

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

---

**Université M'Hamed Bougara de Boumerdès**

**Faculté des Sciences de l'Ingénieur**



**Mémoire de fin d'étude**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Filière :** Génie des procédés industriels

**Spécialité :** Génie de l'environnement

**Présenté par :** AMRICHE Lamia

**Thème :**

---

---

**Elimination des Ions Cyanures en Milieux Aqueux  
par Adsorption sur les Tiges de Sorgho**

---

---

Soutenu le : 15/07/2019 devant le jury composé de :

<b>Président:</b>	<b>Mr. Hakim BALOUL</b>	<b>Dr</b>	<b>UMBB</b>
<b>Examineurs:</b>	<b>Mr. Mourad AMITOCHE</b>	<b>Dr</b>	<b>UMBB</b>
	<b>Mr. TOUATI Merouane</b>	<b>As</b>	<b>ENS Kouba</b>
<b>Encadreur :</b>	<b>M<sup>me</sup>. Salima CHERGUI</b>	<b>Dr</b>	<b>ENS Kouba</b>
<b>Co-encadreur :</b>	<b>Mr. Ahmed Réda YEDDOU</b>	<b>Pr</b>	<b>UMBB</b>

Année universitaire : 2018/2019

## ***Remerciements***

En premier lieu, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la volonté, le courage et la patience pour accomplir ce travail.

Mes sincères remerciements s'adressent à mon Professeur

***Ahmed Reda Yeddou***

***Ainsi qu'à ma encadreuse Docteur***

***Salima CHERGUI***

De m'avoir guidé durant ce travail, pour ses judicieux conseils, pour son aide, pour avoir dirigé la réalisation de ce travail. Je remercie également les membres de jury, président, examinateur, invité, d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

J'ai le grand honneur et l'immense plaisir de transmettre mes plus vifs remerciements à tous nos professeurs, qui ont contribué tous à nous transmettre l'incalculable trésor qui est les avoir.

Ce mémoire est le résultat d'un stage effectué au sein de laboratoire d'Etude et de Développement des Techniques de Traitement et d'Épuration des Eaux et de Gestion Environnementale (LEDTEGE-ENS Kouba) sous la direction du directeur de ce laboratoire le Professeur Boubekeur NADJEMI.

***Merci à tous***

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail a ceux qui me comptent très chers

### *Ma mère et Mon père*

Qui n'ont pas cessé de m'encourager et de prier pour moi, dont leur bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Que dieu puisse m'aider à les honorer, les servir et les combler.

Pour le support morale, je remercie mes sœurs, mes beaux-frères qui m'ont supporter, appuyé, encouragé pendant les périodes les plus dures.

Mes remerciements les plus vifs vont tout particulièrement a mes amies pour leurs soutiens.

*Merci à tous*

## Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de l'adsorption du cyanure sur un nouvel adsorbant obtenu à partir des tiges de sorgho de larges issus d'une récolte sur Alger.

Cette étude constitue aussi, une voie potentielle de valorisation de cette biomasse sans application à l'heure actuelle.

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent que la capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration initiale et diminue avec l'augmentation de la dose initiale et le diamètre de l'adsorbant.

La présence du sel NaCl a favorisé le procédé d'adsorption avec une capacité d'adsorption meilleure.

Les résultats de la modélisation des isothermes d'adsorption montrent que le modèle de Freundlich est le plus compatible pour décrire le mécanisme d'adsorption.

.

**Mot clés : Cyanure, sorgho, adsorption, isotherme.**

## Summary

The objective of this job is the study of the adsorption of the cyanide on a new adsorbent got from the stems of sorghum of open sea coming from a harvest on Algiers.

This study also constitutes, a potential way of promotion of this biomass without application at present.

The results got during this study show that the capacity of adsorption augment with the increase of initial concentration of the pollutant and diminish with the increase of the initial dose and diameter of the adsorbent.

The presence of the salt NACL favored the technique of adsorption with a capacity of better adsorption.

The results of the modeling of the isotherms of adsorption show that models of Freundlich is the most compatible to describe the mechanism of adsorption.

**Key word: Cyanide, sorghum, adsorption, isotherm**

## Liste des figures

### Chapitre I : Bibliographie

Figure 1 : formule chimique du cyanure d'hydrogène.....	4
Figure 2 : Influence du pH sur l'état d'équilibre entre l'ion cyanure CN <sup>-</sup> et l'acide Cyanhydrique HCN.....	6
Figure 3 : Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.....	12
Figure 4 : tige de sorgho.....	14
Figure 5 : plante de sorgho.....	14
Figure 6 : Classifications des isothermes selon Giles et col.....	19

### Chapitre III : Résultats et discussion

Figure 1 : Image macroscopique (MEB) de l'adsorbant.....	32
Figure 2 : courbe d'étalonnage.....	33
Figure 3 : Evolution de la capacité d'adsorption en fonction de la granulométrie de l'adsorbant.....	34
Figure 4 : Evolution de l'adsorption du cyanure à différentes concentrations initiales.....	35
Figure 5 : Evolution de la capacité d'adsorption en fonction de la dose initiale de l'adsorbant.....	36

<b>Figure 6 : Evolution du pourcentage d'élimination en fonction de la dose initiale de l'adsorbant.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 7 : Evolution de la capacité d'adsorption en présence de NaCl.....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 8 : Isotherme d'adsorption du cyanure sur l'adsorbant.....</b>	<b>39</b>
<b>Figure 9 : Application du modèle linéaire de Langmuir sur l'isotherme d'adsorption.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure 10 : Application du modèle de Freundlich sur l'isotherme d'adsorption.....</b>	<b>41</b>

## **Liste des tableaux**

### **Chapitre I: Bibliographie**

<b>Tableau 1 : les espèces cyanurées rejetées selon l'industrie.....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau 2 : les principales différence entre adsorption physique et adsorption chimique.....</b>	<b>11</b>

### **Chapitre II: Matériels et méthodes**

<b>Tableau 1 : les produits et leurs marques utilisés.....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau 2 : Appareilles utilisés.....</b>	<b>24</b>

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

<b>Tableau 1 : pH de contact et pHpzc.....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau 2 : Paramètres des modèles utilisés.....</b>	<b>41</b>

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## Chapitre I : Bibliographie

Introduction.....	4
I. Généralités sur les cyanures .....	4
I.1 Les cyanures .....	4
I.2 Chimie inorganique du cyanure.....	5
I.2.1 Les cyanures libres .....	6
I.2.2 Les cyanures simples.....	7
I.2.3 Origines des eaux usées cyanurées .....	7
I.3 Normes de rejets des cyanures .....	8
I.4 Toxicité des cyanures .....	8
II. Adsorption.....	10
II. Introduction .....	10
II. Généralités sur l'adsorption .....	10
II.1 Définition .....	10
II.2 Classification des phénomènes d'adsorption.....	10
II.2.1 Adsorption physique .....	11
II.2.2 Adsorption chimique.....	11
II.3 Mécanisme de l'adsorption .....	12
II.4 Adsorbants.....	13

II.4.1 Adsorbants industriels.....	13
II.4.2 Bio-adsorbants .....	13
II.4.3 Les tiges de sorgho .....	14
II.4.4 Caractéristique d'un adsorbant.....	15
II.5 Facteurs influencent l'adsorption.....	15
II.5.1 Caractéristique de l'adsorbant.....	16
II.5.2 Caractéristique de l'adsorbat.....	16
II.5.3 Influence de la nature du milieu à purifier.....	16
II.5.3.1 La concentration initiale du polluant et la dose initiale de l'adsorbant .....	16
II.5.3.2 Le pH.....	16
II.5.3.3 La température .....	16
II.5.3.4 La force ionique .....	17
II.6 Isothermes et cinétiques d'adsorption .....	17
II.6.1 Isotherme d'adsorption .....	17
II.6.2 Classification des isothermes d'adsorption.....	18
II.6.2.1 Classification selon Giles et Co.....	118
II.6.3 Modélisation des isothermes d'adsorption .....	20
II.6.3.1 Modèle de Langmuir.....	20
II.6.3.2 Modèle Freundlich.....	21
II.6.4 Cinétique d'adsorption.....	21

## Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Introduction .....	24
I. Produits et appareillages utilisé .....	24
I.1 Produits utilisés.....	24
I.2 Verreries et appareillages .....	25
I.3 Méthodologie expérimentale .....	25
I.3.1 Préparation de l'adsorbant.....	26
I.3.2 Préparation de la solution mère du cyanure .....	26
I.3.3 Méthode d'analyse des cyanures .....	26
I.4 Etude de l'adsorption du cyanure sur les tiges de sorgho.....	26
I.4.1 Influence des différents paramètres sur la capacité d'adsorption .....	26
I.4.1.1 Effet du diamètre de l'adsorbant.....	26
I.4.1.2 Effet de la concentration initiale du cyanure .....	27
I.4.1.3 Effet de la dose initiale de l'adsorbant .....	27
I.4.1.4 Effet de la force ionique .....	27
I.5 Etude des isothermes d'adsorption .....	27
I.6 Conditions opératoires .....	28

## Chapitre III : Résultats et discussion

I. Introduction .....	30
I. Caractérisation physico-chimique de l'adsorbant .....	31
I.1 pH de contacte et pH au point de charge nulle.....	31
I.2 Analyse de la surface par microscopie électrique a balayage.....	31
I.3 Détermination de la courbe d'étalonnage .....	32
I.4 Etude de l'adsorption du cyanure sur la biomasse obtenue à partir des tiges de sorgho.....	33
I.4 Influences des différents paramètres sur la capacité d'adsorption.....	33
I.4.1. Effet du diamètre de l'adsorbant.....	33
I.4.2 Effet de la concentration initiale du cyanure.....	34
I.4.3 Effet de la dose initiale de l'adsorbant.....	35
I.4.4 Effet de la force ionique .....	37
I.5 Etudes des isothermes d'adsorption .....	39
I.6 Modélisation des isothermes d'adsorption.....	40
I.6.1 Modèle de Langumir .....	40
I.6.2 Modèle de Freundlich .....	40
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>42</b>

## **Introduction générale**

L'industrialisation rapide a eu sur l'environnement des conséquences qui ont été illustrées par les innombrables cas où les ressources en sols, en air et en eau ont été contaminées par des matières toxiques et d'autres polluants, mettant ainsi gravement en danger la santé des êtres humains et la salubrité des écosystèmes. Avec l'utilisation plus extensive et intensive des matières et de l'énergie, la qualité des écosystèmes locaux, régionaux et mondiaux a été soumise à des pressions cumulatives.

