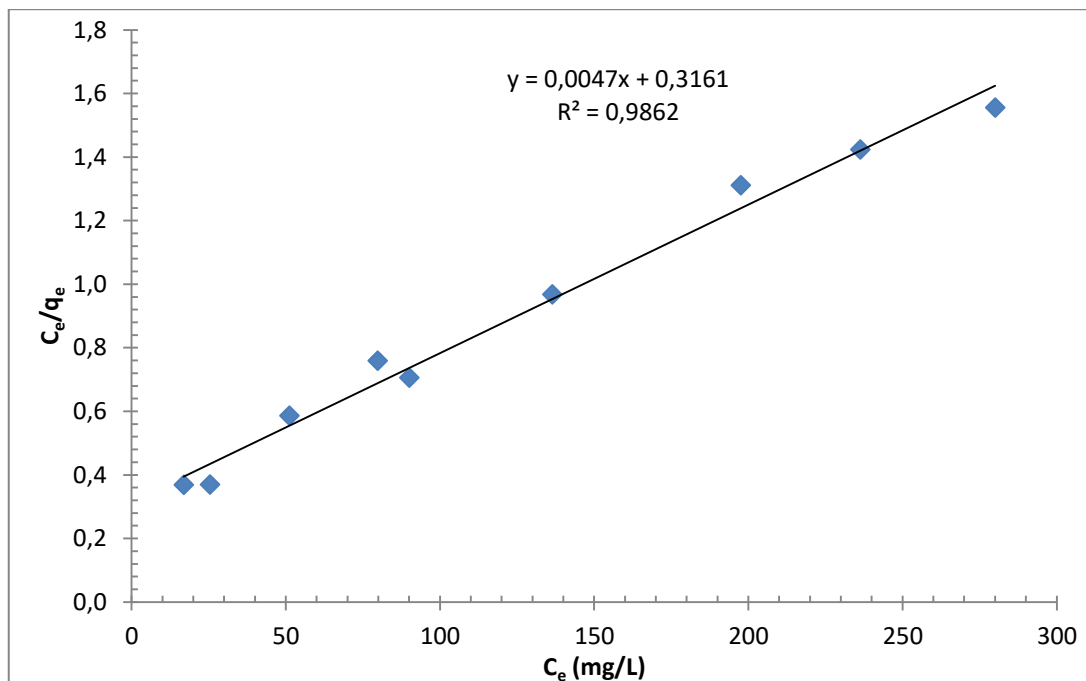


Figure II.7. Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du rouge Erionyl.

