



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 de l'environnement

Par :

**M<sup>elle</sup> ADEIDA Lina**

**- PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE -**

Sur le thème

---

## **Elimination du cadmium en solution aqueuse par la marne argileuse**

---

Soutenu publiquement le 20 Février 2020 à Tlemcen devant le jury composé de :

<b>Mme MOKHTARI Malika</b>	Professeur	Université de Tlemcen	Présidente
<b>Mr BENGUELLA Belkacem</b>	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrant
<b>Mme MERGHACHE Salima</b>	Professeur	Université de Tlemcen	Examinatrice

*Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement (LCIE)  
BP 119, 13000 Tlemcen - Algérie*

# Remerciements

*On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer ce mémoire.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr BENGUELLA Belkacem, je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.*

*Je suis consciente de l'honneur que m'a fait Mme MOKHTARI Malika en étant présidente du jury ainsi que Mme MERGHACHE Salima membre du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles et de m'avoir si bien accueillie au sein de leur université*

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents qui sont mes piliers Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler, ils ont tout fait pour moi j'espère juste les avoir rendus fiers. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*Ma petite sœur Amel (moumoul) qui m'a supportée tout le temps dans mes bons comme dans mes mauvais moments pour son soutien incroyable.*

*Mes sœurs Sara, Fasmine pour leurs encouragements quotidiens et surtout leur amour.*

*A toute ma famille, ma tante Rachida, ma Sabouha, Souheir  
A tous mes amis qui m'apporte tant de bons moments et de bonne humeur  
Et surtout mon binôme de tous les jours sans qui la vie aurait eu un goût moins sucrée avec qui tous mauvais moments se transforment en un fou rire interminable Phahrazed(Édzoudette)*

# Sommaire

<b>Liste des Tableaux</b>	
<b>Liste des Figures</b>	
<b>Remerciements et Dédicaces</b>	
<b>Introduction générale</b>	
	<b>[01]</b>
<b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>Partie I : METAUX LOURDS</b> .....	
	[03]
I.1 Définition .....	[03]
I.2 Classification des Métaux lourds.....	[03]
I.3 Toxicité.....	[04]
I.4 Impacte sur la santé humaine .....	[04]
I.5 Impacte sur l'environnement.....	[05]
I.6 La pollution de l'eau par les métaux lourds .....	[05]
<b>Partie II : Etudes particulières sur les métaux lourds étudiés</b> .....	
	[06]
II.1	[06]
Cadmium.....	
II.1.1 Définition.....	[06]
II.1.2 Propriété du cadmium.....	[06]
II.1.3 Toxicité .....	[06]
<b>Partie III : Argile</b> .....	
	[08]
III.1 Généralités.....	[08]
III.2 Classification et types d'argiles.....	[08]
III.3 Propriétés des argiles.....	[09]
III.4 Utilisation des argiles.....	[10]
III.4.1 Exemples d'utilisation.....	[10]
III.5 La Marne.....	[10]
III.5.1 Structure de la marne.....	[11]
<b>Partie IV : Adsorption</b> .....	
	[12]
IV.1 Généralités.....	[12]
IV.2 Types d'adsorption.....	[12]
IV.2.1 L'adsorption physique.....	[12]
IV.2.2 L'adsorption physique.....	[12]
IV.3 Mécanisme d'adsorption.....	[13]
IV.4 Cinétique d'adsorption.....	[13]
IV.5 Thermodynamique d'adsorption .....	[14]
IV.6 Isothermes d'adsorption.....	[15]
IV.6.1 Isotherme de Langmuir.....	[15]
IV.6.2 Isotherme de Freundlich.....	[15]
<b>CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE</b>	
II.1 Introduction.....	[16]
II.2 Spectrométrie d'adsorption atomique.....	[16]
II.3 Adsorbant utilisé.....	[17]
II.4 Métal utilisé.....	[17]
II.5 Technique d'analyse.....	[17]
II.5.1 Préparation de la solution métallique.....	[17]
II.5.2 Cinétique d'adsorption.....	[17]

II.5.3 Effet du pH sur l'adsorption.....	[18]
II.5.4 Effet de la concentration initiale de la solution .....	[18]
<b><u>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</u></b>	
III.1 Cinétique d'adsorption du cadmium.....	[19]
III.2 Détermination des constantes de vitesses .....	[20]
III.3 Effet du pH initial de la solution métallique .....	[22]
III.4 Effet de la concentration initiale de la solution .....	[24]
<b>Conclusion</b>	<b>[26]</b>
<b>Références</b>	<b>[27]</b>

# Liste des tableaux

Chapitre I		
<b>Tableau I.01</b>	Classification périodique des éléments	03
<b>Tableau I.02</b>	Principales caractéristiques physiques et mécaniques du cadmium	06
<b>Tableau III.01</b>	Les paramètres cinétiques calculés par les différents modèles	22
<b>Tableau III.02</b>	comparaison des quantités fixées du métal à l'équilibre sur la marne entre l'expérience et les modèles étudiés	22
<b>Tableau III.03</b>	Résultats de la quantité du cadmium adsorbé à l'équilibre en fonction du pH	23
<b>Tableau III.04</b>	Résultats de la quantité du cadmium adsorbée à l'équilibre en fonction de la concentration initiale	24

# Liste des Figures

N° Figure	Désignations	N° page
Chapitre I		
<b>Figure I.01</b>	Observation au microscope électronique à balayage de l'argile marneuse (x80)	11
<b>Figure I.02</b>	mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain	13
<b>Figure III.01</b>	Cinétique d'adsorption du cadmium sur la marne	19
<b>Figure III.02</b>	Détermination de la constante de vitesse d'adsorption du cadmium sur la marne selon le modèle du premier ordre	20
<b>Figure III.03</b>	Détermination de la constante de vitesse d'adsorption du cadmium sur la marne selon le modèle du pseudo 2 <sup>ème</sup> ordre	21
<b>Figure III.04</b>	Détermination de la constante de vitesse d'adsorption du cadmium sur la marne selon le modèle du second ordre	21
<b>Figure III.05</b>	Effet de la quantité du cadmium fixé à l'équilibre en fonction du pH de la solution métallique.	23
<b>Figure III.06</b>	Effet de la quantité du cadmium fixée à l'équilibre en fonction de la concentration initiale de la solution métallique.	25

# Introduction générale



L'eau naturelle est un composé chimique qui joue un rôle exceptionnel à la surface du globe. Elle intervient dans tous les phénomènes physiques et biologiques. Notre sphère sans eau ne serait qu'une planète morte, c'est ce que rappelle le premier principe de la Charte Européenne de l'Eau : « Il n'y a pas de vie sans Eau. L'Eau est un bien précieux indispensable à toute les activités humaines ».

Or l'Homme par ses activités contribue à sa dégradation et limite son utilisation pour les générations futures. La pollution affecte les sources d'eau de surface comme les lacs, les rivières et les eaux souterraines, ainsi que les eaux maritimes côtières. La pollution est causée par 2 facteurs : la croissance démographique et l'industrialisation

L'activité industrielle en matière d'extraction ou élaboration de métaux génère des effluents aqueux chargés en éléments métalliques toxiques à des concentrations variables, et rejetés quelquefois sans traitement dans le milieu récepteur.

Ainsi, la pollution des eaux par les métaux lourds suscite actuellement une grande inquiétude quant à la qualité de l'eau et de l'environnement. Ce fait conduit à recourir à des critères plus adaptés pour la protection des populations exposées à une contamination par ces espèces métalliques, donc il est important de rechercher des moyens d'épuration efficaces des eaux usées industrielles avant leur rejet dans le milieu naturel.

De nombreuses méthodes et techniques de dépollution sont développées au cours de ces dernières années. Parmi ces techniques, il y a lieu de citer les procédés de précipitation chimique, la floculation, l'échange d'ions, l'électrolyse, les procédés membranaires.

Le traitement par la technique d'adsorption est le plus utilisé pour son efficacité dans l'abattement des micropolluants, en mettant en jeu des interactions solide liquide.

Les recherches se sont alors orientées vers les procédés de traitement utilisant les matériaux naturels tels que les argiles en raison de leur disponibilité et de leurs faibles coûts.

Dans le but d'une étude, nous avons procédé à l'élimination du cadmium par la marne argileuse.