Le cyanure est considéré un des composés les plus dangereux pour l'environnement. Ils sont évacués par de diverses industries chimiques de synthèse, les industries de traitement de surface et ceux métallurgiques. Cet usage répandu implique leur présence, plus ou moins importante dans les rejets liquides. Selon l'activité, la concentration dans les effluents peut être de quelques milligrammes à quelques grammes par litre.

En Algérie les normes de ces composés sont des plus sévères, ils sont limités à 0,1 mg/L dans les rejets. [1]

L'élimination des composés cyanurés peut se faire de différents procédés et ce selon la concentration et le type du composé cyanuré. Parmi ces procédés, on peut citer l'oxydation biologique, l'oxydation chimique, la précipitation et l'adsorption.

L'adsorption est parmi les procédés les plus utilisés pour l'élimination des cyanures en particulier pour les faibles concentrations, et connue par son efficacité et son faible coût économique par rapport aux autres procédés.

L'Algérie est un état aguichant dans la branche agro-alimentaire où le Sorgho fait partie des 13 céréales cultivées [2]. Avec une production générale de 3 millions de tonnes, un tonnage essentiel pour une source alimentaire.

Cette récolte importante engendre une énorme quantité de sous-Produit, essentiellement les tiges de sorgho, qui peuvent être misent en valeur [3].

Notre travail porte sur la valorisation de la biomasse végétale qui est aujourd'hui un axe environnemental lié à la biodiversité, pour l'élimination des composés cyanurés par le procédé d'adsorption.

Le présent manuscrit est composé de trois grandes parties, une partie bibliographique, une partie expérimentale et une partie de présentation des résultats obtenus et leurs discussions :

**La partie bibliographique :** est dédiée aux rappels et notions théoriques sur les Cyanures, l'adsorbant, mais aussi le procédé d'adsorption utilisé pour l'élimination du polluant en milieux aqueux.

**La partie expérimentale :** décrit d'abord le protocole expérimental de la préparation de biosorbant et des expériences d'adsorption.

**La partie résultats et discussions :** consacrée à l'interprétation des résultats expérimentaux de l'adsorption obtenus, comprend dans l'ordre les résultats de la caractérisation de l'adsorbant, enfin de la modélisation des isothermes.

**Nous conclurons** notre travail avec une conclusion générale

# Chapitre I :

# Bibliographie

## I. Introduction :

La pollution désigne l'introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou terrestres, qui entraînent, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes.

## I. Généralités sur les cyanures :

### I.1 Les cyanures :

Le cyanure est un produit chimique d'action rapide et potentiellement mortel qui peut exister comme gaz (HCN) et comme sel cristallin (K,Na,Ca ).

Le cyanure est trouvé abondamment en nature dans les plantes, les algues les champignons. Les exemples incluent les amandes, les graines des pommes, les noyaux de cerises et les pêches.

Le cyanure d'hydrogène est un gaz très toxique qui agit en quelques minutes.

L'ingrédient actif est l'ion  $\text{CN}^-$  qui se lie au fer présent dans certaines enzymes, pour former un complexe stable qui bloque la respiration cellulaire [4].



Figure 1 : formule chimique du cyanure d'hydrogène.

# Chapitre I : Bibliographie

Il existe de nombreux composés cyanurés, ils peuvent se présenter sous forme de Composés organiques et inorganiques. Les composés inorganiques comprennent les sels simples de cyanures et les cyanures complexes. Les composés organiques sont aussi variés, on cite l'acétonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ), et les glucosides cyanogénétiques [5].

## I.2 Chimie inorganique du cyanure [6] :

Les cyanures inorganiques dans les eaux ou dans les effluents industriels peuvent se présenter sous forme de cyanures libres, de sels de cyanures, Ou bien sous forme de complexes. Les cyanures sont en général classés selon cinq Catégories :

1. les cyanures libres
2. les cyanures simples (solubles ou peu solubles)
3. les cyanures complexes faiblement stables
4. les cyanures complexes modérément stables
5. les cyanures complexes stables

Dans cette section ont s'intéressent aux deux premières catégories des cyanures.

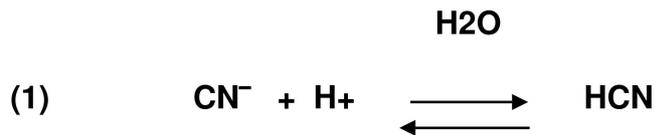
### I.2.1 Les cyanures libres :

Les cyanures libres sont ceux qui se trouvent sous la forme ioniques  $\text{CN}^-$  (ion cyanure) ou de  $\text{HCN}$  (acide cyanhydrique). Les ions  $\text{CN}^-$  peuvent provenir des

# Chapitre I : Bibliographie

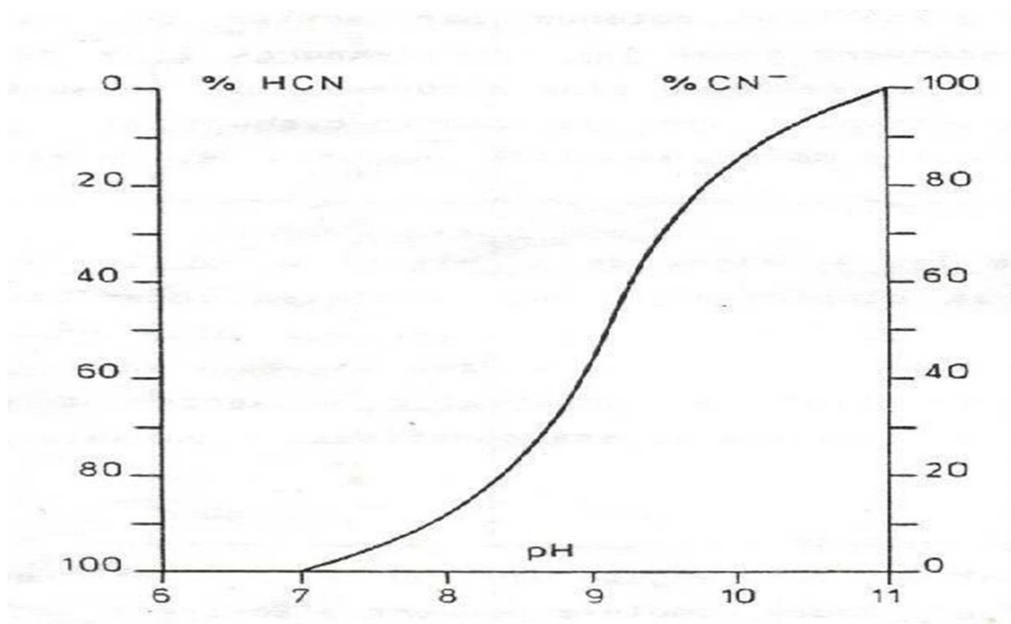
Sels simples solubilisés ou bien des complexes dissociés. Dans l'eau sont en équilibre avec le HCN, la prépondérance d'une forme ou de l'autre dépend du pH.

L'équation (1) décrit cet équilibre.



Le  $K_a$  et le  $pK_a$  sont respectivement égaux à  $6,2 \cdot 10^{-10}$  et 9,31 à 20°C.

La figure 2 illustre l'état d'équilibre entre l'ion cyanure  $\text{CN}^-$  et l'acide cyanhydrique HCN sous sa forme moléculaire en fonction du pH du milieu :



**Figure 2 : Influence du pH sur l'état d'équilibre entre l'ion cyanure  $\text{CN}^-$  et l'acide Cyanhydrique HCN.**

# Chapitre I : Bibliographie

Aux faibles pH inférieur ou égal à 7, la plus grande fraction du cyanure libre existe sous forme moléculaire HCN qui se volatilise facilement à cause de sa tension de vapeur élevée. Aux pH supérieurs à 7, l'équilibre est d'autant plus déplacé sous la forme cyanure que le pH est élevé. A pH supérieur à 11, il n'y a plus de risque de dégagement d'acide cyanhydrique.

## I.2.2 Les cyanures simples :

Les cyanures simples se présentent sous la formule chimique brute  $A(CN)_x$ , la partie A peut-être un alcalin, un alcalinoterreux ou un métal lié avec les cyanures par simple liaison ionique, l'indice x est égale à la valence de l'élément A.[7] Les sels à base de potassium sont parmi les plus utilisés industriellement, dans l'eau ils sont totalement solubles et dissociés en cation et en ion  $CN^-$ . [8] Selon l'équation (2) :



## I.2.3 Origine des eaux usées cyanurés [6]:

Différentes industries rejettent dans leurs effluents liquides les cyanures sous forme complexe, ou libre.tel que :

- Les mines d'extraction de l'or et de l'argent.
- Les ateliers de traitement de surface.
- Les coqueries et les industries métallurgiques.

# Chapitre I : Bibliographie

- Les industries chimiques.

Les espèces de cyanures rejetées et leurs concentrations dans les rejets liquides dépendent de l'industrie et des procédés utilisés. Le tableau donne l'espèce de cyanure rejetée dans les effluents pour un certain nombre d'industries.

