



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

**UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

**MASTER EN CHIMIE**

Spécialité : Chimie Macromoléculaire

Par :

**Mr:**

**DAHMANI AHMED**

**LOTMANI BOUMEDIENE**

Sur le thème

---

## **ADSORPTION DE CADMIUM ET DE ZINC EN SOLUTION AQUEUSE PAR UN MATERIAU NATUREL**

---

Soutenu publiquement le **16 juin 2022** à Tlemcen devant le jury composé de :

Mr : BENABADJI I. Kamel	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mr : BENMANSOUR Kamel	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
Mr : GUNFOUD Fouad	Maître de conférences A	Université de Tlemcen	Examineur
Mr : BENGUELLA Belkacem	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrant

*Année Universitaire : 2021 ~ 2022*

# *Dédicaces*

*A mes très chers parents, source de vie*

*A ma femme, source de soutien et de force*

*A mes petites princesses (radja et nihal) source de l'innocence, de la plaisir et de joie*

*A mes chers frères, leurs enfants, source de joie et de bonheur*

*A tous mes ami(e)s, et exclusivement Moussa*

*Boualem Hamadi Nouredine et Youcefi Ilyes ; source de motivation*

*A mes proche ami(e)s de promos Bouras oussama ;Amour Oussama ,Kahouadji Chaima*

*A Boumediene cher ami mon binôme de mémoire*

*A tout la promo master chimie macromoléculaire (2021-2022).*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travaille*

*Enfin à tous qui aime le bien pour l'Algérie*

*Ahmed Dahmani*

# *Dédicace*

Je dédie ce travail :

- A mes parents (mon père Mohamed et ma mère Khadem Lotmani ) la bon sante et longue de vie et je veux remercier .et à mes frères et mes sœurs.
- A mon cher binôme Dahmani Ahmed.
- A mes techniciens qui nous aider Madame « Ziani Souhila » et le technicien de labo de lachimie environnement monsieur « Mohmaed Bouziani ».
- A tout(e)s mes collègues en master chimie macromoléculaire surtout mes cher(e)s :
  - « Oussama Bouras ».
  - « Oussama Ammour »
  - « Bilal Bouadla » .
  - « Kahouadji Chaima ».
- A mes cher(e)s doctorants de qui nous aider à tous les jours de formation :
- « Znagui Amin »
- Belaid Ali.
- Adeida lina .
- Mohamed Dobmia.
- Boudghene Stambouli Ghizlene.
- Chaouch Assia .

# REMERCIEMENTS

# REMERCIEMENTS

**C**

*e travail a été effectué au laboratoire de chimie inorganique et*

*Environnement du Département de chimie, Faculté des Science de l'Université de Tlemcen, sous la direction de Monsieur BENGUELLA Belkacem , professeur à l'université de Tlemcen.*

*Nous adressons nos remerciements à Monsieur BENGUELLA Belkacem, pour nous avoir encadrés et conseillés pendant toute la réalisation de ce travail. Son aide appréciable, ses encouragements qui nous permons d'avancer dans l'élaboration de ce travail et à qui je témoigne notre profonde reconnaissances.*

*Nous exprimons nos respectueux remerciements à Monsieur BENABADJI Issmat Kamel , Professeur à l'université d'Abou Bekr Belkaid de Tlemcen qui nous fait un grand honneur en acceptant de présider le jury de ce travail.*

*Nous remercions vivement, Ø Monsieur BENMANSOUR Kamel Professeur à l'Université Tlemcen et Monsieur GUENFOUD Fouad , Docteur à l'Université de Tlemcen , D'avoir honoré de leurs présences en acceptant d'examiner et de juger ce travail.*

*Nous tenons à remercier Messieurs Ø BOURAS Brahim , Ø HOUCINE Tayeb ; ØMEDJAHED Kouider , ØTENOUGUA Lahcen et mdame Belkaid Souria ;Professeur(e)s à l'université de Tlemcen ( département de chimie Master Macro- Moléculaires ) pour leurs Conseils, et les bons moments que nous avons partagés ensemble durant notre formation en Master.*

*Nous remercions également tous les collègues et ami(e)s du Laboratoire de chimie macro - moléculaire plus particulièrement l'ingénieure de laboratoire madame ZIANI Souhila et le doctorant ZENNAKI Amine .*

*nous tiens à remercier vivement a monsieur "BOUZIANI Mohamed, pour leurs aides durant la réalisation de notre mémoire.*

*Nous remercions chaleureusement l'Architect monsieur MADIOUNE Abdelkader et madame ABDELLAOUI Chahrezed de l'apc de Ain Fezzan qui nous aidons dans ce travail.*

*Nous remercions aussi, tous ceux et toutes celles qui nous ont aidé ou encouragé, à quelque titre ou degré que ce soit, à entreprendre et achever ce mémoire.*

# Sommaire

## Etude Bibliographique

Introduction générale .....	1
Partie I : Les argiles .....	3
I.1 Généralité .....	3
I.2 structure des argiles .....	3
I.2.1 plans Tétraédrique .....	4
I.2.1 plans octaédrique.....	4
I.3 Classification et Types d'argiles.....	5
I.3.1 Minéraux à 7Å ou de type (1 :1) ou (TO).....	5
I.3.2 Les Minéraux à 10 Å, de type (T:O:T) ou de (2 :1) .....	5
I.3.3 Les Minéraux type( 2.1.1) ou( T-O-T-O).....	5
I.3.4 Les Minéraux inter stratifiés .....	5
I.4 Propriétés des argiles .....	5
I.4.1 L'hydratation et gonflement .....	6
I.4.2 La Capacité d'échange cationique.....	6
I.4.3 La plasticité.....	6
I.4.4 Pouvoir d'adsorption.....	6
I.5 Utilisation des argiles.....	6
I.5.1 Construction des maisons .....	7
I.5.2 En cosmétiques .....	7
I.5.3 En médecine.....	7
I.5.4 Traitement des eaux .....	7
Partie II : Les métaux lourds .....	7
II.1 définition .....	7
II.2 Classification des métaux lourds.....	8
II.3 Toxicité .....	9
II.4.1 Effets sur la santé .....	9
II.4.2 Effets sur l'environnement.....	9
II.5 Les métaux étudiés .....	10

II.5.1 Le zinc .....	10
II.5.1.1 Définition.....	10
II.5.1.2 Propriétés du zinc .....	10
II.5.1.3 Utilisation de zinc.....	11
II.5.1.4 Toxicité du zinc .....	11
II.5.2 Cadmium.....	11
II.5.2.1 Définition .....	11
II.5.2.2 Propriétés .....	12
II.5.2.3 Utilisation du cadmium.....	12
II.5.2.4 Toxicité du cadmium .....	13
Partie III : Adsorption .....	13
III.1 Généralité sur l'adsorption .....	13
III.2 Paramètres influençant sur l'adsorption.....	14
III.3 Domaine d'application de l'adsorption .....	14
III.4 Types d'adsorption .....	15
III.4.1 L'adsorption chimique .....	15
III.4.2 L'adsorption physique .....	15
III.5 Comparaisons du type adsorption.....	16
Référence bibliographique .....	17

### **Partie expérimentale**

I L'adsorbant utilisé.....	20
II Les métaux étudiés.....	20
III. Etude d'adsorption des métaux lourds par la bentonite... ..	21
III.1 Cinétique d'adsorption.....	21
IV. La régénération de la bentonite... ..	22
IV Méthodes d'analyses... ..	23
IV.1 Dosage des métaux lourds par spectroscopie d'absorption atomique... ..	24
IV.2 Mesure de surface spécifique (B.E.T).....	25
IV.3 Diffraction des Rayons X (DRX).....	26

Référence.....	27
----------------	----

## **Résultats et discussions**

I.1 Analyse par spectroscopie infra rouge.....	28
I.2 Analyse par diffraction des rayons X sur poudre (DRX).....	29
I.3 Mesure des surfaces spécifiques par la méthode BET.....	30
I. Cinétiques d'adsorption des métaux lourds sur la bentonite.....	30
I.1 Cinétique d'adsorption .....	30
I.1.1 Effet du temps de contact .....	30
I.1.2 Evolution du pH.....	31
I.1.3 Effet de la vitesse d'agitation du zinc et du cadmium sur la bentonite.....	33
I.1.4 Effet de masse sur l'adsorption des métaux sur la bentonite.....	35
II. Spectres infra rouge de la bentonite saturée.....	37
II.1 Les différents spectres infra rouges de la bentonite saturée en ions Zn <sup>2+</sup> séchée à différentes températures.....	37
II.2 Les différents spectres infra rouges de la bentonite saturée en ions Cd <sup>2+</sup> séchée à différentes températures.....	38
III. Diffractogramme de rayons X de la bentonite saturée .....	39
III.1 Diffractogramme de rayon X de bentonite saturée en ions Cd <sup>2+</sup> séchée à différentes températures .....	39
III.2 Diffractogramme de rayon X de bentonite saturée en ions Zn <sup>2+</sup> séchée à différentes températures .....	40
IV. La régénération de bentonite.....	42
IV. Régénération de bentonite saturée en cadmium séchée à température ambiante... ..	43
IV.2 Régénération de bentonite saturée en cadmium séchée à T=100°C .....	43

IV.3 Régénération de bentonite saturée en cadmium en présence de solution	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrée .....	45
IV.4 La régénération de la bentonite saturée en zinc séchée à 100°C.....	46
IV.5 La régénération de la bentonite saturée en zinc en présence de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Concentré.....	46
Référence .....	48
Conclusion.....	49
Perspective .....	50

## liste des figures

### Etude Bibliographique

<b>Figure N°01</b> : Structure générale des phyllo silicates.....	3
<b>Figure N°02</b> : représentation de couche tétraédrique .....	4
<b>Figure N°03</b> : Représentation d'un octaèdre de silicium (a) et agencement d'octaèdres en couche octaédrique (b).....	4
<b>Figure N° 04</b> :Classification périodique des éléments.....	8
<b>FigureN° 5</b> : phénomène de l'adsorption.....	14

### Partie Expérimentale

<b>Figure N ° 01</b> : Montre la bentonite à l'état brute et après traitement physique .....	20
<b>Figure N°02</b> : L'étape de la filtration de la bentonite saturée.....	22
<b>Figure N°03</b> : La bentonite séchée après la saturation .....	22
<b>Figure N°04</b> : La régénération des bentonites saturées .....	23
<b>Figure N°05</b> : Spectroscopie d'absorption atomique .....	24
<b>Figure N°06</b> : La spectroscopie infra rouge utilisé.....	25

### Résultat Et Discussion

<b>Figure N°01</b> : Spectre infra-rouge de la bentonite naturelle brute.....	28
<b>Figure N°02</b> : Diffractogramme des rayons X de la bentonite naturelle .....	29
<b>Figure N°03</b> : Cinétique d'adsorption du cadmium et du zinc sur la bentonite .....	31
<b>Figure N° 04</b> : Evolution du pH du cadmium et du zinc et d'une eau distillée exempte du métal en présence de la bentonite .....	32
<b>Figure N°05</b> : Influence de la vitesse d'agitation sur les cinétiques d'adsorption du zinc sur la bentonite.....	33
<b>Figure N°06</b> : Influence de la vitesse d'agitation sur les cinétiques d'adsorption du cadmium sur la bentonite .....	34
<b>Figure N°07</b> : Influence de la masse sur la cinétique d'adsorption du zinc par la bentonite...	36
<b>Figure N °08</b> : Influence de la masse sur la cinétique d'adsorption du cadmium par la bentonite.....	36
<b>Figure N°09</b> : Spectre infra-rouge de la bentonite naturelle saturée par $Zn^{2+}$ séchée à différentes températures .....	37
<b>Figure N°10</b> : Spectre infrarouge de la bentonite naturelle saturée par $Cd^{2+}$ séchée à différentes températures. ....	38
<b>Figure.N°11</b> : Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion cadmium séchée à T ambiante.....	39

<b>Figure.N°12:</b> Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion cadmium séchée à T=100°C .....	<b>40</b>
<b>Figure N° 13:</b> Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion zinc à T ambiante.....	<b>40</b>
<b>Figure N° 14:</b> Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion zinc à T =100°C.....	<b>41</b>
<b>Figure N°15:</b> la régénération de la bentonite saturée en cadmium séchée à température ambiante.....	<b>43</b>
<b>Figure N° 16 :</b> La régénération de la bentonite saturée en cadmium séchée à 100°C.....	<b>43</b>

## **listes des tableaux**

### **Etude bibliographique**

<b><u>Tableau N°01</u></b> : les propriétés du zinc .....	<b>11</b>
<b><u>Tableau N°02</u></b> : les propriétés du cadmium .....	<b>12</b>
<b><u>Tableau N°03</u></b> : la chimisorption et la physisorption .....	<b>16</b>

### **Partie Expérimentale**

<b>Tableau N °01</b> :les propriétés caractéristiques des deux sels utilisés .....	<b>21</b>
--	-----------

### **Résultat Et Discussion**

<b><u>Tableau N°01</u></b> :Les principales bandes d'absorption IR (cm <sup>-1</sup> ) de la bentonite naturelle.....	<b>28</b>
<b><u>Tableau N°02</u></b> : Caractéristiques de la bentonite naturelle .....	<b>30</b>
<b><u>Tableau N°03</u></b> : La quantité fixée des métaux lourds à l'équilibre sur la bentonite .....	<b>31</b>
<b><u>Tableur N°04</u></b> : l'évolution du pH:.....	<b>32</b>
<b><u>Tableau N° 05</u></b> : Résultats de la quantité adsorbée à l'équilibre du zinc sur la bentonite .....	<b>34</b>
<b><u>Tableau N°06</u></b> : Résultats de la quantité adsorbée à l'équilibre du cadmium sur la bentonite	<b>35</b>
<b><u>Tableau N°07</u></b> :Les principales bandes d'absorption IR (cm <sup>-1</sup> ) de la bentonite naturelle et saturée en ions zinc séchée à différentes températures .....	<b>37</b>
<b><u>Tableau N°08</u></b> : Les principales bandes d'absorption IR (cm <sup>-1</sup> ) de la bentonite naturelle et saturée en ions cadmium séchée à différentes températures .....	<b>38</b>
<b><u>Tableau N° 09</u></b> : Les résultats des distances inter foliaires d <sub>001</sub> (Å) des argiles utilisées .....	<b>41</b>

## **Liste d'abréviation**

**%: Pourcentage**

**° C : Degré celsius**

**µm : micromètre**

**Å : Angström**

**BET: Brunauer, Emmett et Teller**

**CEC: Capacité d'échange cationique**

**DRX: Diffraction des rayons X**

**g : Gramme**

**IR: infra rouge**

**mg : Milligramme**

**Ct: concentration de solution à l'instant t**

**Min : minute**

**ml : Millilitres**

**N : Normale**

**pH:Potentiel d'hydrogène**

**t : Temps**

**q:quantité fixée**

**rp/min :rotation par minute**

# **Introduction générale**



# *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

---

La contamination des eaux par les métaux lourds est devenue un problème crucial et une grande inquiétude pour la santé humaine et l'environnement. Ces derniers sont souvent utilisés dans plusieurs industries; de ce fait les eaux de rejet se trouvent fortement concentrées en métaux lourds.

Le danger des métaux lourds réside dans leurs accumulations et la l'irréversibilité dans les différents organismes de l'être humain dont résultent des conséquences graves sur les écosystèmes et par la suite sur la santé de l'homme. L'élimination des métaux lourds à partir des rejets industriels est très souvent réalisée par des traitements chimiques classiques tels que : la décantation, coagulation-floculation, oxydation,...

Les eaux résiduaires traitées par ce procédé contiennent encore des métaux et sont chargées du fait du nombre de réactifs ajoutés. Dans la plupart des cas, ces procédés sont très onéreux. Il est nécessaire de réfléchir à des techniques d'efficacité importante et de coût moins élevé.

Les techniques d'adsorption ont été couronnées de succès dans l'abattement L'élimination des métaux lourds. Depuis les années 90, les recherches se sont alors orientées vers des procédés de traitement faisant appel à des matériaux naturels moins coûteux.

Parmi ces adsorbants, figure les argiles utilisées dans le domaine de traitement des eaux métallifères. C'est dans ce contexte que nous nous sommes proposé de tester la bentonite naturelle dans l'élimination du cadmium et du zinc en solution aqueuse.

