REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département de **G**énie des **P**rocédés et **E**nvironnement

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés des matériaux

Contribution à la caractérisation de bentonite brute et modifiée Application biotechnologique

---

Proposer et diriger par

Dr BENAISSA FAIZA

Réaliser par

ZEBICHE KAWLA

HARABI FATMA ZOHRA

« Promotion 2024/2025 »

Remerciement

Tout travail de recherche n'est jamais totalement l'ouvre d'une seule personne, car il met en jeu la participation et l'aide de plusieurs personnes et organismes.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et sincère reconnaissance ainsi que nos vifs remerciements

À ALLAH tout puissant pour nous avoir donné la force et la patience pour mener ce travail

Jusqu'au bout.

À toute l'équipe du Laboratoire de Génie de procédés, pour leur gentillesse, leur modestie, leur aide, leurs conseils.

À notre promotrice ***Dr Benaissa Faiza*** *maitre de conférences à l'université Yahia Farés de Médéa pour son aide, ses remarques pertinentes lors de la réalisation des essais et d'analyses au laboratoire, et surtout ses critiques judicieuses.*

On la remercie pour le soutien moral et pour sa disponibilité et sa patience lors de la réalisation de ce mémoire. On a trouvé auprès d'elle la compétence, rigueur, générosité et sympathie.

Nous adressons tous nos remerciements aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer de ce travail.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Avec mes sentiments de gratitudes les plus profonds, je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents sans eux je n'ai pas pu être ce que je suis, en reconnaissance de leurs efforts, leurs amours et leur encouragement durant toutes mes études et mes recherches.

A mes frères Yousef,LAKHEDDR auquel je souhaite une très bonne continuité et réussite dans la vie.

A mes sœurs Siham, et KHAIRA que j'aime beaucoup.

A ma chère binôme Fatma Zohra

Khawla

Dédicace

À ceux qui ont été la lumière de mon chemin et la source de mon inspiration,

Aussi nombreuses soient les paroles, elles ne sauraient exprimer toute ma gratitude.

À mon père bien-aimé, qui m'a appris la patience, la persévérance et la stabilité.

À ma chère mère, qui a toujours été mon refuge chaleureux et dont les prières sincères m'ont accompagnée.

À mes frères et sœurs, qui ont partagé avec moi les moments de peine et de joie, et qui ont toujours été un soutien inébranlable dans les étapes difficiles de ma vie.

Et à l'âme de mon cher frère **Said**, parti trop tôt, mais qui ne quittera jamais mon cœur.

Je prie Dieu que ce travail soit une aumône continue inscrite dans le registre de ses bonnes actions.

A ma chère binôme Khawla

Fatma Zohra

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تثمين البنتونيت الخام والمنشط لاستخدامه في التخلص من بعض الملوثات العضوية وغير العضوية الموجودة في الماء. أظهرت دراسة امتزاز الأصباغ على البنتونيت الخام كفاءة امتزاز جيدة. بلغت معدلات تغير لون 73% BM، 79% و 78% للبنتونيت من مستغانم، مغنية و ريغا على التوالي. فيما يتعلق بالـ FB، بلغت معدلات الإزالة المسجلة 71%، 70% و 75% للبنتونيت من مستغانم، مغنية وريغة على التوالي. أظهر امتزاز كبريتات النحاس (II) على البنتونيت الخام كفاءة امتزاز جيدة حيث بلغت معدلات الإزالة القصوى 76.76% لبنتونيت مستغانم وبنتونيت مغنية و 78% لبنتونيت ريغا. أظهر تنشيط البنتونيت بواسطة DMSO و NaCl تحسنا جيدا في معدلات إزالة الأصباغ والمعادن.

الكلمات المفتاحية: البنتونيت، الصبغة، المعادن، التلوث،

RESUME

Objectif de ce travail et de valoriser la bentonite brute et activée pour l'utilisation dans l'élimination de certains polluants organiques et inorganiques pressent dans l'eau. L'étude de l'adsorption des colorants sur la bentonite brute a montré une bonne efficacité d'adsorption. Les taux de décoloration de BM ont atteint **73 %, 79 % et 78 %** pour les bentonites de Mostaganem, Maghnia et Righa respectivement. En ce qui concerne la FB, les taux d'élimination enregistrés étaient de **71 %, 70 % et 75 %** pour les bentonites de Mostaganem, Maghnia et Righa respectivement. L'adsorption de sulfate de cuivre(II) sur la bentonite brute a montré une bonne efficacité d'adsorption avec des taux d'élimination maximaux de **76,76 %** pour la bentonite de Mostaganem et celle de Maghnia et **78 %** pour celle de Righa .L'activation des bentonites par la DMSO et le NaCl à montrer une bonne amélioration des taux d'élimination des colorant et des métaux.

Mots clés : bentonite, colorant, métaux, pollution, adsorption

ABSTRACT

The main objective of this work is to valorize raw and activated bentonite for use in the elimination of organic and inorganic pollutants present in water. The study of the adsorption of dyes on raw bentonite showed good adsorption efficiency. The discoloration rates of BM reached 73%, 79% and 78% for bentonites from Mostaganem, Maghnia and Righa respectively. Regarding FB, the removal rates recorded were 71%, 70% and 75% for bentonites from Mostaganem, Maghnia and Righa respectively. The adsorption of copper (II) sulfate on raw bentonite showed good adsorption efficiency with maximum removal rates of 76.76% for Mostaganem and Maghnia bentonite and 78% for Righa. Activation of bentonites by DMSO and NaCl showed good improvement in the removal rates of dyes and metals.

Keywords: bentonite, dye, metals, pollution, adsorption

A : Absorbance

BM : Blue de méthylène

C : Concentration des solutions.

C_0 : Concentration initiale.

$CuSO_4$: Sulfate de cuivre

DMSO : Diméthylsulfoxyde

FB : Fuchsine basique

$FeCl_2$: Chlorure de fer

H_2SO_4 : Acide sulfurique

HCL : Acide chlorihidrique

NaCl : Chlorure de soduim

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Les différent types de bentonite 3

Figure I.2: Structure de la montmorillonite 4

Figure III. 1: Schéma simplifie représentant le phénomène d'adsorption 21

Figure IV. 1 : Les étapes de la cinétique d'adsorption 27

Figure IV.1: PH mètre 34

Figure IV.2.: Spectrophotomètre F TIR-8400 34

Figure IV.3 : Les bentonite nigha (a) maghnia (b) mostaganem (c) 35

Figure IV.4: Etuve 35

Figure IV.5: Les bentonite de la tamisage (a) righa (b) Maghnia (c) Mostaganem 36

Figure IV.6.: Le traitement des bentonite avec d'acide sulfurique 36

Figure IV.7.: Le traitement de bentonite avec Nacl 37

Figure IV.8.: Le traitement de bentonite DMSO. 37

Figure IV.9.: courbe d'étalonnage de blue de mèthylene 39

Figure IV.10: courbe d'étalonnage de fushion basique. 40

Figure IV.11.courbe d'étalonnage de chlorure de fer 40

Figure IV.12: courbe d'étalonnage de sulfate de cuivre 40

Figure IV.13: L'effet du temps de sur le l'adsorption de bleu de méthylène sur les bentonites 43

Figure IV.14: L'effet du temps de sur l'adsorption de fushion basique sur Les bentonites 44

Figure IV.15 L'effet du temps de sur l'adsorption de chlorure de fer sur Les bentonites 44

Figure IV. 16 L'effet du temps de sur l'adsorption de sulfate de cuivre sur les bentonites 44

Figure IV.17 : L'effet de concentration sur l'adsorption de blue mèthylene 45

Figure IV.18. L'effet de concentration sur l'adsorption de FB 45

FigurelV.19. L'effet de concentration sur le l'adsorption de $FeCl_2$ 44

Figure IV.20.L'effet de concentration sur l'adsorption de $CuSO_4$ 46

Figure IV.22. L'effet de masse sur BM 47

Figure IV.23. L'effet de masse de masse de FB 47

Figure IV.24.l'effet de masse Sur $FeCl_2$ 48

Figure IV.25. L’effet de masse Sur $CuSO_4$ 48

Figure IV.26. L'effet de pH sur BM 49

FigureIV.27.L'effet de pH sur FB..... 49

Figure IV.28 L'effet de pH sur $CuSo_4$ 50

Figure IV.29 L'effet de pH sur $FeCl_2$ 50

Figure IV. 30. Cinétique d'adsorption de BM sur les bentonites activées par DMSO 51

Figure IV.31 Cinétique d'adsorption de FB sur les bentonites activées 51

Figure IV .32 Cinétique d'adsorption de $FeCl_2$ sur les bentonites activées 52

Figure IV .33 Cinétique d'adsorption de $CuSO_4$ sur les bentonites activées 53

Tableau I.1. Classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces...5

Tableau I.2. Capacités d'échange des cations de quelques argiles.....7

Tableau III.1.Caractéristiques physico-chimiques de bleu de méthylène 31

Tableau IV.2. Caractéristiques physico-chimiques de fuchsine basique.....32

Tableau IV.3 Caractérisation physico-chimique de sulfate de cuivre 32

Tableau IV.4 .Caractérisation physico-chimique de chlorière de fer. 33

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACE

RESUME

SOMMAIRE

LISTE D'ABREVIATION

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES BENTONITES

I.1. Introduction 3

I.2. La structures et classifications 3

.

I.2.1. La structures des minéraux argilaux 3

I.2.2. Classification des argiles 4

I.2.2.1. Minéraux de type 4

I.2.2.2. Minéraux de type 2 4

I.2.2.3. Minéraux de type 3 4

I.2.2.4. Minéraux inter stratifies 5

I. 3. Différents types d'argiles 5

I.3.1. Famille de la kaolinite 5

I.3.2. Famille de L'llite 5

I.3.3. Famille de la montrorillonite 6

I.3.4. Famille des chlorites 6

I.4. Propriétés des argiles 6

I.4.1 La capacité d'échange cationique 6

I.4.2. La surfaces spécifiques 7

I.4.3. Capacité de gonflement 7

I.4.4. Colloïdale 7

I.4.5. La densité de charge spécifique..... 8

I.4.6. La capacité de fixation des éléments métalliques..... 8

I.5 .Définitions de bentonite 9

I.6 .Origine de bentonite 9

I.7. Structures et compositions..... 9

I.8 .Type des bentonites 10

I.9. Utilisation des bentonites 10

CHAPITRE II : POLLUTION DES EAUX

II.1 Introduction.....12

II.2 Origine de la pollution de l'eau. 12

II.2.1. Pollution domestique..... 12

II.2.2.1 .Les eaux ménagères 12

II.2.2.2 .Les eaux de vannes 12

II.2.2 .Pollution industrielle 12

II.2.3.Pollution agricole 13

II.2.4.Pollution pluviale 13

II.3 .Les différents types des pollutions des eaux 13

II.3.1. Pollution thermique.....13

II.3.2. Pollution biologique.....14

II.3.3. Pollution radioactive 14

II.3.4. Pollution chimique 14

II.3.5. Pollution agricole 14

II .3.6. Pollution industrielle 14

II.4.3. Source agricole 15

II.5. Les polluants organiques 15

II.6. Les polluants inorganiques 15

II.7. Les effets de la pollution de l'eau. 16

II.7.1. Sur la santé humaine 16

II.7.2. Sur l'enivrement 17

II.8 .L'impact des rejets industrielle 18

CHAPITRE III : PHENOMENES D'ADSORPTION

III.1 Historique 21

III.2 Définition de l'adsorption 21

III.3 Type d'adsorption 22

III.3.1 L'adsorption physique 22

III.3.2 L'adsorption chimique 22

III.4 Mécanisme d'adsorption 22

III .5 Les facteurs influençant de l'adsorption 23

III 5.1 Nature de l'adsorbat 23

III.5.2 Température 23

III.5.3 Surfaces spécifiques 23

III.6 Isotherme d'adsorption 23

III.7 Modélisation d'isotherme isotherme de BET 25

III.8. Cinétique d'adsorption 26

III.9. Domaine d'application de l'adsorption 27

IV.1. Introduction ..... CHAPITRE IV : PARTIE EXPERIMENTALE 30

IV.2. Méthodologies expérimentale 30

IV.2.1. Matériels 30

IV.2.2. Produits chimiques 30

IV.3. Méthodes d'analyse 30

IV.3 Préparation et caractérisations des bentonites 35

IV.4. Caractérisation des bentonites 37

IV.5. Spectroscopie UV/Visible 38

IV.5.1 Détermination de la longueur d'onde maximale 39

IV.5.2.Etablissement de la courbe d'étalonnage 39

IV.6. Résultats et discussion 42

IV.6.1. Caractérisation des argiles 42

IV 6.2.Adsorption des polluants sur les bentonites de Righa Maghnia Mostaganem 42

IV.6.2.1.Cinétique d'adsorption des colorants sur les argiles Righa Maghnia et Mostaganem 43

IV.6.2.3.Effet de concentration des polluants sur la cinétique de l'adsorption des polluants 45

IV.6.2.3. Effet de masse sur la cinétique de l'adsorption des polluants 47

IV.6.2.4.Effet de pH sur la cinétique de l'adsorption des polluants 49

IV.7 Effet de l'adsorption des polluants sur les bentonites activées 51

IV.8. Conclusion 56

CONCLUSION GENERALE 57

INTRODUCTION GENERALE

La protection de l'environnement est processus de développement devenue notre principale préoccupation société, encourageant ainsi il à améliorer méthodes de décontamination, tout en mettant l'accent sur la réduction des sources de pollution. La nécessité de comprendre les mécanismes impliqués dans ces processus conduit à beaucoup de travaux de recherche au niveau fondamental et appliqué.

Les termes « pollution » et « contamination » sont utilisés dans abusif, des éclaircissements sont donc nécessaires pour éviter tout confusion, où le mot "contamination" doit qualifier la contribution de l'élément, en dehors du site, entraînant une augmentation de leur contenu initial, sans indication que leur effets sur le comportement des créatures présentes sur ou à proximité Lieu [1].

En revanche, le mot "pollution" devrait être réservé à la pollution produite interférence avec l'environnement ou utilisation normale généralement causée par l'environnement. Les dommages potentiels de la contamination des soldes ces dernières années l'écologie et la santé publique reçoivent une attention croissante les autorités. Avec l'adoption du Code de l'environnement du 14 septembre 2000, la pollution de l'eau" est devenue le centre d'attention.

Le rejet cruel et massif de résidus toxiques dans le milieu naturel se traduit par les risques pour l'équilibre du milieu naturel et des écosystèmes sont nombreux, et pour l'homme lui-même, le faiseur de ces déchets et ce grand agitateur déséquilibré. Cela stimule et encourage donc l'amélioration des technologies de décontamination existantes et le développement de nouveaux procédés, permettant de répondre aux et se conformer aux normes internationales de plus en plus strictes [2].

Si la qualité de l'eau est destinée à la consommation humaine, à l'irrigation ou simplement rejeté par la nature, vers le fleuve, la mer, ou la terre, est devenir une affaire de capitaux et de pouvoirs publics, autorités et pays et organisations internationales. Les propriétés physico chimiques de l'eau sont certainement l'une des principales conditions pour permettre à la vie de naître, il y a environ trois milliards d'années, mais en raison de son utilisation irrationnelle par l'homme, elle a été sévèrement attaquée pour sa qualité déclinante, alors elle a commencé son rôle garant de la vie [3].

Différentes techniques ont été utilisées pour éliminer polluant solubles des eaux usées industrielles ou domestique. Ils diffèrent les uns des autres et peuvent être illustrés par l'adsorption, l'électrolyse, la flottation, la précipitation, l'échange d'ions, l'extraction liquide- liquide, la filtration sur membrane, etc.

Dans cette optique, que notre travail de recherche est proposé et qui a pour but d'étudier la possibilité d'élimination des polluants organiques et inorganiques en milieu aqueux par adsorption sur les bentonites de brutes et modifiées.

Ce matériau présente un grand intérêt en raison de son cout accessible et son abondance. Notre travail s'articule en quatre chapitres

- Le premier chapitre présente une généralité sur les bentonites
- Le deuxième chapitre porte sur la pollution des eaux.
- Le troisième chapitre est consacré sur des notions sur d'adsorption.
- Le quatrième chapitre est fondé sur la partie expérimentale proprement dite, il est divisé en deux parties :

  - ✓ La première partie est fondée sur la description du matériel et des différentes méthodes expérimentales ayant permis la réalisation pratique de cette étude.
  - ✓ La deuxième partie est consacrée à l'étude de l'élimination des colorants et des métaux à savoir par l'adsorption sur les bentonites brutes et modifiés.

Enfin cette étude se clôture par une conclusion générale englobant les principaux résultats et des futures perspectives.

I.1. Introduction

Les argiles sont des produits de décomposition des roches siliceuses, par désagrégations physique et mécanique, puis par altération chimique. La famille des minéraux argileux regroupe tous les silicates hydratés appartenant au groupe des phyllosillicates. Les minéraux argileux ont une structure ionique telle qu'ils interagissent fortement avec les molécules polaires de l'eau [1].



Figure I.1. **Les différents types de bentonite**

I.2. La structure er classification

I.2.1. La Structure de minéraux argileux

Les argiles sont constituées de minéraux dont les particules sont essentiellement des phyllosilicates ; empilements de feuillets bidimensionnels silicatés. Les feuillets qui constituent le motif de base de ces matériaux, sont formés par l'assemblage d'une ou deux couches de Tétraèdres siliceux SiO_4 et d'une couche d'octaèdres alumineux, ferrifères ou magnésiens (2 :1 ou 1 :1) (figure A.1). L'organisation structurale des phyllosilicates est basée sur une charpente d'ions O^{-2} et OH^- [2]. Ces anions occupent les sommets d'assemblages octaédriques (O^{-2} et OH^-) et tétraédrique O^{-2}. Dans les cavités de ces unités structurales élémentaires viennent se loger des cations de tailles variables (Si^{+4}, Al^{+3}, Fe^{+3}, Fe^{+2}, Mg^{+2}) en position tétraédrique ou octaédrique. Ces éléments s'organisent suivant un plan pour constituer des couches octaédriques et tétraédriques dont le nombre détermine l'épaisseur du feuillet. L'espace entre deux feuillets parallèles s'appelle espace inter foliaire.

