



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued



FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GENIE DE PROCEDES ET PETROCHIMIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de:

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie des Procédés

Spécialité: Génie Chimique

Thème

Adsorption du phénol en milieux aqueux sur une argile Ain Touta

Présenté par:

M^{lle} Kertiou Khadidja

M^r Zeghdi Mohcen

M^{lle} Beribech Chaima

Soutenu publiquement le .../09/2020 devant le Jury composé de:

Président:

Mr. ZIGOUD Laid

M.A.A

U. El Oued

Examineur:

Mr. ROUAHNA Nour din

M.A.A

U. El Oued

Rapporteur:

Mr. Boudouh Issam

M.C.B

U. El Oued

2019-2020





Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère et A mon cher père

Qui ne cessent de me soutenir dans

Tous les domaines de la vie particulièrement mes études

Je vous dis mille fois merci.

A mes sœurs Roguia, Zineb, Kalthoum, Amina, Aicha, Mariem

A mes frère Achraf , Abdallah, Ibrahim

A ma belle famille

A tous mes amis (es)

Khadija

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- ☐ *Mon père.*
- ☐ *Ma mère.*
- ☐ *Mes frères et sœurs.*
- ☐ *Mes oncles et mes frères.*
- ☐ *Mes ami (e) s.*
- ☐ *Mes enseignant (e) s.*
- ☐ *A toute la famille zeghdi.*

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- ☐ À tous ceux qui m'ont enseigné des messages dans ce monde mortel
- ☐ À l'âme pure de mon père
- ☐ Pour ma chère maman, qui fatiguait pour moi, elle m'a soutenu, elle a fait mes pas avec moi et m'a facilité la tâche
- ☐ À mes chers frères, que Dieu les protège
- ☐ À tous les membres de la famille éducative, en particulier mes professeurs, les personnes qui me sont reconnues, qui m'ont submergé d'amour, d'appréciation, de conseils, d'orientation et de conseil pour tous, je leur. Donne cet humble travail
- ☐ Nous demandons à Dieu d'en faire un phare pour chaque étudiant de la connaissance

Remerciements

Avant tout, Nous remercions Allah, sans Lui ce manuscrit n'aurait pu exister, et qui m'a amené à ce degré de science.

Nous adressons mes remerciements à Monsieur " **Boudouh Issam** ", pour m'avoir encadré et conseillé pendant toute la réalisation de ce travail. Son aide appréciable, ses encouragements qui m'ont permis d'avancer dans l'élaboration de ce travail et à qui je témoigne ma profonde reconnaissance.

Nous remercions de tout cœur Mr " **Bachir Ben Seghir** " qui m'a fait partager les difficultés et accepter tous mes questionnements.

Nous remercions très chaleureusement Melle " **Bohra Rezzag Mohcen** " qui s'est toujours intéressée à mon travail qu'elle a agrémenté de conseils judicieux et très appréciés et qui m'a permis l'accès au matériel et appareillages.

Nous remercions très sincèrement le président de jury et les membres de jury Ayant acceptés d'évaluer ce travail.

Nous remercions tous nos collègues de la promotion Génie des procédés, et nous aimons

Aussi exprimer ma très grande considération et ma vive reconnaissance aux sincères professeurs de l'université " **Hamma Lakhdar - El oued** - " surtout ceux de département Génie des Procédés et Pétrochimie.

Enfin, Nous adressons mes remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de Près ou de loin à la concrétisation de ce travail

Khadidja

Mohcen

Chaima



Sommaire



Sommaire

Dédicace		
Remerciements		
Sommaire		
Liste des figures		
Liste des Tableaux		
Liste des symboles		
Introduction général		01
Chapitre I : Généralité sur la pollution de l'eau et le phénol		
I.1	Introduction	06
I.2	La pollution de l'eau	06
I.2.1	Définition de la pollution de l'eau	06
I.2.2	Les sources de la pollution de l'eau	07
I.2.2.1	Source urbaine	07
I.2.2.2	Source industrielle	07
I.2.2.3	Source agricole	07
I.2.2.4	Source naturelle	07
I.2.2.5	Source microbiologique	07
I.2.3	Les types de la pollution	08

I.2.3.1	La pollution physique	08
I.2.3.2	La pollution chimique	08
I.2.3.3	La pollution radioactive	08
I.2.3.4	La pollution biologique	08
I.2.3.5	La Pollution thermique	08
I.2.4	Les polluants d'eau	08
I.2.4.1	Les polluants organiques	08
I.2.4.2	Les polluants inorganiques	09
I.2.5	Conséquences de la pollution de l'eau	11
I.2.5.1	Conséquences sanitaires	11
I.2.5.2	Conséquences écologiques	11
I.2.5.3	Conséquences agricoles	11
I.2.5.4	Conséquences industrielles	11
I.2.5.5	Conséquences esthétiques	11
I.3	Le Phénol	12
I.3.1	Généralités sur le phénol	12
I.3.2	L'origine du phénol	13
I.3.3	Les propriétés physiques et chimiques	13
I.3.3.1	Les propriétés physiques	13
I.3.3.2	Les propriétés chimiques	14
I.3.4	Les utilisations du phénol	15

I.3.5	Les toxicités du phénol	15
I.3.5.1	Les toxicités du phénol pour l'homme	15
I.3.5.2	Les toxicités du phénol pour l'animal	16
I.4	Conclusion	16
Références		17
Chapitre II : Généralités sur l'adsorption et l'argile		
II.1	Introduction	21
II.2	Généralités sur l'adsorption	21
II.2.1	Définition	21
II.2.2	Types d'adsorption	22
II.2.2.1	Adsorption physique	22
II.2.2.2	Adsorption chimique	22
II.2.3	Mécanisme d'adsorption	24
II.2.4	Les facteurs influents sur le phénomène d'adsorption	24
II.2.5	L'adsorbant	25
II.2.5.1	Définition	25
II.2.5.2	Principaux adsorbant	25
II.2.5.3	Les propriétés physiques des adsorbants	25
II.2.5.4	Les principaux adsorbants	26
	L'argile	26
	Silica gel	26

	Alumine activée	27
	Charbon actif	27
	Tamis moléculaire de carbone, msc	28
	Biosorbant	28
	Adsorbants à base de polymères	28
	zéolites (tamis moléculaires)	28
II.2.6	L'isotherme d'adsorption	29
II.2.7	Modèles d'adsorptions	30
1)	Isotherme de Langmuir	30
2)	Isotherme de Freundlich	30
3)	Isotherme de BET	31
3)	Isotherme de Temkin	31
II.2.8	Caractéristiques d'adsorption	32
II.2.8.1	Cinétique d'adsorption	32
a)	Modèle du pseudo premier ordre	32
b)	Modèle du pseudo deuxième ordre	33
II.2.8.2	Thermodynamique de l'adsorption	33
II.3	Généralités sur l'argile	34
II.3.1	Définition de l'argile	34
II.3.2	Structure cristallographique des argiles	34
	La couche tétraédrique	35

	La couche octaédrique	35
	Espace interfoliaires	35
II.3.3	Classification des argiles	36
	Les minéraux à 7Å de type 1 :1	36
	Les minéraux à 10Å de type 2 :1	36
	Les minéraux à 14Å de type 2 :1 :1	36
	Les minéraux inters stratifiés	36
II.3.4	Famille des argiles	37
1.	La kaolinite	37
2.	Illite	37
3.	Montmorillonite	38
II.3.5	Propriétés des argiles	39
	Densité de charge spécifique	39
	La capacité d'échange cationique (CEC)	39
	La surface spécifique	40
	Propriétés de gonflement, rôle du cation compensateur	40
II.3.6	La bentonite	41
II.3.6.1	Définition	41
II.3.6.2	Origine de la bentonite	41
II.3.6.3	Structure cristalline du feuillet élémentaire	42
II.3.6.4	La montmorillonite	43

II.3.6.5	Microstructure de la montmorillonite	44
	Le feuillet	44
	La particule primaire	44
	L'agrégat	44
II.3.6.4	Caractéristiques physiques de bentonite	45
II.3.6.5	Les différents types de bentonite	45
	Bentonites calciques	45
	Bentonites sodiques	45
	Bentonites activées	45
II.3.6.6	Champ d'application de la montmorillonite	45
II.4	Conclusion	46
	Références	47
Chapitre III : Matériels et méthodes		
IV.1	Introduction	55
III.2	Matériels et Appareillages	55
III.2.1	Matériels	55
III.2.2	Appareillages	55
III.2.2.1	Centrifugeuse	56
III.2.2.2	Spectroscopie UV –Visible	56
	La loi de Beer –Lambert	56
III.2.2.3	Spectroscopie Infrarouge (IR)	57

III.2.2.4	Diffraction des rayons X (DRX)	57
	Loi de Bragg	57
III.2.2.4	Spectrométrie de fluorescence(FRX)	58
III.3	Les produits utilisés	58
III.4	Préparation d'échantillon	58
III.4.1	Source	58
III.4.2	Concassage, séchage et broyage	59
III.5	Méthodes de caractérisation des propriétés physico-chimique d'argile brute.	60
III.5.1	Mesure de la densité apparente	60
III.5.2	Mesure de taux d'humidité	60
III.5.3	Mesure de porosité	60
III.5.4	Mesure de perte au feu	61
III.5.5	Mesure de la conductivité	61
III.6	Les étapes pratiques de l'application	61
III.6.1	Préparation de la solution mère (phénol)	61
III.6.2	Les effets de certain paramètre sur l'adsorption du phénol	61
III.6.2 .1	L'effet de la concentration de l'adsorbat (phénol)	61
III.6.2 .2	Effet de la masse d'adsorbant	62
III.6.2 .3	Cinétique d'adsorption (temps de contact)	62
III.6.2 .4	Etude de l'effet du pH sur l'adsorption	62
III.6.2 .5	L'effet de la température	63

III.7	Conclusion	63
	Références	64
Chapitre IV: Résultats et Discussions		
IV.I	Introduction	67
IV. I .1	Analyse élémentaire de l'argile brute	67
IV. I .2	Diffraction des rayons X(DRX)	68
IV. I .3	Spectroscopie Infrarouge (IR)	69
IV. I.4	La densité apparente	71
IV.I.5	La porosité	71
IV.I.6	pH de la suspension	71
IV.I.7	taux d'humidité	71
IV.I.8	La conductivité	72
IV.II.1	Propriétés spectrophotométries des adsorbats	72
I V.II.2	Etude de l'influence de quelques paramètres de l'adsorption sur le phénol	73
IV.II.2.1	L'effet de la concentration initiale sur l'adsorption	73
IV.II.2.2	L'effet de la masse l'adsorbant	74
IV.II.2.3	Cinétique d'adsorption en fonction du temps de contact	75
IV.II.2.4	Effet du pH sur l'adsorption	75
IV.II.2.5	L'isotherme d'adsorption	77
IV.II.2.6	L'effet de la température su l'adsorption	78
IV.II.3	Modélisation des résultats	79

IV.II.3.1	Modèle d'adsorption de Langmuir	79
IV.II.3.2	Modèle de Freundlich	80
IV.II .4	Etude Thermodynamique	82
IV.III	Conclusion	84
Références		85
Conclusion générale		87
Annexe		



Liste des figures



Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur la pollution d'eau		
Figure I. 1	Représentation tridimensionnelle de la molécule de phénol	12
Figure I .2	Le phénol	13
Chapitre II : Généralités sur l'adsorption et l'argile		
Figure II.1	Termes de base de l'adsorption	21
Figure II.2	Mécanisme de stockage de l'hydrogène par physisorption	22
Figure II.3	Mécanisme de stockage de l'hydrogène par chemisorption	23
Figure II.4	Présente le processus de distribution adsorbat	24
Figure II.4	Argile (montmorillonite) traité	26
Figure II.5	silica gel	27
Figure II.6	Le charbon actif	27
Figure II.7	Les isothermes d'adsorption en phase liquide	29
Figure II.8	Représentation des couches tétraédrique	35
Figure II .9	Représentation des couches octaédrique	35
Figure II.10	Représentation schématique de la couche interfoliaire	36
Figure II.11	Schéma de la structure de la kaolinite	37
Figure II.12	Schéma de la structure de l'illite	38
Figure II.13	Représentation schématique de l'argile montmorillonite	38
Figure II.14	Argile gonflante	41

Figure II.15	Structure cristalline du feuillet élémentaire	43
Figure II.16	Structure multi-échelle de la montmorillonite	44
Chapitre III : Matériels et méthodes		
Figure III.3	Représentation schématique de la loi de Bragg	58
Figure III.4	Argile Ain Touta	59
Chapitre IV: Résultats et Discussions		
Figure IV.1	Spectre diffraction des rayons X d'argile d'Ain Touta (Naturelle)	68
Figure IV.2	Représente les spectres IR de notre échantillon argileux entre 500 et 4000 cm^{-1}	69
Figure IV.4	Balayage spectrale UV-visible d'une solution de phénol $\lambda_{\text{max}} = 270\text{nm}$	72
Figure IV.5	Courbe d'étalonnage du phénol	73
Figure IV.6	Effet de la concentration sur l'adsorption de phénol	73
Figure IV.7	Effet de la masse des argiles sur l'adsorption du phénol	74
Figure IV.8	Cinétique d'adsorption de phénol sur les argiles (Temps de contact)	75
Figure IV.9	Effet de pH de l'argile sur l'adsorption de phénol	76
Figure IV.10	Isothermes d'adsorption du phénol sur l'argile brute	77
Figure IV.11	Cinétiques d'adsorption de phénol sur l'argile à différentes température	78
Figure IV.52	Modèle de Langmuir	79
Figure IV.13	Modèle de Freundlich	80
Figure IV.14	Mécanisme d'adsorption de phénol sur la surface de l'argile naturelle	82
Figure IV.15	La courbe de linéarisation de la constante de distribution en fonction de la température	83



Liste des tableaux



Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur la pollution d'eau		
Tableau I.1	Certains polluants organiques et leurs effets potentiels	9
Tableau I.2	Les éléments chimiques les importants polluant l'eau	10
Tableau I.3	Identification du phénol	12
Tableau I.4	Les propriétés physico-chimiques	14
Chapitre II : Généralités sur l'adsorption et l'argile		
Tableau II.1	principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique	23
Tableau II.2	Valeurs de la capacité d'échange cationique des principales espèces minéralogiques	39
Tableau II.3	La surface spécifique de quelques minéraux argileux	40
Chapitre III : Matériels et méthodes		
Tableau III.5	les produits utilisés	58
Chapitre IV: Résultats et Discussions		
Tableau IV.1	Analyse élémentaire de l'argile brute (par XRF)	67
Tableau IV.2	Résultats de l'analyse par rayon X	68
Tableau IV.4	Valeurs de densité apparente d'argile brute.	71
Tableau IV.5	Evolution du pH dans l'argile en fonction du temps	71
Tableau IV.6	Constantes des différentes modélisations des isothermes d'adsorption	80
Tableau IV.7	Les paramètres thermodynamiques de l'adsorption du phénol	83



Liste des symboles



Liste des symboles

Symboles	Signification
C_0	concentration initiale du métal (mg/L)
C_e	concentration du métal à l'équilibre (mg/L)
V	volume constant de la solution contaminée par l'ion étudié (litre)
(X/m)	quantité adsorbée à l'équilibre, en (mg/g)
$(X/m)_0$	capacité maximale d'adsorption de la monocouche, en (mg/ g)
DO	Densité adsorbat
B	paramètre de Langmuir
Kf et n	paramètres de Freundlich, caractéristique de la solution et de l'adsorbant
q_t	Capacité adsorbée au temps t en (mg/g)
q_m	Capacité de rétention mono moléculaire en (mg/g)
KB	Constante de B.E.T
b_T	variation de l'énergie d'adsorption (J.mol ⁻¹ .g.mg ⁻¹)
T	Température absolue (en K)
K_t	Constante de Temkin (en l.mg ⁻¹)
K_c	Constante d'équilibre
ΔS°	entropie (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)
ΔH°	enthalpie (J.mol ⁻¹)
λ	la longueur d'onde du faisceau incident
θ	l'angle entre le faisceau incident et les plans diffractant
d_{hkl}	distance inter-réticulaire caractérisant la famille de plans repérée par les indices h, k, l

N	nombre entier correspondant à l'ordre de la diffraction
I	intensité de la lumière transmise I toujours inférieure à I ₀
I ₀	intensité de la lumière incidente
L	La longueur de la cuve ou trajet lumineux (cm)
H	Humidité
PH _i	pH initial
PH _f	pH à l'équilibre
IR	Infrarouge
UV	Ultraviolet
CEC	capacité d'échange cationique
PAF	perte au feu
DRX	La diffraction des Rayons X
x	masse de l'adsorbat adsorbé
m	Masse d'adsorbant utilisée, en (g)
ρ	Densité apparente
ε	Porosité
T	Température
t	Temps



Introduction générale



Introduction générale

La pollution des eaux, accidentellement ou volontairement, par certains produits chimiques d'origine industrielle (hydrocarbures, phénols, dérivés phénoliques, colorants, métaux lourds, détergents...) ou agricole (pesticides, engrais,...) constitue une source de dégradation de l'environnement et suscite à l'heure actuelle un intérêt particulier à l'échelle internationale [1].

Les chercheurs scientifiques de différents horizons (chimie, géologie, agronomie, physiologie végétale, médecine,...) s'intéressent de plus en plus à l'identification et à l'élimination de polluants impliqués directement dans l'apparition de déséquilibres au niveau des écosystèmes pouvant conduire à la mort, aussi bien chez les animaux que chez l'homme[2].

Les polluants organiques dans les sols et les provisions de l'eau potable sont devenus un problème majeur de l'environnement.

La protection des sols et des nappes aquifères contaminées par les composés organiques exige des efforts supplémentaires de la recherche pour développer des matières naturelles ou synthétisées comme des adsorbants efficaces pour l'enlèvement des polluants organiques [3]

Le traitement par la technique d'adsorption est plus utilisé pour son efficacité dans l'abattement des micropolluants organiques, en mettant en jeu des interactions solide - liquide. Plusieurs travaux ont montré que l'adsorption sur le charbon actif est aisément réalisable [4], mais les argiles ont montré également une capacité d'adsorption, dégraissant et décolorant des eaux polluées par des rejets industriels [5].

L'objectif de notre travail, est d'étudier les possibilités d'élimination d'un composé organique : le phénol, par l'adsorption sur l'argile naturelle d'Ain Touta, Batna. Ce travail est présenté sous forme de deux parties principales l'une théorique et l'autre expérimentale.

La première partie est subdivisée en deux chapitres :

- **Le premier chapitre:** traite un aperçu sur les sources de pollution de l'eau et de certains polluants et de ses conséquences. Nous avons également le phénol en tant que polluant organique de l'eau, sa source et ses caractéristiques ainsi que ses effets sur les humains et les animaux, ainsi que certaines de ses utilisations dans l'industrie et la vie quotidienne.
- **Le deuxième chapitre:** est consacré au phénomène de l'adsorption ; une étude détaillée est présentée en définissant tous les types d'adsorption et les mécanismes d'adsorption et les différentes caractéristiques des argiles connues sont présentées telles que : la structure, le type, la surface spécifique, la bentonite etc.....

La deuxième partie est subdivisée en deux chapitres :

- **Le troisième chapitre:** est consacré aux matériels et méthodes de travail : Nous aborderons diverses analyses physico-chimiques, la diffraction des rayons X(DRX), l'analyse infrarouge IR , l'analyse spectrophotométrie UV-Visible, Densité, Pore, et nous décrirons les protocoles expérimentales utilisés pour étudier l'adsorption de phénol sur de l'argile naturelle telle que: l'effet de concentration du polluant, l'effet de pH,... etc.
- **Le quatrième chapitre :** comprendra les résultats obtenus ainsi que leur discussion ; Enfin nous achèverons ce mémoire par une conclusion générale.

Références

- [1] BOURAS O, Synthèse et caractérisation des montmorillonites pontées à base de Bentonites algériennes, Université de Blida, Algérie, 1992 .
- [2] BOUAZZA Fayza , Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifies, MEMOIRE Magister , UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN ,2012.
- [3] Y. You, H. Zhao, George F. Vance, Surfactant-enhanced adsorption of organic compounds by layered double hydroxides, Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects 205 (2002) 161-172.
- [4] Christman R.F, Minear R.A. , Organics in lakes. In organic compounds in Aquatic Environments, J.P.Fant Ed Marcel Debber , New -york , 1971.
- [5] KAFI N, Traitement des eaux usées de Touggourt par l'argile de Bildet Omar, thèse de magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA ,2013.



Chapitre I: Généralités sur la pollution d'eau



Chapitre I : Généralités sur la pollution d'eau

I.1 Introduction :

L'eau est l'un des premiers sujets qui intéressent les scientifiques et les spécialistes les plus importants dans le domaine de la pollution. Il n'est pas surprenant que le volume des études traitant de ce sujet soit supérieur à la taille de celles qui traitaient du reste des branches de la pollution, et peut-être la raison. L'importance de l'eau et sa nécessité, car elle est incluse dans tous les processus biologiques et industriels, et aucun organisme ne peut vivre sans, car les êtres vivants en ont besoin pour vivre. L'eau occupe le plus grand espace de la biosphère, qui est le matériau le plus présent, car la surface de l'eau représente environ 70,8% de la surface de la Terre, et l'eau représente environ 30% des corps des autres quartiers, de sorte que la pollution de l'eau entraîne de graves dommages et des dangers physiques pour les organismes vivants et pénètre l'équilibre environnemental [1].

Le phénol est un polluant courant dans les eaux usées provenant de la production de pétrole, de pétrochimie et de charbon. Le phénol est largement utilisé. Les phénols sont des polluants de faible niveau, dont beaucoup ont été classés comme polluants dangereux en raison de leur risque potentiel pour la santé humaine, car les réglementations strictes de l'EPA exigent une diminution plus faible du phénol à partir de 1 mg / l (Dota 1992) [2]. Le but de ce chapitre est de donner un résumé des principales connaissances sur la pollution de l'eau et de phénol.

I.2 La pollution de l'eau :

I.2.1 Définition de la pollution de l'eau:

La pollution de l'eau est destinée à être utilisée par la libération de produits chimiques, physiques et biologiques dans l'eau douce ou dans les mers et les océans, ce qui provoque la dégradation de la qualité de l'eau et affecte les organismes dans lesquels ils vivent. La durée de son séjour dans le milieu aquatique comme les pesticides, les métaux lourds, les composés chimiques non biodégradables ou ceux qui sont cumulatifs dans le corps des organismes [3].

I.2.2 Les sources de la pollution de l'eau :

I.2.2.1 Source urbaine :

L'eau ordinaire provient principalement des zones urbaines où (3/4) de l'eau ordinaire, ces déchets liquides sont un mélange d'eau qui contient des déchets humains [4].

I.2.2.2 Source industrielle :

Les déchets liquides résultant de l'extraction et de la transformation des matières premières constituent des produits industriels. L'eau ordinaire provient principalement de l'eau consommée dans de nombreux processus industriels tels que le nettoyage des équipements, les ateliers et le lavage [4].

I.2.2.3 Source agricole :

La pollution provient de sources agricoles, principalement d'engrais et de pesticides répandus dans le sol, ce type de pollution s'est intensifié depuis que l'agriculture est entrée dans la phase de fabrication avancée [4].

I.2.2.4 Source naturelle :

Ce phénomène est observé pour toute eau en contact avec l'atmosphère car elle contient du dioxyde de carbone hydrosoluble tout en donnant de l'acide carbonique de formule H_2CO_3 . Il est entendu que la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère provoque l'acidification de l'eau au contact [4].

I.2.2.5 Source microbiologique :

La qualité microbiologique de l'eau peut causer des problèmes, qu'ils soient aigus ou chroniques. Des accidents peuvent survenir lors de tubes mal stérilisés, donnant une eau microbiologique de mauvaise qualité pouvant constituer un facteur de risque de nombreuses maladies, en particulier du système digestif [4].

I.2.3 Les types de la pollution :

Dans le secteur de l'eau, il existe cinq types de pollution:

I.2.3.1 La pollution physique :

Due à la présence de substances en suspension et parfois colloïdes Il en résulte une perturbation ou une décoloration plus ou moins prononcée [5].

