REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

ELIMINATION PAR ADSORPTION D'UN POLLUANT ORGANIQUE SUR DIFFERENTES MATRICES

Présenté par

LATRECHE Fatima

ALI MOUSSA Maroua

Proposé et Dirigé par

Dr KHALLADI Razika

Dr YOUS Radhia

Promotion 2021

Remerciement

Tous d’abord nous remercions ALLAH pour nous avoir donnés la santé, le courage et la volonté pour achever ce travail.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à madame KHALLADI RAZIKA et YOUS RADIA pour nous avoir encadré ce projet ainsi que pour sa disponibilité.

Nous remercions nos parents, pourleurs soutiens et leurs encouragements pendant toute la vie et qui continueront à nous aider dans tousles projets de l’avenir. Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participés de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet. Nos remerciements vont également aux membres de jury qui nous ont fait l’honneur d’examiner notre travail.

Nous adressons les plus chaleureux remerciements et toute gratitude à toutes nos amies de spécialité génie des procédés de l’environnement. Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

ملخص

هذا العمل جزء من معالجة المياه الملوثة بالأصباغ. الهدف من هذا العمل هو تقييم كفاءة الألومينا في امتصاص الفوشين القلوي الموجود في المحلول المائي. تم اختبار العديد من النماذج الحركية لتحديد أنسب نموذج حركي لوصف آلية الامتزاز ، وكذلك تأثير تركيز الامتصاص الأولي على زمن التوازن والحد الأقصى لكمية الامتصاص. النماذج المدروسة هي: الدرجة الأولى الزائفة ، الدرجة الثانية الزائفة ، Elovichونموذج الانتشار العالمي.
أظهرت النتائج أن الرقم الهيدروجيني للألومينا عند الشحنة صفر تساوي 4 ، و ان لها وظائف هيدروكسيلية مسؤولة عن امتزاز الفوشين القلوي الذي يظهره قياس الطيف بالأشعة تحت الحمراء. يعتبر نموذج الدرجة الثانية الزائف هو الأكثر ملاءمة لتمثيل حركية الامتزاز الفوشين على الألومينا مع أقصى قدر من الامتصاص 39.51 مجم / جم. المراحل التي تؤثر في الامتزاز هي ؛ الانتشار الداخلي والتفاعل الكيميائي.

الكلمات المفتاحية: الامتزاز ، الألومينا ، الفوشين القلوي ، النماذج الحركية.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre du traitement des eaux polluées par les colorants. L'objectif de ce travail, était d'évaluer l'efficacité de l'alumine dans l'adsorption de la fuchsine présente en solution aqueuse. Plusieurs modèles cinétiques ont été testés afin de déterminer le modèle cinétique le plus adapté pour décrire le mécanisme d'adsorption, ainsi que l'effet de la concentration initiale en adsorbat sur le temps d'équilibre et la quantité maximale adsorbé. Les modèles étudiés sont : pseudo premier ordre, pseudo second ordre, Elovich et le modèle global de diffusion.

Les résultats ont montrés que l'alumine présente un pH zéro-charge égale à 4, et possède des fonctions hydroxyles responsables de l'adsorption de la fuchsine basique démontrée par la spectrométrie infra rouge. Le modèle du pseudo deuxième ordre est le plus adéquat pour représenter la cinétique d'adsorption de la fuchsine sur l'alumine avec une quantité maximale adsorbée 39.51mg/g. Les étapes limitantes du mécanisme d'adsorption sont; la diffusion interne et la réaction chimique.

Mots clés : Adsorption, Alumine, Fuchsine basique, modèles cinétiques.

Abstract

This work is part of the treatment of water polluted by dyes. The objective of this work was to evaluate the efficiency of alumina in the adsorption of fuchsine present in aqueous solution. Several kinetic models were tested to determine the most suitable kinetic model to describe the adsorption mechanism, as well as the effect of the initial adsorbate concentration on the equilibrium time and the maximum adsorbed amount. The models studied are: pseudo first order, pseudo second order, Elovich and the global diffusional model.

The results showed that alumina has a zero-charge pH equal to 4, and has hydroxyl functions responsible for the adsorption of basic fuchsine demonstrated by infrared spectrometry. The pseudo second order model is the most adequate to represent the adsorption kinetics of fuchsine

on alumina with a maximum adsorbed amount of 39.51mg / g. The limiting steps of adsorption mechanism are; internal diffusion and chemical reaction.