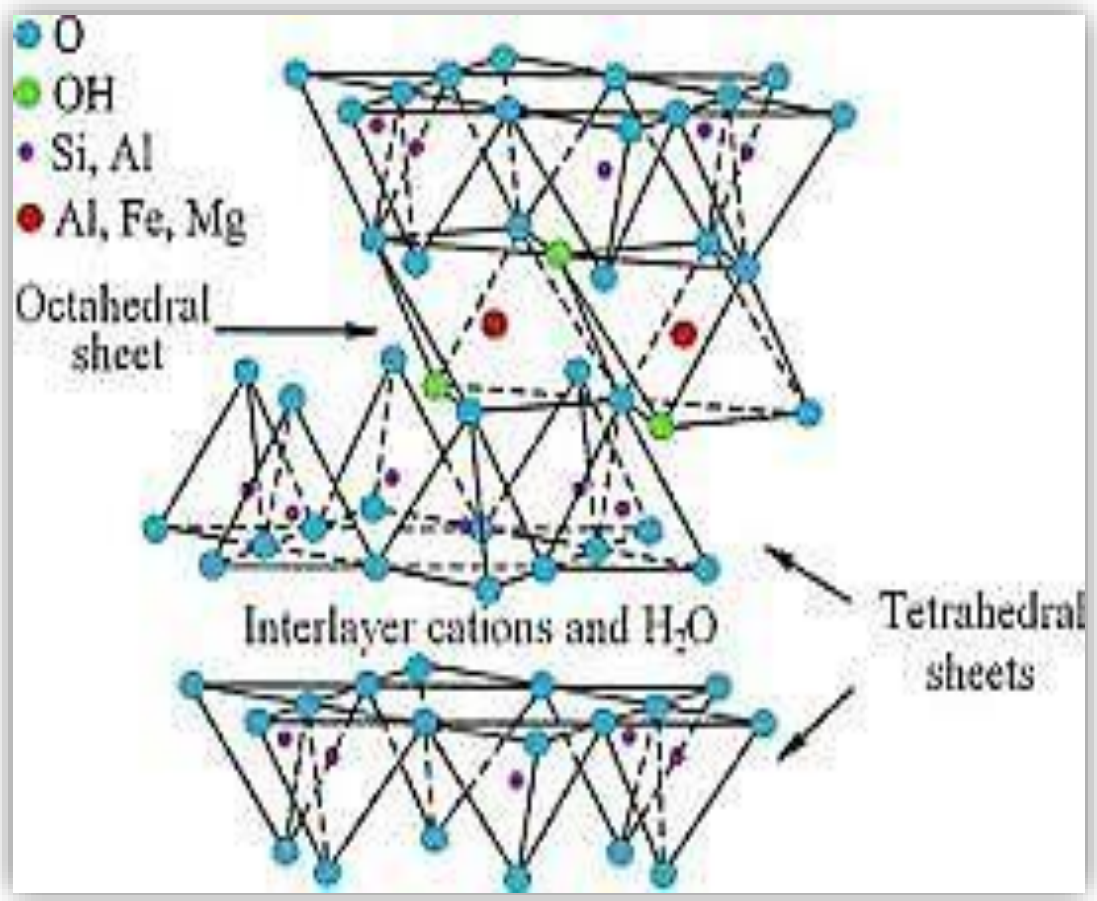


Figure I.2. Structure de la montmorillonite

I.2.2. Classification des argiles

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet. On distingue ainsi quatre groupes [3]:

a. Minéraux de type 1:1 (ou T-O) : Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. L'équidistance caractéristique est d'environ 7,1 A°. A ce type correspond le groupe de la kaolinite.

b. Minéraux du type 2:1 (ou T-O-T) : Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche d'octaèdres. L'équidistance caractéristique varie de 9,4 à 15A° selon le contenu de l'inter feuillet. A ce type correspond les groupes du talc, des smectites, des vermiculites et des micas.

c. Minéraux du type 2 :1 :1 (ou T-O-T-O) : Le feuillet est constitué par l'alternance de feuillets T-O-T et de couche octaédriques inter foliaire. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14A°, à ce type correspond le groupe du chlorite.

d. Minéraux inter stratifiés : Il existe bien entendu des minéraux interstratifiés, formés d'un empilement régulier ou irrégulier de feuillets de deux types différents. Lorsque l'un des feuillets est de type smectites, le comportement peut s'avérer gonflant. C'est le cas de la kaolinite-montmorillonite, la saponite-chlorite, la montmorillonite-mica, l'illitemontmorillonite.

Tableau I.1. Classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces.[3]

Groupe de Minéraux Argileux	Espéce Minérale	Structure
Kaolinites	Kaolinite Halloysite Dickite	Minéraux à 2 couches T-O T-O
Smectites	Montmorillonite Saponite Beidellite Nontronite	Minéraux à 3 couches T-O-T T-O-T
Illites **Vermiculites** **Micas**	Illite Vermiculite Muscovite Biotite	H2O, Cations
Chlorites	Chorite	Minéraux à 4couches T-O-T T-O-T
Sepiolites **Palygorskites**	Sepiolite (écume de mer) Attapulgites	Minéraux en lattes

I.3. Différents types d'argiles

I.3.1. Famille De La Kaolinite (T-O Ou 1:1)

Il existe une couche d'octaèdres et une couche de tétraèdres d'épaisseurs variables. La tranche de base est de 7 Å. Ces couches basiques adhèrent fortement les unes aux autres à travers leurs plans basaux, avec des liaisons hydrogène entre les groupes hydroxyle au bas de la couche et l'oxygène au sommet de la couche sous-jacente [4].

I.3.2. Famille De L'illite (T-O-T Ou 2:1) (argiles micacées ou hydro micas)

L'illite est constituée de couches octaédriques intercalées entre deux couches tétraédriques. Chaque couche tétraédrique est organisée en un réseau bidimensionnel formé de six anneaux pseudo-

hexagonaux de tétraèdres, où chaque tétraèdre partage trois sommets avec ses voisins. Les atomes d'oxygène partagés dans cette structure sont appelés « oxygènes de pontage ». L'épaisseur de la couche de base est de 10 Å [4].

I.3.3. Famille De La Montmorillonite

La montmorillonite est constituée d'une couche octaédrique prise en sandwich entre deux couches tétraédriques. Les feuillets, d'une épaisseur de 10 Å, sont faiblement liés entre eux, permettant ainsi l'insertion de couches d'eau dont l'épaisseur peut atteindre 9 Å. Cette capacité d'absorption confère à ce matériau un caractère gonflant.La montmorillonite peut également se présenter sous forme de cristaux isolés d'une épaisseur de 10 Å. En revanche, dans le cas de la vermiculite, l'absorption d'eau est limitée à deux couches de molécules d'eau [4].

I.3.4. Famille Des Chlorites (T-O-T-O Ou 2 :1 1)

Les chlorites se composent d'une couche octaédrique entourée de deux couches tétraédriques, avec une couche intermédiaire constituée de couches octaédriques. Les feuillets, ayant une épaisseur de 14 Å, sont fortement liés entre eux, formant ainsi un chlorite véritable. En revanche, les pseudochlorites peuvent présenter un gonflement important [5].

I.4. Propriétés des argiles

I.4.1. La capacité d'échange cationique (CEC)

Les argiles possèdent la capacité de fixer des cations de manière échangeable à partir des solutions environnantes. Cette propriété, appelée capacité d'échange cationique (CEC), est exprimée en milliéquivalents par 100 grammes d'argile (meq/100g) et correspond au nombre de charges échangeables par unité de masse. Elle varie en fonction du type d'argile, de sa structure cristallographique, des cations présents et du pH du milieu [5].

La CEC résulte de la substitution isomorphique d'atomes dans les couches octaédrique et tétraédrique de l'argile, ce qui génère un déficit de charge compensé par l'adsorption de cations. Pour la mesurer, l'argile est d'abord saturée avec une solution riche en cations, puis les cations échangés sont analysés. Cette analyse repose généralement sur l'utilisation de cations tels que $NH4^{+}$ ou Ba^{2+}, et la microanalyse élémentaire permet de déterminer la capacité de fixation des cations (CFC) [6].

Tableau I.2 . Capacités d'échange des cations de quelques argiles [7].

Argiles	CFC meq/100g
Monotmorillonite Ca^{2+}	80
Montmorillonite Ca^{2+}	150
Illite	30-40
Kaolinite	3-15

I.4.2. La surface spécifique (SSE)

La surface spécifique est une propriété clé pour caractériser les matériaux poreux. Elle correspond à l'ensemble des surfaces accessibles aux particules ioniques et s'exprime en m^2/g. On distingue [7] trois types de surfaces spécifiques :

- ✓ Les surfaces internes : englobent les surfaces des feuillets délimitant les espaces interfoliaires.
- ✓ Les surfaces externes : correspondent aux faces extérieures des particules.
- ✓ Les surfaces latérales : définissent les limites des feuillets.

Les mesure de la surface spécifique repose sur l'adsorption d'une monocouche de substance sur le matériau. En connaissant la taille et l'arrangement des molécules adsorbées, il est possible de calculer la surface qu'elles recouvrent. Parmi les substances couramment utilisées pour cette mesure, on trouve les gaz inertes (comme le N_2), les hydrocarbures aliphatiques et certains polyalcools (glycol, glycérol).

Une surface spécifique élevée favorise un pouvoir de gonflement plus important, ce qui se traduit par un potentiel de gonflement accru. Les caractéristiques des argiles associées à cette propriété sont synthétisées dans le tableau (I.3) [8].

Tableau I.3. Surfaces spécifiques de quelques minéraux argileux[8]

Argiles	Surfaces spécifique (m^2/g)
Montmorillonite	80
Illite	150
Kaolinite	30-40
Eléments non argileux	3-15

I.4.3. Capacité de gonflement

Le degré d'hydratation diffère selon les familles d'argiles. Certains minéraux argileux ont la capacité d'intégrer des molécules d'eau dans leur structure (Figures 7.A et 1.7.B). Cette absorption d'eau entraîne

une modification de la taille des couches, provoquant ainsi leur expansion. Ces argiles sont appelées argiles gonflantes. On distingue deux types de gonflement [9].

a. **Gonflement inter-foliaire :** L'eau s'infiltre entre les feuillets des particules d'argile et se dispose en couches monomoléculaires.
b. **Gonflement inter-particulaire** : L'eau reste à l'extérieur des particules d'argile sans y pénétrer. L'hydratation de l'argile est un processus réversible, lui permettant de sécher puis de regonfler tout en conservant ses propriétés.

Les smectites, vermiculites et minéraux interstratifiés ont une grande capacité d'expansion et d'absorption d'eau, influencée par la température et l'humidité. Ils peuvent augmenter leur volume jusqu'à 95% grâce à une hydratation réversible, formant des couches d'eau de 2.5 à 5.2 angströms. En revanche, certains minéraux, comme les argiles fibreuses, contiennent de l'eau adsorbée sans gonflement. Le gonflement inter-particulaire, affectant tous les types d'argiles, est plus limité car l'eau ne pénètre pas à l'intérieur des particules. [12].

I.4.5. Colloidalitè

La colloïdalité joue un rôle essentiel dans la purification des argiles en raison des charges négatives présentes à la surface de leurs particules. Cette propriété se traduit par la formation d'une double couche d'ions hydrosolubles de charge opposée entourant chaque particule d'argile.

I.4.6. La densité de charge spécifique

La densité de charge spécifique correspond au rapport entre la capacité d'échange cationique (CEC) et la surface spécifique (S) des particules d'argile. Dans les milieux argileux, on distingue deux types de charges. [13].

➢ Une charge permanente ou structurelle, résultant des substitutions ioniques (Al^{3+} remplaçant Si^{4+} dans la couche tétraédrique, et Mg^{2+} ou Fe^{2+} remplaçant Al^{3+} dans la couche octaédrique).

➢ Une charge de surface variable, dépendant du pH du milieu et liée aux réactions chimiques se produisant à la surface des minéraux.

Il est essentiel de souligner que ces notions ne doivent pas être confondues : une bentonite naturelle n'est jamais exclusivement calcique ou sodique, seul le cation dominant permet sa classification.

I. 4.7. La capacité de fixation des éléments métalliques

Dans certaines conditions, notamment en fonction du pH, les argiles peuvent adsorber une molécule ou un ion grâce à la présence de sites réactifs (tels que Si-OH ou Al-OH) à leur surface, en particulier aux bords des feuillets. [14]

I.5. La Bentonite

I.5.1. Définition

La bentonite est une argile caractérisée par ses propriétés de surface exceptionnelles, telles que son affinité pour l'eau et sa capacité d'adsorption des composés électropositifs. Ces propriétés en font un matériau très utilisé dans divers secteurs industriels, notamment pour la clarification des liquides et des solutions.

Les caractéristiques physico-chimiques des bentonites, ainsi que leurs propriétés clarifiantes, ont fait l'objet de nombreuses études dans le but d'explorer leur potentiel dans divers domaines. En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants sur le plan économique se trouvent principalement dans la région de l'Oranie, située à l'ouest du pays.Parmi les gisements notables, on peut citer la carrière de Maghnia, située à Hammam Boughrara, dont les réserves sont estimées à environ un million de tonnes. Un autre gisement important est celui de Mostaganem, plus précisément à M'zila, qui possède des réserves d'environ deux millions de tonnes. Ces gisements représentent un atout économique majeur pour le pays, notamment dans le secteur de l'extraction et de l'exploitation des minéraux. [15].

I.5.2. Origine de la bentonite

Les roches argileuses formées de cette manière sont appelées bentonite, du nom du gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, États-Unis). Ce minéral contient plus de 75 % de montmorillonite, découverte pour la première fois en 1847 près de la ville de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France) [16].

I.5.3. Structure et composition

La bentonite, dans sa forme brute naturelle, est une roche tendre, semblable au kaolin en termes de consistance, c'est-à-dire friable et onctueuse au toucher. Elle se caractérise par des teintes variées, allant du blanc au gris, parfois légèrement teintées de jaune. Sa formation résulte de la dévitrification des couches volcaniques, influencées par des eaux à réaction alcaline ou acide. En plus de la montmorillonite, la bentonite peut contenir d'autres minéraux argileux, tels que la kaolinite ou l'illite, ainsi que des impuretés comme le gypse ou les carbonates [17].

I.5.4. Types de bentonites

L'une des caractéristiques essentielles des montmorillonites est de posséder descations échangeables avec le milieu. Dans la nature, les cations les plus fréquemment rencontrés sont le calcium et le sodium. On distinguera donc deux types de bentonites :

- **La bentonite à base de sodium :** appelée aussi bentonite de «Wyoming» ou «bentonite de l'ouest». Sa teneur en Na_2O>2% lui confère un indice de gonflement élevé entre 15 et 20 donc cette propriété est mise en valeur dans les mastics pour l'enfouissement de matières polluantes dans les sols. Et pour la fabrication des boues de forage.
- **La bentonite à base de calcium : ou** «bentonite de sud» qui est la plus courante, et qui ne possède pas ces propriétés de gonflement. Mais sa teneur élevé en ion échangeable en particulier Mg^{2+}, lui confère une capacité d'adsorption très élevé, d'où son utilisation pour la production de terres décolorantes. Ces termes ne doivent pas prêter à confusion : une bentonite naturelle n'est jamais, ni totalement calcique, ni totalement sodique. Seul le cation dominant est ainsi désigné [18].

I.5.5. Utilisations de la bentonite

La bentonite est l'argile industrielle la plus essentielle en raison de sa forte teneur en montmorillonite, qui lui confère une grande capacité d'absorption et de gonflement. Ces propriétés sont exploitées dans divers domaines, notamment [19] :

- ✓ La protection de l'environnement
- ✓ Le forage
- ✓ La céramique
- ✓ Les peintures
- ✓ L'industrie agroalimentaire
- ✓ La décoloration des huiles
- ✓ Le raffinage du pétrole
- ✓ L'ajout d'additifs dans la fabrication du papier et du ciment en génie civil
- ✓ Le traitement des eaux usées
- ✓ La pharmacie et la cosmétique.

LES REFERENCES

[1] Magazine “Le Monde du génie civil” édition 03, Décembre 2007.

[2] Caillère S., Hénin S., Rautureau M., Minéralogie des argiles. Edition Masson, Tomse 1 et 2, p. 184 (1982).

[3]N. Jozja, étude de matériaux argileux albanais : Caractérisation multi-échelle d’une bentonite magnésienne. Impact de l’interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité. Thèse de doctorat de l’université d’Orléans (2003).

[4] Y. Chen, Q. Feng, G. Zhang, D. Liu, R. Liu, Effect of Sodium Pyrophosphate on the Reverse Flotation of Dolomite from Apatite, Minerals 278. 8 (2018)

[5] Koneshloo , Mohammad. Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d’argiles kaoliniques du bassin des Charentes . page :18

[6] Koneshloo , Mohammad. Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d’argiles kaoliniques du bassin des Charentes . page :18

[7] Jad Wakim, Influence des solutions aqueuses sur le comportement mécanique des roches argileuses. Thèse de doctorat de l’Université de l’Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. (2005)

[8] R. D Holtz et W. D. Kovacs, Introduction à la géotechnique. Edition de l’école polytechnique de Montréal. (1991)

[9] B. Frédéric, Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et chaussées, Paris (2001)

[10] BLIEFERT. C, PERRAUD.R, « Chimie de l’environnement », (traduit de l’allemand), De Boeck, Paris, 2001.

[11] Chérifa Hakima MEMOU ; Thèse de doctorat, université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen ; Préparation et Caractérisation de Nouveaux Matériaux Composites B-CD-P4VPBentonite.Application à la Rétention des Polluants Organiques. Page : 56

[12] Fatima Zohra CHOUMANE ; Elimination des métaux lourds et pesticides en solution aqueuse par des matrices argileuses ; UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID –TLEMCEN ; THESE DE DOCTORAT ; page 07

[13] CHEBLAOUI Rachida ; Mémoire de Magister ; Fixation du chrome sur une bentonite Algérienne ; Ecole Nationale Polytechnique ; page : 25

[14]. Abdelouahab C., Ait Amar H., Fixation sur des argiles bentonitiques d’ions metalliques dans les eaux residuaires, Revue. Int. Sci de l’Eau, Vol 3, 1987, pp 33-40.

[15] BatouchekH.,.Intercalation de liquides ioniques dans les argiles. Pour l’obtention du diplôme de magistère Université de constantine.p8. 2010

[16] BELBACHIR Ihssan, «Modification de la Bentonite de Maghnia et Applications dans l’adsorption de colorants textiles et de métaux lourds», THÈSE LMD

[17] Ecole Nationale Polytechnique.

[18] Guenoun Narimane, Gada Sadia, « Activation de la Bentonite de Maghnia pour usage pharmaceutique », Memoire De Master, année, université.

II.1. Introduction

La pollution de l'eau correspond à une altération nuisible de sa qualité, principalement causée par les activités humaines, mais aussi par certains phénomènes naturels. Elle a des conséquences variées, affectant autant la santé publique que les écosystèmes aquatiques.

Les éléments polluants atteignent le milieu naturel de deux manières : soit par des rejets ponctuels, issus notamment des zones urbaines ou industrielles via les réseaux d'égouts, soit par des rejets diffus, comme ceux provenant du ruissellement des sols agricoles, des zones d'élevage ou des décharges. Lorsqu'ils s'infiltrent dans le sol, ces polluants contaminent les eaux souterraines. Cette pollution est particulièrement problématique, car elle se propage lentement, persiste pendant plusieurs décennies et est difficile à éliminer ou à traiter [1].

La pollution permanente de l'eau résulte principalement des rejets issus de l'industrie, des eaux usées urbaines, ainsi que de l'utilisation de pesticides e d'engrais dans le secteur agricole. Les principales sources de cette pollution se répartissent en quatre catégories :

II.2. Origines de la pollution de l'eau

1. Les eaux usées domestiques.
2. Les rejets industriels.
3. Le ruissellement provenant des zones agricoles.
4. Les eaux pluviales et de ruissellement en milieu urbain.

