



**UNIVERSITE  
JEAN LOROUGNON GUEDE**  
**UFR ENVIRONNEMENT**

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

-----  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :  
2019-2020

N° D'ORDRE : 0301/2021

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0416000767

## **MASTER**

**Physique-chimie**

**Option : Environnement**

### **THEME :**

**Etude expérimentale de l'adsorption du noir  
érichrome T sur du charbon actif issu de coques  
de cabosses de cacao**

**LABORATOIRE :**

**Sciences et Technologies  
de l'Environnement  
(LSTE)**

Présenté par :

**GOULEDEHI Sehontinhin Gilles**

### **JURY**

Président : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. TRAORE Karim Sory, Professeur Titulaire,  
Université NANGUI Abrogoua

Encadreur : M. KOUADIO David Léonce, Maître de Conférences,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. KEDI Atolé Brice, Maître-Assistant,  
Université Jean LOROUGNON GUEDE

**Soutenu publiquement  
le : 16/02/2021**

## **DEDICACE**

J'ai le plaisir de dédier ce document :

A toute la famille GOULEDEHI, surtout

A mon très cher Père.

Rien au monde ne vaut,

Les efforts fournis jour et nuit,

Pour mon éducation et mon bien être.

A mon tuteur KOUAKOU Kouassi Ignace et toute sa famille

A tous ceux qui me sont chers.

## **REMERCIEMENTS**

Ce travail de mémoire de Master en physique chimie Option Environnement est le fruit de la contribution de certaines personnes à qui je dois toute ma reconnaissance.

Je voudrais exprimer ma considération distinguée à la Professeure TIBOU Abiba Sanogo Epouse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon GUEDE de Daloa, pour l'effort consenti dans le but d'améliorer les conditions d'étude et de vie des étudiants de ladite Université.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Professeur KOUASSI Kouakou Lazare, Directeur de l'UFR Environnement à l'Université Jean Lorougnon GUEDE de Daloa, pour avoir accepté de présider ce jury.

Je voudrais adresser mes remerciements au Professeur TRAORE Karim Sory pour avoir accepté la direction scientifique de ce travail.

Le grand mérite revient au Docteur KOUADIO David Léonce, mon encadreur scientifique. Je le remercie pour sa disponibilité, pour son enthousiasme et pour l'attention particulière avec laquelle il a suivi et encadré ce travail.

Il m'est agréable d'exprimer ma reconnaissance aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de lire ce mémoire et aussi d'avoir accepté de le juger en vue de son amélioration.

Ma reconnaissance est également adressée à tous les enseignants de l'Université Jean Lorougnon GUEDE de Daloa précisément aux enseignants du Département Physique-Chimie-Mathématique-Informatique qui ont contribué à ma formation.

Je ne saurais clore ce chapitre sans penser à ma famille, principalement à mon père GOULEDEHI Léon, à mon oncle GUIRAUD Koula Patrice et son épouse GOULEI Prisca, à mes sœurs LAGO Marie Josée dont le soutien financier a été remarquable, et GOULEDEHI Carelle.

J'exprime toute ma reconnaissance à ma tutrice, Madame ZOHIN Reine Pélagie Epouse KOUAKOU qui m'a mis dans de bonnes conditions au cours de ces cinq dernières années.

Mes pensées vont aussi à l'endroit de tous mes amis de la troisième promotion de Master II de physique chimie de l'université Jean Lorougnon Guédé. Je vous suis reconnaissant.

Je ne saurais oublier tous ceux qui, de près comme de loin, m'ont prodigué leurs encouragements et m'ont offert leurs soutiens

## TABLE DES MATIERES

Pages

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS .....	iv
LISTE DES TABLEAUX .....	v
LISTE DES FIGURES .....	vi
INTRODUCTION.....	7
PARTIE I: GENERALITES.....	3
I.1. GENERALITES SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION.....	3
I.1.1. Définition.....	3
I.1.2. Types d'adsorption.....	3
I.1.2.1. Adsorption physique .....	3
I.1.2.2. Adsorption chimique.....	3
I.1.3. Paramètres affectant l'adsorption.....	4
I.1.3.1. Caractéristiques de l'adsorbat .....	4
I.1.3.2. Structure de l'adsorbant .....	4
I.1.3.3. Conditions opératoires .....	4
I.1.4. Isothermes d'adsorption .....	5
I.1.5. Modèle cinétique d'adsorption .....	6
I.1.5.1. Modèle cinétique de pseudo-premier ordre.....	6
I.1.5.2. Modèle cinétique de pseudo-second ordre.....	6
I.1.5.3. Modèle de diffusion intra-particule .....	7
I.1.5.4. Modèle cinétique d'Elovich .....	7
I.1.6. Modèles d'isothermes d'équilibre.....	8
I.1.6.1. Isotherme de Langmuir .....	8
I.1.6.2. Isotherme de Freundlich.....	9
I.2. Généralités sur les colorants .....	9
I.2.1. Définition.....	9
I.2.2. Classification des colorants .....	10

I.2.2.1.	Classification chimique.....	10
I.2.2.2.	Classification des colorants selon le domaine d'application.....	12
I.2.3.	Toxicité des colorants azoïques .....	13
I.3.	Généralités sur la cabosse de cacao et le charbon actif.....	13
I.3.1.	Généralités sur les cabosses de cacao.....	13
I.3.1.1.	Production de cacao en Côte d'Ivoire.....	13
I.3.1.2.	Coques de cabosses de cacao .....	14
I.3.2.	Charbon actif.....	15
I.3.2.1.	Définition .....	15
I.3.2.1.1.	Morphologie des charbons actifs .....	15
I.3.2.2.	Procédé d'élaboration du charbon actif .....	16
I.3.2.2.1.	Carbonisation .....	16
I.3.2.2.2.	Activation.....	16
I.3.2.2.2.1.	Activation physique .....	16
I.3.2.2.2.2.	Activation chimique.....	17
I.3.2.3.	Utilisation du charbon actif.....	17
PARTIE II:	MATERIEL ET METHODES .....	19
II.1.	MATERIEL .....	19
II.1.1.	Biomasse.....	19
II.1.2.	Matériel de laboratoire .....	19
II.1.3.	Appareils.....	20
II.2.	METHODES.....	21
II.2.1.	Préparation des charbons actifs et de la solution mère du colorant .....	21
II.2.1.1.	Préparation des charbon actifs .....	21
II.2.1.2.	Préparation de la solution mère de noir érichrome T.....	22
II.2.2.	Méthode d'analyse .....	23
II.2.3.	Etude de quelques paramètres sur l'adsorption du noir érichrome T.....	24

II.2.3.1.	Influence du temps de contact .....	24
II.2.3.2.	Influence de la dose du charbon actif.....	25
II.2.3.3.	Influence de la concentration initiale du NET .....	25
II.2.3.4.	Influence du volume de la solution .....	26
II.2.4.	Etude des modèles cinétiques de l'adsorption du noir érichrome T .....	26
II.2.5.	Etude des modèles des isothermes de l'adsorption du noir érichrome T .....	26
<b>PARTIE III:</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>26</b>
III.1.	RESULTATS .....	27
III.1.1.	Etude de quelques paramètres de l'adsorption du NET .....	27
III.1.1.1.	Effet du temps de contact et de la concentration.....	27
III.1.1.2.	Influence de la masse de charbon actif.....	28
III.1.1.3.	Influence du volume de la solution .....	28
III.1.2.	Modélisation des cinétiques d'adsorption .....	29
III.1.3.	Modélisation des isothermes d'adsorption .....	33
III.2.	Discussion.....	37
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>40</b>	
<b>REFERENCES.....</b>	<b>41</b>	

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

- OMD : Objectifs du Millénaire pour le développement
- PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- BCEAO : Banque Centrale de Etats de l'Afrique de l'Ouest
- CA : Charbons Actif
- CAP : Charbon Actif en Poudre
- CAG : Charbon Actif en grain
- NET : Noir Erichrome T
- ZnCl<sub>2</sub> : Chlorure de Zinc
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : Acide Sulfurique
- H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> : Acide ortho phosphorique
- UV/visible : Ultra-Violet visible
- PPO : Pseudo-Premier Ordre
- PSO : Pseudo-Second Ordre

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante .....	10
Tableau II : Caractéristiques physiques et chimiques du charbon actif préparé .....	22
Tableau III : Caractéristiques du colorant noir érichrome T.....	23
Tableau IV : Valeurs des paramètres de la cinétique de pseudo- premier ordre .....	31
Tableau V : Valeurs des paramètres du modèle cinétique de pseudo second ordre.....	32
Tableau VI : Valeurs des paramètres du modèle de diffusion intra-particulaire .....	32
Tableau VII : Valeurs des paramètres du modèle cinétique d'Elovich.....	33
Tableau VIII: Paramètres des modèles de Langmuir et de Freundlich .....	36

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Classe des isothermes .....	5
Figure 2: Photographie d'un cacaoyer.....	14
Figure 3: Coques de cabosses de cacao .....	14
Figure 4: coques de cabosses de cacao séchées (a) et broyées (b).....	19
Figure 5: Verrerie utilisée dans la préparation des charbons.....	19
Figure 6: Quelques produits utilisés pour la préparation des solutions.....	20
Figure 7: Appareils utilisés .....	21
Figure 8: Courbe d'étalonnage du noir érichrome T.....	24
Figure 9: Cinétique d'adsorption du Noir érichrome T sur le CA.....	27
Figure 10: Influence de la masse de CA sur la quantité de NET adsorbée à l'équilibre .....	28
Figure 11: Influence du volume de la solution sur la quantité de NET adsorbée à l'équilibre .	29
Figure 12: Modèle du pseudo-premier ordre de la cinétique d'adsorption du NET .....	29
Figure 13: Modèle du pseudo-deuxième ordre de la cinétique d'adsorption du NET .....	30
Figure 14: Modèle de la diffusion intra-particule de la cinétique d'adsorption du NET .....	30
Figure 15: Modèle cinétique d'Elovich.....	31
Figure 16: Isotherme de Langmuir I.....	34
Figure 17: Isotherme de Langmuir II .....	34
Figure 18: Isotherme de Langmuir III.....	35
Figure 19: Isotherme de Freundlich .....	35

# **INTRODUCTION**

Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), l'accès à l'eau potable fait défaut à plus d'un milliard de personnes. Au cours des 25 prochaines années, le tiers de la population mondiale manquera d'eau (OMS, 2004). Ce qui place le problème d'accès à l'eau parmi les huit objectifs du millénaire pour le développement (OMD) (Gueye, 2015). Or, l'eau est l'élément central de tous les processus socio-économiques, quel que soit le degré de développement de la société (Hammami, 2008). Malheureusement, l'augmentation des activités agro-industrielles et textiles engendre une pression grandissante sur les réserves en eau douce de la planète mettant en péril le fragile équilibre naturel qui a permis à la vie de se développer sur la terre (Lucas *et al.*, 2007). En effet, ces activités génèrent une grande diversité de produits chimiques, dont les colorants qui se déversent dans le cycle de l'eau. Ces colorants contenus dans les eaux usées sont difficilement biodégradables et le manque ou l'insuffisance de systèmes de traitement mène ainsi à leurs accumulations dans le cycle de l'eau (Daud *et al.*, 2010).

Pour pallier cette situation de pollution environnementale, le monde scientifique a mis en place plusieurs méthodes physiques, chimiques et biologiques pour traiter et décolorer des effluents pollués. Au rang de ces méthodes, l'on a la coagulation et la floculation, la biodégradation, la filtration membranaire, les procédés d'oxydation, l'ozonation, échange d'ions, les méthodes électrochimiques ... (Rangabhashiyam *et al.*, 2013). Mais, ces méthodes ont l'inconvénient d'être inefficaces pour certains types de polluants et d'être relativement onéreuses (Bouafia, 2010). D'où la nécessité de mettre en œuvre des techniques de traitement simples, efficaces et peu coûteuses. Le processus d'adsorption sur charbons actifs se présente comme l'une des technologies les plus disponibles et les plus utilisées pour éliminer les contaminants organiques dans le traitement des eaux usées (Khoualene & Semmar, 2016). Les charbons actifs sont très connus et très utilisés dans le monde industriel. Ce sont des matériaux carbonés poreux obtenus par pyrolyse de biomasses, qui subissent ensuite une oxydation contrôlée appelée activation qui leur confère une structure poreuse interne très développée (Gueye, 2009).

Afin de faire face aux problèmes de coûts des charbons actifs commerciaux, la recherche s'oriente de plus en plus vers le développement de charbons actifs plus économiques produits à partir de matériaux localement et largement disponibles (Elena, 2002). C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude. Son objectif général est de tester la capacité de rétention d'un colorant anionique modèle, le Noir Eriochrome T (NET), sur des charbons actifs élaborés à partir des coques de cabosse de cacao. De façon spécifique, ce travail consiste à :

- étudier l'influence de quelques paramètres sur l'adsorption du NET sur le charbon actif préparé à partir de coques de cabosse de cacao,
- étudier les modèles cinétiques de l'adsorption du NET par le charbon actif issu de cabosses de cacao,
- étudier les modèles des isothermes de l'adsorption du NET par le charbon actif issu de cabosses de cacao

Pour atteindre ces objectifs, nous avons structuré ce travail en trois parties :

La première partie sera consacrée à une synthèse bibliographique. Elle rappelle la généralité sur le phénomène d'adsorption, les colorants et leurs impacts sur l'environnement, la coque de cabosse de cacao et le charbon actif. La deuxième partie de ce mémoire est une étude expérimentale. Elle présentera d'une part, le matériel et les méthodes utilisés pour la préparation et la caractérisation du charbon actif et d'autre part, les différents tests d'adsorption du NET sur le charbon actif. Enfin, la troisième partie portera sur la présentation des résultats expérimentaux suivit de la discussion. Une conclusion et des perspectives mettront fin à ces travaux.

# **PARTIE I: GENERALITES**

## **I.1. GENERALITES SUR LE PHENOMENE D'ADSORPTION**

### **I.1.1. Définition**

L'adsorption est un phénomène de surface au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer à la surface d'un solide, appelé adsorbant. Par surface du solide, il faut comprendre les surfaces internes et externes générées par le réseau des pores et cavités de l'adsorbant. Les sites sur lesquels les molécules de d'adsorbat se fixent sont appelés sites actifs. Au cours de ce processus, il y a donc un transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide. Le solide acquiert donc des propriétés superficielles (hydrophobie ou hydrophilie) susceptibles de modifier l'état d'équilibre du milieu (dispersion, floculation) (Arias *et al.*, 2002).

### **I.1.2. Types d'adsorption**

On distingue deux types d'adsorption selon la nature des interactions qui lient l'adsorbat à la surface de l'adsorbant ainsi que la quantité d'énergie dégagée au cours du processus (Reungoat, 2007) : l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

#### **I.1.2.1. Adsorption physique**

Appelée également physisorption, elle résulte de l'établissement d'un échange des forces intermoléculaires relativement faibles entre la surface d'un solide et des molécules à proximité de cette surface. Dans ce cas, la rétention est le résultat des liaisons électrostatique de type Van Der Walls (Sedira, 2013). Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de l'adsorbat est court et la surface adsorbante peut être recouverte de multiples couches moléculaires de produit adsorbé. Du point de vu énergétique, l'adsorption physique se produit aux basses températures avec des énergies de l'ordre de 10 Kcal tout au plus. C'est un phénomène réversible, comme le phénomène de condensation.