Le présent manuscrit se compose de 3 chapitres :

## INTRODUCTION GENERALE

---

- Le premier chapitre englobe une étude bibliographique sur les métaux lourds, les argiles et le processus d'adsorption.
- Le deuxième chapitre est consacré à une étude expérimentale qui décrit les matériaux utilisés ainsi que les méthodes opératoires.
- Le troisième chapitre est réservé à l'interprétation des différents résultats obtenus.

Et pour clôturer notre travail une conclusion générale.

# Chapitre I: Etude Bibliographique



## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### Partie I : Métaux lourds

#### I.1 Définition :

Les éléments traces métalliques (ÉTM) sont définis comme les éléments ayant une masse supérieure à 5g/cm<sup>3</sup>. Ils sont dans les roches, les sols ou les sédiments marins. Leurs concentrations varient de sources anthropiques ou naturelles[1].

Les éléments métalliques sont sous différentes formes toujours présents au sein de l'environnement[2]. A l'état de trace, ils sont nécessaires voire indispensables aux êtres vivants. A concentration élevée en revanche ils présentent une toxicité plus ou moins forte[3].

#### I.2 Classification des métaux lourds :

**Tableau I.1** : Classification périodique des éléments [4].

Bloc s																		Bloc p															
H		<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: 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	Bloc d																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	Bloc f																														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																	
Actinides			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr																	

Une nouvelle classification des éléments est proposée par Nieboer et Richardson, basée sur des propriétés de complexation. Ils distinguent trois classes d'éléments :

Classe A : regroupe des éléments qui ont une affinité pour des ligands contenant des atomes d'oxygène.

Classe B : regroupe des éléments qui ont une affinité pour des ligands contenant des atomes d'azote et du soufre

Classe C (intermédiaire) : regroupe des éléments ayant une affinité à la fois pour l'oxygène, l'azote et le soufre.

Les métaux les plus souvent impliqués dans la pollution, appartiennent à la classe B et intermédiaire[4] .

### **I.3 Toxicité :**

Les métaux lourds sont considérés comme des polluants bio-accumulables d'origine naturelle ou anthropique[5] et il est important de préciser que la forme chimique de ces derniers influence fortement leur toxicité [6] .

Les métaux lourds présents dans les micro-organismes, les algues, les végétaux, les poissons et les autres animaux sont ingérés et s'accumulent dans l'organisme des animaux puis chez l'être humain à chaque étape de la chaîne alimentaire. En bout de chaîne, certains métaux, notamment le plomb et surtout le mercure sous forme méthylé, se retrouvent en quantité concentrée dans l'organisme du consommateur final. Les effets toxiques ne se manifestent qu'au-delà de certaines doses à risques[7] .

### **I.4 Impact sur la santé humaine :**

Les métaux lourds peuvent pénétrer dans l'organisme par ingestion (via la chaîne alimentaire notamment) mais également par inhalation[7].

Notre corps est intelligent tant qu'il est possible d'assumer cette intoxication, le corps va gérer ces corps étrangers comme il le peut. Au delà d'un seuil qui est propre à chacun, le corps ne sera plus en mesure de gérer, c'est à ce moment là que les différents symptômes vont se manifester.

Quelques symptômes qu'il est possible de rencontrer lors d'une intoxication aux métaux lourds [8]:

- Céphalée, maux de tête,
- Douleurs des doigts ou des pieds, douleurs articulaires, spasmes ou crampes
- Fatigue physique et chronique,

- Difficulté de respiration,
- Troubles psychiques : angoisse, irritabilité, accès de colère, dépression, nervosité, difficulté à décider, instabilité émotionnelle,
- Difficulté à s'endormir ou hypersomnie,
- Allergie,
- Chute de cheveux,
- Eczéma,
- Infection à répétition, mycoses, herpès, candidoses chroniques,
- Douleurs au niveau des dents et des gencives,
- Trouble de la sensibilité
- Hyper / hypothyroïdie,
- Troubles cardiaques,
- Diabète,
- Affaiblissement du système immunitaire,

### **I.5 Impact sur l'environnement :**

Les métaux lourds peuvent avoir de nombreuses conséquences négatives sur l'environnement s'ils sont mal utilisés. Si les métaux lourds ne sont pas absorbés par les sols, ils peuvent se retrouver dans des nappes phréatiques, dans des cours d'eau, et alors, ils peuvent contaminer de nombreuses plantes. Lorsque la contamination d'une plante est trop grande, elle nuit non seulement aux propriétés alimentaires, mais aussi à la production de la plante. Puis, ces contaminations mènent finalement à l'intoxication des animaux ou des humains [9].

La contamination de l'environnement aquatique par des métaux de provenance, peut avoir des effets délétères, c'est-à-dire des effets toxiques aigus ou chroniques, sur la vie aquatique à l'intérieur de la zone concernée. La plupart des données publiées qui concernent les effets des métaux sur les organismes aquatiques indiquent cependant que ces effets nocifs se produisent à des concentrations supérieures à celles que l'on trouve généralement dans l'environnement[10].

### **I.6 La pollution de l'eau par les métaux lourds :**

Tous les métaux lourds sont potentiellement nocifs pour la plupart des organismes à un certain niveau d'exposition et d'absorption. Dans certaines conditions environnementales, les métaux lourds peuvent s'accumuler à une concentration toxique, et causer des dommages écologiques. La forte accumulation de métaux lourds dans l'eau, les sédiments et les autres organismes, dépend principalement de la pollution industrielle mais certains cas de cette "pollution" élémentaire sont d'origine naturelle [11]

## Partie II : Etudes particulières sur les métaux lourds étudiés

### II.1 Cadmium :

#### II.1.1 Définition :

Le cadmium est un métal blanc argent, légèrement bleuté. Il est très malléable et ductile, et c'est un métal relativement rare [12]. Dans la nature, le cadmium se trouve principalement sous forme de composés dans de rares minerais, tels que la greenockite et l'otavite. L'exploitation de ces minerais ne constitue pas une source économique importante [13].

Ce métal se trouve sous forme d'impureté dans les dépôts de Zinc ou de plomb, étant donc produit principalement comme sous-produit de la fusion du Zn ou du Pb. Commercialement, le cadmium est utilisé dans les écrans de télévision, les lasers, les piles, les pigments de peinture, les cosmétiques et dans la galvanisation de l'acier, comme barrière de fission nucléaire, et il a été utilisé avec du zinc pour souder des joints d'étanchéité dans des tuyaux d'eau en plomb avant les années 1960 [14].

#### II.1.2 Propriété du cadmium :

**Tableau I.2 : Principales caractéristiques physiques et mécaniques du cadmium[15] :**

Caractère	Valeurs
<b>Symbole chimique</b>	Cd
<b>Nombre atomique</b>	48
<b>Masse atomique g/mol</b>	112,411
<b>Masse volumique g/cm<sup>3</sup></b>	8,650
<b>Point de fusion °C</b>	321,07
<b>Point d'ébullition °C</b>	767

#### II.1.3 Toxicité :

Le cadmium attire l'attention des écologistes comme l'un des métaux lourds les plus toxiques. Les principales sources de rejets de cadmium dans l'environnement par les flux de

déchets sont l'électrodéposition, la fusion, la fabrication d'alliages, les pigments, le plastique, les piles, l'exploitation minière et les procédés de reconditionnement. Le cadmium a été reconnu pour son effet négatif sur l'environnement où il s'accumule facilement dans les systèmes vivants. Les effets nocifs du cadmium sur la santé sont bien documentés et il a été signalé qu'il cause des perturbations rénales, de l'insuffisance pulmonaire, des lésions osseuses, un cancer et de l'hypertension chez l'homme[16].

Il provoque aussi des lésions tissulaires en créant un stress oxydatif, des changements épigénétiques dans l'expression de l'ADN, l'inhibition ou la régulation ascendante des voies de transport[14].

## Partie III : Argile

### III.1 Généralités :

Le terme « argile » désigne un matériau naturel composé principalement de minéraux à grains fins dont le diamètre des grains est inférieur à deux micromètres ( $< 2\mu\text{m}$ ), qui est généralement en plastique à un contenu d'eau approprié et qui durcira lorsqu'il sera séché ou cuit. Même si l'argile contient habituellement des phyllosilicates, elle peut contenir d'autres matériaux qui donnent de la plasticité et durcissent lorsqu'elle est séchée ou cuite [17]. En raison de leurs propriétés physiques. Ils présentent des propriétés de gonflement uniques offrant une capacité importante d'adsorber l'eau.