II.2.1 Pollution domestique

Les eaux usées provenant des habitations sont acheminées par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Les effluents domestiques représentent un mélange d'eaux contenant des excréments humains. Ces derniers renferment à la fois des matières organiques biodégradables et des substances minérales, présentes sous forme dissoute ou en suspension [2].On distingue deux types d'eaux usées domestiques

a. Les eaux ménagères : issues de la cuisine, de la lessive et des lavabos, elles sont riches en matières grasses.

b. Les eaux de vannes : provenant des toilettes (WC), elles contiennent principalement des matières azotées et des germes fécaux

II.2.2 Pollution industrielle

Les eaux usées industrielles se distinguent par leur grande diversité, principalement en raison des différentes utilisations de l'eau selon les types d'industries. Leur composition varie considérablement

d'un secteur industriel à un autre. Elles peuvent contenir une multitude de polluants tels que des matières organiques, des composés phosphorés et azotés, des solvants, des métaux lourds, ou encore des hydrocarbures [3].

II.2.3 Pollution agricole

Elle provient principalement des activités d'élevage et de culture des sols.Les eaux usées issues de l'agriculture constituent une source importante de pollution diffuse [4].Cette forme de pollution se manifeste notamment par :

● Une concentration élevée en sels minéraux (tels que l'azote et le phosphore), résultant de l'utilisation d'engrais chimiques et de déjections animales (lisier, purin) .

● La présence de substances chimiques utilisées pour traiter les cultures, comme les pesticides et herbicides [5].

II.2.4 Pollution pluviale

Les eaux pluviales représentent une source majeure de pollution des cours d'eau, en particulier lors des épisodes orageux [6]. En effet, étant en contact direct avec l'atmosphère et les surfaces terrestres, elles se chargent de diverses impuretés avant de s'écouler vers les rivières, contribuant ainsi à leur contamination.

II.3. Les différents types de pollution des eaux

Elle concerne la présence de micro-organismes pathogènes dans l'eau, tels que les bactéries et les virus. La pollution due aux matières organiques est l'une des plus importantes et des plus courantes. Elle provient du rejet de substances plus ou moins biodégradables, notamment par certaines industries agroalimentaires et de conditionnement. Elle englobe également des composés toxiques, plus ou moins persistants, comme les phénols, hydrocarbures, tensioactifs, pesticides, entre autres [6].

II.3.1 Pollution thermique

La pollution thermique désigne la modification, à la hausse ou à la baisse, de la température naturelle de l'eau sous l'effet des activités humaines. Cette altération thermique peut perturber les écosystèmes aquatiques. Étant une pollution diffuse et non visible, elle n'est pas systématiquement reconnue comme une forme de pollution à part entière.

II.3.2 Pollution biologique

La contamination microbiologique désigne la présence de micro-organismes pathogènes dans l'eau, tels que des bactéries, des parasites ou des virus. Cette pollution provient principalement de sources fécales et résulte le plus souvent du déversement d'eaux usées mal ou non traitées dans le milieu naturel [7].

II.3.3 Pollution radioactive

Elle désigne l'introduction, volontaire ou non, de substances radioactives dans l'environnement par les activités humaines, pouvant représenter un risque pour la santé humaine [8]. Les eaux minérales extraites de formations granitiques peuvent contenir du potassium-40, du radon ou de l'uranium dissous, ce qui les rend plus radioactives que les eaux de surface [9].

II.3.4 Pollution chimique

Elle résulte de la présence de substances telles que les nitrates et les phosphates, que l'on retrouve dans les pesticides, les médicaments à usage humain et vétérinaire, les produits d'entretien, les peintures, les métaux lourds, les acides, ainsi que les hydrocarbures utilisés dans le secteur industriel [10]

II.3.5 Pollution agricole

La pollution agricole résulte principalement de l'usage excessif et mal maîtrisé des engrais chimiques et des pesticides. Le ruissellement de ces substances, ainsi que les effluents provenant des élevages, sont autant de sources qui contribuent à la contamination des cours d'eau et des nappes souterraines [11].

II.3.6 La pollution industrielle

L'essor rapide des technologies industrielles modernes a provoqué une pollution particulièrement intense. En effet, cette dernière s'est amplifiée, diversifiée et rendue plus difficile à détecter. Face à la grande variété des polluants émis, une étude spécifique à chaque secteur industriel s'impose. Il est donc essentiel de bien connaître les procédés de fabrication ainsi que les flux de réactifs et de produits.Il va de soi que le rejet d'effluents sans traitement adéquat cause des altérations nuisibles au milieu récepteur, engendrant des formes de pollution très dommageables [12].

II.4. Sources de pollution de l'eau

II.4.1.Source Naturelle

Le dioxyde de carbone (CO_2), présent dans l'atmosphère, est soluble dans l'eau et forme de l'acide carbonique (H_2CO_3) au contact de celle-ci. Cette interaction contribue à l'acidification naturelle de l'eau. Ainsi, même avant l'apparition des pluies acides d'origine humaine, les précipitations étaient

naturellement légèrement acides. Ce phénomène persiste encore aujourd'hui dans des zones préservées comme les forêts amazoniennes . [13]

II.4.2.La source industrielle

Elle constitue les déchets liquides obtenus lors de l'extraction et de la Transformation de matières premières en produits industriels.Les eaux résiduaires proviennent principalement de l'eau consommée dans de nombreuses opérations de fabrication par voie humide, comme par exemple : la Précipitation, le lavage, le nettoyage des appareils, les ateliers, les filtrations, les distillations, etc[14]

Les effluents industriels peuvent causer des pollutions organiques (industries agro- alimentaires, papeteries), chimiques (tanneries, usines textiles...) ou physiques (réchauffement par les centrales thermiques, matières en suspension des mines ou de la sidérurgie).

Ils sont responsables de l'altération des conditions de clarté et d'oxygénation de l'eau, pouvant aussi causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticide, radioactivité). La pollution peut aussi être due à l'infiltration de produits toxiques mal entreposés, à des fuites dans les réservoirs ou à des accidents lors du transport de matières dangereuses menant à des concentrations dans les eaux qui peuvent aisément atteindre 1g/l [15].

II.4.3.La source agricole

La pollution d'origine agricole provient surtout des engrais et pesticides épandus dans le sol sur de très grandes surfaces à proximité ou pas de cours d'eau . Ce type de Pollution s'est intensifié depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation assez avancé.La concentration des élevages entraîne un excédent de déjections animales qui finissent par enrichir les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés, encourageant ainsi une source de pollution bactériologique. L'utilisation massive des engrais chimiques (nitrates et phosphates) altèrent aussi la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés.

II.4. Les Polluants organiques

Les polluants organiques sont les plus nombreux et les plus dangereux. Certaines de ces substances sont même cancérigènes ou mutagènes, d'où l'importance de les éliminer.

Ils peuvent être classés en phénols, hydrocarbures, colorants, détergents et pesticides, formant de loin, la première cause de pollution des ressources en eaux. Ces matières organiques sont notamment issues des effluents domestiques (déjections animales et humaines, graisses, etc.) mais également des rejets industriels.

Elles provoquent l'appauvrissement en oxygène des milieux aquatiques, avec des effets bien évidents sur la survie de la faune. Ce sont aussi tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre ou le lactosérum des industries agro-alimentaires.

À l'inverse des matières en suspension (MES), elles constituent une nourriture de choix pour les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les matières organiques se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique et les micro-organismes vont le chercher dans les sulfates dissous (SO4-2), qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène, engendrant une odeur d'œufs pourris[16].

II.5. Les Polluants inorganiques

Les éléments sous forme de traces, présents à l'état solide dans les sols, sont mis en circulation par l'érosion qui les met en solution ou suspension. Le ruissellement sur les surfaces imperméables (sols, chaussée) ainsi que les sources anthropiques s'ajoutent à ces sources naturelles liées à l'érosion. Les métaux lourds sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure.

De nombreuses activités industrielles telles l'électronique, les traitements de surface, l'industrie chimique, utilisent des métaux d'où la possibilité de rejets dans l'environnement

Généralement, l'implantation d'unités industrielles privilégie les sites à proximité des fleuves pour le transport de matières premières, pour l'alimentation en eau de refroidissement des installations et aussi pour les possibilités de rejets des effluents industriels.

II.5. Les effets de la pollution de l'eau

II.5.1 Sur la santé humaine

La pollution est de plus en plus étroitement liée aux problèmes de santé. Les micro-organismes pathogènes, appelés agents pathogènes, sont responsables de la propagation directe de nombreuses maladies chez l'humain. Certains de ces agents sont présents à l'échelle mondiale, tandis que d'autres sont confinés à des régions spécifiques Plusieurs maladies hydriques se transmettent directement d'une personne à une autre.

Les précipitations abondantes et les inondations, souvent liées à des conditions météorologiques extrêmes, favorisent l'apparition de maladies, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Environ 10 % de la population mondiale consomme des aliments et des légumes cultivés avec de l'eau contaminée.[17].

La pollution fécale des sources d'eau est une cause majeure des maladies infectieuses d'origine hydrique, entraînant une transmission par la voie fécale-orale L'exposition à une eau polluée peut provoquer diverses affections, notamment des maladies respiratoires, des cancers, des diarrhées, des troubles neurologiques et des maladies cardiovasculaires. Par ailleurs, certains produits chimiques azotés sont reconnus pour causer des cancers et le syndrome du bébé bleu[18].

II.5.2 Sur l'environnement

- **Dégradation des écosystèmes aquatiques :**

La pollution de l'eau réduit considérablement sa qualité, ce qui a des conséquences néfastes sur les écosystèmes aquatiques. Elle peut entraîner la disparition de certaines espèces, la destruction de leurs habitats naturels et une baisse significative de la **Mortalité des poissons et d'autres organismes aquatiques**

Les substances polluantes présentes dans l'eau, telles que les métaux lourds, les pesticides ou divers produits chimiques, peuvent s'avérer toxiques pour la faune aquatique. Leur exposition prolongée à ces contaminants peut provoquer une mortalité accrue chez les poissons et d'autres organismes vivants dans ces milieux.[19].

Les produits chimiques industriels peuvent être mortels pour les poissons et perturber les communautés d'organismes aquatiques

Quant à la pollution de l'eau par les nutriments comme les engrais agricoles ou les eaux usées non traitées elle peut provoquer une croissance excessive des algues et des plantes aquatiques. Ce phénomène, appelé eutrophisation, entraîne une baisse de l'oxygène dissous, la formation de zones mortes et une altération des écosystèmes aquatiques

II.6. L'impact des rejets industriels

Les rejets issus des activités industrielles dans les milieux aquatiques soulèvent d'importantes préoccupations environnementales et sanitaires, car ils peuvent altérer durablement la qualité de ces écosystèmes, essentiels à de nombreuses fonctions. En effet, ces rejets contiennent souvent une diversité de polluants et de contaminants dont il est crucial d'évaluer la dangerosité et les risques avant toute libération dans l'environnement.[20].

Pour être autorisés à être déversés dans la nature, les effluents industriels doivent répondre à des critères stricts de qualité. Ces exigences visent notamment à maintenir les concentrations de polluants en dessous de seuils réglementaires fixés par arrêté préfectoral. Afin de respecter ces normes, les eaux usées industrielles sont généralement soumises à des traitements de décontamination visant à réduire la concentration des substances dangereuses pour l'environnement et la santé humaine.

Cependant, la composition chimique de ces effluents est souvent complexe et variable, en raison des fluctuations de l'activité industrielle. Cette variabilité complique le processus d'épuration, même avec des technologies de traitement de plus en plus performantes. En règle générale, ces traitements ne permettent pas une élimination totale des polluants. Ainsi, bien que les rejets respectent les normes en vigueur, ils peuvent encore contenir des substances potentiellement nocives lors de leur introduction dans les milieux aquatiques

LES REFERENCES

[1] M.CHAOUKI, Evolution spatio-temporelle et la vulnérabilité à la pollution des eaux Souterraines de la région d'Ouargla, thèse Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.

[2] BENGOUGA, Khalila. Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra. 2010

[3] GHERARA, Nabila. Étude des performances de la station d'épuration des eaux usées de la région HAOUD BERKAOUI. Thèse de doctorat. 2019

[4] METAHRI, Mohammed Saïd. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la villede Tizi Ouzou.. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri. 2012

[5] KRID, Loubna et BOULDJEDRI, M. Evaluation spatio-temporelle de la qualité physico chimique des eaux du lac El-Kennar. Thèse de doctorat. Université deJijel. 2006

[6] DEHBI, Fatima Zohra. Etude comparative des performances d'un lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf et d'un lit bactérien à garnissage plastique. Thèse de doctorat. 2015

[7] BEN MEHRAZ, Ahcene et LOUELH, Djamel. Contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager «ENIEM». Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri. 2016

[8] BEN MEHRAZ, Ahcene et LOUELH, Djamel. Contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager «ENIEM».Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri. 2016

[9] Habila S.. Etude De L'impact Du Barrage Beni Haroun Sur L'environnement : Effets Eco-Toxicologique. Mémoire De Magister. Université De Jijel., 176 P(2008)

[10] BEN MEHRAZ, Ahcene et LOUELH, Djamel. Contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager «ENIEM». Thèse de doctorat. 2016

[11] MARINE, Master En Hydrobiologie. Contribution à l'étude de la qualité des eaux de baignade de la crique de la salamandre.

[12] Olivier A.Chimie et pollution des eaux souterraines, Tec et Doc Lavoisier . (2005)

[13] MECHEDDOU, Chahrazed et BARR, Kahina. Valorisation des carapaces des crevettes dans la dépollution des eaux : Extraction du chitosane et optimisation des procèdès.2028.

[13] MECHEDDOU, Chahrazed et BARR, Kahina. Valorisation des carapaces des crevettes dans la dépollution des eaux : Extraction du chitosane et optimisation des procèdès.2028.

[14] F. Meinck, H. Stooff, H. Kohlschutter Les eaux résiduaires industrielles, 2ème édition MASSON (1977).

[15] Emilian Koller Traitement de pollutions industrielles», (2004).

[16] Actes d'une réunion d'experts de l'OCDE, indicateurs environnementaux pour l'agriculture volume

3, édition OCDE, Zurich, Suisse, novembre (2001).
[17] Kamble SM.. Pollution de l'eau et problèmes de santé publique dans la ville de Kolhapur, dans le Maharashtra. Revue internationale de publications scientifiques et de recherche. 4(1):1-6. (2014)
[18] Paul MJ., Meyer JL.. Ruisseaux dans le paysage urbain. Revue annuelle d'écologie et de systématique, 32(1), 333-365. (2001)
[19] Chapman PM., Wang FY. Évaluation de la contamination des sédiments dans les tuaires. Toxicologie et chimie environnementales, 20(1), 3-22. (2001)
[20] MORIN-CRINI, Nadia, CRINI, Grégorio, et ROY, Laurent. Eaux industrielles contaminées. Presses universitaires de Franche-Comté, 2017.

III.1. Historique

Les phénomènes d'adsorption ont été observés pour la première fois dans les liquides par Lowitz en 1785. Quelques années plus tard, cette découverte a trouvé une première application industrielle dans une raffinerie de canne à sucre, où l'adsorption a été utilisée pour décolorer les sirops. En 1860, le charbon de bois a été employé pour éliminer les goûts et les odeurs indésirables de l'eau.

Au début du XXe siècle, les avancées scientifiques ont permis de développer davantage les techniques d'adsorption. Durant la Première Guerre mondiale, l'efficacité du charbon actif pour la purification a été démontrée à travers diverses applications. **[1]**

III.2. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un phénomène physico-chimique qui se manifeste par une modification de la concentration d'une substance à l'interface entre deux phases non miscibles, telles qu'un liquide et un solide, ou un gaz et un solide. Elle met en jeu un couple constitué d'un adsorbat (substance retenue) et d'un adsorbant (matériau qui retient). **[2]**

Plus précisément, l'adsorption sur un solide correspond à la fixation de molécules provenant d'une phase gazeuse ou liquide à la surface de ce solide**. [3]**

Ce phénomène de surface implique des interactions physiques et/ou chimiques entre les molécules du fluide et le matériau solide.

En tant que procédé, l'adsorption peut être considérée comme une opération physique de séparation, dans laquelle une substance est extraite d'un mélange pour se concentrer à l'interface avec un autre matériau.

De manière générale, l'adsorption désigne tout processus entraînant l'accumulation d'une substance à l'interface entre deux phases, sous l'effet d'interactions variées, et ce, selon une intensité qui dépend de la nature des forces. **[4]**

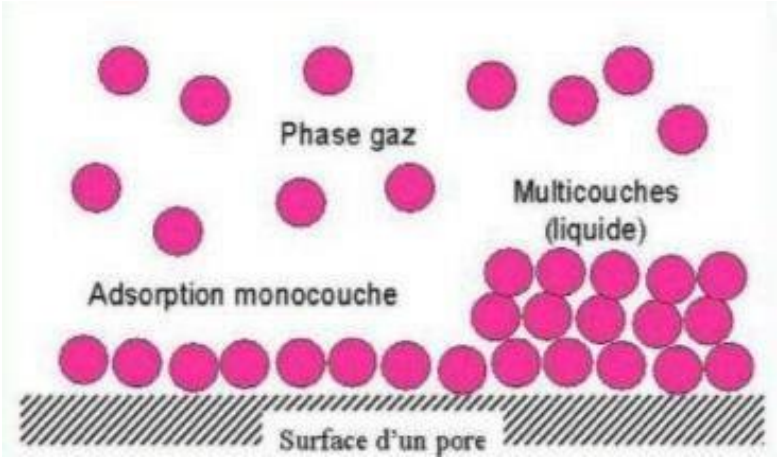


Figure III. 1 : schéma simplifie représentant le phénomène d'adsorption

III.3. Type d'adsorption

III.3.1 L'adsorption physique, ou physisorption

Est un phénomène courant dans de nombreux procédés de séparation. Elle repose sur l'attraction entre les atomes ou groupements d'atomes du solide et les molécules adsorbées. Ces forces attractives sont de nature physique, principalement des forces de Van Der Waals, qui sont relativement faibles (2 à 10 kcal/mol)**[5].** Ce type d'adsorption est réversible, c'est-à-dire que les molécules adsorbées peuvent être facilement libérées par une réduction de la pression ou une augmentation de la température. L'adsorption physique implique la condensation de molécules sur la surface du solide, un processus favorisé par une température basse. [**6]** Elle se déroule rapidement et est souvent limitée par la diffusion des molécules. Ce phénomène donne lieu à la formation de multicouches d'adsorbats, où la première couche résulte des interactions adsorbat/adsorbant et les couches suivantes des interactions adsorbat/adsorbat. Ce processus ne modifie pas la structure moléculaire des substances adsorbées. **[7]**

III.3.2 L'Adsorption chimique (ou chimisorption)

La chimisorption implique la formation d'une ou plusieurs liaisons covalentes ou ioniques entre l'adsorbant et l'adsorbat. Ce type d'adsorption est généralement irréversible, car il entraîne une transformation des molécules adsorbées. Contrairement à la physisorption, la chimisorption ne permet pas l'accumulation de plusieurs couches : seules les molécules en contact direct avec la surface du solide sont concernées. Elle se caractérise par une forte énergie d'adsorption et est favorisée par des températures élevées. De plus, la distance entre la surface et la molécule adsorbée est plus faible que dans la physisorption**.[8]**

III.4. Mécanisme d'adsorption

Pour mieux comprendre et quantifier la rétention, il est essentiel d'examiner les phénomènes à l'échelle moléculaire, en particulier les mécanismes d'adsorption. Les liaisons entre les composés adsorbants peuvent être classées en deux catégories selon leur énergie :

1. Liaisons de forte énergie (> 80 kJ/mol)
   - Liaisons ioniques
   - Échanges de ligands
2. Liaisons de faible énergie (< 80 kJ/mol)
   - Interactions dipôle-dipôle
   - Liaisons hydrogène
   - Interactions hydrophobes

Sur la base de ces types de liaisons, quatre mécanismes principaux d'adsorption peuvent être identifiés :

- Adsorption ionique ou échange d'ions
- Adsorption par liaison hydrogène

- Adsorption par les forces de Van der Waals Rétention hydrophobe **[9].**.