#### **I.1.2.2. Adsorption chimique**

Appelée également chimisorption, l'adsorption chimique résulte d'une réaction chimique induisant ainsi la formation des liaisons chimiques covalentes et permanentes entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. Dans ce type d'adsorption, le temps de rétention est long et ce processus est nécessairement restreint à une monocouche car une seule couche au plus d'adsorbat peut se lier chimiquement à la surface de l'adsorbant (Lindqvist *et al.*, 2005). Par rapport au premier, l'adsorption chimique se distingue par des énergies d'adsorption plus importantes (jusqu'à 80 kJ.mol<sup>-1</sup>). Elle est aussi favorisée par une élévation de la température. Il est à noter également que ce phénomène est spécifique car la formation de liaisons chimiques

a lieu entre une molécule adsorbée et une position particulière de l'adsorbant (site chimiquement actif).

### **I.1.3. Paramètres affectant l'adsorption**

Le processus d'adsorption et notamment la capacité et la cinétique de rétention d'une substance sur un support est affecté par un nombre important de paramètres et de propriétés de l'adsorbant et de l'adsorbant, lesquelles nous citons : caractéristiques de l'adsorbant, structure de l'adsorbant et les conditions opératoires

#### **I.1.3.1. Caractéristiques de l'adsorbant**

La disposition des molécules sur la surface de l'adsorbant peut fortement influencer le processus d'adsorption (Barani, 2011). En effet, d'un point de vue purement mécanique, il faut que la taille de la molécule soit inférieure au diamètre du pore d'adsorbant afin que celle-ci puisse diffuser rapidement dans le volume poreux et atteindre le site d'adsorption. De plus, les composants les moins solubles sont adsorbés plus facilement car d'après la règle de Lundelius, « moins une substance est soluble dans le solvant, mieux elle est adsorbée » (Salam & Bandor, 2005). Ensuite, plus une substance est polaire, plus importante est son adsorption sur une surface polaire. De même, moins une molécule est polaire, plus grande est son adsorption sur une surface non polaire (Letarte, 1999).

#### **I.1.3.2. Structure de l'adsorbant**

La structure de l'adsorbant joue un rôle important dans la fixation de l'adsorbant, par la taille de ses particules. En effet, la surface de contact devient importante lorsque la taille est petite, ce qui va alors augmenter son pouvoir de rétention. Les adsorbants industriels (essentiellement les charbons actifs) développent des surfaces spécifiques énormes (500 à 1500 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) caractéristiques d'une très forte microporosité (Houas *et al.*, 1996)

#### **I.1.3.3. Conditions opératoires**

D'autres facteurs peuvent également influencer le processus d'adsorption. On peut citer entre autres la température, qui définit la nature de l'adsorption. Du fait de l'exothermicité du processus d'adsorption, celle-ci est moins efficace lorsque la température croît (Medekhel, 2018). Ainsi pour augmenter les capacités d'adsorption, il est toujours intéressant d'opérer à une température la plus basse possible. Le travail à des températures inférieures à 40°C est préconisé. D'autres paramètres tels que le pH, la concentration en adsorbant et en adsorbant, les forces ioniques, le temps de contact adsorbant-adsorbant, la vitesse d'agitation et la masse d'adsorbant affectent aussi le processus d'adsorption.

### I.1.4. Isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui représentent les variations (masse ou volume) du substrat adsorbé (gaz ou liquide) par poids d'adsorbant en fonction de la concentration (en phase liquide) ou de la pression (en phase gazeuse). La forme des isothermes d'adsorption dépend de la nature du polluant, du solvant et du solide. Elle peut renseigner sur les mécanismes d'adsorption des polluants à la surface des solides (Calvet, 1989). Selon Giles *et al.* (1960), on distingue quatre principaux types d'isothermes suivant l'allure de la courbe

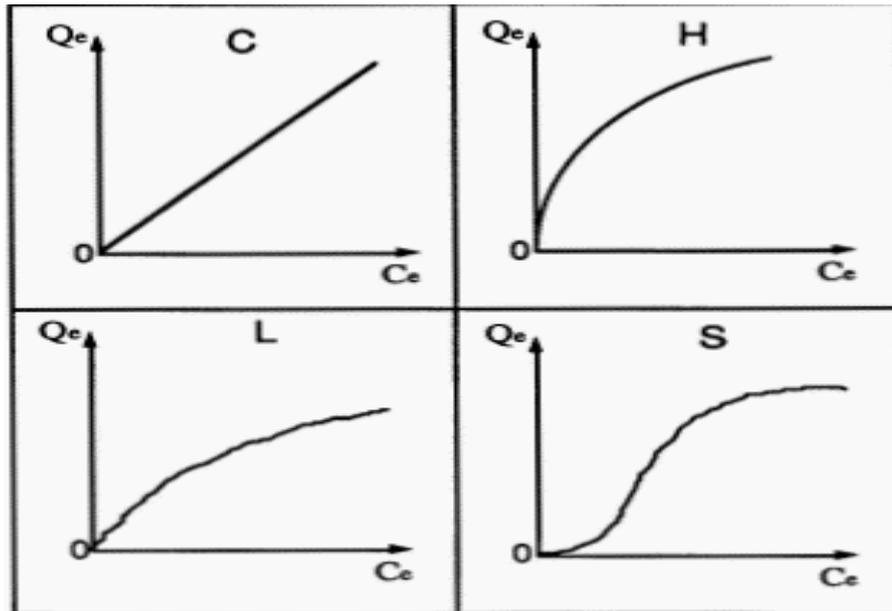


Figure 1 : Classe des isothermes (Giles *et al.*, 1960)

- **Courbes de type C**

Sous forme de ligne droite, signifient qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant. Ce type d'adsorption concerne les molécules flexibles pouvant pénétrer loin dans les pores pour y déplacer le solvant.

- **Courbes de type L**

Dites de Langmuir, elles sont les plus fréquentes. Plus le nombre de sites occupés par les molécules de soluté augmente, plus l'adsorption de nouvelles molécules est difficile. Ce type de comportement se rencontre dans le cas où l'adsorption du solvant est faible, et lorsque les molécules ne sont pas orientées verticalement, mais plutôt à plat (Dąbrowski *et al.*, 2005).

- **Courbes de type H**

Elles ne commencent pas par l'origine mais à une valeur positive, indiquant ainsi une haute affinité entre l'adsorbé et l'adsorbant. Dans ce cas, l'adsorption initiale de soluté dans les pores du solide produit une dilatation de ceux-ci, ce qui permet à d'autres molécules de pénétrer. Ce

mécanisme n'est possible que si l'affinité du solvant pour le substrat est toujours plus faible que celle du soluté (Barka, 2004).

- **Courbes de type S**

Le soluté est en concurrence avec le solvant pour l'occupation des sites actifs présents sur la phase solide. Ces courbes sont caractéristiques des molécules organiques monofonctionnelles comportant des attractions intermoléculaires modérées.

### I.1.5. Modèle cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption décrit la diminution de la concentration de l'adsorbat dans la solution en fonction du temps de contact avec l'adsorbant. Elle fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et au mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide. Plusieurs modèles cinétiques ont été proposés dans la littérature dont trois (03) sont couramment utilisés (Ladjal, 2013) : le modèle de pseudo-premier ordre, le modèle de pseudo-second ordre et le modèle de diffusion intra particulaire.

#### I.1.5.1. Modèle cinétique de pseudo-premier ordre

L'équation du pseudo-premier ordre est :  $\frac{q_t}{dt} = K_1(q_e - q_t)$

Après intégration pour t allant de 0 à t et  $q_t$  allant de 0 à  $q_t$  on obtient :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) + K_1 t \text{ Avec :}$$

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

$q_t$  : Quantité de soluté adsorbée à l'instant t (mg/g)

$K_1$  : Constante de vitesse ( $\text{min}^{-1}$ ), dont la valeur est déterminée en traçant  $\ln(q_e - q_t) = f(t)$

La valeur de  $q_t$  est obtenue par la relation  $q_t = (C_0 - C_t) \frac{V}{m}$  avec :

$C_t$  : Concentration résiduelle de la solution à l'instant t (mg/L)

$C_0$  : Concentration initiale de la solution (mg/L)

V : Volume de la solution (L)

m : Masse d'adsorbant en solution (g)

#### I.1.5.2. Modèle cinétique de pseudo-second ordre

L'équation du pseudo-second ordre est selon Ho *et al.* (2000) :  $\frac{q_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2$

L'intégration de cette équation pour  $t$  allant de 0 à  $t$  et  $q_t$  allant de 0 à  $q_t$  donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \text{ Avec :}$$

$K_2$  : Constante de vitesse d'adsorption (g/mg/min), dont la valeur est déterminée en traçant  $\frac{t}{q_t} = f(t)$ . Ce modèle suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électrons par exemple entre les molécules d'adsorbats et l'adsorbant (Khalifaoui, 2012).

### I.1.5.3. Modèle de diffusion intra-particule

Le modèle de diffusion intra-particule est basé sur la théorie proposée par Weber & Morri qui stipule que :  $q_t = K_d \cdot t^{1/2} + C$  où

$K_d$  : Constante de vitesse de diffusion intra-particule (mg/g/min<sup>1/2</sup>), dont la valeur est déterminée en traçant  $q_t = f(t^{1/2})$ .

$C$  : Constante liée à l'épaisseur de la couche limite (mg/g)

Selon le modèle de diffusion intra-particules, la courbe  $q_t = f(t^{1/2})$  doit être linéaire et passer par l'origine si la diffusion est l'étape qui contrôle la vitesse d'adsorption. Si la courbe  $q_t = f(t^{1/2})$  ne passe pas par l'origine, alors la diffusion intra-particules n'est pas la seule vitesse limitant l'étape du processus.

### I.1.5.4. Modèle cinétique d'Elovich

Le modèle cinétique d'Elovich décrit l'adsorption chimique sur des adsorbants hétérogènes (Low, 1960). Il explique le processus d'adsorption en mettant l'accent sur la relation qui lie la quantité adsorbée à un instant ( $q_t$ ) et la fonction logarithmique du temps ( $\ln t$ ).

L'équation d'Elovich est généralement exprimée comme suit :

$$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t) \text{ Avec :}$$

$q_t$  : la capacité de sorption à l'instant  $t$  (mg/g) ;

$\alpha$  : le taux d'adsorption initiale (mg/g) ;

$\beta$  : la constante de désorption (g/mg) liée à l'étendue de la couverture de surface et de l'énergie d'activation pour la chimisorption. L'intégration de l'équation précédente en nous servant des conditions aux limites suivantes :  $q_0 = 0$ , à  $t = 0$  et  $q_t = q_t$  à  $t = t$ , l'équation précédente devient :

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \cdot \beta) + \frac{1}{\beta d} \ln(t)$$

Les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont calculés à partir du tracé  $q_t = f(\ln t)$

### I.1.6. Modèles d'isothermes d'équilibre

Les modèles mathématiques utilisés sont les modèles de Langmuir et de Freundlich, car plus appropriés pour des substances hydrophobes à l'instar des charbons actifs (Nko'o *et al.*, 2016)

#### I.1.6.1. Isotherme de Langmuir

La théorie de Langmuir (1918) correspond aux isothermes de type L. elle s'applique de façon simple et satisfaisante dans de nombreuses situations expérimentales et repose sur plusieurs hypothèses :

- tous les sites d'adsorption sont identiques, c'est-à-dire que les sites ont la même activité,
- il n'y a pas d'interaction entre deux molécules adsorbées sur deux sites voisins,
- l'adsorption progressive des molécules ne modifie pas les interactions adsorbat-adsorbant mises en jeu dans les fixations ultérieures,
- l'adsorption se fait en monocouche seulement.

Ce modèle permet de calculer la surface spécifique des matériaux adsorbants ainsi que leurs capacités d'adsorption (Elabed, 2007).

L'équation de Langmuir est donnée par :

$$Q_e = \frac{Q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

$Q_e$  : quantité à l'équilibre de soluté utile pour couvrir la surface d'une couche mono moléculaire (mg/g)

$Q_{\max}$  : quantité maximale de soluté adsorbé à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g)

$K_L$  : constante de Langmuir (L. mg<sup>-1</sup>)

$C_e$  : concentration de l'adsorbat en phase liquide à l'équilibre mg. L<sup>-1</sup>

La linéarisation de cette équation conduit à l'expression suivante :  $\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_{\max} K_L} \left( \frac{1}{C_e} \right) + \frac{1}{Q_m}$

Les paramètres  $K_L$  et  $Q_m$  sont déterminés en traçant la droite d'équation  $\frac{1}{Q_e} = f\left(\frac{1}{C_e}\right)$  (Langmuir, 1918). Certains auteurs utilisent également un paramètre adimensionnel qui est le facteur de

séparation RL :  $R_L = \frac{1}{1 + (K_L \times C_0)}$

Si  $0 < R_L < 1$ , alors l'adsorption est favorable

Si  $R_L > 0$ , alors l'adsorption est défavorable

Si  $R_L = 1$ , alors l'adsorption est linéaire

Si  $R_L = 0$ , alors l'adsorption est irréversible

### I.1.6.2. Isotherme de Freundlich

En 1962, Freundlich a proposé un autre modèle pour décrire l'adsorption en milieux gazeux ou liquide. Dans ce modèle, le nombre de sites susceptibles d'adsorber le composé est illimité. Cette isotherme empirique décrit avec satisfaction l'adsorption sur des surfaces énergétiquement hétérogènes. L'expression mathématique associée à ce modèle est donnée par l'équation :

$$Q_e = K_F C_e^{1/n}$$

$Q_e$  : capacité d'adsorption (mg/g)

$C_e$  : concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre (mg. L<sup>-1</sup>)

$K_F$  et  $n$ , constantes de Freundlich indicatives de l'intensité et de la capacité d'adsorption.

Le modèle de Freundlich repose sur les hypothèses suivantes :

- l'espèce adsorbée est fixée sur un seul site bien défini,
- chaque site n'est capable de fixer qu'une seule espèce adsorbée,
- l'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante des autres espèces déjà adsorbées sur des sites voisins

La forme linéarisée est donnée par l'expression suivante :  $\ln(Q_e) = \ln(K_F) + \left(\frac{1}{n}\right)\ln(C_e)$

Les paramètres  $K_F$  et  $n$  sont déterminés en traçant la droite d'équation  $\ln(Q_e) = f(\ln C_e)$ .

## I.2. GENERALITES SUR LES COLORANTS

### I.2.1. Définition

Les colorants sont des composés chimiques colorés, naturels ou synthétiques, en général organiques, qui ont la propriété de colorer durablement le support sur lequel ils sont appliqués dans certaines conditions. Ces composés sont utilisés pour colorer les textiles, les encres, les peintures, les vernis, les produits alimentaires, etc...

De manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores (groupes qui donnent la couleur du colorant), de groupes auxochromes (groupes qui permettent

la fixation des colorants sur les substrats) et de noyaux aromatiques (cycles benzéniques, anthracène) (Chebli, 2012). Les principaux groupes chromophores et auxochromes sont classés par intensité croissante dans le tableau ci-dessous :

Tableau I : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante (Capon *et al.*, 1999)

<b>Groupements chromophores</b>	<b>Groupements auxochromes</b>
<b>Azo (-N=N-)</b>	Amino (-NH <sub>2</sub> )
<b>Nitroso (-NO ou -N-OH)</b>	Méthylamino (-NHCH <sub>3</sub> )
<b>Carbonyl (=C=O)</b>	Diméthylamino (-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
<b>Vinyl (-C=C-)</b>	Hydroxyl (-OH)
<b>Nitro (-NO<sub>2</sub> ou =NO-OH)</b>	Alkoxy (-OR)
<b>Sulfure (&gt;C=S)</b>	Groupements donneurs d'électrons

## **I.2.2. Classification des colorants**

Les principes de classification les plus couramment rencontrés dans les industries textiles sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et les domaines d'application aux différents substrats.

### **I.2.2.1. Classification chimique**

Les colorants sont répartis en différentes familles selon la nature chimique des chromophores présents. Parmi ces familles, on peut citer les colorants azoïques, qui présentent une large gamme de couleurs et sont très utilisés, les colorants anthraquinoniques, les colorants de la famille du triphénylméthane et les colorants indigoïdes.