I.2.3.2 La pollution chimique :

En raison de la présence de certains produits chimiques comme solution à qui peuvent faire changer la saveur ou l'apparition de la nature toxique d'eau [5].

I.2.3.3 La pollution radioactive :

Est principalement par la fuite des réacteurs nucléaires, qui est le plus grave en raison de sa vitesse élevée dans Écar [5].

I.2.3.4 La pollution biologique :

Se produit lorsque certains types de pollution sont trouvés les micro-organismes pathogènes tels que les virus sont capables de se reproduire dans l'eau [5].

I.2.3.5 La Pollution thermique :

Pollution thermique, causée par des hausses de température excessives l'eau résultant du rejet de l'eau de ses systèmes de refroidissement dans les établissements les centrales électriques sont privées [5].

I.2.4 Les polluants d'eau :

I.2.4.1 Les polluants organiques :

Les polluants organiques sont les plus nombreux et les plus dangereux. Certaines de ces substances sont cancérogènes ou mutations et affectent l'échange et l'équilibre de l'oxygène dissous dans l'eau et affectent les caractéristiques chimiques et les propriétés des cours d'eau et affectent les organismes aquatiques et affectent les organismes aquatiques, et peuvent être classés comme phénol, hydrocarbures, pigments et détergents Les pesticides sont des composés organiques de phosphore et des composés sulfuriques, qui sont de loin la principale cause de

Pollution des ressources en eau. Ces substances organiques proviennent en particulier des déchets liquides ménagers (animaux, humains, graisses, etc.) mais elles sont aussi le résultat de rejets industriels [6].

Tableau I.1 : Certains polluants organiques et leurs effets potentiels [7].

Polluants organiques	Effets
Insecticides	toxiques (aquatiques et fauniques)
PCD	effets bioactifs
Résidus de pétrole	faune - manifestations environnementales
Résidus d'eaux usées	qualité de l'eau - niveau d'oxygène
Détergents	enrichissement alimentaire et faune
Produits chimiques cancérigènes	cancers
Thalassa	Qualité de l'eau - Vie aquatique - Faune
Goût, couleur, odeur	qualité de l'eau- manifestations environnementales

I.2.4.2 Les polluants inorganiques :

Les éléments sont placés sous forme de traces, présentes à l'état solide du sol, dans les métaux lourds sont souvent présents dans les traces: mercure, plomb, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques de ces substances sont le plomb, le cadmium et le mercure. Les activités industrielles telles que l'électronique, les traitements de surface, les plaies chimiques industrielles, et l'utilisation de minéraux en raison de leur capacité à s'accumuler dans les tissus vivants, en particulier le mercure, qui est le plus répandu et le plus toxique et capable d'accumulation de tissus, ainsi que son rôle dans la consommation autant L'oxygène important est 4 fois plus que les déchets, ce qui conduit à plus de tuer les organismes avec l'eau dans laquelle ces résidus sont déversés, qui ont le potentiel d'être libérés dans l'environnement [6].

Tableau I.2: Les éléments chimiques les importants polluant l'eau [7].

Élément	Source	Impact
Arsenic	minéraux secondaires - résidus chimiques	potentiellement cancérogènes toxiques
Béryllium	charbon de pierre - résidus industriels	Toxiques
Bor	Écloseries en pierre - détergents - déchets.	Toxiques
Chrome	revêtements métalliques - tannage du cuir	organique fondamental
Cuivre	déchets industriels - revêtements métalliques	Fondamental comme un effet de métal - toxique avec les fortes concentrations de la plante.
Fluor	Sources géologiques naturelles Déchets – eau ajoutée	1mg/l cure-dent
Iode	Déchets industriels- eau de mer eau salée	Un anti-goitre
Le fer	Déchets industriels – Corrosion chimique – Eau minérale acide – Action bactérienne – Un nutriment essentiel	Nocif à des concentrations élevées
Plomb	Déchets industriels – Mines – Le carburant	Très toxique – Nocif pour la faune
Manganèse	Déchets industriels – Eau minérale acide –Action bactérienne	Toxique pour les plantes – Nocif à des concentrations élevées
Mercure	Charbon de pierre – Mines – Déchets industriels	Toxique- Il est transporté sous forme de composés de méthyl mercure à travers des bactéries anaérobies
Molybdène	Déchets industriels – Sources naturelles	Essentiel pour la plante – Animal toxique
Sélénium	Charbon de pierre – Sources naturelle	Principalement avec de faibles concentrations – Toxique à fortes
zinc	Déchets industriels – Revêtement métallique – Installations Sanitaires	De base pour l'adhésion – Toxique pour les plantes à des niveaux élevés

I.2.5 Conséquences de la pollution de l'eau :

Peut classer les conséquences de la pollution de l'eau en cinq grandes catégories :

I.2.5.1 Conséquences sanitaires :

Les conséquences sanitaires sont celles qui doivent être considérées comme une priorité. Être liées à la consommation de produits alimentaires contaminés par de l'eau ou du traitement de l'eau lui-même, le poisson, etc., ainsi qu'un simple contact avec l'eau [8].

I.2.5.2 Conséquences écologiques :

Apparaître des conséquences de la dégradation de l'écosystème, l'émergence des conséquences écologiques néfastes est de réduire l'exploitation optimale des possibilités de l'environnement de la pêche, l'aquaculture, tourisme, etc.) [8].

I.2.5.3 Conséquences agricoles :

Utilise de l'eau à grande échelle dans le processus d'irrigation sous forme brute (non transformés), souvent contenant de l'eau à des substances toxiques et des métaux lourds sont source de pollution des sols car des sols et du couvert végétal de cultures, sont sensibles à la qualité de l'eau [8].

I.2.5.4 Conséquences industrielles :

L'industrie du plus grand consommateur d'eau règnent par exemple 3\1 de l'eau pour la production de 1 kg d'aluminium, la qualité de l'eau en grande industrie tant chimiquement (réduction de minéraux et de l'érosion) biologie (un problème de combustible vital de la pollution par les organismes vivants. En conséquence, peut suspendre ou de retarder le développement industriel, la pollution [8].

I.2.5.5 Conséquences esthétiques :

Cette catégorie plus objective, non moins important que les effets sur la santé et l'environnement, mais ils affectent l'image de l'environnement (comme lancer des bouteilles en plastique et de goudron jeter sur la plage) [9].

I.3 Le Phénol :

I.3.1 Généralités sur le phénol :

Le phénol est un xénobiotique, appartenant aux composés aromatiques, qui représentent la deuxième classe de composés organiques les plus abondants dans la nature. C'est un produit majeur de la grande industrie, en servant de précurseur pour la fabrication d'une variété de résines (phénolique, époxy, polycarbonate et polyamide) [10].

Les phénols sont à bien des égards similaires aux alcools des structures aliphatiques où le groupe hydroxyle est attaché à une chaîne de carbones. Le groupe phénolique hydroxyle, cependant, est influencé par la présence de l'anneau aromatique. En raison de l'anneau aromatique, l'hydrogène de l'hydroxyle phénolique est labile, ce qui rend les phénols acides faibles [11].

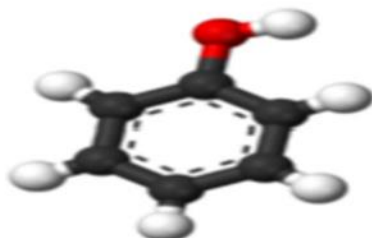
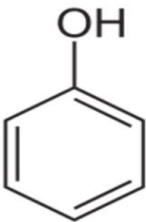


Figure I. 1: Représentation tridimensionnelle de la molécule de phénol

Les phénoliques sont un groupe de composés qui ont un ou plusieurs groupes hydroxyles directement attaché à un anneau de benzène. Ils peuvent être divisés en différentes catégories en fonction du nombre de sous-unités de phénol qu'ils contiennent et séparés en fonction de leur structure [12].

Tableau I.3 : Identification du phénol [13].

Substance chimique	N° CAS	N°EINECS		Synonymes	Forme
Phénol					
C_6H_6O 	108-95-2	203-632-7	94.11g/mol	Acide carbolique, acide phénique, hydroxybenzène, hydroxyde de phényle, Carbolique acid, benzenol, hydroxybenzene, monohydroxybenzene, phenyl alcohol, phenilic acid,	solide cristallisé sous forme d'aiguilles (dans les conditions ambiantes habituelles)

I.3.2 L'origine du phénol :

La présence de phénol dans l'environnement provient des eaux usées et des courants d'air libérés lors de la production, du traitement ou de l'utilisation du phénol. Échappements des moteurs thermiques, dégradation du benzène photochimique et décomposition de divers déchets organiques. Il en va de même pour les raffineries (6-500 mg / l), l'industrie pétrochimique (2,8-1220 mg / l), les préparations pharmaceutiques et plastiques (0,1-1600 mg / l), ainsi que les cokeries (28-3900 mg / l) et les usines Traitement du charbon (9-6800 mg / l). Les phénols peuvent être d'origine humaine [13,14]. Les phénols constituent les principes actifs de nombreuses plantes médicinales. On les trouve, d'une manière générale, dans toutes les plantes [16].

I.3.3 Les propriétés physiques et chimiques :

I.3.3.1 Les propriétés physiques :

- Dans les conditions normales de température et de pression, le phénol est un solide qui se présente sous la forme d'une masse cristalline ou d'aiguilles incolores, hygroscopique et d'odeur caractéristique à la fois âcre et douceâtre (limite olfactive : 0,05 ppm).
- En présence d'impuretés, d'eau ou de lumière, le phénol se teinte en rose ou rouge.
- À 25 °C, le phénol est modérément soluble dans l'eau (environ 80 g/L) ; il l'est en toute proportion à partir de 65 °C. Il est également très soluble dans de nombreux solvants organiques usuels tels l'acétone, l'éthanol, l'oxyde de diméthyle.



Figure I .2 : Le phénol

I.3.3.2 Les propriétés chimiques :

- Le phénol peut réagir vivement avec les oxydants puissants.
- La réaction entre le phénol et de nombreuses substances (formaldéhyde, chlorure d'aluminium, nitrobenzène, nitrate de sodium, 1,3-butadiène...) peut-être violente.
- À chaud, le phénol liquide attaque certains métaux (plomb, zinc, aluminium...) ainsi que certains plastiques, notamment le polyéthylène.

Tableau I.4 : Les propriétés physico-chimique [13– 16].

Nom substance	Détails
Phénol	Etat physique solide
	Mass molaire 94.11g/mol
	Point de fusion 40,9°C
	Point d'ébullition 181,8°C
	Pression de vapeur 0,2hPa à 20°C 3,5hPa à 50°C 54hPa à 100°C
	Point d'éclaire 79°C (en coupelle fermée)
	Limite minimale d'inflammabilité(LEL) 1,5
	Limite maximal d'inflammabilité(UEL) 8,6
	Température d'auto-ignition
	Phénol 715°C
	Densité 1,07
	Densité gaz /vapeur 3,24
	Viscosité 3,44mPa.s
	Coefficient de partage n-octane /eau (log POW) 1,47
	Surface tension 713 m N/m à 20°C (0,118% solution aqueuse)
	Solubilité 84 g/l à 20°C
	Constante de dissociation PKa = 9,89 à 20°C

I.3.4 Les utilisations du phénol :

Le phénol est utilisé comme antioxydant ou anti-inflammatoire. Participez à la prévention des maladies dans lesquelles le stress oxydatif, le vieillissement cellulaire, les maladies cardiovasculaires ou dégénératives et l'ostéoporose, car cela réduit le risque de nombreuses maladies telles que le cancer, les maladies cardiaques et les maladies du système nerveux [21].

Réduit la perméabilité capillaire, ce qui augmente la résistance. et en utilisé sur le génie génétique et modification pour exprimer le métabolisme sous forme de plantes génétiquement modifiées [21].

Le phénol est d'une grande importance pour l'homme car ils sont utilisés pour déterminer critères de qualité, nutrition, de technologie alimentaire et chimio taxonomie. Sont également importants dans la vie végétale: la lignine et le rôle de soutien, les interactions des plantes avec environnement physicochimique et biologique, les interventions dans la physiologie de la plante (croissance, germination du pollen) [22].

Le phénol est utilisé dans la production d'huiles, de xylène, de plastiques, de drogues, d'explosifs, de colorants et de pesticides; il est également présent dans le raffinage de l'huile et les conservateurs en bois et cuir [23].

I.3.5 Les toxicités du phénol :

Le phénol est une substance hautement irritante et corrosive et toxique [24]. Il a une forte capacité à pénétrer dans le corps par la peau et les muqueuses. Les systèmes cardiovasculaire et nerveux sont également des cibles. Le phénol a été classé par l'Union européenne comme une mutation de catégorie III (SFC, 2009). La majorité des phénols et leurs dérivés sont des substances toxiques [25].

Beaucoup d'entre eux sont classés comme déchets dangereux, et certains sont connus ou suspectés d'être cancérigènes. Le phénol a également été inclus dans votre liste de substances dangereuses prioritaires (ATSDR, 2007) [25].

I.3.5.1 Les toxicités du phénol pour l'homme :

Les phénols peuvent causer des vomissements, de l'anorexie, des évanouissements, des maux de tête [26]. La plupart du phénol que vous pouvez prendre s'infiltrera dans votre circulation sanguine, mais un pourcentage plus faible y fuira en cas de contact avec la peau.

Une exposition à court terme au phénol dans l'air peut provoquer une irritation respiratoire, des maux de tête et des brûlures aux yeux [27].

L'exposition à de grandes quantités de celui-ci par contact cutané peut causer des brûlures de la peau, Dommages au foie, décoloration de l'urine au noir, arythmies [27].

I.3.5.2 Les toxicités du phénol pour l'animal :

L'inhalation d'air par des animaux contenant des niveaux élevés de phénol peut entraîner une irritation des poumons Des expositions répétées ont stimulé les tremblements musculaires et la perte de coordination musculaire [27].

L'exposition à une concentration élevée de phénol dans l'air pendant plusieurs semaines provoque une paralysie et des blessures physiques au cœur, au foie, aux reins et aux poumons, entraînant la mort. Certains animaux qui buvaient de l'eau contenant de fortes concentrations de phénol souffraient de tremblements et d'une perte de coordination musculaire [27].

I.4 Conclusion :

Ce chapitre a présenté, un aperçu sur les sources de pollution de l'eau et de certains polluants et de ses conséquences. Nous avons également examiné le phénol en tant que polluant organique de l'eau, sa source et ses caractéristiques ainsi que ses effets sur les humains et les animaux, ainsi que certaines de ses utilisations dans l'industrie et la vie quotidienne.

Références

- [1] M.M Nawar Jalil Hashem, “Le problème de la pollution de l’eau en Iraq et ses perspectives d’avenir,” pp. 169–186.
- [2] F. A. Banat, B. Al-Bashir, S. Al-Asheh, and O. Hayajneh, “Adsorption of phenol by bentonite,” *Environ. Pollut.*, vol. 107, no. 3, pp. 391–398, 2000.
- [3] S. I. Al-hassen, *Introduction à l’écologie et à ses problèmes*, no. September. 2019.
- [4] M. Aicha, “Intitulé Utilisation de l ’ électrocoagulation pour l ’ élimination de colorants des eaux usées de l ’ industrie textile,” *Mémoire Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M’SILA*, 2017.
- [5] P. U. Oum and E. Baouaghi, “Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées,” *Thèse Dr. HADJ LAKHDAR – BATNA*, 2014.
- [6] K. Sara, “Elimination du bleu de méthylène de l ’ eau par adsorption sur un déchet naturel (Tiges des dattes),” *Mémoire Master, UNIVERSITE LARBI BEN M’HIDI OUM EL BOUAGHI*, 2016.
- [7] S. Hassan and N. Yousra, *Chimie de l’environnement*. 2010.
- [8] A. Marwa, “Etude de l’adsorption du colorant bleu de méthylène à partir de déchets de palmier dattier (base de frondes),” *Mémoire Master, Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued*, 2018.
- [9] M. S. Kahina, “Application de l ’ électroflottation - électrocoagulation pour l ’ élimination d ’ un colorant textile Cas du Bleu d ’ indanthrène RS,” *Mémoire Master , Université A.MIRA-BEJAIA*, 2014.
- [10] I. Limam, I. Limam, M. R. Driss, and L. Mazeas, “Étude De La Dégradation Du Phénol Lors De La Digestion Anaérobie : Optimisation D ’ Une Méthode D ’ Analyse Du Phénol Par Spme-Cg-Sm,” pp. 63–70, 2010.
- [11] W. VERMERRIS and R. NICHOLSON, *Phenolic compound biochemistry*. 2006.

-
- [12] T. Grassby, "Phenolics and phenolic-polysaccharide linkages in Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis*) cell walls .," Thèse Dr. Univ. East Angl. Inst., no. March, pp. 1–240, 2008.
- [13] L. S. Villey, Bisson, M. , Diderichr, Lacroix, G. Lefevre and M. H., "Phénol Documentation Phénol," INERI S - Fiche donnees Toxicol. environnementales des Subst. Chim. Phénol, pp. 1–47, 2005.
- [14] M. DJEBBAR, "Argile de Maghnia: Purification et adsorption de polluants," Thèse Dr. D'ORAN, vol. 2, 2014.
- [15] B. Motamed, "Sources et caractéristiques des composés phénoliques dans l'estuaire de la Seine," vol. 23, pp. 167–174, 2000.
- [16] E. Nkhili, "Polyphénols de l'Alimentation : Extraction, Interactions avec les ions du Fer et du Cuivre, Oxydation et Pouvoir antioxydant," *Free Radic. Biol. Med.*, vol. 52, pp. 1075–1085, 2009.
- [17] F. Chimique, "Phénol," pp. 1–9, 2011.
- [18] F. Chimique, N. Substance, and E. Physique, "Phénol Propriétés physiques Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES," pp. 1–3, 2011.
- [19] S. Identification and D. U. Produit, "PHÉNOL EN SOLUTION," no. 800, pp. 79–81.
- [20] European Commission, "Zinc. European Union Risk Assessment Report," JRC Sci. Tech. Reports, p. 710, 2010.
- [21] B. Leila, "Etude des composés phénoliques en tant que marqueurs de biodiversité chez les céréales," Mémoire Magister, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, p. 119, 2008.
- [22] J. J. Macheix, "Les composés phénoliques des végétaux: Quelles perspectives à la fin du XXème siècle?," *Acta Bot. Gall.*, vol. 143, no. 6, pp. 473–479, 1996.
- [23] A. Lallement et al., "Potential for phenol biodegradation in cloud waters," *Biogeosciences*, vol. 15, no. 18, pp. 5733–5744, 2018.
-

- [24] A. D. U. Reactif, "Phénol à 3 % dans l'eau bidistillée 1."
- [25] M. Ehtash, "Purification des eaux polluées par du phénol dans un pertracteur à disques tournants Moamer Ehtash To cite this version : HAL Id : tel-00635855," 2011.
- [26] A. Mandal and S. K. Das, "Removal of Phenol from Aqueous Solution using Activated Carbon from Coconut Coir," vol. 08, no. 12, pp. 41–55, 2018.
- [27] C. D. C. Atsdr and H. H. Sciences, "Phenol - ToxFAQsTM.," pp. 1–2.



Chapitre II : Généralités sur l'adsorption et l'argile



Chapitre II : Généralités sur l'adsorption et l'argile.

II.1 Introduction :

Les argiles sont considérées aujourd'hui comme étant des matériaux adsorbants intéressants, en raison de leur coût faible, leur abondance sur tous les continents, leur petite taille en condition naturelle (inférieure à 2 μm) fait que ces minéraux développent de grandes surfaces spécifiques, la présence des charges électriques sur cette surface, du fait de leur réactivité vis-à-vis des cations interfoliaires (propriétés d'échange de cations), du gonflement, de la plasticité et ils confèrent à ces argiles des propriétés hydrophiles[1]. En conséquent ces minéraux sont considérés comme des puits naturels vis-à-vis des polluants organiques et inorganiques. Le but de ce chapitre est de donner un résumé des principales connaissances sur adsorption et l'argile.

II.2 Généralités sur l'adsorption :

II.2.1 Définition :

L'adsorption fait partie des opérations physiques de séparation des mélanges [2]. L'adsorption est définie comme étant la fixation d'une substance solide, liquide ou gazeuse (adsorbant) à la surface d'un solide (adsorbant) [3]. Ces polluants peuvent être adsorbés à la surface de plusieurs matériaux comme le charbon actif ou sur l'argile (montmorillonite, kaolin ...) qui est un mélange de minéraux argileux et d'impuretés cristallines, il est traité pour améliorer ces propriétés absorbantes [4].

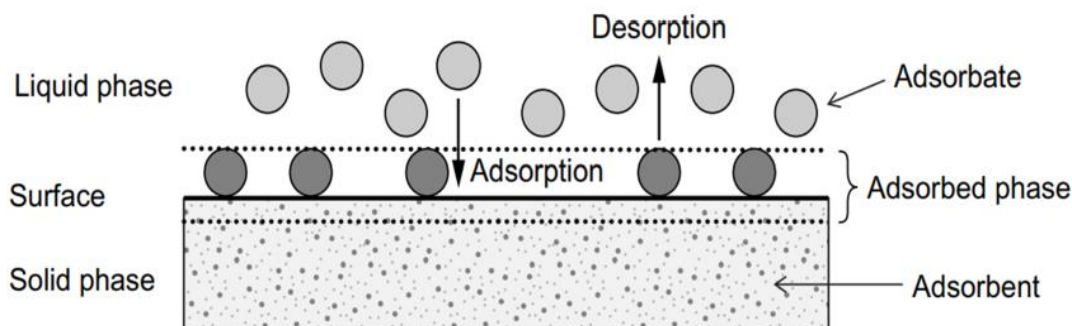


Figure II.1: Termes de base de l'adsorption [5].

II.2.2 Types d'adsorption :

L'adsorption est un phénomène d'interface (phénomène physique de fixation des molécules adsorbé sur la surface d'un solide adsorbant), pouvant se manifester entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide. Il existe deux types de processus d'adsorption : adsorption physique (ou physisorption) et adsorption chimique (ou chemisorption) [6] :

II.2.2.1 Adsorption physique :

L'adsorption physique est un phénomène réversible gouverné par des forces attractives de nature physique, comprenant les forces de Vander Waals. Ces forces ne détruisent pas l'individualité des molécules adsorbées et lorsqu'elles opèrent, elles correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de 10 Kcal par mole. Ce phénomène consiste essentiellement en la condensation de molécules sur la surface du solide est favorisé par un abaissement de la température [7].

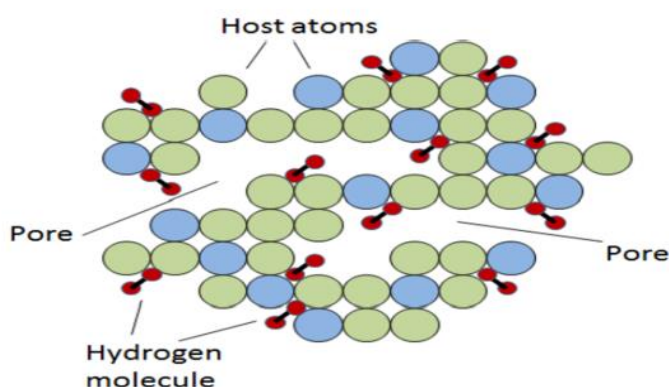


Figure II. 2 : Mécanisme de stockage de l'hydrogène par physisorption [8]

II.2.2.2 Adsorption chimique :

L'adsorption chimique est un phénomène irréversible géré par des interactions chimiques qui provoque un transfert ou une mise en commun d'électrons entre l'adsorbé et la surface de l'adsorbant. On assiste donc à une destruction de l'individualité des molécules adsorbées et la formation de nouveaux composés à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie élevée variant de 10 à 100 Kcal par mole [7].