L'objectif de cette étude consiste à :

- Simplifier le mode de traitement des eaux métallifères avec un coût moins élevé,
- Améliorer la qualité et le rendement du traitement des eaux de rejet,
- Sauvegarder l'environnement des effets néfastes des métaux lourds.

Afin de bien traiter notre sujet, nous l'avons divisé en trois grands chapitres :

Chapitre I: La partie bibliographique donne une vue générale sur les argiles, les métaux lourds ainsi que l'adsorption,

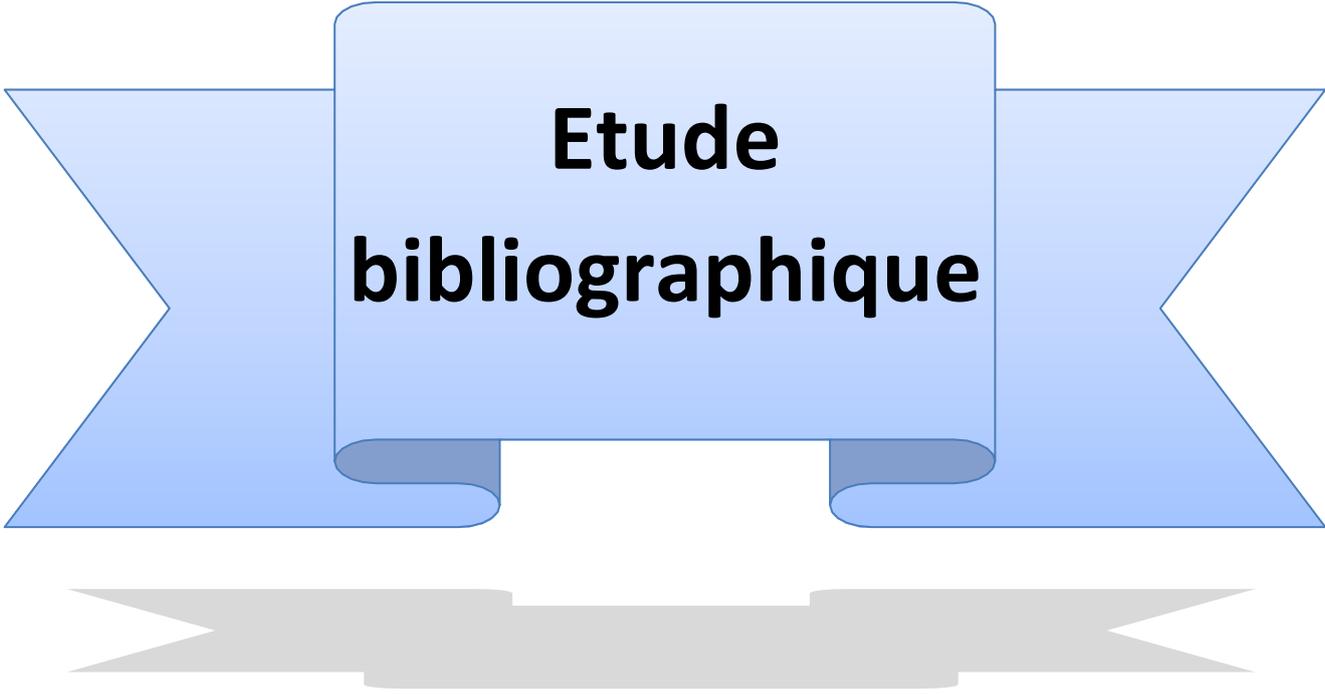
# ***INTRODUCTION      GENERALE***

---

Chapitre II: La partie expérimentale concerne une présentation des méthodes d'analyses de caractérisation physico-chimique des argiles et les protocoles opératoires utilisés pour la réalisation de ce travail.

Chapitre III: La troisième grande partie est consacrée à la présentation et discussion des différents résultats obtenus concernant : la caractérisation physico-chimique des argiles, l'adsorption des métaux lourds sur la bentonite naturelle.

Ensuite nous examinerons la régénération de la bentonite saturée en cadmium et du zinc activée par des solutions éluant.



**Etude  
bibliographique**

## Partie I : Les argiles

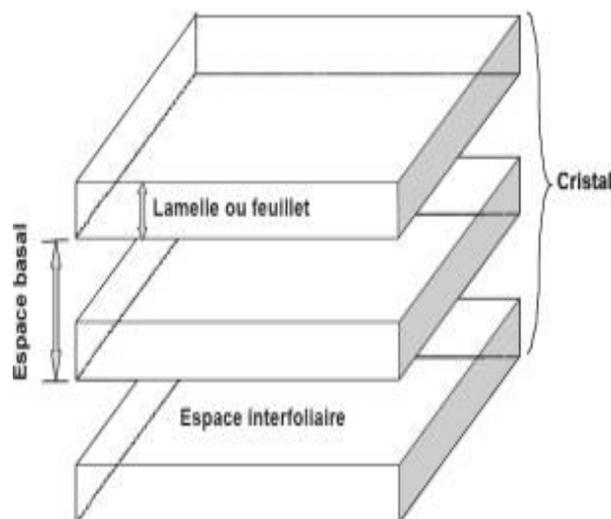
### I.1 Généralité :

L'argile est un matériau naturel et une roche sédimentaire composée d'une variété de minéraux spécifiques, généralement plus de silicate d'aluminium ou hydraté, avec une structure multicouche ou fibreuse qui explique l'absorption et leur plasticité [1]. Les géologues ont prouvé que l'argile contient tous les très petits minéraux (2 à 4  $\mu\text{m}$ )[2].

Les minéralogistes affirment que l'argile est un minéral de la famille des silicates d'aluminium, ce qui indique que ses cristaux sont constitués d'empilements de feuillets Provenant de silice, D'aluminium et d'oxygène, parfois additionnés d'alcalis ou de métaux Alcalins terreux.

### I.2 Structure des argiles :

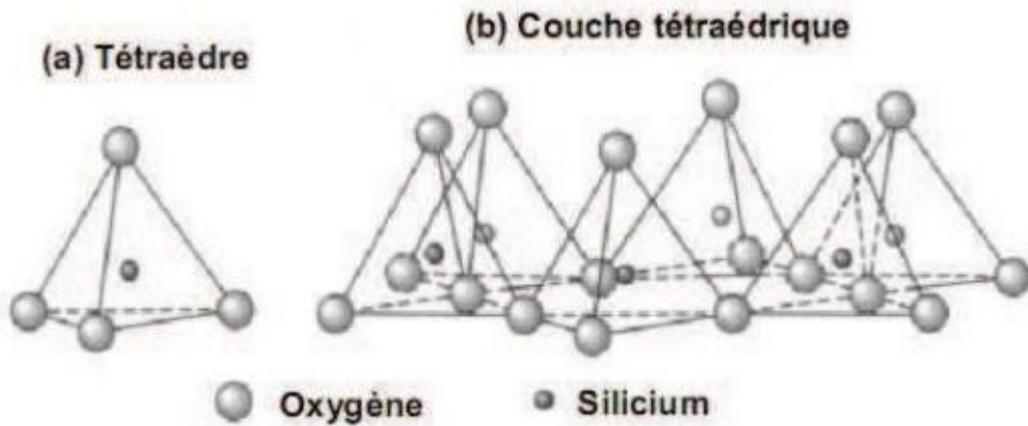
L'argile est un mélange de minéraux et d'impuretés qui cristallisent sous la forme de débris rocheux, constitués de feuillets de deux types de plans liés entre eux tétraédriques et octaédriques, plans tétraédriques  $\text{SiO}_4$  et octaédriques  $\text{Al}(\text{OH})_6$  reliées par les atomes O et OH. La distance inter-réticulaire  $d$  sépare 2 feuillets successifs [3].



**Figure N°01** : Structure générale des phyllosilicates[4].

## I.2.1 plans Tétraédrique :

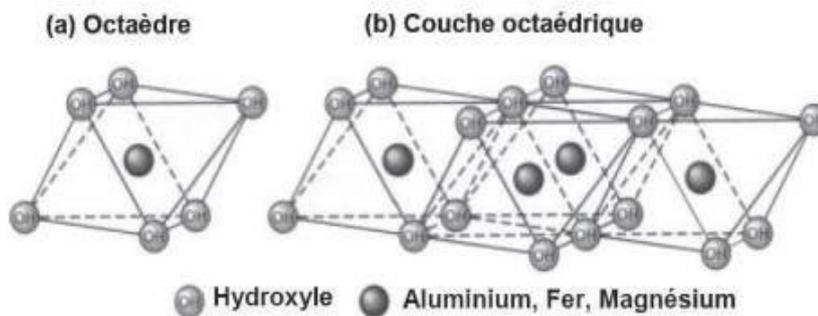
La couche tétraédrique formée par un atome central silicium, entourée de quatre atomes d'oxygène .Chaque tétraèdre est lié à un autre tétraèdre voisin aux trois angles [5].



**Figure N°02** :représentation de couche tétraédrique[6].

## I.2.2 Plans octaédrique :

La couche octaédrique forme par des atomes oxygénés et des fonctions hydroxyles sur le sommet autour de centre qui contient l'atome d'aluminium.



**Figure N°03** :Représentation d'un octaèdre de silicium (a) et agencement d'octaèdres en couche octaédrique (b)[4].

## I.3 Classification et Types d'argiles

L'Association internationale pour l'étude de l'argile (A.I.P.E.A) a conclu que les argiles étaient classées selon les critères suivants[5] :

Type de feuillet.

Charge globale du feuillet.

On distingue l'existence de trois familles principales des argiles selon le type de feuillet :

### I.3.1 Minéraux à 7Å ou de type 1 :1 (TO) :

Feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique, elle est dite T:O (1:1); Son épaisseur est d'environ 7Å. Ceci est un exemple de Kaolinite et Halloysit... [7].

### I.3.2 Les Minéraux à 10 Å, de type T:O:T ou de 2 :1 :

Le feuillet contient trois couches, où il y a deux couches du type de tétraédrique, et au milieu d'elles se trouve une couche du type d'octaédrique, Son épaisseur est d'environ 10 Å. Il existe de nombreux exemples de cette catégorie tels que (Pyrophyllite, illite, Montmorillonite, Saponite).

### I.3.3 Les Minéraux type 2.1.1 ou T-O-T-O :

Cette famille a quatre couches distinguées. Cette feuillet deux d'entre eux sont de type tétraédrique et deux d'entre eux sont de type octaédrique apparaissent comme (T-O-T-O). La feuille se compose de feuilles T: O: T (2 :1) et des couches octaédriques inter foliaires [8]. Par exemple les Chlorites se trouvent dans ce type de feuillet.

### I.3.4 Les Minéraux inter stratifiés :

L'épaisseur de la feuille est variable. Ces minéraux proviennent d'un mélange régulier ou irrégulier d'argiles[9].

## I.4 Propriétés des argiles

L'argile possède de nombreuses propriétés physico-chimiques telles que :

## I.4.1 L'hydratation et gonflement

Les matériaux argileux dépendent des propriétés minérales des minéraux argileux et se produisent lorsque la substance entre en contact avec l'humidité ou une solution aqueuse. Lorsque l'eau pénètre dans le matériau argileux, elle provoque un gonflement selon le cas. Les conséquences du gonflement sont nombreuses et dépendent principalement de chaque type de structure [10].

## I.4.2 La Capacité d'échange cationique

Les argiles ont la propriété d'inverser la fixation (échange) des cations. Inclus dans les solutions environnantes. Capacité d'échange cationique (CEC) Correspond au nombre de cations monovalents pouvant remplacer le cation Compensateur pour compenser la charge négative de 100 grammes d'argile. Elle est généralement exprimée en milliéquivalents pour 100 grammes (mEq/100 g). Cette fonction Selon le type d'argile, la nature cristalline, les cations et l'acidité Milieu [11].

## I.4.3 La plasticité

Elle est liée à la présence de feuillet qui peuvent être décalés sur chacun d'eux d'autres conduisent à l'élasticité de l'argile [12].

## I.4.4 Pouvoir d'adsorption

L'argile peut adsorber les polluants des eaux usées, grâce aux fortes interactions qui existent entre sa surface et le milieu pollué. Des études ont montré que la taille des pores et le pH de l'environnement, la température et la nature des mouvements jouent un rôle important dans l'augmentation ou la diminution du taux d'adsorption [13].

## I.5/Utilisation des argiles

Les argiles sont utilisées dans plusieurs applications et il convient de mentionner certaines des utilisations de ce matériau naturel, très abandon dans la nature et avec des prix très bas.

## I.5.1 Construction des maisons

La composite argile – paille de chiendent se présente comme une solution écologique efficace pour l'amélioration du confort thermique dans les bâtiments.

Même si les résultats actuels ne le placent pas comme un substituant définitif des systèmes de climatisation, sa présence dans l'enveloppe des bâtiments limite considérablement l'utilisation de ces systèmes [14].

## I.5.2 En cosmétiques

L'argile draine et nettoie vigoureusement. Elle a montré un certain nombre de propriétés utiles antiseptique, cicatrisante, détoxifiante, décongestionnante, anti-inflammatoire, analgésique, désodorisante et antifongique... [15].

## I.5.3 En médecine

L'argile a un effet purifiant et drainant sur l'organisme qui la consomme. Il agit comme un catalyseur, agissant sur les organes défaillants pour restaurer leur fonction, en particulier les problèmes de peau. Des argiles contenant des oligo-éléments sont prescrire pour compléter les carences du sang pour éviter les problèmes de l'anémie [16].

## 1.5.4 Traitement des eaux

L'argile peut adsorber les polluants des eaux usées [15].

## Partie II : Les métaux lourds

### II.1 définition

Le terme "métal lourd" fait référence aux éléments métaux naturels, minéraux ou, dans certains cas, métalloïdes (environ 65 éléments) [17]. Les métaux lourds sont tout métaux ayant une masse volumique supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> et Tous les métaux ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium (Z= 11) [18].

D'un autre point de vue biologique, on distingue deux types selon leurs effets physiologiques et toxicologiques : les métaux essentiels et les métaux toxiques [19]. Les métaux lourds regroupent classiquement le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cobalt (Co), le

cuivre (Cu), l'étain (Sn), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le mercure (Hg), le molybdène (Mo), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn). L'arsenic (As), qui est un métalloïde, bien que non métallique, sont souvent classés comme métaux lourds à cause de leur toxicité. La plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation « métaux lourds » celle d'« éléments en traces métalliques » ETM, qui caractérise les éléments qui sont principalement présents sous forme de traces dans l'environnement comme le cuivre, le chrome, le nickel, le plomb, le zinc et le cadmium [20, 21].

## II.2 Classification des métaux lourds

<b>Bloc s</b>												<b>Bloc p</b>										
H		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; margin-right: 5px;"></div> <b>Métaux lourds de densité &gt; 5</b> </div>																				He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne					
Na	Mg	<b>Bloc d</b>										Al	Si	P	S	Cl	Ar					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
Fr	Ra	Ac	<b>Bloc f</b>																			
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu						
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr						

**Figure N° 04:** Classification périodique des élément[18]

Autre classification Suggéré en fonction des caractéristiques des complexes. Cela signifie trois types d'éléments:

Classe A : comprend les éléments qui sont liés à des liaisons contenant des atomes d'oxygène.

Classe B: comprend les éléments liés aux liaisons contenant des atomes d'azote et de soufre.

Classe C (milieu) : comprend les éléments liés à l'oxygène, à l'azote et au soufre.

## II.3 Toxicité

Les métaux lourds se trouvent souvent dans l'eau à l'état de traces, La toxicité se développe par bioaccumulation dans les organismes vivants. Par exemple, le mercure connu depuis l'antiquité, il est facilement absorbé par les poumons, la peau, l'estomac et intestins, et affaiblit le système immunitaire[3].

Les métaux lourds présents dans les algues, les plantes, les poissons et autres animaux sont absorbés et s'accumulent dans le corps des animaux puis chez l'homme à chaque étape de la chaîne alimentaire[22].

## II.4 Effets des métaux lourds

### II.4.1 Effets sur la santé

Les métaux s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court et ou à long terme qui peuvent affecter les systèmes nerveux, respiratoire ou autre[23]. Ils peuvent également provoquer une gastro-entérite, une pneumonie, une insuffisance rénale en cas d'exposition à long terme à un certain nombre de métaux, Le platine et les dérivés inorganiques du mercure sont également responsables des dommages, Principalement dans les tubes près des reins. Exposition au métal cela peut causer le cancer[24].