Ils sont utilisés pour contenir, stocker et éliminer les produits chimiques dangereux. Ils adsorbent polluants toxiques comme les métaux lourds, les polluants organiques aromatiques, les biocides et les colorants des eaux usées et sont appliqués pour l'assainissement des sols. Les minéraux argileux sont appliqués comme charges pour la fabrication de papier, de peintures, de teintures l'industrie céramique. Ils constituent également un ingrédient clé dans le forage des fluides dans les applications pétrolières et gazières[18].

### III.2 Classification et types d'argiles :

Les travaux de l'A.I.P.E.A. (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles) et plus tard, ceux de Pedro (1994), ont permis d'aboutir à une classification qui repose sur l'utilisation des critères suivants[19]:

- Type de feuillets 2/1 ou 1/1;
- Charge globale du feuillet;
- Nature des cations interfoliaires.

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet. On distingue ainsi 4 groupes:

- Minéraux à 7 Å : Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O ou de type 1/1. Son épaisseur est d'environ 7 Å [19].

a) groupe Kaolinite (1/1,  $d=7\text{\AA}$ ) : Pas de substitution dans les couches. Le feuillet est neutre. La kaolinite se forme dans les sols bien drainés, par pH acide, surtout en climat subtropical et tropical. Ses cristaux sont souvent grand (jusqu'à  $15\ \mu\text{m}$ ) [20].

- Minéraux à  $10\ \text{\AA}$  : Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T/O/T ou de type 2/1. Son épaisseur est d'environ  $10\ \text{\AA}$  [19].

b) groupe des Illites (2/1,  $d=10\text{\AA}$ ) : ont une formule générale  $(\text{K,H})\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})^{-2x}\text{H}_2\text{O}$ , où x représente une quantité variable d'eau. La structure de ce groupe est similaire à celle du groupe montmorillonite avec une structure de type sandwich [21].

- Minéraux à  $14\ \text{\AA}$  : Le feuillet est constitué de l'alternance de feuillets T/O/T et de couches octaédriques interfoliaires [19].

c) groupe des Smectites (2/1,  $d=14\ \text{\AA}$ ) : L'empilement des feuillets est désordonné; comprend le talc, la vermiculite, la montmorillonite et d'autres. La formule générale est  $(\text{Ca,Na,H})(\text{Al,Mg,Fe,Zn})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})^{-2x}\text{H}_2\text{O}$ , où x représente une quantité variable d'eau. Ces minéraux ont tous la structure sandwich avec des couches de silicate tétraédrique fortement liées aux atomes d'aluminium octaédrique ou de magnésium [22].

d) Minéraux interstratifiés : L'épaisseur du feuillet est variable. Ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argiles [19].

### III.3 Propriétés des argiles :

Les minéraux argileux sont capables d'adsorber certains cations et anions et de les retenir autour de l'extérieur de l'unité structurale à l'état échangeable, généralement sans affecter la structure de silicate de base. Ces ions adsorbés sont facilement échangés par d'autres ions. La réaction d'échange diffère de la simple sorption dans les espaces interfoliaires [23].

Concernant la rétention d'eau la même zone qui contient les cations, les sels et les molécules polaires faiblement liés peut également retenir de grandes quantités d'eau. Certaines argiles peuvent doubler leur volume en augmentant l'eau entre les couches sandwich [21].

### III.4 Utilisation des argiles :

L'exploitation des minéraux remonte à plusieurs milliers d'années. Les argiles sont utilisées pour fabriquer les briques depuis au moins 5000 ans et sont toujours utilisées actuellement, même si les techniques de production ont changé [24].

L'argile, présente dans : la construction, la pétrochimie, l'alimentation, le plastique, dans le milieu de la santé, ... [25].

#### III.4.1 Exemples d'utilisation :

**En cosmétique :** grâce à ces propriétés : Purifiante, Adoucissante, Réparatrice, Antiseptique, Détoxifiante, Absorbante [26].

**En médecine :** l'argile a un effet purifiant et drainant pour l'organisme qui en consomme. Elle joue un rôle de catalyseur, agissant sur les organes défaillants pour rétablir leurs fonctions, réglant notamment les problèmes de peau. Les oligo-éléments combler les carences et enrichissent le sang en cas d'anémie [25].

#### **En construction :**

- En ossature bois, pour remplir les cloisons intérieures afin d'apporter de l'inertie thermique à la maison (adobe simple)
- Pour participer à l'isolation lorsque l'on ajoute un isolant au mélange (adobe allégé) [27].

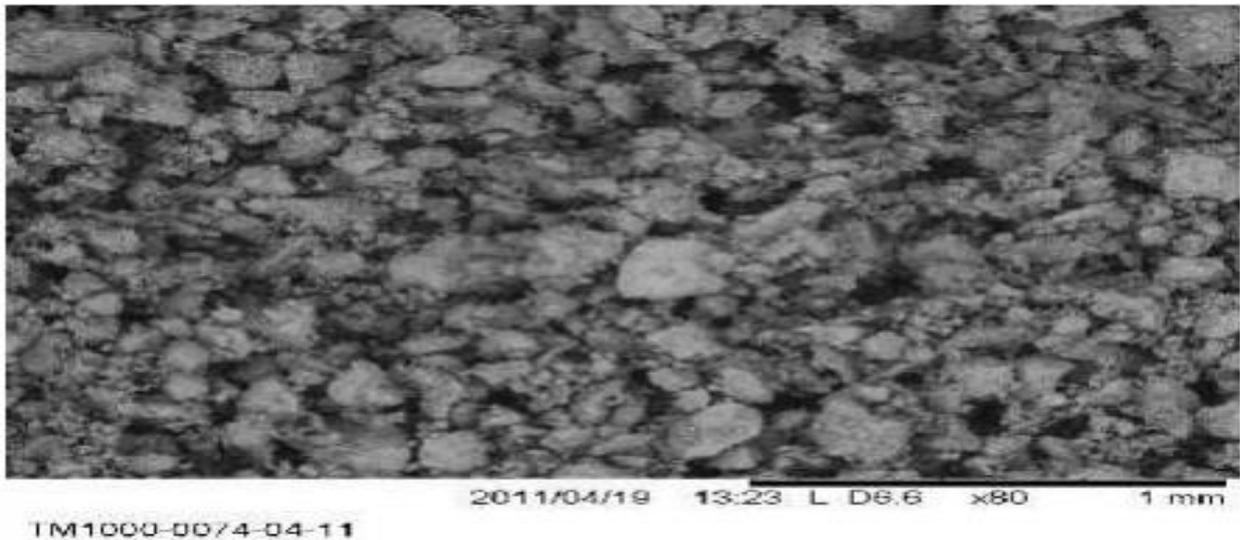
**En alimentation :** En plus des bienfaits pour votre santé que nous venons de vous présenter, l'argile verte est également bénéfique pour maigrir [28].

### III.5 La marne :

Les marnes sont des roches sédimentaires formées par un mélange de carbonates et de minéraux argileux [29]. C'est une roche carbonatée contenant de 30 à 70% d'argile. Ainsi, elle tient de la fraction carbonatée une structure plus au moins résistante et de la fraction argileuse une possibilité d'évolution par destruction de la structure par suite de l'action de l'eau sur l'argile, conduisant à un matériau plastique [30].

**III.5.1 Structure de la marne :**

La marne naturelle est une argile de type montmorillonite. Le feuillet élémentaire de la montmorillonite est formée par une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques (T-O-T). Les ions  $\text{Si}^{4+}$  sont situés à l'intérieur d'un tétraèdre dont les sommets sont occupés par quatre atomes d'oxygènes. Les ions  $\text{Al}^{3+}$  sont situés à l'intérieur d'un octaèdre dont les sommets sont occupés par les quatre atomes d'oxygènes et deux ions hydroxyles. Les feuillets élémentaires sont de type 2/1 séparés par des molécules d'eau et des cations échangeables. Le contact se fait entre un plan contenant les ions hydroxyles  $\text{OH}^-$  de l'octaèdre, et celui contenant les ions d'oxygènes  $\text{O}^{2-}$  du tétraèdre ce qui se traduit par les liaisons fortes qui empêchent l'hydratation entre les couches[31].