**Tableau I : les espèces cyanurées rejetées selon l'industrie**

<b>Industrie</b>	<b>Espèces cyanurées rejetées</b>
Production de l'acrylonitrile	Cyanure libre
Métallurgie, extraction des métaux	Cyanures libres, complexes métalliques cyanurés
Industrie de traitement de surface	Cyanures libres, complexes métalliques cyanurés
Pyrolyse du charbon (production d'énergie)	Cyanure libre
Industries pharmaceutiques	Cyanure libre, cyanure organique

## **I .3 Normes de rejets des cyanures :**

La réglementation Algérienne licite une concentration en ions cyanures dans les rejets industriels de 0,1 mg/L en maximum [9]. Les Etats Unis tolèrent, selon les états, entre 0,2 et 2 mg/L. Le Canada entre 0,1,5mg/L[10].

## **I .4 Toxicité des cyanures :**

La toxicité des agents cyanogènes est liée à leur capacité à libérer des ions cyanures ( $CN^-$ ) L'ion cyanure est un puissant poison cellulaire qui a la propriété de se lier à certains ions métalliques (fer, cuivre, cobalt...) inhibant au moins 40 enzymes différents, et plus particulièrement à l'ion

## **Chapitre I : Bibliographie**

ferrique servant au transport d'électrons dans la chaîne respiratoire pour former les molécules d'ATP. Les principales circonstances des intoxications par le cyanure sont les accidents du travail, les intoxications suicidaires et à l'inhalation de fumée d'incendie. On distingue deux types de toxicité, aigue dont les effets sont rapides, et chronique dont les effets apparaissent après une exposition prolongée à la substance, mais sont imperceptibles sur une courte durée [11].

## II. Adsorption :

### II. Introduction :

L'adsorption est une technique efficace de séparation des mélanges gazeux ou liquides dont les constituants sont différents par leur structure chimique, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés comme les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques.

### II. Généralité sur l'adsorption :

#### II.1 Définition :

L'adsorption est un phénomène naturel qui se traduit par l'accumulation des molécules d'un fluide (gaz ou liquide) à la surface d'un solide adsorbant via des interactions plus ou moins fortes. L'adsorbât se fixe sur les sites dits "actifs" de l'adsorbant. La phase constituée des molécules adsorbées est appelée « Adsorbat » et le solide est nommé « adsorbant » [12]. Cette dernière est un processus exothermique qui dépend de la nature et les paramètres physico-chimiques de l'adsorbant et de l'adsorbat tels que le pKa...etc. L'adsorption est aussi influencée par les paramètres extérieurs tels que le pH du milieu, la température, la pression. [13].

# Chapitre I : Bibliographie

## II .2 Classification des phénomènes d'adsorption :

La nature des liaisons formées ainsi que la quantité d'énergie échangée lors de la rétention d'une molécule à la surface d'un solide permettent de distinguer deux types d'adsorption : l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

### II .2.1 Adsorption physique :

Les interactions entre les molécules d'adsorbât et la surface d'adsorbant sont assurées par des forces de Van der Waals, des forces électrostatiques types dipôle et des liaisons d'hydrogène. La physisorption est rapide et réversible, et il n'y a aucune altération chimique des molécules adsorbées. Ces molécules peuvent s'accumuler sur plusieurs couches (multicouches). Avec une chaleur d'adsorption faible est  $<20\text{kcal/mole}$  [14].

### II .2.2 Adsorption chimique :

Un processus mettant en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes, entre l'adsorbât et l'adsorbant, causant la destruction de l'individualité de l'adsorbât. Elle est relativement lente, irréversible et engendre une modification des molécules adsorbées. Ces molécules s'adsorbent sous forme de monocouche. La chaleur d'adsorption est relativement élevée est entre 20 et 200 kcal/mol [14].

# Chapitre I : Bibliographie

Tableau 2 les principales différences entre adsorption physique et  
adsorption chimique[14]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	5 à 10 Kcal/mol (faible)	20 à 100 Kcal/mol (élevée)
Température	Basse	Elevée
Nature de liaison	Physique	Chimique
Energie d'activation	Non appréciable (faible)	Importante (élevée)
Cinétique	Très rapide	Lente
Etat de surface	Formation de multicouches	Formation de monocouche

## II.3 Mécanisme de l'adsorption :

Le mécanisme de l'adsorption se fait en quatre étapes illustrées dans la figure (3) :

Avant son adsorption, l'adsorbat va passer par plusieurs étapes :

- Diffusion externe, le transfert de l'adsorbat de la phase liquide vers la couche externe du solide.
- Diffusion interne, transfert de l'adsorbat du film liquide (couche externe ou limite) vers la surface du solide.
- Diffusion intra-particulaire, transfert de l'adsorbat vers les sites actifs du solide.
- Adsorption proprement dite, rétention de l'adsorbat sur les sites actifs.

# Chapitre I : Bibliographie

La figure 3 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans les quels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.[15].

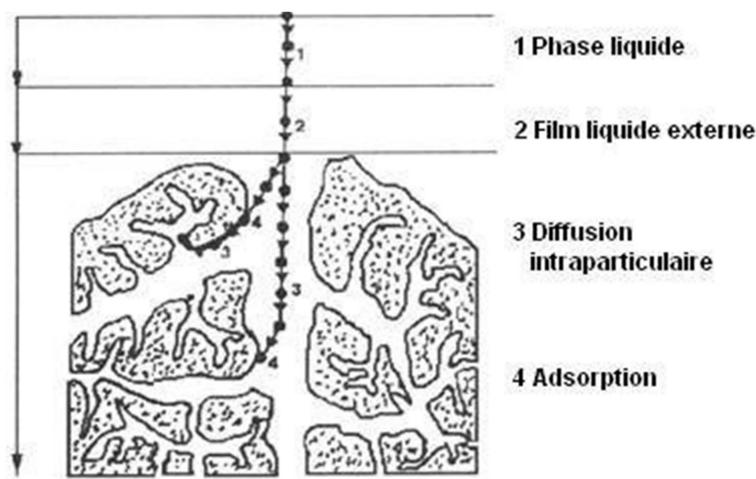


Figure 3 : Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un microporeux.[23]

## II.4 Adsorbants :

Tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une Surface spécifique suffisante peuvent avoir des intérêts pratiques.

La plus grande partie de la surface adsorbante est située dans les pores, certaines molécules ne peuvent être adsorbées par des pores trop petits par rapport à leur grosseur [14].

En distingue trois grandes classes d'adsorbants :

- Les micropores (rayon  $r < 2\text{nm}$ )
- Les méso-pores ( $2 < r < 50\text{nm}$ )

- Les macros pores ( $r > 50\text{nm}$ )

## II .4.1 Adsorbants industriels :

Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de  $100\text{ m}^2/\text{g}$ . les adsorbants industriels les plus courants sont les charbons actifs, les zéolithes, les alumines et les argiles activées.

## II .4.2 Bio-adsorbants :

Ce sont souvent des sous-produits agricoles ou agro-alimentaires n'ayant aucun intérêt, mais ayant des propriétés intrinsèques qui leur confèrent une capacité d'adsorption. Ils peuvent être d'origine bactériennes, microorganismes, champignons, ou végétale noix de dattes, d'olives, et tiges. L'utilisation des bio-adsorbants peu coûteux ou sans valeur commerciale pour éliminer les matières organiques des solutions aqueuses a prouvé qu'ils peuvent concurrencer les adsorbants traditionnels coûteux [16].

## II .4.3 Les tiges de sorgho :

Le sorgho est une plante qui appartient à la famille d'herbe, pérenne et vigoureuse qui peut atteindre 3 m de haut. C'est une plante de climat chaud qui fait preuve d'une tolérance considérable aux conditions de cultures difficiles en possédant un système de racines efficace qui la rend encore plus résistante à la sécheresse. Le sorgho est cultivé principalement pour l'alimentation humaine, l'extraction du sucre et la fabrication de l'éthanol.



Figure 4 : tige de sorgho



Figure 5 : plante de sorgho

Cette biomasse est utilisée en deuxième lieu pour l'alimentation du bétail. Les tiges de sorgho sont riches en sucre soluble (glucose, saccharose et fructose). Elles ont été utilisées dans la production de biocarburant, bioéthanol et la production du papier [17].

### II .4.4 Caractéristiques d'un adsorbant :

Beaucoup de substances chimiques de nature très différentes peuvent être utilisées comme adsorbants à condition de présenter certaines propriétés:

**Insolubilité** : elle est pratiquement totale dans le solvant utilisé.

**Inerte chimiquement** : avec les autres substances qu'on va adsorber.

**Surface spécifique** : la surface spécifique des adsorbants, est liée à leur granulométrie et à leur porosité. Une grande surface spécifique est en général souhaitable, elle permet d'obtenir de meilleures adsorptions. Elle dépend de la nature de l'adsorbant et de sa préparation. L'adsorption du soluté sur l'adsorbant

# Chapitre I : Bibliographie

augmente (transfert de masse augmente), il ne faut pas trop réduire le diamètre de l'adsorbant (poudre) pour éviter les pertes par entraînement sous forme de poussières (pollution de l'atmosphère, maladie du personnel,...)[18].

## **II .5 Facteurs influençant l'adsorption :**

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour favoriser le processus d'adsorption. Il est important de rappeler que la capacité d'adsorption d'une molécule à éliminer est proportionnelle à la surface spécifique de l'adsorbant. De plus, il faut que le diamètre des pores soit supérieur à la taille de la molécule pour que celle-ci puisse diffuser rapidement et atteindre le site d'adsorption. L'équilibre d'adsorption entre un adsorbant et un adsorbé, dépend de nombreux facteurs [19].

### **II .5.1 Caractéristiques de l'adsorbant :**

La capacité d'adsorption est essentiellement liée à certaines caractéristiques du solide utilisé telles que : la surface spécifique, la distribution des tailles des pores, inertie chimique, l'insolubilité [20].