III.5. Les facteurs influençant l'adsorption

III.5.1. Natures de l'adsorbat

Pour qu'il y ait une bonne adsorption, il est nécessaire qu'une affinité existe entre le solide et le soluté. En général, les solides polaires ont une affinité plus forte pour les substances polaires, tandis que les solides non polaires adsorbent préférentiellement des substances non polaires. De plus, l'affinité du substrat pour l'adsorbat augmente avec la masse moléculaire de ce dernier. Cette observation, formulée initialement par la règle de Traube, a été enrichie par Freundlich, qui a précisé que l'adsorption des substances organiques, à partir de solutions aqueuses, augmente de manière significative et régulière lorsque la longueur de la chaîne moléculaire croît dans une série homologue. **[10]**

III.5.2. Température

La température qui détermine la nature de l'adsorption : étant un processus exothermique, l'adsorption est favorisée à des températures basses.

III.5.3. Surfaces spécifiques

La surface spécifique est une caractéristique clé pour la caractérisation des solides et des matériaux poreux. L'objectif est d'obtenir des adsorbants ayant une surface spécifique élevée, ce qui fait référence à la surface accessible par unité de poids d'adsorbant.

III.5.4. Natures de l'adsorbant

L'adsorption d'une substance augmente lorsque la taille des particules de l'adsorbant diminue. Cela permet aux molécules de la solution de pénétrer dans les capillaires de l'adsorbant. Ainsi, la subdivision des particules solides influence directement les pores de l'adsorbant ainsi que la surface spécifique qui est alors accrue. Toutefois, si les dimensions des pores sont inférieures aux diamètres des molécules d'un des composants de la solution, l'adsorption de ce composé ne se produit pas, même si la surface de l'adsorbant présente une grande affinité pour ce dernier. **[11]**

III.6. Isotherme d'adsorption

L'étude de l'adsorption d'un gaz par un solide a pour principal objectif de fournir des informations précieuses sur la surface spécifique ainsi que sur la structure poreuse du solide étudié. La quantité de gaz adsorbée par un échantillon dépend de plusieurs facteurs : la nature chimique du gaz et du solide, la température (T) ainsi que la pression de la vapeur (P).

$$\boldsymbol{Na = f(P, T, gaz, solide)}$$

Na: représente le nombre de moles adsorbées.

Pour un système particulier à une température donnée, l'isotherme d'adsorption

Est l'expression de la quantité adsorbée en fonction de la pression **[12].**

$$\mathbf{Na = f(p)T, gaz, Solide}$$

III.7. Modélisation d'isothermes d'adsorption

Plusieurs modèles ont été développés pour étudier l'adsorption. Ceux-ci permettent de décrire la relation entre la quantité de soluté adsorbée et sa concentration dans un solvant à température constante. Parmi ces modèles, celui de Langmuir (1918) est l'un des plus fréquemment utilisés.

III.7.1. Isotherme de Langmuir

Langmuir **[13]** propose le modèle suivant:

$$q_{e=\frac{bc_e}{1+bc_e}}$$

La linéarisation de l'équation de Langmuir selon Scatchard donne :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} Ce + \frac{1}{q_{mb}}$$

Ou :

b: la constante de Langmuir.

qm: La capacité maximale d'adsorption.

Si l'équation de Langmuir est vérifiée, en traçant $\frac{ce}{q_e}$ en fonction de Ce, une droite de pente $\frac{1}{q_m}$ et d'ordonnée à l'origine $\frac{1}{q_{m.b}}$.

Nous avons déterminé les paramètres de Langmuir à savoir qm et **KL**; et déterminé aussi le facteur de séparation **RL**. Défini par:

$$\mathbf{RL}= \frac{1}{1+C_{eKL}}$$

Ou:

RL: facteur de séparation (adimensionnel).

KL: constante de Langmuir (L / m g)

Selon les valeurs de obtenues le procédé d'adsorption est jugé comme:

Non favorable: si RL > 1

Linéaire: si RL = 1

Favorable: si 0 > RL > 1

Irréversible: si RL = 0

III.7.2. Modèle de Freundlich

L'équation empirique suivante est fréquemment utilisée pour représenter de manière pratique l'équilibre d'adsorption. Bien qu'elle ne repose sur aucune base théorique, elle correspond bien aux résultats expérimentaux observés pour l'adsorption de micropolluants sur des solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles **[14].** Le modèle de Freundlich est exprimé sous la forme :

$$q_e = KC^{n}{}_{e}$$

qe : Quantité adsorbée par gramme du solide (mg/g),

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

K et l/n : Constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté spécifique.

Pour vérifier la validité de cette équation, on effectue une transformation logarithmique, ce qui donne la forme linéarisée suivante :

$$lnq_e = \mathrm{LnK} + \frac{1}{n} lnc_e$$

En traçant **Lnqe** en fonction de **Lnce**, on obtient une droite dont la pente est l'ordonnée à l'origine est **lnk** .

III.7.3. Isotherme de Temkin

Temkin et Pyzhev ont pris en compte l'effet des interactions entre l'adsorbat et l'adsorbant sur l'isotherme d'adsorption. Ils suggèrent que, en raison de ces interactions, la chaleur d'adsorption diminue linéairement avec l'augmentation du taux de recouvrement de la surface de l'adsorbant. Cela est exprimé par la formule suivante **[15]**

$$\mathbf{lnq_e = lnK + \frac{1}{n} lnC_e}$$

III.7.4. Isotherme BET (Bruneau, Emmett, Teller)

Une distribution homogène des sites sur la surface de l'adsorbant est supposée dans ce modèle, avec l'existence de deux énergies d'adsorption. La première énergie retient la première couche de molécules

adsorbées, tandis que la deuxième énergie retient les couches suivantes. Le modèle explique également le phénomène de saturation et introduit la solubilité du solide dans le solvant sous la forme de la concentration de saturation.

L'isotherme de BET est représentée par l'équation suivante **[16]**

$$\frac{Q}{q_m} = \frac{KB\left(\frac{c}{c0}\right)}{1 -}$$

C: concentration au temps (mg/L).

C_0: Concentration initiale (mg/L).

qt: capacité adsorbée au temps (mg/g).

qm: capacité de rétention monomoléculaire (mg/g).

KB: constante de B.E

III.8. La Cinétique d'adsorption

La connaissance des paramètres d'équilibre d'adsorption permet d'évaluer la capacité d'un support à adsorber un composé donné. Toutefois, pour prédire l'évolution temporelle du processus, il est également nécessaire de déterminer les paramètres cinétiques.

Le transfert d'un adsorbat de la phase liquide jusqu'à un site actif d'adsorption, illustré dans la figure (II.4), se déroule en plusieurs étapes successives **[17]** .

1. Transfert initial de l'adsorbat depuis la phase liquide vers la couche limite du film liquide entourant la particule solide, par convection ou diffusion. Cette étape est généralement très rapide.

2. Transfert à travers le film liquide jusqu'à la surface externe de l'adsorbant. Cette étape est également rapide.

3. Diffusion interne au sein de la particule d'adsorbant, sous l'effet d'un gradient de concentration. C'est l'étape la plus lente du processus et elle peut se dérouler selon deux mécanismes :

3a : Diffusion de surface, lorsque l'adsorbat est sous forme adsorbée.

3b : Diffusion dans les pores, lorsque l'adsorbat reste à l'état libre

3. Adsorption dans les micropores, correspondant à l'ancrage final sur les sites actifs. Cette étape est très rapide.

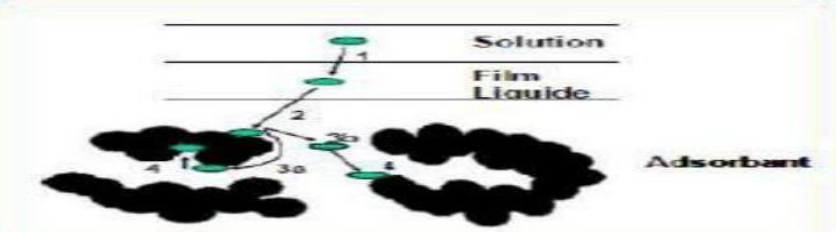


Figure III. 2 : les étapes de la cinétique d'adsorption

Le transfert, lors de l'adsorption ou de la désorption, est principalement dû à une Différence de concentration. On peut donc faire varier le taux d'adsorption en faisant varier La concentration de l'adsorbant ou de l'adsorbat. Si le taux de charbon est augmenté dans la Matrice, il va adsorber une plus grande quantité de pesticides et de matière organique.

De plus, ce phénomène est influencé par de nombreux facteurs, relatifs aux propriétés Physico-chimiques du charbon, de l'adsorbat et des conditions extérieures. Les phénomènes d'adsorption et de désorption sont instantanés. **[18]**

III.9. Domaine d'application de l'adsorption

L'adsorption qui s'avère comme un traitement efficace à l'industrie. En pratique, elle

Est utilisée dans les cas suivants **[19]**

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

LES REFERENCES

[1] Daoud. T, Bio sorption Simultanée du Plomb et du Fer sur une Biomasse Morte, La Streptomyces Rimosus, Ecole nationale polytechnique -ENP- 10 avenue Hassan badi, el- Harrach -Alger, juin, 2007.

[2] Daoud. T, Bio sorption Simultanée du Plomb et du Fer sur une Biomasse Morte, La Streptomyces Rimosus, Ecole nationale polytechnique -ENP- 10 avenue hassan badi, el harrach -Alger, juin, 2007.

[3] Chikhi. K, Adsorption du zinc sur la bentonite de Maghnia, Master Académique, Université KasdiMerbah -Ouargla, 19/06/2013.

[4] Khalfaoui. A, Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange Et de Banane, Thèse de Doctorat, Université Mentouri -Constantine, 2012

[5] Rhodes C.N.et al. « the effect of acide tratment on the activity of clay supports for $ZnCl_2$ alkylation catalysts. Chem. Soc. Chem. Comm., 804-807 ». 1991

[6] Aipea. « Association Internationale Pour l'Etude des Argiles. Newsletter n°32. 1996

[7] M. Réda Bou chicha, Etude de la cristallisation et des propriétés mécaniques et diélectriques de céramiques préparés à partir de kaolin-dolomite. Université Elhadj Lakhdar –Batna. 2010.

[8] Melle NAIT MERZOUG Nesrine, application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques, thèse de magister, université Mohamed chérif Massaadia Souk-Ahras, faculté des sciences et la technologie, 2014

[9] Nouzha BOUZIANE, elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, magister en chimie, universite Mentouri de Constantine, faculté des sciences exactes département de chimie, 30 mai 2007.

[10] S.Haddoum, S.Selatnia, , Biosrption du plomb surbiomasse (pleuratus Mutilus); mémoire de magistère, école nationale supérieure polytechnique. 2008

[11] S.E. Chitour,. Chimie des surfaces, Introduction à la catalyse, Edition OPU.Alger. 1981

[12] Slaslim. A, Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux : Approches Théorique et expérimentale, Thèse de doctorant, Université de Neuchâtel, 3/12/2002

[13] G. Aliprandi, Matériaux réfractaires et céramiques technique, 1 éd.,Paris:septima, 1979.

[14] Oubagha. N, Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique, Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou, 15/11/2011.

[15] Djelloul. A, Etudier de modéliser la sorption d'un colorant basique, le bleu De méthylène (BM), Thèse de Magister.

[16] Lamri. N, Elimination du colorant orange ii en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption, Mémoire de Magister, Université Mentouri-Constantine, 02/12/2010.

[17] Bouziane. N, Élimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par Adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, Mémoire de Master, Université Mentouri-Constantine, 30/05/2007.

[18] Schrotter J-C.Daines. C ; Bozkaya. B ; Elimination de la matière organique dans les Concentras membranaires, Anjou Recherche Chemin de la Digue-BP76, (2008).

[19] Chouat. M ; laboubi. F, Etude de l'adsorption du bleu méthylène par charbon actif, Mémoire de Master, Université Mohamed Khaider-Biskra, Juin 2013.

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude expérimentale de la adsorption sur des supports naturel de bentonite de polluants organiques et inorganiques contenues dans l'eau tels que des colorants et des cations de métaux lourds, respectivement. Comme mentionné auparavant, une description des différents supports utilisés pour l'adsorption ainsi que les méthodes de traitement physiques et chimiques appliquées sur ces derniers, ainsi que les méthodes d'analyses utilisées seront présentées [1].

IV.2. Méthodologie expérimentale

Dans le but de la valorisation des déchets agricoles, des supports abondants, moins coûteux et efficaces pour la rétention d'une espèce métallique, des colorants ainsi qu'un composé métallique ont été testés. Cette étude repose sur la proposition de différant type de bentonite. Ces derniers ont été utilisés dans l'adsorption des différents polluants à l'état brut et après avoir subi des traitements consistant en des activations thermiques et chimiques. Ceci a aussi permis d'examiner l'effet de ces traitements sur la performance de ce procédé d'adsorption dans la dépollution de milieux aqueux. Tous les équipements et les méthodes de traitement sont présentés ci-dessous [1].

IV.2.1. Matériels

1- Spectrophotomètre UV visible (UV MINI 1240/SHIMADZU).
2- Spectrophotomètre FTIR-8400 (INFRADER SPECTOPHOTOMETR/SHIMADZI).
3- pH-mètre
4- Verreries diverse (fioles, pipette, erlenmeyer, bécher,...)
5- Balance analytique (ELECTRONIC BALANCE/JOANLAB).
5- Papier pH.
6- Etuve (MEMMERT).
07- Tamiseur (ANALYSENSIEB-RETSH-5657 HAANW)

-

IV.2.2. Produits chimiques

1- Solution chlorure de sodium (Nacl 1N).
2- Solution d'acide chlorhydrique (HCI 1N).
3- Solution d'acide sulfurique
(H2SO4 1N).
4- Dimèthyle sulfoxide (DMSO).
5- L'eau distillée.

6- Les Colorants

La Fushion basique

Le bleu de méthylène

7- Les Métaux

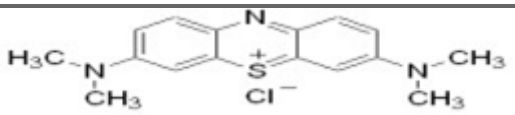
- Sulfate de cuivre II ($CuSO_4$).
- Chlorure de fer ($FeCl_2$).

✓ **Les Colorants**

Bleu de méthylène

Le colorant bleu de méthylène est un colorant cationique d'indice CI 52015, sa formule est C16H18N3SCI et sa masse molaire est de 319.85 mol/g. [1] C'est une molécule organique appartenant à la famille des Xanthines. Ce colorant est choisi comme modèle représentatif des polluants organiques de taille moyenne et sa structure chimique, les différentes caractéristiques physicochimiques sont illustrées sur le tableau (III.1).

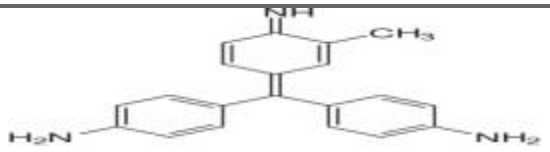
Tableau III.1.Caractéristiques physico-chimiques de bleu de méthylène [1].

Formule brute	**C16H18ClN3S**
Structure chimique	
Dénomination chimique	**chlorure de bis-(dimethylamino)- 3,7 phenazathionium**
Masse molaire	**319,85 g/mol**
ΛMax	**664 nm**
Apparence	**Poudre bleu foncé inodore**
Solubilité dans l'eau	**50 g/L eau à 20 °C**

La fuchsine basique

C'est un colorant triaminotriphénylméthane de formule moléculaire $C_{20}H_{20}N_3$.C'est un mélange de trois colorants Para rosaniline, Rosaniline et Magenta II et donc connu sous le nom de Magenta II. C'est un de ces rares colorants inflammables ; Ce produit intervient dans la coloration de Gram, mais aussi dans les milieux de culture bactériens. Le tableau IV.2 récapitule l'ensemble des propriétés physico-chimiques de ce colorant.

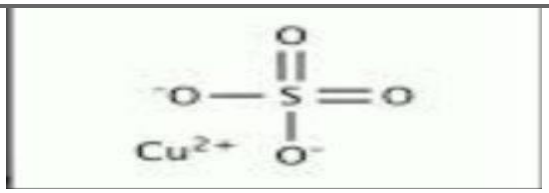
Tableau IV.2. Caractéristiques physico-chimiques de fuchsine basique.

Formule brute	**$C_{20}H_{20}N_3 \cdot HCl$**
Structure chimique	
Dénomination Chimique	4-[(4-Aminophényl)-(4-imino-1-cyclohexa-2,5-dienylidene) méthyl aniline hydrochlorure
λMax	540nm
Masse molaire	337,86g/mol
Apparence	solide vert sombre
Solubilité dans l'eau	2 650 mg/L d'eau à 25 °C

- **Le sulfate de cuivre ($CuSO_4$)**

Le sulfate de cuivre est un composé inorganique constitué de cuivre, de soufre et d'oxygène, de formule moléculaire $CuSO_4$. Il se présente le plus souvent sous forme de pentahydrate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), qui est la forme la plus couramment utilisée, caractérisée par une couleur bleue intense. Ce composé est également connu sous le nom de vitriol bleu ou vitriol de cuivre.

Tableau IV.3 Caractérisation physico-chimique de sulfate de cuivre

Formule brute	**CuSo4**
Structure chimique	
Dénomination Chimique	**Sulfate de cuivre**
λ_{Max}	**810nm**
Masse molaire	**159,62g/mol**
Apparence	**Cristaux bleus**
Solubilité dans l'eau	**200mg/ml d'eau 20 °C**

Le chlorure de fer(II)

Le chlorure de fer(II) est un sel inorganique de formule chimique $FeCl_2$. Il se présente généralement sous forme de cristaux verdâtres ou blancs lorsqu'il est anhydre, et vert pâle en solution. Ce composé est sensible à l'air, où il s'oxyde facilement en chlorure de fer(III). Il est utilisé en chimie analytique, dans les réactions de réduction, ainsi que dans la synthèse de divers composés organométalliques. Le chlorure de fer(II) intervient également dans certains milieux de culture bactériens et dans le traitement des eaux. Le tableau IV.2 récapitule l'ensemble des propriétés physico-chimiques de ce composé.