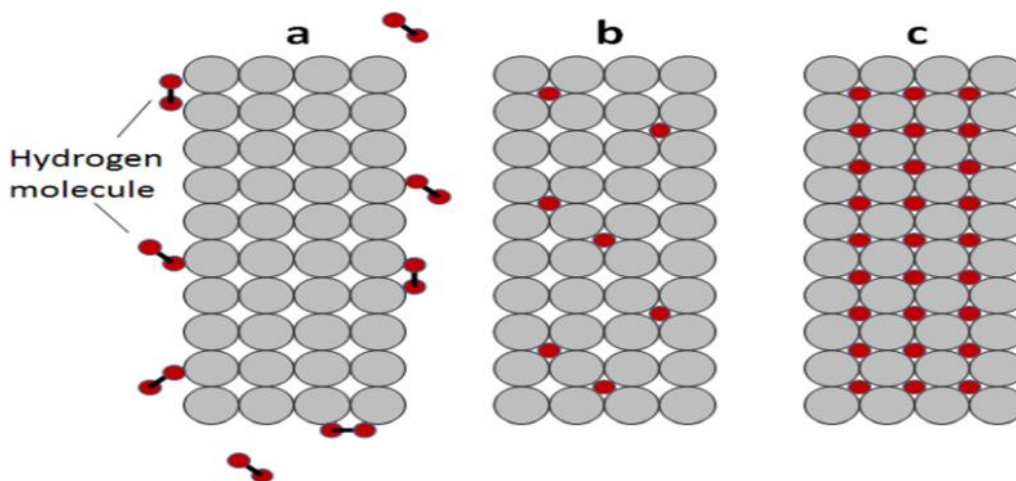


Figure II.3: Mécanisme de stockage de l'hydrogène par chemisorption [8].

Les différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [9].

Propriété	Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption	Environ 5 Kcal/mol	Environ 10 Kcal/mol
Température de processus	Relativement bass	Plus élevée
Liaison entre gaz - solide	physique	chimique
Spécificité cristallographique	Processus non spécifique (pratiquement indépendant de la géométrie atomique extérieure)	Processus spécifique
Désorption	facile	difficile
La distance entre les molécules et la surface de solide	grande	petite
La vitesse d'adsorption	rapide	lente
Prise de saturation	0 à 40 KJ/mol	40 KJ/mol
Nature de sorbat	La quantité d'adsorbat enlevée dépend de l'adsorbat que sur l'adsorbant	Dépend de l'adsorbant et de l'adsorbat

II.2.3 Mécanisme d'adsorption :

Le mécanisme classique de l'adsorption est divisé en trois étapes (Figure II.3):

- Diffusion de l'adsorbat à la surface adsorbent, l'étape 1 se déroule la diffusion de l'adsorbat sur la surface adsorbent par des forces intermoléculaires entre adsorbat et adsorbent,
- Migration dans les pores de l'adsorbent, La deuxième étape consiste à migration l'adsorbat dans les pores de l'adsorbent,
- Mono layer build-up de adsorbat sur l'adsorbent, au cours de la dernière étape, lorsque les particules de l'adsorbat sont distribuées à la surface et ont rempli le volume de pores, des particules d'adsorbat construisent le mono layer des molécules, des ions et des atomes réagis aux sites actifs de l'adsorbent [8].

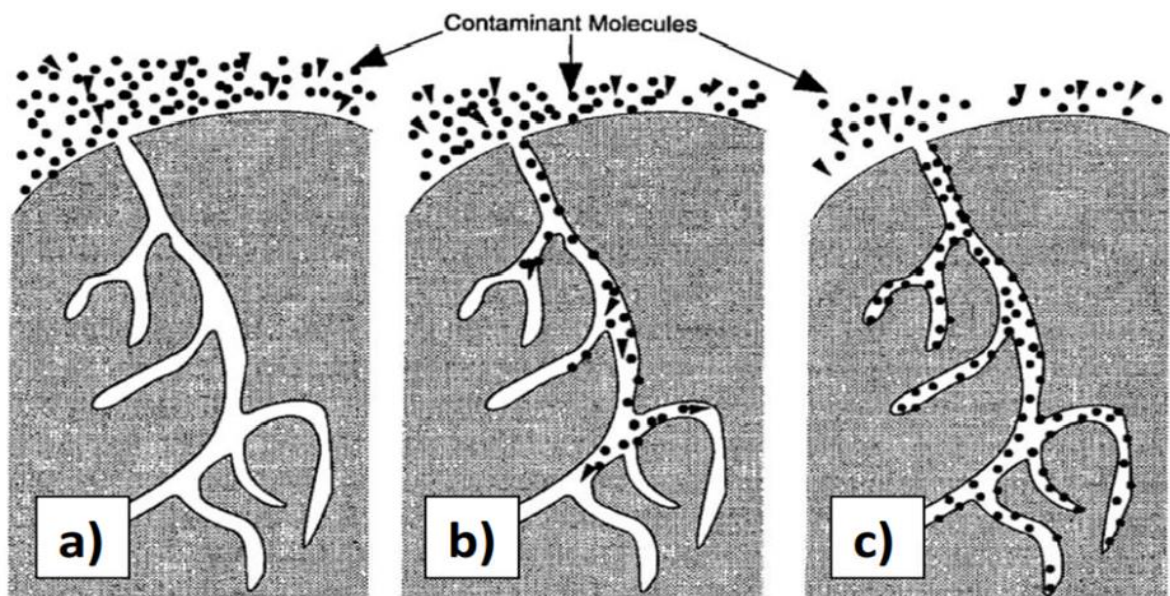


Figure II.4 : Présente le processus de distribution adsorbat [8].

II.2.4 Les facteurs influents sur le phénomène d'adsorption [10]:

Les facteurs dont dépend l'étendue de l'adsorption sont :

- La surface effective, y compris la distribution appropriée de la taille des pores d'adsorbent,
- La solubilité de l'adsorbat en phase aqueuse,
- La nature des sites actifs ou des groupes fonctionnels de surface à la surface,

La concentration de la phase liquide,

- La nature de l'adsorbant ou de l'adsorbat,
- La température de l'environnement,
- pH du système en cas d'applications en phase liquide.

II.2.5 L'adsorbant :

II.2.5.1 Définition :

Les adsorbants sont des matériaux poreux qui ont des tailles des pores variant en générale entre quelque angström à une centaine d'angström et une surface spécifique (surface/unité de masse) supérieure à 100 m²/g. Les adsorbants souvent utilisés sont le gel de silice, l'aluminium activé, les charbons actifs ainsi que les adsorbants à tamis moléculaires comme les zéolithes [11].

II.2.5.2 Principaux adsorbant [12]:

Un bon adsorbant doit avoir les qualités suivantes :

- Une haute capacité d'adsorption ;
- Une grande efficacité pour adsorber des substances de faibles ;
- Les Concentrations ;
- Une sélectivité élevée ;
- Une aptitude à être facilement régénère et utilisé de nouveau ;
- Une grande inertie chimique ;
- Un prix peu élevé.

II.2.5.3 Les propriétés physiques des adsorbants [12,13] :

Tous les adsorbants sont caractérisés par un certain nombre de propriétés physiques :

- Porosité interne;
- Fraction de vide externe correspondant à un garnissage en vrac;
- Masse volumique de la particule;

- Masse volumique réelle;
- Surface spécifique des pores;
- Rayon moyen des pores ;
- Masse volumique apparente de la couche en vrac ;
- Capacité théorique d'adsorption correspondent à la qualité maximale de soluté peut être adsorbée dans les conditions opératoires par unité de masse d'adsorbants faits.

II.2.5.4 Les principaux adsorbants :

Au sens strict, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques. Les adsorbants industriels les plus courants sont les suivants [14]:

❖ L'argile :

Les argiles sont considérées aujourd'hui comme étant des matériaux adsorbants intéressants. En raison de leur coût faible, leur abondance sur tous les continents, leurs propriétés d'échange d'ions et leur surface spécifique élevée, la capacité de minéraux argileux (bentonite, montmorillonite, kaolinite...) à adsorber les molécules organiques et/ou minérales est un sujet qui a suscité un vif intérêt depuis de nombreuses années [15].



Figure II.4: Argile (montmorillonite) traité [16].

❖ Silica gel :

Les gels de silice ont une amorphe, désordonnée microstructure et donc une large taille de pores distribution. En raison de sa polarité les gels de silice sont adsorbants hydrophiles, qui se reflètent dans l'affinité pour les molécules dipolaires, telles que les molécules d'eau. Parce que le gel de silice basé sur l'adsorption physique, l'eau est liée par les forces pas très fortes van der Waals à la surface. L'eau adsorbée reste chimiquement inchangée et peut être facilement dissoute à nouveau [17].



Figure II. 5 : silica gel [18].

❖ Alumine activée :

L'alumine activée est une surface élevée et une forme très poreuse d'oxyde d'aluminium qui peut être utilisée pour les espèces contaminants adsorbés s'agit de gaz ou de liquides d'éther sans en changer la forme. La recherche dans l'obtention de ce matériel a suscité un énorme intérêt [19].

❖ Charbon actif :

Le terme charbon actif est essentiellement appelé carbonaté matériaux, avec une grande porosité, une grande stabilité physicochimique, une forte capacité absorbante, une forte résistance mécanique élevée, degré de réactivité de surface, avec une immense surface qui peut être différenciée du carbone élémentaire par l'oxydation des atomes de carbone que l'on trouve sur les surfaces extérieures et intérieures [20]. Les charbons actifs sont des adsorbants polyvalents. Ils sont utilisés pour purifier, décolorer, désodoriser, séparer et se concentrer afin de permettre la récupération et de filtrer, enlever ou modifier les constituants nocifs des gaz et des solutions liquides [21].



Figure II .6: Le charbon actif [22].

❖ **Tamis moléculaire de carbone, msc :**

Les tamis moléculaires de carbone sont le carbone activé dont la taille de micropore a été ajustée par des traitements spécifiques pour permettre des séparations sur la base du tamisage moléculaire (forme de diamètre de pore 3, 5 à 6,5 Å). Il peut être préparé par un grand nombre de méthodes telles que la carbonisation de polymères, cellulose, anthracite ...l'application principale de MSC aujourd'hui est dans la production d'azote de l'air .le diamètre des pores MSC d'environ 5 Å qui est utilisé permet à l'oxygène d'être plus rapidement adsorbé que l'azote [23].

❖ **Biosorbant :**

Les trois dernières décennies ont montré une explosion dans le développement de nouveaux matériaux proposés comme Biosorbant pour l'enlèvement des métaux dans des processus axés sur la bio sorption à l'aide de divers systèmes de contact. Il s'agit notamment d'organismes vivants (p. ex. algues, bactéries, champignons et levures) et de biomasse morte (p. ex. écorce, sciure de bois, tourbe, fibres naturels comme le coton et le lin, les plantes et d'autres substances organiques comme les bio polymères ou les polysaccharides). Les polysaccharides comprennent l'amidon, la cellulose, l'alginate et la chitine et leurs produits dérivés tels que le chitosan et le cyclodextrins. Ces substances sont intéressantes en raison du fait qu'elles sont abondantes dans la nature, disponibles en grandes quantités, peu coûteuses, et peuvent avoir un potentiel comme matériau solide en raison de leurs propriétés chimiques physiques et la structure spéciale [24].

❖ Adsorbants à base de polymères :

Les adsorbants à base de polymères organiques ont trouvé des applications pour l'élimination des composés organiques, la purification des eaux ou la fabrication des médicaments. Les polymères de base sont des polystyrènes, des esters polyacryliques ou des résines phénoliques. C'est généralement des matériaux méso-poreux [14].

❖ zéolites (tamis moléculaires) :

La zéolite est un cristal poreux contenant des pores de taille (5–12 Å ou 0,5–1,2 nm) composé généralement d'atomes de Si, d'Al et d'O et d'un catalyseur matériau avec de vastes applications industrielles. Le terme zéolite est dérivé des mots grecs pour «Pierre bouillante», de la capacité de ces matériaux à absorber l'eau et à la libérer lors du chauffage [25,26].

II.2.6 L'isotherme d'adsorption :

Le processus d'adsorption peut être décrit à l'aide de l'isotherme d'adsorption. Pour cela, l'isotherme est une courbe qui représente la relation entre la quantité d'adsorbant et la concentration de la substance dans la solution à l'équilibre. Cette courbe est obtenue à partir des résultats d'essais pratiques menés à température constante [27].

$$\frac{x}{m} = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \times V \dots\dots\dots (II.1)$$

- C_0 : concentration initiale du soluté en (mg/L)
- C_e : concentration du soluté à l'équilibre dans la solution en (mg/L)
- V : volume connu de la solution.
- x : masse du soluté fixé en (mg/l)
- m : masse connue de l'adsorbant
- (x/m) : quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant en (mg/g)

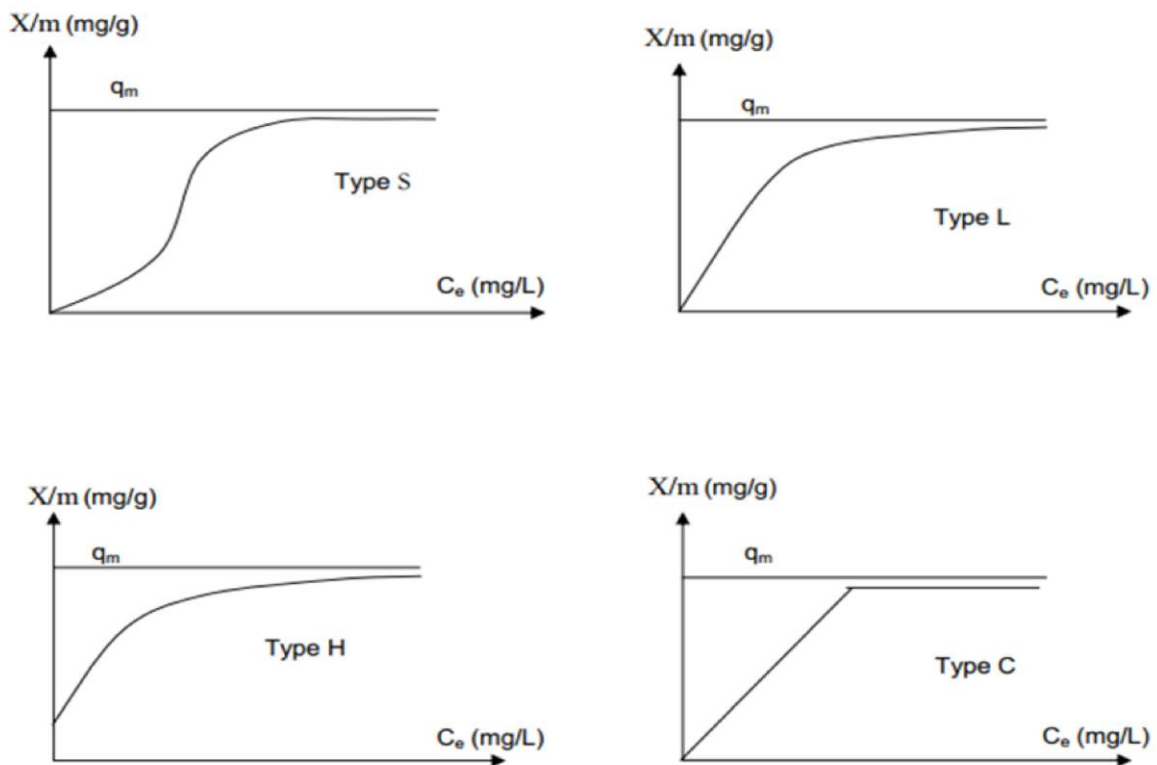


Figure II.7: Les isothermes d'adsorption en phase liquide [28].

- 📖 **Type S:** indique une adsorption verticale de molécules monofonctionnelles polaires sur un adsorbant polaire. Ici le solvant rivalise avec le soluté pour l'occupation des sites de l'adsorbant.
- 📖 **Type L:** Langmuir normal, indique l'adsorption à plat de molécules bi fonctionnelles. Dans ce cas l'adsorption du solvant est faible et celle du soluté sur le solide se fait en monocouche.
- 📖 **Type H:** ne commence pas à zéro mais à une valeur positive, et indique une haute affinité souvent observée pour des solutés adsorbés sous forme de micelles. Cela signifie qu'aux faibles concentrations l'adsorption est totale.
- 📖 **Type C:** ligne droite, cela signifie qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites, toujours avec le même partage [29].

II.2.7 Modèles d'adsorptions :

a) Isotherme de Langmuir :

C'est le modèle le plus couramment utilisé pour commenter les résultats trouvés lors de

l'adsorption des composés organiques dans la solution de l'eau qui a eu lieu à une température constante, où le q_e sorbet est associé à l'amplitude maximale du q_m à la concentration de l'équilibre C_e de la solution et à une convergence constante de K et ce modèle est illustré dans l'équation suivante[30]:

$$K \cdot C_e / (1 + K \cdot C_e) \dots \dots \dots (II.2)$$

La transformation linéaire de ce modèle a une équation de la forme:

$$1/q_e = 1/q_m + 1/K \cdot q_m \cdot C_e^{-1} \dots \dots \dots (II.3)$$

Paramètres d'adsorption : q_m et K sont déterminés à partir de l'équation linéaire de cette forme isotherme.

b) Isotherme de Freundlich :

Ce modèle détermine la relation entre la quantité du sorbent et la quantité restante dans la phase liquide, et cette équation est basée sur la distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption, et s'exprime dans la relation suivante [31].

$$X/M = K \cdot C_e^{1/n} \dots \dots \dots (II.4)$$

Considérant:

X: Quantité de sorbent (mg ou mmol).

M: Annonces de masse (g).

X/M: La quantité de pureté qui est aigre par unité de suffusion (mg/g).

C_e : La concentration résiduelle du matériau lors de l'équilibrage (mg/l ou mmol/l). K , n : Freundlich constants.

L'équation est écrite comme suit :

$$K \cdot C_e / (1 + K \cdot C_e) \dots \dots \dots (II.5)$$

Dans l'ensemble, ce modèle correspond à l'adsorption dans les solutions diluées comme c'est le cas avec les pesticides dans l'eau et est également multicouches par rapport au modèle Langmuir.

c) Isotherme de BET :

Souvent, les molécules forment des multicouches, certaines sont adsorbées sur des molécules déjà adsorbées et l'isotherme Langmuir n'est pas valide. En 1938, Stephan Brunauer, Paul Emmett et Edward Teller développent une isotherme qui tient compte de cette possibilité. Brunauer- Emmett- Teller (BET) équation (Equation II.6) est comme suit [32]:

$$\frac{q}{q_m} = \frac{BC_e}{(C_e - C_s)[1 + (B-1)(C_e - C_s)]} \dots\dots\dots (II.6)$$

Où :

B : est une constante sans dimension.

C_s : concentration de saturation de l'adsorbat (g/m³).

q : quantité d'adsorbé soluté par poids unitaire

d'adsorbent (g/g).

Q_m : capacité d'adsorption maximale (g/g).

L'isotherme BET peut être linéaire tel qu'il est indiqué dans l'équation (II.7) :

$$\frac{C_e}{(C_s - C_e)q} = \frac{1}{Bq_m} + \frac{B-1}{Bq_m} \frac{C_e}{C_s} \dots\dots\dots (II.7)$$

d) Isotherme de Temkin :

Ce modèle montre l'effet de la température sur l'adsorption linéairement car il diminue linéairement à mesure que la surface se balançant augmente et s'exprime par [33] :

$$q_e = B \ln(A \cdot C_e) \dots\dots\dots (II.8)$$

Forme linéaire :

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \dots\dots\dots (II.9)$$

$$B = RT/b_T \dots\dots\dots (II.10)$$

Où:

B: Constant permet associé à l'adsorption thermique (J/mol). A : Isotherme fixe permet (L/g).

R: Constante idéale de gaz (J/mol. K). T: Température (K).

Ce: Concentrez-vous lors de l'équilibrage (L/mg). BT: Fonction de chaleur Adsorption.

II.2.8 Caractéristiques d'adsorption :

II.2.8.1 Cinétique d'adsorption :

1) Modèle du pseudo premier ordre :

L'expression cinétique du pseudo premier ordre est toujours citée, du modèle (Langmuir, 1898) :

$$dq_t/dt = K_1 \cdot (q_e - q_t) \dots \dots \dots (II.11)$$

Où:

K_1 : Taux d'adsorption fixe de première classe. T: Temps de l'adsorption (min).

Q_t : la quantité de substance sorbent pour le moment (mg/g).

Q_e : quantité de matériel marqué de référence (mg/g).

L'intégration de l'équation précédente donne [34] :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - K_f \cdot t \dots \dots \dots (II.12)$$

2) Modèle du pseudo deuxième ordre :

L'expression cinétique du pseudo deuxième ordre est montrée dans l'équation suivante :

$$dq_t/dt = K_2 \cdot (q_e - q_t)^2 \dots \dots \dots (II.13)$$

Considérant:

K_2 : Pantoum deuxième rang fixe (g/mg. Min).

L'intégration de l'équation précédente peut donner l'équation suivante [34] :

$$t/q_t = 1/K_2 q_e^2 + t/q_e \dots \dots \dots (II.14)$$

II.2.8.2 Thermodynamique de l'adsorption :

L'étude thermodynamique reflète la faisabilité et la nature automatique du processus d'adsorption. L'étude comprend la thermodynamique de l'énergie libre (ΔG), le changement dans l'antérieur (ΔH) et la différence dans l'entropie (ΔS) qui peut être estimée à partir des constantes de l'équilibre à des températures différentes. Pour estimer la différence d'énergie libre de la réaction, l'adsorption est donnée par [35] :

$$\Delta G^0 = -RT \cdot \ln K_C \dots \dots \dots (II.15)$$

Où:

□G: Variation de l'énergie libre (kJ.mol⁻¹).

R: Parfaite constante de gaz (8.314 J. mol⁻¹. K⁻¹). T: Température absolue (K).

K_c : Équilibre constant.

Les valeurs peuvent être calculées ΔH° et ΔS° de l'équation Van 't Hoff comme suit:

$$\ln K_c = -\Delta H/RT + \Delta S/R \dots \dots \dots (II.16)$$

II.3 Généralités sur l'argile :

II.3.1 Définition de l'argile:

Le terme d' "argiles" désigne non seulement une formation rocheuse et la matière première qui en résulte et dont les caractéristiques sont présentées ci-après, mais il définit aussi un domaine granulométrique comprenant des particules minérales, dont le diamètre des grains est inférieur à deux micromètres (< 2 μm). En tant que matière première brute, l'argile est donc un mélange de minéraux argileux et d'impuretés cristallines sous forme de débris rocheux de composition infiniment diverse [36].

Les argiles sont des matériaux peu onéreux et facilement accessibles qui présentent d'excellentes propriétés d'échanges de cations et qui peuvent être utilisées pour adsorber des contaminants [37]. Les argiles peuvent être regroupées selon leur composition chimique et leur structure cristalline en familles dont les plus importantes sont la kaolinite, l'illite et la smectite [38].

Les minéraux d'argile sont des phyllo silicates ou des silicates de feuille avec l'empilement des feuilles octaédriques et tétraèdre qui sont les deux blocs de base qui composent les unités structurales de base [39].

II.3.2 Structure cristallographique des argiles :

Les argiles sont constituées de minéraux dont les particules sont essentiellement des phyllo silicates; empilements de feuillets bidimensionnels silicatés [40].

Les cristaux sont conçu à partir d'un empilement de feuillets élémentaires de façon ordonnée telle que :

- Les plans sont constitués d'atomes.

Les couches tétraédrique et octaédrique sont constituées de combinaison des plans.

Les feuillets tétraédrique et octaédrique sont constitués de combinaison des couches.

Ainsi le cristal est le résultat de l'empilement de ces couches [41].

Les différents minéraux argileux se distinguent par le mode d'agencement de deux couches : la couche tétraédrique (notée T ou Te) et la couche octaédrique (notée O ou Oc) [42].

Ces structures peuvent être décrites comme Suits.

- ♦ **La couche tétraédrique** : formée par un atome centrale A, en principe le silicium, entouré de quatre atomes d'oxygène (figure II-8). Chaque tétraèdre est lié aux autres tétraèdres voisins en partageant trois angles. L'association de six tétraèdres forme une cavité hexagonale. L'épaisseur de la couche tétraédrique est de 4,6 Å [43].