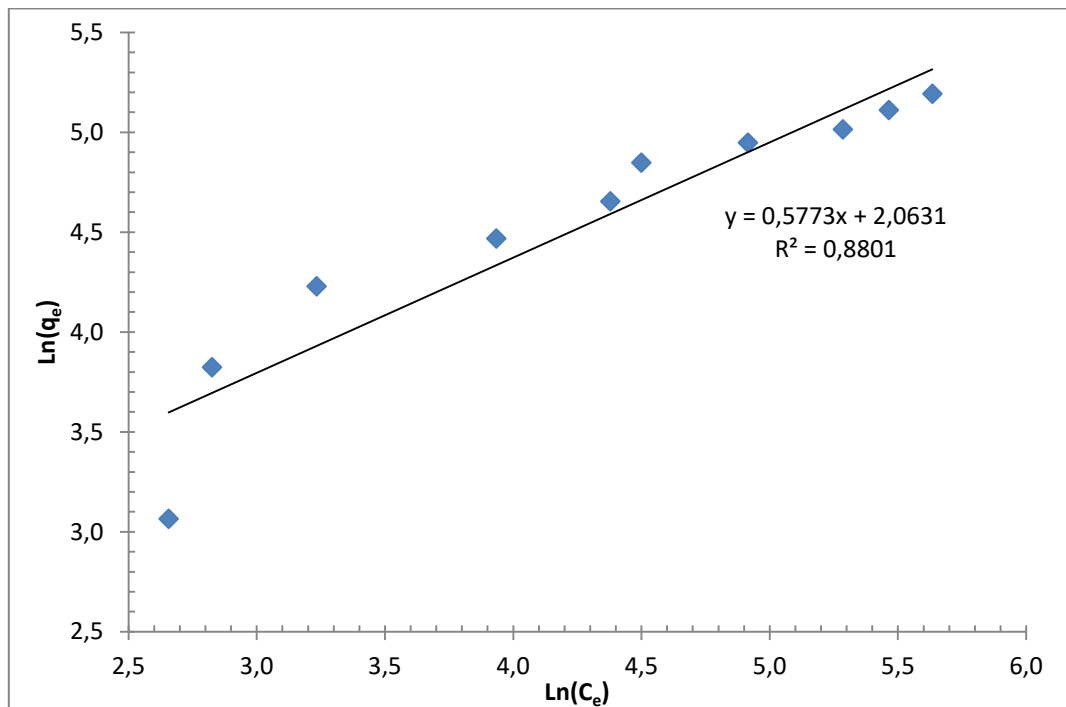


Figure II.8. Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du rouge Erionyl.

Les figures II.6, II.7 et II.8 nous montrent que :

- la capacité d'adsorption du rouge Erionyl par l'adsorbant augmente avec l'augmentation de la concentration initiale.
- L'isotherme présente un palier indiquant la saturation des sites de la surface.

La linéarité de droite de la figure II.8 avec un coefficient de détermination $R^2=0,9862$ montre que le système étudié suit le modèle de Langmuir.

La pente et l'ordonnée à l'origine déterminent la capacité maximale d'adsorption b ainsi que la constante K_L pour l'adsorbant étudié.

Tableau II.9. Paramètres de modèle de Freundlich et de Langmuir.

Modèle de Freundlich			Modèle de Langmuir		
$y = 0,5773x + 2,0631$			$y = 0,0047x + 0,3161$		
n	K_F	R^2	b (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2
1,7331	7,8695	0,8801	250	0,001264	0,9862

Le tableau II.9 donne les équations des droites obtenues ainsi que les constantes et les coefficients de corrélation et confirme que ce système est bien décrit par le modèle de Langmuir.

II.9. Cinétique d'adsorption du rouge Erionyl

Les modèles cinétiques sont pris en considération afin d'étudier le processus d'adsorption de rouge Erionyl, en prenant des temps de contact inférieurs au temps d'équilibre, avec les doses et pH optimum trouvés au paravent.

L'étude de La cinétique d'adsorption de rouge Erionyl sur l'adsorbant a été suivie en appliquant les modèles de (pseudo-premier et pseudo-deuxième ordre). Nous citons les modèles cinétiques étudiés pour l'élimination de rouge Erionyl par l'adsorbant avec concentration de 100 mg/L.

Dans une série des béchers nous avons introduit 25 mL de solutions de rouge Erionyl, ajusté au pH optimal de solution et nous avons ajouté 0,1g d'adsorbant, l'ensemble est agité à des temps de 10 ; 15 ; 20 ; 25 et 30 minutes puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

Les résultats de ces mesures sont mentionnés dans le tableau II.10 et représentés sur les figures II.9 à 11.

Tableau II.10. Cinétique d'adsorption du rouge Erionyl de concentration 100 mg/L

Temps (min)	10	15	20	25	30
C_0 (mg/L)	100	100	100	100	100
C_e (mg/L)	6,62	7,37	6,37	3,75	0,62
q_e (mq/g)	23,34	23,16	23,41	24,06	24,84
$q_e - q_t$ (mq/g)	1,500	1,500	1,438	0,781	0