Tableau IV.4 .Caractérisation physico-chimique de chlorière de fer

Formule brute	**$Fecl_2$**
Structure chimique	**Cl-Fe-Cl**
Dénomination Chimique	**Chlorure de Fer**
λMax	**450nm**
Masse molaire	**126 ,75g/mol**
Apparence	**Cristaux bleus**
Solubilité dans l'eau	**640mg/ml d'eau 20°C**

IV.2.3. Méthodes d'analyse

a. La pesée des produits utilisés

Les produits chimiques de pureté analytique, servant à préparer les solutions, sont pesés à l'aide d'une balance (Denver Instrument).La gamme de mesures est comprise entre 0.25 et 10g avec une précision de 0.0001g dans une zone de température comprise entre 10 et 30 °C.

b. pH Métrie

Les mesures du pH des différentes solutions ont été réalisées à l'aide d'un pH-mètre [128] (STARTER 3100/OHAUS) équipé d'une électrode de verre combinée. Le pH-mètre a été étalonné à l'aide des solutions tampons commerciales, voir figure (III.1)



Figure IV.1. PH mètre

C. Analyse par FTIR

La Caractérisation des différents adsorbants (écorces d'orange de citron et de mandarine) avant et après adsorption des colorants et des métaux a été réalisée par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). La spectroscopie infrarouge est une méthode d'analyse qui vise la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, permettant la reconnaissance des fonctions chimiques présentes dans le matériau . C'est l'un des outils les plus utilisés pour la caractérisation et l'identification des molécules organiques. La spectrométrie IR est une méthode de caractérisation rapide et sensible de la plupart des molécules existantes.

- ✓ **Spectrophotomètre FTIR-8400** : un Spectrophotomètre à transformée de Fourier (FTIR) adapté aux mesures des bandes d'adsorptions entre 400 cm-1et 4000 cm-1, de type (Shimizu- Japon). (Figure III.2)



Figure IV.2. Spectrophotomètre FTIR-8400

IV.2.3 Préparation et caractérisation des bentonites

Les figures ci-dessous représentent les différents type de bentonite utilisées dans cette étude (a) Bentonite de Righa, (b) Bentonite de Maghnia,(c) Bentonite et de Mostaganem dans leur état brut. Des quantités de matériaux ont été préparées en vue de la réalisation des essais de caractérisation et d'adsorption dans le cadre de ce travail. La préparation des adsorbants comporte 4 étapes physiques qui sont : **lavage et sédimentation**, et finalement **séchage** et **tamisage**.



(a) **(b)** **(c)**

Figure IV.1. Bentonite de (a) Righa (b) Maghnia (c) Mostaganem

- **Lavage et sédimentation**

Le lavage consiste à prendre 10 g d'argile qui sont dispersés dans 500ml d'eau distillée, sous agitation magnétique, pendant 15min à température ambiante. Après décantation, la partie surnageant est filtrée puis séchée à 80°C. Le produit obtenu est broyé au mortier.

La sédimentation est une méthode fondée sur la relation existante entre la taille des particules et leur vitesse de chute dans un liquide donné, et qui permet l'élimination des matières solubles dans l'eau.



Figure IV.2 . Etuve

- **Séchage et tamisage**

On récupère notre argile et on la met dans un mortier et broyer après on le met dans le tamis de 0.2 mm.



Figure IV. 3. bentonites obtenues après le tamisage (a) Righa (b) Maghnia

(c) Mostaganem

IV.2.4 Activation des bentonites

a. Activation par H_2S0_4

Ce procédé d'échange consiste à disperser une masse de 250g de l'argile naturelle dans 200ml l'eau distillée dans un mortier. Puis on ajoute 50 ml d'acide sulfurique, on laisse la suspension décontracter l'air, on remarque la précipitation des sédiments noir après certaine temps La suspension obtenue est lavée plusieurs fois à l'eau distillée jusqu'au le PH-6 puis séchée à une température de 85 °C, broyée et tamisée.

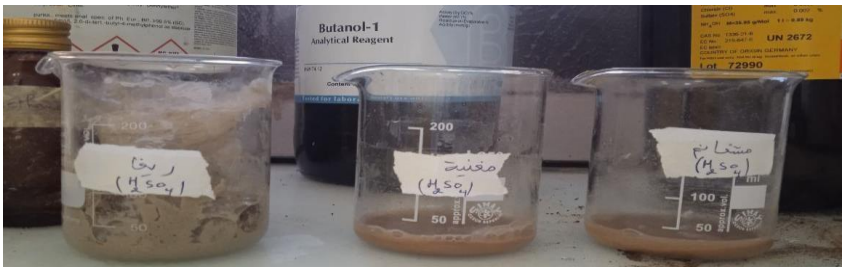


Figure IV.4. Traitement des bentonites avec d'acide sulfurique

b. Activation par Nacl

Pour effectuer l'échange on procède de la façon suivante **[10]** : Nous avons ajouté 58.5g de NaCl dissoutes dans 1L d'eau distillée, on prend 10 g de l'argile traitée que l'on disperse pendant 12heures à la température ambiante dans la solution de chlorure de sodium. La solution est ensuite précipitée puis lavée à l'eau distillée. Ce lavage est conduit jusqu'à élimination totale es ions chlorures.

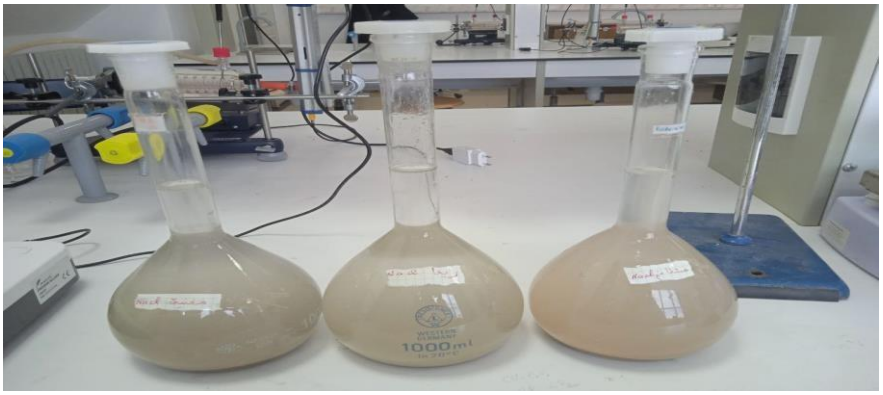


Figure IV.5. Traitement de bentonite avec NaCl

c. Modification de l'argile par le DMSO

Pour modifier la bentonite par le DMSO, on a procédé de la manière suivante **[17]**

- On prend 5.4g de l'argile purifiée avec 54 ml de DMSO.
- Agitation pendant 80 heures à température ambiante.
- Centrifugation pendant 10 min (4500 tours/min).
- Séchage à 60°C pendant 24 heures, broyage et tamisage à 250 µm. Centrifugation pendant 10 min (4500 tours/min).



Figure IV.6. Modification de bentonite avec DMSO

d. Activation par HCL

10g d'argile en poudre est attaqué par de l'acide chlorhydrique HCl 0,1N (250 ml) pendant 4 heures. Après filtration, on lave par l'eau distillée .Le but de ce traitement est de dissoudre les carbonates, les oxydes et les hydroxydes qui relient les cristaux argileux entre eux.

IV 4. Caractérisations des bentonites

a. Mesure de l'humidité

- Peser 10 g de bentonite (produit fini).
- Sécher à l'étuve jusqu'à poids constant (2 heures).
- Peser l'échantillon séché.

$$\cdot \text{Humidité (\% en poids)} = \frac{perte\ en\ poids}{poids\ de\ léchantilion}$$

b. Taux de gonflement

- Remplir la burette avec de l'eau distillée.
- Peser 0.5 g de bentonite (produit fini) et en la verse dans la burette.
- Laisser le pendant 45 mn après en le ajouté un 0.5 g de bentonite.
- Laisse gonfler pendant 2 heures.
- noter le volume de gonflement.

$$\text{Indice de gonflement} = \frac{volume\ de\ gonfle \times 50}{50 - Humidité}$$

c. Mesure PH

Le pH est mesuré avec un pH- mètre dans le filtrat de 0.3 g de bentonite mis en contact avec 30 ml d'eau distillée préalablement agitées pendant 2 heures.

d. Mesure de conductivité

La conductivité électrique caractérise l'aptitude d'un matériau ou d'une solution à laisser les charges électriques se déplacer librement et donc permettre le passage d'un courant électrique. On mélange 0.3g d'adsorbant activé avec 30 ml d'eau distillée. Après agitation, on mesure la conductivité de la solution grâce à un conductimètre.

IV. 5. Spectroscopie UV/Visible

La solution mère de chaque colorant (fushion basique,bleu de méthylène) (10 mg/l) a été préparée par dissolution de 50 mg de poudre dans 1 L d'eau distillée. Les solutions filles devant servir à l'analyse, ont été obtenues par des dilutions successives jusqu'aux concentrations désirées. Les courbes d'étalonnages des colorant et solutions métalliques été établies pour les différentes concentrations allant de 2 mg/l jusqu'à 10 mg/l.

Les solutions mères de sulfate de cuivre et chlorure de fer été préparée par dissolution de 50mg de poudre dans 1L d'eau distillées. Les solutions filles devant servir à l'analyse, ont été obtenues par des dilutions jusqu'aux concentrations désirées. La courbe d'étalonnage de métal a été établie pour les différentes concentrations de solution fille allant de 2 mg/l jusqu'à10 mg/l.

IV.5.1 .Détermination de la longueur d'onde maximale

Avant d'effectuer les études de traitement des colorants par adsorption, la première approche consiste la détermination des propriétés spectrophotométrique UV-visible de colorant c'est à dire la détermination de la longueur d'onde maximale (λmax) pour laquelle l'absorbance est maximale et la vérification de la loi de Beer-Lambert dans un domaine de faible concentration. Pour déterminer (λmax) de chaque colorant utilisé nous avons tracé l'absorbance en fonction de lambda, et ce pour une longueur d'onde variée entre 200 nm et 800nm.

Les résultats des mesures de l'absorbances pour chaque colorant Les longueurs d'ondes maximales d'absorption obtenues pour les trois colorants sont respectivement, **664 nm et 540nm** pour le **bleu de méthylène la fuchsine basique** respectivement, et **810 nm et 450nm** pour le sulfate de cuivre et le chlorure de fer respectivement.

IV.5.2.Etablissement de la courbe d'étalonnage

Afin d'établir la courbe d'étalonnage, des solutions de différents polluants ont été préparée. Ces solutions sont considérées comme solutions mères. Puis à partir de ces solutions on prépare les autres solutions filles à différentes concentrations allant de 0.5mg/l à 6 mg/l. les courbes d'étalonnage sont illustrés sur les figures ci-dessous.

- **Bleu de Méthylène**

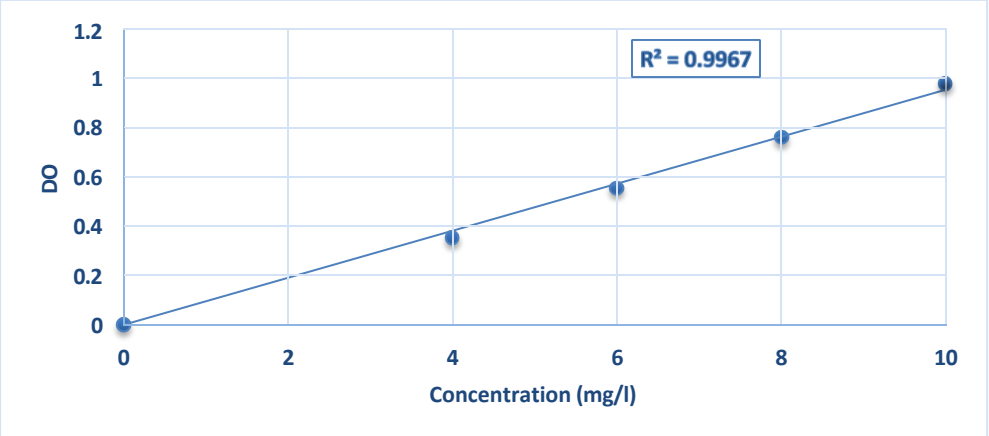


Figure IV.7. Courbe d'étalonnage de Bleu de méthylène à λmax.

- **Fuchsine basique**

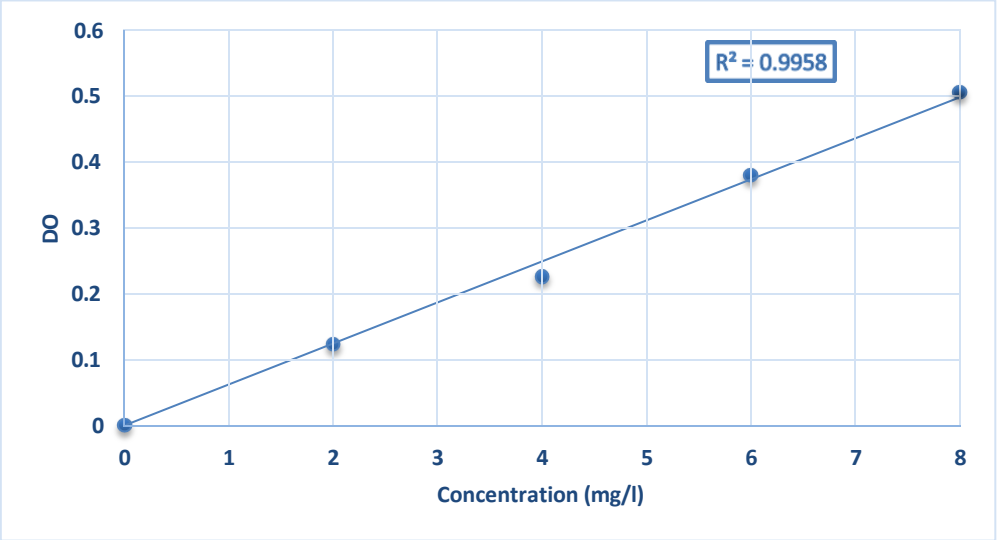


Figure IV.8. Courbe d'étalonnage de Fuchsine basique à λmax.

- **Sulfate de cuivre**

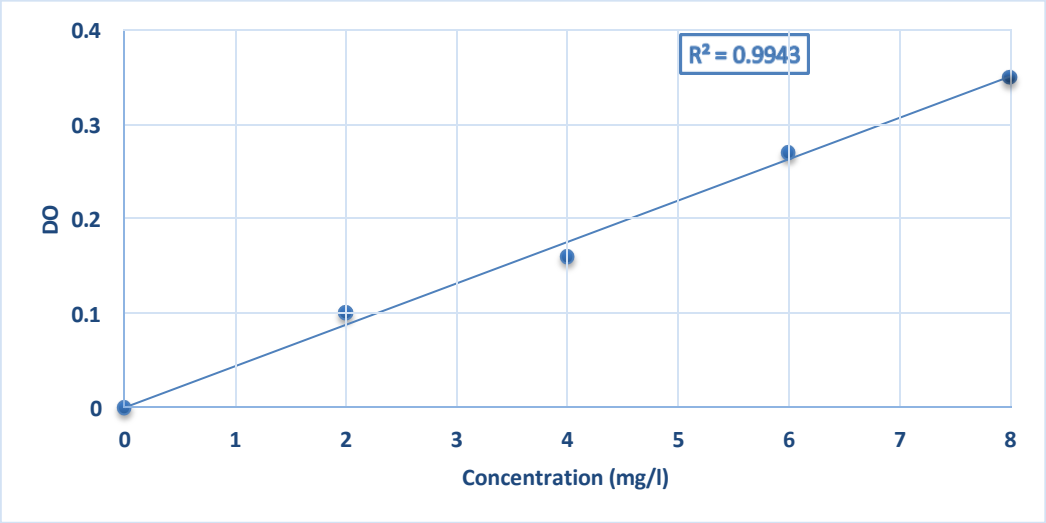


Figure IV.9. Courbe d'étalonnage de sulfate de cuivre à λmax.

- **Chlorure de fer**

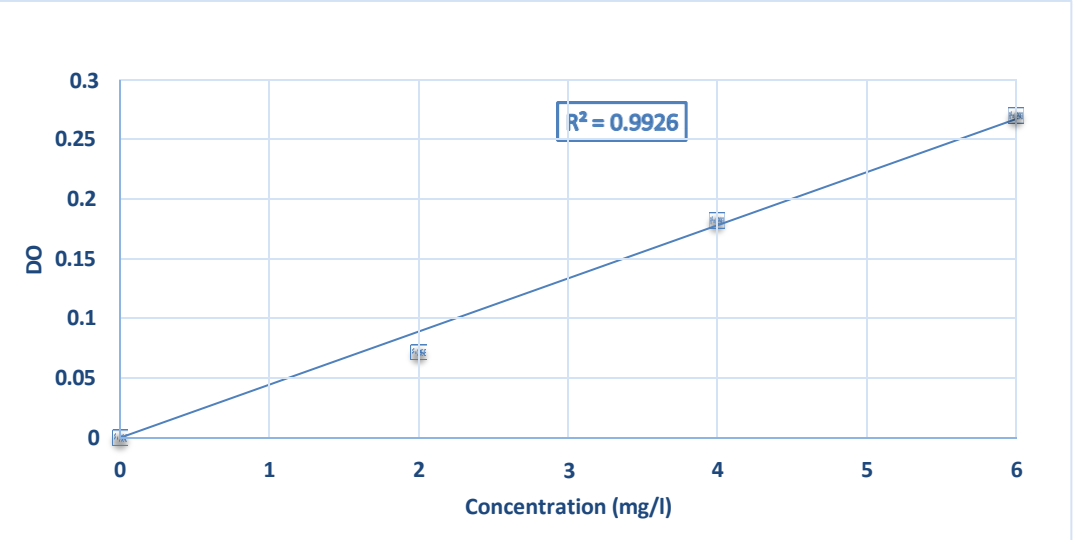


Figure IV.10. Courbe d'étalonnage de chlorure de fer à λmax.

IV.6. Résultats et discussion

IV.6.1.Caractérisation des argiles

L'ensemble des caractéristiques physico-chimiques d'argile de Maghnia et Righa et de Mostaganem sont répertoriées dans le tableau IV.5

Tableau IV.5 : Caractéristiques physico-chimiques des bentonites de Meghnia et de Righa et de Mostaganem.