- **Colorants azoïques**

On nomme « azoïque » les composés caractérisés par le groupe fonctionnel azo (-N=N-) unissant deux groupements alkyles. Ces structures qui reposent généralement sur le squelette de l'azobenzène, sont des systèmes aromatiques liés par un groupe chromophore azo (-N=N-). Ces colorants sont caractérisés par des groupes réactifs capables de former des liaisons covalentes avec les groupes (-OH, -NH, -SH) des fibres naturelle (Dos Santos *et al.*, 2007) tels que le coton, la laine et la soie. Les colorants azoïques sont surtout utilisés pour les couleurs Jaune, orange et rouge. Les colorants azoïques comptent plus que 1000 produits et représentent 50% de la production mondiale de colorants (Azbar *et al.*, 2004).

- **Colorants anthraquinoniques**

D'un point de vue commercial, ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques (Baughman & Weber 1994). Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines. Ils représentent 20 à 25% du marché des colorants.

- **Colorants indigoïdes**

Cette famille de matière colorante est appelée au nom de son représentant le plus anciennement connu : l'indigo. A part les dérivés sulfonés de l'indigo comme l'indigotine N (Carmin d'indigo), les colorants indigoïdes sont insolubles dans l'eau et sont employés comme colorants de cuve pour les fibres cellulosiques ou protéiniques. Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans les diagnostics médicaux (Moncada *et al.*, 1991).

- **Colorants triphénylméthanés**

Les triphénylméthanés sont des dérivés du méthane pour lesquels les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles substitués dont au moins un est porteur d'un atome d'oxygène ou d'azote en para vis-à-vis du carbone méthanique. Le triphénylméthane et ses homologues constituent les hydrocarbures fondamentaux d'où dérivent toute une série de matières colorantes. Actuellement, bien moins importants que les colorants azoïques et anthraquinoniques, ils ont conservé une certaine valeur commerciale, car ils permettent de couvrir la totalité de la gamme de nuances. La coloration intense des triphénylméthanés provient du large système conjugué de l'ion cationique. Le carbocation central est conjugué avec les trois noyaux benzéniques, par lesquels la charge positive est fortement délocalisée (Moncada *et al.*, 1991).

- **Colorants au soufre**

Ce sont des colorants de haut poids moléculaire, obtenus par la sulfuration de combinaisons organiques. Ils sont transformés en leuco dérivé sodique par réduction à l'aide de sulfure de sodium. Les colorations obtenues ont une bonne résistance à la lumière ainsi qu'à l'eau ; par contre, ces colorants ne sont pas résistants au chlore.

- **Colorants Xanthènes**

Ces colorants sont dotés d'une intense fluorescence. Le composé le plus connu est la fluorescéine. Peu utilisé en tant que teinture, leur faculté de marqueurs lors d'accident maritime

des traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorant en industries agroalimentaire, cosmétique, textile et impression.

### **I.2.2.2. Classification des colorants selon le domaine d'application**

- **Colorants acides ou anioniques**

Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates. Ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles (Shore, 2002).

- **Colorants basiques ou cationiques**

Alors que les colorants acides, à mordant et directs, sont des anions colorés, les colorants cationiques (ou basiques) sont des cations colorés. Ils sont utilisés pour la teinture des fibres à groupement acide telles que les fibres synthétiques acryliques (Dibi, 2016).

- **Colorants réactifs**

Les colorants réactifs, les plus récemment découverts, permettent d'établir des liaisons covalentes entre eux et les fibres d'où la solidité des teintures réalisées. Ils appartiennent à diverses classes chimiques telles que les azoïques et les phtalocyanines. Les molécules de ces composés comportent des atomes labiles dont le départ permet la réalisation de liaisons covalentes avec les groupes appartenant aux fibres tels que les OH<sup>-</sup> de la cellulose et les NH<sub>2</sub> et NH des polyamides.

- **Colorants directs**

Ce sont des colorants acides, ils n'adhèrent pas chimiquement mais physiquement à la fibre (Lemonnier & Viguié, 2002). Le premier colorant de cette série fut le rouge congo qui s'avéra capable de teindre le coton sans intervention d'aucun mordant. Les colorants directs sont des colorants solubles dans l'eau (présence de groupement sulfonates). Ils se distinguent des colorants acides par affinité pour les fibres cellulosiques, affinité due à leur forme linéaire et à la structure coplanaires des noyaux aromatiques entrant dans leur constitution (Aboua, 2013).

- **Colorants de cuve**

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau qui peuvent être chimiquement réduits en présence de la base pour former un dérivé hydrosoluble et sans couleur. Ces colorants sont généralement des indigoïdes (tel que l'indigo) ou des dérivés d'antraquinone qui s'appliquent à basses températures.

- **Colorants à mordants**

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.

### **I.2.3. Toxicité des colorants azoïques**

Les colorants azoïques sont reconnus comme étant des colorants toxiques. Les colorants azoïques sont à l'origine du taux élevé de maladie du cancer de la vessie (IARC, 1982). En effet, une étude a démontré que l'accroissement du nombre de malades du cancer chez des ouvriers de l'industrie textile, après une exposition prolongée aux colorants azoïques (Rehn, 1895). Par ailleurs, une étude menée sur le recoupement des DL50 avec les classifications chimiques et les domaines d'application des colorants prouve que les colorants synthétiques organiques les plus dangereux sont diazo et cationiques (Heinz, 2004). De même des travaux ont montré le caractère cancérigène de ces colorants sur la santé humaine et animale (Zollinger, 1991). Ainsi, aux vues de leur toxicité, certains de ces colorants ont été retiré du marché, au nombre de ceux-ci l'azobenzène, l'amarante, la tartrazine et le rouge de cochenille qui figurent parmi les colorants azoïques les plus dangereux pour l'homme (IARC, 1982).

## **I.3. GENERALITES SUR LA CABOSSE DE CACAO ET LE CHARBON ACTIF**

### **I.3.1. Généralités sur les cabosses de cacao**

#### **I.3.1.1. Production de cacao en Côte d'Ivoire**

Le cacao est incontestablement la première richesse de la Côte d'Ivoire. Selon une étude menée par la BCEAO (2014), la Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial de cacao avec une quantité qui s'est élevée en moyenne sur les dix dernières années à 1,4 million de tonne, représentant un peu plus de 32% des parts du marché. En 2003, l'exportation de cacao représentait 45% des recettes d'exportation du pays. La cacaoculture occupe plus du quart de la population ivoirienne et participe à la création de nombreux emplois dans les secteurs secondaires et tertiaires (Konaté et al., 2016). Aujourd'hui la Côte d'Ivoire exporte plus de 1,9 million de tonne de cacao par an (Olodo, 2018). Cette production croissante entraîne aussi une augmentation des déchets de culture tels que les coques des cabosses. Et ces résidus issus du cacao sont estimés à environ 13 à 15 millions de tonnes.



Figure 2 : Photographie d'un cacaoyer (Djassou, 2018)

### I.3.1.2. Coques de cabosses de cacao

La coque de cabosse de cacao représente 52 à 56% du poids d'une cabosse mure. Plusieurs études ont été effectuées pour déterminer la composition chimique des coques de cabosse (Antwi *et al.*, 2019). Il en ressort que la coque est riche en cellulose, en lignine, en hémicellulose, en potassium. C'est un matériau lignocellulosique. Selon Kokora *et al.* (2018), la coque de cabosse de cacao présente des taux de matière volatiles et de matière sèche supérieurs à 90%, et des taux de cendres et d'humidité faibles d'environ 10%.



Figure 3 : Coques de cabosses de cacao

## **I.3.2. Charbon actif**

### **I.3.2.1. Définition**

Le charbon actif (CA), également appelé charbon activé est un adsorbant amorphe, fortement poreux, hydrophobe et polaire préparé de façon à obtenir un haut degré de porosité qui lui confère une surface spécifique considérable. Il peut être fabriqué à partir de tout matériau à structure poreuse contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage en matière inorganique (Rodriguez & Molina, 1998). Il est obtenu à partir de matières végétales (Bamba *et al.*, 2009), de matières d'origine animale (Lyubchik *et al.*, 1997) et de matières organiques animales (Avom *et al.*, 2004).

#### **I.3.2.1.1. Morphologie des charbons actifs**

Selon leurs applications, les CA sont disponibles soit en poudre, soit en grains, soit en extrudé (Zue, 2012)

- **Charbon actif en poudre (CAP)**

Le charbon actif en poudre prend la forme de grains de taille comprise entre 10 et 50  $\mu\text{m}$ . Sous cette forme, il s'utilise souvent pour le traitement de l'eau et du gaz. Dans le premier cas, il est généralement utilisé en combinaison avec un traitement clarificateur pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau. Un inconvénient majeur provient de son état pulvérulent. Il est nécessaire d'utiliser des systèmes de filtration pour récupérer le charbon saturé (Krou, 2010)

- **Charbon actif en grain (CAG)**

La forme du CAG est irrégulière et sa taille est comprise entre 0.2 mm et 5 mm. Il est majoritairement utilisé pour l'élimination des micros polluants organiques et de la matière organique des eaux, mais il est également appliqué au traitement des gaz. Les caractéristiques physiques du CAG varient considérablement selon les matériaux constitutifs et le mode de fabrication. Il présente l'avantage de pouvoir être régénéré (Gueye, 2009)

- **Charbon actif extrudé**

Le charbon actif extrudé est de forme cylindrique avec des diamètres allant de 0,8 mm à 5 mm. Il est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussière. Les limites d'utilisation des charbons actif extrudés se situent au niveau des risques de déchirement pour des débits de fluide élevés (Zue, 2012)

### **I.3.2.2. Procédé d'élaboration du charbon actif**

Tout matériau peu coûteux, contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage en matière inorganique peut servir à la fabrication des charbons actifs (Rodriguez & Molina, 1998). Par exemples l'utilisation de la noix de coco, de la coque d'amande, des noyaux d'olives, de la pulpe de pomme, de la coque de cabosse de cacao, des grains de café, des polymères et des déchets carbonés (Elabed, 2007).

La préparation du charbon actif se fait généralement selon deux principales étapes : la carbonisation et l'activation

#### **I.3.2.2.1. Carbonisation**

La carbonisation ou la pyrolyse est la décomposition thermique d'un matériau organique. C'est une opération pendant laquelle un précurseur est soumis à des températures pouvant atteindre 1000°C sous vide ou sous atmosphère inerte. Cette étape permet l'élimination d'une partie des hétéro-éléments (oxygène, hydrogène, azote, soufre...) sous forme de gaz, ainsi que la formation préliminaire d'une structure poreuse. La carbonisation est généralement effectuée à une vitesse de montée en température suffisamment grande pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatiles. Elle fournit des matériaux ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique rudimentaire), qui n'ont donc pas une forte capacité d'adsorption et qui pourront ensuite être développés dans le processus d'activation.

#### **I.3.2.2.2. Activation**

L'activation consiste à développer la structure poreuse en éliminant les goudrons qui obstruent les pores, et à créer des fonctions de surfaces qui sont à l'origine des interactions entre le solide et les molécules à adsorber.

Deux procédés d'activation peuvent être rencontrés pour la fabrication des charbons actifs. Il s'agit de l'activation physique et de l'activation chimique.

##### **I.3.2.2.2.1. Activation physique**

Ce procédé consiste en l'activation du matériau précurseur qui a été précédemment carbonisé en utilisant des températures élevées dont la gamme est comprise entre 800-1100°C sous atmosphère oxydante. Les gaz oxydants généralement utilisés sont le dioxyde de carbone et /ou la vapeur d'eau. Yang *et al.* (2003) ont comparé l'activation du noyau de pêche et du bois d'eucalyptus, à la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. Ils concluent que la vapeur d'eau favorise à la fois le développement des micros et des mésopores tandis que le dioxyde de carbone favorise sélectivement le développement des micropores. Les charbons activés

physiquement ne présentent pas d'impuretés liées à l'agent activant utilisé. Leurs propriétés texturales dépendent fortement de la réactivité de l'atmosphère oxydante (Zue, 2012). Cependant, ce procédé est limité par le transport du gaz oxydant au sein du matériau, ce qui peut conduire à une inhomogénéité de la porosité. Le contrôle de la température est un paramètre important : en dessous de 800°C, la vitesse de réaction est trop lente et économiquement inintéressante. De plus, la maîtrise du procédé doit être complète pour créer une taille des pores bien définie, uniforme et adaptée aux applications visées. Généralement, les charbons actifs produits par activation physique présentent une structure poreuse fine (Gueye, 2009).

#### **I.3.2.2.2. Activation chimique**

Ce processus est une activation en phase liquide : il consiste à imprégner le matériau de départ avec une solution concentrée d'agents très oxydants et/ou déshydratants tels que l'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ) (Diao *et al.*, 2002), le chlorure de zinc ( $ZnCl_2$ ) (Önal *et al.*, 2002), l'hydroxyde de potassium (KOH) (Mamane *et al.*, 2016), etc. le matériau subit ensuite une pyrolyse entre 400°C et 800°C à l'abri de l'air, puis est lavé et séché. Le charbon actif est ainsi obtenu en une seule étape. L'agent activant, le taux d'imprégnation, la température de pyrolyse et la durée de l'activation sont les principaux paramètres de l'activation chimique ; ils conditionnent les propriétés des charbons obtenus en termes de volume poreux, de répartition de taille de pores et de composition chimique de la surface. Le procédé d'activation chimique se termine par un lavage, selon que l'agent activant est l'acide phosphorique, le chlorure de zinc ou l'hydroxyde de potassium, le lavage se fait respectivement avec de l'hydroxyde de sodium 0,1N, de l'acide chlorhydrique 0,1N pour éliminer l'agent chimique résiduel et éventuellement les oxydes métalliques formés pendant le processus de carbonisation. Le lavage se poursuit avec de l'eau distillée jusqu'à la neutralisation de la solution (pH de la solution compris entre 6 et 7). Le produit est ensuite séché à environ 110°C pendant 24 heures puis conservé pour des usages ultérieurs (Mohamed, 2008).

#### **I.3.2.3. Utilisation du charbon actif**

Les charbons actifs sont utilisés pour la décoloration dans les industries textiles, pour la purification industrielle des produits industriels chimiques ou alimentaires (sucre, huile végétale ...). Ils sont aussi utilisés dans d'autres industries comme la métallurgie, le pétrolier et l'automobile (Lamri, 2010).

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

- ❖ Traitement des eaux potables et résiduaires ;
- ❖ Purification de produits industriels ;
- ❖ Elimination des couleurs et impuretés de produits bruts (la décoloration du sucre de canne ou de betterave par exemple) (Le pape, 2003)

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

- ❖ Les charbons actifs possèdent une texture idéale pour le développement bactérien.
- ❖ Le charbon actif n'a pas un rôle bactérien sélectif. En effet, plusieurs sortes de bactéries sont observées, généralement des bactéries ciliées.
- ❖ Le charbon macroporeux favorise le développement bactérien beaucoup plus que le charbon microporeux en raison de la dimension des bactéries (Le pape, 2003)

# **PARTIE II: MATERIEL ET METHODES**

## II.1. MATERIEL

### II.1.1. Biomasse

La biomasse utilisée pour la préparation des charbons est essentiellement constituée de coques de cabosses de cacao qui est abondant en Côte d'Ivoire.



Figure 4 : Coques de cabosses de cacao séchées (a) et broyées (b)

### II.1.2. Matériel de laboratoire

- La verrerie

La verrerie utilisée dans le cadre de cette étude est essentiellement constituée de :

Béchers, erlenmeyer, burette graduée, fiole jaugée, pissette, pipette, tamis, creuset, etc.