### **II .5.2 Caractéristiques de l'adsorbé :**

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbé peuvent nous révéler une approche ou une approximation sur l'affinité du polluant envers le solide. On note que, la masse molaire, la solubilité, la taille moléculaire (structure chimique) font partie des paramètres influents [21].

# Chapitre I : Bibliographie

## II .5.3 Influence de la nature du milieu à purifier :

### II.5.3.1 La concentration initiale de l'adsorbat et la dose initiale de l'adsorbant :

Les concentrations initiales du polluant et la dose initiale de l'adsorbant affectent la quantité adsorbée. Néanmoins, ces paramètres restent toujours dépendant de la nature de ces derniers [22].

### II .5.3.2 Le pH :

L'adsorption est fortement favorisée à pH au point de charge nulle car à ce stade, les liaisons entre les molécules d'eau et la surface du solide sont minimales autrement dit, le pH pour lequel la molécule est électriquement neutre.(équilibre électrique)[23].

### II .5.3.3 La température :

L'influence de la température varie en fonction de la nature de l'adsorbant et l'adsorbat et l'affinité de l'un envers l'autre [3].

### II .5.3.4 La force ionique :

Les charges de l'adsorbant peuvent être également masquées par l'ajout d'une espèce ionique comme NaCl (effet écran). L'augmentation de la concentration en sel rend encore l'adsorption meilleure [23].

# Chapitre I : Bibliographie

## II. 6 Les isothermes et cinétiques d'adsorption :

### II. 6.1 Les isothermes d'adsorption :

Les isothermes d'adsorption sont utilisées pour comprendre les mécanismes d'équilibre entre adsorbat et adsorbant en traçant la quantité de soluté adsorbée en fonction de la concentration à l'équilibre. L'isotherme d'adsorption permet aussi de connaître la capacité adsorbante maximale d'un adsorbant. Cette donnée est obtenue à l'équilibre (équilibre fluide-solide), à température et pression constante en connaissant la concentration initiale du fluide et la dose d'adsorbant [23].

La capacité d'adsorption d'un biosorbant définit la quantité de polluant que le matériau peut adsorber pour des conditions opératoires déterminées. Elle est le principal paramètre retenu en vue d'estimer le pouvoir adsorbant d'un adsorbant.

La capacité d'adsorption est déterminée par cette relation :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m(ads)} \quad (\text{mg/g}) \dots\dots\dots(3)$$

Où :

$i$  : Concentration initiale du liquide,

          : Concentration du liquide à l'équilibre,

$Q_e$  : Capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g, g/g, mo/g,.... etc )

$V$  : Volume du milieu.

$m_{ads}$  : Masse de l'adsorbant utilisée.

# Chapitre I : Bibliographie

## II .6.2 Classification des isothermes d'adsorption :

### II .6.2.1 Classification selon Giles et col [25] :

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées: S (Sigmoide), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante). La figure illustre la forme de chaque type d'isothermes.

Ces isothermes sont représentées dans la figure (5).

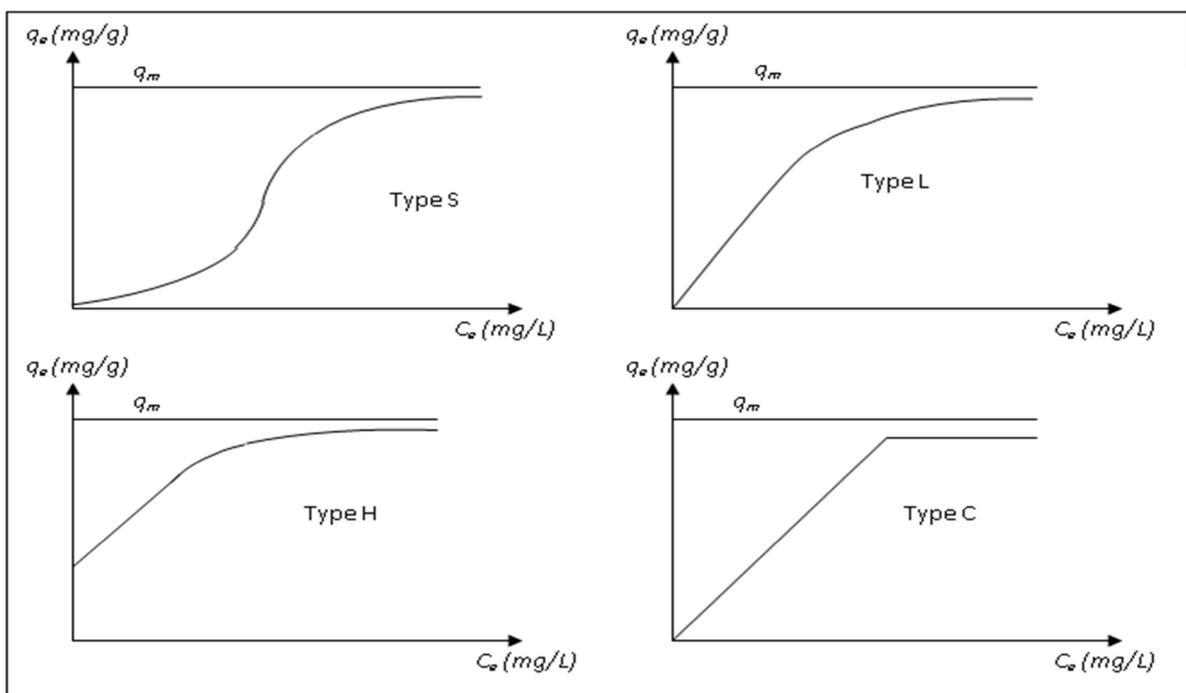


Figure 5 : Classifications des isothermes selon Giles et col [25].

**Le type S :** Le type S correspondant a l'adsorption d'un composé qui s'adsorbe plus facilement lorsque sa concentration augmente.

**Le type L :** La courbe de type L (type de Langmuir) correspond a une adsorption qui se fait en monocouches et devient de plus en plus difficile avec l'augmentation de la concentration et la diminution de sites d'adsorption disponibles.

# Chapitre I : Bibliographie

**Le type H :** Le type H correspond à une isotherme d'adsorption pour laquelle les molécules ont une grande affinité avec l'adsorbant.

**Le type C :** lors de l'adsorption, de nouveaux sites actifs sont créés. Ce type désigne une isotherme linéaire.

.

## II .6.3 Modélisation des isothermes d'adsorption :

Pour pouvoir discuter, interpréter les résultats expérimentaux et de bien comprendre le mécanisme d'adsorption, des modèles mathématiques sont proposés. Un grand nombre de modèles d'isotherme d'adsorption ont été développés. Ici, nous présentons uniquement les modèles les plus courants.

### II .6.3.1 Modèle de Langmuir :

C'est un modèle largement utilisé. Il décrit la plupart des réactions d'adsorption. Il est basé sur les hypothèses suivantes [26] :

- Le nombre de site d'adsorption sur la surface est limité.
- Un site ne peut adsorber qu'une seule molécule.
- La surface est recouverte au maximum par une couche.
- La réaction d'adsorption est réversible.
- La surface est énergiquement homogène.
- Il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées.

L'équation de Langmuir est donnée par la relation:

# Chapitre I : Bibliographie

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (\text{mg/g}) \dots \dots \dots (4)$$

Avec

**q<sub>e</sub>** : capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g),

**q<sub>m</sub>** : capacité maximale d'adsorption (mg/g),

**C<sub>e</sub>** : concentration du soluté à l'équilibre (mg/l),

**K<sub>L</sub>** : constante de Langmuir (L/mg).

La linéarisation de l'équation précédente permet de déduire les paramètres caractérisant le modèle étudié,

$$(5) \quad \frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{q_m} \cdot C_e + \frac{1}{q_m K_L}$$

## II .6.3.2 Modèle de Freundlich[14] :

Les hypothèses sur lesquelles est fondé ce modèle sont les suivantes :

- la surface de l'adsorbant est hétérogène ;
- possibilité d'interactions entre les molécules adsorbées ;
- les molécules adsorbées forment une multicouche.

Généralement l'isotherme de Freundlich est traduite par la relation suivante :

$$q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \dots \dots \dots (6)$$

## Chapitre I : Bibliographie

avec

**qe** : capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g),

**Ce** : concentration à l'équilibre (mg/L),

**Kf** : constante de Freundlich ,

**n** : Constante dépendante de la nature du l'adsorbat.( le facteur d'hétérogénéité).

Cette relation est linéarisable sous la forme :

$$(7) \quad \ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \cdot \ln C_e$$

O note que : si  $0,1 < n < 0,5$ , cela signifie que l'adsorption est bonne. Pour des valeurs plus élevées, on parle alors d'une adsorption moyenne.

### II.6.4 Cinétiques d'adsorption [23] :

Différents types de modèles sont utilisés pour simuler les cinétiques d'adsorption dans la littérature. Les modèles les plus courants utilisés pour simuler les cinétiques d'adsorption sont les modèles dits de pseudo premier ordre (équation 8) et les modèles de pseudo second ordre (équation 10).

**Pseudo-premier ordre :**

$$(8) \quad \frac{dQ_t}{dt} = K_1 \cdot (Q_e - Q_t)$$

**Qt** : Quantité adsorbée a un temps t (mg/g)

**Qe** : Quantité adsorbée a l'équilibre (mg/g)

**k1** : Constante de vitesse d'adsorption du pseudo premier ordre (g/(mg.s))

l'intégration de l'équation donne :

## Chapitre I : Bibliographie

**Pseudo-deuxième ordre :**

$$(9) \quad \ln(qe - qt) = \ln qe - \frac{K1}{2.203} \cdot t$$

Et

$$(10) \quad \frac{dQt}{dt} = K2(Qe - Qt)^2$$

**Qt** : Quantité adsorbée a un temps t (mg/g)

**Qe** : Quantité adsorbée a l'équilibre (mg/g)

**k2** : Constante de vitesse d'adsorption du pseudo second ordre (g/(mg.s))

$$(11) \quad \frac{t}{qt} = \left( \frac{1}{K2qe^2} \right) + \frac{1}{qe} \cdot t$$

# Chapitre II :

## Matériels

### et Méthodes

## Chapitre II : Matériels et méthodes

### Introduction :

Notre travail expérimentale consiste en l'étude de la valorisation d'un sous-produit d'agro ressources. Dans ce présent chapitre nous donnons le matériel et les produits chimiques utilisés ainsi que les protocoles expérimentaux qu'on a suivis.