### II.4.2 Effets sur l'environnement

La pollution du milieu aquatique par des métaux nocifs réduit sa productivité et diminue les effets à des niveaux nutritionnels en retardant le développement des fœtus, chez les poissons, les mollusques et les crustacés diversité biologique et a un effet toxique sur les organismes aquatiques[25].

Les Métaux lourds contenus dans les plantes, ses contaminations conduisent à des intoxications animales ou humaines selon la chaîne alimentaire.

## II. 5les métaux étudiés

Dans notre étude, nous avons utilisé deux métaux, qui peuvent être rencontrés dans la pollution des eaux, et cela du à leurs utilisations dans plusieurs domaines, en particulier l'industrie minière et métallurgiques :

### II.5.1 Le zinc

#### II.5.1.1 Définition

Le zinc est un élément chimique de symbole Zn, situé dans le tableau périodique, de numéro atomique  $Z = 30$  et de masse atomique  $M = 65,38\text{g/mol}$ . Il existe sous forme d'oxyde de zinc (ZnO) et de plusieurs substances [26], caractérisées par une couleur d'un gris clair brillant [27].

Le zinc est un élément chimique dont les atomes ont une couche électronique incomplète, ou il peut former des cations avec une couche électronique incomplète, et c'est donc un métal de transition [28].

#### II.5.1.2 Propriétés du zinc

Le zinc est connu depuis l'Antiquité, même s'il n'était pas utilisé à l'état pur à cette époque. Le mérite d'avoir isolé ce minéral revient à Anton von Swab en 1742, ainsi qu'à Andreas Marggraf ; Et les composés contenant ce métal ont été utilisés dans plusieurs domaines pour le distinguer avec de grandes propriétés, comme suit :

**Tableau N°0 1** : les propriétés du zinc.

Numéro atomique	Z=30
Poids atomique	65.38g/mol
densité	7,134 g·cm <sup>-3</sup>
Température de fusion	419,5 °C
Température ébullition	907°C
Structure électronique	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
Degré oxydation	+2

De plus, le zinc est facilement soluble dans les bases fortes et dégage de l'hydrogène. Il est également soluble dans les acides forts. Il se dissout facilement dans les acides faibles, surtout si le zinc n'est pas très pur (effet des cellules en milieu aqueux)[29].

### **II.5.1.3 Utilisation de zinc**

L'utilisation principale du zinc dans la galvanisation de l'acier : l'application d'une fine couche de zinc sur la surface de l'acier le protège de la corrosion.

L'acier galvanisé est utilisé dans l'industrie automobile, la construction, l'électroménager, l'équipement industriel, etc. Le laiton, alliage de cuivre et de zinc, et le bronze, alliage de cuivre et d'étain auquel on ajoute parfois du zinc, représentent 19 % du zinc. Zinc et produits chimiques 9 % et autres utilisations 11 % [18].

### **II.5.1.4 Toxicité du zinc**

La contamination de l'eau par le zinc modifier la régulation ionique et l'équilibre acido-basique [30].

L'excès de zinc est généralement dû à la consommation d'aliments ou de boissons acides stockés dans des récipients en zinc (galvanisés). Dans certaines industries, l'inhalation des vapeurs d'oxyde de zinc peut entraîner un excès de zinc. Les personnes peuvent alors ressentir des nausées, des vomissements et de la diarrhée.

Les symptômes d'empoisonnement au zinc chez les plantes sont le retard de croissance et le flétrissement des parties aériennes; Un autre symptôme courant est la chlorose, qui provoque le jaunissement des feuilles entre les nervures [31].

## **II.5.2 Cadmium**

### **II.5.2.1 Définitions :**

Le cadmium est un élément chimique de métal précieux découvert par le chimiste Friedrich Stromeyer [32].

Ce métal à un couleur blanc-bleuâtre, mou et très malléable. Il appartient à la famille des métaux de transition.

C'est un élément relativement rare dans la croûte terrestre (0,2 mg/kg). État d'oxydation le plus bas les ions  $Cd^{2+}$  sont courants dans l'environnement. Volatil, réagit avec les gaz tels que l'oxygène, le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau, le dioxyde de soufre et le dioxyde L'acide chlorhydrique produit de l'oxyde de cadmium ( $CdO$ ), du carbonate ( $CdCO_3$ ), Hydroxyde ( $Cd(OH)_2$ ), Sulfure ( $CdS$ ) et Chlorure ( $CdCl_2$ ). Le cadmium est facilement absorbé par les plantes[33].

## II.5.2.2 Propriétés

Le Cd est éléments du groupe II<sub>b</sub> du tableau périodique Leur propriétés physico-chimiques est très proche au zinc talque :

**Tableau N°02:** les propriétés du cadmium

Numéro atomique	Z= 48
Poids atomique	112g/mol
densité	8.6
Température de fusion	321.07°C
Température ébullition	767°C
Structure électronique	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
Degré oxydation	+2

Le cadmium est soluble dans les acides forts concentrés et parfois dilués tels que les substances à base de cadmium comme le nitrate de cadmium, le chlorure de cadmium, Le sulfate de cadmium est soluble dans l'eau, les acides (forts et dilués) et l'ammoniaque [34].

## II.5.2.3 Utilisation du cadmium

Le cadmium se trouve principalement dans la croûte terrestre où il se trouve également dans l'industrie en tant que sous-produit [33]. Par conséquent, il s'agit d'un élément important qui a de multiples utilisations dans divers domaines, dont voici des exemples :

La production d'écrans de télévision, batteries rechargeable. Aussi, fabrication de stabilisants pour matières plastiques et de pigments [35].

Présent dans les engrais minéraux phosphatés que les agriculteurs épandent sur les cultures, il pollinise le sol et pénètre facilement les céréales et les légumes par ses racines [36].

## II.5.2.4 Toxicité du cadmium

Le cadmium est un élément chimique qui a été utilisé depuis sa découverte dans plusieurs domaines, ces dommages par rapport à ses avantages sont plus censés. Parmi ces toxicités causées par ce métal sont les suivants :

1/La présence de cadmium chez l'homme ou l'animal peut entraîner un dysfonctionnement rénal et Hépatique, une ostéomalacie, des troubles neurologiques et des modifications de l'activité pancréatique ou des déséquilibres dans diverses voies et processus métaboliques [37].

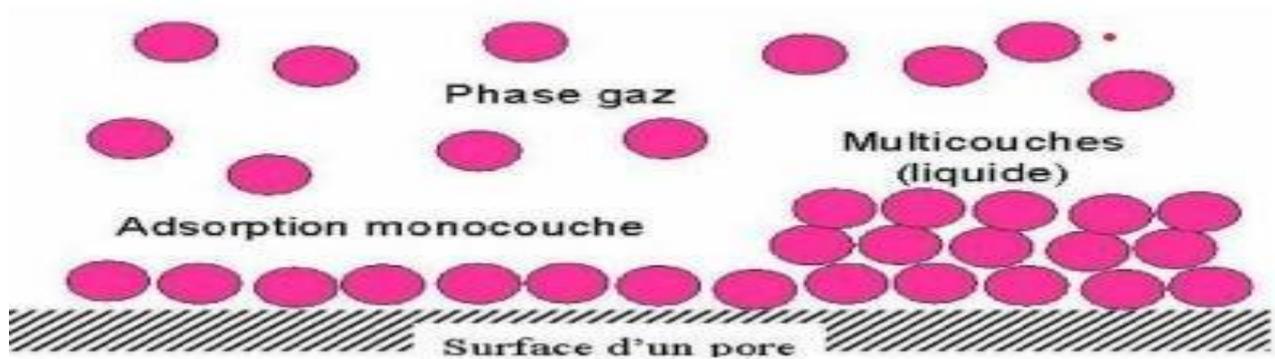
2/Les ions cadmium sont des polluants particulièrement dangereux pour l'environnement, En raison de leur mobilité relativement élevée dans le sol, de leur solubilité dans l'eau et Extrêmement toxique, même avec les faible doses [38].

3/L'accumulation de cadmium dans le sol provoque son absorption par la plante, ainsi cette plante perd ses gènes et s'hybride négativement, ce qui entraîne une perte de qualité et de productivité [39].

## Partie III : Adsorption

### III.1 Généralité sur l'adsorption

L'adsorption est un phénomène physico-chimique inter facial réversible. Molécules gazeuses ou liquides fixées à la surface solide de l'adsorbant [40]. Entre la condensation de la molécule à la surface, et une absorption du ces adsorbat, processus dans lequel les molécules de gaze/liquide pénètrent dans la masse. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbât [41]. Qualitativement, l'adsorption est définie comme le passage d'espèces chimiques d'une phase liquide ou gazeuse vers une surface solide. Quantitativement, l'adsorption est caractérisée par une concentration de surface [42].



**Figure N°5 :** phénomène d'adsorption

### III.2 Paramètres influençant sur l'adsorption

Parmi les paramètres qui peuvent gouverner l'adsorption on peut citer :

L'effet de la température est un autre paramètre important du processus physico-chimique car la température modifiera la capacité d'adsorption de l'absorbant. Cela peut être dû à l'augmentation du nombre de sites d'adsorption actifs avec l'augmentation de la température, ou la diminution des forces d'adsorption entre les métaux et les sites actifs à la surface des adsorbants ce qui induit à la diminution de la quantité d'adsorption[43].

Effet du pH : le pH influence de manière considérable sur l'adsorption dans certains cas, le pH favorise dans les milieux acides selon la nature des adsorbants et l'adsorbé.

### III.3 Domaine d'application de l'adsorption

L'adsorption est efficace dans l'industrie. En pratique, elle est utilisée dans les cas suivants:

- Séchage.
- Traitement des huiles.
- Traitement des gaz.
- Industrie textile.
- Décoloration et traitement des eaux.

## III.4 Types d'adsorption

L'adsorption conduit respectivement à deux types d'adsorption: la chimisorption et la physisorption [41].

### III.4.1 L'adsorption chimique

La chimisorption s'accompagne d'un établissement des liaisons chimiques entre l'adsorbant et l'adsorbat. La chimisorption est la mise en jeu de la formation des liaisons chimiques spécifiques. La chimisorption ou adsorption activée résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant [45,44]. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie de transformation élevée. Et se caractérise par le non réversibilité et la chaleur de l'adsorption.

### III.4.2 L'adsorption physique

L'adsorption physique est le type d'adsorption le plus courant, c'est un phénomène réversible (c'est-à-dire que la molécule adsorbée peut être facilement désorbée en abaissant la pression ou en augmentant la température) et possède une propriété physique d'attraction, sa force dite de van der Waals pour les faibles énergies entre de 2 à 10 KJ/mol. Elle est généralement rapide et limitée, entraînant la formation de plusieurs couches : la première couche est due à l'interaction adsorbat/adsorbant, tandis que la couche suivante est liée à l'interaction adsorbat/adsorbat (formation des multicouches)[45].

## III. 3Comparaisons du type adsorption

**Tableau N°03** : la chimisorption et la physisorption.

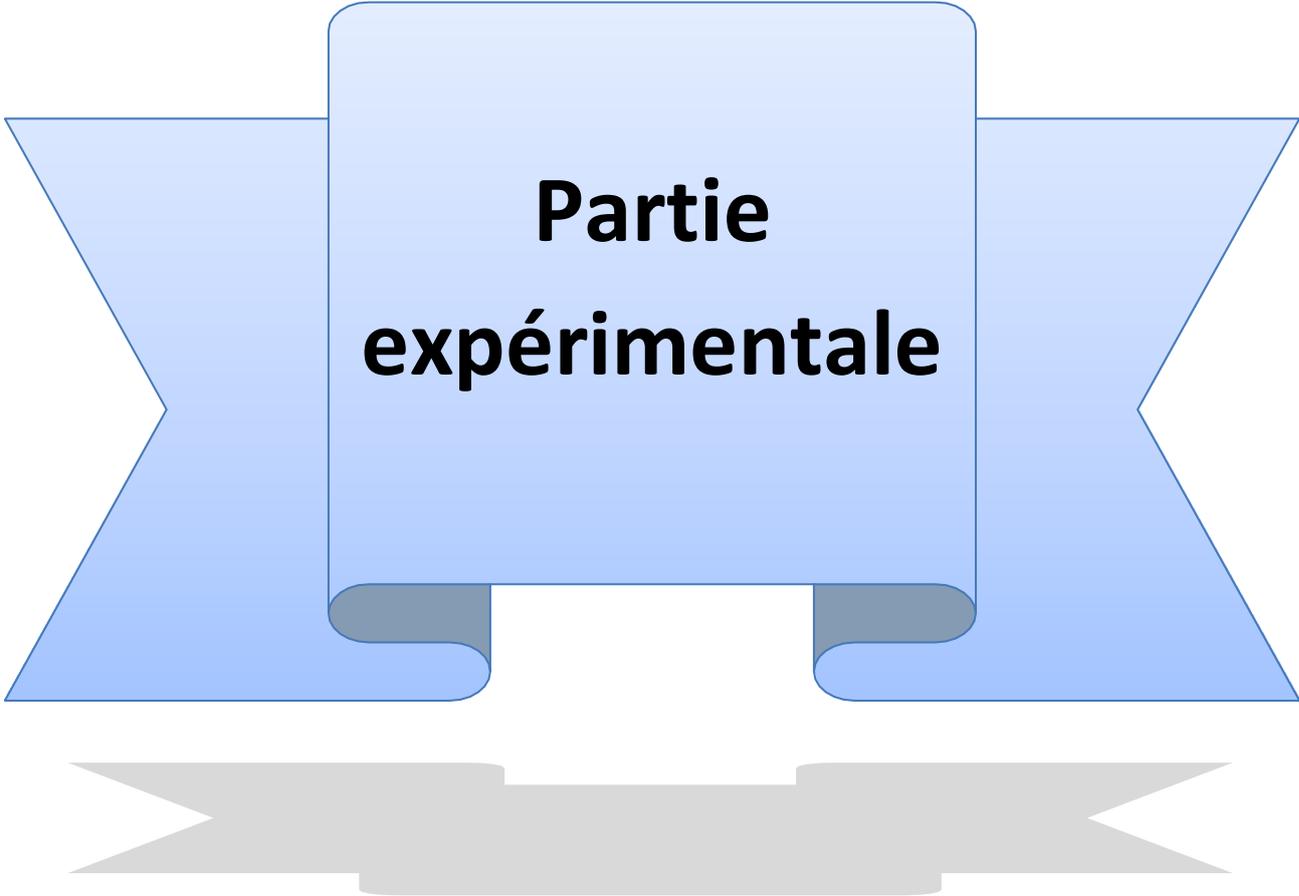
<i>Propriétés</i>	<i>Physisorption</i>	<i>chimisorption</i>
<i>Types de liaison</i>	Liaison de Van Der Waals	Liaison chimique
<i>Température de travail</i>	Relativement faible comparé à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat
<i>Etat de surface</i>	Adsorption en plusieurs couches possibles	Adsorption en monocouche

<i>Désorption</i>	Facile	difficile
<i>Cinétique</i>	Rapide, indépendante de la température	Très Lente
<i>Chaleur d'adsorption</i>	Inférieur à 10 Kcal/mole	Supérieur à 10 Kcal/mole
<i>Energie de liaison</i>	0 à 40 KJ /mol	mole Supérieur à 40 KJ/mole

- 
- [1] . Gassas H., Mekkas N, Hafsi S.(2019)Elimination des IONS  $Cu^{+2}$  des solutions aqueuses par adsorption sur une argile locale.
- [2] . Mbouga N,Goletti M.(2012) .Formulation d'insecticides en poudre par adsorption des huiles essentielles de *Xylophia aethiopica* et de *Ocimum gratissimum* sur des argiles camerounaises modifiées.
- [3] . Bentahar Y.(2016).Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines:application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse.
- [4] . Spry DJ, Wood CM .(1985). Ion flux rates, acid–base status, and blood gases in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, exposed to toxic zinc in natural soft water.
- [5] . Khalla MAT.(2021). Elaboration et caractérisation des nanomatériaux à partir de l'argile locale et application dans le traitement des rejets industriels.
- [6] . Benkhalifa D, krimi F,Younsi M .(2017).Elimination des polluants organiques avec de l'argile anionique pour la protection de l'environnement.
- [7] . El Ouahabi M.(2013). Valorisation industrielle et artisanale des argiles du Maroc.
- [8] . Wakim J.(2005).Influence des solutions aqueuses sur le comportement mécanique des roches argileuses.
- [9] . Caillère S, Hénin S, Rautureau M.(1982)." Minéralogie des argiles", Tomes 1 et 2, Inra Actualités scientifiques et agronomiques.
- [10] . Zeyneb B, Amira B, Said H.(2021). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur une argile locale" région d'Oum-El- Bouaghi.
- [11] . Tahari N.(2022 )Réactivité d'argile modifiée par polymérisation. Etude de l'adsorption des polluants des eaux usée.
- [12] . Kiki GJD, Houngan AC, Kouchade C, Djossou A, André P, Vianou A. (2020). Amélioration du confort thermique des bâtiments par utilisation de l'inertie thermique des composites argile-paille de chiendent.
- [13] . Boudon-Millot V. Pardon-Labonnelie M .(2018).Le teint de Phryné : thérapeutique et cosmétique dans l'Antiquité.
- [14] . Hernot F .(2016).L'argile son utilisation à l'officine.
- [15] . Huynh TMD.(2009). Impacts Des Metaux Lourds Sur L'Interaction Plante. Ver De Terre/Microflore Tellurique.
- [16] . Sedira N.(2013). Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actifissu de noyaux de dattes.
- [17] . Aimen C, Kheireddine T ,Mohcen S.(2020).Etat des connaissances du potentiel effet atténuateur du Curcuma sur la toxicité induite par l'Aluminium.
- [18] . Jassim SA, Naji MA, .(2010).In vitro evaluation of the antiviral activity of an extract of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pits on a *Pseudomonas* phage.
- [19] . Lafendi M.(2017). Recherche de quelques métaux lourds chez la crevette et lecalamar importés et commercialisés à Tlemcen.