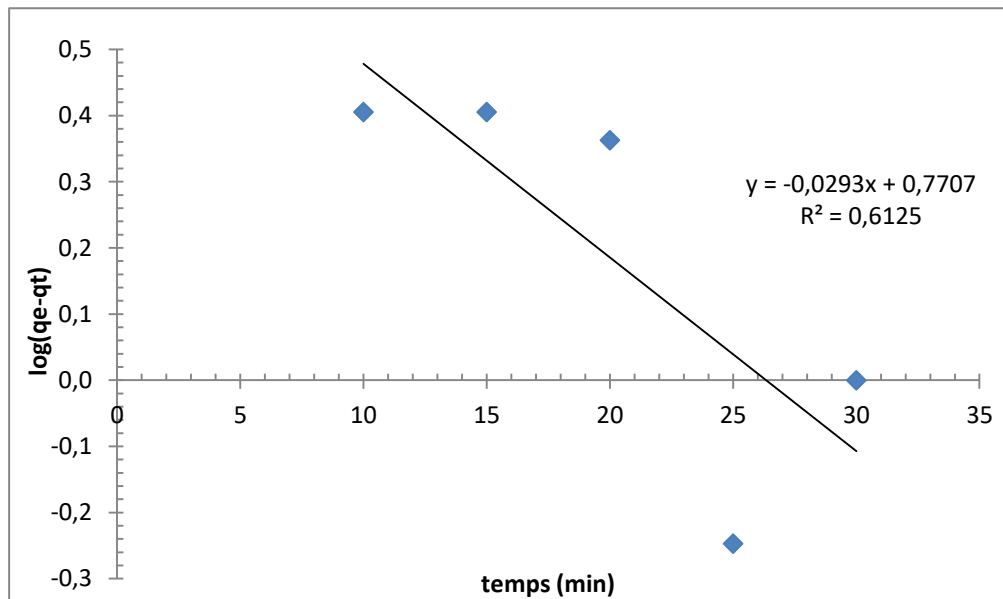


Figure II.9. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du rouge Erionyl (Pseudo premier ordre).

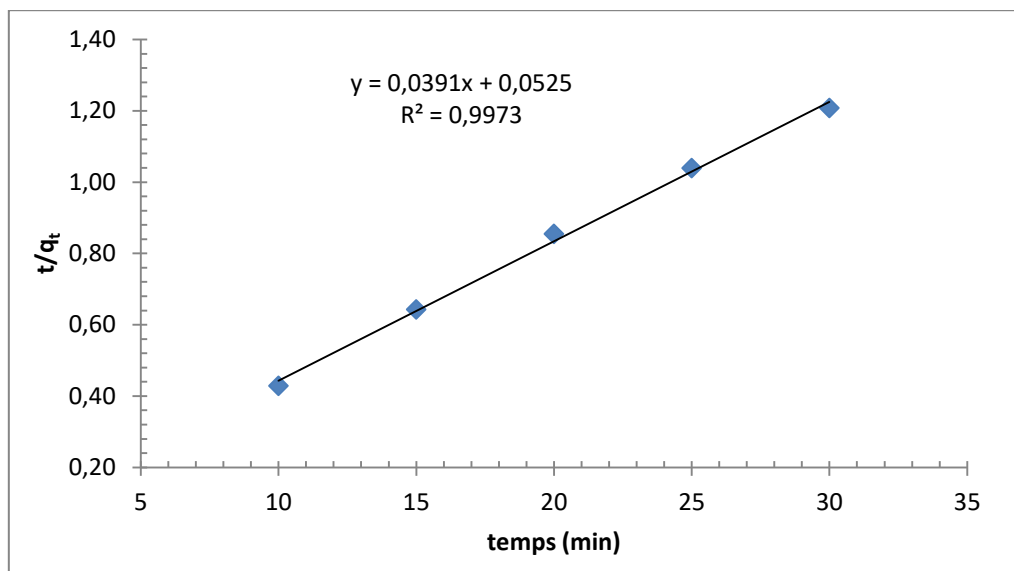


Figure II.10. Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du rouge Erionyl (Pseudo deuxième ordre)