Le matériau de la phase solide utilisé est la biomasse des tiges de sorgho, nous commençons tout d'abord par donner la méthode de la préparation de la biomasse puis la solutions mère du polluant, Par la suite, nous allons étudier les isothermes d'adsorption et les paramètres qui comprend l'influence de la concentration initiale de notre polluant modèle **le cyanure**, la dose d'adsorbant, le diamètre de l'adsorbant et la force ionique.

### I. Produits et appareillages utilisés :

#### I.1 Produits utilisés :

Tous les produits chimiques utilisés pour ce présent travail sont destinés pour les analyses de laboratoire, et les tiges de sorgho d'une récolte à Alger.

**Tableau 1 les produits et leur marques utilisés**

Produits utilisés	Marque	Pureté
<b>NaOH</b> (Hydroxyde de Sodium)	Biochem	98%
<b>NaCl</b> (Chlorure de Sodium)	Biochem	99.9%
<b>KCN</b> (Cyanure de Potassium)	Riedel-De Haen Ag Seelze-Hannover	97%

## Chapitre II : Matériels et méthodes

### I.2 Verreries et Appareillages :

La verrerie qu'on a utilisée pour ce présent travail :

Fioles jaugés, Béchers, pipettes, éprouvettes, entonnoirs, erlenmeyers et burette, pissette, spatule, verre de montre.

**Tableau 2 appareils utilisés dans ce présent travail**

Appareilles utilisés	Marque
Agitateur magnétique	stuart SB162
Secoueuse	GFL 3015
Balance analytique	FA2004B
Broyeur	kenwood major premier
Tamiseur	retsch as200
pH mètre	Hanna pH211
Électrode	CRYTUR cyanide 06-27
Etuve	wiseVen WON-32
Potentiomètre	GFL 3015

### I.3 Méthodologie expérimentale :

La méthode expérimentale scientifique consiste à tester la validité d'une hypothèse. Il s'agit de modifier un ensemble de paramètres dans le but de mesurer leurs effets.

## Chapitre II : Matériels et méthodes

### I .3.1 Préparation de l'adsorbant :

Les tiges de sorgho utilisées sont :

- Coupées en petits morceaux pour faciliter la manipulation,
- Lavées à l'eau de robinet pour éliminer le maximum de la poussière,
- Rincées à l'eau distillée pour diminuer les sels et les minéraux après lavage à l'eau de robinet,
- Séchées dans l'étuve à une température de 50 à 60 °C,
- Broyées jusqu'à l'obtention de petites particules et d'une poudre fine.
- Passées à travers un tamiseur pour avoir une gamme d'adsorbant de tailles de particules variées. Le tamiseur contient des tamis de diamètre : 400, 315, 250, 200 ,160,100, 80 et 50 $\mu$ m.

### I .3.2 Préparation de la solution mère du cyanure :

Pour la préparation d'une solution de 2.6 g/L  $\text{CN}^-$ , on dissout la masse requise lentement dans le solvant sous agitation. Une fois que notre solution est homogène, elle est transvasée dans une fiole de 1L. Bien fermée, dans l'ombre, pour être stockée une semaine (durée de vie de la solution).

### I .3.3 Méthode d'analyse des cyanures :

L'analyse des cyanures a été effectuée par la méthode potentiométrique, l'électrode utilisée est de type CRYTUR cyanide 06-27.

Le pH est mesuré par un pH mètre de type HANNA.

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

### **I .4 Etude de l'adsorption du cyanure sur les tiges de sorgho :**

#### **I .4.1 Influence des différents paramètres sur la capacité d'adsorption :**

##### **I .4.1.1 Effet du diamètre de l'adsorbant :**

Pour l'étude de l'influence du diamètre, on prépare 7 solutions de cyanure à 260mg/L dans des erlenmeyers de 100ml, dans lesquels nous injectons une dose d'adsorbant de 3g/L dont le diamètre est de [50-80] , [80-100] , [100-160] , [160-200] , [200-250] , [250-315] ,[315-400] $\mu$ m. Sous agitation pendant 48h. Les expériences sont effectuées à pH= 11, pour éviter toute volatilisation du HCN qui est très toxique.

##### **I .4.1.2 Effet de la concentration initiale du cyanure (CN) :**

L'étude consiste à fixer la dose de l'adsorbant à 3 g/L et on fait varier les concentrations initiales du cyanure. Les solutions ont été préparées à des concentrations de 450, 350, 260, 175, 130, 85, et 52 mg/L, dans des erlenmeyers de 100ml. Sous agitation pendant 48h. A une température de T=20°C.

##### **I .4.1.3 Effet de la dose initiale de l'adsorbant :**

La concentration du cyanure est fixée à 260mg/L et on a varié les doses initiales de l'adsorbant. Les doses prises étaient : 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1 g/L, introduites dans des erlenmeyers de 100ml à une température T=20°C sous agitation pendant 48h.

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

### **I .4.1.4 Effet de la force ionique :**

Afin d'étudier la salinité du milieu sur l'adsorption du cyanure par les tiges de sorgho, on a utilisé le NaCl, les concentrations prises étaient 0.5, 1, 1.5, 3, et 4 mmol/L, avec une concentration de 260mg/l du cyanure, et une dose de 3g/L d'adsorbant transversées par la suite dans des erlenmeyers de 100ml sous agitation pendant 48h a température de 20°C.

### **I .5 Etude des isothermes d'adsorption :**

Les isothermes d'adsorption ont pour but d'évaluer la capacité maximale d'adsorbant à l'équilibre. Pour ce faire, nous avons étudié les isothermes d'adsorption à une température  $T=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=11$ , une dose d'adsorbant de 3g/L introduite dans des erlenmeyers de 100ml a différentes concentrations, 450, 350, 260, 175, 130, 85, 52mg/L.

### **I .6 Conditions de travail :**

**T = 20°C , pH = 11**

# Chapitre III :

## Résultats et

## Discussions

## Chapitre III : Résultats et discussions

### I. Introduction :

Dans ce chapitre, tous les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés. En effet, comme mentionné auparavant le programme expérimental réalisé a considéré l'étude de l'adsorption du cyanure comme polluant, sur les tiges de sorgho comme adsorbant, l'influence de différents paramètres physico-chimiques sur la capacité d'adsorption du bio-adsorbant utilisé a été traitée.

### I. Caractérisation physico-chimique de l'adsorbant [3] :

#### I.1 pH de contact et pH au point de charge nulle :

Tableau 1 : pH de contact et pH<sub>pzc</sub> de l'adsorbant

Adsorbant	pH de contact	pH <sub>pzc</sub>
	6.13	6.5

La charge de la surface sera chargée positivement dans un milieu inférieur à la valeur du **pH<sub>pzc</sub>**. Au-delà de cette valeur la charge sera chargée négativement

#### I.2. Analyse de la surface par microscope électronique à balayage :

La figure ci-dessous présente une image au microscope électrique à balayage (MEB) de l'adsorbant.

## Chapitre III : Résultats et discussions

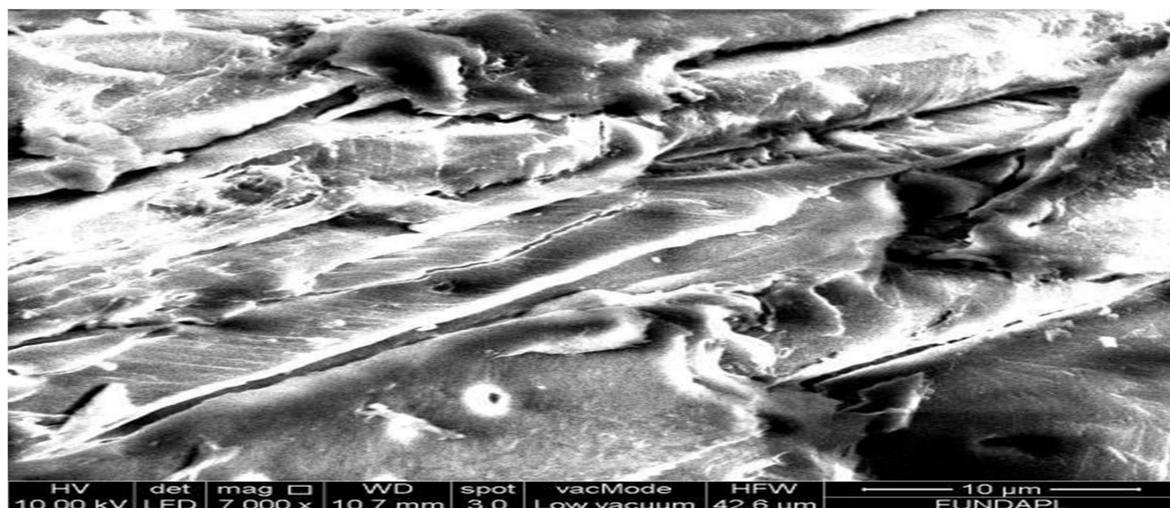


Figure 1 : Image macroscopique (MEB) de l'adsorbant.