**Fig. I.1 : Observation au microscope électronique à balayage de l'argile marneuse (x80)[32].**

## **Partie IV : Adsorption**

### **IV.1 Généralités :**

L'adsorption est un phénomène de nature physique ou chimique qui se produit à l'interface soluté/solide par lequel des molécules présentes dans les effluents liquides ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide [33].

Le processus d'adsorption offre plusieurs avantages par rapport à d'autres techniques répertoriées telles que [34] :

- faibles coûts d'investissement et d'exploitation
- facilité d'exploitation
- application potentielle de divers milieux solides naturellement disponibles pour l'adsorption.
- simple conception
- une grande efficacité pour éliminer les substances dangereuses, même à faibles concentrations.

### **IV.2 Types d'adsorption :**

#### **IV.2.1 L'adsorption physique :**

La physisorption, des molécules implique des forces intermoléculaires relativement faibles. Ces forces comprennent la dispersion, les interactions dipolaires ou Van der Waal entre la surface adsorbante et les molécules adsorbées [35]. L'adsorption physique peut se produire sur n'importe quelle surface solide. Puisque la physisorption est causée par des forces intermoléculaires, la force de liaison est faible caractérisée par une chaleur d'adsorption faible, et la vitesse d'adsorption et de désorption est rapide [36].

#### **IV.2.2 L'adsorption chimique :**

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. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une enthalpie de transformation élevée [37]. Elle conduit à la rupture de liaisons

chimiques. L'énergie mise en jeu au cours d'un processus de chimisorption est plus conséquente que celle mise en jeu au cours d'un processus de physisorption, elle peut conduire à une purification extrêmement poussée des fluides traités [38].

### IV.3 Mécanisme d'adsorption :

Ce processus se déroule en trois étapes[39] :

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

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

Diffusion de surface: elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores.

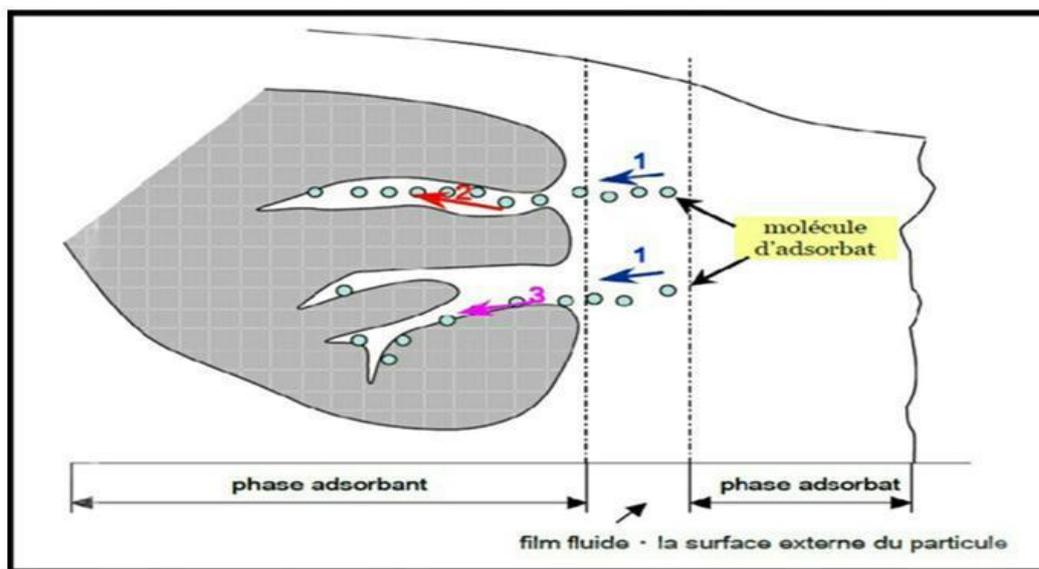


Fig. I.2 : mécanisme de transport de l'adsorbant au sein d'un grain

### IV.4 Cinétique de l'adsorption :

L'ordre de la réaction est un paramètre très important dans la détermination des mécanismes réactionnels. Les ordres concernant l'adsorption sur les biomasses les plus cités dans la littérature sont[40] :

- Le pseudo-premier ordre exprimé par l'équation de Lagergren :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad \text{Eq.I.1}$$

- Après intégration entre  $t = 0$  et  $t$ , d'une part, et  $q_t = 0$ , l'équation devient :

$$\frac{\log(q_e - q_t)}{\log(q_e)} = -\frac{k_1}{2.303} t \quad \text{Eq.I.2}$$

- Le pseudo-second ordre exprimé par l'équation:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad \text{Eq.I.3}$$

- Après intégration entre  $t = 0$  et  $t$ , d'une part, et  $q_t = 0$  et  $q_t$ , on obtient la forme linéaire

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Eq.I.4}$$

- Le second ordre exprimé par l'équation :

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + Kt \quad \text{Eq.I.5}$$

- Les constantes peuvent être déterminées en traçant la droite  $\frac{1}{q_t}$  vs  $t$ .
- Avec  $q_t$  et  $q_e$  : les quantités adsorbées aux temps  $t$  et à l'équilibre et  $k_1, k_2, k$ : Constantes de vitesse du processus d'adsorption de pseudo-premier ordre, pseudo-second ordre et second ordre.

#### IV.5 Thermodynamique d'adsorption :

Les paramètres thermodynamiques tels que l'enthalpie libre standard  $\Delta G^\circ$ , l'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  et l'entropie standard  $\Delta S^\circ$  sont déterminés en utilisant les équations suivantes[41] :

$$k_d = \frac{q_e}{c_e} \quad \text{Eq.I.6}$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln k_d \quad \text{Eq.I.7}$$

$$\ln k_d = \left( \frac{\Delta S^\circ}{R} \right) - \left( \frac{\Delta H^\circ}{R} \right) - \frac{1}{T} \quad \text{Eq.I.8}$$

$k_d$ : Constante de distribution ;  $q_e$ : Capacité d'adsorption à l'équilibre ( $\text{mg.g}^{-1}$ );  $C_e$  : Concentration à l'équilibre du soluté en solution ( $\text{mg/L}$ ) ;  $R$  : Constante des gaz parfaits ( $\text{J.mol}^{-1} .\text{K}^{-1}$ ) and  $T$  : Température absolue (K).

#### IV.6 Isothermes d'adsorption :

L'équilibre d'adsorption est analysé par application du modèle de Langmuir et celui de Freundlich qui sont couramment utilisés par les chercheurs pour l'étude des isothermes d'adsorption des systèmes adsorbant/adsorbât[42].

##### IV.6.1 Isotherme d'adsorption de Langmuir :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_l \cdot Q_{\max}} + \frac{C_e}{Q_{\max}} \quad \text{Eq.I.9}$$

$C_e$  : La concentration d'équilibre (en  $\text{mg.L}^{-1}$ )

$q_e$  : La quantité adsorbée à l'équilibre ( $\text{mg.g}^{-1}$ )

$K_l$ : La constante d'équilibre relative au modèle de Langmuir

$Q_{\max}$  : La quantité maximale adsorbée ( $\text{mg.g}^{-1}$ )

##### IV.6.2 Isotherme d'adsorption de Freundlich :

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{\ln C_e}{n} \quad \text{Eq.I.9}$$

$K_F$ : Constante de la capacité d'adsorption relative de l'adsorbant ( $\text{mg / g}$ )

$\frac{1}{n}$  : indique l'intensité de l'adsorption.

# CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE



**CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE****II.1 Introduction :**

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter les techniques d'analyses et les différents protocoles expérimentaux utilisés pour la réalisation de notre travail qui repose sur l'adsorption des métaux lourds dans une solution aqueuse par la marne.

**II.2 Spectrométrie d'absorption atomique :**

C'est une méthode d'analyse quantitative sensible permettant de doser essentiellement les métaux en solution et s'adapte beaucoup mieux à la détermination des éléments à l'état de trace [42].

L'absorption atomique est basée sur la loi de Beer-Lambert :

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \varepsilon \cdot l \cdot C$$

Avec :

$I_0$  : Intensité du faisceau incident

$I$  : Intensité du faisceau émergent de la solution

$\varepsilon$  : Coefficient d'extinction molaire (l / mole.cm).

$l$  : Longueur du trajet optique (cm)

$C$  : Concentration de la solution à analyser.

Les mesures ont été réalisées sur un spectrophotomètre de type PERKIN ELMER PinAAcle 900H avec atomisation en flamme air-acétylène de température environ 2300°C du laboratoire de chimie Inorganique et Environnement Tlemcen.