Figure 5 : Verrerie utilisée dans la préparation des charbons

- **Produits chimiques**

Les réactifs utilisés sont :

- ✓ acide orthophosphorique ( $H_3PO_4$ ) de pureté 85%
- ✓ noir érichrome T ( $C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$ ) de pureté 100% et de masse molaire 461,38 g/mol
- ✓ thiosulfate de sodium ( $Na_2S_2O_3$ ) de pureté 99% et de masse molaire 248,18g/mol,
- ✓ acide chloridrique (HCl) de pureté 37%, densité 1,19 et de masse molaire 36,5g/mol,
- ✓ soude (NaOH) de pureté 98% et de masse molaire 40g/mol,

Ces produits commerciaux sont pour la plupart fournis par Applichem Panreac, Prolabo, CARLO-ERBA, CHEM-LAB, GATT-KOLLER et Expertise chimique sarl.



Figure 6 : Quelques produits utilisés pour la préparation des solutions

### II.1.3. Appareils

Pour tout le processus expérimental, nous avons utilisé :

- ✓ une balance analytique de marque OHAUS/Scout Pro de précision de  $\pm 0,01g$
- ✓ un four à moufle programmable à haute température de marque Nabertherm, (30-3000°C)
- ✓ une étuve de type memmert
- ✓ un Agitateur magnétique chauffant, numérique, LBX H20D, plaque en céramique, 20L
- ✓ un spectrophotomètre d'absorption UV-Visible de type Hach DR 1900
- ✓ une centrifugeuse de marque SIGMA

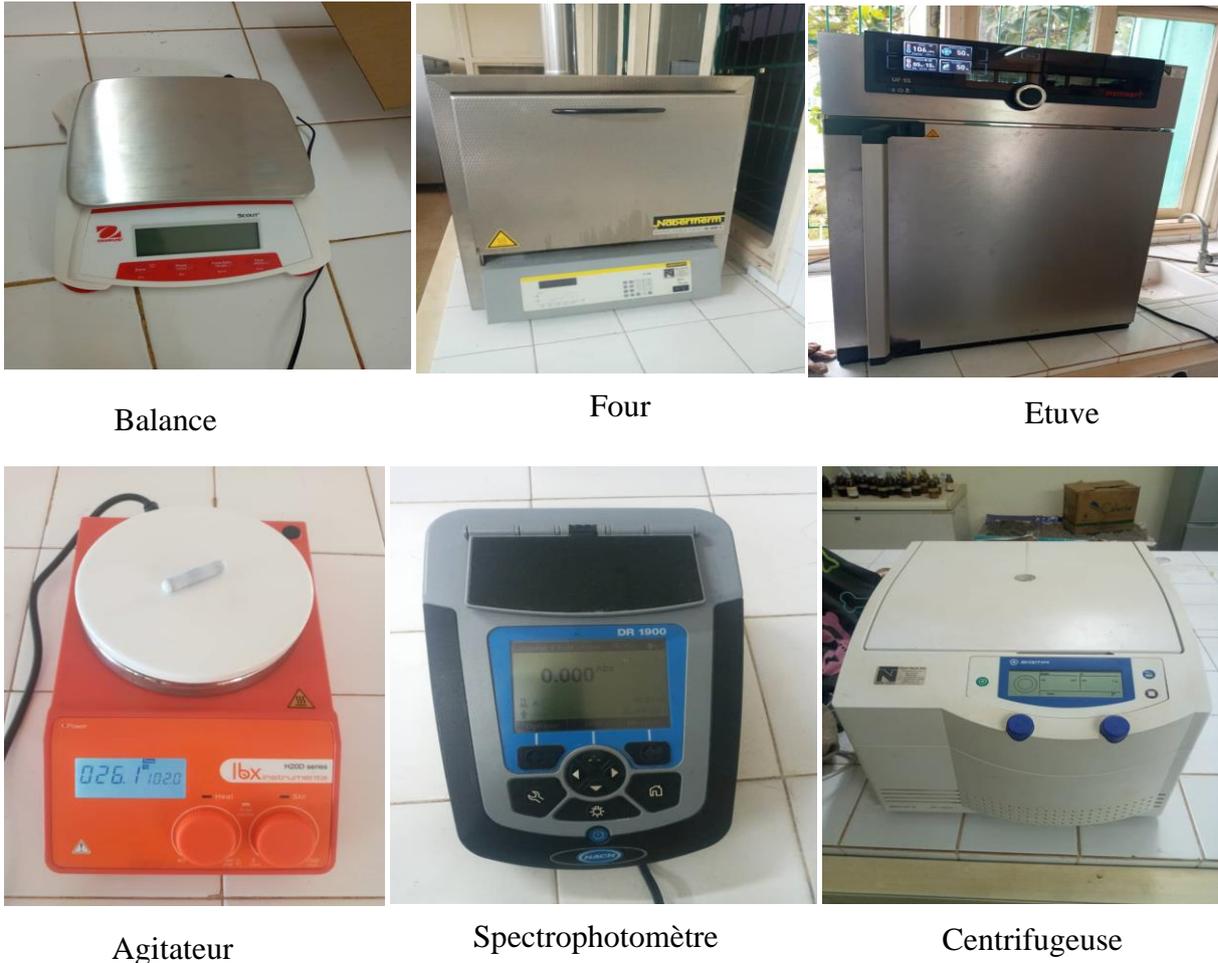


Figure 7 : Appareils utilisés

## II.2. METHODES

Dans ce chapitre, on se propose d'aborder les différents aspects pratiques de notre étude, à savoir la méthodologie employée pour la réalisation de nos expériences, le mode de préparation des charbons actifs et de la solution mère du noir érichrome T ainsi que les techniques de mesures employées.

### II.2.1. Préparation des charbons actifs et de la solution mère du colorant

#### II.2.1.1. Préparation des charbon actifs

Les charbons actifs ont été préparés en tenant compte des conditions optimales de préparation de charbons actifs avec des coques de cabosses de cacao établi par Kouadio *et al.* (2019). La méthode utilisée est l'activation chimique par l'acide orthophosphorique ( $H_3PO_4$ ). Ce procédé comprend deux étapes : l'imprégnation et la carbonisation.

- **Imprégnation**

Dans un bécher de 250ml, on introduit 10g de coques de cabosse broyées et 100ml de solution d'acide orthophosphorique à 20%. Le mélange est agité pendant 24h sur agitateur magnétique à la température ambiante. A la fin de l'agitation, les imprégnats sont filtrés, puis séchés à l'étuve pendant 24h à 105°C. A la sortie de l'étuve ils sont refroidis dans un dessiccateur pendant 30 min avant la carbonisation.

- **Carbonisation**

Les imprégnats ainsi obtenus sont introduits dans un four à moufle programmable à haute température de type Nabertherm. La température finale retenue est de 450°C avec une vitesse de chauffe de 10°C/min et un palier d'isotherme de 3h qui représente de temps de carbonisation. A la fin de la carbonisation, les carbonisats ont été refroidis dans un dessiccateur pendant 30 min. Après refroidissement, les charbons actifs obtenus sont lavés abondamment à l'eau distillée jusqu'à ce que le pH soit compris entre 6,5 et 7 puis séché à l'étuve à 105°C pendant 24h. Ils sont enfin conditionnés dans des bocaux en verre jusqu'à leur caractérisation.

- **Caractéristiques physiques et chimiques du charbon actif utilisé**

Le tableau suivant nous donne les caractéristiques du charbon actif utilisé (Djassou, 2018)

Tableau II : Caractéristiques physiques et chimiques du charbon actif préparé

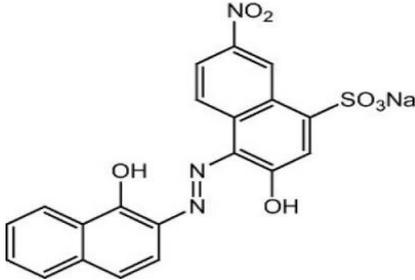
<b>Caractéristiques</b>	<b>Description</b>
<b>Taille des charbons actifs</b>	Comprises entre 200 $\mu\text{m}$ et 500 $\mu\text{m}$
<b>Taux de cendre</b>	3,2%
<b>Rendement</b>	25,75%
<b>Indice d'iode</b>	1446,71 mg/g
<b>Indice de bleu de méthylène</b>	592,84 mg/g
<b>Surface spécifique</b>	621,45 m <sup>2</sup> /g
<b>Fonctions de surface</b>	Acide

### II.2.1.2. Préparation de la solution mère de noir érichrome T

On pèse 0,3 g de noir érichrome T puis on l'introduit dans une fiole de 1 L. On ajoute un peu d'eau distillée jusqu'à dissolution totale du noir érichrome T puis on complète jusqu'au trait de jauge.

Les caractéristiques du noir érichrome T sont mentionnées dans les tableau III ci-dessous

Tableau III : Caractéristiques du colorant noir érichrome T (Adnanen &amp; Bentyeb, 2015)

<b>Nom usuel</b>	<b>Noir érichrome T</b>
<b>Nom systématique</b>	Acide 3-hydroxy-4-(2-hydroxy-4-nitro-1-naphtylazo) naphthalène-2-carboxylique
<b>Formule chimique</b>	$C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$
<b>Structure</b>	
<b>Masse molaire</b>	$461,38 \pm 0,025$ g/mol
<b>Groupe chimique</b>	Indicateurs, teintures, taches
<b>Apparence</b>	Poudre noire, inodore
<b>Solubilité</b>	Soluble dans l'eau (50 g/L), l'éthanol (2 g/L) et le méthanol

### II.2.2. Méthode d'analyse

L'appareil utilisé pour le dosage du NET en solution est un spectrophotomètre de type Hach DR 1900. Il s'agit d'une méthode optique d'analyse qui utilise la variation d'intensité d'un faisceau lumineux de longueur d'onde déterminée. Lorsque celui-ci traverse la solution, une partie de son rayonnement est absorbée par les molécules présentes dans la solution, l'autre partie est transmise.

La loi qui permet de relier l'intensité d'absorption à la concentration est celle de Beer-Lambert:

$$A = \log \left( \frac{I_0}{I} \right) = \epsilon \cdot l \cdot C. \text{ avec :}$$

A : absorbance ou densité optique,

$I_0$  : l'intensité du faisceau incident,

I : l'intensité du faisceau émergent,

$\epsilon$  : coefficient d'absorption moléculaire dont la valeur dépend de la longueur d'onde,

l : épaisseur de la cuve.

La linéarité de la loi de Beer-Lamber n'existe que dans un certain domaine de concentration appelé « domaine de validité de la méthode », déterminé par étalonnage

- **Étalonnage de la solution**

Une série d'échantillon de la solution de NET a été préparée à différentes concentration (10, 20, 30, 40, 50 mg/L) à partir d'une solution mère de 100 mg/L. Celle-ci est, par la suite, analysée par spectrophotométrie UV-Visible.

La longueur d'onde maximale d'adsorption du NET (540 nm) est obtenue directement par balayage automatique sur l'appareil. Nous établissons ainsi la droite d'étalonnage du NET représentant la densité optique A, au maximum de la bande d'absorption, en fonction de la concentration C qui obéit à la loi de Beer-Lamber (figure).

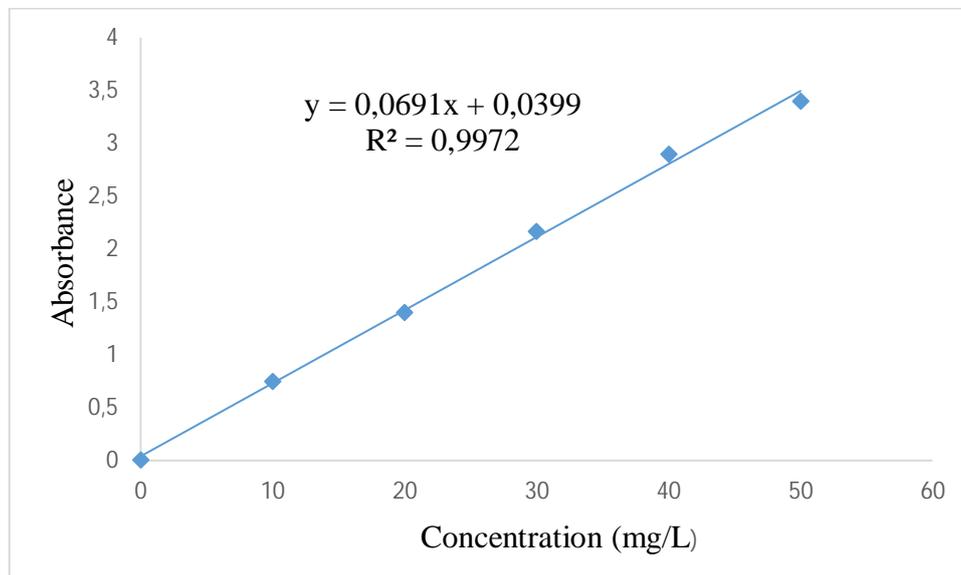


Figure 8 : Courbe d'étalonnage du noir érichrome T

### II.2.3. Etude de quelques paramètres sur l'adsorption du noir érichrome T

Les différents essais ont été effectués pour déterminer l'influence de certains paramètres sur la capacité d'adsorption du charbon actif. Il s'agit entre autres du temps de contact, de la masse du charbon actif, la concentration initiale du NET et du volume du colorant.

#### II.2.3.1. Influence du temps de contact

Pour mettre en évidence l'influence du temps de contact sur la cinétique d'adsorption on met en contact dans un erlenmeyer une masse de 0,1 g de charbon actif avec 100 mL de NET de concentration 25 mg/L. Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique à la température de 25°C, à la vitesse de 300 rpm pour des temps allant de 10 min à 120 min (10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min, 70 min 80 min, 90 min, 110 min, 120 min). La solution colorée est

séparée de l'adsorbant par centrifugation à 4000 t/min pendant 3 minutes. La suspension obtenue est analysée pour déterminer la concentration résiduelle du NET à l'aide du spectrophotomètre UV-Visible.

- **Calcul des quantités adsorbées**

$$Q = (C_0 - C_e) \cdot \frac{V}{m} \quad \text{Avec :}$$

Q : Quantité de NET adsorbée par unité de masse de charbon actif (en mg/g)

$C_0$  : concentration initiale du NET (en mg/L)

$C_e$  : concentration résiduelle du NET (en mg/L)

m : masse du charbon actif (en g)

V : volume de la solution de NET (en mL)

- **Calcul du taux d'adsorption**

$$\text{Taux d'adsorption}(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad \text{Avec :}$$

$C_0$  : concentration initiale du NET (en mg/L)

$C_e$  : concentration résiduelle du NET (en mg/L)

### II.2.3.2. Influence de la dose du charbon actif

L'étude de l'influence de la masse du CA a pour but de déterminer la masse de charbon correspondant à la quantité optimale de NET adsorbée. Dans ce test, on prélève différentes masses d'adsorbant (0,1 g, 0,5 g, 1 g, 1,5 g et 2 g). Chaque masse d'adsorbant est mise en contact avec 100 mL de la solution de noir érichrome T de concentration 300 mg/L dans un bécher de 250 mL. Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique à la vitesse de 300 rpm pendant les temps de réaction prédéterminés représentant le temps d'équilibre à température ambiante. La solution colorée est séparée de l'adsorbant par centrifugation à 4000 t/min pendant 3 minutes. La suspension obtenue est analysée pour déterminer les concentrations résiduelles à l'aide du spectrophotomètre UV-Visible.

### II.2.3.3. Influence de la concentration initiale du NET

Ce test a pour but d'évaluer l'efficacité du charbon préparé par rapport à une validation de la concentration du NET dans l'environnement. Elle a été réalisée en mettant en contact dans un bécher de 250 mL, la dose optimale de CA avec différentes concentrations de NET (25 mg/L ; 50 mg/L ; 75 mg/L ; 100 mg/L ; 125 mg/L ; 150 mg/L ; 200 mg/L et 300 mg/L). Le mélange est agité à l'aide d'un agitateur magnétique à la vitesse de 300 rpm au temps d'équilibre et à

température ambiante. La solution colorée est séparée de l'adsorbant par centrifugation à 4000 t/min pendant 3 minutes. La suspension obtenue est analysée pour déterminer les concentrations résiduelles à l'aide du spectrophotomètre UV-Visible.