Paramètres	Les valeurs		
	Meghnia	**Righa**	**Mostaganem**
Humidité à 105°C (%)	0.824	0.946	0.825
Le pH	7.96	7.52	8.20
Conductivité (µ s/cm-1)	247	270	246
Taux de gonflement (%)	1.016	1.019	1.016

Comme on peut constater sur ce tableau on peut tirer les observations suivantes :

- Un pH relativement neutre des argiles de Meghnia, de Righa et de Mostaganem.
- La conductivité enregistrée est estimée à 247µ s/cm^{-1}, 270 µ s/cm^{-1} et 246 µ s/cm^{-1} pour les argiles de Meghnia, le Righa et la Mostaganem respectivement.
- En humidité de argile de Meghnia ,Righa et Mostaganem à 0.824% , 0.946% et 0.825%.
- Les taux de gonflement des échantillons sont relativement similaires, indiquant un comportement de sorption comparable.

III.6.2. Adsorption des polluants sur les bentonite de Maghnia Righa et de Mostaganem

Dans le but de connaitre les différents mécanismes d'adsorption des colorants sur les bentonites brutes, nous avons commencé par l'étude de l'adsorption des colorants (BM, FB) et des solutions métalliques ($FeCl_2$,$CuSO_4$) sur les trois type de bentonites brute.

L'effet des différents paramètres opératoires sur le taux de décoloration a été évalué (temps de traitement, la concentration initiale en polluant, le pH initial, la masse de l'adsorbant) sera évaluée.

IV.6.2.1. Cinétique d'adsorption des colorants sur les argiles de Maghnia , de Righa et de Mostaganem

L'étude a été réalisée à une concentration initiale de 1mg/l, un volume de solution de 1000ml, une durée de contact de 30 minutes, une masse d'argile de 0,2g, dans les conditions de pH naturel de la solution et à température ambiante. Les résultats obtenus sont présentés dans les graphiques ci-dessous.

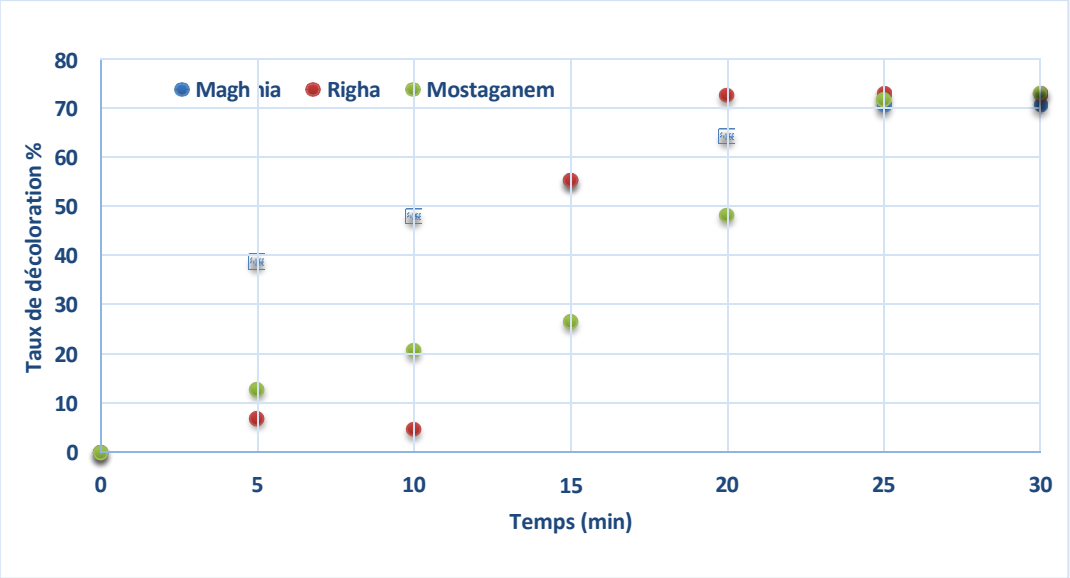


Figure IV.11. L'effet de temps de sur l'adsorption de BM sur les bentonites brutes

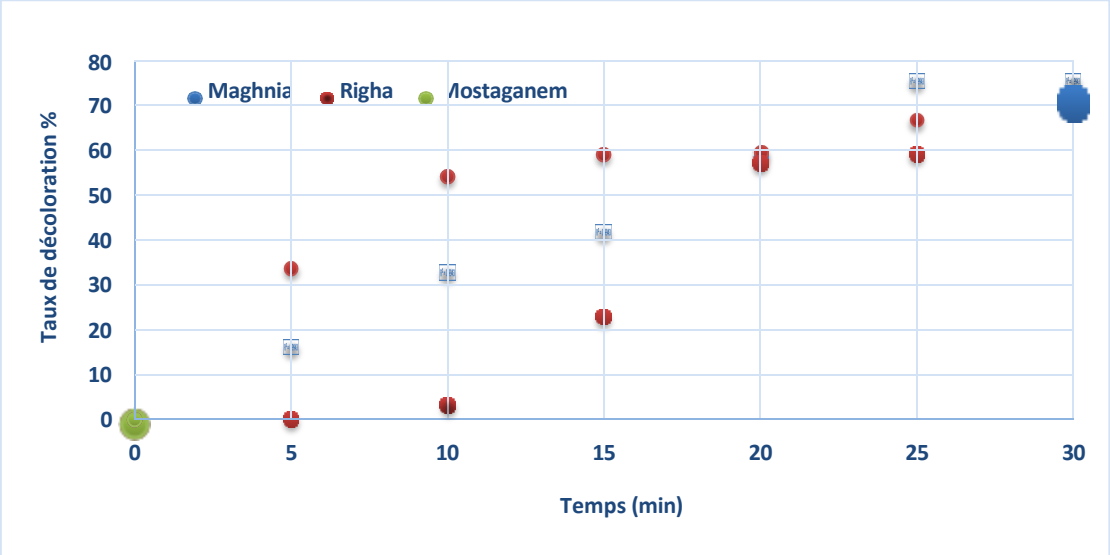


Figure IV.12. L'effet de temps de sur l'adsorption de FB sur les bentonites brutes

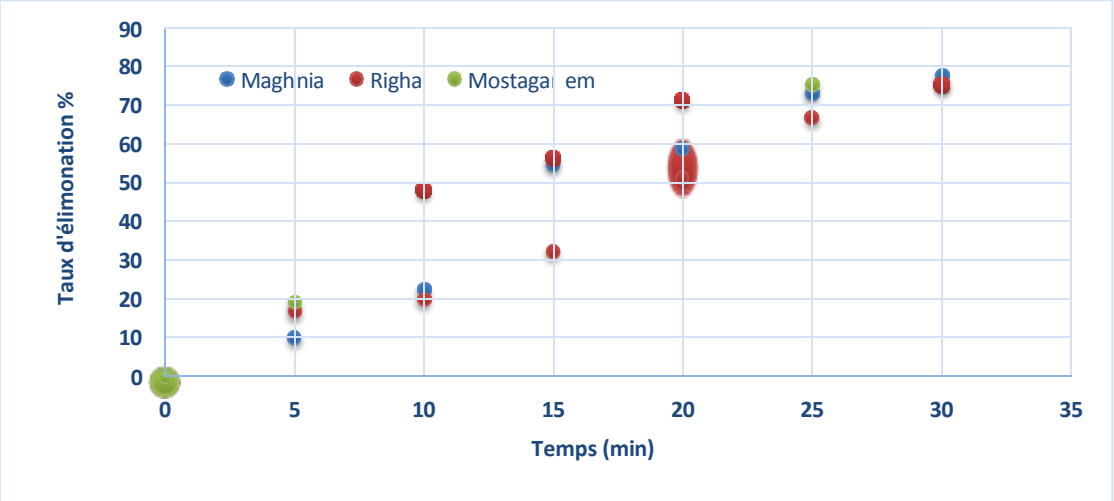


Figure IV.13 : L'effet de temps de sur l'adsorption de $CuSO_4$ sur les bentonites brutes

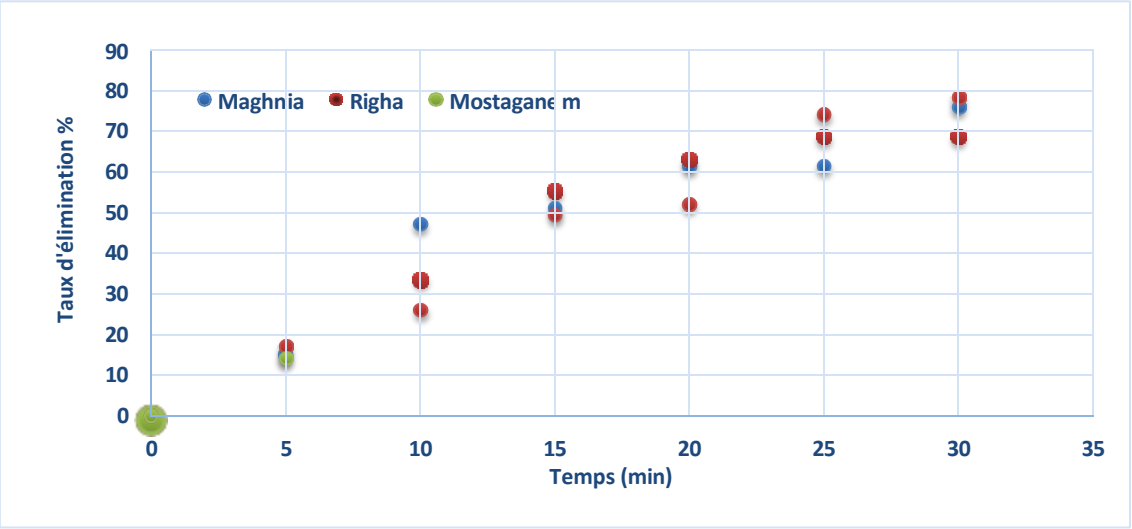


Figure IV.14. L'effet de temps de sur l'adsorption de $FeCl_2$ sur les bentonites brutes

A l'essor des figures ci-dessus, nous constatons que l'adsorption est rapide en début de processus. En effet, après 5 minutes de contact, pour une concentration initiale en polluant de 10mg/L près de 20% à 30% de polluants (BM, FB, CuSO4 et $FeCl_2$) ont été éliminés par les bentonites brutes.

Ce taux augmente progressivement en fonction du temps pour enfin atteindre l'équilibre après 30 min de contact adsorbat/adsorbant pour enregistrer des valeurs de décoloration supérieures à 70 % pour le BM et FB et des taux d'élimination supérieures à 75 % pour les solutions métalliques et ce sur les trois types de bentonites.

IV.6.2.2. Effet de concentration des polluants sur la cinétique de l'adsorption des polluants

L'effet de la concentration initiale en polluants a été étudié en immergent 0.5g de dans 100 ml de solutions de colorants/métalliques, au pH naturel de solution et à température ambiante, l'effet des concentrations initiales sur le rendement d'élimination a été étudié pour des concentrations allant de 10mg/l à 40mg/l. Les résultats obtenus sont illustrés sur les figures ci-dessous.

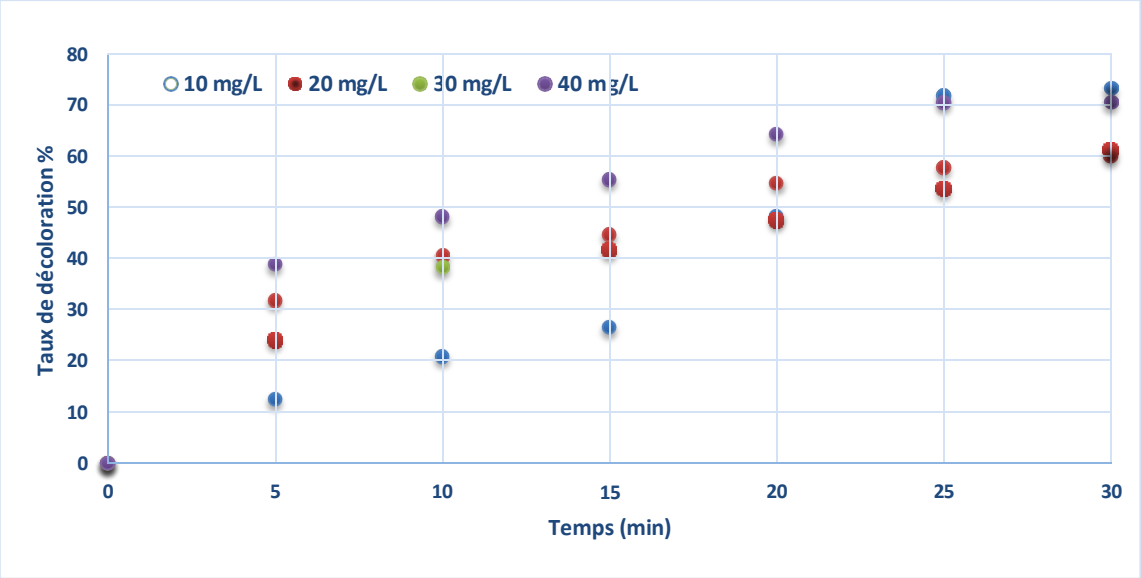


Figure IV.15. L'effet de concentration initiale sur l'adsorption de BM sur les bentonites brutes

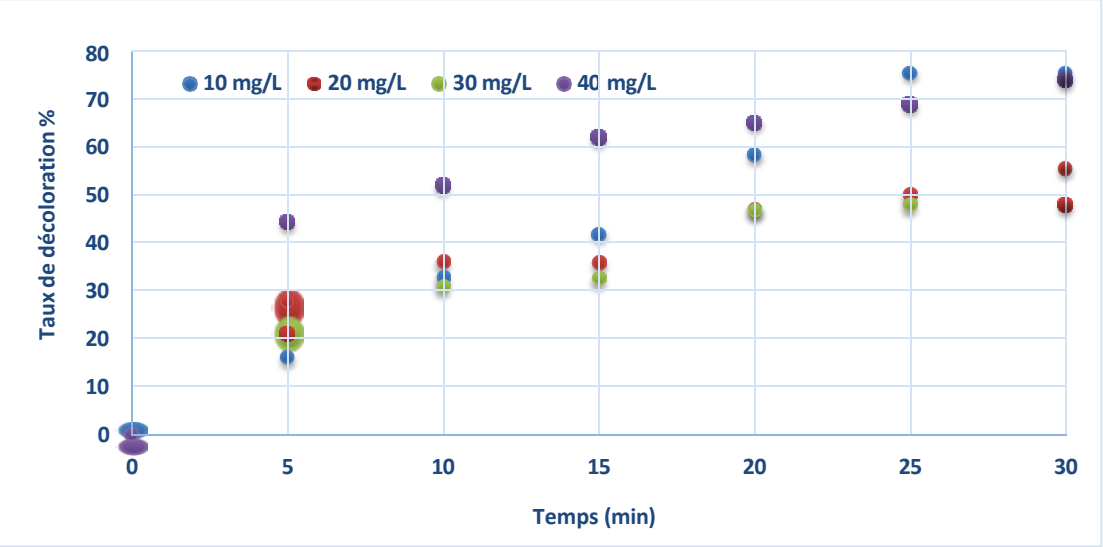


Figure IV.16. L'effet de concentration initiale sur l'adsorption de FB sur les bentonites brutes

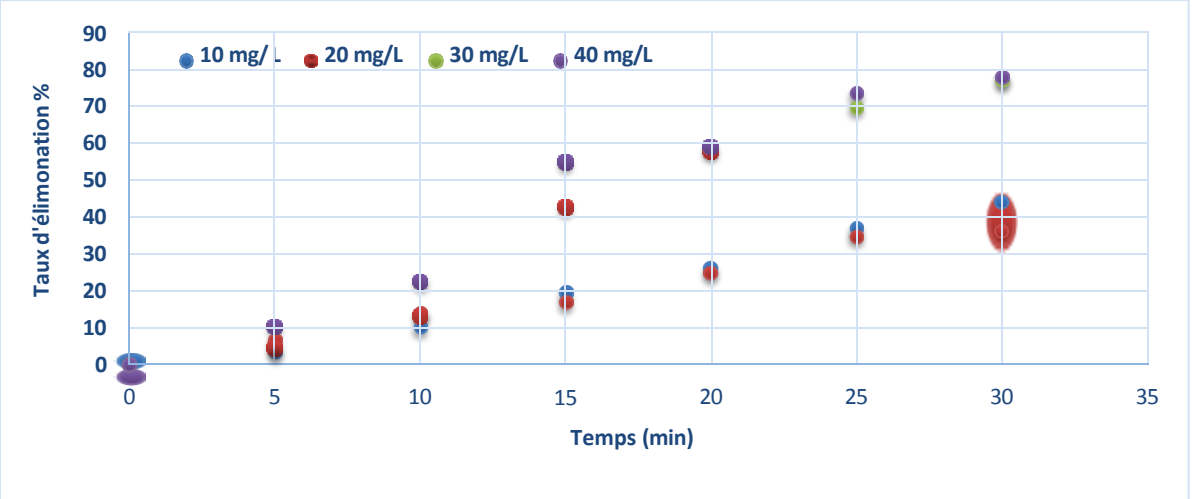


Figure IV.17. L'effet de concentration initiale sur l'adsorption de CuSO4 sur les bentonites brutes

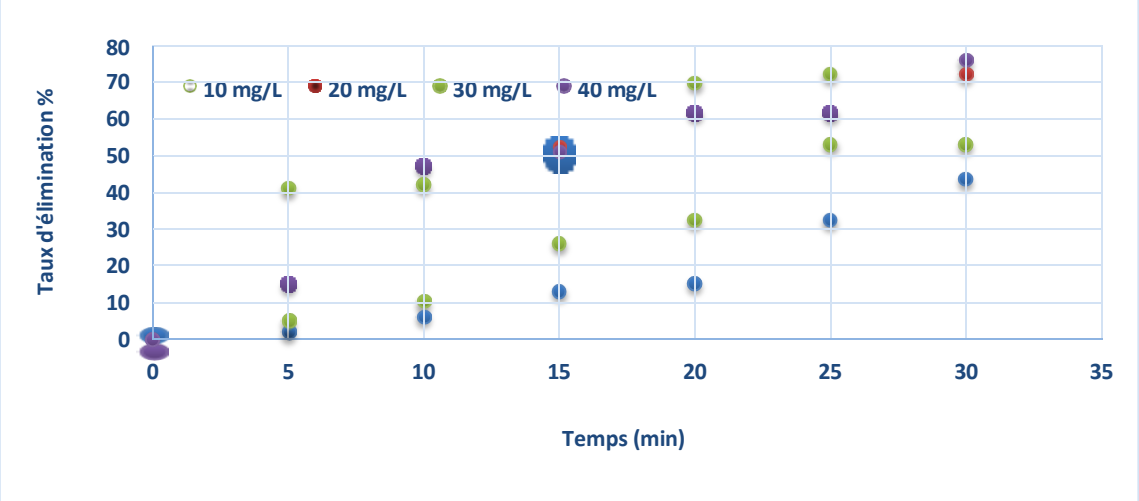


Figure IV.18. L'effet de concentration initiale sur l'adsorption de $FeCl_2$ sur les bentonites brutes

À l'issue des figures, on observe une variation significative des taux d'élimination du polluant en fonction de sa concentration initiale. Pour des faibles concentrations (inférieures à 20 mg/L), les bentonites de Righa, Maghnia et Mostaganem présentent des taux d'adsorption relativement faibles atteignant respectivement **77.8 %, 76.24 % et 68.59 %.**

Toutefois, à mesure que la concentration du polluant augmente, une augmentation progressive de la capacité d'adsorption est enregistrée, traduisant une saturation progressive des sites actifs de surface des bentonites. Ainsi, on enregistre les taux maximaux à des concentrations de 40 mg/l pour les quatre types de polluant.