### II.3 Adsorbant utilisé :

Au cour de notre travail on utilise l'adsorbant suivant :

- La marne argileuse qui est une marne naturelle extraite du gisement de Hammam Boughrara Maghnia (Tlemcen).

### II.4 Métal utilisé :

- Cadmium (CADMIUM NITRATE) :  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$

### II.5 Technique d'analyse :

#### II.5.1 Préparation de la solution métallique :

La solution métallique de Cadmium est préparée à partir du  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  à raison de 100 ppm

#### II.5.2 Cinétique d'adsorption :

On étudie la cinétique d'adsorption du Cadmium sur l'argile en mélangeant 0.3L de la solution métallique (100ppm) avec 1g d'adsorbant dans un bécher 0.6 L tout en maintenant une agitation moyenne à l'aide d'un agitateur magnétique permettant d'assurer un bon contact et une grande homogénéisation de la solution et ce dans un intervalle de temps allant de 0 jusqu'à 120min, les échantillons sont ensuite dilués 50 fois et passés à la centrifugeuse.

La quantité du métal adsorbée est déterminée par la relation suivante :

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} \cdot V$$

Avec :

$q_t$  : Quantité de polluant par unité de masse de l'adsorbant (mg/ g).

$C_0$  : Concentration initiale (mg/L).

$C_t$  : Concentrations à l'instant t (mg. L).

t : Temps de contact (min).

V : Volume de l'adsorbat (L). m : Masse de l'adsorbant (g).

# CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION



**II.6.3 Effet du pH sur l'adsorption :**

Pour évaluer l'effet du pH initial sur l'efficacité de l'adsorption, et déterminer le pH optimal de celle-ci, 0,3L de la solution métallique (100mg/L) a été mise en contact avec 1g de support dans un bécher de 0,6 L pendant 180min tout en maintenant une agitation moyenne. Afin d'éviter l'hydrolyse et la précipitation de notre métal, l'adsorption du cadmium sur l'argile a été réalisée à des pH acides et légèrement alcalins (de 2 à 8), les échantillons sont ensuite dilués 50 fois et passés à la centrifugeuse.

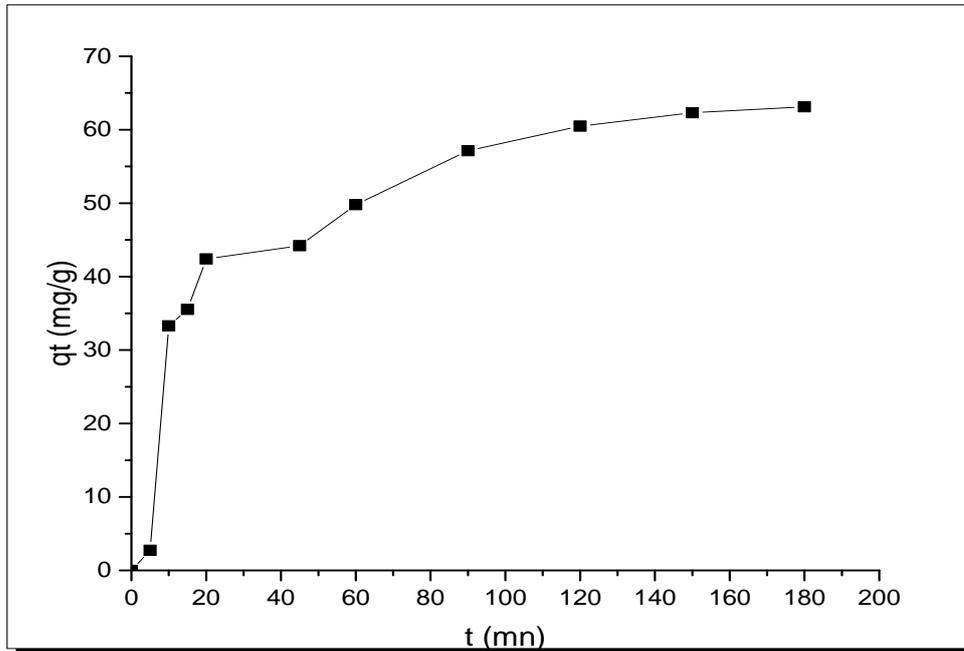
Pour ajuster le pH, on ajoute quelques gouttes de NaOH pour les pH alcalins et quelques gouttes de HCl pour des pH acides.

**II.6.4 Effet de la concentration initiale de la solution :**

L'influence de la concentration de la solution a été effectuée en mettant en contact 0.3L de solution de différentes concentrations de 20mg/L à 300 mg/L dans un bécher de 0.6 litres avec 1 g de support tout en maintenant une agitation moyenne durant 180 min, les échantillons sont ensuite dilués 50 fois et passés à la centrifugeuse.

**CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS****III.1 Cinétique d'adsorption du cadmium :**

La Figure III.1 représente l'évolution des quantités du métal adsorbé en fonction du temps de contact de la marne avec la solution métallique



**Figure III.1 :** Cinétique d'adsorption du cadmium sur la marne

Nous remarquons dès les premières minutes une augmentation rapide d'adsorption du cadmium sur la marne argileuse ce qui peut être expliqué par le fait qu'au début du processus on a une présence importante des sites actifs à la surface de l'adsorbant puis au fur et à mesure l'augmentation diminue jusqu'à atteindre un état d'équilibre.

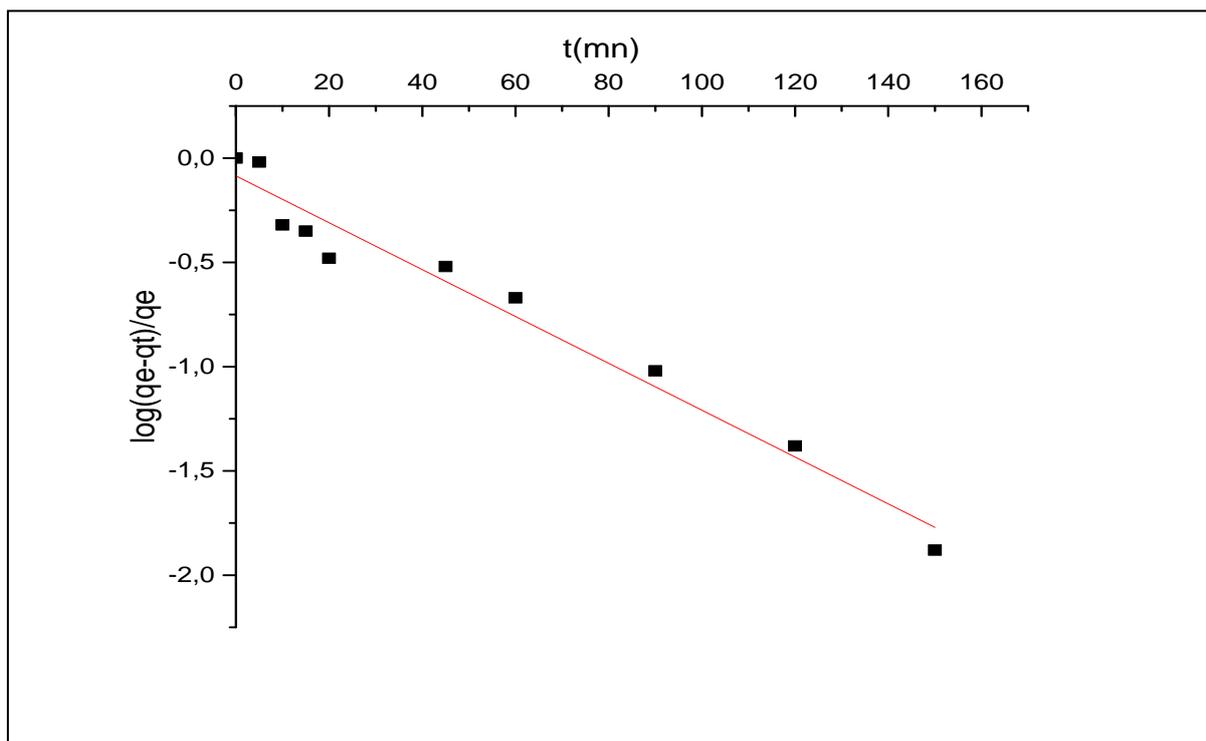
A l'équilibre, la quantité du cadmium fixée sur la marne argileuse est de : 63.17 mg/g.