#### **II.2.3.4. Influence du volume de la solution**

L'influence du volume de la solution a été étudiée. Pour ce faire, on introduit une masse de 2g de charbon actif dans différents volumes (100 ml, 200 ml, 300 ml, 400 ml et 500 ml) de NET de concentration 300 mg/L. On agite le mélange à la vitesse de 300 rpm au temps d'équilibre et à température ambiante. La solution colorée est séparée de l'adsorbant par centrifugation à 4000 t/min pendant 3 minutes. La suspension obtenue est analysée pour déterminer les concentrations résiduelles à l'aide du spectrophotomètre UV-Visible.

#### **II.2.4. Etude des modèles cinétiques de l'adsorption du noir érichrome T**

Les isothermes d'adsorption ont été réalisées à température ambiante. Pour ce faire, on met en contact dans un bécher de 250 mL, la dose optimale de CA avec 100 mL de noire érichrome T à différentes concentrations (25 mg/L ; 50 mg/L ; 75 mg/L ; 100 mg/L 125 mg/L ; 150 mg/L ; 200 mg/L et 300 mg/L). Nous avons adopté quatre modèles de cinétique : modèles de pseudo-premier-ordre (PPO), de pseudo-second-ordre (PSO), d'Elovich et la diffusion intra-particule.

#### **II.2.5. Etude des modèles des isothermes de l'adsorption du noir érichrome T**

Les isothermes d'adsorption ont été réalisées à température ambiante. Pour ce faire, on met en contact dans un bécher de 250 mL, la dose optimale de CA avec 100 mL de noire érichrome T à différentes concentrations (25 mg/L ; 50 mg/L ; 75 mg/L ; 100 mg/L 125mg/L ; 150 mg/L ; 200 mg/L et 300 mg/L). Nous avons adopté deux modèles d'isotherme d'adsorption : le modèle de Langmuir I, II et III et le modèle de Freundlich.

Le meilleur modèle applicable parmi ceux que nous avons choisis sera évalué à partir du coefficient de corrélation  $R^2$  ( $0 < R^2 < 1$ ) et la valeur de la quantité maximum obtenue à partir des différents modèles et celle obtenue expérimentalement.

# **PARTIE III: RESULTATS ET DISCUSSION**

### III.1. RESULTATS

#### III.1.1. Etude de quelques paramètres de l'adsorption du NET

##### III.1.1.1. Effet du temps de contact et de la concentration

Le temps d'équilibre est l'un des facteurs les plus importants du point de vue économique pour les systèmes de traitement des eaux pollués (Ghaedi *et al.*, 2011). L'influence du temps de contact sur l'adsorption du NET à différentes concentrations a donc été étudiée afin de déterminer le temps d'équilibre nécessaire à appliquer pour la suite de l'étude.

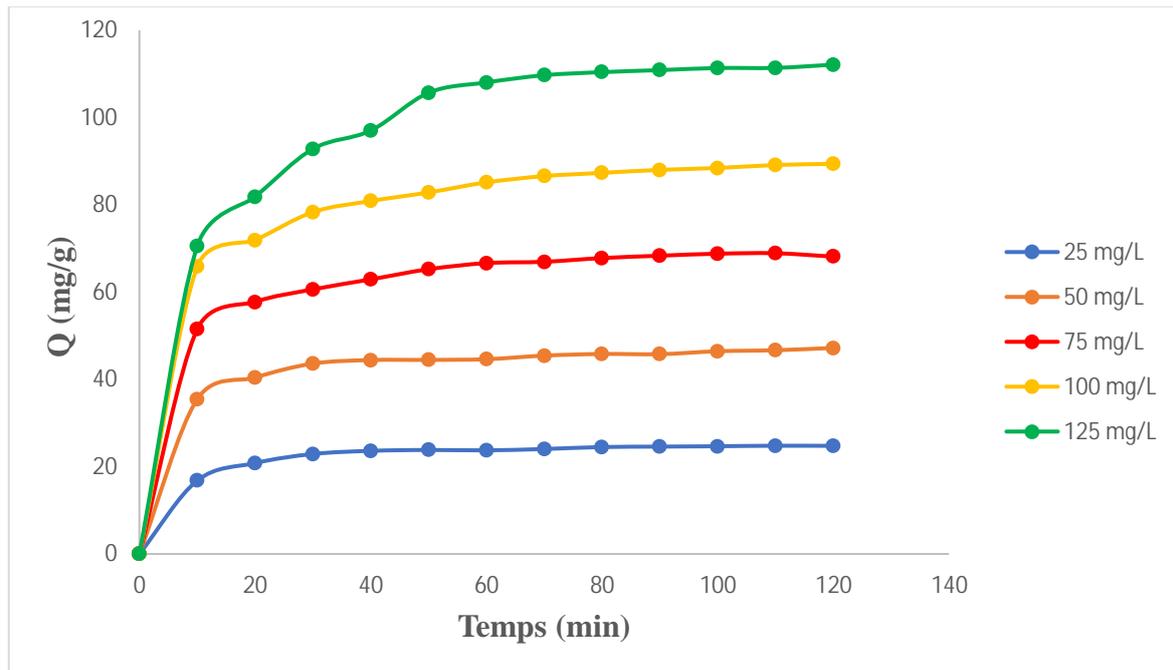


Figure 9 : Cinétique d'adsorption du Noir érichrome T sur le CA

Les résultats présentés par la figure 9 montrent que la quantité de NET adsorbée augmente en fonction du temps de contact jusqu'à atteindre un palier de saturation en trois phases :

- une première phase d'adsorption rapide au cours des 10 premières minutes impliquant ainsi une élimination rapide du colorant,
- une deuxième phase marquée par un ralentissement d'adsorption du NET de 10 à 80 minutes,
- une troisième phase où l'on observe un plafonnement ou un palier de saturation au-delà de 80 minutes de réaction entre le charbon actif et le noir érichrome T.

Les résultats montrent également que la quantité de NET adsorbée augmente en fonction de la concentration du colorant.

### III.1.1.2. Influence de la masse de charbon actif

L'influence de la masse du charbon actif sur la quantité de colorant adsorbée a été évaluée. La concentration à l'équilibre de la solution de NET a été déterminée pour des masses de charbons actifs de 10, 50, 100, 150 et 200 mg pour 100 ml de solution contenant 300 mg/L de NET, pendant 80 min à température ambiante. Nous remarquons que la quantité de NET adsorbée à l'équilibre décroît avec l'augmentation de la masse de CA. En effet, elle passe de 211,787 mg/g à 14,954 mg/g pour des masses de CA allant de 0,1 g à 2 g (figure 10).

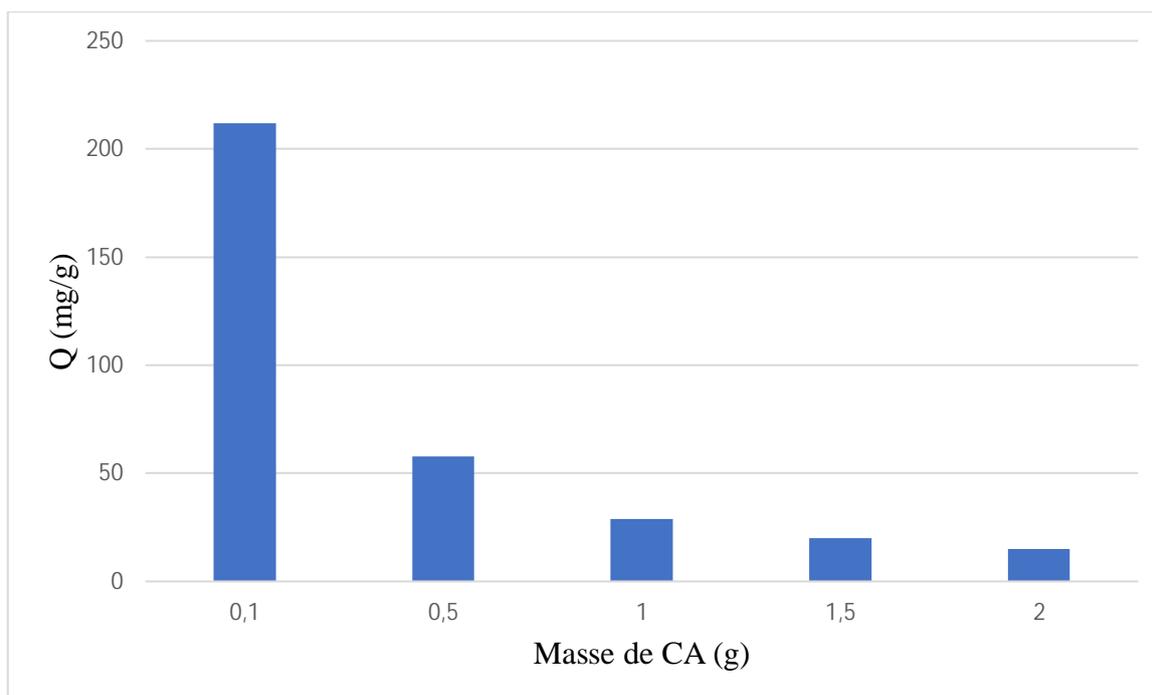


Figure 10 : Influence de la masse de CA sur la quantité de NET adsorbée à l'équilibre

### III.1.1.3. Influence du volume de la solution

L'influence du volume du colorant sur la quantité adsorbée a été étudiée. La quantité de NET adsorbée a été étudiée pour chaque volume de colorant. Nous remarquons que la quantité de colorant adsorbée par unité de masse de CA augmente linéairement avec l'augmentation du volume de la solution (figure 11).

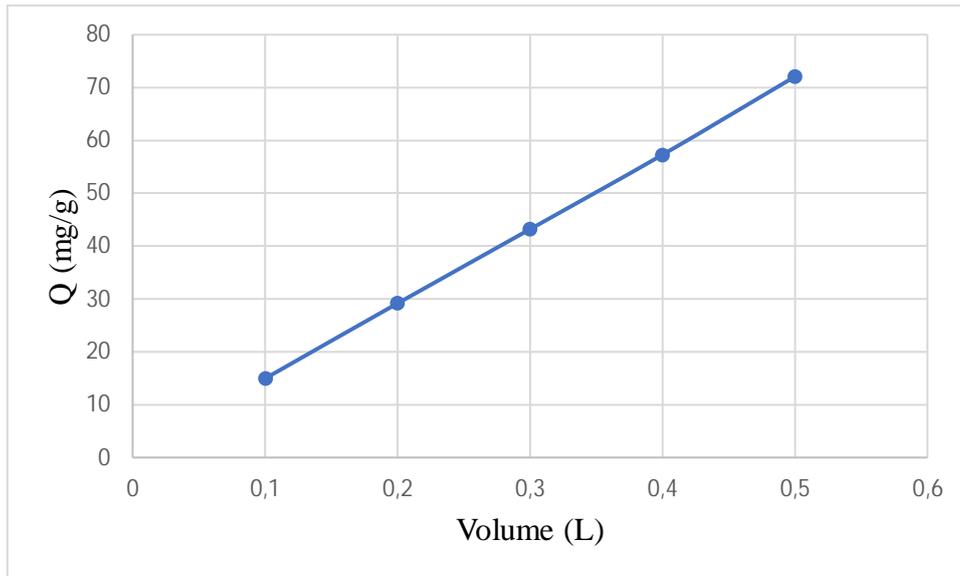


Figure 11 : Influence du volume de la solution sur la quantité de NET adsorbée à l'équilibre

### III.1.2. Modélisation des cinétiques d'adsorption

Les représentations graphiques des équations du pseudo-premier ordre, du pseudo deuxième ordre, de la diffusion intra-particule et d'Evovich de l'adsorption du NET sont données respectivement par les figures 12, 13, 14 et 15.