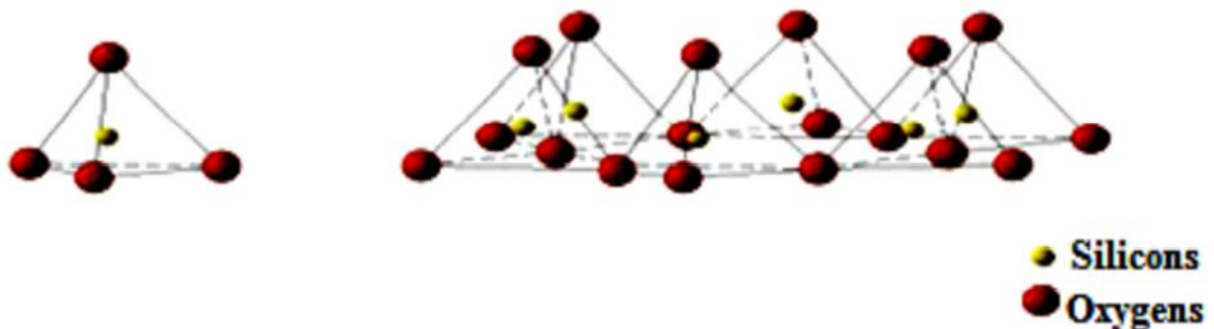


Figure II.8 : Représentation des couches tétraédrique [44]

- ♦ **La couche octaédrique** : est formée par un atome centrale A, souvent l'aluminium, entouré par des atomes d'oxygène et des groupements hydroxyles (figure II-9). Chaque octaédrique est connecté aux autres octaèdres voisins en partageant uniquement les arêtes entre eux. L'épaisseur de cette couche octaédrique est de 5,05 Å [43].

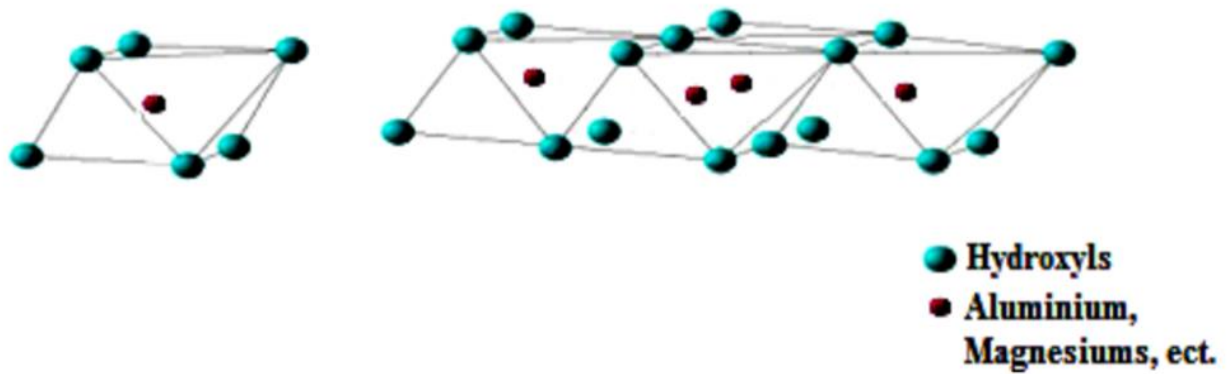


Figure II .9 : Représentation des couches octaédrique [44].

- ♦ **Espace interfoliaires** : dans la structure des argiles, la distance qui sépare deux feuillets élémentaires parallèles est espace interfoliaires .Chaque argile possède son espace interfoliaires[42].

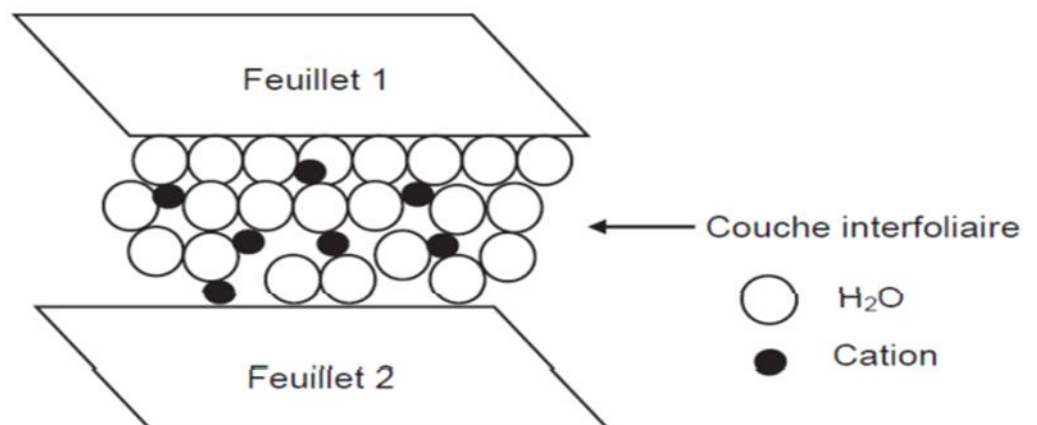


Figure II.10: Représentation schématique de la couche interfoliaires [45].

II.3.3 Classification des argiles [46]:

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur l'épaisseur et la structure du feuillet. Elles sont classées en quatre groupes :

❖ Les minéraux à 7Å de type 1 :1

Le feuillet est constitué d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T:O ou de type 1:1. Son épaisseur est d'environ 7Å. A ce type correspond le groupe de la kaolinite.

❖ Les minéraux à 10Å de type 2 :1

Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique. Il est qualifié de T:O:T ou de type 2:1. Son épaisseur est d'environ 10 Å. Dans ce groupe d'argile figurent les minéraux de type smectites et les familles voisines talcs, vermiculites et micas.

❖ Les minéraux à 14Å de type 2 :1 :1

Ce troisième type de feuillet est constitué par deux couches tétraédriques et de deux couches octaédriques. La structure se compose en couches alternées de feuillets T:O:T et d'une couche octaédrique non liée ou de type 2:1:1. Cette couche octaédrique interfoliaire neutralise les charges portées par les feuillets T:O:T. Le minéral type de ces phyllosilicates est le chlorite.

❖ Les minéraux inters stratifiés :

Les minéraux inters stratifiés sont formés d'empilements réguliers ou irréguliers de feuillets de deux types différents.

II.3.4 Famille des argiles :

1. La kaolinite :

La kaolinite est l'un des minéraux d'argile les plus importants. Le mot "kaolin" vient d'une colline chinoise où ce produit fut extrait au long des siècles. Comme tous les minéraux argileux, la kaolinite est un phyllosilicate. Le minéral est composé d'un empilement de feuillets, chaque feuillet est composée de l'association de deux couches différentes, nommée couche tétraédrique et couche octaédrique. En associant une couche tétraédrique siliceuse à une couche octaédrique alumineuse, nous obtenons le feuillet de la kaolinite.

La kaolinite est un phyllosilicate de type 1: 1 on la trouve soit sous forme hydratée ou non. La forme structurale de la kaolinite est la suivante : $(\text{OH})_8 \text{Al}_4 \text{Si}_4 \text{O}_{10}$ L'empilement régulier de ces feuillets définit la kaolinite et la périodicité de cet empilement est de 7Å environ [47].

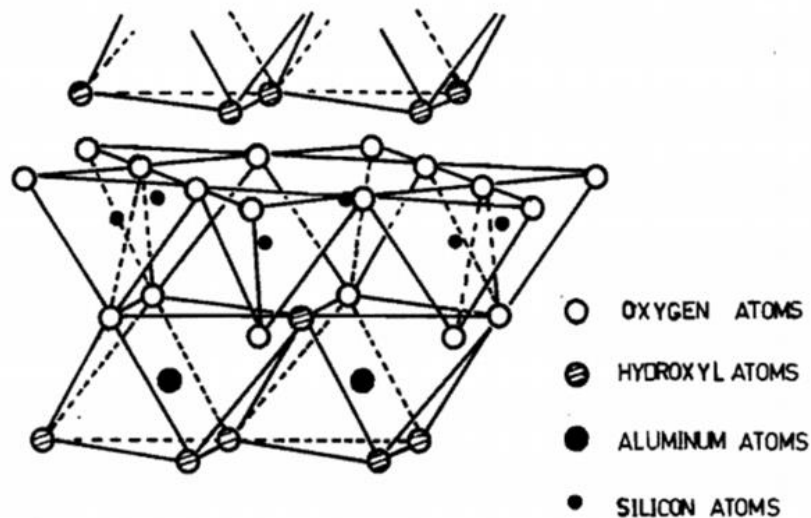


Figure II.11 : Schéma de la structure de la kaolinite [48].

2. Illite :

Les illites sont des silicates micacés à 3 couches; au-dessus et en dessous de chaque couche d'Al (OH)₆ octaédrique se trouve une couche de SiO₄ tétraédrique. Ils sont des minéraux argileux abondants dans les régions nord du globe.

Ce groupe comprend plusieurs types d'argiles, également riche en silice, et ses propriétés sont intermédiaires entre celles des deux familles précédentes. Les cristaux peuvent être de grande taille et le motif d'une maille élémentaire est formé d'un feuillet de 10 Å. la composition chimique approchée d'une illite est : $[\text{Si}_{3,4}\text{Al}_{0,6}][\text{Al}_2]\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{K}_{0,6}$ [49].

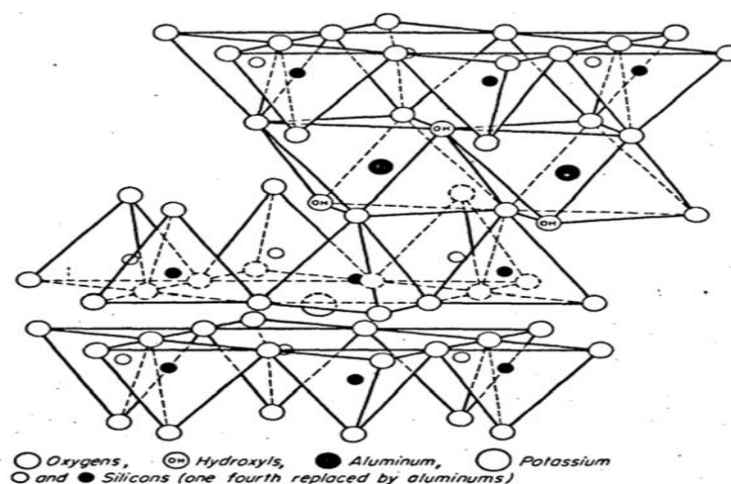


Figure II.12 : Schéma de la structure de l'illite [50].

3. Montmorillonite :

La montmorillonite est un minéral argileux de type 2:1 où son feuillet élémentaire est formé par une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques (T-O-T) séparées par un espace interfoliaires où se logent les molécules d'eau et des cations échangeables. Les ions Si^{4+} sont situés à l'intérieur d'un tétraèdre dont les sommets sont occupés par des atomes d'oxygènes. Les ions Al^{3+} sont situés à l'intérieur d'un octaèdre dont les sommets sont occupés par quatre atomes d'oxygènes et deux ions hydroxyles [51].

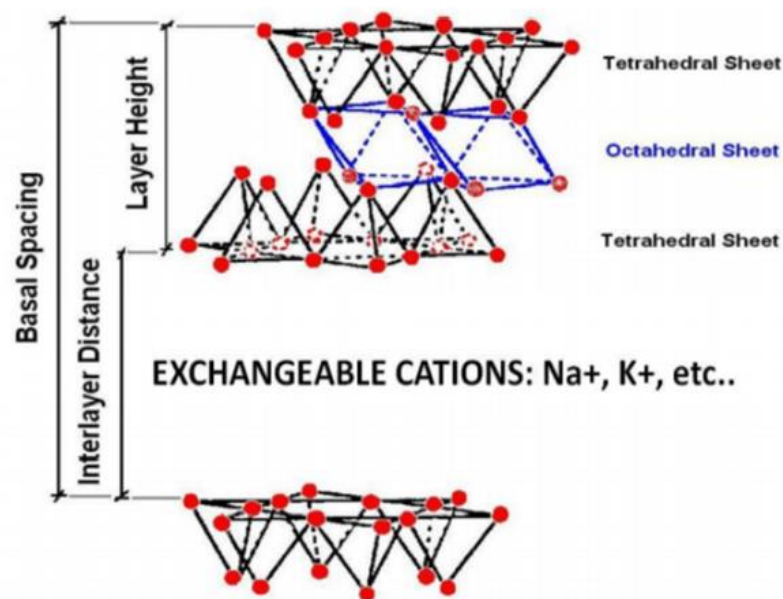


Figure II. 13 : Représentation schématique de l'argile montmorillonite [52].

II.3.5 Propriétés des argiles :

Les principales caractéristiques des minéraux argileux qui influencent le gonflement sont les suivantes :

❖ Densité de charge spécifique [53] :

La densité de charge spécifique σ est égale au rapport entre la capacité d'échange cationique, CEC et la surface spécifique S de la particule argileuse :

$$\sigma(\text{meq}/\text{m}^2) = \frac{\text{CEC}}{S} \dots\dots\dots (\text{II.17})$$

Deux types de charge existent dans les milieux argileux :

- ♦ Une charge permanente ou structurelle liée aux substitutions ioniques (Al^{3+} pour Si^{4+} dans la couche tétraédrique; Mg^{2+} ou Fe^{2+} pour Al^{3+} dans la couche octaédrique),
- ♦ Une charge de surface variable selon le PH du milieu liée aux réactions chimiques qui se produisent à la surface des minéraux.

La densité de charge spécifique renseigne sur le pouvoir de la particule à repousser les autres, cette répulsion étant la capacité de gonflement des minéraux argileux. L'augmentation de la densité de charge spécifique réduit le gonflement ou la pression de gonflement des matériaux argileux. Cette augmentation entraîne l'attraction des ions, ce qui va provoquer une condensation de la double couche, donc une diminution de son épaisseur. Aussi plus cette concentration est élevée, plus la couche est mince ou comprimée donc induit une diminution de gonflement.

❖ La capacité d'échange cationique (CEC) [53] :

Mesure la capacité d'une argile à échanger des cations. Elle est exprimée en milli équivalent par 100 grammes d'argiles et varie dans le même sens que la densité de charge surfacique. Donc, pour les argiles ayant une valeur élevée de CEC, elles ont tendance à peu gonfler, et cela à surfaces spécifiques égales.

Tableau II.2: Valeurs de la capacité d'échange cationique des principales espèces minéralogiques [54]

Echantillons	CEC (mg /100g)
Kaolinite	3-15
Illite	10-40
Chlorite	10-40
Montmorillonite	80-150
Vermiculite	100-150

❖ La surface spécifique [53] :

Des argiles sont composées de la surface externe comprise entre les particules et la surface interne correspondant à l'espace interfoliaires. L'augmentation de la surface spécifique donne un pouvoir de gonflement plus important et par conséquent un potentiel de gonflement plus élevé.

Tableau II.3: La surface spécifique de quelques minéraux argileux.

Minéraux	Surface interne (m ² /g)	Surface externe (m ² /g)	Surface totale (m ² /g)
Kaolinite	0	10-30	10-30
Illite	20-55	80-120	100-175
Montmorillonite	600-700	80	700-800
Vermiculite	700	40-70	760
Chlorite	---	100-175	100-175

❖ Propriétés de gonflement, rôle du cation compensateur:

Le gonflement par type et le nombre de cations inorganiques dans les galeries consistent en une séparation des feuilles à la distance d'équilibre entre les équilibres sous une certaine pression.

Tous les phyllo silicates n'ont pas cette capacité à gonfler. Les cations compensatoires plus compacts et à basse tension, le gonflement de l'argile sera important. Réduire les forces d'attraction entre les publications grâce aux ions hydratés. Le gonflement diminue en fonction du type de cations compensatoires suivants: Li +> Na +>Ca +> Fe +> K + [55,35].

Il existe deux types de gonflement dans la littérature qui sont caractérisés par la capacité de l'eau à l'eau:

- Le gonflement cristallin est associé au nombre de couches de molécules d'eau qui sont mélangées entre les couches.
- Le gonflement prothétique lorsque l'énergie d'hydratation est suffisante pour surmonter la barrière de potentiel due aux forces électrostatiques interstitielles attrayantes [56,35].

**Figure II.14:** Argile gonflante [57].

II.3.6 La bentonite :

II.3.6.1 Définition :

Le terme "Bentonite" a d'abord été suggéré par Knight (1898), suivi par Ross et Shannon (1926) qui a proposé que la bentonite soit un terme rock pour un gisement d'argile composé essentiellement de minéraux cristallins ressemblant à de l'argile formés par l'altération de vitreux ignéous soit des tuff ou des cendres volcaniques. Grim (1968) considérait que la bentonite est une argile un gisement composé essentiellement de minéraux smectites généralement dominés par la montmorillonite qui a un très large éventail d'applications industrielles [58].

La bentonite est une roche industrielle naturelle, caractérisée par la propriété de l'absorption de l'eau et par la capacité d'échange de base; les deux propriétés sont significativement plus grandes que celle des argiles en plastique et du kaolin; dans certaines bentonites, l'absorption de l'eau s'accompagne d'une augmentation considérable du volume et de la formation de masse gélatineuse. La bentonite est traitée pour donner des argiles activées par la montmorillonite de sodium et de calcium et des organo-argiles qui ont toutes des propriétés différentes qui peuvent être appliquées dans un large éventail d'utilisations et d'applications [59].

II.3.6.2 Origine de la bentonite :

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, Etats-Unis). Elle contient plus de 75 % de montmorillonite cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de Vienne (France) [60,61].

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'Oranie (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes [62,63].

II.3.6.3 Structure cristalline du feuillet élémentaire :

La montmorillonite est une smectite avec des feuillets élémentaires de type 2/1 séparés par des molécules d'eau. Les paramètres de la maille dépendent par ailleurs de la nature des cations octaédriques. Le cristal est monoclinique :

$$a = 5.18 \text{ \AA} \quad b = 8.95 \text{ \AA} \quad c = 5.12 \text{ \AA} \quad \beta = 90^\circ$$

La structure a été définie par HOFMAN, elle répond à la formule générale $\text{Al}_{2-x} \text{Mg}_x \text{Si}_{4-y} \text{Al}_y \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \text{M}_{x+y} \cdot n \text{H}_2\text{O}$

M : cations échangeables

Sa formule simplifiée est: $4 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n \text{H}_2\text{O}$

L'empilement tétraédrique correspond à un groupement (SiO_4) dont l'atome de silicium tétravalent occupe le centre d'un tétraèdre tandis que les atomes d'oxygène sont placés aux quatre sommets. L'empilement octaédrique est constitué par un atome trivalent ou bivalent Al ou Mg (du point de vue valence $2\text{Al} = 3 \text{Mg}$), situé au centre d'une cavité octaédrique dont les six (06) sommets sont occupés par des atomes d'oxygènes ou de groupement OH.

La liaison couche octaédrique- couche tétraédrique se fait par l'intermédiaire des plans d'oxygène ou d'hydroxyles qui servent à la fois de bases aux tétraèdres et des sommets aux octaèdres, les charges sont déterminées par un ensemble de motifs en partant de quatre atomes de silicium[64].

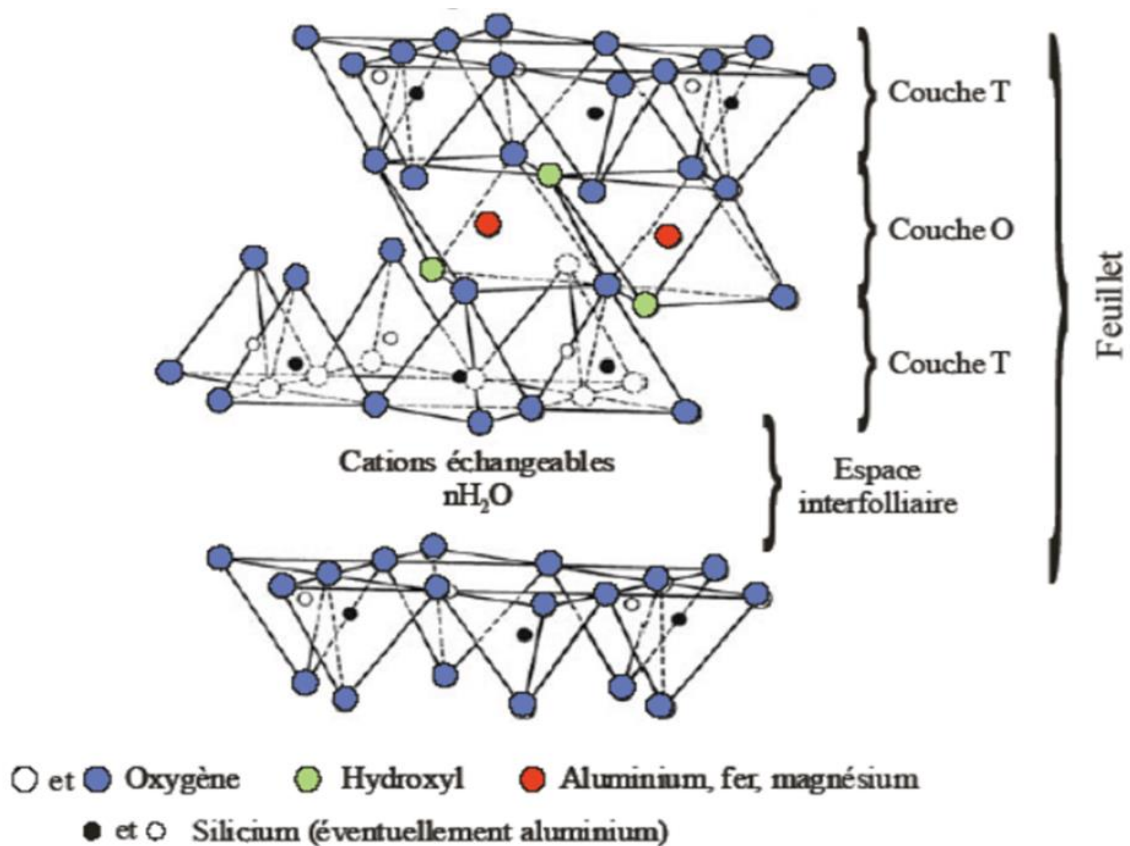


Figure II.15: Structure cristalline du feuillet élémentaire [65].

II.3.6.4 La montmorillonite :

La montmorillonite est une argile du groupe des smectites. L'unité structurale est formée d'une couche de motifs octaédriques d'aluminium comprise entre deux couches de motifs tétraédriques d'oxyde de "silicium". D'après la convention suivie, la montmorillonite est une argile du type 2:1 ou T:O:T [66]. C'est des phyllo silicates de formule de base : $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, plus riche en silice que la kaolinite; l'adsorption d'eau et la fixation de cations sont donc très marquées. La montmorillonite fait partie des smectites, correspondant à un feuillet à 3 couches: tétraédrique-octaédrique- tétraédrique (2:1) d'épaisseur $10 \text{ \AA}$ avec des substitutions au sein de la couche octaédrique où Al^{3+} est remplacé par Mg^{2+} . La capacité d'échange cationique (CEC) élevée varie de 100 à 130 meq/100g d'argile calcinée à 900°C . L'une des argiles la plus connue de cette famille est la terre décolorante, cette argile n'est jamais pure à l'état naturel mais accompagnée d'impuretés minérales (quartz, muscovite, calcite...), des minerais au moins 75% de cette argile porte l'appellation commerciale de bentonite [67].

II.3.6.5 Microstructure de la montmorillonite :

Les montmorillonites ont la particularité de présenter différents niveaux d'organisation selon l'échelle d'observation. Nous présentons dans cette partie les différents "objets" caractéristiques de cette structure multi-échelle (figure II.17) [68].