### III.2 détermination des constantes de vitesses :

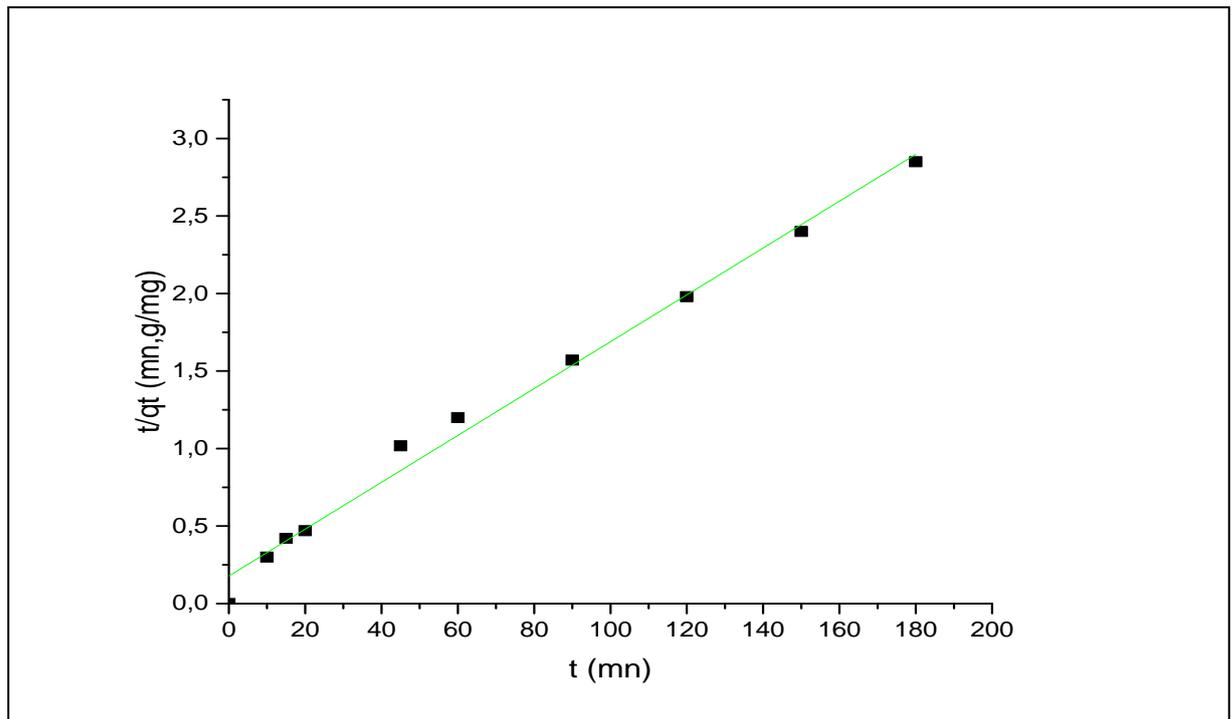
Les constantes de vitesses d'adsorption du cadmium sur l'argile sont déterminées graphiquement en utilisant les équations mathématiques suivantes :

- 1<sup>er</sup> ordre :  $\log (q_e - q_t) / q_e = f(t)$  —————> détermination de  $K_1$ ,
- Pseudo 2<sup>ème</sup> ordre :  $t / q_t = f(t)$  —————> détermination de  $K_2$ ,
- 2<sup>ème</sup> ordre :  $1 / (q_e - q_t) = f(t)$  —————> détermination de  $K$ .

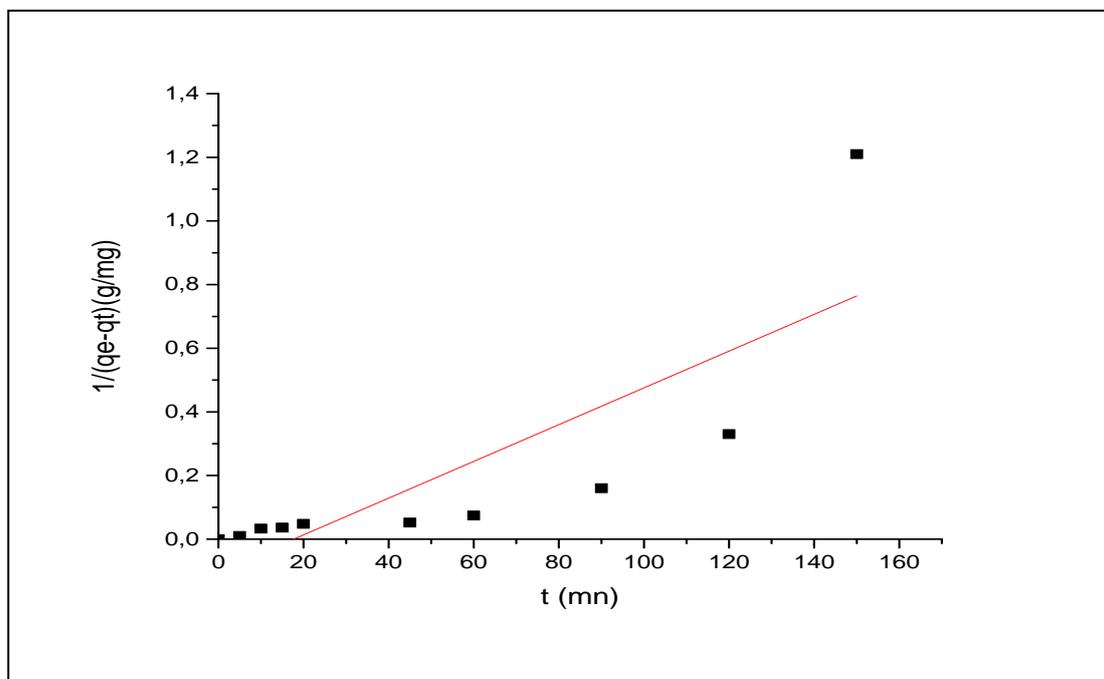
Les résultats pour les trois ordres sont représentés sur la **Figure III.2**, **Figure III.3** et la **Figure III.4** pour le 1<sup>er</sup> ordre, pseudo second ordre et le second ordre respectivement.



**Figure III.2** : Détermination de la constante de vitesse d'adsorption du cadmium sur la marne selon le modèle du premier ordre



**Figure III.3 :** Détermination de la constante de vitesse d'adsorption du cadmium sur la marne selon le modèle du pseudo 2<sup>ème</sup> ordre



**Figure III.4 :** Détermination de la constante de vitesse d'adsorption du cadmium sur la marne selon le modèle du second ordre

Les valeurs des paramètres calculées sont regroupées dans les tableaux suivants:

**Tableau III.1** : Les paramètres cinétiques calculés par les différents modèles

ordre	1 <sup>er</sup> ordre		Pseudo 2 <sup>ème</sup> ordre		2 <sup>ème</sup> ordre	
	$R^2$	$k_1(\text{min}^{-1})$	$R^2$	$k_2(\text{min}^{-1}.\text{g/mg})$	$R^2$	$k(\text{min}^{-1}.\text{g/mg})$
Cd	0.96	$7.4.10^{-4}$	0.99	$5.15. 10^{-4}$	0.82	$14.2. 10^{-4}$

**Tableau III.2** : comparaison des quantités fixées du métal à l'équilibre sur la marne entre l'expérience et les modèles étudiés

Métal	$q_e \text{ exp (mg/g)}$	Pseudo 2 <sup>ème</sup> ordre $q_e \text{ cal (mg/g)}$	Second ordre $q_e \text{ cal (mg/g)}$
<b>Cadmium</b>	63.17	64.5	1.03

A partir du Tableau III.1 et le Tableau III.2, nous remarquons que le modèle du pseudo second ordre est le plus fiable pour la détermination de l'ordre de la cinétique d'adsorption du cadmium par la marne avec un coefficient de corrélation de 0.99, nous observons aussi que la valeur de la quantité fixée du métal à l'équilibre est proche de celle déterminée expérimentalement.