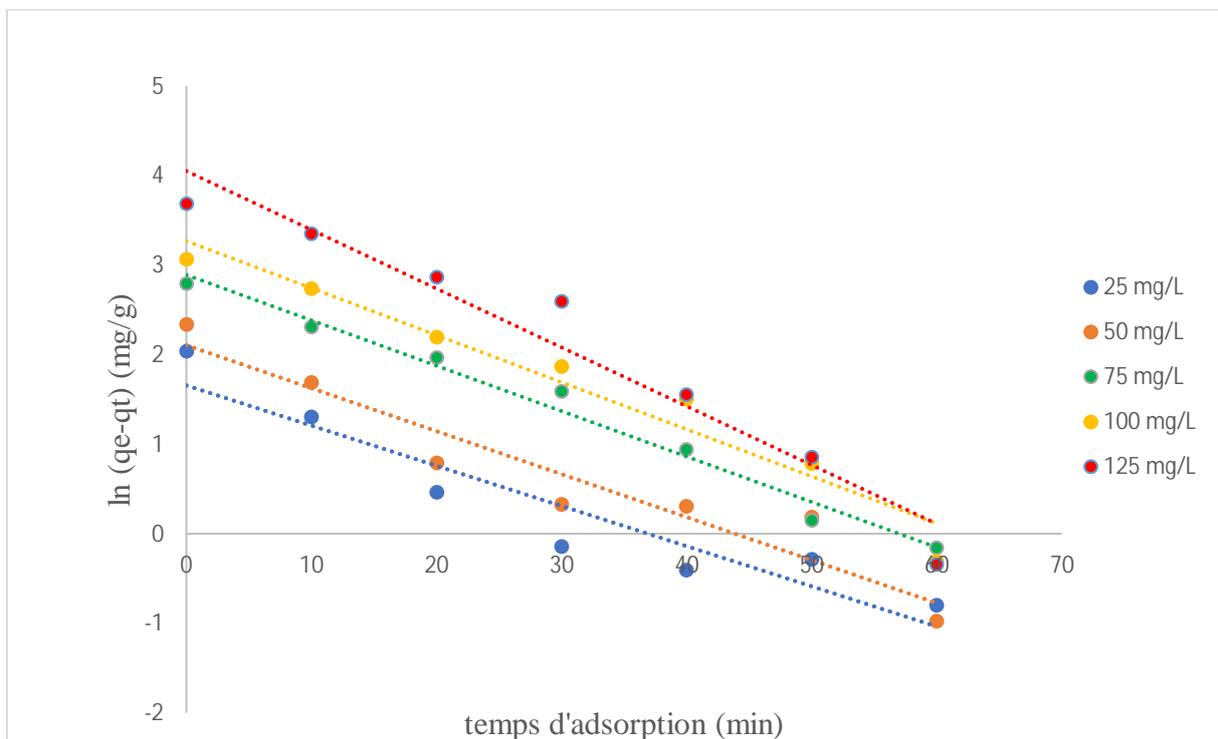


Figure 12 : Modèle du pseudo-premier ordre de la cinétique d'adsorption du NET

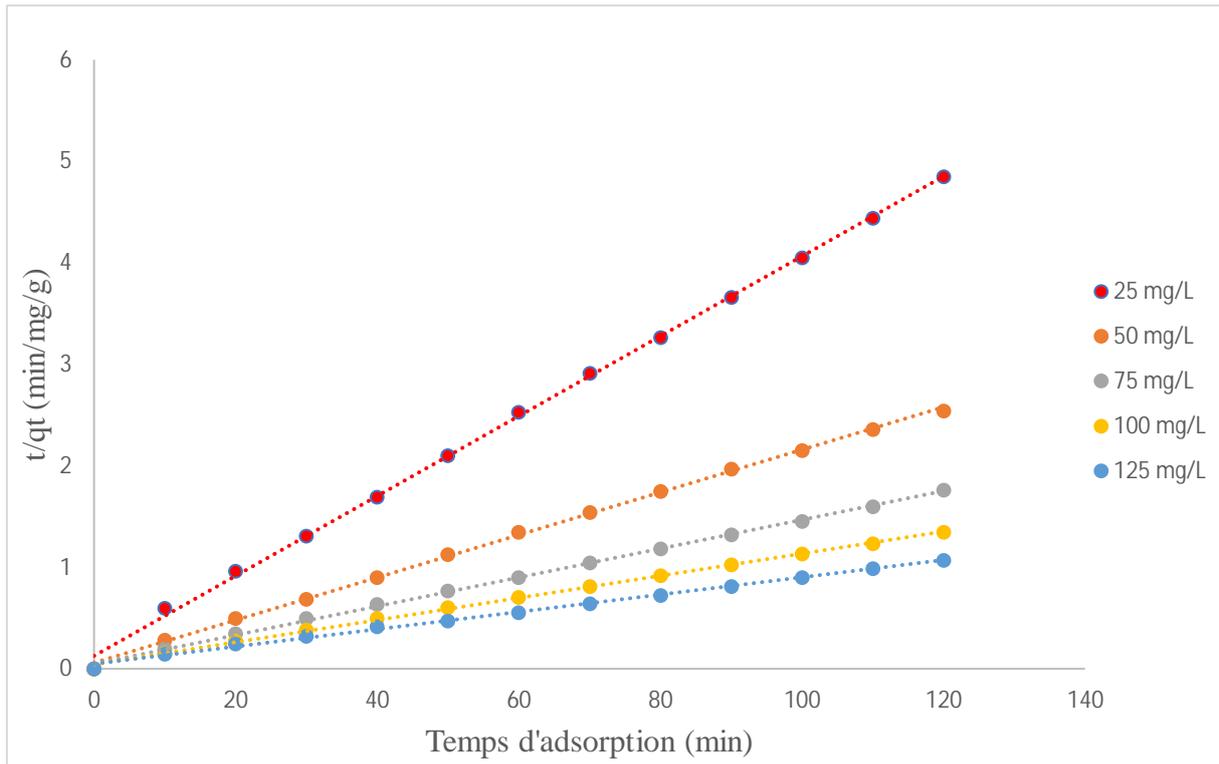


Figure 13 : Modèle du pseudo-deuxième ordre de la cinétique d'adsorption du NET

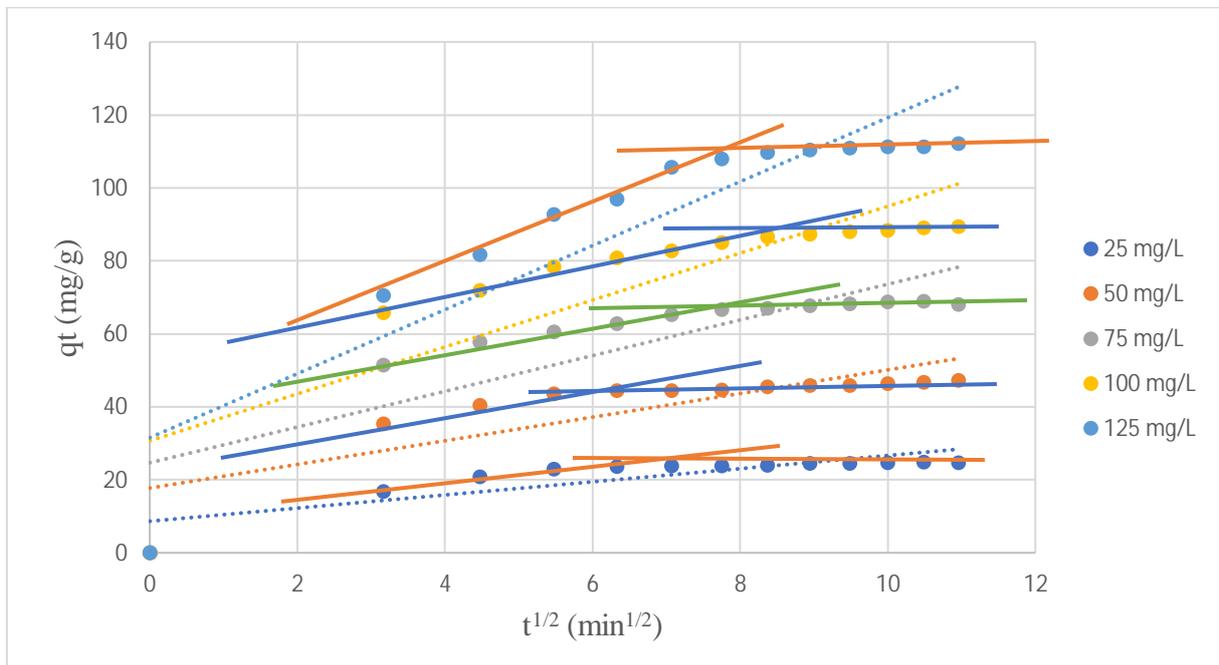


Figure 14 : Modèle de la diffusion intra-particule de la cinétique d'adsorption du NET

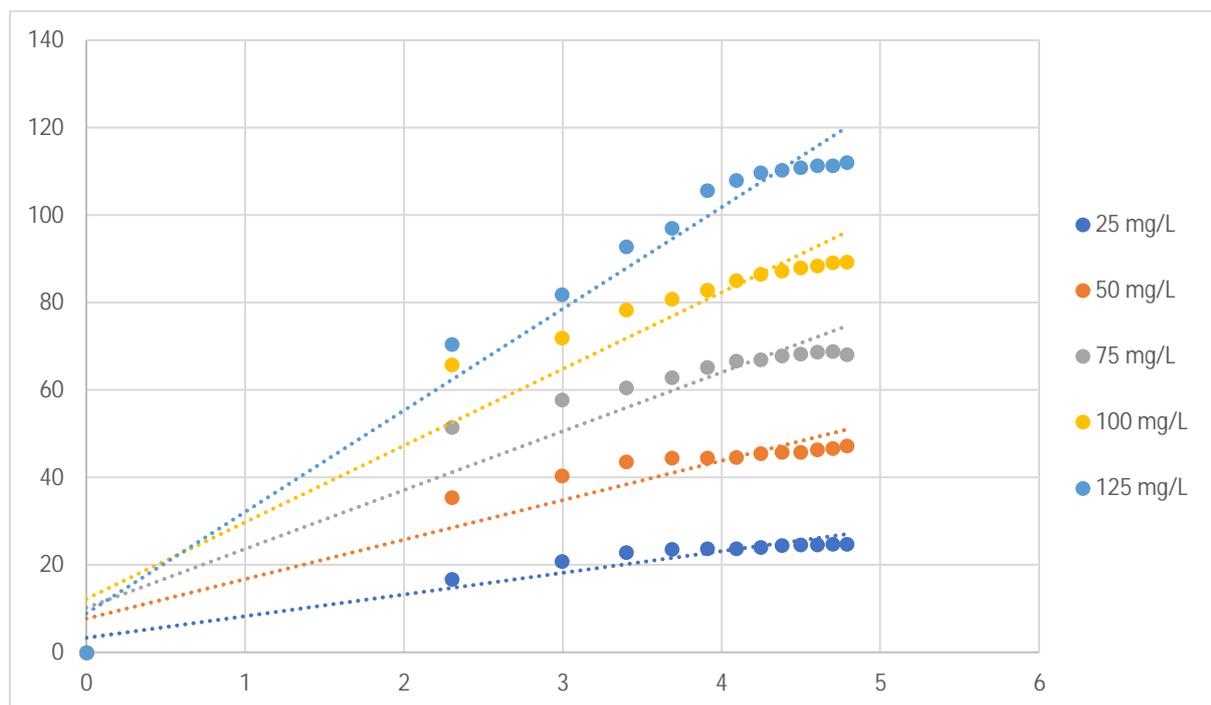


Figure 15 : Modèle cinétique d'Elovich

L'analyse des résultats montrent que quel que soit la concentration du colorant, les coefficients de corrélation des représentations linéaires des équations du pseudo-deuxième ordre sont supérieurs à ceux du pseudo-premier ordre de la diffusion et d'Elovich.

Les différents paramètres des représentations graphiques des équations de pseudo-premier, du pseudo-deuxième ordre et de la diffusion intra-particule sont respectivement résumés dans les tableaux IV, V, VI et VII ci-dessous

Tableau IV : Valeurs des paramètres de la cinétique de pseudo- premier ordre

$C_i$ (mg/L)	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$Q_e(\text{cal})$ (mg/g)	$Q_e(\text{exp})(\text{mg/g})$	$R^2$
25	0,044	5,24	24,49	0,89
50	0,04	8,21	45,81	0,91
75	0,05	18,02	67,79	0,98
100	0,05	26,29	87,30	0,95
125	0,06	57,50	110,38	0,94

Tableau V : Valeurs des paramètres du modèle cinétique de pseudo second ordre

<b>Ci (mg/L)</b>	<b>K<sub>2</sub> (g/mg.min)</b>	<b>Qe(cal) (mg/g)</b>	<b>Qe(exp) (mg/g)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>25</b>	0,0122	25,38	24,49	0,99
<b>50</b>	0,0074	47,61	45,81	0,99
<b>75</b>	0,0042	70,42	67,79	0,99
<b>100</b>	0,0027	91,74	87,30	0,99
<b>125</b>	0,0001	117,64	110,38	0,99

Tableau VI : Valeurs des paramètres du modèle de diffusion intra-particulaire

<b>Ci (mg/L)</b>	<b>K<sub>d</sub>(g/mg.min)</b>	<b>Qe(cal) (mg/g)</b>	<b>Qe(exp) (mg/g)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>25</b>	1,80	24,76	24,49	0,70
<b>50</b>	3,23	46,71	45,81	0,66
<b>75</b>	4,89	68,44	67,79	0,70
<b>100</b>	6,42	88,18	87,30	0,72
<b>125</b>	8,77	110,00	110,38	0,80

Tableau VII : Valeurs des paramètres du modèle cinétique d'Elovich

<b>C<sub>i</sub> (mg/L)</b>	<b><math>\alpha</math>(mg/g.min)</b>	<b><math>\beta</math>(g/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>25</b>	23,60	0,04	0,96
<b>50</b>	21,21	0,11	0,88
<b>75</b>	28,67	0,07	0,90
<b>100</b>	35,22	0,05	0,92
<b>125</b>	9,69	0,20	0,91

L'analyse des résultats montrent que les coefficients de corrélation des représentations linéaires des équations du pseudo-deuxième ordre sont supérieurs à ceux du pseudo-premier ordre, de la diffusion intra-particulaire et d'Elovich. Concernant la quantité expérimentale adsorbée, l'on note que cette dernière est plus importante avec les modèles de pseudo-deuxième ordre et de la diffusion intra-particulaire (Tableau IV, V, VI et VII). Avec la représentation de l'adsorption par la diffusion intra-particulaire, l'on observe deux lignes issues de la fonction  $q_t = f(t^{1/2})$  qui ne passe pas par l'origine quelle que soit la concentration en NET (figure 14).

### III.1.3. Modélisation des isothermes d'adsorption

Les modèles utilisés dans cette partie sont ceux de Langmuir et de Freundlich.

Les modélisations des résultats expérimentaux par les isothermes de Langmuir I, II et III sous leurs formes linéarisées respectives sont données par les figures 16, 17 et 18.

La modélisation des résultats expérimentaux par l'isotherme de Freundlich sous sa forme linéarisée est donnée par la figure 19

Les différents paramètres des représentations graphiques des modèles de Langmuir et de Freundlich sont résumés dans le tableau VIII.

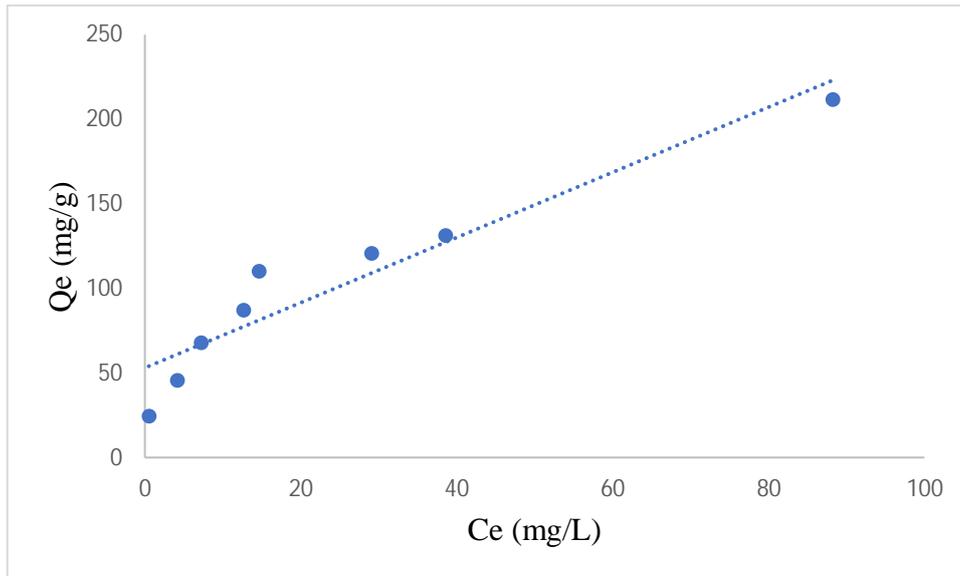


Figure 16 : Isotherme de Langmuir I

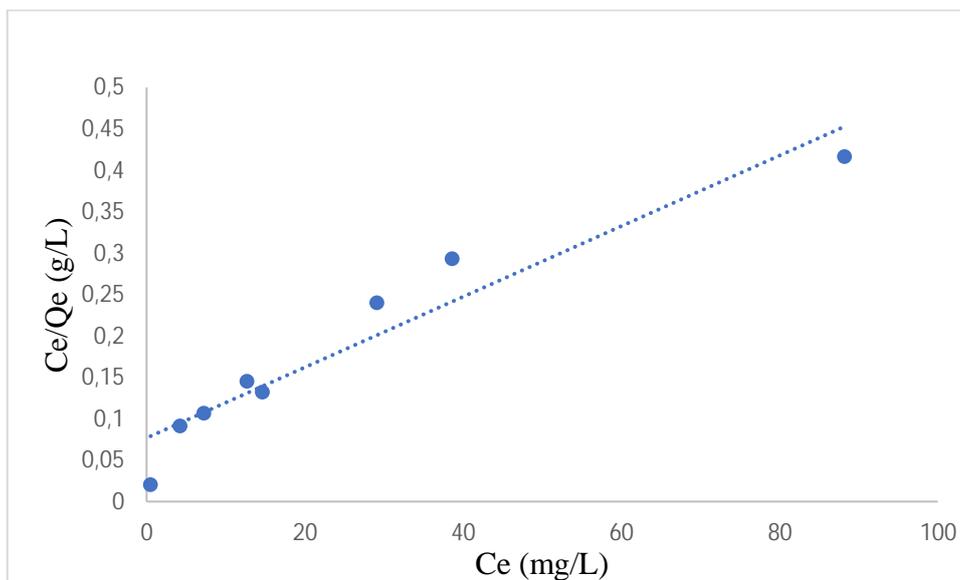


Figure 17 : Isotherme de Langmuir II

Les différentes courbes obtenues avec les modèles de Langmuir II, Langmuir III, Langmuir III et de Freundlich sont toutes linéaires et croissantes, avec des coefficients de corrélation comprises entre 0,90 et 0,95.