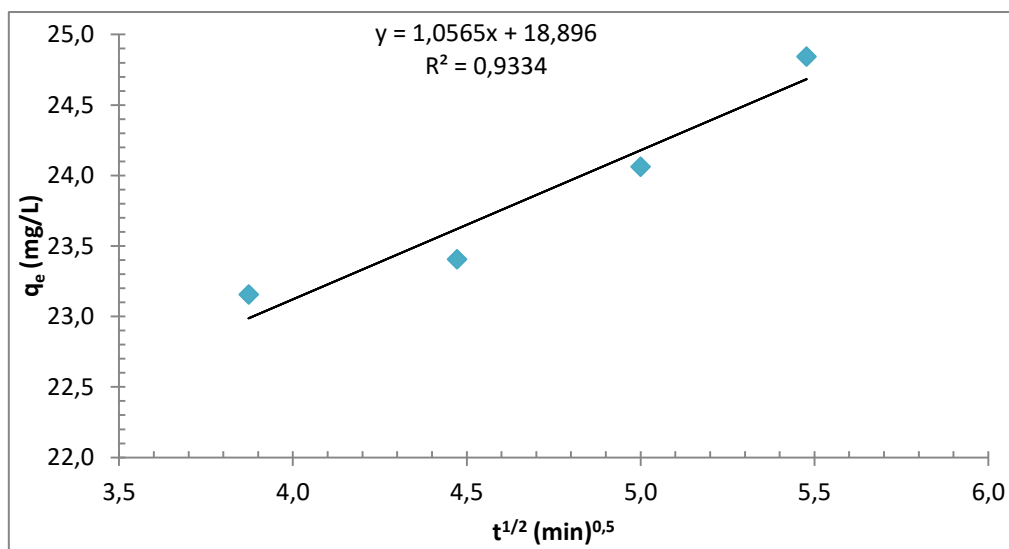


Figure II.11. Représentation graphique de la diffusion intra particule.

D'après ces résultats, on remarque que l'application du modèle de pseudo premier ordre pour l'adsorption de rouge Erionyl donne des coefficients de détermination (R^2) bas et la quantité fixée par gramme de l'adsorbant à l'équilibre ne correspondent pas à celle trouvées.

Expérimentalement. L'adsorption de rouge Erionyl par l'adsorbant étudié n'est pas un processus de pseudo premier ordre ; par contre les coefficients de détermination (R^2) du pseudo second ordre sont élevés et varient de 0,99 à 1, les quantités adsorbées sont presque égales à celle trouvées à l'équilibre. On peut conclure que l'adsorbant suit bien le modèle du pseudo second ordre.

Tableau II.11. Les paramètres cinétiques d'adsorption du rouge Erionyl.

q_{exp} (mg/g)	Pseudo 1 ^{er} ordre			Pseudo 2 ^{ème} ordre			Diffusion intra particule		
	q_e (cal) (mg/g)	K_1	R^2	q_e (cal) (mg/g)	K_2	R^2	K_{in}	C	R^2
24,84	2,1597	-0,029	0,6125	25,64	0,02925	0,9973	1,056	18,89	0,933

II.10. L'influence de la température sur le processus d'adsorption du rouge Erionyl

Dans la nature, les phénomènes d'adsorption sont généralement exothermiques alors que la désorption est endothermique. De ce fait, on peut admettre qu'une augmentation de la température affecte beaucoup plus l'adsorption physique que chimique. De nombreuses études de l'influence de la température sur l'adsorption.

Ces études ont montré que la relation entre la température et l'adsorption dépend essentiellement du couple adsorbant/adsorbat.

Des flacons contenant 25 mL de solution de rouge Erionyl de concentration 100 mg/L, puis 0,1 g d'adsorbant sont préparés. Ces flacons sont placés successivement à des températures 25, 35 ,40 et 45 °C dans un bain marie muni d'un thermostat permettant de contrôler la température, chaque flacon est agité pendant une 30 min puis centrifugé et analysé par spectrophotométrie.

Les résultats sont mentionnés dans le tableau II.12 et représenté sur la figure II.12.

Tableau II.12. Résultats de l'effet de la température sur l'adsorption du rouge Erionyl de concentration de 100 mg/L.