### I.3 Détermination de la courbe d'étalonnage :

Dans le but d'établir la courbe d'étalonnage, pour différentes concentrations en cyanures qui varient de 260, 130, 26, 2.6, 0.26, 0.026 mg/L, nous avons mesuré le potentiel E (mV) en utilisant une électrode spécifique au cyanures et une électrode de référence au calomel. On trace, ensuite la courbe d'étalonnage représentant (-E) en fonction de  $-\log C$ . cette courbe nous permet de calculer les concentrations. La concentration [C] est exprimée en mg/L. Les résultats montrent qu'entre 260 et 2.6 mg/L on obtient une droite d'équation :  $Y=ax+b$ .

## Chapitre III : Résultats et discussions

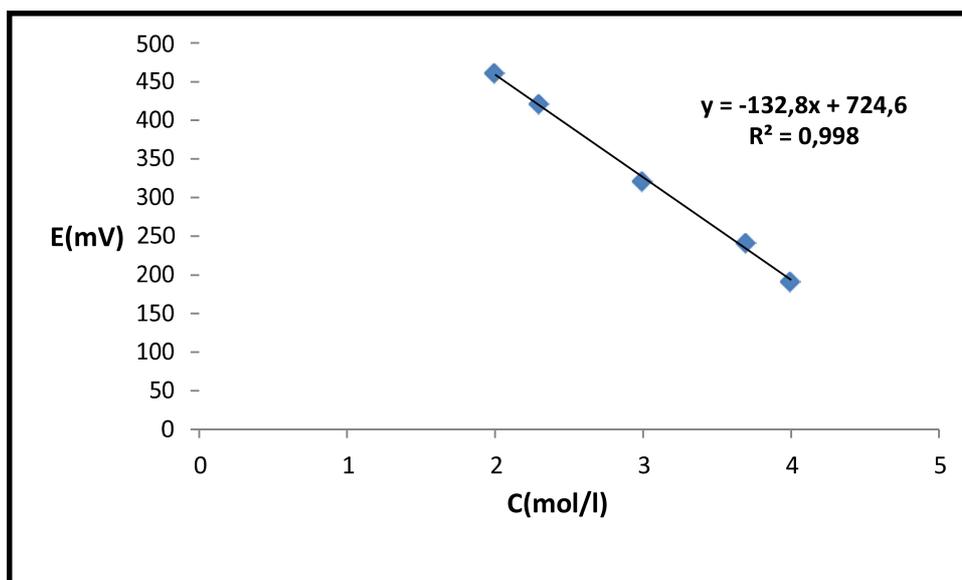


Figure 2 : Courbe d'étalonnage du cyanure utilisé pour la détermination des concentrations après adsorption.

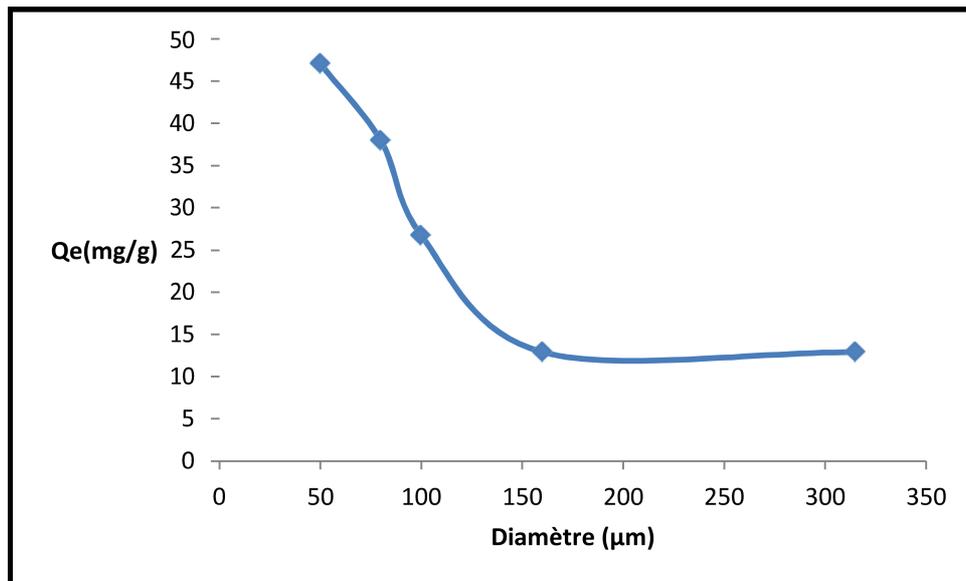
### I .4 Etude de l'adsorption du cyanure sur la biomasse obtenue à partir des tiges de sorgho :

#### I.4 Influence des différents paramètres sur la capacité d'adsorption :

##### I .4.1. Effet du diamètre de l'adsorbant :

L'effet du diamètre sur la capacité d'adsorption du cyanure à été étudié en variant le diamètre de l'adsorbant.

## Chapitre III : Résultats et discussions



**Figure 3 : Evolution de la capacité d'adsorption en fonction de la granulométrie de l'adsorbant température  $T= 20^{\circ}\text{C}$  ,  $\text{pH} = 11$ ,  $V=100\text{ml}$  ,  $C=260\text{mg/L}$  et  $m=3\text{g/L}$ .**

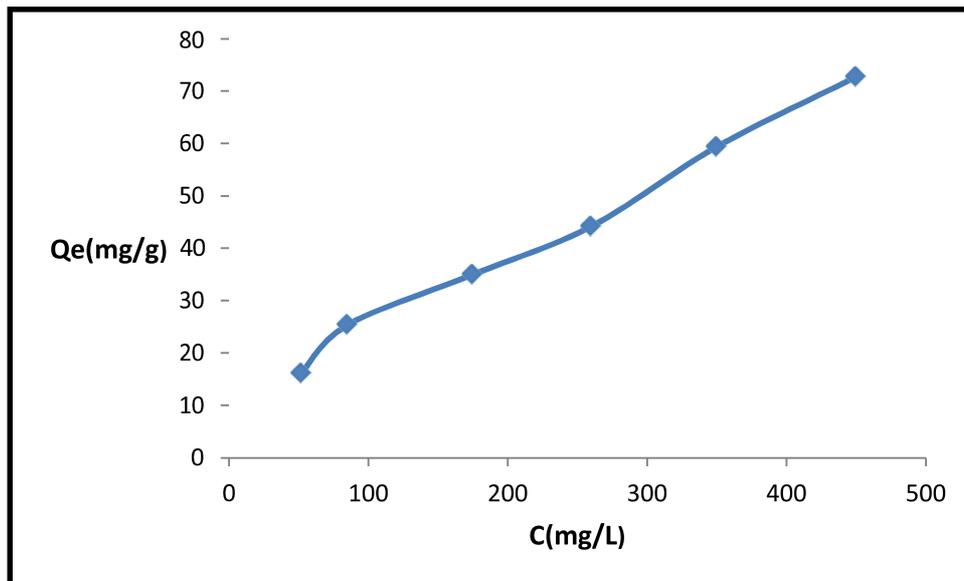
On remarque qu'à chaque fois qu'on augmente le diamètre de l'adsorbant entre [50-315] $\mu\text{m}$  la capacité d'adsorption diminue respectivement de 47,05 à 12,9mg/g, l'équilibre est atteint à cette valeur. Ceci s'explique que plus la granulométrie des particules est fine plus la surface spécifique augmente et le nombre de sites actifs disponibles augmente, ce qui engendre la diminution de la capacité d'adsorption.

La meilleure capacité d'adsorption a été obtenue à un diamètre de 50 $\mu\text{m}$ .

### **I .4.2 Effet de la concentration initiale du cyanure :**

La figure représente l'évolution de la capacité d'adsorption à différentes concentrations initiales du cyanure.

## Chapitre III : Résultats et discussions



**Figure 4 : Evolution de l'adsorption du cyanure à différentes concentrations initiales, Température  $T = 20^{\circ}\text{C}$  ,  $\text{pH}=11$  ,  $m=3\text{g/L}$  et  $V=100\text{ml}$ .**

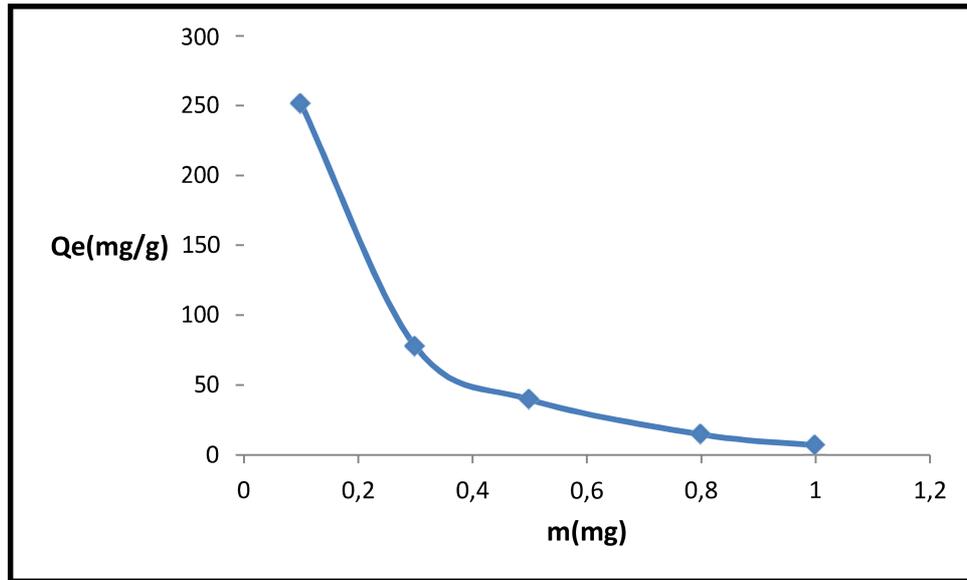
La capacité d'adsorption augmente de 16.16 à 72.76mg/g avec l'augmentation de la concentration initiale entre 52 et 450mg/g du cyanure considéré comme polluant.