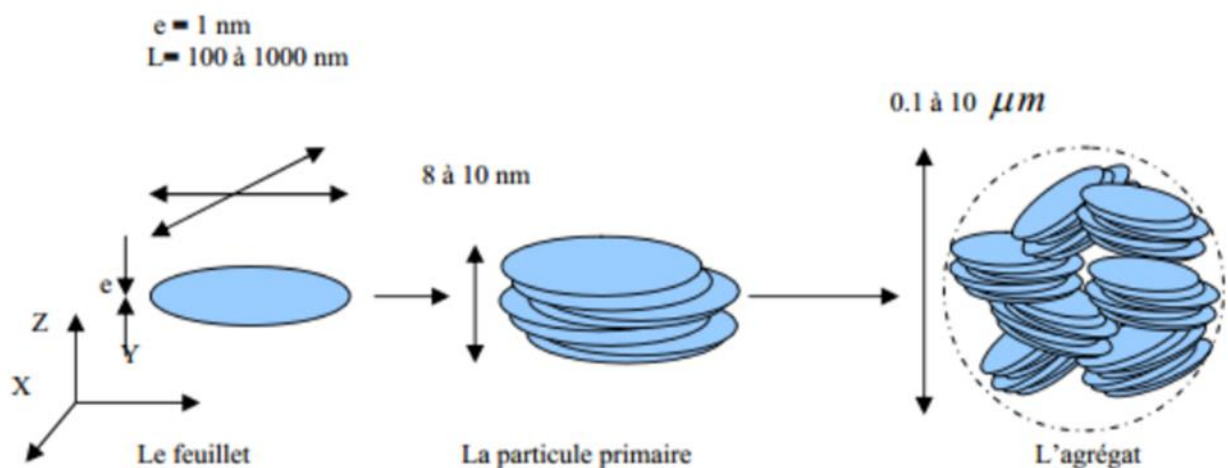


Figure II.16: Structure multi-échelle de la montmorillonite [69].

- **Le feuillet** : Le feuillet élémentaire de la montmorillonite est formé d'une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques (TOT). Entre deux feuillets il existe un espace appelé espace interfoliaires, celui-ci contient à sa surface les ions compensateurs échangeables avec d'autres cations [70].
- **La particule primaire** : L'association régulière de 5 à 10 feuillets constitue une particule primaire. La distance de séparation entre les plaquettes d'une même particule primaire est déterminée par des forces de Van der Waals et des forces électrostatiques qui s'exercent entre les feuillets et les cations compensateurs [70].
- **L'agrégat** : Enfin, l'assemblage des particules primaires, d'épaisseur moyenne 10 nm, forme des amas de taille micronique (1 à 30 μm) appelés agrégats. L'épaisseur du feuillet est de l'ordre du nanomètre, avec des dimensions latérales variant de quelques dizaines de nanomètres à quelques centaines de nanomètres [70].

II.3.6.4 Caractéristiques physiques de bentonite :

- Particules de taille colloïdale,
- Le degré élevé de trouble d'empilage de couche,
- Surface spécifique élevée (SSA),
- Charge de couche modérée,
- Grande capacité d'échange de cation (CEC) qui dépend peu du pH ambiant,
- Petite capacité d'échange d'anions dépendante du pH,
- Séparation intercaleuse variable, selon l'humidité ambiante,
- Propension à l'intercalation des substances extraneuses, y compris les composés organiques et les macromolécules, et la capacité de certains membres de montrer un gonflement intercouches étendu dans l'eau;
- Sous conditions optimales, les couches peuvent se dissocier complètement [71].

II.3.6.5 Les différents types de bentonite [72]:

- ❖ **Bentonites calciques** : Elles constituent la plus grande part de gisements exploités dans le monde. Elles contiennent essentiellement des ions (Ca^{2+}) en position interfoliaires. Ces argiles présentent un taux de gonflement de 3 à 7 fois le volume initial.
- ❖ **Bentonites sodiques** : Ce sont des argiles rares. Leur ion interfoliaire ou échangeable est Na^+ . Elles ont un pouvoir de gonflement très élevé (12 à 18 fois).
- ❖ **Bentonites permutées** : Ce sont des bentonites calciques et dopées par des ions Na^+ .
- ❖ **Bentonites activées** : Bentonites permutées activées par des adjuvants tels que les polymères hydrosolubles.

II.3.6.6 Champ d'application de la montmorillonite:

La montmorillonite possède des propriétés importantes telles que le gonflement et la capacité d'échange cationique. Pour cela, elle connaît un champ d'application très varié :

- Dans l'industrie chimique, elles amorcent certaines réactions (alkylation de phénols, dimérisation et oligomérisation d'alcènes, synthèse d'aldéhydes, formation diesters).
- Les montmorillonites possèdent des capacités d'adsorption très poussées : elles servent à clarifier les eaux souillées, dégraisser les laines par piégeage des impuretés.
- Utilisées comme source de silice et d'alumine, les montmorillonites forment les minéraux de base de l'industrie des matériaux de construction, des réfractaires, des isolants.
- Les montmorillonites sodiques servent à épaissir un grand nombre de liquides : eau douce, eau salée, solvants aliphatiques, huiles végétales, glycols.
- Exploitée comme charge minérale, l'argile joue un rôle important dans la papeterie et l'industrie du caoutchouc.
- Dans les industries pharmaceutiques et médicales, elle constitue la base des pansements stomacaux et intestinaux, leurs propriétés absorbantes permettent la fabrication de médicaments à effets retardés. Les smectites en particulier interviennent dans la fabrication de nombreux cosmétiques : savons et shampoings, pommades, crèmes dentifrice ou elles remplacent les matières grasses.

- Dans le forage comme fluide de forage.
- Dans le domaine de la dépollution, la bentonite connaît un vaste champ d'application visant soit la dégradation des composés organiques polluants soit leur transformation en des produits moins nocifs.
- En chromatographie comme phase stationnaire.
- En travaux publics dans l'aménagement des barrages et des routes [73].

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, il nous a été possible de définir l'adsorption comme étant essentiellement une réaction de surface et de différencier entre la physisorption et la chemisorption. Les mécanismes et leurs modélisations sont décrits afin de mieux appréhender et expliquer les résultats obtenus dans nos différents essais caractérisant ce type d'étude. Les argiles sont des matériaux peu onéreux et facilement accessibles qui présentent d'excellentes propriétés d'échanges de cations et qui peuvent être utilisées pour adsorber des contaminants [74].

Références

- [1] Pédro, Les minéraux argileux, Constituants et propriétés du sol, Edition Masson, 1994.
- [2] "Le petroils raffinage et genie chimique tome 1[La grande bibliothèque numérique] .pdf." .
- [3] A. El Gaidoumi, "Étude De L'Élimination Du Phénol En Milieu Aqueux Par Procédés D'Adsorption Et Oxydation Catalytique," thèse Doctorat , Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fac., pp. 2016–2017, 2017.
- [4] T. Zoubida, "Etude comparative de la dépollution de l'o-cresol des effluents industriels par electro- Aadsorption ," thèse Doctorat, Université Djillali Liabes.
- [5] E. Worch, Adsorption Technology in Water Treatment. 2012.
- [6] S. Nouacer, "Application des tiges de dattes dans l'adsorption de métaux toxiques de l'eau," thèse Doctorat, Université Badji Mokhtar ,Annaba, 2015.
- [7] K. Rima , L. Abdelhamid, "Adsorption du phénol sur la bentonite de Maghnia," Mémoire Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2013.
- [8] E. M. A and E. Musin, "Adsorption Modeling," no. June, pp. 577–708, 2001.
- [9] M. B. Fayza, "Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées ," Mémoire Magister, Université Abou Bekr Belkaid , Tlemcen, 2012.
- [10] Z. Faiza, "Etude Structurale des argiles modifiées A ppliquées à l 'adsorption des polluants ," thèse Doctorat, Université Mustapha Stambouli ,mascara,Algérie, 2017.
- [11] M. Billal, "Etude des transferts de chaleur et de masse dans une machine frigorifique à adsorption solaire," thèse Doctorat ,Université Freres Mentouri, Constantine, 2017.
- [12] M. Fatiha, "Adsorption des poly organiques en solution aqueuse par des argiles naturelles de la region de Tlemcen," thèse Doctorat ,Université Abou Bekr Belkaid ,Tlemcen, 2017.
- [13] N. Bouziane, "Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sue la bentonite et le charbon actif en poudre," Mémoire Magister, Université Mentouri,Constantine, 2007.

-
- [14] T. Chouchane, "Synthese, Caracterisation et application de materiaux catalytiques," These Doctorat, Université Badji Mokhtar ,Annaba, p. 188, 2009.
- [15] G. Lussac, "Synthèse et propriétés de biosorbants à base d'argiles encapsulées dans des alginates : application au traitement des eaux Présentée," Thèse Doctorat , 2010.
- [16] "E mail: nadjouabel3@gmail.com besmaboulif27@gmail.com," p. 100.
- [17] F. G.GIEBEL, "Fundamentals for the regeneration of silica gel Silica," vol. 49, no. 0, pp. 1–5, 2009.
- [18] D. S. Gel, "Demystifying silica gel for effective microclimates," 2019.
- [19] A. R. Rabia, A. H. Ibrahim, and N. N. Zulkepli, "Preparation and characterization of activated alumina," E3S Web Conf., vol. 34, pp. 1–6, 2018.
- [20] M. A. Yahya, Z. Al-Qodah, and C. W. Z. Ngah, "Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 46, pp. 218–235, 2015.
- [21] R. C. Bansal and M. Goyal, Activated charbon adsoption. 2005.
- [22] C. Actif, "Charbon Actif Image," pp. 1–6.
- [23] J.-P. Wauquier, "Petroleum Refining, Volume 2 - Separation Processes," vol. 2. pp. 319–320, 2000.
- [24] A. A. Oladipo, A. O. Ifebajo, and R. Vaziri, Green Adsorbents for Removal of Antibiotics , Pesticides and Endocrine Disruptors". 2018.
- [25] A. W. Chester and E. G. Derouane, Zeolite characterization and catalysis: A tutorial. 2010.
- [26] R. Hull, C. Jagadish, R. M. Osgood Jr, J. Parisi, Z. Wang, and H. Warlimont, Characterization and Design of Zeolite Catalysts. 2010.
- [27] S. Nora "Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes", Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia ,Souk-Ahras. 2013.
- [28] B. Souheila, "Eliminations des polluants spécifiques par adsorption TThème sur charbon actif et argile traitée et non traitée," Mémoire Magister, Université Mohamed Chérif Messaadia ,Souk-Ahras Fac., pp. 2012–2013, 2012.
-

- [29] P. Patricia, "Apatites nanocristallines biomimétiques comme modèles de la réactivité osseuse: Etude des propriétés d'adsorption et de l'activité cellulaire d'un bisphosphonate, le tiludronate". Thèse du doctorat. Université de Toulouse. 28 Novembre 2012.
- [30] N. Merzoug Nesrine, " Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques". Mémoire de Magister. Université Mohamed Cherif Massaadia ,Souk-Ahras. (2013-2014).
- [31] V. Uwamariya, "Adsorptive Removal of Heavy Metals from Groundwater by Iron Oxide based adsorbents".
- [32] Z. Smahi Née Senouci-Bereksi , "Essais de valorisation d'un déchet cellulosique : tiges de chardons dans l'élimination d'un colorant basique à partir de solutions aqueuses synthétiques",Thèse du doctorat, Université abou- bekr belkaïd ,Tlemcen. 12 février 2017.
- [33] A. Fadi"Etude de l'adsorption du pesticide Bromacil sur charbon actif en poudre en milieu aqueux Effet compétiteur des matières organiques naturelles", Thèse du doctorat, Université de Poitier,16 septembre 2008.
- [34] A. Aarfane, A. Salhi, M. El Krati, S. Tahiri, M. Monkade, E.K. Lhadi, M. Bensitel"Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of Red195 and Methylenebluedyes on flyash and bottomash in aqueous medium) ",Received 2014, Revised 22 July 2014, Accepted 22 July 2014 .
- [35] O. BOURAS, "Propriétés Adsorbantes D'Argiles Pontées Organophiles : Synthèse Et Caractérisation," Thèse Doctorat ,Université Limoges, p. 162, 2003.
- [36] B. Djelloul, A. Driss, B. Djillali, B. Djelloul, A. Driss, and B. Djillali, "Adsorption du cuivre Cu(II) en solution par l'argile brute et activée de la région de Tiout-Naama sud-ouest algérien," no. Ii, pp. 23–34, 2014.
- [37] S. B. Neji and M. Trabelsi, "Activation D ' Une Argile Smectite Tunisienne À L ' Acide Sulfurique : Catalytique De L ' Acide Adsorbé Par L ' Argile," J. la Société Chim. Tunisie, vol. 11, pp. 191–203, 2009.
- [38] T. Seyidoglu and IN, "Purification and Modification of Bentonite and Its Use in," Thèse Doctorat , Université Tech. du Moyen-Orient, no. July, 2010.

- [39] L. D. Youcef, "Purification et caractérisation de l'attapulgitte algérienne. application à l'adsorption du bleu de méthylène," Mémoire Magister, Université D'Oran, p. 106, 2012.
- [40] M. T. Diatta, "Matières premières argileuses du Sénégal: caractéristiques et applications aux produits céramiques de grande diffusion," Thèse Doctorat, Université Assane Seck Ziguinchorr l'Université Limoge, pp. 1–140, 2016.
- [41] Y. Bentahar, "Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse Yassine Bentahar To cite this version: HAL Id: tel-01452518 Docteur en Sciences application à l'adso," Thèse Doctorat, Université Abdelmalek, Essaad, 2017.
- [42] K. Salim, "Etude expérimentale des mélanges sable bentonite Leurs Performances comme Barrières de Confinement dans les CET," Thèse Doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2007.
- [43] B. Ihssan, "Modification de la Bentonite de Maghnia et Applications dans l'adsorption de colorants textiles et de métaux lourds," Thèse Doctorat, Université Abou-Bekr belkaid, Tlemcen, 2018.
- [44] S. Souheila, "Les argiles du bassin de Mila – Constantine: Composition minérale, chimique, caractéristiques géotechniques et répartition des gisements," Mémoire Magistère, Université Mentouri, Constantine, 2007.
- [45] J. T. A. M. Welzen, H. N. Stein, J. M. Stevels, and C. A. M. Siskens, "The influence of surface-active agents on kaolinite," J. Colloid Interface Sci., vol. 81, no. 2, pp. 455–467, 1981.
- [46] F. Des, S. Et, D. E. L. A. Technologie, D. Des, and S. D. E. La, "Elimination des polluants organiques avec de l'argile anionique pour la protection de l'environnement," Mémoire Magister, Université d'Adrar, 2014.
- [47] B. Odent, "Modifications mécaniques et structurales de trois argiles pures consolidées électro-chimiquement", Thèse Doctorat, Univ. L1 Univ. DES Sci. Tech. LILLE, 1975.
- [48] S. Sahnoun, "Etude des propriétés physico-chimiques des surfaces de structure lamellaire Elimination des micropolluants," Thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas, Setif 1, 2018.
- [49] G. Morari, Clays, Clay Minerals and Ceramic Materials Based on Clay Minerals. 2016.

- [50] Z. Belabbaci, "Stabilisation des sols gonflants", Thèse Doctorat, Université d'Aboubaker Belkaid, Algérie, 2014.
- [51] G. Montes and H. Etude, "Etude expérimentale de la sorption d'eau et du gonflement des argiles par microscopie électronique à balayage environnementale (ESEM) et analyse digitale d'images," Thèse Doctorat , Université Louis Pasteur Strasbg, 2007.
- [52] M. Nawasreh, "Bentonite," 2015.
- [53] G. Bedekovi, "Bentonite processing," no. January 2013, 2016.
- [54] G. Derafa, "Synthèse et caractérisation de montmorillonite modifiée : Application à l'adsorption des colorants cationiques, " 2014.
- [55] B.H. Hameed, Equilibrium and kinetic studies of methyl violet sorption by agricultural waste, *Journal of Hazardous Materials* 154 p:204-212, 2008.
- [56] B.H. Hameed, M.I. El-Khaiary, Batch removal of malachite green from aqueous solutions by adsorption on oil palm trunk fibre: Equilibrium isotherms and kinetic studies, *J. Hazardous Materials* 154 (2008).
- [57] F. Nassima, B. Ouahchia, "Caractérisation et décontamination des eaux de purge des réservoirs de pétrole situés proche de port de Bejaia sur support naturel– bentonite activée," Mémoire Master , Université A.Mira-Bejaia, 2013.
- [58] B.H. Hameed, Equilibrium and kinetic studies of methyl violet sorption by agricultural waste, *Journal of Hazardous Materials* 154 p:204-212 (2008).
- [59] N. Bougdah., "Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite", Thèse Doctorat, Université 20 Août 55, Skikda, pp 30-32, 2007.
- [60] L. Youcef, S. Achour., "Etude de l'élimination des fluorures des eaux de boisson par adsorption sur bentonite", *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N° 03, Université de Biskra, 2004.
- [61] F. Bouazza., "Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées", Thèse Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, pp 9-11, 2012.
- [62] F. Ayari, E. Srasraet, M. Trabelsi-Ayadi., "Application des modèles de Langmuir et Freundlich aux isothermes d'adsorption des métaux lourds par l'argile purifiée", *J.*

- Phys. IV France 122, Hammam-Lif, Tunisie, 2004.
- [63] B.H. Hameed, M.I. El-Khaiary, Batch removal of malachite green from aqueous solutions by adsorption on oil palm trunkfibre: Equilibrium isotherms and kinetic studies, J. Hazardous Materials 154 ,2008.
- [64] B. Samia, “Adsorption de polluants organiques sur une argile échangée aux phosphoniums,” Thèse Doctorat, Université d'Oran, 2015.
- [65] G. Kamel, “ Adsorption des CO₂ sur montmorillonite et matériaux mesoporeux de type MCM modifiés par dendrimers” ,These Doctorat , Université d'Oran, 2016.
- [66] M. Provencher, “Fixation du zinc sur la kaolinite, la montmorillonite et sur un sediment du fleuve saint-laurent,” Mémoire Magister, Université du Quebec, 1982.
- [67] B. Ihssan, “Modification de la Bentonite de Maghnia et Applications dans l'adsorption de colorants textiles et de métaux lourds,” thèse Doctorat, Université Abou-Bekr belkaid – Tlemcen, 2018.
- [68] P. Bibliographique, “Partie Bibliographique I_ Structure et propriétés des phyllosilicates,” pp. 25–44.
- [69] K. Bilal, “Préparation et Caractérisation de Bentonite Modifiée par un Polyoxométallate Application à l'adsorption du Bleu de Méthylène,” Mémoire Master, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2019.
- [70] D. Nihed, “Synthèse et caractérisation des matériaux modifiés : Application à l'élimination des micropolluants,” Mémoire Magister, Université Ferhat Abbas Sétif -1- UFAS, 2015.
- [71] L. K. Joseph, “Optical and thermal characterization of dye intercalated montmorillonites and rare earth doped materials,” Sci. Technol., no. November, 2009.
- [72] S. Lakhache, “Adsorption de Blue Méthylène sur des argiles brute et sodée,” Mémoire Master, Université Dr Moulay Tahar – Saida -, 2017.
- [73] M. Brenda, “Valorisation du glycérol sur catalyseur à base de montmorillonite,” Mémoire Master , Université Blida 1, 2017.
- [74] M. K. Ouahida, “Étude de matériaux argileux et leur Impact sur l'adsorption de certains polluants ,” thèse Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2016.



Chapitre III : Materiels et méthodes



Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1 Introduction :

Depuis quelques années, les argiles jouent un rôle significatif dans une gamme variée de problèmes environnementaux, et ses applications augmentent sans cesse. En effet l'élimination des matières organiques et des métaux lourds par différents types d'argiles s'est avérée très efficace, et a été appliquée avec succès dans l'industrie [1].

Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, les différentes techniques utilisées pour la caractérisation de nos matériaux : la DRX, IR, UV-visible et (FRX). Ensuite nous allons décrire les différents modes opératoires pour la préparation d'un matériau argileux local, à savoir la bentonite d'Ain Touta. Ensuite, nous avons étudié l'influence des différents paramètres sur la capacité d'adsorption sur l'argile tel que : le temps de contact, la concentration de la molécule adsorbée, le pH de la solution et la température. Afin de déterminer le mécanisme d'adsorption, nous avons tenté d'appliquer différentes lois cinétiques et les isothermes d'adsorption. But de cette partie est de présenter les techniques analytiques ainsi que les protocoles expérimentaux utilisés.

III.2 Matériels et Appareillages :

III.2.1 Matériels :

- Bécher ; - Entonnoir ; - Erlenmeyer ; - Burette
- Pissette ; - Fioles jaugée ; - Büchner ; - Pipettes graduée;
- barreaux magnétiques ; Verre de montre ; Eprouvette graduée.

III.2.2 Appareillages :

- Une balance analytique de type « OHAUS »
- Une étuve de type « DIGITHEAT ».
- pH mètre de type «CONSORT multi paramètre-analyser C3020» .

- Conductimètre de type «CDM210».
- Un thermomètre pour mesurer la température.
- Plaque agitatrice de type «RS.Lab ».

III.2.2.2 Centrifugeuse :

Nous utilisons cet appareil pour séparer la solution liquide composée de « phénol et eau » et « Argile ».

III.2.2.2 Spectroscopie UV –Visible :

La spectroscopie d'absorption dans l'UV et le visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée [2].

- **La loi de Beer –Lambert :**

Un rayonnement électromagnétique traversant un milieu subit plusieurs modifications. Une partie du faisceau est réfléchi, une autre est absorbée et transformée en chaleur par interaction avec la matière, le reste passe à travers le milieu soumis au rayonnement mis en jeu et à l'élément chimique soumis au rayonnement. On définit la transmittance comme étant le rapport de l'intensité de la lumière transmise (I) sur l'intensité de la lumière incidente (I_0):

$$T = I/I_0 \dots \dots \dots (III.1)$$

Tandis que l'absorbance mesure la capacité d'un milieu à absorber la lumière qui la traverse, c'est le logarithme décimal du rapport de l'intensité de la lumière incidente (I_0) et l'intensité de la lumière transmise (I); l'inverse de la transmittance :

$$A = \log(I_0/I) = -\log T \dots \dots \dots (III.2)$$

La relation de Beer-Lambert fait état d'une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration du soluté à une longueur d'onde précise :

$$A = \log(I_0/I) = \epsilon l C \dots \dots \dots (III.3)$$

Où :

ε : L'absorptivité d'extinction molaire (L / mol.cm).

l : Longueur du trajet optique dans l'échantillon (cm). C : Concentration molaire du soluté (mol / L) [3].

III.2.2.3 Spectroscopie Infrarouge (IR) :

La spectroscopie infrarouge (IR) est l'une des techniques spectroscopiques les plus courantes utilisées par les chimistes inorganiques. C'est simplement la mesure d'absorption de différentes fréquences IR par un échantillon positionné sur le trajet d'un faisceau infrarouge. L'analyse spectroscopique IR a pour objectif principal de déterminer les groupes fonctionnels chimiques dans l'échantillon. Différents groupes fonctionnels absorbent les fréquences caractéristiques du rayonnement IR. À l'aide de divers accessoires d'échantillonnage, les spectromètres IR peuvent accepter une large gamme de types d'échantillons tels que les gaz, les liquides et les solides. Ainsi, la spectroscopie IR est un outil important et populaire pour élucidation structurale et identification des composés [4].

III.2.2.4 Diffraction des rayons X (DRX) :

La diffraction des rayons-X (DRX) est une technique non-destructive très puissante qui permet de déterminer précisément une multitude de propriétés structurales, notamment: l'épitaixie, l'orientation privilégiée, les défauts et la présence de phases indésirables. La DRX est particulièrement utile et précise pour calculer les distances interatomiques des atomes constituant les couches minces [5].