Température (K)	298	308	313	318
C_e (mg/L)	7,35	5,625	4,375	6,875
K_d	23,1625	23,59375	23,906	23,281

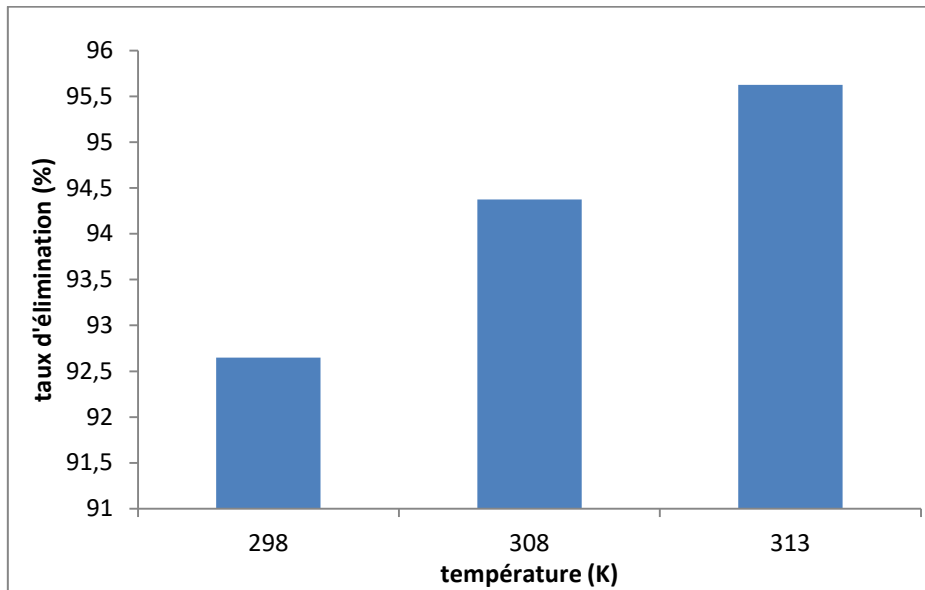


Figure II.12. Effet de la température sur l'adsorption du rouge Eriogonin de concentration 100 mg/L.

II.11. Paramètres thermodynamiques d'adsorption du rouge Eriogonin

L'examen de ces paramètres thermodynamiques montre que le processus d'adsorption sur la substance étudiée, se fait avec une réaction spontanée et favorable ($\Delta G < 0$).

Les valeurs positives de ΔH , montrent que les réactions sont endothermiques ($\Delta H > 0$). La valeur ΔH obtenue est 0,131 kJ/mol donc l'adsorption est de la nature endothermique. Et la valeur de l'entropie ΔS est 31,48 kJ/mol K.

Tableau II.13. Paramètres thermodynamiques d'adsorption du rouge Eriogonin (100 mg/L).

Equation	ΔG° (kJ/mol)			ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (kJ/mol K)
	298 K	308 K	313 K		
$Y = -0,1923x + 3,7874$	-7,78	-8,095	-8,26	0,1314	31,48