- [20] . Nakib L, Mehennaoui S .(2010).,Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique.
- [21] . Hanane D, Sarra K,(2019). Contribution à l'étude de la bioaccumulation des quelques éléments traces métalliques par la moule *Perna perna* au niveau du littoral d'Annaba (Nord-Est Algérie.
- [22] . Loez C, Saliban A , Topalian M,(1998). Associations phytoplanctoniques indicatrices de la pollution par le zinc.
- [23] . Stambolova I, Konstantinov K , Vassilev S, Peshev P, Tsacheva T. (2000). Lanthanum doped SnO<sub>2</sub> and ZnO thin films sensitive to ethanol and humidity.
- [24] . Necker LA. (1835). La règne mineral ramené aux méthodes de l'histoire naturelle.
- [25] . Zigone M, Beserman R, Balkanski M.(1974). Propriétés optiques du sulfure de zinc contenant des métaux de transition en position substitutionnelle.
- [26] . Peultier J.(2000) Traitement de conversion du zinc à base d'acides carboxyliques.
- [27] . El Shemy MA, Azab N I, Salim RF.(2017). Zinc oxide nanoparticles: The hidden danger. injury
- [28] . Broadley MR, White PJ, Hammond J P, Zelko I,Lux A. (2007). Zinc in plant.
- [29] . Mechter C,Maakouf S, Souyad H, Ghorab I E. (2004). Contribution à l'étude de l'effet toxique du cadmium sur quelques paramètres hématologiques chez les rats .
- [30] . Sammut M. (2007).Spéciation du cadmium, du plomb et du zinc dans les poussières d'émissions atmosphériques d'origine sidérurgique-Approche de l'impact toxicologique des poussières.
- [31] . Kerfaoui F. (2016) .Phytoremédiation du chlorure de cadmium (CdCl<sub>2</sub>) par *Atriplex nummularia* Lindl.
- [32] . Ghazali S, Laamyem A.( 2021). Utilisation des déchets solides et des matériaux naturels dans le traitement des rejets liquides de la zone industrielle d'Ain sebaa Casablanca.
- [33] . Gharbi M, Merzougui L K, Kadi Z.(2021). Impacts du Cadmium sur les paramètres morpho-physiologiques de l'*Atriplex halimus* L.
- [34] . Kehili N, Saka S, Aouacheri O.2018. L'effet phytoprotecteur de la nigelle (*Nigella sativa*) contre la toxicité induite par le cadmium chez les rats.
- [35] . Ismail N H A.(2020). L'effet de l'interaction de l'oxyde de graphène sur la toxicité du cadmium: bioessais avec la plante aquatique *lemna minor*.
- [36] . Grant C.et al.(1998) Cadmium accumulation in crops..
- [37] . Fafa S, Dehmen S, Boukhemkhem AE.(2021) Etude de l'adsorption du crystal violet par le feldspath d'Ain Barbar.
- [38] . Bekkouche I, Djedili F.(2021). Elimination d'un polluant organique de l'eau par adsorption.

- [39] . Padilla-Ortega E, Leyva-Ramos R, Flores-Cano J.(2013) Binary adsorption of heavy metals from aqueous solution onto natural clays.
- [40] . Yagub M T, Sen T K, Afroze S, Ang H M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. Advances in colloid and interface science.
- [41] . Rytw G. Ruiz-Hitzky E.(2003) Enthalpies of adsorption of methylene blue and ( crystal violet to montmorillonite. Journal of thermal analysis and calorimetry.
- [42] . Khir I, Zebar R.(2021). Elimination des micropolluants organiques par l'adsorption sur les argiles.
- [43] . Yahiaoui N.(2012). Etude de l'absorption des composés phénologiques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif.
- [44] . Koller, E,(2005). Aide-mémoire Génie chimique, 2ème Edition Dunod.
- [45] . Babaa, M. R. (2004). Contribution à l'étude de l'adsorption physique de gaz sur les nanotubes de carbone mono-et multiparois (Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré-Nancy 1).

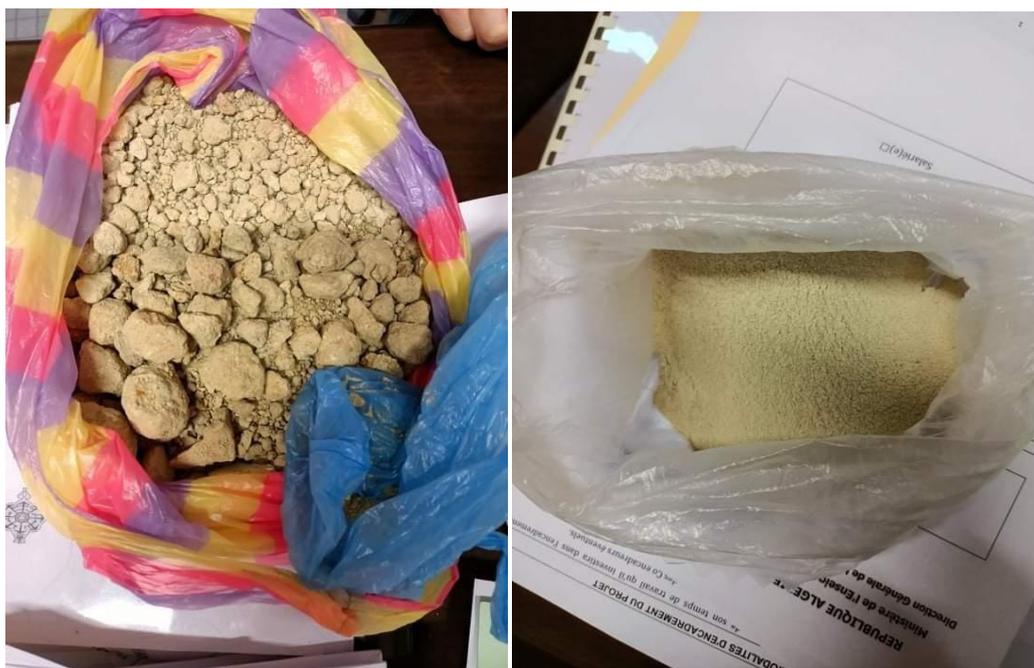


**Partie  
expérimentale**

### L'adsorbant utilisé

L'adsorbant utilisé durant notre étude est une bentonite naturelle extraite de la Carrière de Dar Embarak de Hammâm Bouhrara de la wilaya de Tlemcen, se forme de poudre de différentes tailles.

La bentonite a subi un concassage et un broyage afin d'être utilisée dans les différents essais d'adsorption.



**Figure N ° 01:** Montre la bentonite à l'état brute et après traitement physique.

### Remarque Importante

Chaque eau distillée utilisée possède un pH différent, la gamme de pH située entre 4.5 et 6.2.

Nous avons travaillé à température ambiante comprise entre 16 et 25 °C (pendant la saison d'hiver).

### Les métaux étudiés

On a étudié deux métaux lourds le cadmium et le zinc pour les raisons suivantes:

- \* leurs présences fréquentes dans les effluents industriels.
- \* leurs caractères d'accumulations ainsi que toxiques.

Afin d'avoir des solutions de concentrations bien déterminée en ions cadmium( $\text{Cd}^{2+}$ ) et de zinc( $\text{Zn}^{2+}$ ) (100 mg/L), nous avons utilisé les sels suivants .(voir tableaux n ° 01 ).

**Tableau N °01:** les propriétés caractéristiques des deux sels utilisés

Produits	Fournisseurs	Pureté (%)	Masse molaire (g/mole)	densité
Nitrate de Cadmium tétra hydraté $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	SIGMA ALDRICH	98	308,49	2.45
Nitrate de Zinc hexa hydraté $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	SIGMA ALDRICH	98	297,49	4.53

## I Etude d'adsorption des métaux lourds par la bentonite

### I.1 Cinétique d'adsorption

Dans un erlenmeyer de 600 mL, nous avons mis un volume de 300 mL de la solution en ion métallique étudié ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ou bien ( $\text{Cd}^{2+}$ ), de concentration de 100mg/L, en contact avec une masse de 1 gramme de bentonite.

Un agitateur magnétique permet d'assurer un bon contact des mélanges et une grande homogénéisation de la solution. Le pH de la solution est suivi en continue à l'aide d'un pH-mètre type OHAUS de type STARTER 2100.

Pour déterminer la concentration instantanée du métal en fonction du temps, les échantillons ont été dilués pour être analysés à l'aide de SAA (spectrophotomètre d'absorption atomique).

La quantité du métal fixée par la bentonite en fonction du temps a été déterminée par la différence entre la concentration initiale  $C_0$  et la concentration instantanée  $C_t$ , par la relation suivante :

$$q = \left( \frac{C_0 - C_t}{m} \right) \times V$$

Où :

$q$ : la quantité fixée de métal ( $\text{mg.g}^{-1}$ ).

$C_0$  : concentration initiale du métal ( $\text{mg.L}^{-1}$ ),

$C_t$  : concentration instantanée du métal ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

$V$  : le volume de la solution (L).

$m$ : la masse de l'adsorbant utilisé (g).

### I.2 La régénération de la bentonite

Pour étudier la désorption ou la régénération de la bentonite saturée en cadmium ou en zinc, nous avons procédé à une filtration afin de récupérer la bentonite saturée par les ions de  $\text{Zn}^{2+}$  ou bien  $\text{Cd}^{2+}$ .



**Figure N°02** : L'étape de la filtration de la bentonite saturée.

La bentonite récupérée, est divisée en deux parties, une partie séchée à température ambiante et l'autre partie est séchée à l'étuve à  $100^\circ\text{C}$  pendant deux heures.



**Figure N°03** : La bentonite séchée après la saturation

Pour étudier la régénération, nous avons mis **0.5** grammes de bentonite saturé en contact avec 150 mL des solutions suivantes:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.1N),  $\text{HCl}$ (0.1N),  $\text{CaCl}_2$ (0.1N) et l'eau distillée, sous agitation moyenne, des échantillons de 2 ml ont été prélevés et dilués dans des fioles de 50 mL à  $t = 5\text{min}$  et 24 heures pour déterminer la concentration des métaux étudiés.



**Figure N°04 :** La régénération des bentonites saturées.

## II Méthodes d'analyses

Dans ce chapitre sont décrites les différentes méthodes d'analyses utilisées au cours de cette étude et qui peuvent être classées en deux groupes : d'une part, celles qui permettent de caractériser les propriétés physico-chimiques de la bentonite à savoir : spectroscopie infrarouge (IR), analyse par diffraction des rayons X sur poudre (DRX) et mesure de la surface spécifique (B.E.T),

D'autre part, la méthode permettant de connaître les propriétés de la phase liquide des métaux lourds (cadmium et zinc) par l'analyse spectrophotométrie d'absorption atomique.

### II.1 Dosage des métaux lourds par spectroscopie d'absorption atomique



**Figure N°05** : Spectroscopie d'absorption atomique.

L'absorption atomique est une méthode très précise sert a mesuré les concentrations des minéraux dans une solution aqueuse.

Nous avons utilisé la SAA pour les raison suivants :

- Rapidité de mesure et d'interprétation.
- Simplicité de méthode.
- volume relativement faible de l'échantillon.

#### II.1.1 Principe de la méthode

Elle est base sur l'absorbance des atomes libres par un certaines longueur d'onde ; chaque élément a une longueur d'onde spécifique L'absorption atomique est basé sur le nombre atomique excité quant on injecte un faisceau lumineux sur l'échantillon.

Cette méthode permet l'analyse qualitative mais surtout quantitative des éléments minéraux contenus dans un échantillon d'eau[1].

Analyse par spectroscopie infra rouge:

La spectroscopie infra rouge est considérée comme un autre moyen d'étude des argiles et par conséquent comme un moyen d'identification des minéraux argileux.

Le principe de l'analyse consiste en la connaissance de la position des bandes de certains groupements caractéristiques des minéraux argileux.

Les spectres IR ont été enregistrés entre  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  à l'aide d'un Spectrophotomètre modèle PerkinElmerL 1600400 Spectrum au Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement de l'Université de Tlemcen [2].



**Figure N°06** : La spectroscopie infra rouge utilisé

### II.1.2 Mesure de surface spécifique (B.E.T)

La surface spécifique ou aire massique d'une poudre est la surface totale par unité de masse.

La détermination expérimentale de la surface spécifique repose sur le principe d'adsorption d'azote à basse température.

A partir de la quantité d'adsorbat, de la dimension des molécules adsorbées, il est possible d'évaluer la surface sur laquelle les molécules d'adsorbat sont fixées en utilisant le modèle de calcul dit de BET (Brunauer, Emmett et Teller).

Cette méthode nécessite un prétraitement des échantillons (dégazage et déshydratation à  $250^{\circ}\text{C}$ ) afin d'évacuer tous les gaz préalablement adsorbés.

La surface spécifiques, ainsi que les autres paramètres de notre paramètres de notre bentonite sont mesurées avec un appareil de type QuantachrorNovaWin instruments au Laboratoire de catalyse et Synthèse en Chimie Organique de l'Université de Tlemcen[3].

## II.1.3 Diffraction des Rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X est une technique très utilisée pour identifier la nature et la structure des produits cristallisés (cristaux, minéraux, argiles...).

Le diffractogramme, représentant l'intensité en fonction de l'angle de diffraction  $\theta$ , par l'observation de raies à partir desquelles peuvent être déterminées les distances réticulaires  $d_{hkl}$ , caractéristiques d'un composé cristallin donné, à l'aide de la loi de Bragg:

$$2d_{hkl}\sin \theta = n \lambda$$

Avec :

$d_{hkl}$  : Distance inter-réticulaire exprimé en Å.

$n$  : Nombre entier correspondant à l'ordre de réflexion.

$\lambda$  : Longueur d'onde du rayonnement utilisé (nm) lié à la nature de l'anticathode.

$\theta$  : Angle de diffraction (°).

Les spectres ont été obtenus en utilisant un diffractomètre type Rigaku Miniflex 600 de l'université Abou bakeir Belkaid-Tlemcen opérant à température ambiante.

La distance mesurée sur la réflexion (001) peut, selon leur valeur, être attribuée à différentes espèces de minéraux argileux.

Les spectres sont enregistrés sur un diffractomètre Bruker AXS D-8 utilisant la radiation monochromatique  $K\alpha$  du cuivre 1,54 Å réalisés au Laboratoire de Catalyse et Synthèse en Chimie Organique de l'Université de Tlemcen. Le domaine observé de l'angle  $2\theta$  est compris entre 2 et 80° pour tous les échantillons.

### **Référence :**

- [1]. El-Rahman KA.(2006). Thermodynamic modeling for the removal of Cs<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> ions from aqueous waste solutions using zeolite A.
- [2]. Larakeb M, Youcef L, Achour S.(2015) Effet de différents paramètres réactionnels sur l'élimination du zinc par adsorption sur la bentonite de Mostaghanem et sur le Kaolin.
- [3]. Bezzar A, Ghomari F.(2011 )Etude de la diffusion et l'adsorption des contaminants dans les sols Algériens.