- **Loi de Bragg :**

La loi de Bragg stipule qu'une onde électromagnétique de longueur d'onde λ sera diffractée par les plans cristallins possédant des indices de Miller (hkl) associés à une distance interréticulaire d_{hkl} lorsque cette onde électromagnétique atteint l'échantillon avec un angle d'incidence θ , soit l'angle de Bragg, mesuré par rapport au plan diffractant. La lettre n indique l'ordre de diffraction, qui sera ici toujours considéré comme unitaire [6]:

$$2d_{hkl} \cdot \sin \theta_{hkl} = n \cdot \lambda \dots\dots\dots(III.4)$$

Où :

- d_{hkl} : est la moitié de la déviation,
- n : est un nombre entier appelé « ordre de diffraction »,
- λ : est la longueur d'onde des rayons X (souvenez- vous que l'on travaille en monochromatique). C'est la loi de Bragg

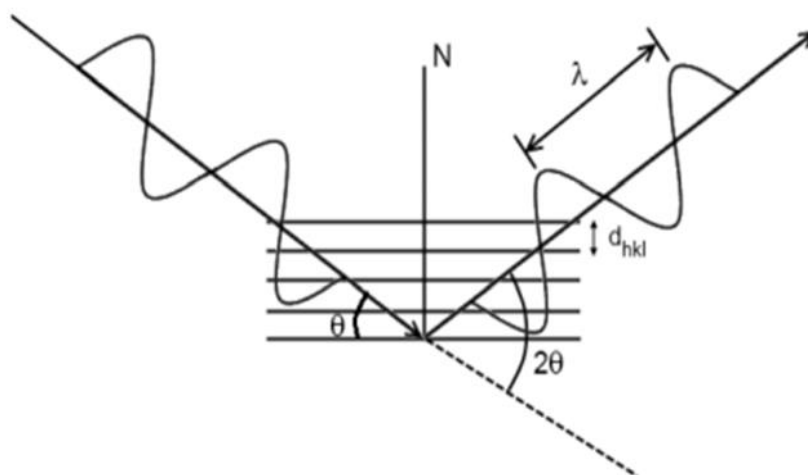


Figure III.1: Représentation schématique de la loi de Bragg [6].

III.2.2.4 Spectrométrie de fluorescence(FRX) :

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés : minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres... sous forme solide ou liquide [7].

III.3 Les produits utilisés :

Tableau III.1: les produits utilisés.

Produits	Formule chimique	Mesure de Sécurité
Phénol	C_6H_5OH	Toxique
Hydroxyde de sodium	$NaOH$	Corrosif et irritant dangereux
Acide Chlorhydrique	HCl	Corrosive

III.4 Préparation d'échantillon :

III.4.1 Source :

L'argile brute utilisée au cours de notre étude a été prélevée sur le site gisement dénommé d'Ain Touta (wilaya de Batna), est une argile riche en montmorillonite d'Ain Touta.



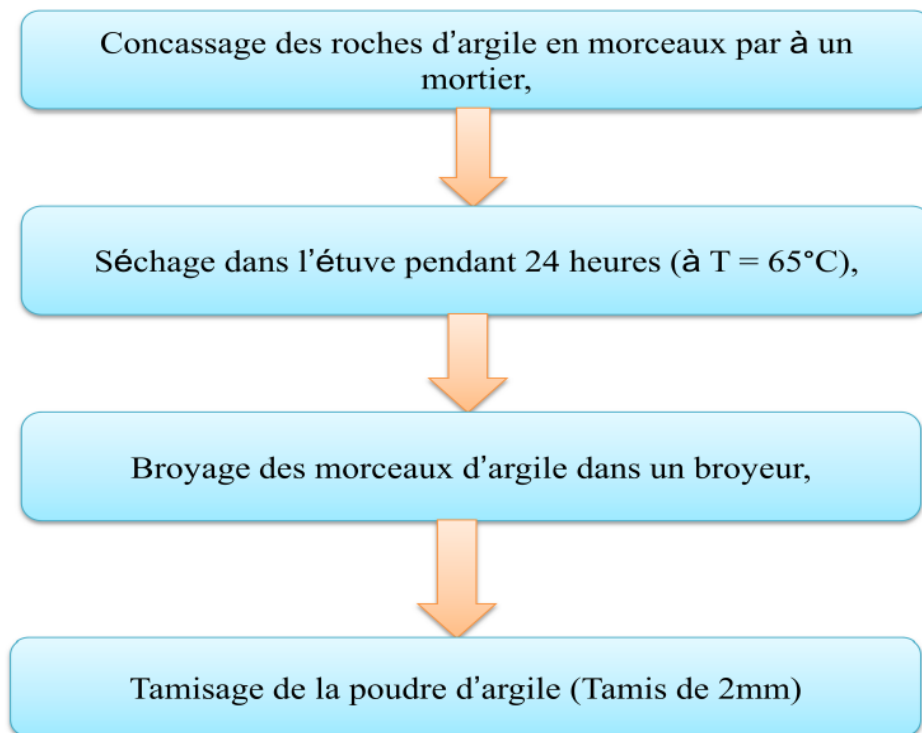
Figure III.2: Argile Ain Touta.

III.4.2 Concassage, séchage et broyage :

L'échantillon prélevé a subi les opérations unitaires suivantes :

- Concassage des roches d'argile en morceaux par à un mortier,
- Séchage dans l'étuve pendant 24 heures (à $T=65^{\circ}\text{C}$),
- Broyage des morceaux d'argile dans un broyeur,
- Tamisage de la poudre d'argile (Tamis de 2 mm).

Toutes ces opérations sont décrites sur l'organigramme suivant :



III .5 Méthodes de caractérisation des propriétés physico-chimique d'argile brute, l'argile modifiée et l'argile activée :

III.5.1 Mesure de la densité apparente :

La densité virtuelle de l'échantillon étudié a été mesurée en déterminant la taille de la masse m de l'échantillon à l'aide du pycnomètre [8].

Densité= Masse du volume de l'échantillon/masse du même Volume d'eau

III.5.2 Mesure de taux d'humidité :

La mesure du niveau d'humidité consiste à déterminer la masse d'eau qui est éliminée en séchant un matériau humide jusqu'à ce qu'une masse fixe soit obtenue à une température de 105 ± 5 °C pendant 24 heures, et la masse du matériau après la cuisson est considérée comme une masse de particules solides (m_s). La détermination du taux d'humidité a été calculée à partir du rapport entre la masse d'eau (m_{eau}) et la masse des particules solides (m_s). Cela donne la teneur en eau de l'échantillon qui a été analysé comme suggéré par CALLAUD MJ [9]:

$$H (\%) = (m_{eau}/m_s) * 100 = (m_t - m_s / m_s) * 100$$

m_{eau} : masse d'eau (g)

m_s : masse de l'échantillon sec (g)

m_t : masse de l'échantillon humide (g)

III.5.3 Mesure de porosité :

L'identification de la porosité permet d'évaluer le rapport du vide dans le matériau. Ceci est alors dû à la présence d'une structure solide de pores, conduits et cavités de différentes dimensions. Affecte la propagation des molécules dans les solides [10].

Nous commençons par placer un tube d'essai de 10ml de matériel solide de la masse M_1 , en ajoutant du méthanol M_2 jusqu'à ce qu'il atteigne une taille de 2 ml dans le tube à essai. P est défini comme suit :

$$P = V_1/V_t = \{[(M_2 - M_1) / \rho_{\text{méthanol}}] - V_2\} / V_t$$

Avec :

$$\rho_{\text{méthanol}} = 0,79 \text{ g/cm}^3$$

$$V_t = 2 \text{ ml}$$

III.5.4 Mesure de perte au feu :

La perte de poids exprimée en (%) est une perte de poids pour l'échantillon après calcification à 1100°C, par rapport au poids initial. Il est permis de savoir combien de produits sont susceptibles de se décomposer ou de voler pendant la cuisson. La perte d'allumage a été mesurée en plaçant une quantité d'argile dans un creuset de porcelaine préalablement pelé, pesant P_1 . Le creuset est placé dans un four, avec une augmentation progressive de la température jusqu'à 1000 °C pendant une heure. Le creuset a ensuite été enlevé et placé dans un séchoir pour le refroidir et peser, c'est-à-dire peser P_2 [11].

La valeur de la perte d'allumage est donnée dans la relation suivante :

$$PAF = (P_1 - P_2/P_1) * 100$$

III.5.5 Mesure de la conductivité :

Placer dans un flacon de 500 ml ,20g d'argile tamisée de 2mm et d'eau distillée exactement mesurée (fiolle jaugée) , agiter une heure sur l'agitateur rotatif et laisser reposer une demi-heure puis filtrer dans un Erlenmeyer de 250 ml et effectuer la mesure de conductivité en notant la température [12].

III.6 Les étapes pratiques de l'application :

III.6.1 Préparation de la solution mère (phénol) :

- A l'aide d'une balance analytique et spatule, on pèse 30 mg du phénol.
- On met cette quantité de phénol dans une fiole jaugée (1 litre).
- On ajoute l'eau distillé avec l'agitation jusqu'à le trait de jauge.

III.6.2 Les effets de certain paramètre sur l'adsorption du phénol :

III.6.2 .1 L'effet de la concentration de l'adsorbat (phénol):

Nous étudions l'effet de la concentration de l'adsorbat (phénol) sur l'adsorption par l'argile naturelle.

- On prépare 6 échantillons d'une solution de phénol de concentration (5 mg/l ; 10 mg / l ; 15 mg / l ; 20 mg/ l ; 25 mg / l ; 30 mg / l) et un volume de 50 ml ; pH=4 ; sous une agitation magnétique 400 tr/min et la température ambiant.
- La masse de l'argile 50 mg et temps de contact 2 heures comme expériences précédentes.
- A la fin de la réaction on mesure l'absorbance de la solution pour les différentes concentrations.

III.6.2 .2 Effet de la masse d'adsorbant :

Etudier l'effet de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption selon les étapes suivantes :

- Nous préparons 6 échantillons de solution phénol avec une concentration de 30 mg/l et une taille de 50 ml, avec divers blocs d'argile (50 mg ; 100 mg ; 150 mg ; 200 mg ; 250 mg ; 300 mg). Sous le mouvement magnétique 400 tr/min et la température ambiante pendant deux heures, le pH des solutions a été mesuré égal à 4.

- Après séparation par centrifugeuse, le filtrat est analysé par un spectromètre UV visible.

III.6.2 .3 Cinétique d'adsorption (temps de contact) :

Pour définir le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre de l'adsorption du phénol sur l'argile naturelle.

- Nous mettons 7 béchers de 50 ml, chaque bécher Contient la masse idéale des les argiles que nous avons obtenue de l'expérience précédente et 50 ml du phénol de concentration 30 mg/l et pH= 4, sous une agitation magnétique 400 tr/min et la température ambiante. On mesure l'absorbance de la solution pour des différents temps (10 min ; 20 min ; 30 min ; 60 min ; 90 min ; 120 min ; 140 min).
- la densité optique de la concentration du phénol résiduel a été déterminée par spectrométrie UV-Visible à $\lambda = 270$ nm, sa valeur a été trouvée à partir des courbes d'étalonnage.

III.6.2 .4 Etude de l'effet du pH sur l'adsorption :

Etudier l'effet de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption selon les étapes suivantes :

- Pour étudier l'effet de pH sur le phénomène d'adsorption nous préparons 8 échantillons d'une solution de phénol, un volume de 50 ml, chaque échantillon est réalisé sous un pH différent à l'autre (1 ; 3 ; 4 ; 5 ; 7 ; 9 ; 11 ; 13).
- La masse de l'adsorbant est 50mg, temps de contact est 2heures, la concentration est 30mg/l, la vitesse d'agitation 400tours/min et la température des expériences passées.
- Les filtrats sont analysés par le spectrophotomètre UV visible.

III.6.2 .5 L'effet de la température :

- Pour étudier l'effet de la température sur le phénomène d'adsorption nous préparons 4 échantillons d'une solution de phénol et un volume de 50 ml, chaque échantillon est réalisé sous une température différente à l'autre (25 °C ; 35 °C; 45 °C ; 50°C), pH=4.
- La masse de les argiles est 50mg, temps de contact est 2 heures, la concentration 30mg/l et la vitesse d'agitation 400tours /min comme des expériences passées.
- Les filtrats sont analysés par le spectrophotomètre UV visible.

III.7 Conclusion :

Ce chapitre a présenté, les différentes techniques utilisées Nous avons également, et nous avons étudié Les effets de certain paramètre sur l'adsorption du phénol : le temps de contact, la concentration de la molécule adsorbée, le pH de la solution et la température.

Références

- [1] K.Hideyuki,K.Satoshi,I.Kentaro,I.Kumiko,F.Kunihiro,M.Kazuaki et O.Kiyohisa , « Revue de la gestion de l'environnement », Vol 69,N0 2p187191,(2003).
- [2] F.Guedira, “Spectroscopie d'adsorption dans l'UV- Visible,” pp. 18–33.
- [3] N. M. Martine, “Analyse d ’ un mélange binaire par spectrophotométrie,” Mémoire Master,Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 2017.
- [4] C. S. Hsu and D. Ph, “Infrared Spectroscopy,” pp. 247–284.
- [5] L. Olivier, “étude des propriétés physiques du $\text{Sr}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{CuO}_2$ en couches minces déposées par ablation laser pulsé,” Mémoire, Université Sherbrooke , 2014.
- [6] A. Aubin, “Analyse de la formation des phases du système cuivre-germanium par diffraction des rayons X sur des échantillons d’épaisseur nanoscopique,” diplôme maîtrise es Sci.appliquée,université Montréal Anal., 2013.
- [7] V. T. Spectrométrie, D. X. Circulation, and V. Thirion-merle, “Spectrométrie de fluorescence X Valérie Thirion-Merle To cite this version: HAL Id: hal-01393984 Spectrométrie de fluorescence X,” 2016.
- [8] A. Qlihaa, S. Dhimni, F. Melrhaka, N. Hajjaji, and A. Srhiri, “Caractérisation physico-chimique d’une argile Marocaine,” J. Mater. Environ. Sci., vol. 7, no. 5, pp. 1741–1750, 2016.
- [9] Rollet P., Bouaziz R., L’analyse thermique- les changements de phase. ED. Gautier-Villard, Tome1, Paris,(1972).
- [10] Gillot, E. Jack, Clay engineering geology. John Wiley et Sons, Inc. (1984).
- [11] Konan K. L., Soro J., Andji J.Y.Y., Oyetola S., Kra G., J. Soc. Ouest-Afr. Chim. 30(2010) 29.
- [12] N. MALLOUHI , « A analyses des sols et leurs interprétations » (2000).



Chapitre IV : Résultats et Discussions



Chapitre IV: Résultats et Discussions

IV.I Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons les propriétés physiques et chimiques de l'argile utilisée, ainsi que nous allons également signaler l'effet de certains paramètres sur l'adsorption du phénol sur l'argile naturelle. Ces paramètres sont: masse, pH, concentration initiale de phénol, temps de contact, et enfin nous faisons des résultats de modélisation.

IV. I.1 Analyse élémentaire de l'argile brute :

L'analyse de la composition chimique par fluorescence aux rayons X nous a permis d'identifier les composants de l'argile d'oxyde, dont le contenu est évalué en pourcentage massique. Le tableau IV.1 montre les résultats de l'analyse de la composition chimique de l'argile naturelle.

Tableau IV.1: Analyse élémentaire de l'argile brute (par XRF) .

Éléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	PAF
%	20.02	4.85	5.37	63.91	1.65	0.25	0.003	1.91	4.13	0.85

On remarque que les constituant prédominant argile naturelle sont: silice et l'alumine le valeur du rapport SiO₃/Al₂O₃ est égale à (4.13) .cela explique par la forte teneur en silice libre, certains auteurs présentent se rapport comme étant le degré de pureté d'une bentonite en son contenu de montmorillonite.

IV. 1 .2. Diffraction des rayons X(DRX)

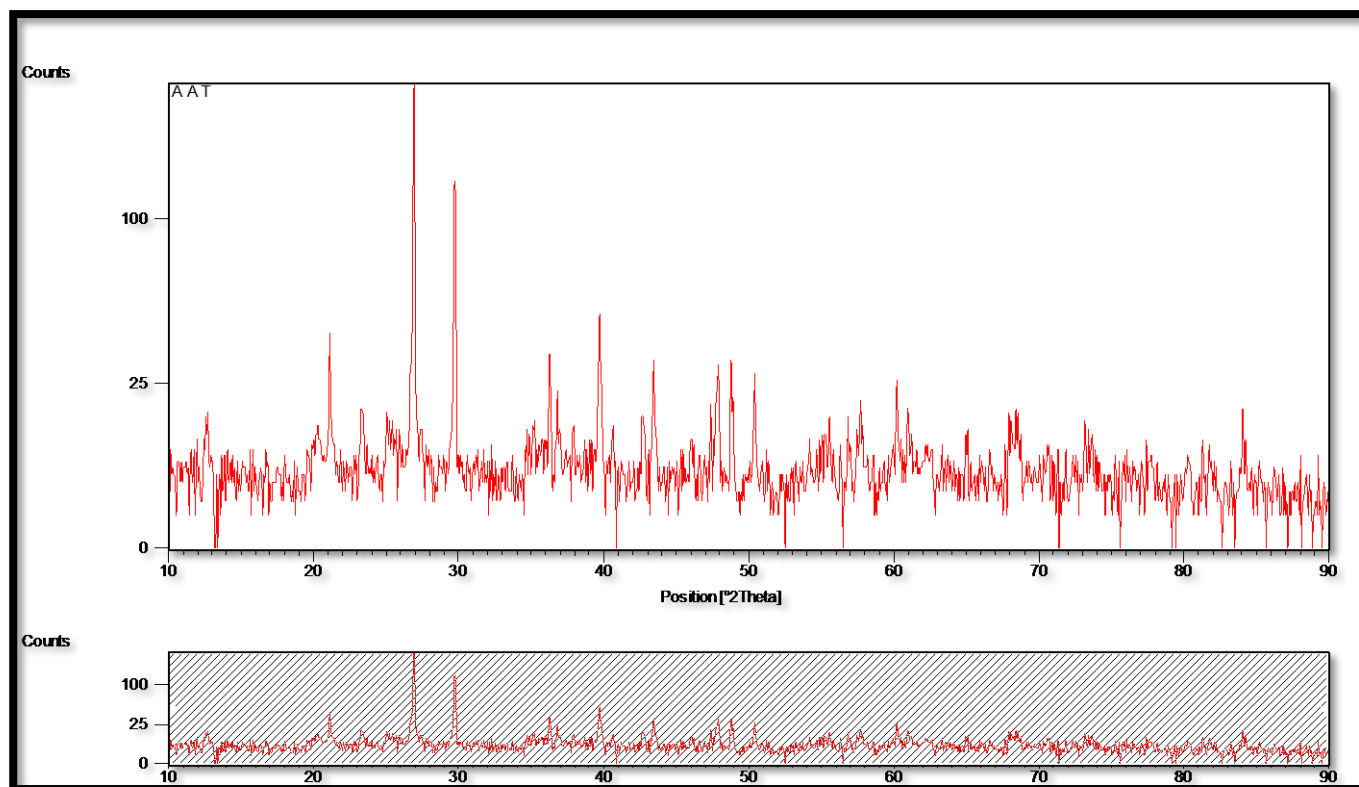


Figure IV.1 : Spectre diffraction des rayons X d'argile d'Ain Touta (Naturelle).

Tableau IV. 2: Résultats de l'analyse par rayon X.

2θ	D (Å°)	Phase
11,70	7,51	(002) Montmorillonite
13,22	4,036	(101) Quartz
25,86	3,441	Cristobalite
26,70	3,336	(011) Quartz
27,64	3,223	NI
27,91	3,193	NI
29,42	3,032	(104) Calcite
34,91	2,567	(105) Montmorillonite
36,01	2,491	(110) Calcite
36,69	2,446	(131) Illite
37,91	2,37	(003) Kaolinite
38,36	2,44	(202) Kaolinite
39,61	2,273	(113) Calcite

Quartz ($2\theta = 13,22$, $2\theta = 26,70$), Montmorillonite ($2\theta = 11,70$, $2\theta = 34,91$), Illite ($2\theta = 36,69$)

IV. I.3 Spectroscopie Infrarouge (IR)

Cette méthode est efficace et précieuse dans le domaine des atomes et des ions légers tels les protons, car les propriétés des argiles sont intimement liées à la présence des hydroxydes structuraux et des molécules adsorbées. La spectroscopie est très sensible à la présence des protons dans la structure de l'argile, ce qui permet d'utiliser des hydroxydes (OH^-) comme sonde IR pour déterminer les caractéristiques de l'argile, la nature et le type minéralogique qu'il soit di ou tri octaédrique [1].

La vibration des liaisons chimiques entre les ions est excitée par l'énergie fournie par les radiations infrarouges pour une longueur d'onde donnée, la spectrométrie définit les longueurs d'onde absorbées et permet d'identifier les liaisons chimiques excitées [2].

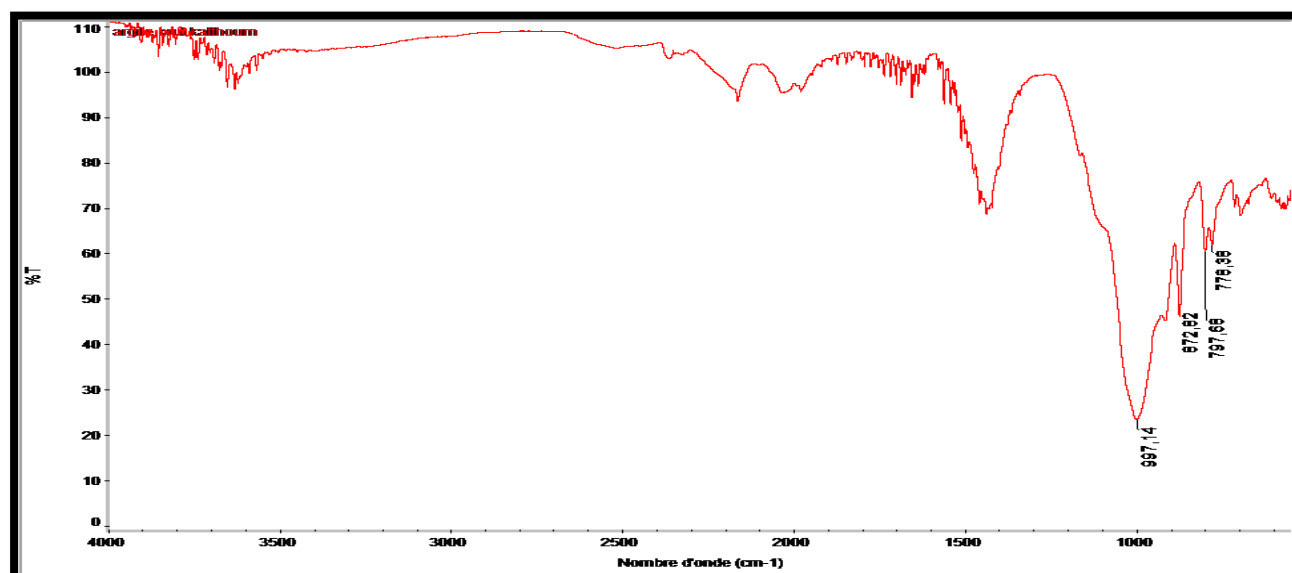


Figure IV.2 : Représente les spectres IR de notre échantillon argileux entre 500 et 4000 cm^{-1} .

L'examen des deux spectres fait apparaître des bandes d'absorption que nous présentons comme suit:

a. Bandes d'absorption caractéristiques de la phase argileuse :

➤ Les groupements OH:

Pour la bentonite, on observe deux bandes d'absorption caractérisant les liaisons O-H situées respectivement entre 3200-3800 cm^{-1} . Une autre bande moyenne s'étale entre 1600-1700 cm^{-1} est attribuée aux vibrations de déformation de la liaison O-H de l'eau de constitution et aux vibrations de déformation des liaisons des molécules d'eau adsorbées entre les feuillets.

Les bandes de vibration de déformation des OH des réseaux est fortement influencée par la nature des cations aux quels est lié le groupe hydroxyle. De point de vue pratique, cette bande de déformation est très utile pour détecter la du lien Al-OH ou Fe-OH. Les bandes de vibration correspondantes absorbent aux fréquences suivantes :

Al₂OH (915 – 950) cm⁻¹ et Mg-Al-OH (840) cm⁻¹, Mg Fe³⁺- OH (800) cm⁻¹.

➤ **Liaisons Si-O**

Une bande d'absorption intense entre 900-1200 cm⁻¹. Cette bande est centre vers 1020 cm⁻¹, elle caractérise les vibrations de valence de la liaison Si-O. Les vibrations angulaires du groupement Al-O-H se manifestent par une bande de faible intensité aux alentours de 900 cm⁻¹.