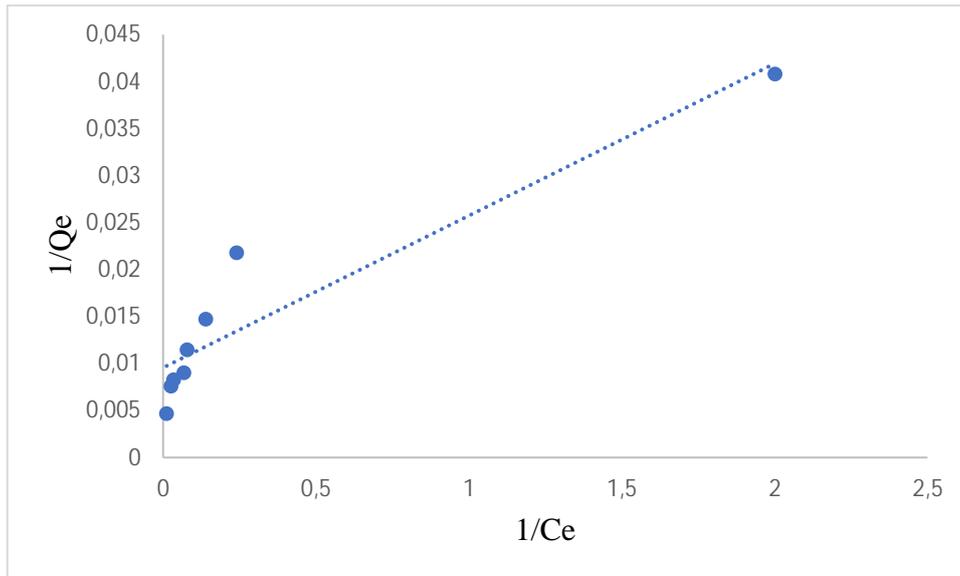


Figure 18 : Isotherme de Langmuir III

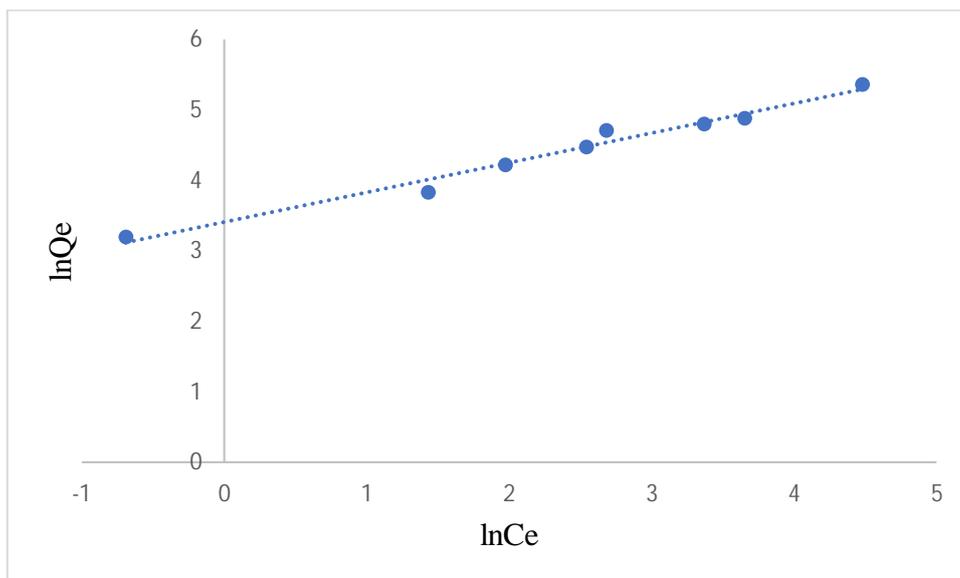


Figure 19 : Isotherme de Freundlich

L'application des quatre modèles choisis a conduit aux résultats présentés dans le tableau VII dans lequel nous avons rassemblé toutes les constantes de nos modèles ainsi que les coefficients de corrélation  $R^2$ .

Tableau VIII : Paramètres des modèles de Langmuir et de Freundlich

Modèles	Paramètres	Valeurs
<b>Langmuir I</b>	$R^2$	0,90
	$Q_{\max}(\text{mg/g})$	0,51
	$K_L(\text{L/mg})$	0,03
	$R_L(\text{L/mg})$	0,18
<b>Langmuir II</b>	$R^2$	0,91
	$Q_{\max}(\text{mg/g})$	232,55
	$K_L(\text{L/mg})$	0,05
	$R_L(\text{L/mg})$	0,12
<b>Langmuir III</b>	$R^2$	0,91
	$Q_{\max}(\text{mg/g})$	81,96
	$K_L(\text{L/mg})$	0,78
	$R_L(\text{L/mg})$	0,01
<b>Freundlich</b>	$R^2$	0,95
	$K_F(\text{L/mg})$	30,35
	$1/n$	0,42

D'après les résultats du tableau VIII, nous constatons que les coefficients de corrélation sont de 0,9189, 0,902 et 0,9102 respectivement pour le modèle de Langmuir I, Langmuir II et Langmuir III et 0,9504 pour le modèle de Freundlich.

De plus, pour les modèles de Langmuir, nous constatons que  $0 < R_L < 1$  et la constante de vitesse  $K_L$  est faible.

En ce qui concerne le modèle de Freundlich, il faut noter que la valeur de  $\frac{1}{n}$  est inférieure à 1 et que la valeur de  $K_F$  est supérieure à 0

### III.2. DISCUSSION

La rapidité de l'adsorption du noir érichrome T pendant les premières minutes (de 0 à 40 min) de la réaction pourrait être interprétée par le fait qu'en début de réaction, il existe un nombre important de sites actifs pour l'adsorption du colorant (Benaïssa, 2012). Selon Aboua (2013), cette rapidité de l'adsorption du colorant pourrait être liée aux caractéristiques physico-chimiques du matériau et surtout à la nature des sites à la surface et à la porosité du matériau. Une fois que les molécules de NET sont fixées sur la majorité des sites, nous constatons un ralentissement de la vitesse d'adsorption (phase lente). ; il s'en suit une diffusion du colorant vers les sites moins accessibles. C'est ce qui expliquerait le ralentissement de la vitesse d'adsorption du colorant avant d'atteindre l'état d'équilibre (Tcheka *et al.*, 2015). Et lorsque tous les sites d'adsorption sont occupés par les molécules de NET, la quantité adsorbée n'évolue plus d'où l'apparition d'un palier de saturation (phase de saturation). Cette tendance a été observée par Dibi (2016) après avoir étudié l'élimination de l'orange de méthyle dans l'eau par adsorption sur charbon actif préparé à partir de graines de palmiste ou Kouadio *et al.* (2019) en étudiant l'élimination de l'orange de méthyle et du bleu 16 par adsorption sur charbon préparé à partir de graines de palmiste ou de la coque de cabosse de cacao.

L'augmentation de la concentration initiale en NET entraîne une augmentation de la quantité de NET adsorbée et la plus forte quantité adsorbée correspond à la plus forte concentration initiale (150 mg/L). Ce constat a été fait également par Adnanen & Bentayeb (2015) après avoir étudié la cinétique de l'adsorption du noir érichrome T sur un charbon actif commercial. En effet, une augmentation de la concentration initiale d'adsorbant pour une même masse d'adsorbant entraîne un fort gradient de concentration entre la solution et la surface du charbon actif. Par ailleurs, selon Mahammedi (2017), l'absence de palier de saturation s'explique par le fait que le taux de saturation n'est pas atteint et que le CA pourrait adsorber des quantités de colorants plus importantes.

L'étude de l'influence de la masse de CA nous a permis de constater que les quantités de NET adsorbés diminuent avec l'augmentation de la masse d'adsorbant et tendent à se stabiliser pour

de grandes valeurs de masses. Ces résultats sont conformes à ceux de Tcheka *et al.* (2015). Selon eux, l'augmentation de la masse entraînerait une croissance des interactions électrostatiques entre les particules de l'adsorbant, ce qui conduirait à la désorption des molécules du NET des sites de l'adsorbant, entraînant ainsi une agglomération des particules de l'adsorbant. Il y a donc une réduction de la surface totale d'adsorption et, par conséquent une diminution de la quantité d'adsorbat par unité de masse d'adsorbant. D'autre part, Ce comportement peut être dû aux nombres de sites d'adsorption qui augmente avec la quantité d'adsorbant, à partir de laquelle le nombre de sites devient stable (Tsai *et al.*, 2007).

Le résultat portant sur l'influence du volume a révélé que la quantité de colorant adsorbée croît linéairement avec l'augmentation du volume de la solution. En effet, une augmentation du volume de la solution entraîne l'augmentation de la quantité de matière du colorant. Ce résultat est conforme à celui de Vro-Bi (2019).

Selon Ho (2003), le meilleur modèle établi pour l'étude de la cinétique d'adsorption est choisi selon le facteur de corrélation. Autrement dit, plus ce facteur est élevé, plus le modèle est favorable pour l'étude du processus d'adsorption. L'analyse des résultats présentés dans les tableaux montre que quelle que soit la concentration du colorant, le modèle qui présente un facteur de corrélation le plus élevé est celui du modèle de pseudo-second ordre avec un facteur  $R^2 > 0,99$ . Nous déduisons donc que le modèle pseudo-second-ordre est celui qui décrit le mieux le processus d'adsorption du NET sur les charbons actifs préparés à partir des coques de cabosses de cacao. Lesquels résultats confirment les dires de Salleh *et al.* (2011) selon lesquels les données cinétiques d'adsorption des colorants cationiques et anioniques sur les déchets agricoles suivent généralement le modèle de pseudo-second ordre. Les vitesses d'adsorption ( $k_2$ ) diminuent lorsque la concentration de colorant augmente ceci revient à l'augmentation de la compétition sur les sites d'adsorption par contre la compétition diminue sur les sites actifs de l'adsorbant pour les faibles concentrations (Dawood, 2012). Avec la diffusion intra-particulaire, l'on observe deux lignes issues de la fonction  $q_t = f(t^{1/2})$  qui ne passe pas par l'origine (figure 10). Ce constat indique que la diffusion des ions de NET dans les pores du charbon n'est pas le seul facteur limitant la cinétique l'adsorption. En effet, lorsque la diffusion intra-particulaire est la seule étape de limitation de la vitesse de l'ensemble du processus d'adsorption, la courbe  $q_t$  en fonction de  $t^{1/2}$  passe par l'origine (Ouakouak & Youcef, 2016). La double linéarité observée marque l'existence de deux étapes : le transfert rapide du NET à partir de la solution et à travers le film liquide jusqu'à la surface externe du charbon et la diffusion lente du NET dans les pores du charbon, caractérisant la diffusion intra-particulaire au cours du processus d'adsorption.

(Ouakouak & Youcef, 2016). Le colorant est d'abord adsorbé sur la surface externe du charbon de sorte que la vitesse d'adsorption soit très élevée. Une fois que la surface externe est complètement saturée, la molécule de colorant diffuse dans les pores internes au sein des particules, et est finalement adsorbée sur la surface interne de l'adsorbant (Fayoud *et al.*, 2015).

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique représentative de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbant et un adsorbat. Elle est très utile pour la compréhension du mécanisme d'adsorption (Luo *et al.*, 2010). Elle fournit des informations sur l'affinité, sur l'énergie de liaison entre l'adsorbat et l'adsorbant et sur la capacité d'adsorption. Elle permet aussi d'avancer des hypothèses sur le mode d'adsorption : adsorption en monocouche ou en multicouche, interaction latérale entre molécules ou non. Les modélisations des isothermes d'adsorption du noir érichrome T sur le CA par les modèles Langmuir et Freundlich ont été réalisées avec leurs formes linéaires respectives. Pour le modèle de Langmuir, le fait que  $0 < R_L < 1$  indique clairement que l'adsorption est favorable. Cependant, la constante de Langmuir  $K_L$  très faible nous informe d'une faible affinité du NET par rapport au charbon actif. Ces résultats sont conformes à ceux de Khoualene & Semmar (2016). De plus, le fait que le coefficient de corrélation issu du modèle de Freundlich soit supérieur à celui issu du modèle Langmuir implique que l'adsorption du NET sur le CA est mieux représentée par le modèle de Freundlich. Des résultats similaires ont été rapportés pour l'adsorption d'ions phosphates par des pins d'Alep (Benyoucef et Amrani, 2011).

# **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Le travail réalisé dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre général de la dépollution des eaux usées et de la valorisation des déchets agricoles. Il a eu pour objectif général de tester la capacité de rétention d'un colorant anionique modèle, le noir ériochrome T (NET), sur des charbons actifs élaborés à partir des coques de cabosse de cacao. De façon spécifique, ce travail a consisté à :

- étudier l'influence de quelques paramètres sur l'adsorption du noir ériochrome T sur le charbon actif préparé à partir de coques de cabosse de cacao,
- étudier les modèles cinétiques de l'adsorption du noir ériochrome T par le charbon actif issu de cabosses de cacao,
- étudier les modèles des isothermes de l'adsorption du noir ériochrome T par le charbon actif issu de cabosses de cacao.

A la lumière des résultats, il apparaît que :

- l'équilibre d'adsorption du noir ériochrome T sur le charbon préparé est atteint au bout de 80 minutes et les quantités de colorant adsorbées augmentent avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant.
- la quantité maximale de noir ériochrome T adsorbée est estimée à 211,78 mg/g pour une concentration initiale de 300 mg/L
- la masse optimale de charbon actif est de 0,1 g
- l'étude des modèles cinétique a révélé que l'adsorption du noir ériochrome T sur le charbon actif suit le modèle de pseudo-second ordre et que la diffusion des ions de NET dans les pores du charbon n'est pas le seul facteur limitant la cinétique l'adsorption.
- l'étude des modèles d'isothermes d'adsorption a indiqué que le modèle de Freundlich décrit mieux l'adsorption du noir ériochrome T sur le charbon actif par rapport au modèle de Langmuir

En définitive, on retient que le charbon actif préparé à partir de coques de cabosses de cacao sont efficaces pour le traitement des eaux chargées en colorants azoïques anioniques.

En guise de perspectives, nous proposons :

- l'étude de l'influence d'autres paramètres tels que la température, le pH et la vitesse d'agitation
- l'étude de la génération chimique du charbon actif saturé

# REFERENCES

- Aboua K. N. (2013). Optimisation par le plan factoriel complet des conditions de productions de charbon actif et son utilisation pour l'élimination des colorants et métaux lourds en solution aqueuse. Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 164p.
- Adnanen E. & Bentayed K. (2015). Etude cinétique et équilibre d'adsorption du noir érichrome T, colorant anionique, sur un charbon actif commercial. Mémoire de Master en chimie analytique, université A. MIRA-Bejaïa, (Béjaïa, Algérie), 110 p.
- Antwi E., Engler N., Nelles M. & Schuch A. (2019). Anaerobic digestion and the effect of hydrothermal pretreatment on biogas yield of cocoa pods residues. *Waste Management*, 88: 131-140.
- Arias M., Barral M.T. & Mejuto J.C. (2002). Enhancement of copper and cadmium adsorption on kaolin by the presence of humic acids. *Chemosphere*, 48: 1081-1088.
- Avom J., Ketcha J.M., Babale D.D., Ngono A. I. & Patrick G. (2004). Adsorption de l'iode par des charbons actifs de rafles de régimes de palmes. *Journal of Water Science*, 29 :51-60
- Azbar N. Yonar T. & Kestioglu K. (2004). Comparaison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and colourremoval from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. *Chemosphere*, 55 :35-43.
- Bamba. D., Dongui B., Trokourey A., Zoro G.E., Athéba G. P., Robert D. & Wéber J.V. (2009). Etudes comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*, 28 : 41 – 52
- Barka N. (2004). Etude comparative des propriétés d'adsorption de quelques micro-polluants sur les phosphates naturels et le charbon actif. Mémoire de Master en chimie analytique, Université Ibn Zohr (Agadir, Maroc), 55 p
- Barani D. (2011). Préparation d'un charbon actif à partir d'un bitume routier issu du raffinage du pétrole par activation acide. Mémoire de magister en génie des procédés, université Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi, Algérie, 184 p.
- Baughman G.L.& Weber E.J. (1994). Transformation of dyes and related compounds on anoxic sediment: kinetics and products. *Environ. Sci Techno*, 28 :267-276.
- BCEAO (2014). Etude monographique sur la filière cacao dans l'UEMOA. 33 p.