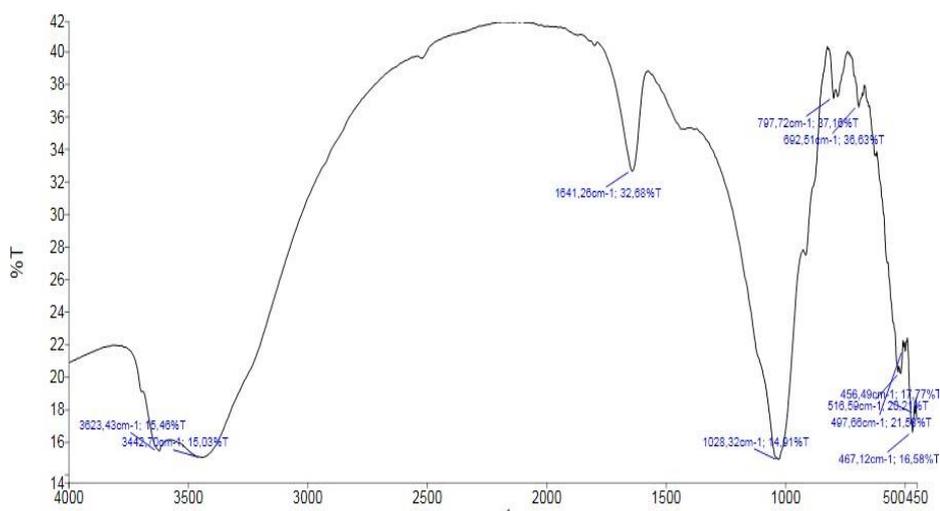
**Résultats et  
discussions**



## I CARACTERISATION DE LA BENTONITE

### I.1 Analyse par spectroscopie infra rouge

Le spectre IR enregistré dans le KBr de la bentonite montre les différentes bandes d'absorption caractéristiques. Le spectre obtenu a été enregistré entre 4000 et 400 cm<sup>-1</sup>, présente les caractéristiques suivantes.



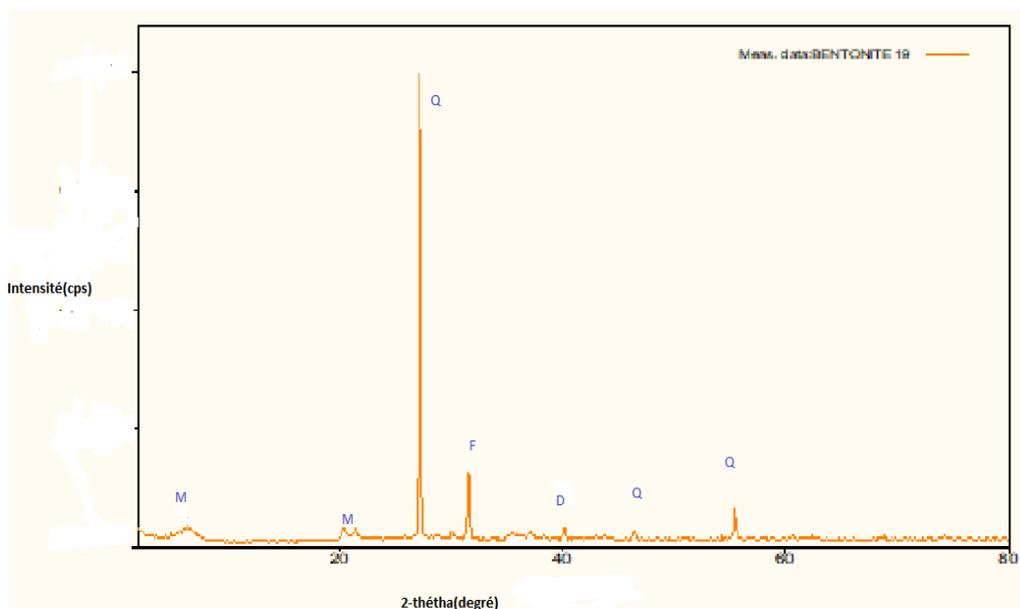
**Figure N°01:** Spectre infra-rouge de la bentonite naturelle brute.

**Tableau N°01:** Les principales bandes d'absorption IR (cm<sup>-1</sup>) de la bentonite naturelle [1].

Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Attribution
3622.57 3437.14	Vibration de valence de la liaison (OH <sup>-</sup> )
1640.18 1431.13	Vibration de déformation de liaison (OH <sup>-</sup> )
1032.94	Vibration de liaisons de valence Si-O
798.01	correspond au quartz
694.99	Vibration de déformation d'hydroxyde (OH <sup>-</sup> )
521.19	Vibration de déformation des liaisons Si-O-Al
469.20	vibration de déformation de liaison Si-O-Mg

## I.2 Analyse par diffraction des rayons X sur poudre (DRX)

L'argile est généralement constituée d'un minéral de base (kaolinite, illites, Montmorillonite) et de certaines phases cristallines (quartz, calcite,..). La Figure....Présente le diagramme de diffraction des rayons X de la marne argileuse naturelle.



**Figure N°02.** : Diffractogramme des rayons X de la bentonite naturelle.

Q: quartz, M: montmorillonite.F: feldspaths.D : dolomite.

La bentonite est constituée des phases cristalline montmorillonite au des pic ( $d=13.88\text{Å}, 4.36\text{Å}$ ) de diffractogramme.

Les pic à ( $d=3.27, 1.95, 1.65\text{Å}$ ) représentent le quartz et a  $d=2.53\text{Å}$  présente la dolomite sous dernier sont des impuretés.

D'après le diffractogramme la bentonite présente une structure montmorillonite avec un pic caractéristique remarqué au environ  $2\theta = 6.36^\circ$  qui correspond à la réflexion du plan (001) de distance réticulaire de  $13,88 \text{ Å}$  représentant l'espace inter foliaire. Le diffractogramme montre aussi la présence du quartz et de calcite et dolomite.

## I.3 Mesure des surfaces spécifiques par la méthode BET

La surface spécifique de la bentonite a été déterminée selon la méthode BET (Brunauer, Emmet et Teller). Le volume poreux ainsi que le diamètre des pores ont été déterminé par la méthode BJH (Barett, Joyner et Halenda).

Les valeurs des surfaces mesurées avec cette méthode sont présentées dans le tableau N°02.

**Tableau N°02** : Caractéristiques de la bentonite naturelle

Argile	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	S <sub>BJH</sub> (m <sup>2</sup> /g)	Volume poreux (cm <sup>3</sup> /g)	Diamètre des pores (A°)
Bentonite	76.45	79.13	0.24	19.89

Pour notre bentonite, nous avons obtenu une surface spécifique supérieure à celle d'une bentonite du Wyoming estimée à 46 m<sup>2</sup>/g. De même, notre matériau est microporeux, puisque il possède des pores inférieures à 20 A° selon la classification des pores [2].

## I. Cinétiques d'adsorption des métaux lourds sur la bentonite

La cinétique d'adsorption exprimée comme étant la variation avec le temps de la quantité de cation adsorbée par gramme de support.

L'étude expérimentale menée en mode 'batch' a permis de suivre les variations ayant lieu dans la phase liquide en fonction de temps.

La capacité maximale d'adsorption est la quantité de polluant retenue à l'équilibre calculée à partir de la concentration du filtrat, obtenue par un dosage utilisant une spectroscopie d'absorption atomique (SAA)[3].

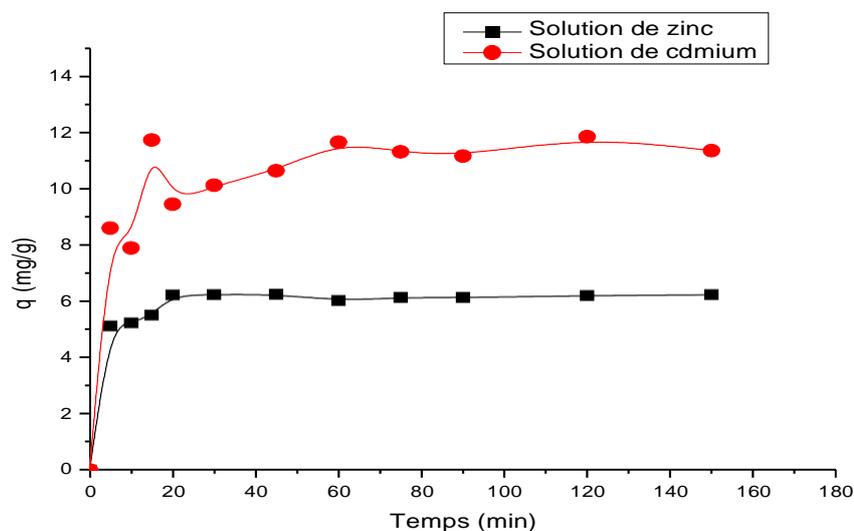
### I.1 Cinétique d'adsorption

#### I.1.1 Effet du temps de contact

Comme l'illustre la figure N°03 qui représente l'évolution de la quantité adsorbée du cadmium et du zinc en fonction du temps. L'allure caractérisé par une

forte adsorption des métaux lourds sur l'argile dès les premières minutes de contact métal argile, suivie d'une augmentation lente jusqu'à atteindre un état d'équilibre.

A l'état d'équilibre, la bentonite adsorbe davantage le cadmium que le zinc, cette variation est due essentiellement à la vitesse de la diffusion des ions ou de la mobilité ionique dans la solution mais aussi des interactions entre métal argile suite à une sélectivité probablement liée à des propriétés des métaux notamment la densité de charge.



**Figure N°03 :** Cinétique d'adsorption du cadmium et du zinc sur la bentonite.

**Tableau N°03:** La quantité fixée des métaux lourds à l'équilibre sur la bentonite.

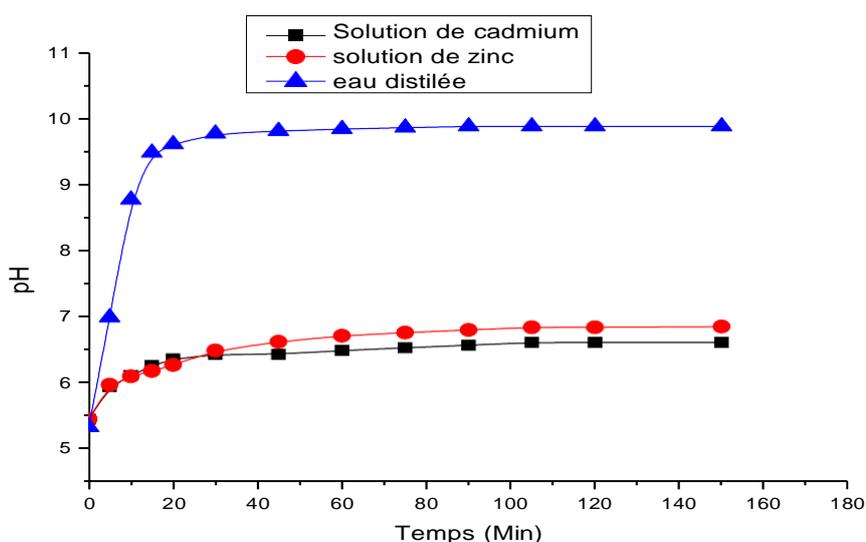
Bentonite	Cadmium	Zinc
qe (mg/g)	11.31	6.23

### I.1.2 Evolution du pH

Parallèlement à cette étude cinétique, nous avons suivi l'évolution du pH des solutions en fonction du temps en présence de la bentonite figure N°04. D'après ces figures, l'adsorption des métaux lourds étudiés sur la bentonite entraîne une légère élévation du pH de la solution, au fur et à mesure que l'adsorption progresse jusqu'à l'équilibre (un pH stable). Cette stabilité reflète l'établissement de l'équilibre où aucun échange ne se produit.

Pour mieux comprendre ce phénomène observé, nous avons étudié l'évolution du pH d'une eau distillée en contact avec la bentonite dans les mêmes conditions opératoires que précédemment.

La courbe, montre une augmentation rapide et importante du pH initial de l'eau distillée cette augmentation justifie que la bentonite fixe ou adsorbées espèces acides.



**Figure N° 04 :** Evolution du pH du cadmium et du zinc et d'une eau distillée exempte du métal en présence de la bentonite.

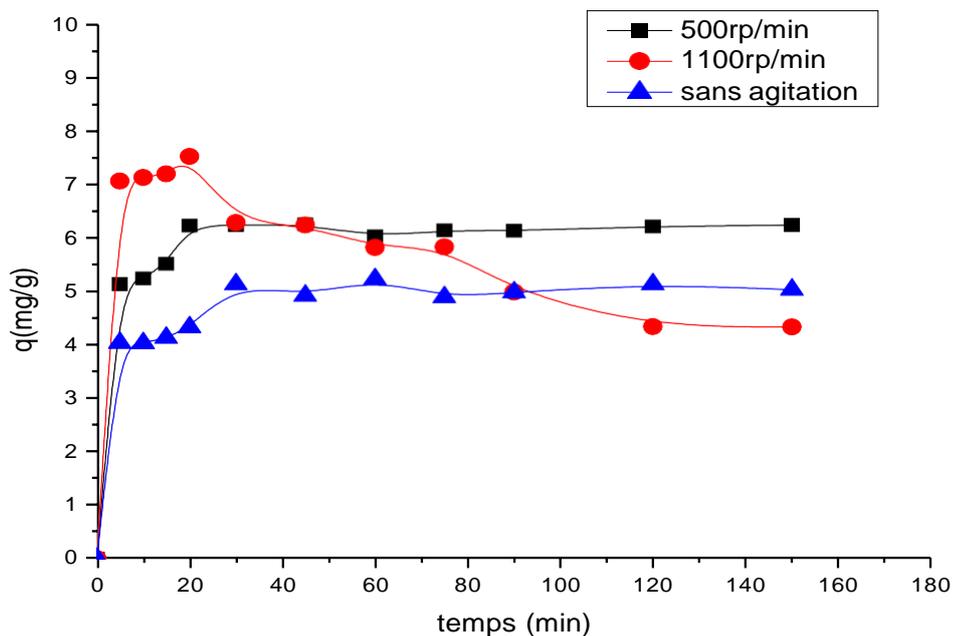
**Tableur N°04:** l'évolution du pH:

	Eau distillée+ 1g de bentonite brute	100mg/L de solution de Cd <sup>2+</sup> +1g de bentonite	100mg/L de solution de Zn <sup>2+</sup> +1g de bentonite
pH initial	5.33	5.45	5.45
pH final	9.88	6.61	6.85

### I.1.3 Effet de la vitesse d'agitation du zinc et du cadmium sur la bentonite

Pour étudier l'influence de ce paramètre, nous avons choisi trois vitesses d'agitation 0 rp/min (sans agitation) (sa n'empêche pas d'agiter le mélange pendant cinq secondes manuellement) ,500 rp/min (agitation moyenne) et 1100 rp/min (agitation maximale)

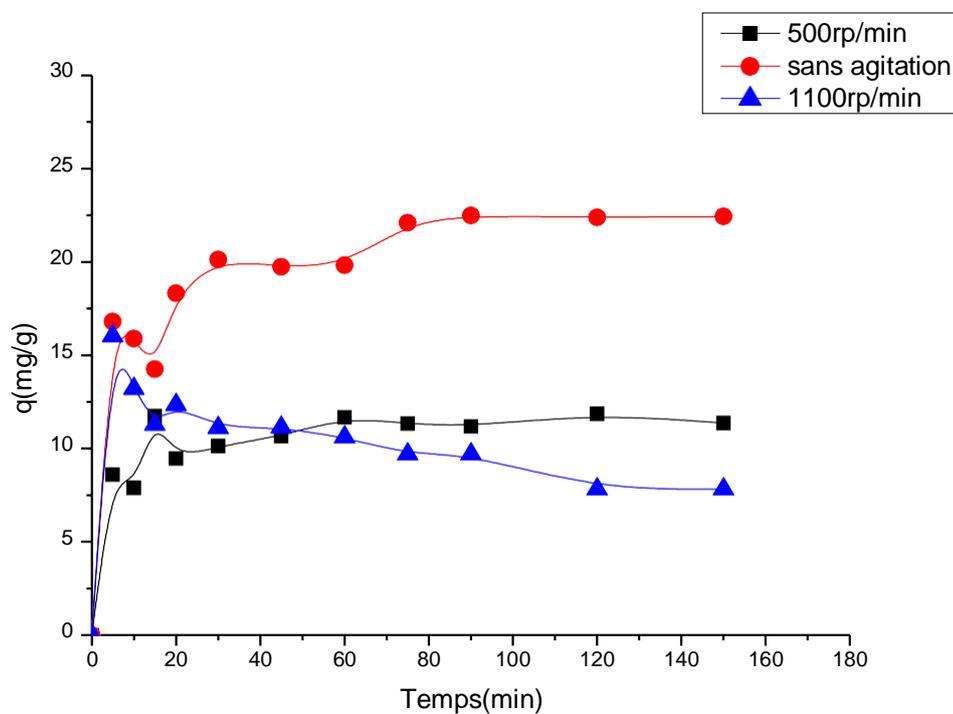
D'après les résultats illustrés sur les figures N°05 e N°06 et les tableaux N°05, N°06 ; peuvent s'expliquer, que la plus grande capacité d'adsorption du cadmium à l'équilibre est obtenue dans le cas d'absence de vitesse d'agitation par contre, pour le zinc on constate pas une grande variation de cette quantité, pour cela, on peut dire que ce paramètre n'influe pas du manière significative sur l'adsorption du zinc par la bentonite [6].