IV.6.2.3. Effet de masse sur la cinétique d'adsorption des polluants

L'effet de la masse de l'adsorbant sur le taux d'élimination a été étudié pour des concentrations initiale de 40 mg/l pour tous les polluants avec des masses de bentonites brutes qui varient entre 0.5 g, 0.8 g et 1 g, un volume initiale de 100 ml et au pH naturel des solutions.Les résultats obtenus sont illustrée sur les figures ci-dessous.

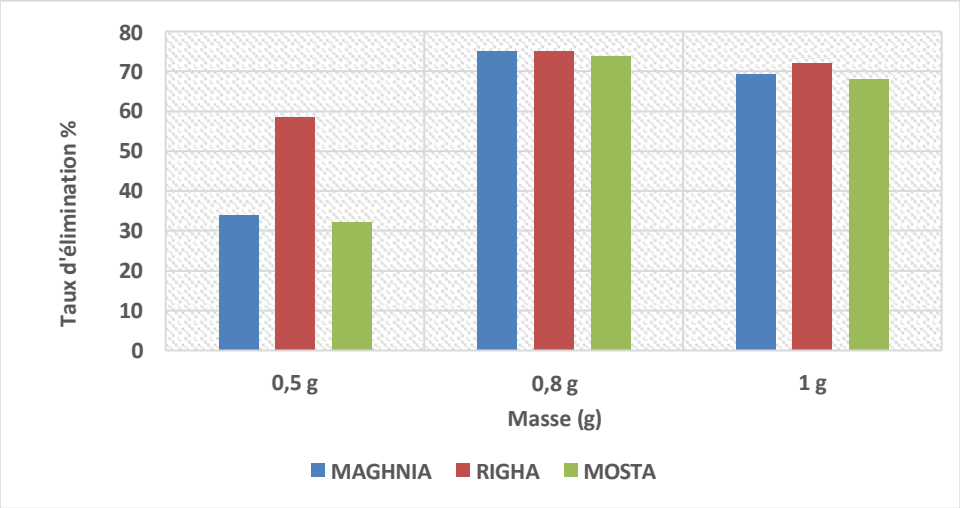


Figure IV.19. L'effet de la masse sur l'adsorption de BM sur les bentonites brutes

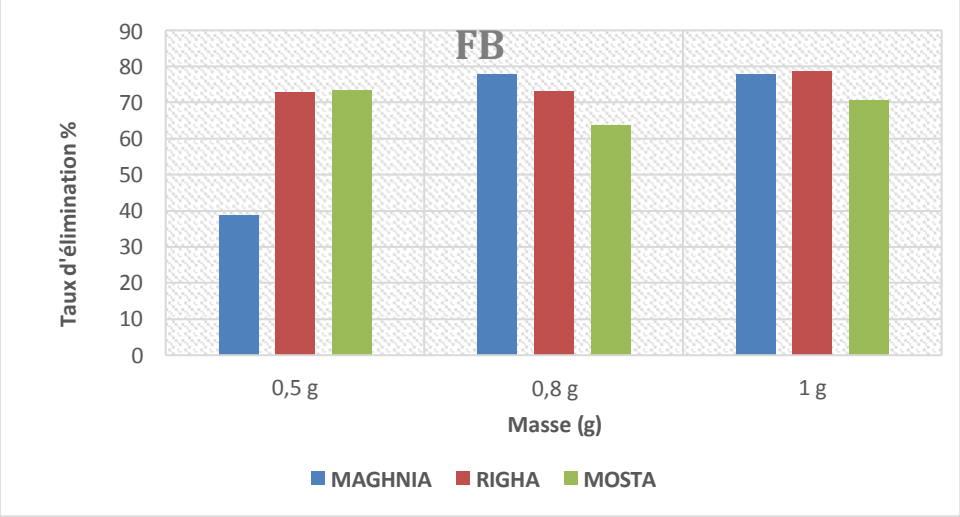


Figure IV.20. L'effet de la masse sur l'adsorption de FB sur les bentonites brutes

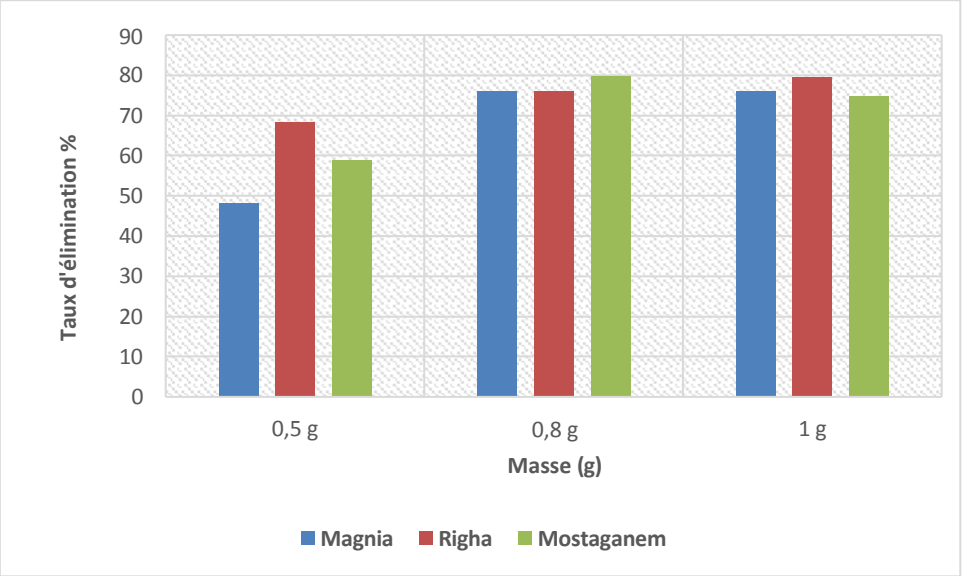


Figure IV.21. L'effet de la masse sur l'adsorption de $CuSO_4$ sur les bentonites brutes

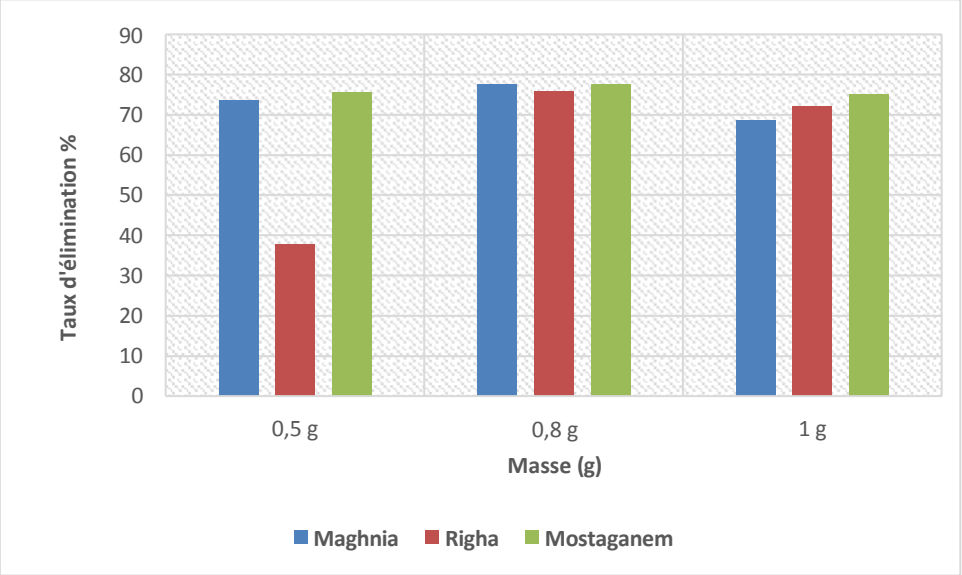


Figure IV.22. L'effet de la masse sur l'adsorption de $FeCl_2$ sur les bentonites brutes

D'après les figures ci-dessus, on observe que la capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la masse de bentonite jusqu'à atteindre des valeurs maximales à 0.8 g de masse au-delà de cette valeurs l'adsorption décroit.

IV.6.2.4. Effet du pH sur la cinétique d'adsorption des polluants

Pour connaitre l'effet du pH sur la l'adsorption des polluants sur les bentonites brutes, nous avons suivi l'effet du pH pour une concentration initiale de 40mg/L, un temps de contact de 30 min, une masse de 0.8 g et un volume initiale de 100 ml, l'adsorption est réalisée à une température ambiante de 25°C. Le pH initial des solutions est ajusté par ajout des solutions concentrées d'hydroxyde de sodium NaOH (1N) ou d'acide hydrochlorique HCl (1 N), le pH varie entre 2 et 8, les résultats obtenus sont illustrés sur les figures ci-dessous.

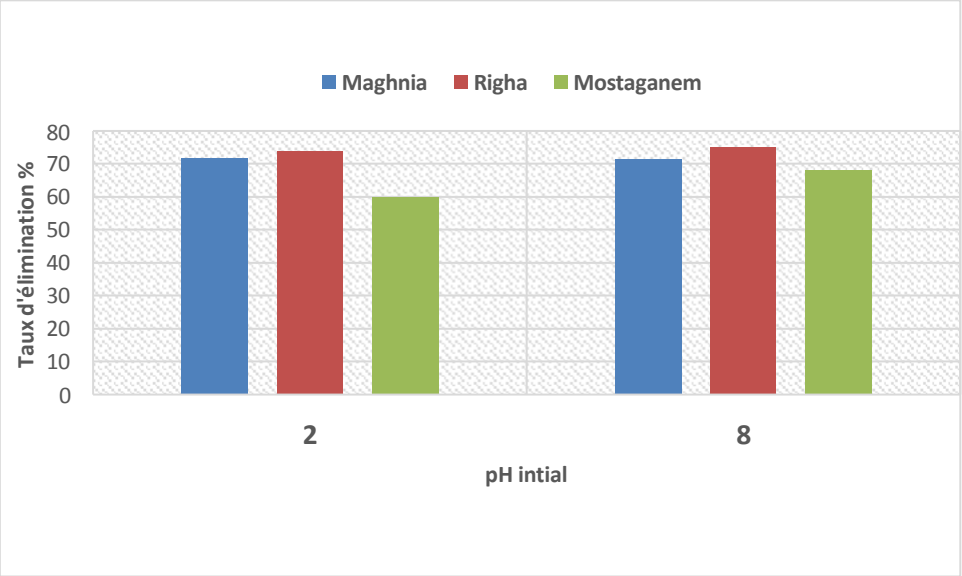


Figure IV.23. L'effet de pH sur l'adsorption de BM sur les bentonites brutes

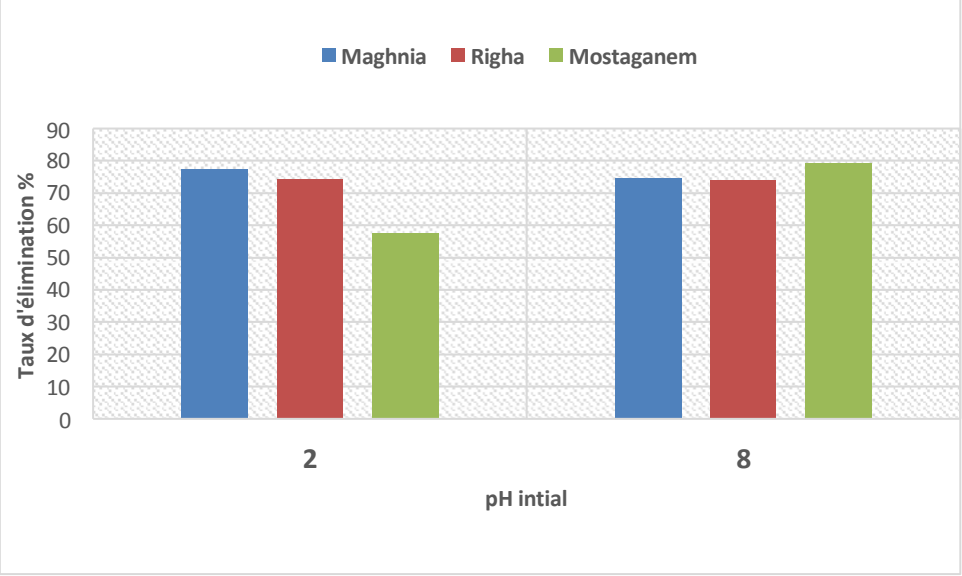


Figure IV.24. L'effet de pH sur l'adsorption de FB sur les bentonites brutes

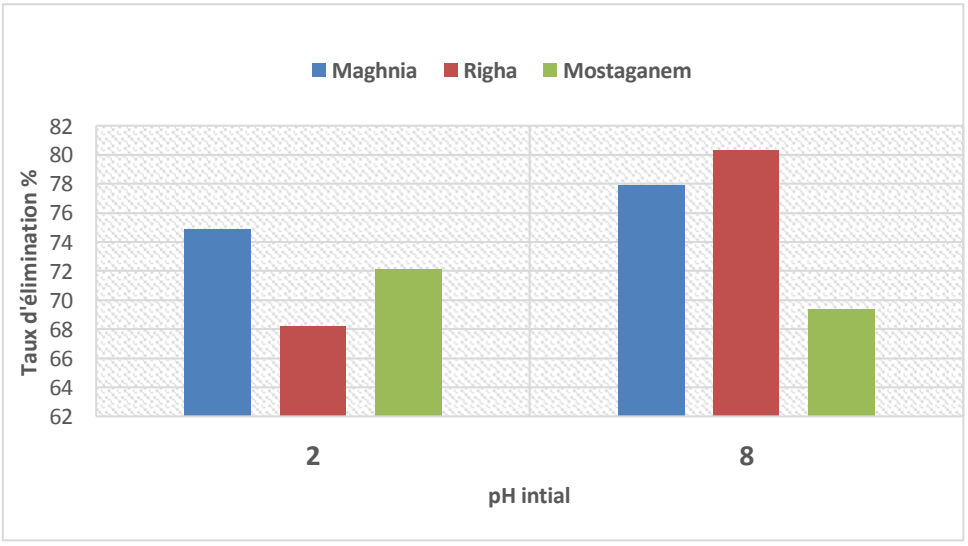


Figure IV.25. L'effet de pH sur l'adsorption de $CuSO_4$ sur les bentonites brutes

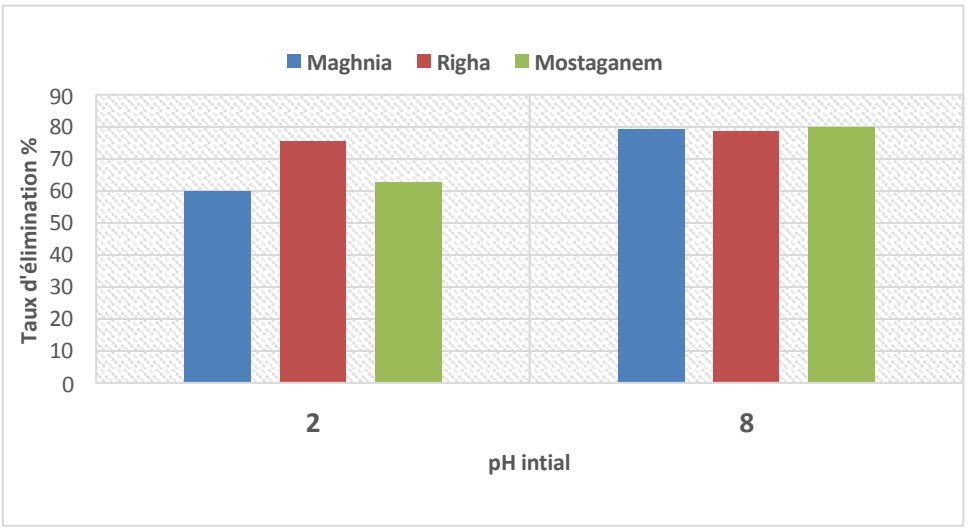


Figure IV.26. L'effet de pH sur l'adsorption de $FeCl_2$ sur les bentonites brutes

L'analyse de ces résultats montre que e ph basique est plus favorable pour l'élimination des différents types de polluant sur les bentonites brutes.

IV.7. Etude de l'adsorption des polluants sur les bentonites activées

L'adsorption sur les bentonites activées constitue une méthode efficace pour l'élimination de divers polluants présents dans les milieux aqueux, tels que les métaux lourds, les colorants ou les composés organiques. L'activation de la bentonite, généralement réalisée par des traitements acides, thermiques ou alcalins, permet d'augmenter sa surface spécifique, sa porosité ainsi que le nombre de sites actifs disponibles pour l'adsorption.

IV.7.1. Cinétique d'adsorption des polluants sur les bentonites activées par DMSO

La cinétique d'adsorption des antibiotiques sur les bentonites activées par DMSO a été réalisée pour une concentration initiale en polluants de 40 mg/L, un volume de 100 ml, une masse de 0.8g, au pH naturel de chaque solution et de température ambiante, les résultats obtenus sont présentés sur les figures ci-dessous.