### III.3 Effet du pH initial de la solution métallique :

Afin d'étudier l'influence du pH sur l'adsorption du cadmium sur la marne nous choisissons les valeurs des pH suivants : 2, 4, 6 et 8

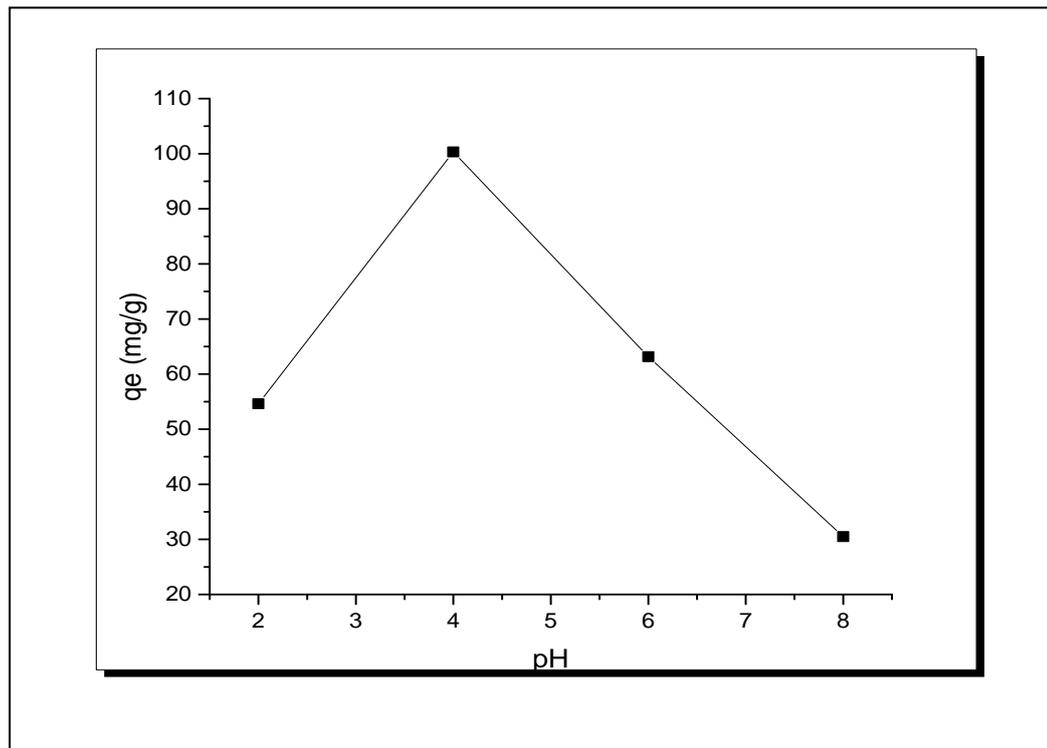


Figure III.5 : Effet du pH initial de la solution sur l'adsorption du Cd sur la marne.

Le tableau III.3 regroupe les quantités du cadmium fixées à l'équilibre sur la marne argileuse :

**Tableau III.3 : Résultats de la quantité du cadmium adsorbée à l'équilibre en fonction du pH**

pH fixé	$q_e$ (mg/g)
2	<b>54.61</b>
4	<b>100.31</b>
6	<b>63.17</b>
8	<b>30.5</b>

D'après la Figure III.5, on remarque un effet considérable du pH sur l'adsorption du cadmium sur la marne.

Le taux de fixation du cadmium à l'équilibre augmente de 54.61 mg/g à pH=2 jusqu'à 100.31 mg/g à pH=4, au delà de pH=4 nous remarquons une diminution importante jusqu'à atteindre 30.5mg/g.

Ces résultats peuvent être expliqués qu'à des pH très acides, les ions métalliques sont en compétition avec les ions  $H_3O^+$  présents dans la solution, ces ions sont plus adsorbés que les ions métalliques par rapport à leurs mobilités.

A des pH peu acides, l'effet compétitif des ions  $H_3O^+$  diminue ce qui conduit à une augmentation remarquable d'adsorption du cadmium sur la marne.

A pH alcalin, il ya une diminution très importante, cela est due probablement au début de précipitation du cadmium ce qui est justifiée par une valeur relativement faible d'adsorption du cadmium.

#### III.4 Effet de la concentration initiale du cadmium:

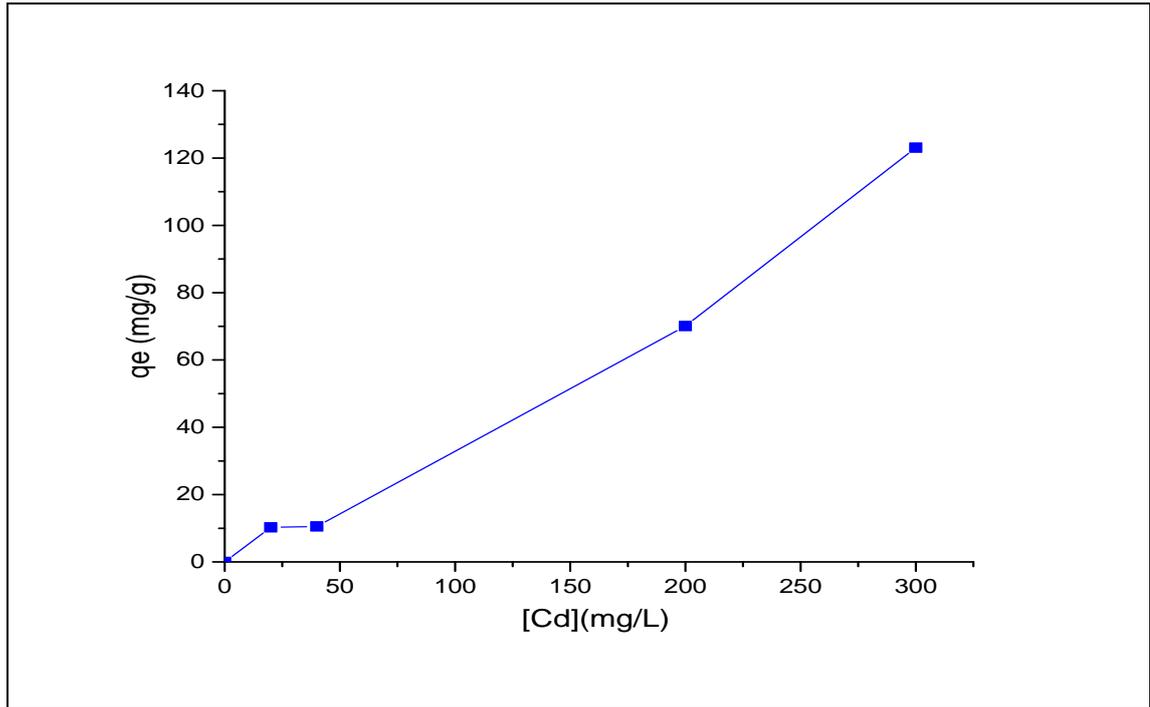
Dans le but d'étudier l'influence de la concentration initiale du cadmium sur la marne nous avons choisis les concentrations suivantes : 20, 40, 60, 200 et 300 mg/L.

La courbe représentée dans la **Figure III.6** montre une augmentation d'adsorption du cadmium avec l'augmentation de la concentration initiale du métal. Cette augmentation est justifiée par une corrélation avec l'obtention d'une isotherme d'adsorption selon la classification du BET (Breuner Emmet Teller).

Le **Tableau III.4** donne les quantités du cadmium fixée à l'équilibre sur la marne argileuse :

**Tableau III.4 : Résultats de la quantité du cadmium adsorbée à l'équilibre en fonction de la concentration initiale**

<b>La concentration initiale (mg/L)</b>	<b>qe (mg/g)</b>
20	<b>10.27</b>
40	<b>10.55</b>
200	<b>70.09</b>
300	<b>123.1</b>



**Figure III.6 :** Effet de la concentration initial de la solution sur l'adsorption du Cd sur la marne.



## CONCLUSION GENERALE

---

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 métallifère).

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

Cette étude concerne l'élimination du cadmium considéré comme un métal très toxique et souvent rencontré dans les rejets industriels sur la marne argileuse très disponible en Algérie

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent :

- ⇒ Le cadmium s'adsorbe sur la marne argileuse en solution aqueuse
- ⇒ La cinétique d'adsorption du métal sur l'argile brute est rapide et est de l'ordre du pseudo-second ordre, la quantité à l'équilibre dépasse les 60 mg/L.
- ⇒ La capacité d'adsorption du cadmium sur la marne est influencée par le pH.
- ⇒ L'adsorption est améliorée en augmentant la concentration de la solution métallique.