**Figure N°05** : Influence de la vitesse d'agitation sur les cinétiques d'adsorption du zinc sur la bentonite.

**Tableau N° 05** : Résultats de la quantité adsorbée à l'équilibre du zinc sur la bentonite.

Vitesse d'agitations	Quantité fixée du zinc par la bentonite à l'équilibre
Sans agitation (0 rp/min)	5.12 mg/g
Agitation moyenne (500rp/min)	6.23mg/g
Agitation maximale (1100rp/min)	7.51 mg/g



**Figure N°06** : Influence de la vitesse d'agitation sur les cinétiques d'adsorption du cadmium sur la bentonite.

**Tableau N°06** : Résultats de la quantité adsorbée à l'équilibre du cadmium sur la bentonite.

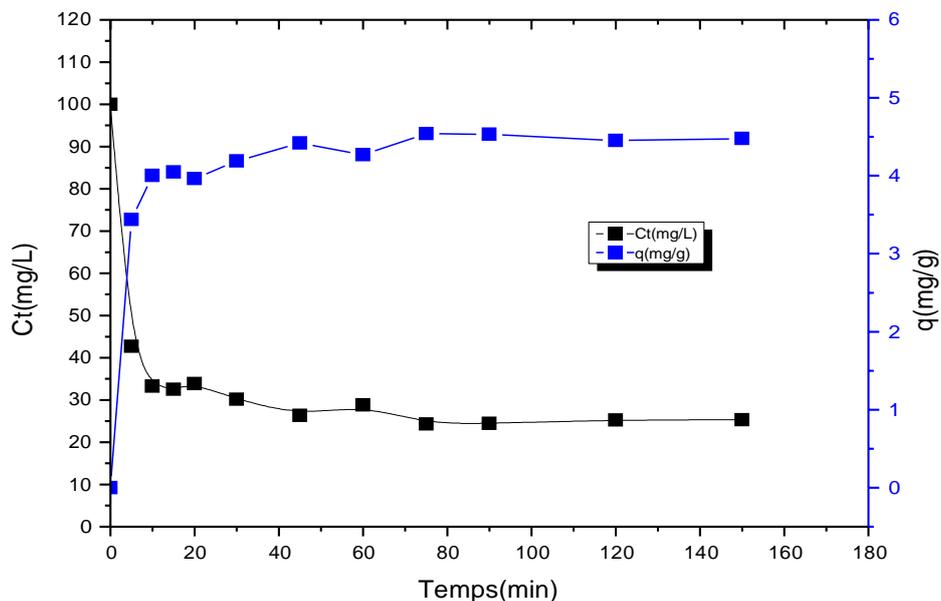
Vitesse d'agitations	Quantité fixée du cadmium par la bentonite à l'équilibre
Sans agitation (0 rp/min)	22.40 mg/g
Agitation moyenne(500rp/min)	11.31 mg/g
Agitation maximale (1100rp/min)	16.00 mg/g

### I.1.4 Effet de masse sur l'adsorption des métaux sur la bentonite

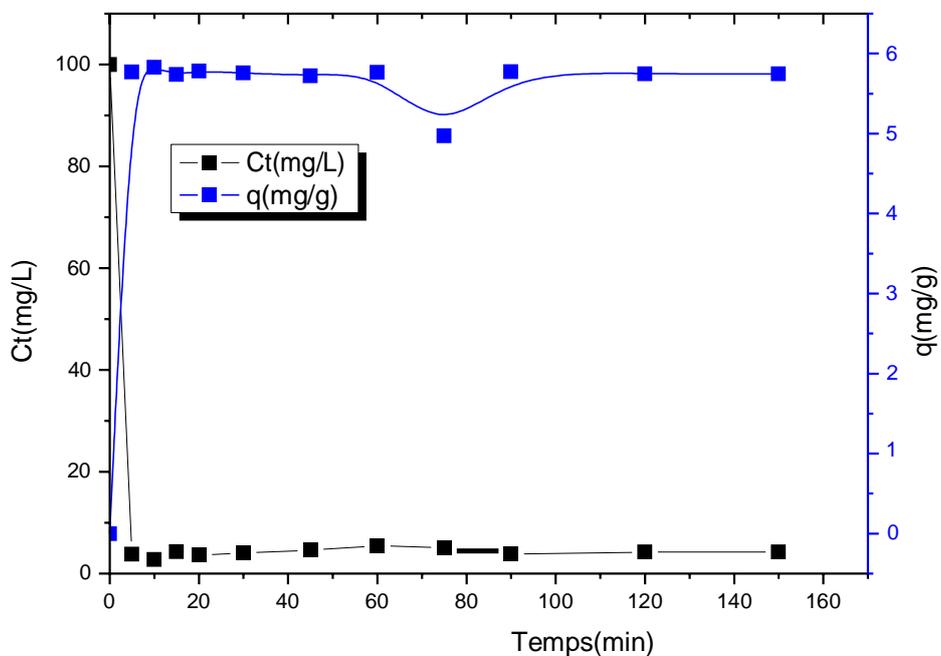
Pour étudier l'effet de la masse sur les cinétique d'adsorption des métaux lourds sur la bentonite, nous avons gardé tous les paramètres constants, et nous a pris cinq grammes de bentonite sous agitation moyenne.

Pour mieux comprendre l'effet de ce paramètre nous avons tracé simultanément les variations de la concentration ainsi que la quantité fixée à l'équilibre du métal. D'après les figures N°07 et N°08, on constate que les concentrations du métal diminue d'une manière appréciable en fonction du temps, cette diminution est très importante pour le cadmium, puisque sa concentration est presque épuisée après 20 minutes de contact. D'après les mêmes figues, on signale que les quantités fixées à l'équilibre, nous donne pas vraiment un sens physique de l'effet de ce paramètre et cela se traduit par les valeurs obtenues de la quantité fixée considérées comme faibles.

Cependant pour des masses importantes le matériau fixe une quantité des métaux beaucoup plus importante, on peut expliquer par le nombre important des sites actifs vis à vis la quantité de matériau présent en solution [7].



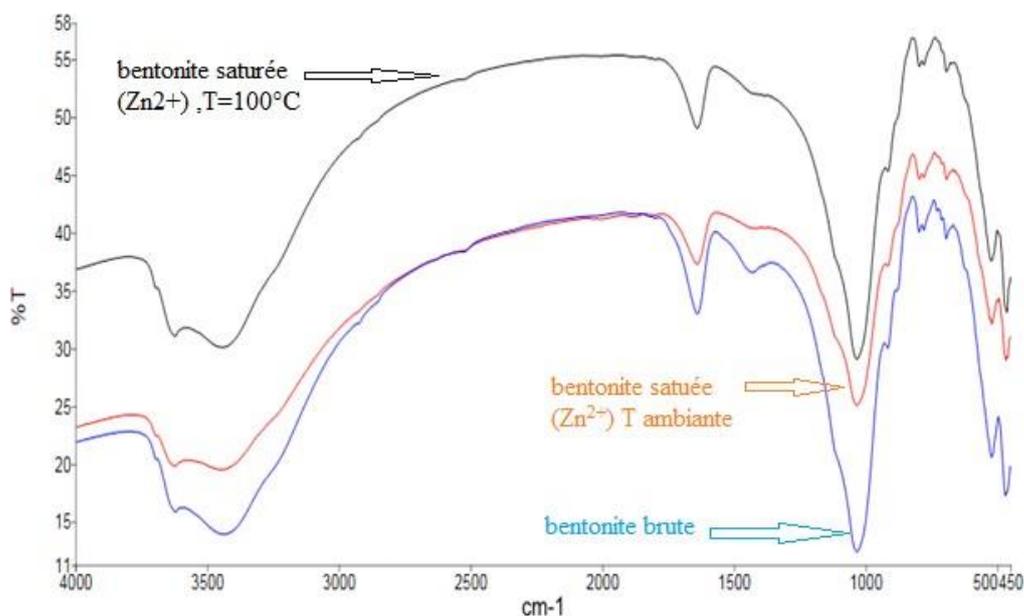
**Figure N°07 :** Influence de la masse sur la cinétique d'adsorption du zinc par la bentonite



**Figure N°08:** Influence de la masse sur la cinétique d'adsorption du cadmium par la bentonite.

## II. Spectres infra rouge de la bentonite saturée

### II.1 Les différents spectres infra rouge de la bentonite saturée en ions $Zn^{2+}$ séchée à différentes températures



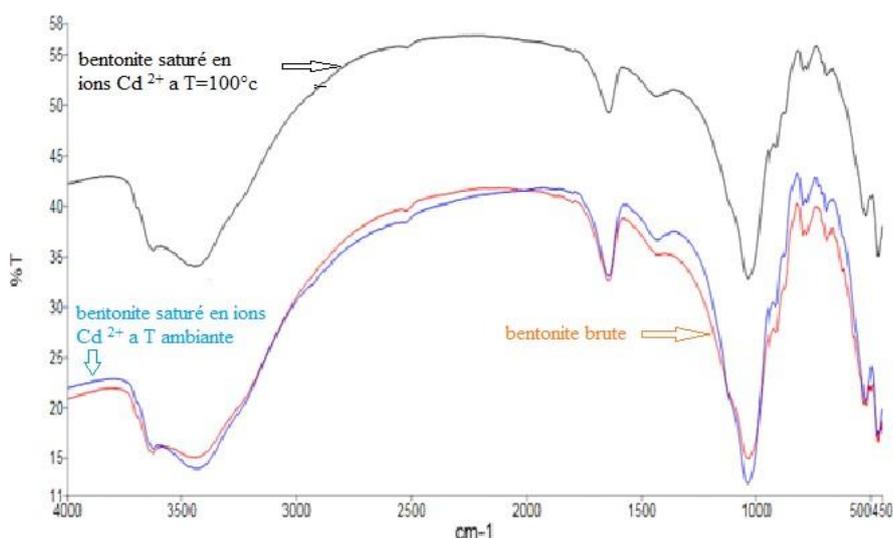
**Figure N°09:** Spectre infra-rouge de la bentonite naturelle saturée par  $Zn^{2+}$  séchée à différentes températures.

**Tableau N°07 :** Les principales bandes d'absorption IR ( $cm^{-1}$ ) de la bentonite naturelle et saturée en ions zinc séchée à différentes températures [4].

Bentonite naturelle	bentonite saturée en ions $Zn^{2+}$ séchée à T ambiante	bentonite saturée en ions $Zn^{2+}$ séchée à T=100°C	Attribution
3622.57 3437.14	3623.05 3448.20	3623.95 3445.66	Vibration de valence de la liaison ( $OH^-$ )
1640.18 1431.13		1639.95	Vibration de déformation de liaison ( $OH^-$ )
1032.94	1033.43 1039.92	1032.43	Vibration de liaisons de valence Si-O
798.01 694.99	798.21	798.21	Correspond au quartz

521.19	520.75	520.73	Vibration de déformation des liaisons Si-O-Al
469.20	467.42	463.53	vibration de déformation de liaison Si-O-Mg

## II.2 Les différents spectres infra rouge de la bentonite saturée en ions Cd<sup>2+</sup> séchée à différentes températures



**Figure N°10:** Spectre infrarouge de la bentonite naturelle saturée par Cd<sup>2+</sup> séchée à différentes températures.

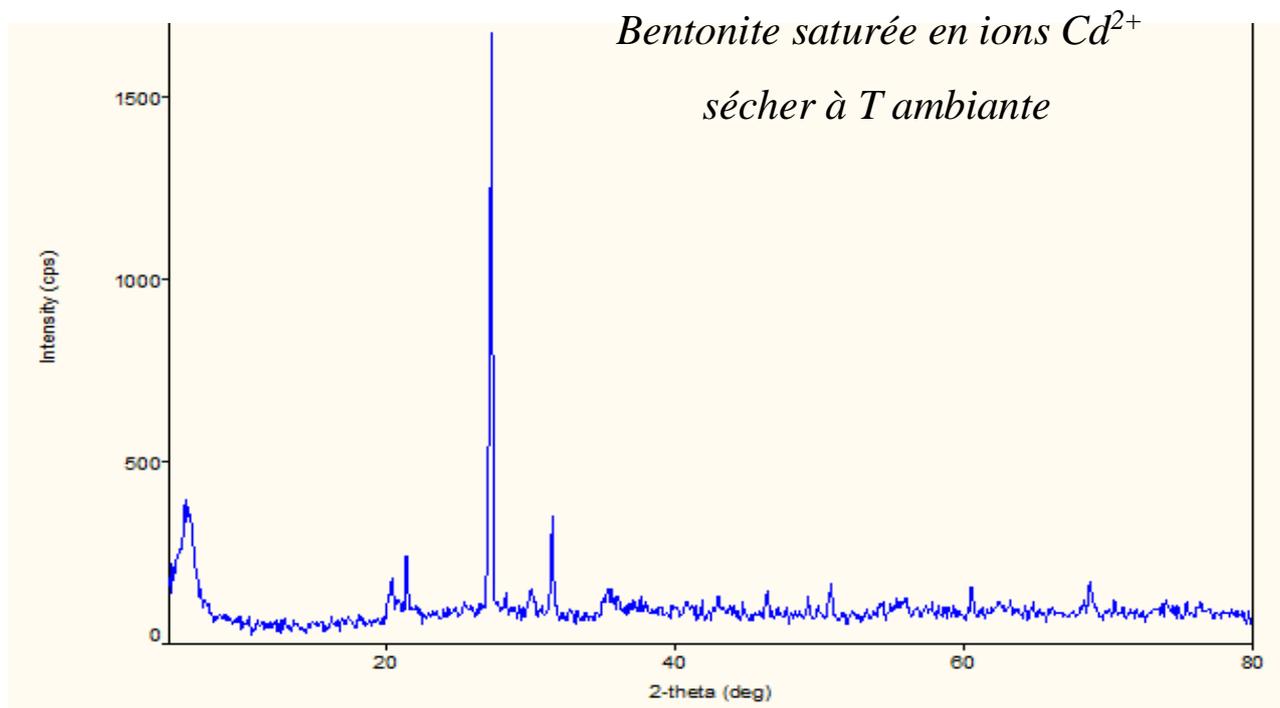
**Tableau N°08 :** Les principales bandes d'absorption IR (cm<sup>-1</sup>) de la bentonite naturelle et saturée en ions cadmium séchée à différentes températures.