Les bandes de vibration de ces liaisons Si-O-MVI (M désigne les métaux Al, Mg et Fe situés en position octaédrique) apparaissent dans l'intervalle 400-550 cm⁻¹. Les bandes caractéristiques d'impureté apparaissent à 1034, 915, 798 et 694 cm⁻¹. Elles se manifestent par des épaulements que nous attribuons à la présence du quartz.

➤ **Liaisons M-OH (M= Al, Mg, et Fe)**

Dans les montmorillonites, les vibrations Al-OH se manifestent à 920 cm⁻¹. Le partage du groupement OH entre le fer et l'aluminium, en position octaédrique, peut déplacer ce pic jusqu'aux environs de 871,82-914,26 cm⁻¹, c'est le cas des échantillons analysées qui présentent des pics à 912,33 et 914,26 cm⁻¹. Cela confirme particulièrement la présence du fer dans la structure des argiles analysées.

b. Bandes d'absorption caractéristiques des impuretés cristallines

Les impuretés associées à la fraction argileuse sont essentiellement du quartz et des carbonates Les bandes caractéristiques d'impuretés apparaissent à (1034, 915, 798 et 694) cm⁻¹. Elles se manifestent par des épaulements que nous attribuons à la présence du quartz.

Les bandes de vibrations de la silice apparaissent entre 700 et 1010 cm⁻¹, cette bande est difficilement mise en évidence, puisqu'elle est masquée par la bande des liaisons Si-O (vers 1027 cm⁻¹), beaucoup plus étendue pour les silicates en feuillets que pour la silice libre.

La bande à (1456,26) cm⁻¹ est caractéristique du carbonate sous formes de calcite ou encore sous formes de dolomites dans le spectre de l'argile brute (Bentonite).

IV. I.4 La densité apparente :

La densité apparente est l'ensemble des fractions solides et pores. En revanche, la masse volumique est absolue si le volume du quotient est le volume des grains solides [3].

Tableau IV.4: Valeurs de densité apparente d'argile brute.

Type d'argile	Densité apparente g / cm ³
Argile Brute (Bentonite d'Ain touta)	0.125085

IV.I.5 La porosité :

La porosité est due à la présence dans la structure du solide des pores, de canaux et des cavités de différentes dimensions. Elle influence la diffusion des molécules à l'intérieur des solides [4], alors la porosité d'un matériau est définie comme étant le rapport entre le volume de ces pores et le volume total apparent de l'argile. La porosité de l'argile brute est de l'ordre de (0.3684),

IV.I.6 pH de la suspension:

La détermination du pH est nécessaire pour quantifier l'apport de l'acidité lorsque le solide est en contact avec la solution.

Tableau IV.5: Evolution du pH dans l'argile en fonction du temps.

Période (Jours)	1	2	3
pH de l'argile Brute (Bentonite de Ain Touta)	8.69	8.30	7.98

L'examen de ces résultats montre que l'argile brute est alcaline, qui serait due aux sels solubles basiques comme les carbonates et bicarbonates alcalins ou les silicates, elle est tend vers un milieu faiblement basique, elle est neutre lors de la purification sodique. Donc le pH est lié avec la nature du milieu et les propriétés colloïdales d'argile.

IV.I.7 Taux d'humidité :

Ce résultat reflètent que le taux d'humidité est parmi les caractéristiques particulières des argiles. La capacité de rétention en eau est égale à **1.2643%** pour l'argile brute (bentonite)

La perte au feu est la quantité de matière volatilisée à une température donnée. Elle sert à estimer la quantité de matière organique d'un échantillon. Cette température varie en fonction du matériau étudié et de la norme à laquelle on se réfère [5].

IV.I.8 La conductivité :

La conductivité est un indicateur de la teneur en sel dissout [6-7]. Une indication sur la teneur en électrolytes hydrosolubles (salinité) et a été mesurée sur un extrait aqueux d'argile (1/5 P/V) moyennant un conductimètre à électrode [8], la valeur de conductivité d'argile brute est 1989 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

IV.II.1 Propriétés spectrophotométriques des adsorbats :

La méthode d'analyse utilisée est la spectrophotométrie UV visible. La première étape est la détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{max}),

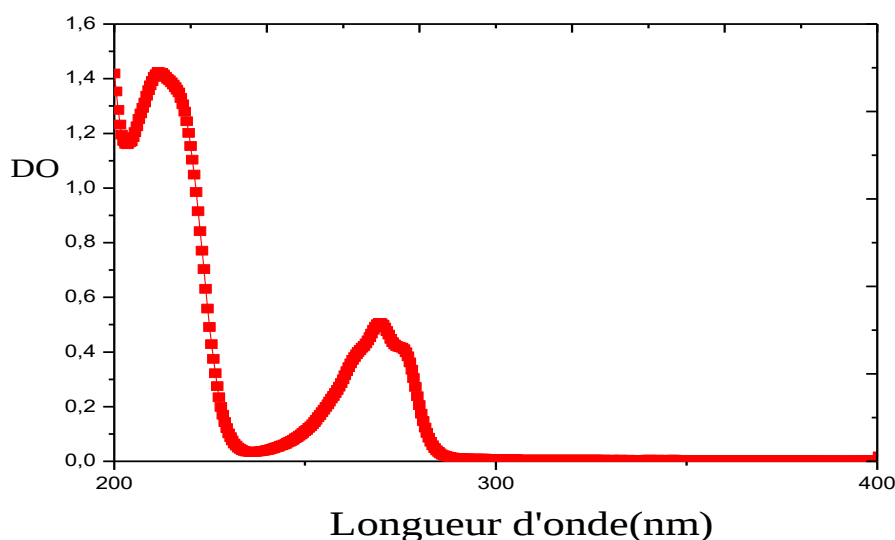


Figure IV .4 : Balayage spectrale UV-visible d'une solution de phénol $\lambda_{\text{max}} = 270\text{nm}$.

La deuxième étape est la vérification de la loi de Beer-Lambert, pour cela avons tracé les courbes d'étalonnage pour phénol afin de déterminer les domaines de concentration pour lesquels la loi de Beer-Lambert est respectée (obtention d'une droite)

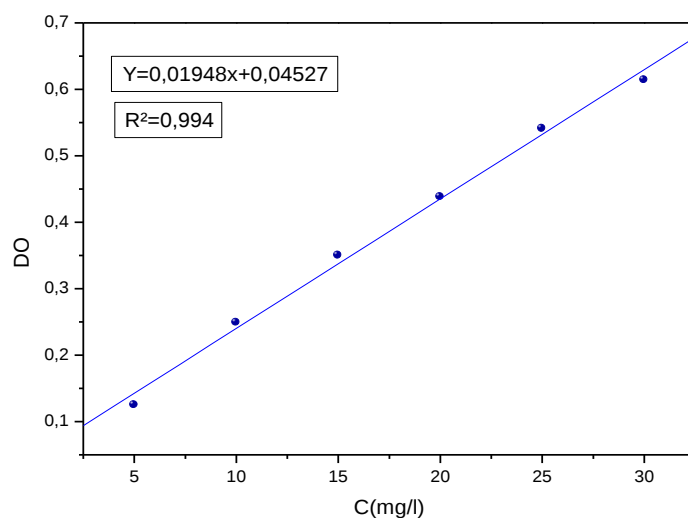
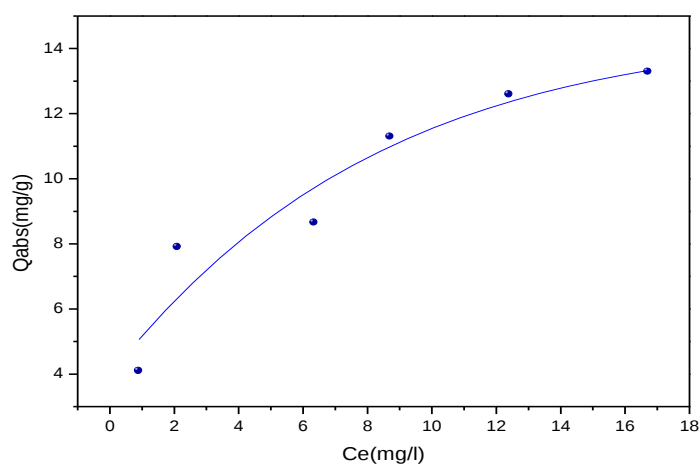


Figure IV.5 : Courbe d'étalonnage du phénol.

IV.II.2 Etude de l'influence de quelques paramètres de l'adsorption sur le phénol :

IV.II.2.1 L'effet de la concentration initiale sur l'adsorption :

Nous avons représenté sur la figure (IV.6) l'évolution de la quantité adsorbée en fonction de la concentration du phénol pour l'adsorbant.



Conditions : V=50ml; m= 50mg; Vitesse d'agitation = 400 tr/min

Figure IV.6: Effet de la concentration sur l'adsorption de phénol.

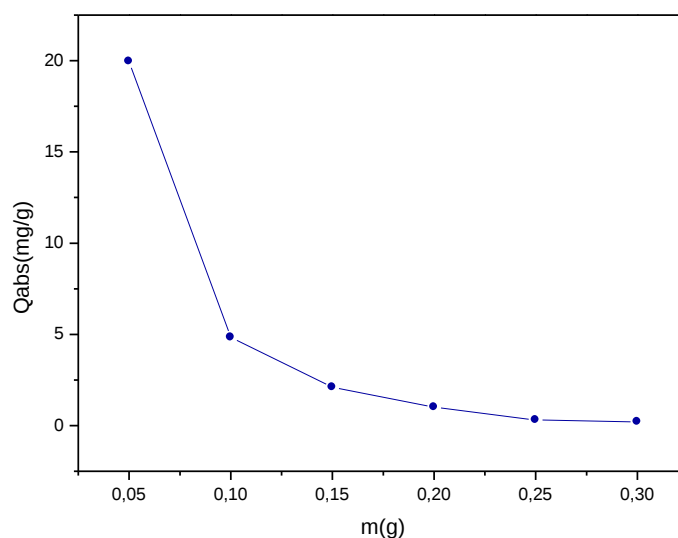
Pendant la figure IV.6 notez que l'augmentation de la concentration est compensée par la l'augmentation de la quantité adsorbée.

L'augmentation de la concentration provoque l'élévation de la force d'entraînement du gradient de concentration donc l'augmentation de la diffusion moléculaire du phénol en solution dans la surface de l'adsorbant [9].

Meilleure quantité adsorbée pour l'argile naturelle et pour l'argile purifiée sodique pour une concentration du phénol optimale égale 30 mg/L.

IV.II.2.2 L'effet de la masse l'adsorbant :

La figure (IV.7) montre l'influence de la variation de la masse de chaque adsorbant sur le pouvoir d'adsorption de phénol. Nous remarquons que la quantité adsorbée à l'équilibre est 25.96 mg/g qui correspond à 0.05 g.



Conditions : $V=50\text{ml}$; $C= 30\text{mg/L}$; Vitesse d'agitation = 400 tr/min.

Figure IV .7: Effet de la masse des argiles sur l'adsorption du phénol.

Donc la meilleure quantité d'adsorption du phénol est attribuée à une masse d'adsorbant égale à pour l'argile brut

IV.II.2.3 Cinétique d'adsorption en fonction du temps de contact :

Comme illustrent la figure qui représente l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps. On remarque que les cinétiques d'adsorption des phénol sur les argiles utilisées présentent les mêmes allures peut être décomposée en deux phase : une première très rapide , suivi d'une deuxième de rapidité faible .

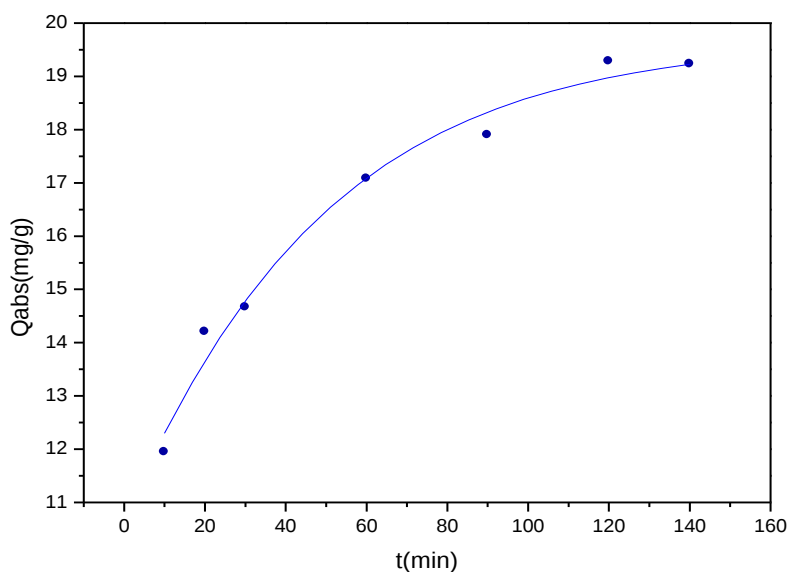


Figure IV.8: Cinétique d'adsorption de phénol sur les argiles (Temps de contact).

Conditions : V=50ml ; m=50mg; C= 30mg/L; Vitesse d'agitation = 400 tr/min.

Ce phénomène peut être expliqué la quantité adsorbée au fil de temps jusqu'à 120 minute, mêmes si l'on ajoute du temps.

Nous permet conclure que le temps d'équilibre d'adsorption du phénol est presque identique pour le absorbant environ 120 min et le quantité adsorbée 19 mg/g de l'argile naturelle.

IV.II.2.4 Effet du pH sur l'adsorption :

Elimination des composés organiques particulièrement le phénol des eaux usées par l'adsorption dépend fortement du PH de la solution. Pour étudier l'influence du PH sur l'adsorption du phénol. Nous avons menés une série d'expériences à différents PH comprise entre 1 et 13, l'ajout d'HCl et/ou NaOH permet d'ajuster le PH [10].

Le pH initiale de la solution est un paramètre très important, il a un grand effet sur la dissociation du phénol et donc sur la quantité adsorbée.

Il peut charger :

- La charge de la surface de l'adsorbant.
- Le degré d'ionisation de l'adsorbat.
- Le degré de dissociation des groupes fonctionnels des sites actifs de l'adsorbant [11].

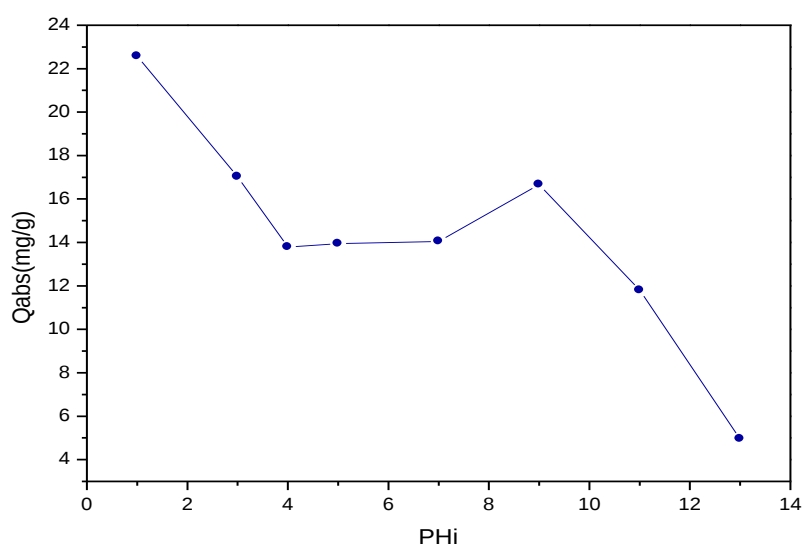


Figure IV.9 : Effet de pH de l'argile sur l'adsorption de phénol.

Conditions : V=50ml ; m=50mg; C= 30mg/L; Vitesse d'agitation = 400 tr/min.

Les résultats sont représentés sur la figure (IV.9). Dans la gamme des pH testés, on remarque que la meilleure rétention du phénol sur les surfaces d'argile brute, au pH égale 1, , peuvent être expliquée par l'existence des protons en milieu acide qui augmentent la force d'attraction électrostatique entre les molécules de l'adsorbat et le site positifs inoccupés à la surface de l'adsorbat après le départ des ions OH-, puis décroît au-delà de pH égale 9, cette quantité adsorbée augmente brusquement en milieu basique, donc il y a répulsion entre les supports chargés négativement et les charges des ions OH- d'adsorbat.

IV.II.2.5 L'isotherme d'adsorption :

La linéarisation des modèles d'adsorption a été réalisée en appliquant deux modèles d'adsorption, les courbes obtenues sont des droites de la forme:

$Y = AX + B$ tracé par $1/(X/m)$ en fonction de $1/C_e$ pour le modèle de Langmuir, par $\ln(X/m)$ en fonction de $\ln C_e$ pour le modèle de Freundlich.

Après avoir appliqué les modèles d'adsorption, le calcul des constantes relatives à chaque modèle.

Les isothermes d'adsorption jouent un rôle important dans la détermination des capacités maximales d'adsorption et dans la conception de nouveaux adsorbants, elles sont étudiées pour déterminer les conditions optimums pour extraire le maximum du phénol.

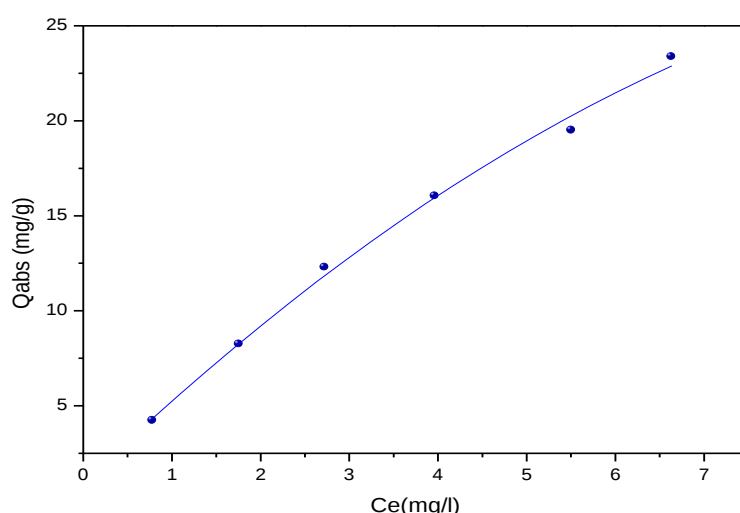


Figure IV.10 : Isothermes d'adsorption du phénol sur l'argile brute.

Conditions : V=50ml ; PH=4 ; m=50mg ; C= 30mg/L; Vitesse d'agitation = 400 tr/min.

Nous avons établi l'isotherme simple d'adsorption pour le phénol illustrée sur la Figure (IV.10).

Les résultats montrent pour le phénol que l'isotherme est de type I selon la classification de Gilles [12]. Comme il a été expliqué dans le chapitre (I) Figure I.3, les isothermes de type I peuvent être expliquées par les modèles de Langmuir et de Freundlich c'est pourquoi nous allons appliquer ces modèles à nos expériences d'adsorption. On remarque que, cette courbe montre que, à faible concentration en solution, une courbure tournée vers le bas qui explique une diminution

des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Cette observation a laissé penser que le phénomène d'adsorption du phénol sur le argile est progressive, la quantité du phénol fixée augmente avec l'augmentation de la concentration à l'équilibre (C_e).

IV.II.2.6 L'effet de la température sur l'adsorption :

La température est une variable majeure dans les processus d'adsorption. La température affecte la solubilité de l'adsorbat et la constante d'équilibre de l'adsorption. Comme l'adsorption en générale est un phénomène exothermique [13], L'étude a été menée aux températures 25, 35, 45 et 50°C.

D'après la Figure (IV.11) qui représente l'influence de la variation de la température sur l'adsorption du phénol. Nous remarquons qu'une augmentation du temps conduit à une faible augmentation dans la quantité adsorbée pour le adsorbant, après le temps d'équilibre, la quantité adsorbée augmente légèrement d'une manière régulière avec la température pour l'argile, et l'augmentation de la température dans l'intervalle étudié pour le phénol, provoque une faible diminution dans la capacité d'adsorption de l'adsorbat sur la argile à l'équilibre. Cette faible diminution signifie que le processus d'adsorption de l'adsorbat sur les argiles est exothermique. On constate donc qu'il n'y a pas une grande différence entre les quantités maximales adsorbées à différentes températures, ceci est montré essentiellement que l'augmentation de la température influe doucement sur le processus d'adsorption.

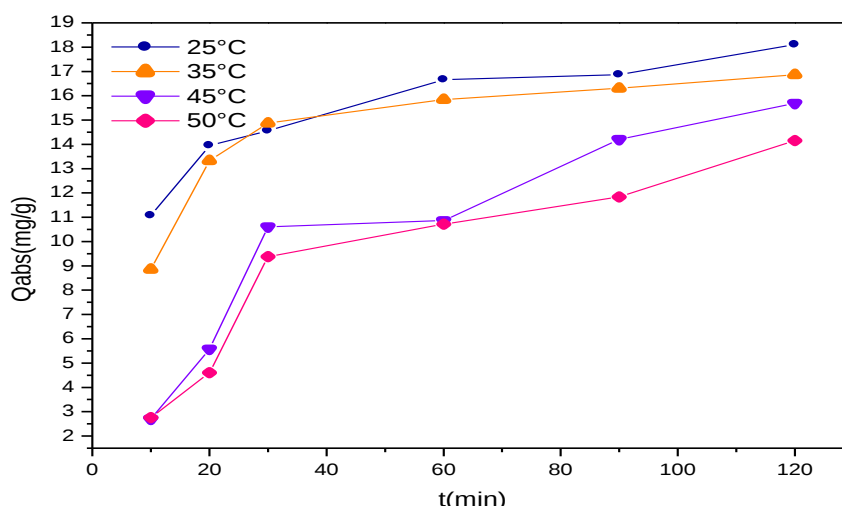


Figure IV.11 : Cinétiques d'adsorption de phénol sur le argile à différentes température.

Conditions : V=50 ml ; pH= 4; m=50 mg ; C= 30mg/L; Vitesse d'agitation = 400 tr/m

La cinétique d'adsorption obtenue montre que l'argile est un bon adsorbant pour le phénol

IV.II .3. Modélisation des résultats :

Pour modéliser les isothermes obtenues, nous avons choisi le modèle de Langmuir, le modèle de Freundlich, dont les équations expliquant ces modèles ainsi que leurs transformées linéaires sont représentés précédemment dans le chapitre II.

IV.II .3.1 Modèle d'adsorption de Langmuir :

La linéarisation du modèle de Langmuir permet de tracer la droite $1/(x/m)$ en fonction de $1/C_e$. Cette linéarisation est donnée par l'équation :

$$\frac{1}{(x/m)} = \frac{1}{(x/m)_0} + \frac{1}{[b.(x/m)_0]} \cdot \frac{1}{C_e} \dots\dots\dots(IV.1)$$

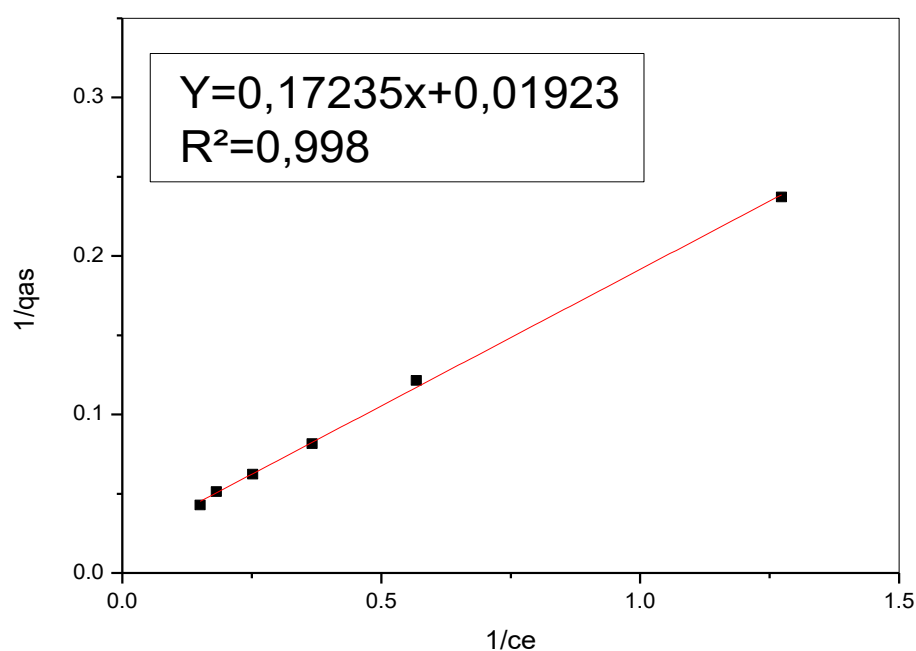


Figure IV.12:Modèle de Langmuir.