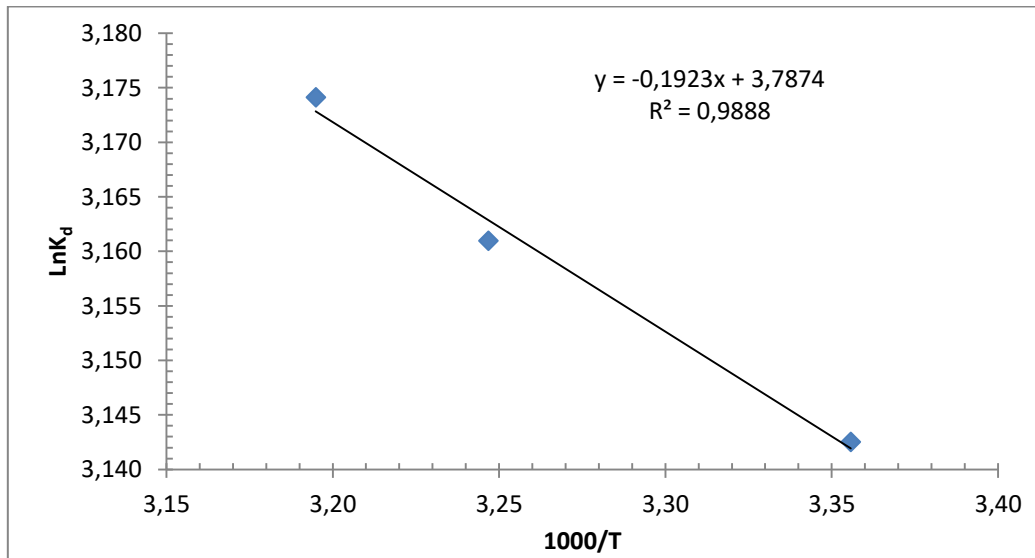


Figure II.13. Evolution de $\text{Ln}K_d$ en fonction de $1/T$ pour l'adsorption du rouge Erionyl de concentration 100 mg/L.

Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail était l'application à l'adsorption d'un polluant organique utilisé dans le domaine textile par charbon préparé au laboratoire à partir d'un déchet végétal

Les résultats obtenus dans cette étude, nous permettent de postuler la remarque suivante.

- La surface de notre charbon actif est assez microporeuse avec un indice d'Iode de 804,4815 mg/g.
- La surface méso poreuse est de 188,297872 m²/g.

Les paramètres de l'adsorption sont:

- Le temps contacte est de 30min, la dose est de 4 g/l et le pH optimale est 2.
- le modèle de Langmuir confirme que ce système est bien décrit avec une capacité d'adsorption $b=250\text{mg/g}$,
- La valeur ΔH obtenue est positive donc l'adsorption est de nature endothermiques.
- La valeur de l'entropie ΔS est 30,48 kJ/mol.
- ΔG obtenue est négative montre que la réaction spontanée, favorable et physique.
- Les résultats de la cinétique montre que cette adsorption suit le model de pseudo 2ème ordre avec une valeur de capacité calculer presque similaire à celle de l'expérimentale

Donc ce charbon peut être recommandé dans le traitement des eaux avec succès.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] E. FORGACS, T. CSERHATI, G. OROS. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environ. Int.* 30 (2004) 953-971.
- [2] H. JANKOWSKA, A. SWIATKOWSKI, and J. CHOMA. "Active carbon," Ellis Harwood (1991).
- [3] G.J. DEVONG. U.S. Patent 3, 886, 088, May 27, (1975).
- [4] D.O. Cooney. Adsorption design for wastewater treatment. Lewis Publishers (1999).
- [5] R. SIPS. *J. Chem. Phys.* (1984) 16, 490-495.
- [6] H. HINDERSO, S. ISMADJI, F. WICAKSANA, N. MUDJIJATI, and N. INDRASWATI. Adsorption of benzene and toluene from aqueous solution onto granular activated carbon. *Journal of Chemical Engineering Data*, (2001) 46: 788-791.
- [7] F. HAIDRA, Z. HACHELEFI. Etude d'adsorption du pentachlorophénol par une dolomie modifiée, mémoire de master, université de Mostaganem, (2016).
- [8] A.ABID, B.GUIRIDA, Etude de l'efficacité d'un charbon actif à base de noix de dattes sur l'adsorption des métaux (calcium), mémoire de master, université de Ouargla, (2011).
- [9] M.P.M. WHITTAKER, and L.I. GRINDSTAFF. Production of activated carbon from rubber and a carbonaceous binder. US Patent (1974).
- [10] J. ACEMIOGLU. *Colloid Interface Sce.* 274 (2004) 371-379.
- [11] P.K. MALIK. *Dyes pigments* 56 (2003) 239-249.
- [13] Y.S.HO, G. MC KAY. *Chem. Eng.J.* 70 (1998) 115-124.
- [14] Y.S .HO, G. MC KAY. *Process Biochem.* 34 (1999) 451-46