Bentonite naturelle	bentonite saturée en ions cd <sup>2+</sup> séchée à T ambiante	bentonite saturée en ions cd <sup>2+</sup> séchée à T=100°C	Attribution
3622.57 3437.14	3623.43 3442.70	3447.82	Vibration de valence de la liaison (OH <sup>-</sup> )
1640.18 1431.13	1641.26	1637.67	Vibration de déformation de liaison (OH <sup>-</sup> )

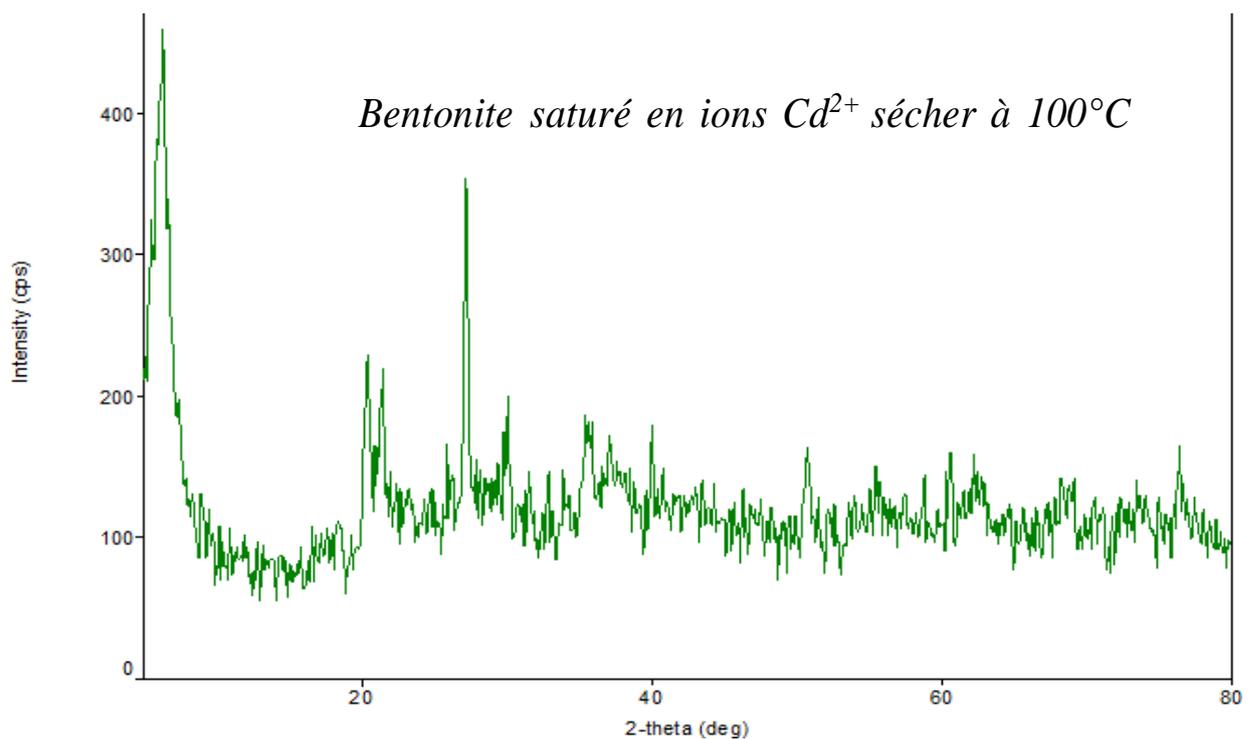
1032.94	1028.32	1031.46	Vibration de liaisons de valence Si-O
798.01	797.72	796.24	correspond au quartz
694.99			
521.19	516.59	521.98	Vibration de déformation des liaisons Si-O-Al
469.20	497.66 467.12	468.53	vibration de déformation de liaison Si-O-Mg

**III. Diffractogramme de rayons X de la bentonite saturée**

**III.1 Diffractogramme de rayon X de bentonite saturée en ions Cd<sup>2+</sup> séchée à différentes températures .**

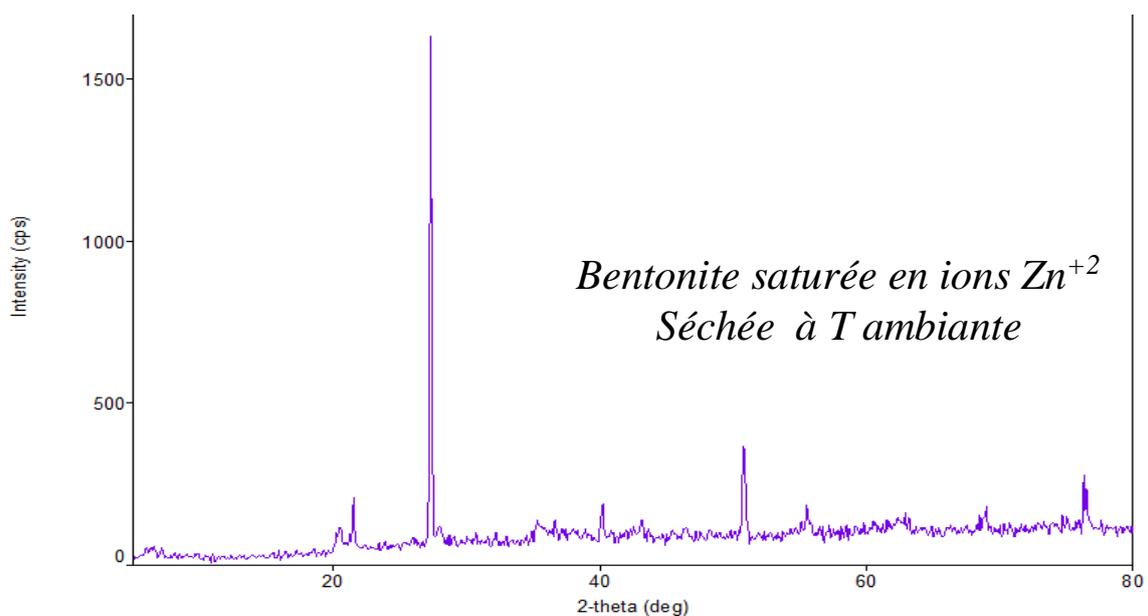


**Figure.N°11** : Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion cadmium séchée à T ambiante.

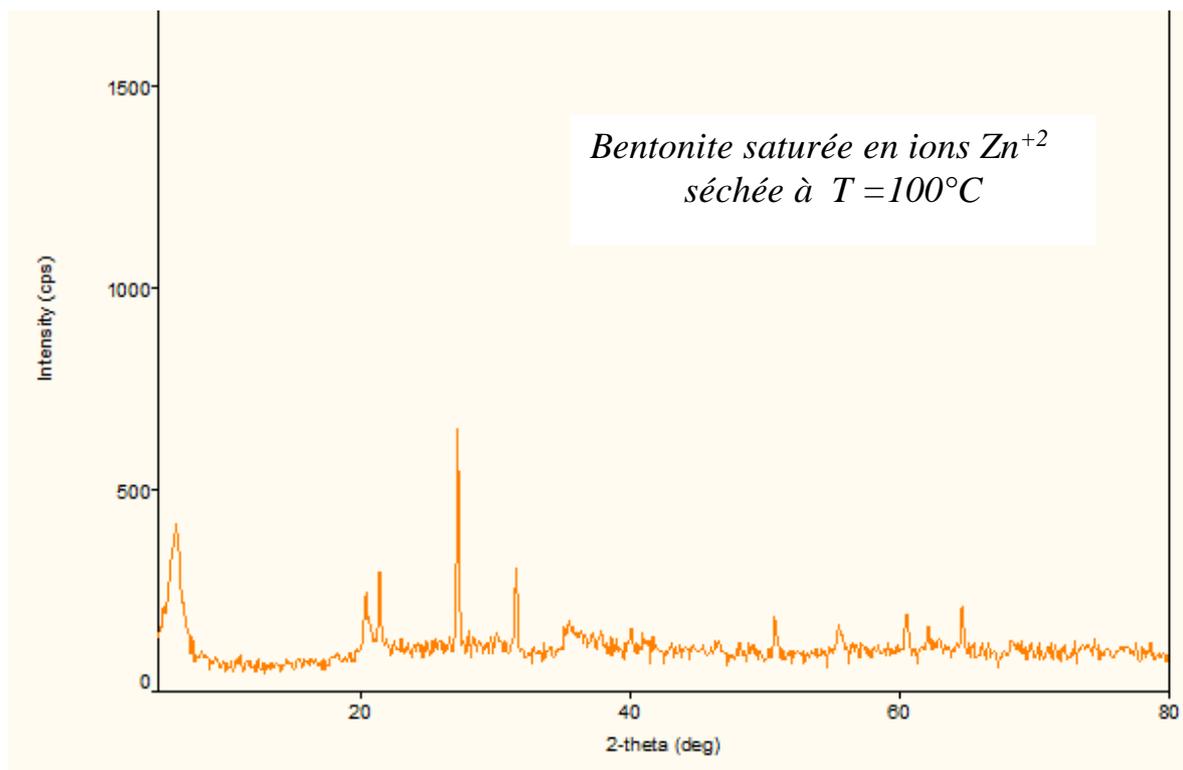


**Figure.N°12:** Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion cadmium séchée à  $T=100^{\circ}C$ .

**III.2 Diffractogramme de rayon X de bentonite saturée en ions  $Zn^{2+}$  séchée à différentes températures**



**Figure N° 13:** Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion zinc à  $T$  ambiante .



**Figure N° 14:** Diffractogramme des rayons X de la bentonite saturée en ion zinc à T = 100°C

**Tableau N° 09:** Les résultats des distances inter foliaires  $d_{001}$  (Å) des argiles utilisées.

Bentonite	Distance réticulaire $d_{001}$ (Å)
Naturelle	13.88
Saturée par le $Zn^{2+}$ Séchée à T ambiante	29.19
Saturée par le $Zn^{2+}$ Séchée à T=100° C	4.12
Saturée par le $Cd^{2+}$ Séchée à T ambiante	30.96
Saturée par le $Cd^{2+}$ Séchée à T=100° C	24.92

D'après les diffractogrammes et le tableau N°09, concernant la bentonite naturelle et saturée en ion cadmium et zinc. Nous remarquons une augmentation de la distance interfoliaire de la bentonite saturée en ion cadmium puisque la distance passe de 13.88 Å à 30.96 Å et 24.92 Å pour les bentonites saturées séchées respectivement à températures ambiante et séchée à 100°C, ce qui indique l'adsorption de l'ion cadmium au niveau de l'espace interfoliaire probablement par un mécanisme d'échange cationique avec les cations présents dans la bentonite naturelle à savoir le sodium et le calcium.

Alors que pour le zinc, nous constatons une augmentation semblable avec l'ion cadmium puisque la distance a augmenté de 13.88 Å jusqu'à 29.19 Å pour la bentonite séchée à température ambiante. Par contre pour la bentonite saturée en ion zinc et séchée à 100°C, nous avons obtenu une distance interfoliaire très faible de l'ordre de 4.12 Å, l'explication de cette diminution peut être due à l'intervention d'autres mécanismes.

### IV. La régénération de bentonite

Pour étudier le phénomène inverse de l'adsorption, nous avons mis en contact cinq grammes de bentonite en présence des solutions métalliques à savoir le cadmium et le zinc avec une concentration de 100 mg/L dans les mêmes conditions utilisées précédemment pendant 24 heures de contact métal-bentonite[8]. Après cette étape, nous avons procédé à la filtration des solutions, dans notre étude, nous avons récupéré notre support saturé du métal, les masses récupérées sont 4.3g et 4.52g respectivement pour le cadmium et le zinc.

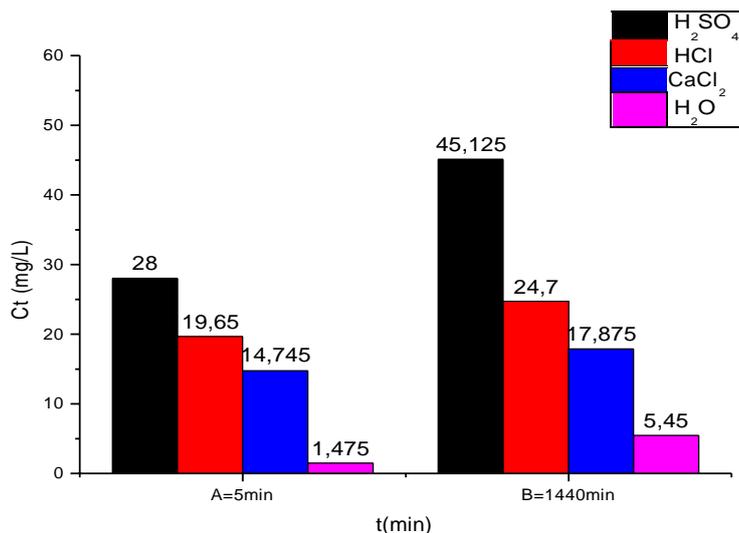
Pour étudier la régénération pour notre support saturé, nous avons choisi quatre (4) solutions à savoir H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.1N), HCl (0.1N), CaCl<sub>2</sub> (0.1N) et l'eau distillée.

Les régénérations sont étudiées pour une bentonite séchée à température ambiante et pour une bentonite séchée à l'étuve à une température de 100°C pendant 2 heures,

L'expérience consiste à mettre 0.5 gramme de bentonite saturée en présence de 150 mL des solutions éluant sous agitations moyenne.

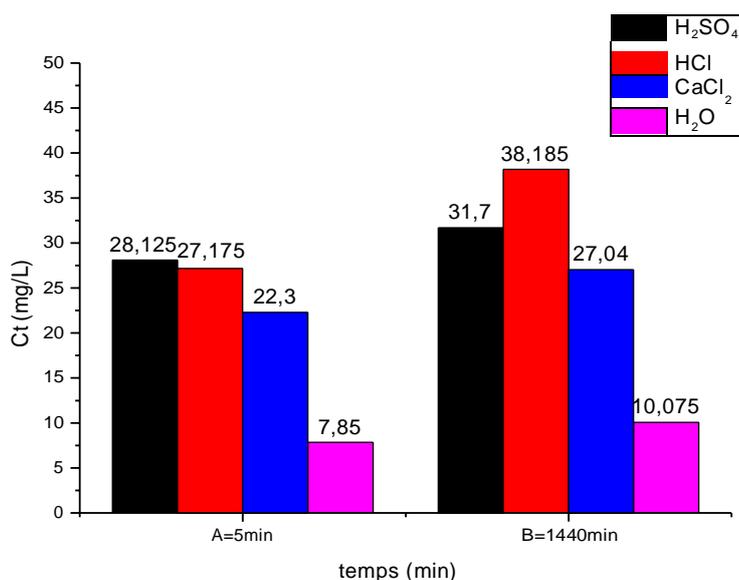
Les mesures de concentration des métaux dans les solutions éluant sont réalisées à 5 minutes et 24 heures et cela pour donner une lecture fiable dans un intervalle de temps bien déterminé.

## IV.1 -régénération de bentonite saturé en cadmium séchée à température ambiante



**Figure N°15:** la régénération de la bentonite saturée en cadmium séchée à température ambiante

## IV.2 Régénération de bentonite saturé en cadmium séchée à T=100°C



**Figure N° 16 :**La régénération de la bentonite saturée en cadmium séchée à 100°C.

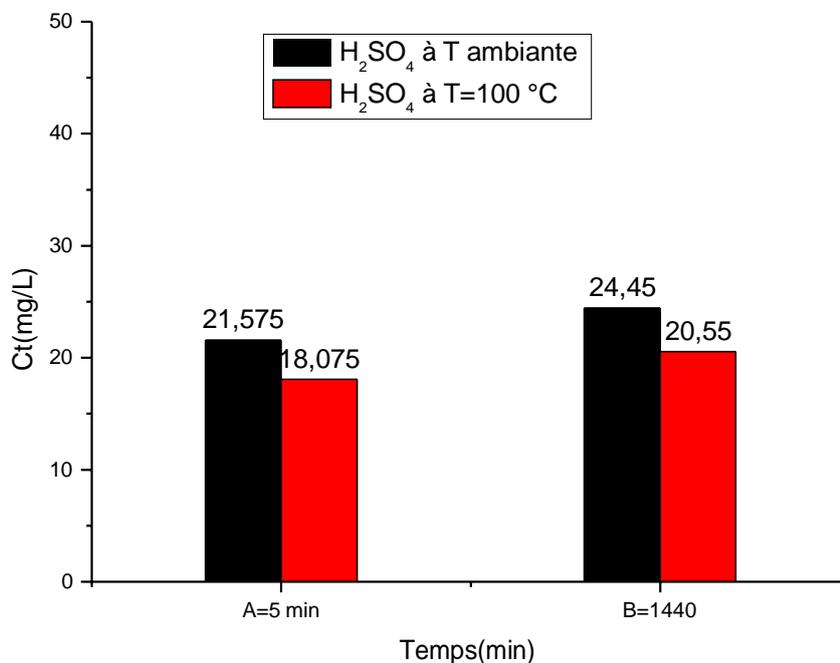
D'après les figures N°15 et N°16, on constate que toutes les solutions utilisées permettent de régénérée notre support, mais les solutions acides présentent une meilleure performance pour cette opération. De même, la régénération, elle est importante pour une durée de 24 heures de contact bentonite saturée en cadmium séchée à température ambiante avec la solution de l'acide sulfurique.