BM

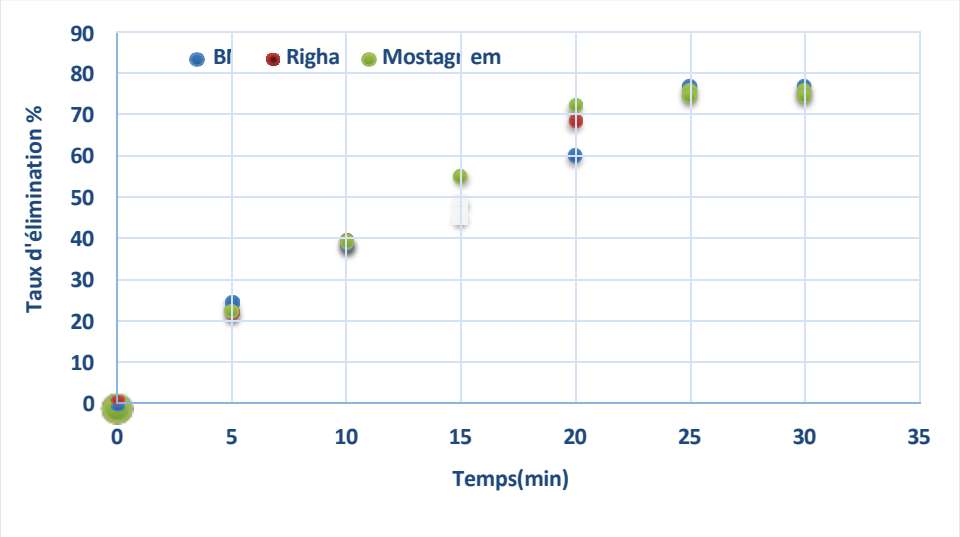


Figure IV.27. Cinétique d'adsorption de BM sur les bentonites activités par DMSO

- **FB**

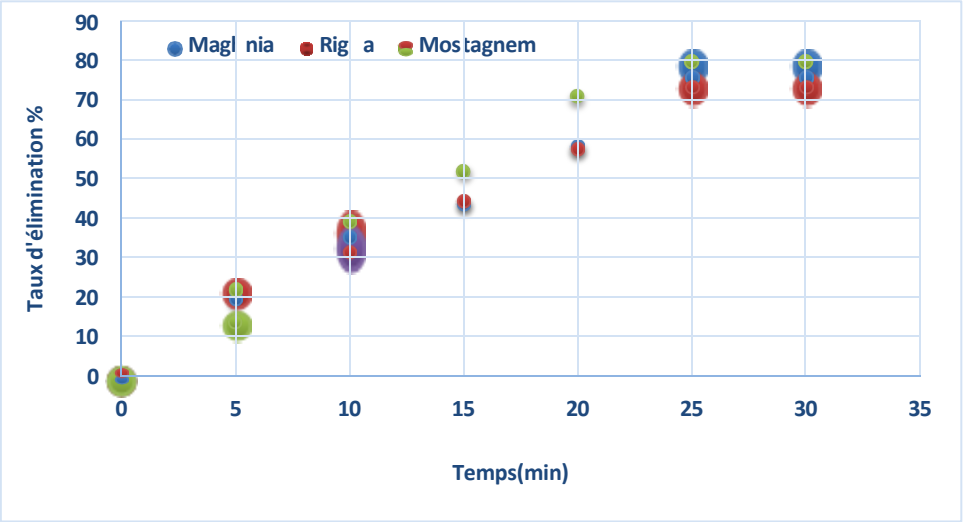


Figure IV.28. Cinétique d'adsorption de FB sur les bentonites activités par DMSO

- **$CuSO_4$**

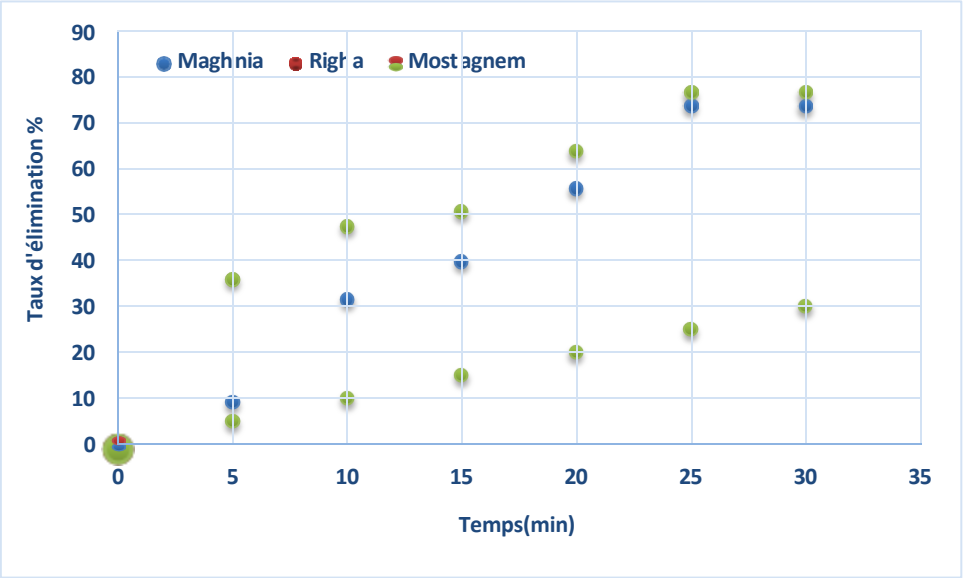


Figure IV.29. Cinétique d'adsorption de $CuSO_4$ sur les bentonites activités par DMSO

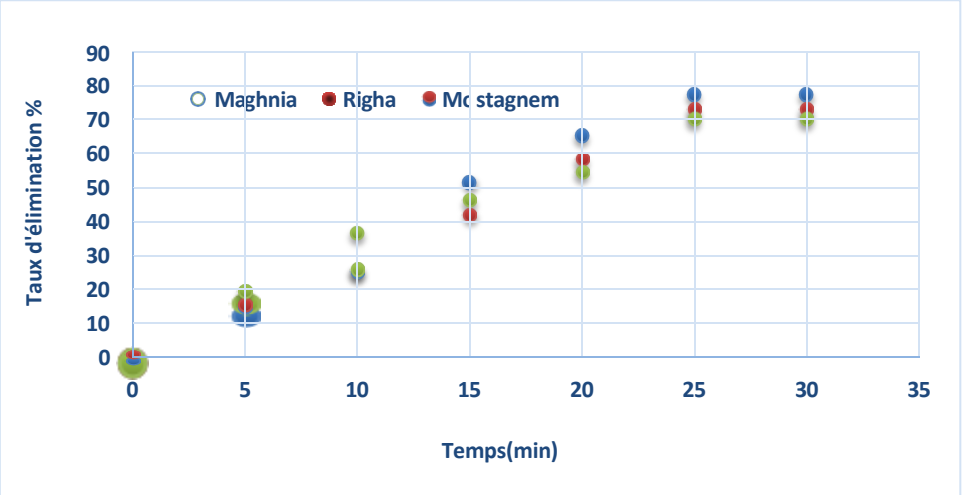


Figure IV.30. Cinétique d'adsorption de $FeCl_2$ sur les bentonites activités par DMSO

A l'issu des résultats on conclut que :

- Des taux d'adsorption qui balance entre 74%. et 75% de BM sur les bentonites activées par DMSO pour les trois types de bentonites.
- Un taux d'adsorption maximale d'ordre 79% était enregistré pour l'adsorption de FB sur les bentonites de Mostaganem activées par DMSO.
- Pour le sulfate de cuivre on remarque des taux similaire pour les bentonites activées de Meghnia et Righa de l'ordre de 73%.
- Pour le chlorure de fer on marque le meilleur taux d'adsorption t obtenu par la bentonite activée de Meghnia au 77.2%.

IV.7.2. Adsorption des polluants sur les bentonites activées par NaCl

La cinétique d'adsorption des antibiotiques sur les bentonites activées par NaCl a été réalisée pour une concentration initiale en polluants de 40 mg/L, un volume de 100 ml, une masse de 0.8g, au pH naturel de chaque solution et de température ambiante, les résultats obtenus sont présentés sur les figures ci-dessous.

- **BM**

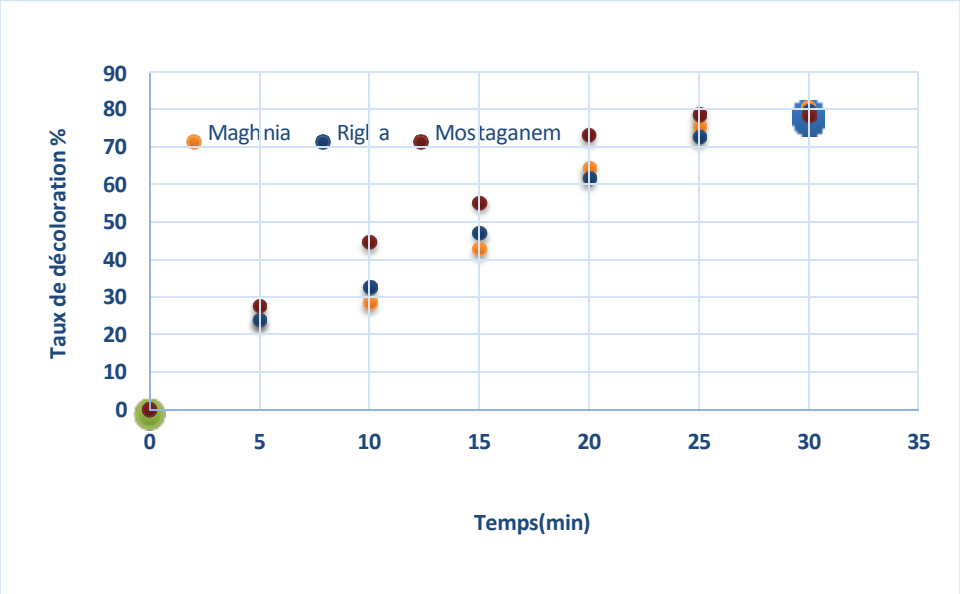


Figure IV.31. Cinétique d'adsorption de BM sur les bentonites activités par NaCl

- **FB**

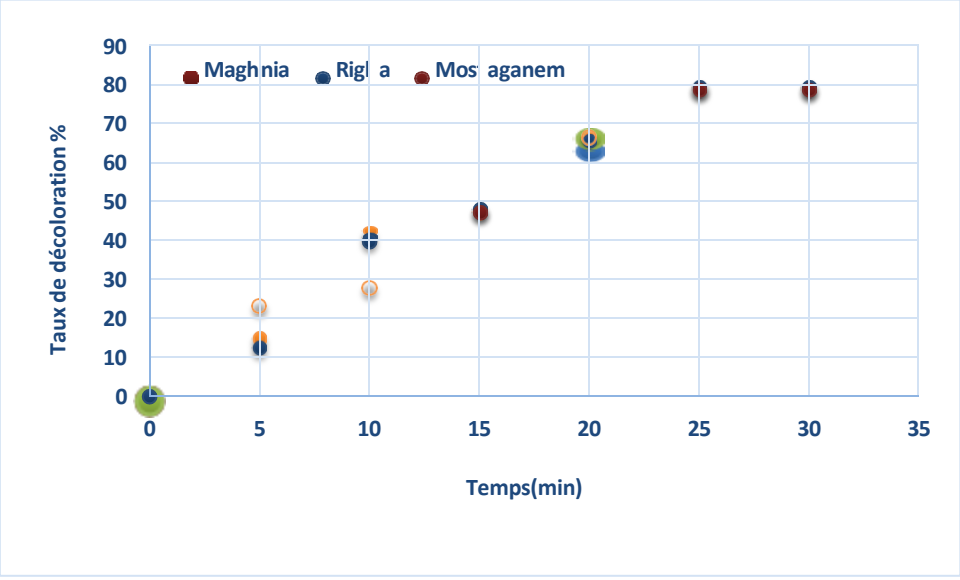


Figure IV.32. Cinétique d'adsorption de FB sur les bentonites activités par NaCl

- **$CuSO_4$**

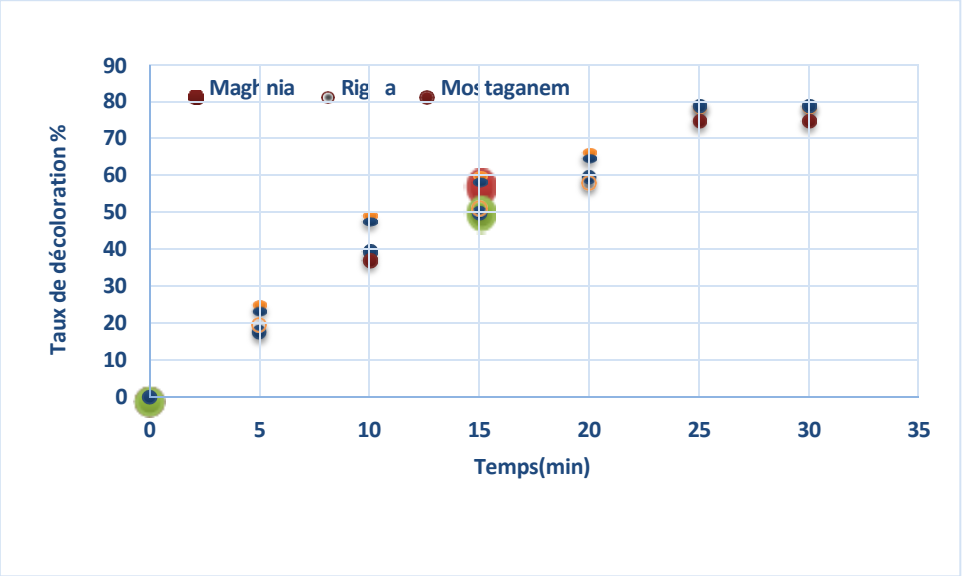


Figure IV.33. Cinétique d'adsorption de $CuSO_4$ sur les bentonites activités par NaCl

- **$FeCl_2$**

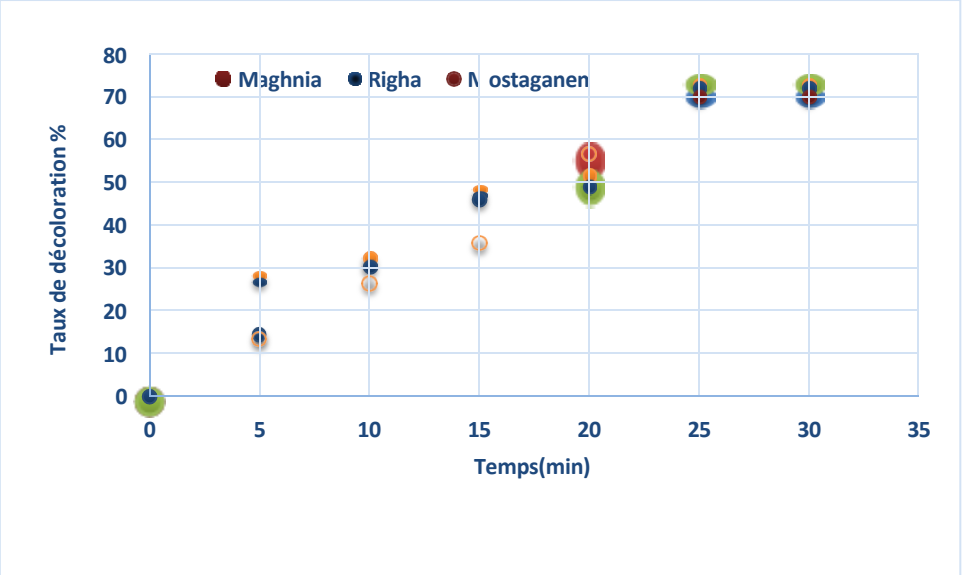


Figure IV.34. Cinétique d'adsorption de $FeCl_2$ sur les bentonites activités par NaCl

A l'issu des résultats on conclut que :

- Des taux d'adsorption qui balance entre 78% de BM et FB sur les bentonites activées par NaCl pour les trois types de bentonites.
- Pour le sulfate de cuivre on remarque des taux similaire pour les bentonites activées de Mostaganem et Righa de l'ordre de 74%.
- Pour le chlorure de fer on marque le meilleur taux d'adsorption obtenu par la bentonite activée de Meghnia au 70%.

IV.8. Conclusion

En conclusion, on peut dire que les bentonites représentent une option prometteuse et écologiquement efficace pour éliminer les polluants organiques et inorganiques de l'eau et du sol.

Les propriétés physiques et chimiques uniques des bentonites, notamment leur teneur élevée en fibres et en composés phénoliques, en font un excellent adsorbant pour les polluants tels que les métaux lourds et les composés organiques volatils.

De nombreuses études ont confirmé l'efficacité des bentonites dans le traitement des eaux contaminées et l'élimination d'une large gamme de polluants. Par exemple, les bentonites ont montré une grande capacité à adsorber des colorants comme le bleu de méthylène, la fuchion basique, ainsi que des composés inorganiques nocifs tels que le chlorure de fer, le sulfate de cuivre Cette efficacité est attribuée à la structure poreuse des bentonites qui permet une absorption optimale des molécules polluantes.

De plus, les bentonites sont une ressource renouvelable et peu coûteuse, ce qui en fait une alternative économique et écologique aux adsorbants traditionnels. L'utilisation de ces déchets agricoles contribue non seulement à la valorisation de sous-produits, mais également à la réduction des déchets, s'inscrivant ainsi dans une logique de développement durable.

À l'avenir, les applications des bentonites dans le domaine de la dépollution pourraient être renforcées par des recherches approfondies visant à améliorer leurs propriétés absorbantes et à optimiser leur efficacité. Il serait également possible de développer des technologies innovantes basées sur ces biomatériaux afin de cibler des types spécifiques de polluants avec encore plus de précision.

En résumé, les bentonites offrent une solution durable et innovante pour lutter contre la pollution environnementale, avec des bénéfices tangibles pour la qualité de l'eau, des sols, l'environnement en général et la santé publique.

LES REFERENCES

[1] Ayla Özer, Görkem Gürbüz, Ayla C, alimli b, Bahadır K. Körbahti, "Investigation of nickel (II) biosorption on Enteromorpha prolifera: ptimization using response surface analysis", Journal of Hazardous Materials, 152, 778-788 (2008).

[2] H. Benaïssa, M.A. Elouchdi, Removal of copper ions from aqueous solutions by dried sunflower leaves, Chemical Engineering and Processing 46 614-622 (2007).

[3] Filiz Nuran Acar, Zeynep Eren, Necla Brlik, "Removal of Cu (II) ions by active poplar sawdust (samsun clone) from aqueous solutions", Journal of hazardous materials. 137 909-914 (2006).

[4] A. Hashem, R.A. Akasha, A. Ghith, D.A. Hussein, Adsorbent based on agricultural

wastes for heavy metal and dye removal: a review, Energy Edu. Sci. Technol. 19, 69-86 (2007).

[5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Sulfate_de cuivre et Chlourure de fer Consulté le 19 mars 2024

[6] Sayed nawel, Safar zitoun sawsen, contribution à l'élimination de polluants sur des déchets de matériaux naturels, application aux écorces d'orange et de banane, mémoire de master, université de medea, (2022).

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est l'étude de l'utilisation des bentonites brutes et modifiées pour le traitement des effluents contenant des polluants organiques et inorganique dans le cadre d'une démarche relative à la recherche de procédés potentiellement applicables au traitement des eaux usées.

Les bentonites disponibles en Algérie. Cette opportunité a aussi été une tentative de comprendre le mode de fixation des polluants organiques et inorganiques par ces matériaux en solution aqueuse par adsorption qui est un procédé efficace pour éliminer des colorants organiques et des métaux contenus dans les rejets aqueux.

L'étude de l'adsorption des colorants sur les bentonites brutes a montré un bon rendement d'élimination avec des taux de décoloration qui dépassent 78 % pour le BM et FB et des taux d'élimination qui dépassent 75% pour le CuSo4 et 72 % pour le $Fecl_2$ aux conditions optimales.

L'étude de l'adsorption des colorants et des métaux sur les bentonites activées a montré une amélioration des taux pour les deux traitements effectuée néanmoins les meilleurs taux ont été enregistrées pour les bentonites traitées par Nacl, DMSO

L'étude de l'adsorption des polluant sur les bentonites activées par NaCl a montré un bon rendement d'élimination avec un taux d'élimination maximal estimé à 80% pour les colorants BM pour les bentonites activées pour les bentonites activè par DMSO 75.74% 76.37% 74.45% pour les chlorure de de sodium.au conditions optimale suivantes : temps=30 minutes, rapport masse volume 0.5/100, concentration en colorant =10mg/l, pH naturel et température ambiante.

A la fin de cette recherche nous recommandons de complète l'étude par la détermination de :

- Etude structurale approfondie par DRX et MEB.
- Etude de Mouiabilité
- Etude rhéologique
- Gonflement d'argile activée.