IV.II .3.2Modèle de Freundlich :

La linéarisation du modèle de Langmuir permet de tracer la droite $\ln(x/m)$ en fonction de $\ln C_e$. Cette linéarisation est donnée par l'équation :

$$\ln(x/m) = \ln k_f + (1/n) \ln (C_e) \dots \dots \dots (IV.2)$$

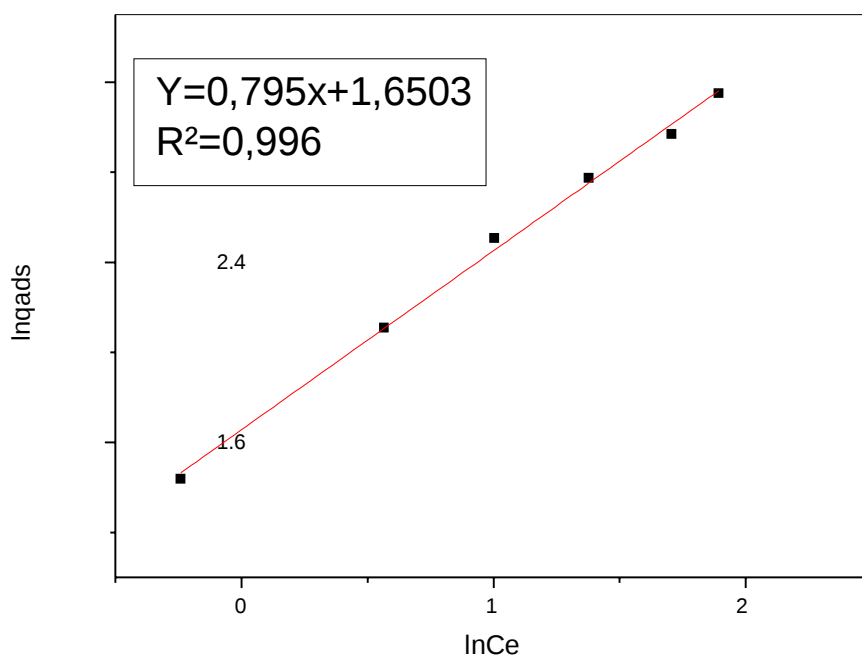


Figure IV.13: Modèle de Freundlich.

Tableau IV.6 : Constantes des différentes modélisations des isothermes d'adsorption.

		Argile Naturelle
Modèle de Langmuir	b (L/mg)	0.111
	q_{max} (mg/g)	52.002
	R²	0.998
Modèle de Freundlich	K_F (mg/g)	5.208
	1/n_F	0.795
	n_F	1.257
	R²	0.9996

L'application linéarisées des formes des lois des (Langmuir, Freundlich) a permis de vérifier que ces deux modèle étaient adéquats et que les rendements d'élimination du phénol varient dans le même sens avec les deux modèles, nous avons comparé les coefficients de corrélation (Tableau IV.5) des droites obtenues à partir des équations linéaires correspondantes.

Le coefficient le plus proche de 1 indique que la droite passe par un plus grand nombre de points expérimentaux et par conséquent l'adsorption est supposée convenir au mode étudié.

On trouve que le coefficient de corrélation de Freundlich est le meilleur d'adsorption de l'argile naturelle qui peuvent décrire parfaitement les isothermes, tandis que Par ailleurs, les valeurs de la capacité maximum d'adsorption trouvées par les modèles de Langmuir convergent à celles trouvées expérimentalement.

Les valeurs K_F et n_F sont des coefficients caractéristiques du couple adsorbat-adsorbant, les valeurs de K_F représentant les quantités maximales adsorbées sont inférieures à celles calculées par le modèle de Langmuir et à celles trouvées par l'isotherme d'adsorption pour l'argile naturelle étudiée..

Il est généralement affirmé que pour les valeurs de n_F inférieur à 1, l'adsorption est faible et si les valeurs de n_F appartiennent à l'intervalle 1 à 2, l'adsorption est modérément difficile. Les valeurs de paramètre n_F obtenus montrent que l'adsorption n'est pas en accord selon le modèle de Freundlich.

Le paramètre de Hall (R_L) de modèle Langmuir qui se présente sous la forme suivante :

$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_0} \dots\dots\dots(IV.3)$$

(IV.1) Pour $0 < R_L < 1$ l'isotherme est favorable et pour $R_L > 1$ l'isotherme est défavorable [14]. Et nous trouvons ces valeurs inférieure à 1 (0.22 pour l'argile naturelle), on peut dire que les valeurs de R_L montrent la validité du modèle de Langmuir, qui indique l'adsorption chimique en monocouche sur une surface homogène, composée de micropores qui une fois remplie d'adsorbat (phénol) a peu de surface externe pour une adsorption supplémentaire.

L'isotherme d'adsorption est de type I (Figure IV.13), caractéristique d'une adsorption de type mon moléculaire. Donc on peut proposer un mécanisme d'adsorption de phénol sur la surface d'argile brute (Bentonite de Ain Touta), par l'intermédiaire des liaisons hydrogène entre un groupe OH du phénol et des groupes silanol de la surface de l'argile.

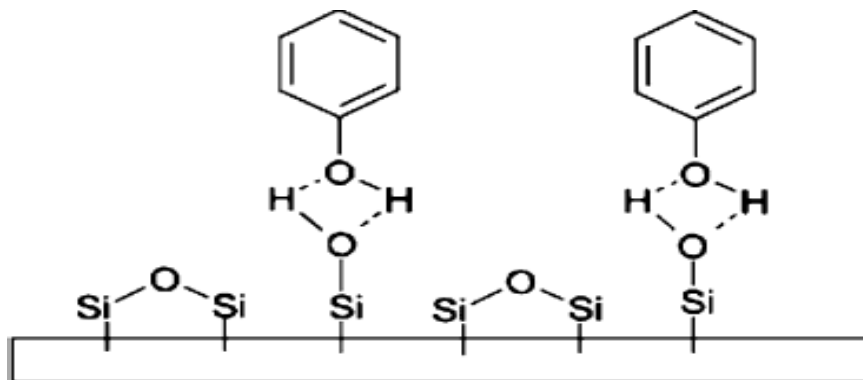


Figure IV.14 : Mécanisme d'adsorption de phénol sur la surface de l'argile naturelle.

IV.II .4. Etude Thermodynamique

Les paramètres thermodynamiques qui doivent être considérés pour décrire le processus sont les changements de l'enthalpie standard (ΔH°), l'entropie standard (ΔS°) et l'énergie standard libre (ΔG°) due au transfert de l'unité du corps dissous à partir de la solution à l'interface solide-liquide .

Les paramètres thermodynamiques sont calculés par l'équation suivante :

$$\ln(K_D) = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{R \cdot T} \dots\dots\dots(IV.4)$$

$$\ln(K_D) = -\frac{\Delta G^\circ}{R \cdot T} \dots\dots\dots(IV.5)$$

$$\text{Où : } \Delta S^\circ = \left(\frac{\Delta H^\circ - \Delta G^\circ}{T} \right) \dots\dots\dots(IV.6)$$

Le tracé de la droite $\ln K_d = f(1/T)$ (Figure V.A.15), nous permet de calculer le rapport enthalpie sur R, qui est déterminé par la pente de la droite. L'ordonnée à l'origine nous donne $\Delta S/R$.

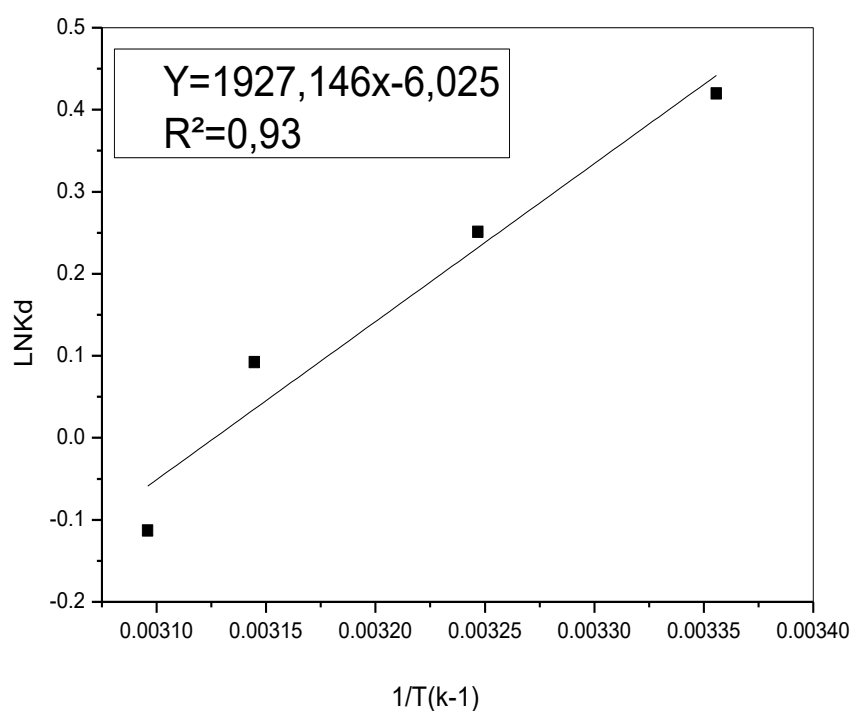


Figure IV.15 : La courbe de linéarisation de la constante de distribution en fonction de la température.

Tableau IV.7 : Les paramètres thermodynamiques de l'adsorption du phénol.

Argile naturelles (Bentonite)	ΔG° (KJ. mol ⁻¹)	ΔH° (kJ. mol ⁻¹)	ΔS° (J. mol ⁻¹)
298 K	-14.936	-16.014	-50.068
308 K	-15.437		
318 K	-15.937		
323 K	-16.188		

D'après les résultats que nous avons obtenus dans le Tableau (IV.7) nous constatons que pour toutes les températures utilisées :

- L'énergie libre de Gibbs ΔG° et l'enthalpie ΔH° pour une adsorption physique généralement ne dépassent pas la valeur de -30 (KJ. mol⁻¹) respectivement. Pour une adsorption chimique, elles se situent entre -80 et -400(KJ. mol⁻¹), -42 et -125(KJ. mol⁻¹) [16].
- Les valeurs des enthalpies libres ΔG° et l'enthalpie ΔH° sont toutes négatives pour l'argile naturelle montrant que les processus d'adsorption du phénol sont des processus spontanés et exothermique, et le degré de spontanéité augmente avec l'accroissement de la température.
- Les valeurs des énergies d'adsorption (ΔH_{ads}) dans cette étude montrent que l'adsorption du phénol sur l'argile naturelle est de type physique,

IV.III Conclusion :

D'après les résultats obtenus dans l'étude des processus d'adsorption de phénol sur la bentonite naturelle, nous pouvons conclure que:

- ◆ La bentonite naturelle d'Ain Touta utilisée dans cette étude a été trouvée être un adsorbant efficace et à faible coût pour l'adsorption de phénol à partir de solutions aqueuses.
- ◆ Les expériences de cinétique montrent que l'adsorption est rapide et l'efficacité maximale atteinte Après 120 min d'adsorption.
- ◆ Le pH de la solution a un effet positif.
- ◆ Les conditions optimales ont été trouvées à un pH de 1 pour le phénol.
- ◆ Les isothermes d'adsorption des adsorbats par les argiles sont décrites de manière satisfaisante par le modèle de Langmuir et modèle Freundlich.

Références

- [1] HAMDI N, « caractérisation des argiles provenant des sites potentiels de charge d'effluents acides » mémoire de mastère matériaux et surfaces Université de Sfax Ecole Nationale d'ingénieurs de Sfax Tunisie .
- [2] Alain M , les argiles par la pratique , Cristalochimie , minéralogie , géologie Vuibert, Paris. 2013, page 55 .
- [3] Mme Bouacherine S, «Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée» MEMOIRE En vue de l'obtention du Diplôme de Magister Université Mohamed Chérif Messaadia –Souk-Ahras 2012.
- [4] BOULKRAH H , « Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants » Mémoire de Magister à l'université du 20 août 1955 SKIKDA , 2008 .
- [5] S.J Kim , «sorption mechanism of U (VI) on a reference montmorillonite : Binding to the internal and external surface» . Journzl of Radio analytical and Nuclear Chemistry . Vol . 250 (1) , 55-62
- [6] Cabaret, J , Moussavou- Boussouvou, M-N, Madeline, M, Balladonne, C, and Barbier, D, Epannage des boues d'épuration urbaines sur les prairies: risque de cysticercose pour les ruminants et de téniasis pour l'homme. Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels, Paris, 2003.
- [7] Bachelot, M, Contribution à la réutilisation des eaux usées traitées à la pollution par les contaminants organiques traces. Université Paris 5 René Descartes Faculté des Sciences Pharmaceutique et Biologiques, Paris, 2007.
- [8] H. Boudoudou, R Hassikou, A .O. Touhami , A. Badoc, A. Douira « paramètres physico-chimiques et flore fongique des sols de rizières marocaines », Bull. Soc. Pharm. Bordeaux 2009, 148, 17-44
- [9] Hasnain Isa M, Lee Siewlang, Faridha A. H., Asaari, Hamidi. A. Aziz., Aza Ramli N., Jaya Paul A. Dhas., Dyes. pigments. 74 (2) , 2007 , 446-453.

-
- [10] Tahani A, Karroua M, El Farissi M, Levitz P, Van Damme H, Bergaya F, Margulier L, Adsorption of phenol and chlorine derivatives PLICS and organoPLICS. *J chem phys* 96: 464-469, 1999.
- [11] M. I. HASNAIN, L. SIEWLANG, H. ASAARI, A. HAMIDI, N. AZAM RAMLI «Low cost removal of disperse dyes from aqueous solution using palm ash » *Dyes. pigments*. Vol 74 N° 2 p446-453 (2007).
- [12] REFFAS A, « étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café) » Université Mentouri Constantine, 2010.
- [13] Creangă Carmen Manole, Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique), thèse doctorat, université de Toulouse, 2007.
- [14] A. El Gaidoumi, A. Chaoui Benabdallah, A. Lahrichi, A. Kherbeche, « Adsorption du Phénol en Milieu Aqueux par une Pyrophyllite Marocaine Brute et Traitée (Adsorption of Phenol in Aqueous Medium by a Raw and Treated Moroccan Pyrophyllite) ». *Maroc*, 2015, article, page 2257.
- [15] H. Z. BOUDIAF « Réparation et caractérisation de matériaux à base d'argile algérienne . Application à l'adsorption de polluants organiques », Thèse de doctorat Université Ferhat Abbas, Sétif, (2011).



Conclusion générale



Conclusion générale

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

Les résultats obtenus lors de cette étude à l'échelle laboratoire, confirment l'intérêt pratique et économique de l'utilisation d'argile dans le domaine de la dépollution des eaux contaminées par le polluant (phénol).

- ✓ La composition chimique par la fluorescence X (XRF) montre que l'argile brute utilisée est constituée essentiellement de silice, d'alumine environ 25%, d'oxyde de fer 5.37 % (Tableau IV.1). Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4.13$ révèle son caractère montmorillonite.
- ✓ Le spectre de rayons X (DRX) montre que l'argile brute de Ain Touta est bien un mélange de montmorillonite avec des impuretés minérales qui sont de l'Illite et des quarts.
- ✓ Les spectres IR ont aussi montré que l'argile brute et purifiée sodique en effet les bandes intenses à 3600, 3400 cm^{-1} et la bande 997 cm^{-1} caractérisent les minéraux argileux de la famille de la montmorillonite. De plus, comme il a été observé en diffraction des rayons X.
- ✓ L'argile brute ont caractérisé respectivement par une densité de 0.125 g/cm^3 , une porosité de 36, 18 %, et de conductivité électrique de 1989 $\mu\text{S/cm}$, le taux d'humidité de 1.26%, pH de la suspension de 8.69.
- ✓ La cinétique d'adsorption de phénol sur l'argile montre que ce support est un bon adsorbant de polluant en solution aqueuse. Ces cinétiques sont influencées par les paramètres étudiés : le temps, la masse, la température et la nature de l'adsorbat.
- ✓ La capacité d'adsorption diminue en fonction de la dose d'adsorbant dans la gamme 0,05 g à 0.3 g, la masse de l'argile qui été prise en compte dans les études ultérieures est 50 mg.

- ✓ Les résultats de la cinétique d'adsorption montrent que l'adsorption du phénol sur l'argile brute de Ain Touta est rapide et l'efficacité maximale atteint après 2 heures (120 minutes) d'adsorption.
- ✓ Nous avons pu constater que l'élimination du phénol par l'argile est meilleure au pH acide (pH=1) où les supports argileux ont des surfaces positives.
- ✓ L'efficacité d'adsorption de phénol diminue avec l'augmentation de la température, donc le processus d'adsorption est exothermique.
- ✓ La modélisation par le modèle de Langmuir et Freundlich où le modèle de Langmuir est plus descriptif pour l'adsorption étudiée sur l'argile de Ain Touta.
- ✓ Les faibles valeurs de la chaleur d'adsorption confirment bien que l'interaction argile avec le phénol, sont de nature physique en solution aqueuse et donc c'est une adsorption physique.

Après cette étude, nous pouvons juger que l'argile locale de Ain Touta « Batna » est un bon adsorbant à faible coûts et qui possède une grande capacité pour éliminer du phénol à partir des solutions aqueuses.



Annex



Tableau I.6: étalonnage pour la détermination de concentration en phénol.

C(mg/l)	5	10	15	20	25	30
DO	0.125	0.249	0.350	0.438	0.541	0.614

Tableau II.7: données expérimentales des concentration de Argile naturelle.

C(mg/l)	5	10	15	20	25	30
C _e (mg/l)	0.910	2.104	6.351	8.713	12.409	16.721
Q _{abs} (mg/g)	4.089	7.895	8.648	11.286	12.590	13.278

Tableau I.8:données expérimentale de l'effet de masse sur l'adsorption de phénol l'argile naturelle.

m(g)	DO	C _e (mg/l)	Q _{abs} (mg/g)
0.05	0.241	10.047	19.953
0.10	0.441	20.314	4.843
0.15	0.507	23.702	2.099
0.20	0.551	25.961	1.009
0.25	0.600	28.476	0.304
0.30	0.605	28.733	0.211

Tableau I.9:données expérimentales de la cinétique (temps de contact) d'adsorption de phénol par l'argile naturelle .

T(min)	10	20	30	60	90	120	140
C _e (mg/l)	18.055	15.797	15.335	12.922	12.101	10.715	10.766
Q _{abs} (mg/g)	11.944	14.202	14.664	17.077	17.898	19.284	19.233

Tableau I.10: données expérimentale de l'effet du PH sur l'adsorption de phénol par l'argile naturelle.

PH _i	PH _e	DO	C _e (mg/l)	Q _{abs} (mg/g)
1	1.76	0.190	7.429	22.571
3	6.82	0.298	12.973	17.027
4	7.93	0.361	16.207	13.793
5	8.04	0.358	16.053	13.947
7	8.30	0.356	15.951	14.049
9	8.91	0.305	13.333	16.667
11	10.69	0.4	18.209	11.791
13	12.77	0.533	25.037	4.963

Tableau I.11:données expérimentale de l'isotherme d'adsorption de phénol par l'argile naturelle.

Ci(mg/l)	5	10	15	20	25	30
C _e (mg/l)	0.785	1.760	2.275	3.968	5.508	6.637
Q _{abs} (mg/g)	4.214	8.239	12.724	16.031	19.491	23.362

Tableau I.12: données expérimentales de la cinétique d'adsorption de phénol par Argile naturelle.

T(min)	25			35		
	DO	C _e (mg/l)	Q _{ABS} (mg/g)	DO	C _e (mg/l)	Q _{abs} (mg/g)
10	0.414	18.928	11.071	0.457	21.136	8.863
20	0.358	16.053	13.946	0.37	16.669	13.330
30	0.346	15.437	14.562	0.34	15.129	14.870
60	0.305	13.333	16.666	0.321	14.154	15.845
90	0.301	13.127	16.872	0.312	13.692	16.307
120	0.277	11.895	18.104	0.301	13.127	16.872

Tableau I.13: données expérimentales de la cinétique d'adsorption de phénol par Argile naturelle.

T(min)	45			50		
	DO	C _e (mg/l)	Q _{abs} (mg/g)	DO	C _e (mg/l)	Q _{abs} (mg/g)
10	0.254	27.296	2.703	0.242	27.244	2.755
20	0.423	24.421	5.578	0.353	25.396	4.603
30	0.399	19.390	10.609	0.421	20.622	9.377
60	0.521	19.133	10.866	0.540	19.287	10.712
90	0.577	15.797	14.202	0.447	18.158	11.841
120	0.418	14.308	15.691	0.576	15.848	14.151

Résumé:

La pollution de l'environnement par le phénol est un problème grave en raison de ses effets toxiques sur la santé humaine et animale, afin de réduire le phénol nous avons eu recours à la méthode d'adsorption par argile naturelle "Ain Touta". La boue est largement appliquée dans de nombreux domaines de la technologie et de la science, l'argile est utilisée comme matériau adsorbant en raison de son faible coût, de sa surface élevée spécifique et de la diversité de ses caractéristiques de surface et de structure.

Grâce à l'étude pratique sur l'adsorption du phénol sur l'argile, plusieurs effets ont été appliqués à savoir " la masse , le temps de contact, la concentration, la température et le pH du milieu". La valeur optimale de la meilleure adsorption expérimentale pour chaque effet a été déterminée par des valeurs multiples appliquées à chaque expérience, Les résultats obtenus sont soumis à la modélisation cinétique et thermodynamique .

Mots clés : Phénol, adsorption, bentonite, pollution de l'eau, concentration.

المخلص

يعد التلوث البيئي بالفينول مشكلة خطيرة بسبب آثاره السامة على صحة الإنسان والحيوان ، من أجل تقليل الفينول لجأنا إلى طريقة الامتزاز بالطين الطبيعي "عين توتة". يتم استخدام الطين على نطاق واسع في العديد من مجالات التكنولوجيا والعلوم ، ويستخدم الطين كمادة ماصة بسبب تكلفته المنخفضة ، ومساحته السطحية المحددة العالية وتنوع خصائص السطح والهيكل.

بفضل الدراسة العملية حول امتزاز الفينول على الصلصال ، تم تطبيق العديد من التأثيرات ، وهي "الكتلة ووقت الاتصال والتركيز ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة للوسط". القيمة المثلى للتم تحديد أفضل الامتزاز التجريبي لكل تأثير من خلال القيم المتعددة المطبقة على كل تجربة ، والنتائج التي تم الحصول عليها تخضع للنمذجة الحركية والديناميكية الحرارية.

الكلمات المفتاحية: الفينول , امتزاز , البنتونيت , تلوث المياه , التركيز.

Abstract :

Environmental contamination of phenol is a serious problem due to its toxic effects on human and animal health, in order to reduce phenol we have resorted to the method of adsorption with natural clay "Ain Touta". Clay is widely used in many fields of technology and science, and clay is used as a absorbent material due to its low cost, high specific surface area and variety of surface and structure characteristics.

Thanks to the practical study on phenol adsorption on clay, many effects have been applied, namely, namely, "mass, contact time, concentration, temperature and pH". The optimum value of the experimental adsorption of each effect was determined by the multiple values applied to each trial, and the results obtained are subject to kinetic and thermodynamic modelling.

Keywords : phenol, adsorption, bentonite, water pollution, concentration.