Dans notre cas, on peut dire que notre bentonite saturée en cadmium subir des échanges cationiques avec les solutions éluant. Cet échange est meilleure pour les acides en comparant avec le  $\text{CaCl}_2$  et cela se traduit par la mobilité des ions échangés à savoir les  $\text{H}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ , par contre pour l'eau distillée, nous avons obtenu des résultats faibles ce qui traduit par la présence de faibles quantités des ions  $\text{H}^+$ .

Pour l'effet de séchage de la bentonite, nous avons obtenus une augmentation pour toutes les solutions éluant sauf pour l'acide sulfurique ou constate une diminution (pour une durée de contact de 24 heures).

Dans le but d'améliorer nos résultats concernant la régénération de notre bentonite saturée en cadmium, nous avons utilisé une solution d'acide sulfurique concentrée (30 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentré + 120 mL d'eau distillée), dans les mêmes conditions opératoires citées précédemment, les résultats sont représentés dans la figure 17.

IV.3 Régénération de bentonite saturée en cadmium en présence de solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrée



**Figure N°17:** La régénération de la bentonite saturée en cadmium en présence de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.

D’après les résultats obtenus, on remarque que nous avons une diminution du cadmium régénéré, cela peut s’expliquer par d’autres phénomènes qui peuvent se produire à savoir la destruction de la structure cristalline de la bentonite.

IV.4 La régénération de la bentonite saturée en zinc séchée à 100°C.

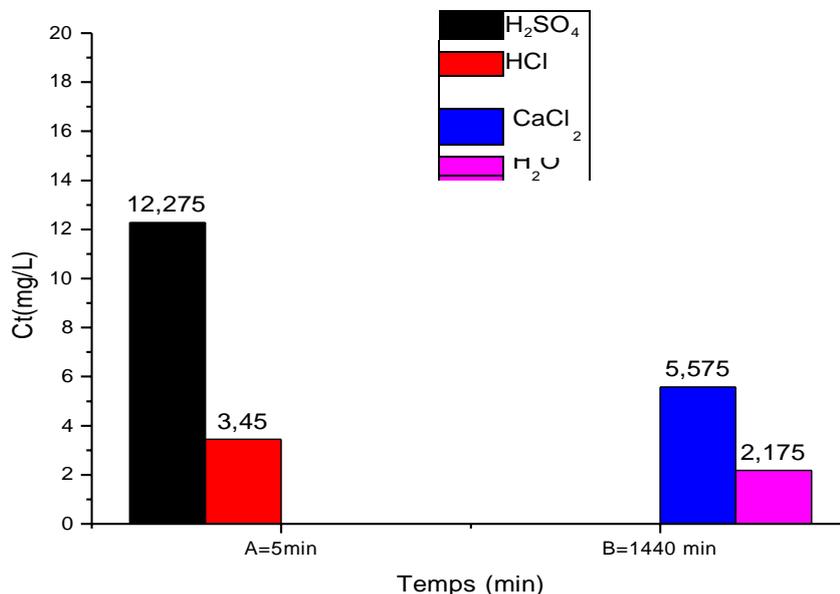


Figure N°18: La régénération de la bentonite saturée en zinc séchée à 100°C.

IV.5 La régénération de la bentonite saturée en zinc en présence de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré

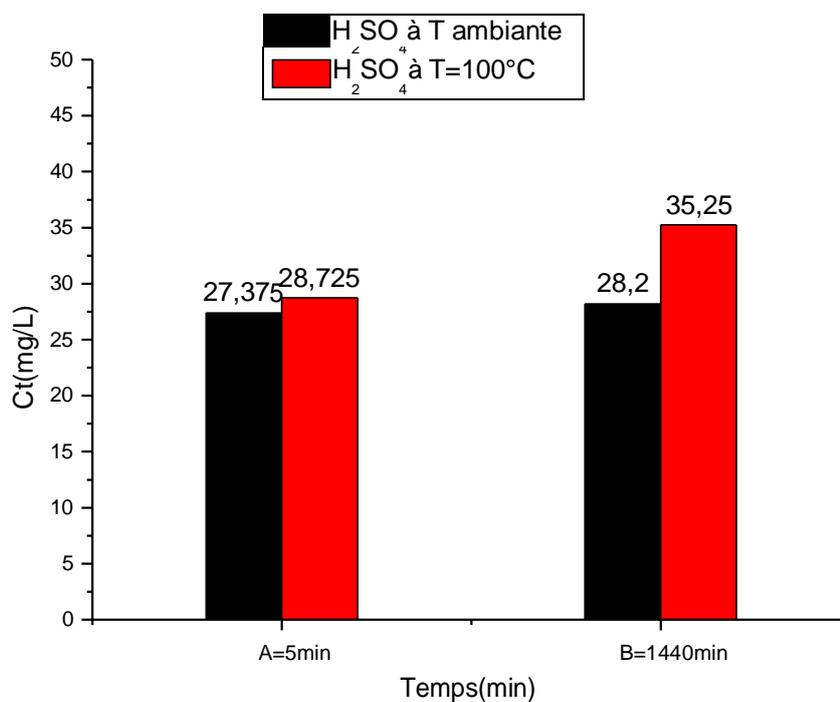


Figure N° 19: La régénération de la bentonite saturée en zinc en présence de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.

D'après la figure N°18, on constate que seulement la solution d'acide sulfurique qui peut régénérée le zinc avec régénération moyenne dès les premières minutes avec la bentonite séchée à 100°C à l'étuve pendant deux heures. Par contre la bentonite séchée à température ambiante, nous avons constaté l'absence de la régénération avec toutes les solutions utilisées.

Dans le cas d'utilisation de l'acide sulfurique concentré (la figure N °19), nous avons remarqué une augmentation considérable dans la régénération du zinc.

### References:

- [1] . Genoun N ,and Sadia G.(2017). Activation de la Bentonite de Maghnia pour usage pharmaceutique.
- [2] . El-Rahman KM Abd, El-Kamash AM, El-Sourougy MR Abdel-Moniem NM.(2006) .Thermodynamic modeling for the removal of Cs+, Sr 2+, Ca 2+ and Mg 2+ ions from aqueous waste solutions using zeolite A.
- [3] . Aksas, Hamouche(2013). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels.Université de Boumerdès-M'hamed Bougara.
- [4] . Kadouche, Slimane, Utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux.
- [5] . Meçabih Z, Kacimi S, Bouchikhi, B. (2006). (Adsorption des matières organiques des eaux usées urbaines sur la bentonite modifiée par Fe (III),Al (III) et Cu (II). Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science,. 19(1): p. 23-31.
- [6] . BENTONITE, A SODIQUE, (2016). Adsorption des ions Cu<sup>2+</sup> sur un charbon actif en poudre et une bentonite sodique. Larhyss Journal, 27: p. 39-61.
- [7] . Achour S ,Leila Y. (2003).Elimination du cadmium par adsorption sur bentonites sodique et calcique.
- [8] . Meziti, Chafika ,Abdelhamid B.(2011). Regeneration of a solid waste from an edible oil refinery. .

D'un point de vue général, ce sujet se situe à l'intersection de trois disciplines : Chimie des matériaux (l'utilisation d'une argile), génie des procédés (la mise en œuvre d'un procédé d'adsorption) et environnement (traitement des eaux métallifères).

Les résultats obtenus lors de cette étude à l'échelle laboratoire, confirment l'intérêt pratique et économique de l'utilisation de la bentonite dans le domaine de la dépollution des eaux contaminées par les métaux lourds.

La caractérisation physico-chimique de la bentonite naturelle a montré que notre matériau possède une surface spécifique de l'ordre de et une distance interfoliaire caractéristique des montmorionites.

Les cinétiques d'adsorption du cadmium et du zinc par la bentonite naturelle est influencée par les paramètres étudiés le pH de la solution et la vitesse d'agitation.

L'obtention de résultats encourageants sur bentonite saturée par le cadmium et le zinc en utilisant des solutions éluant.

# Perspective

---

*Projet de traitement d'eau polluée contient (métaux lourds ou colorants) par labentonite naturelle à l'échelle industrielle*

- *la disponibilité de matière première (argile de Maghnia avec un cout moins cher)*
- *L'effet d'agitation (forte agitation moyenne et sans agitation).*
- *Evolution du pH*
- *Effet de masse*
- *Effet de régénération*
- *Le cout très cher des seles et des procédures utilisées maintenant aux scènes de traitement des eaux*
- *Le gaspillage des engins électrique (équipements, énergies ..... Etc).*
- *Tous ses facteurs là nous encouragé a pensé et proposé une méthode (pilote)de traitement des eaux polluées soit avec des métaux lourds ou bien des colorants.*
- *Notre méthode utilise des moyennes naturelles avec un cout commercial moinscher.*

*Le protocole consiste à:*

- *Accumuler les eaux polluées avec des métaux lourd ou bien des colorants provenantde différent ateliers d'un usine industriel dans un retenu.*
- *Laisser les eaux polluées refroidir jusqu'au atteindre une température ambiante ( la température élevée gène l'adsorption ).*
- *Mesurer les différentes concentrations des espèces contient dans l'eau polluée(métaux lourds ou bien des colorants etc....).*
- *A l'aide d'un robinet menu par un débitmètre pour contrôler le débit d'eau renverser dans la cannelle (calcul de volume l'eau écouler dans la cannelle par unité de temps)*
- *On construire une cannelle avec le béton armée et la voyance pour éviter l'accumulation de bentonite.*
- *Des quantités d'argile est ramené de la région de Maghnia été subir l'opération de broyage et tamisage est disposer à côté de la cannelle.*

## Perspective

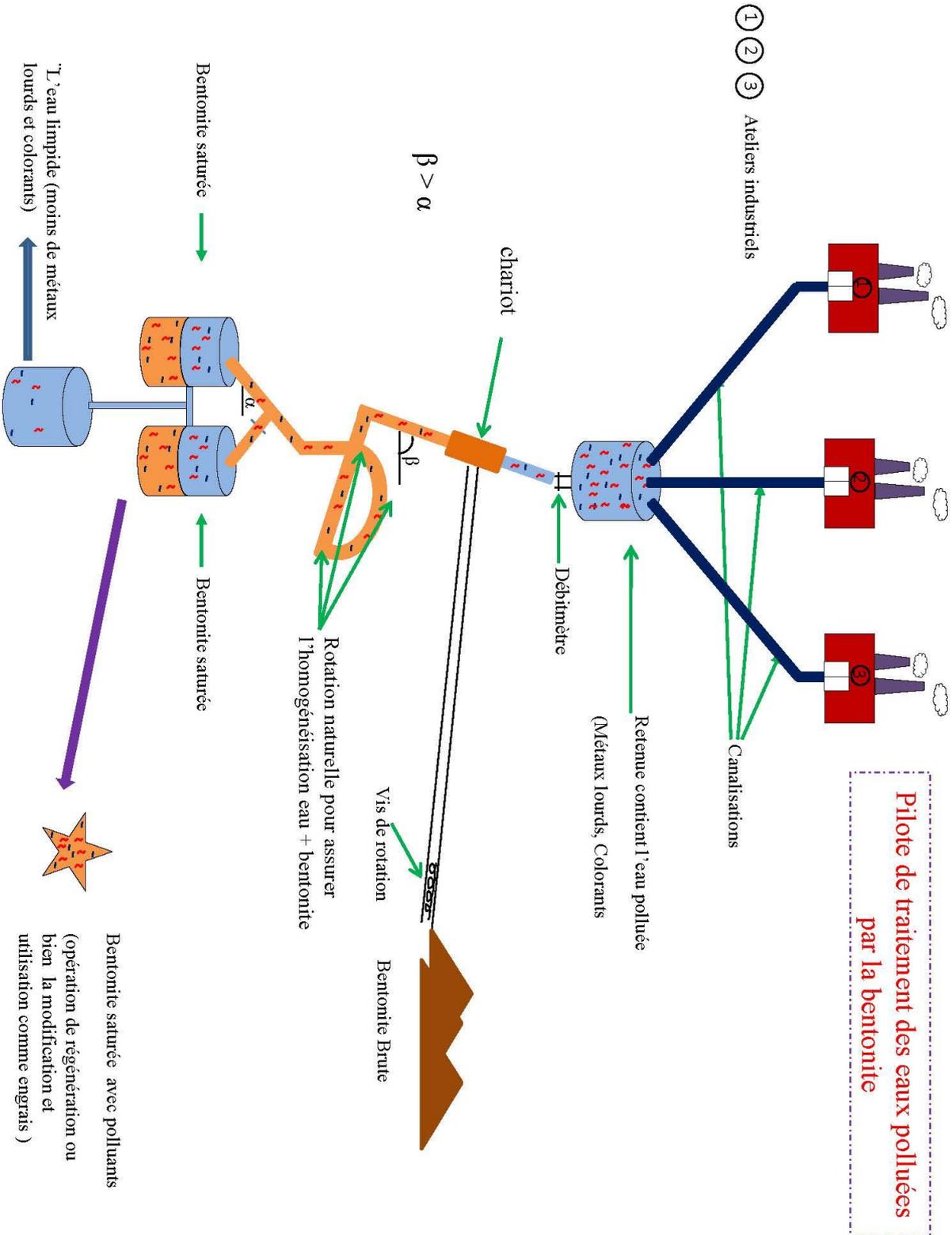
---

- Une vis de rotation verser d'adsorbant (bentonite) dans un chariot situe en dessus de la cannelure.
- Le chariot à mener d'une vis pour contrôler la quantité d'argile verser dans la cannelure
- On doit trouver une relation entre le volume d'eau polluée verser et la quantité d'argile (lamasse), jeter dans la cannelure (la synchronisation) on respectant la loi :

$$Q = \left( \frac{C_0 - C_t}{m} \right) \times V$$

- pour assurer le bon contact et bonne homogénéisation eau polluée et bentonite on doit créer deux divisions plus une demie cercle au long de la cannelure (combinaison entre écoulement laminaire et tourbillons).
- On doit respecter l'inclinaison alpha situe entre le robinet et le cercle de canalisation (assurer le domaine d'adsorption) en manière que alpha doit être supérieur de bêta (éviter l'adsorption).
- Après l'adsorption on doit rassembler (adsorbant – adsorbant dans le milieu aqueux) dans différents bassins.
- Laisser le mélange reposer (décantation naturelle).
- Après on récupère une eau limpide. On doit utiliser dans le domaine agricole ou bien on utilise une deuxième fois dans les ateliers).
- Le mélange adsorbant – adsorbant subit une régénération ou bien on ajoute des sels ou des bactéries pour l'utilisation au domaine agricole. ou bien l'extraction pour récupérer les métaux lourds ou bien les colorants.

# Perspective



# *Perspective*

---

الأعمال المنجزة في هذا البحث هو دراسة فعالية الصلصال الموجود في منطقة مغنية من اجل تنقية المياه الصناعية الملوثة بالمعادن الثقيلة و ونخص بالذكر معدن الزنك وكدا الكاديوم .  
يعتبر الطين كمادة طبيعية ذات أهمية خاصة في تثبيت المعادن الثقيلة الموجودة في المياه الملوثة .  
كما تطرقنا خلال بحثنا على الطرق المنتهجة في عملية إعادة الاستعمال للطين المشبع بالمعادن

الكلمات المفتاحية : التثبيت ، الطين الصلصال ، الكاديوم، الزنك .

## Abstract

the work carried out in this thesis aims to test the bentonite of Maghnia, in the context of removing heavy metals present in industrial waters. The metals studied are cadmium and zinc. Bentonite is considered a clay material that has a high capacity for adsorption of pollutants used. Also, our study is completed by a regeneration of our support by different solution in soft conditions in order to recover our material.

**Key words** : adsorption, clay, bentonite, cadmium, zinc

## Résumé

Les travaux réalisés dans cette mémoire ont pour but de tester la bentonite de Maghnia, dans le cadre d'éliminer des métaux lourds présents dans les eaux industrielles. Les métaux étudiés sont le cadmium et le zinc. La bentonite est considérée comme un matériau argileux qui présente une capacité élevée pour l'adsorption des polluants utilisés. De même, notre étude est complétée par une régénération de notre support par différentes solution dans des conditions douces dans le but de récupérer notre matériau.

Mots clés : adsorption, argile, bentonite, cadmium, zinc