Cette évolution est due au milieu dans lequel se trouve l'adsorbant, à des concentrations élevées, l'adsorbant se trouve très proche et entouré d'un grand nombre de molécules de polluant où l'interaction adsorbant-adsorbat est beaucoup plus importante qu'à faibles concentrations où les molécules sont éloignées.

### **I .4.3 Effet de la dose initiale de l'adsorbant :**

La figure montre l'effet de la dose initiale de l'absorbant sur la capacité d'adsorption.

## Chapitre III : Résultats et discussions

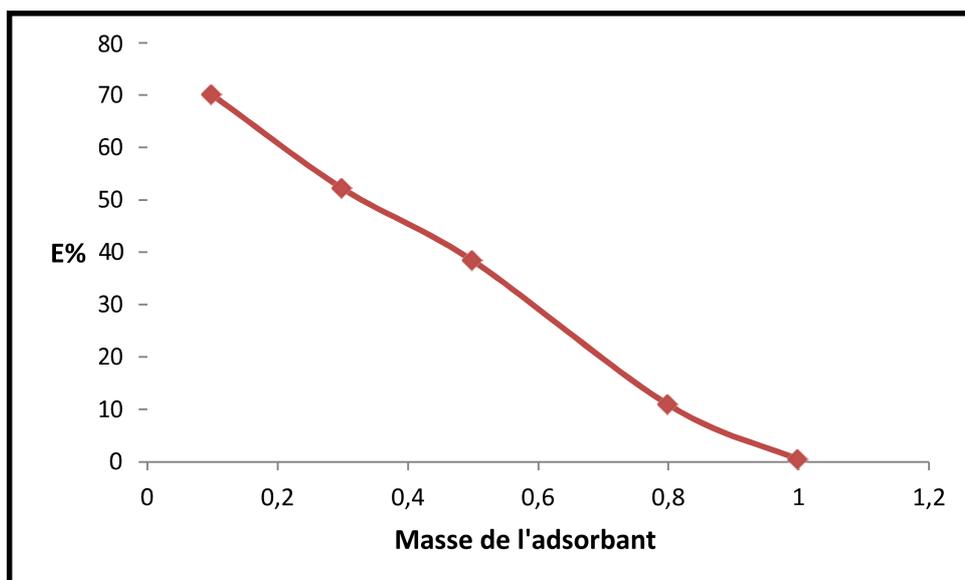


**Figure 5 : Evolution de la capacité d'adsorption en fonction de la dose  
Initia de l'adsorbant Température T= 20°C, pH=11, et V=100ml**

Comme nous pouvons le constater, la capacité d'adsorption diminue avec l'augmentation de la dose de l'adsorbant utilisé de 0,1 à 1g. La capacité d'adsorption diminue respectivement de 250 à 6,72 mg/g.

On peut conclure donc que, la capacité d'adsorption diminue en augmentant la dose de l'adsorbant. Ceci est lié à la disponibilité des sites actifs et la grande surface spécifique.

## Chapitre III : Résultats et discussions



**Figure 6 : Evolution du pourcentage d'élimination du cyanure  
En fonction de la dose initiale de l'adsorbant.**

Le pourcentage d'élimination diminue avec la diminution de la capacité d'adsorption de 70% à 0,38% pour une capacité de 77,59 à 6,72mg/g.

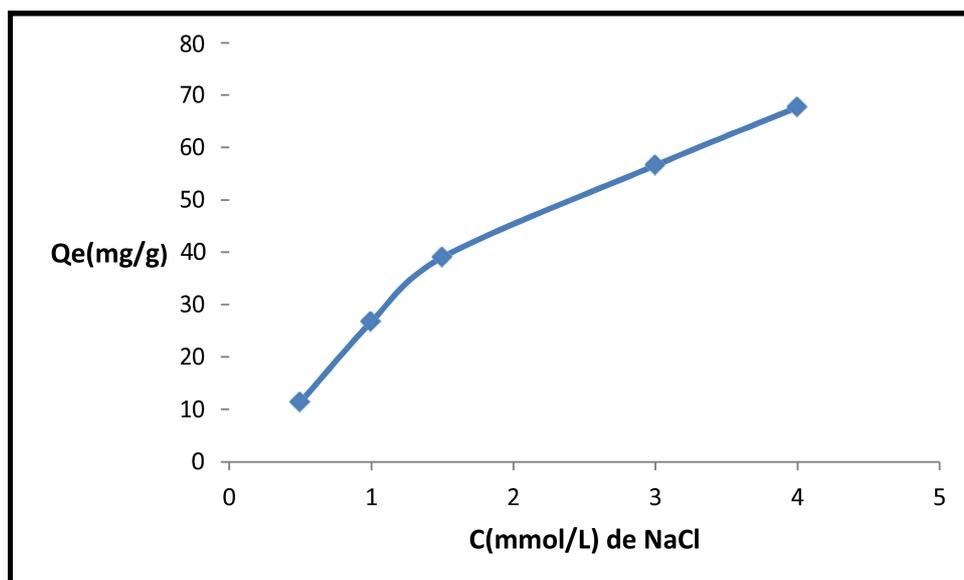
On déduit donc que la capacité d'adsorption et le pourcentage d'élimination diminuent en augmentons la dose de l'adsorbant.

### **I .4.4 Effet de la force ionique :**

L'effet de la force ionique sur l'adsorption du cyanure a été étudié en utilisant le sel NaCl.

La figure suivante représente l'évolution de la capacité d'adsorption en présence du NaCl à différents concentrations.

## Chapitre III : Résultats et discussions



**Figure 7 : Evolution de la capacité d'adsorption en présence de NaCl**

**Température T=20°C, pH=11, C=260mg/L CN<sup>-</sup>, m=3g/L**

**de biomasse, V=100ml.**

D'après le graphe, on remarque qu'à chaque augmentation de la quantité du sel ajoutée dans la solution, la capacité d'adsorption augmente.

Les ions Na<sup>+</sup> se trouvent de faibles à importantes quantités dans la solution, respectivement 0.5 à 4mmol/L dans une concentration de 260mg de CN<sup>-</sup>.

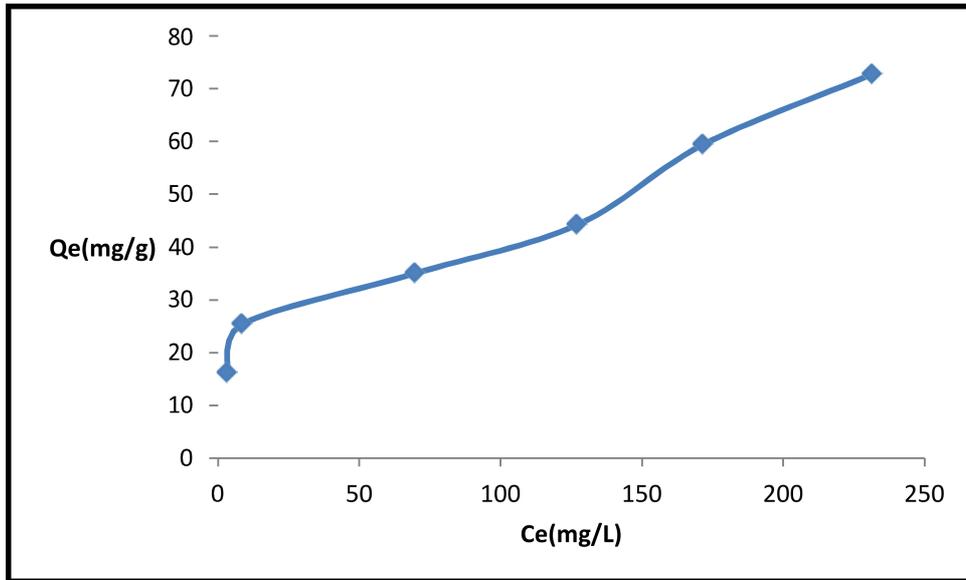
Donc les ions Na<sup>+</sup> n'occupent pas tous les sites actifs de notre adsorbant. Ya pas une compétition entre les ions Na<sup>+</sup> et CN<sup>-</sup> pour occuper les sites [18].

### **I .5 Etude des isothermes d'adsorption :**

Nous avons étudié les isothermes d'adsorption pour l'adsorbant utilisé a différents concentrations.

La figure ci-dessous représente la capacité d'adsorption à l'équilibre en fonction des concentrations à l'équilibre à différents concentrations.

## Chapitre III : Résultats et discussions



**Figure 8 : Isotherme d'adsorption du cyanure sur l'adsorbant**

**Vitesse d'agitation 200tr/min, pH= 11, T=20°C, m=3g/L, V=100ml.**

La capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration d'équilibre.

### **I .6 Modélisation des isothermes d'adsorption :**

#### **I .6.1 Modèle de Langmuir :**

La figure représente la variation du rapport ( $C_e/q_e$ ) en fonction de la concentration à l'équilibre ( $C_e$ ) à différentes concentrations. Après l'application de ce modèle en utilisant l'équation (5), nous avons regroupé les paramètres dans le tableau(2).