- Benaissa A. (2012). Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle. Mémoire de Master, Université Abou Bakr Balkaid, (Tlemcen, Algérie), 65p.
- Benyoucel S. & Amrani M. (2011). Adsorption of phosphate ions onto low cost Aleppo pine adsorbent. *Desalination*, 275 (1) : 231-236.
- Bouafia S. (2010). Dégradation des colorants textiles par procédé d'oxydation avancée basée sur la réaction fenton : Application à la dépollution des rejets industriels. Thèse de doctorat en géomatériaux et environnement, université de Paris-Est, (Paris,France), 174 p.
- Calvet R. (1989) Adsorption of Organic Chemicals in Soils. *Environmental Health Perspectives*, 83 : 145-177.
- Capon M., Capon V., Courilleu C. & Valette (1999). Chimie des couleurs et des odeurs, Vo 131, Nantes, Culture et technique, 1999, p.2198-2203.
- Chebli D. (2012). Traitement des eaux usées industrielles : Dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique. Thèse de Doctorat, Génie chimique, Université FERHAT ABBAS, (Sétif, Algérie). 210 p.
- Dąbrowski A. Podkościelny P. Hubicki Z. & Barczak. (2005). Adsorption of phenolic compounds by activated carbon-a critical review. *Chemosphere*, 58: 1049-1070.
- Daud N. K., Ahmad M. A. & Hameed B. H. (2010). Decolorization of Acid Red I dye solution by Fenton-like process using Fe-Montmorillonite K 10 catalyst. *Chem. Eng. J.* 165(1): 111-116.
- Dawood S. & Sen T. K. (2012). Removal of anionic dye congo red from aqueous solution by raw pine and acid- treated pine cone powder as adsorbent: Equilibrium, thermodynamic, kinetics, mechanism and process design. *Water Research*, 46: 1933-1946.
- Diao Y., Walawender W.P. & Fan L.T. (2002). Activated carbons prepared from phosphoric acid activation of grain sorghum. *Bioresource Technology*, 81(1) : 45-52.
- Dibi K. (2016). Elimination de l'orange de méthyle dans l'eau par adsorption sur charbon actif préparé à partir de graines de palmiste. Mémoire de Master, Option : chimie de l'environnement, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA (Abidjan, Côte d'Ivoire), 66p.

- Djassou A.C. (2018). Elaboration de matériaux pour la dépollution environnementale à partir de coques de cabosses de cacao. Mémoire de Master en physique chimie Appliquée Option : Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 64 p.
- Dos Santos, A.B., Cervantes, F.J. & Van Lier. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewater: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource Technology*, 98 : 2369-2385.
- Elabed A. (2007). Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique à l'acide phosphorique. Thèse de Doctorat en Chimie-Physique, Université Mohammed V, (Rabat, Maroc), 177 p.
- Elena F.I. (2002). Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux durs et mous. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université de Neuchâtel, (Neuchâtel, Suisse), 146 p.
- Fayoud N., Alami Younssi S., Tahiri S. & Albizane A. (2015). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur les cendres de bois (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of methylene blue on wood ashes). *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (11) : 3295-3306.
- Ghaedi M., Hossainian H., Montazerzohori M., Shokrollahi A. & Shojai pour F. (2011). A novel acorn based adsorbent for the removal of brilliant green. *Desalination*, 218 : 226-233
- Giles C.H., Smith D. & Huitson A. (1960). A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm I Theoretical, *Colloid Interface Science*, 47 :755–765
- Gueye M. (2009). Synthèse et étude des charbons actifs pour le traitement des eaux usées d'une tannerie. Mémoire de Master en Energie et procédés industriels, Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement, (Ouagadougou, Burkina Faso), 55p.
- Gueye M. T. (2015). Développement de charbon actif à partir de biomasse lignocellulosique pour des applications dans le traitement de l'eau. Thèse de Doctorat en sciences et technologies de l'eau, de l'énergie et de l'environnement, option : Énergie, université de Ouagadougou (Ouagadougou, Burkina Faso), 229 p.
- Hammami S. (2008). Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels. Thèse de Doctorat, Sciences de l'environnement, Université de Marne la Vallée (Paris, France), 208 p.
- Heinz L. (2004). Color Chemistry. Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments. 3rd revised edition. By Heinrich Zollinger. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 43 : 5290 – 529.

- Ho Y.S., Ng I.Y. & McKay G. (2000). Kinetics of pollutant sorption by biosorbents. *Methods*, 29 : 189-232.
- HO Y. S. (2003). Removal of copper ions from aqueous solution bay tree fern. *Water Res*, 37 : 2323-2330.
- Houas A., Bakir I., Ksibi M., Elaloui E. (1996). Préparation et caractérisation d'un charbon actif préparé à partir de noyaux de datte. *J.Chim.Phys*, 96 : 497-486,.
- IARC (International Agency for research on cancer). (1982). Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to human « Some industrial chemicals and dyestuffs ». (Lyon, France) 29 : 417 p.
- Khalifaoui A. (2012). Etude expérimentale de l'élimination de polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des matériaux naturels : application aux peaux d'orange et de banane. Thèse de doctorat en génie des procédés, université Mentouri, (Constantine, Algérie), 180 p.
- Khoualene L. & Semmar S. (2016). Etude Cinétique et Thermodynamique de l'adsorption du Noir Eriochrome T sur le Charbon. Mémoire de Master en chimie analytique, Université Abderrahmane Mira- Bejaia, (Bejaia, Algérie), 53 p.
- Kouadio D. L., Djassou A. C., Koffi A. L. Ch., Traore K. S. (2019). Development of materials for environmental pollution control from cocoa pod shells. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6 (10) : 40-45.
- Kokora A.F., Kouadio D.L., Soro D.B., N'Guettia K.R., Dembele A. & Traoré S.K. (2018). Elimination d'un colorant textile sur des adsorbants issus de déchets agricoles. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 31 : 39-54
- Konaté Z., Assiri A.A., Messoum F.G., Sekou A., Camara M. & Yao-Kouamé A. (2016). Identification de quelques contraintes paysannes en replantation cacaoyère en Côte d'Ivoire. *Revue CAMES*, 4(2) : 51-57.
- Krou N. J. (2010). Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élément de polluants organiques, Thèse de Doctorat, Génie des procédés et de l'Environnement, Université de Toulouse, (Toulouse, France), 208p.
- Ladjal N. (2013). Elaboration, caractérisation de charbons actifs fonctionnalisés et étude de leurs propriétés en adsorption de composés organiques. Thèse de doctorat en chimie organique, Université de M'Sila, (M'Sila, Algérie). 146 p.

- Lamri N. (2010). Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption. Thèse de Doctorat, chimie analytique, physique et environnement, Université Mentouri de Constantine (Constantine, Algérie), 122p.
- Langmuir I. (1918). The adsorption of gases on plane surface of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.*, 40 : 1361-1367.
- Le pape H. (2003). Etude des propriétés germicides de fibres de carbone active « Application à la décontamination de l'air en cabine d'avion ». Thèse doctorat, Biologie cellulaire, Université de Limoges, (Limoges, France), 207p.
- Lemonnier M. & Viguiet M. (2002). Les textiles et leur entretien 7<sup>ème</sup>, Edition : Jacques Lanore, Paris : 104-105.
- Letarte S. (1999). Etude de l'adsorption du furane sur deux types de substrats et des effets produits par un bombardement électronique de faible énergie. Mémoire de Master, Faculté des Sciences et de Génie, Université de Laval, (Laval, Québec), 89 p.
- Lindqvist N., Tuhkanen T. & Kronberg L. (2005). Occurrence of acidic pharmaceuticals in raw and treated sewages and in receiving waters. *Water Res* ;39(11) :19–28
- Low M.J.D., (1960). Kinetic of Chemisorption of Gases on Solids. *Chem. Rev.* 60: 267-312.
- Lucas M. S., Dias A. A., Sampaio A., Amaral C., and Peres J. A., 2007. Degradation of a textile reactive Azo dye by a combined chemical-biological process: Fenton's reagent-yeast. *Water Res.* 41 (5) 1103-1109.
- Luo P., Zhao Y., Zhang B., Liu J. & Yong, J. (2010). Study on the adsorption of Neutral Red from aqueous solution onto halloysite nanotubes. *Water Research*, 44 : 1489-1497.
- Lyubchik S.B., Benaddi H., Shapranov V. V. & Beguin F. (1997). Activated carbons from chemically treated anthracite. *Carbon*, 35 (1) : 162-165.
- Mahammed F. (2017). Adsorption des pollués organiques en solution aqueuse par des argiles naturelles de la région de Tlemcen. Thèse de Doctorat en Chimie option environnement, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen (Chetouane, Algérie), 127 p.
- Mamane O. S., Zanguina A., Daou I. & Natatou I. (2016). Préparation et caractérisation de charbons actifs à base de coques de noyaux de *Balanites Eagyptiaca* et de *Zizyphus Mauritiana*. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 41 : 56-67.

- Medekhel A. (2018). Adsorption du bleu de méthylène par charbon actif. Mémoire de Master académique en Génie des procédés option génie chimique, Université Echahid Hamma Lakhdar -El Oued- (EL oued, Algérie), 88 p
- Mohamed L. B. (2008). Adsorption des métaux lourds dans les eaux usées par des charbons actifs préparés à partir de biomasses locales. Mémoire de Master, Institut International d'Energie de l'eau et de l'environnement, (Ouagadougou, Burkina Faso), 55p.
- Moncada S. Palmer R.M. & Higgs E.A. (1991). Nitric oxide: physiology, pathophysiology and pharmacology. *Pharmacol Rev*, 43 :109–142.
- Nko'o Abuiboto M. C., Avom, J. & Mpon R. (2016). Évaluation des propriétés de charbons actifs de résidus de Moabi (*Baillonella toxisperma* Pierre) par adsorption d'iode en solution aqueuse. *Journal of Water Science*, 29: 51-60.
- Olodo E. (2018). Côte d'Ivoire: récolte record de cacao en vue pour 2018/2019. Agence ecofin, novembre 2018.
- OMS (2004). Directives de la qualité pour l'eau de boisson, troisième édition. Genève, 110 p.
- Önal Y., Conan A. & Sarici-Ozdemir C. (2002). Textural development of sugar beet bagasse activated with ZnCl<sub>2</sub>. *Journal of Hazardous Materials*, 142: 138-143.
- Ouakouak A.K. & Youcef L. (2016). Phosphates removal by activated carbon. *Sensor letters journal*, 14 (6) : 600-605.
- Rangabhashiyam S., Anu N. & Selvaraju N. (2013). Sequestration of dye from textile industry wastewater using agricultural waste products as adsorbents. *Journal of Environment Chemical Engineering*, 1(4) : 629-641.
- Rehn L. (1895). Blasengeschwulste bei Fuschin arbeiten. *Arch. Klin Chir.*, 50 : 588 p.
- Reungoat J. (2007). Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone. Application au traitement d'effluent aqueux industriels. Thèse doctorat, Génie des Procédés et de l'Environnement, Université de Toulouse (Toulouse, France), 239 p.
- Rodriguez-Reinoso F. & Molina-Sabio M. (1998). Textural and chemical characterization of microporous carbons. *Advances in colloid and interface science*, 76: 271-294.
- Salam I. I. & Bandor T. J. (2005). Roll of surface chemistry in adsorption of phenol on activated carbon. *Journal of colloid and interface Science*, 264: 37-312.

- Salleh M.A., Mahamoud D.K., Karim W.A. & Idris A. (2011). Cationic, anionic dye adsorption by agricultural solid waste. *Comprehensive review desalination*, 280 : 1-13.
- Sedira N. (2013). Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes. Mémoire de magister en chimie physique et analytique, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, (Souk-Ahras, Algérie), 144 p.
- Shore J. (2002). Colorants and auxiliaries : Organic Chemistry and Application Properties. John Shore, Manchester (Angleterre), 372 p.
- Tcheka C., Harouna M., Fadeune G S. S. & Mbarki M. (2015). Kinetic and Equilibrium Studies on Adsorption of Methylene Blue and Methyl orange in Aqueous Solution onto Activated Carbon by H3P04 Activation from the Hulls of Vitexdoniana. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (1): 101-108.
- Tsai W.-T., Hsu H.-C., Su T.-Y., Lin K.-Y., Lin C.-M. & Dai T.-H. (2007). The adsorption of cationic dye from aqueous solution onto acid-activated andesite. *Journal of Hazardous Materials*, 147(3): 1056–1062.
- Vro-Bi T.P. (2019). Etude expérimentale de l'adsorption du méthyle rouge sur du charbon issu de la coque de la cabosse de cacao. Mémoire de Master en physique chimie Option environnement, Université Jean Lorougnon GUEDE (Daloa, Côte d'Ivoire), 59 p.
- Yang T. & Lua A.C. (2003). Characteristics of activated carbons prepared from pistachionut shells by physical activation. *J Colloid Interface Sci*, 267(2) : 408-417.
- Zollinger H., 1991. Color Chemistry. Synthesis, Properties and Applications of Organic Oyes and Pigments, *Ed, VCH*. 496p.
- Zue M. M. (2012). Élimination des ions Mn (II) des solutions aqueuses par adsorption sur des charbons actifs préparés à partir des coques de noix de noisette. Mémoire de Master, Université des sciences et techniques de Masudu, (Libreville, Gabon), 74p.

## **RESUME**

Cette étude a eu pour but d'évaluer l'efficacité du traitement d'un colorant anionique (Noir Eriochrome T) par adsorption sur du charbon actif issu de coques de cabosses de cacao. Le charbon actif a été préparé en utilisant des coques de cabosses de cacao comme précurseur. L'activation a été réalisée à l'aide de l'acide orthophosphorique ( $H_3PO_4$ ) à 20%. Les imprégnats ont ensuite été carbonisés dans un four à moufle programmable de type Nabertherm à  $450^{\circ}C$  pendant 3h. Les tests d'adsorption révèlent que dans les conditions de préparation, le temps d'équilibre est de 80 min, la quantité maximale de noir érichrome adsorbée est estimée à 120,112 mg/g et que la masse optimale de charbon est de 0,1g. Les essais expérimentaux ont également prouvé d'une part, que la cinétique d'adsorption du noir érichrome T est bien adaptée par le modèle Freundlich ( $R^2$  élevé). D'autre part, que la cinétique suit le modèle pseudo-second ordre et que l'étape de la diffusion intra-particule n'est pas le seul facteur limitant la cinétique l'adsorption.

**Mots clés :** Adsorption, charbon actif, cinétique d'adsorption, isotherme d'adsorption

## **ABSTRACT**

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of the treatment of an anionic dye (Eriochrome T black) by adsorption on activated carbon obtained from cocoa pod shells. Activated charcoal was prepared using cocoa pod shells as a precursor. Activation was performed using 20% orthophosphoric acid ( $H_3PO_4$ ). The impregnates were then carbonized in a programmable muffle furnace of the Nabertherm type at  $450^{\circ}C$  for 3 hours. The adsorption tests show that under the preparation conditions, the equilibrium time is 80 min, the maximum amount of erichromic black adsorbed is estimated to be 120.112 mg / g and that the optimum carbon mass is 0.1 g. The experimental tests also proved on the one hand, that the adsorption kinetics of erichrome black T is well adapted by the Freundlich model (high  $R^2$ ). On the other hand, that the kinetics follow the pseudo-second order model and that the step of the intra-particle diffusion is not the only factor limiting the kinetics of the adsorption.

**Keywords :** Adsorption, activated carbon, adsorption kinetics, adsorption isotherms