Les résultats obtenus confirment l'intérêt pratique et économique de l'utilisation de la marne argileuse dans le domaine de la dépollution des eaux polluées par les métaux lourds en particulier le cadmium.

# REFERENCES



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

1. Baril, F., Analyse de la Contamination des sols alluviaux en ETM du secteur minier, en Estrie 2014, l'université de Québec.
2. Justin.B , L'altération des continents. Sédimentologie, 1989.
3. Caillère, S. Hénin and M. Rautureau, Minéralogie des argiles, 1982(Tomes 1et 2): p. 184p et 189p
4. David H.S.Richardson., The replacement of the non-descript term « heavy metal » by a biologically and chemically significant classification of metal ions. Environ.Pollut, 1980. 1(série B) p. 3-26.
5. PierreMiramand, D.F., Daniel Bentley , Jean-Claude Guary, Florence Caurant, Heavy metal concentrations (Cd, Cu, Pb, Zn) at different levels of the pelagic trophic web collected along the gradient of salinity in the Seine estuary. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, 1998. 327(4): p. 259-264.
6. Aranguren, M.S., mémoire de master :Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments. 2008, l'Université Toulouse III.
7. Manel, L., Thèse de doctorat : Recherche de quelques métaux lourds chez la crevette et le calamar importés et commercialisés à Tlemcen : étude comparative, in Ecologie et Environnement. 2017, UNIVERSITE de TLEMCEM.
8. Sudrie, C., Article medicale : Intoxication aux métaux lourds : symptômes, tests, traitements. ABC Naturopathie, 2016.
9. Bramwell, M., Article :les océans, notre avenir. Montréal : édition Hurtubise, 2000: p. 46-51.
10. Davide Calamari, H.N., Document Technique du CPCA. Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain, 1994. No. 25: p. 129p.
11. Bahattin Gumgumt, Zeki Tezt, Heavy metal pollution in water, sediment and fish from the Tigris river in Turkey. Chemosphere., 1994. 1: p. 111-6.
12. Benaissa Asma , Mémoire de licence : Extraction de cadmium (II) par membrane liquide émulsionnée, 2013, Université Dr Moulay Tahar de Saida.
13. Justin.B., Article(CNESST) : Répertoire toxicologique (Cadmium), in Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail. 2015: Québec
14. Bernhoft, R.A., Cadmium Toxicity and Treatment. the Scientific World Journal 2013. 20(13): p. 7pages.
15. S.Ouanoughi, Mémoire de master : Le cadmium et ses effets toxiques , 2004, université de Biskra: Biskra,Algerie
16. B. Benguella, H.B., Cadmium removal from aqueous solutions by chitin: kinetic and equilibrium studies. Water Research 2002. 36: p. 2463–2474.
17. Martin, S.G, Definition of clay and clay mineral: joint report of the aipea and cms nomenclature committees. Clays and Clay Minerals, 1995. 43(2): p. 255-256.
18. Valencia, F.,Mémoire de master : Caractérisations des particules fines d'un matériau granulaire de fondation par l'essai au bleu de méthylène, 2008, Université LAVAL (Canada): Canada

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

19. Benchabane, A., Thèse de doctorat : Etude du comportement rhéologique de mélanges argiles-polymères. Effets de l'ajout de polymères 2006, Université Louis Pasteur - Strasbourg I: Strasbourg p. 228 pages.
20. M.E, T., Article : Sedimentary petrology. An introduction. Blackwell, 1981.
21. Shapley, P., Article: clay mineral 2010, University of Illinois: Etats Unis
22. Morel, R., Thèse : Les Sols Cultivés, Lavoisier. 1996, Université de Picardie Jules Verne/Jacques Beauchamp: Paris.
23. Caillère, G., les argiles Le Sol: Constitution, structure. Phénomènes aux interfaces, 1982: p. 457 pages.
24. Mohamed, H., Mémoire de master : Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique. Etude sur site : unité Maghreb céramique de Touggourt, 2007, Université Kasdi Merbah Ouargla.
25. François, H., L'argile, son utilisation à l'officine, département pharmaceutique 2016, Universités d'Angers Angers, France p. 127.
26. Hernot, F. Article : L'argile, son utilisation à l'officine. 2006.
27. Rixen, J.-F. Article : L'argile : pour quels travaux l'utiliser? , écoconso 2017.
28. Sarah. Article médical : Une cure detox et minceur grâce à l'argile verte à boire. plantday12 2019.
29. François, R., Analyse chimique. 3ème Edition Masson. des sciences appliquées de Lyon-France 2005.
30. Nehla, B.Z., Mémoire de master : Etude du comportement d'une marne argileuse traitée pour valorisation dans les projets routiers, Génie Civil & Hydraulique 2017, l'Université 08 Mai 1945 de Guelma.
31. Tizaoui Khadidja, B.B., Thèse : Elimination des métaux lourds en solution aqueuse par la marne naturelle. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen – 13000- Algérie.
32. Amaria, B., Mémoire de master : Adsorption du fer, nickel et cobalt par la marne argileuse en solution aqueuse 2015, Abou Bekr Belkaid-Tlemcen
33. Guerrero, G. 2000, Université des Sciences et Techniques du Languedoc – Montpellier.
34. Abdelrahman M. Awada , S.M.R.S., Rem Jalaba , Mona H. Gulieda , Mustafa S. and A.B. Nassera , Samer Adhamb, Adsorption of organic pollutants by natural and modified clays: A comprehensive review. Separation and Purification Technology, 2019: p. 228.
35. Soonchul Kwon, M.K.D., CO2 Sorption in Coal Gasification and Its Applications. Handbook of Energy: Diagrams, Charts, and Tables. 2011.
36. Fang Deng, S.-L.L., Application of Nanomaterials and Nanotechnology in the Reutilization of Metal Ion From Wastewater in Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization. Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization. Vol. A volume in Micro and Nano Technologies. 2019. 298.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

37. Yahiaoui, N., Mémoire de master :Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines, olive sur carbone de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, 2012, Université de Tizi Ouzou
38. Moreau, Serge, Article :L'adsorption et l'environnement. ENS éducol, 2003.
39. Houria, B., thèse de doctorat :Adsorption du Thorium(IV) par la Bentonite sodiqueet la bentonite sodique fonctionnalisée par lamaghémit ,2014.
40. Kacha, K.D.B.a.S., Study of the kinetics and thermodynamics of the adsorption of a basic dye on sawdust. *Revue des sciences de l'eau* 2010. 24(2): p. 131–144.
41. Boubarka, Z., Kacha, S., Kameche, M., Elmaleh, S., Derriche, Z, Sorption study of an acid dye from an aqueous solutions using modified clays. *Journal of Hazardous Materials*, 2005. 119: p. 117.
42. Amiard, J. ., Pineau, A., Boiteau, H. ., Metayer, C., & Amiard-Triquet, C. (1987). Application de la spectrometrie d'absorption atomique zeeman aux dosages de huit elements traces (Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Se) dans des matrices biologiques solides. *Water*

## المخلص:

الهدف من هذه الدراسة هو اختبار فعالية الصلصال المحلي في تثبيت المعادن، والختصاص الكاديوم من أجل معالجة التحاليل المائية الملوثة. باستعمال تقنية المتصاص التي تعتمد فعاليتها على عدة عوامل مدرجة الحموضة و التركيز. النتائج المتحصل عليها تثبت فائدة الطين في إزالة الكروم من المياه الملوثة. الكلمات الرئيسية : تثبيت، مارن، صلصال ، الكروم

## Résumé :

L'objectif de cette étude est de tester l'efficacité d'une argile locale (la marne) dans la rétention d'un métal, à savoir le cadmium. La technique utilisée est l'adsorption dont la performance dépend de certains facteurs (pH, concentration ...).

Les résultats obtenus ont montré l'intérêt pratique de l'utilisation de la marne dans la dépollution des eaux contaminées par le cadmium.

Mots clés : Adsorption, argile, marne, cadmium.

## Abstract:

The objective of this study is to test the effectiveness of local clay (marl) in the retention of a metal, namely cadmium. The technique used is adsorption, whose performance depends on certain factors (pH, concentration, etc.).

The results obtained showed the practical value of using marl in the remediation of cadmiumcontaminated water.

Keywords: Adsorption, clay, marl, cadmium.