## Chapitre III : Résultats et discussions

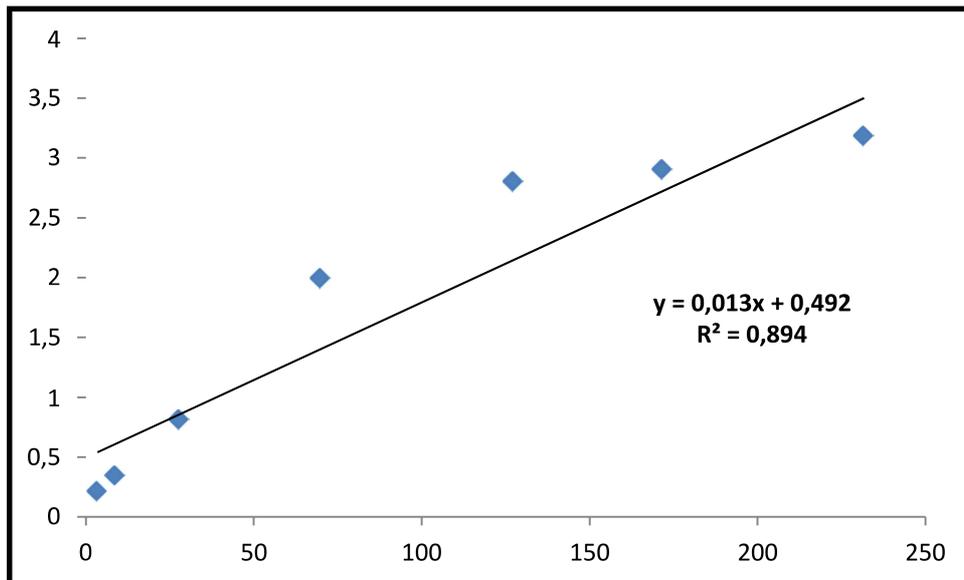


Figure 9 : Application du modèle linéaire de Langmuir sur l'isotherme d'adsorption

### I .6.2 Modèle de Freundlich :

La figure représente la variation du logarithme de la capacité d'adsorption en fonction du logarithme de la concentration à l'équilibre ( $C_e$ ) à différentes concentrations. Après l'application de ce modèle en utilisant l'équation (7), nous avons regroupé les paramètres dans le tableau(2).

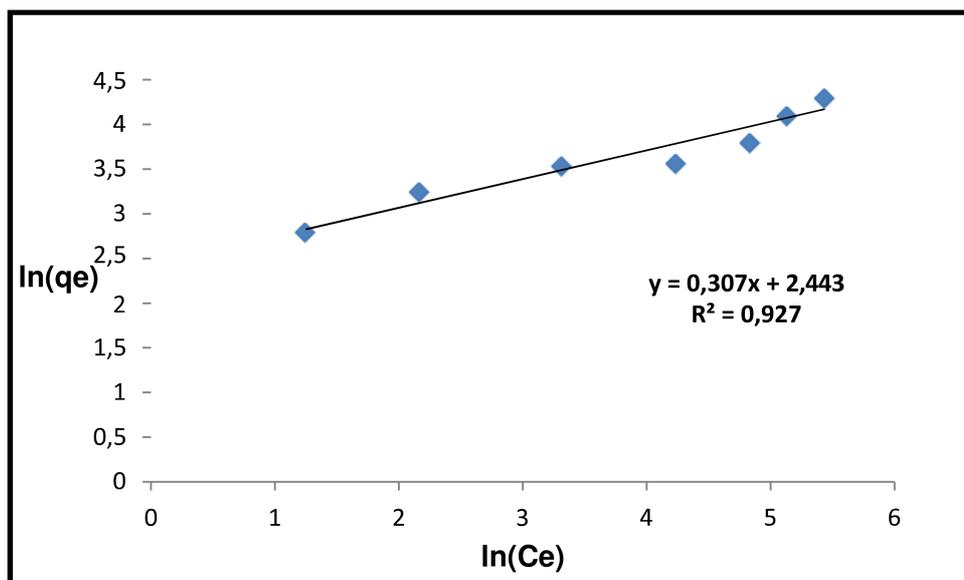


Figure 10 : Application du modèle linéaire de Freundlich.

## Chapitre III : Résultats et discussions

Les paramètres de chaque modèle ainsi que les coefficients de régressions sont présentés dans le tableau ci-après.

**Tableau 2 : paramètres des modèles utilisés.**

<b>Modèle</b>					
<b>Langmuir</b>			<b>Freundlich</b>		
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>qm(mg/g)</b>	<b>Kl(L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>n</b>	<b>Kf</b>
<b>0.894</b>	<b>76.92</b>	<b>0.0064</b>	<b>0.927</b>	<b>3.257</b>	<b>11.507</b>

Les résultats obtenus montrent que les données expérimentaux de cette recherche s'adaptent avec le modèle de Freundlich.

Ce modèle considère que la surface de l'adsorbant est hétérogène et que les molécules adsorbées forment une multicouche avec possibilité d'interactions entre eux.

## Conclusion générale

Notre travail a consisté en l'étude de l'adsorption du cyanure par la biomasse obtenue à partir des tiges de sorgho dans une phase liquide.

Certaines caractéristiques du matériau utilisé dans cette étude ont montré qu'il présente des propriétés intéressantes pour qu'il puisse, éventuellement être utilisé comme adsorbant.

Nous avons obtenus pour une dose d'adsorbat qui varie entre 0.1g/L et 1g/L,

Une capacité d'adsorption qui diminue de 77.59mg/g à 6.72mg/g respectivement. D'après ces résultats on constate que le nombre de site actif diminue avec l'augmentation de la dose de l'adsorbant.

Une capacité d'adsorption qui varie en fonction de la concentration initiale du polluant. Pour une concentration entre 52mg/L à 450mg/L, elle augmente et atteint des valeurs qui oscillent entre 16.16mg/g à 72.76mg/g.

La taille des particules joue un rôle très important, plus la taille est fine plus l'adsorbant adsorbe mieux. La capacité d'adsorption varie en variant le diamètre de l'adsorbant entre 50 $\mu$ m à 315 $\mu$ m, la capacité augmente entre 12.9mg/g à 47.09mg/g respectivement.

La présence du sel NaCl à favoriser le procédé d'adsorption, une augmentation de la capacité entre 11.33mg/g à 67.7mg/g toute en augmentons la concentration du sel entre 0.5 à 4mmol/L

L'étude des isothermes d'adsorption, ont permis de noter que le modèle de Freundlich est le plus compatible.

A la fin de cette conclusion, un approfondissement en traitant des cas réels de l'étude nous paraît important et qui peut porter sur les points suivants :

-Etudier l'influence d'autres paramètres sur l'adsorption tels que l'influence de la température, la vitesse d'agitation.

-Etudier l'influence de l'adsorbant traité : l'objectif d'améliorer sa surface spécifique.

## Références bibliographiques

- [1] Farid Halet et al Removal of Cyanide in Aqueous Solution by Adsorption on Activated Carbon Prepared from Lignocellulosic by products, Journal of Dispersion Science and Technology, DOI: 10.1080/01932691.2015.1005311/ 2015.
- [2] Miège, E., Les Céréales en Afrique du Nord. Le Maïs et le Sorgho. Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale, 1951. 31(341): p. 137-158.
- [3] Touati Merouane Etude de l'adsorption du vert de malachite sur la poudre de tiges de Sorgho en milieu aqueux FSI boumerdés 2018.
- [4] Marie-Céline ray futura-sciences.com/sante/dossiers/biologie-poisons-histoire 1676/page 12/ 2017.
- [5] Abai Nadjat magister Mise en œuvre de l'oxydation des cyanures libres dans un réacteur continu à géométrie torique (P 18-19) 2011.
- [6-8] Chergui Salima thèse Décyanuration catalytique en milieu aqueux LEDTEGE (P 7-8) 2017.
- [7] Benjamine Causse. Ing. TPE étude de la contamination en cyanure du lixiviat du lieu d'enfouissement sanitaire se Saint-Etienne-Des grés Université de Québec 2006.
- [9] Journal officiel de la république algérienne N° 36 2009.
- [10] Yeddou. A.R: "Etude physico-chimique de traitement des eaux cyanurées par oxydation catalytique" Thèse de doctorat en chimie, option génie des procédés .l'école normale supérieure de Kouba Alger ,2010.
- [11] Corinne Charlier et al Cyanides and thiocyanates in a hospital toxicology laboratory Laboratoire de Toxicologie Clinique Belgique 2000.
- [12] Lian-Ming SUN et al Adsorption Aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires : extractions fluide/fluide et fluide/solide, 2016. base documentaire :

TIB332DUO (ref. article : j2730).

- [13] Ayral, C., Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif. 2009, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [14] Dorra Louragini élimination du cuivre en solution par sciure de bois présenter à l'école de technologie supérieur de Montréal 2006.
- [15] ] P,Luo, Y.Zhao, B.Zhang, J.Liu, Yong, J.Liu. 2010 « Study on the adsorption of Neutral Red from aqueous solution onto halloysite nanotubes Water Research, 44,1489-1497.
- [16] Bouazize Karim Ines Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier) Laboratoire (LGC) et Laboratoire (Lee) 2014.
- [17] Bahi Bakeer et ol the characterisation of structure and properties of sorghum stalks Ain Shams Engineering Journal (2013) 4, 265–271 Faculty of Agricultural, Cairo, Egypt .
- [18] Guesmia Cherifa Yasmine étude de la cinétique de l'adsorption du vert de malachite sur un adsorbant à base de grains de citrouille faculté des sciences de l'ingénieur Annaba 2017.
- [20] Djelloul, C., Experimentation, modelisation et optimisation de l'adsorption des effluents textiles. 2014, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [21] Ayral, C., Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif. 2009, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [22] Laïb, R., Use of physical processes for the removal of cyanides in an aqueous medium, in chemistry. 2015, Ecole Normale Supérieure de kouba-Alger.
- [23] Sylvain Masson Étude de l'adsorption de micropolluants émergents sur des tissus de carbone activé.Autre. Université Grenoble Alpes, 2015. Français. NNT : 2015GREAA030
- [24] Aksas, H., Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels. 2013.
- [25] Giles, C.H., D. Smith, and A. Huitson, A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. Theoretical. Journal of Colloid and Interface Science, 1974. 47(3): p. 755-765.
- [26] Guedidi Hanane Ben Slama préparation et modification des charbons activés pour l'adsorption de polluants organiques émergents cotutelle entre l'université de Grenoble et de Tunis El Manar 2015.