Keywords: Adsorption, Alumina, Basic fuchsine, kinetic models.

Sommaire

Sommaire

La liste de tableau

La liste de figure

Liste des abréviations

Introduction general……..…1

Chapitre I: Pollution des eaux par les composés pharmaceutique colorés

I.1. Definition de la pollution des eaux……3

I.2. Les type de pollution des eaux…….....…3

I.2.1. Pollutions chimiques……..…3

I.2.2. Pollutions biologiques…….....3

I.2.3. Pollutions physiques……...4

I.3. Impacts des dechets domestiqus sur la qualite des eaux……...…....4

I.4. Impacts des activites industrielles sur la qualite des eaux…….....4

I.5. Pollution des eaux par les rejets industriels…….....5

I.6. Consequences de la pollution des eaux ……6

I.6.1. Le Manque d'eau potable…….…..……6

I.6.2. L'Augmentation du prix des activités économiques……...…...……6

I.6.3. Les Maladies non infectieuses……..…….6

I.6.4. Les Maladies infectieuses……..……7

I.6.5. Une Augmentation des flux migratoires……..……....7

I.7. Autres effets de la pollution des eaux ……....8

I.8. Procede de traitement des eaux residuaires industrielles …….…..…8

I.9. Pollution par les produits pharmaceutique et les colorants…….…9

I.9.1 Sources de pollution des eaux par les produits pharmaceutiques……..…...9

I.9.2. Pollution des eaux par les colorants…….…...10

I.9.2.1. Définition des colorants……...10

I.9.2.2.Classification des colorants……....10

a) Classification chimique……..…..……...10

b) Classification tinctoriale…….……...10

I.9.2.3. Procèdes de d'élimination des colorants ……11

I.9.2.4. Utilisation des colorants ……...……12

I. 10. La fuchsine ……..……...12

I.10.1. Notions sur la fuchsine ……..12

I.10.2. Propriétés de la fuchsine…….13

I.10.3. Utilisation de la Fuchsine basique……..14

I.10.4. Effet de la fuchsine sur l'environnement et l'homme……14

I.10.4.1. Effet de la fuchsine sur l'homme……..……..14

I.10.4.2. Effet de la fuchsine sur l'environnement……15

I.11. Normes de rejets des eaux uses en algerie……..……..15

Chapitre II: Phénomène d'adsorption et modèles cinétiques

II.1. Definition…….…….17

II.2. Type d'absorption ……18

II.2.1.Adsorption physique (physisorption)…….……..…18

II.2.2.Adsorption chimique (chimisorption)…….18

II.3. Mecanisme d'adsorption……18

II.4. Facteur influent sur l'adsorption……19

II.4.1. Surface spécifique ……..19

II.4.2. La temperature……..……..….20

II.4.3.Le PH …….……..…20

II.4.4. Nature de l'adsorbant……..20

II.4.5. Nature de l'adsorbat……20

II.5. Modelisation de la cinetique d'adsorption…….20

II.5.1.Modèle cinétique de pseudo-premier ordre……..….21

II.5.2 Modèle cinétique de pseudo-second ordre ……..22

II.5.3.Modèles cinétiques basés sur la diffusion……..…….….22

a. Modèle d'Elovich……..……..22

b. Modèle globale de la cinétique d'adsorption…….…….22

II.6. Isotherme d'adsorption…….……...…23

II.7. Modeles mathematiques des isothermes d'adsorption…….…..25

II.7.1.Modèle de Langmuir……25

II.7.2.Modèle de Freundlich……...25

II.8. importance et usage d'adsorption…….……..25

II.9. caracteristiques d'adsorption…….…….26

II.10. Les adsorbants…….…….26

II.10.1. L'alumine active……27

II.10.2. Propriétés de l'alumine active……27

II.10.3. Travaux antérieurs sur l'adsorbant alumine active……...……28

Chapitre III: Matériels et Méthodes

III.1. Materiels……..30

III.1.1.Solutions et produits utilizes…….30

III.1.2. Petit materiel……...…….30

III.1.3. Appareillage……..……...30

III.2.Methodes d'analyses……..……..31

III.2.1. Analyse par spectrophoometrie uv-visible……...…….31

III.2.1.1. Détermination de la longueur d'onde maximale λmax de la Fuchsine……..…..…31

III.2.1.2. Courbe d'étalonnage et détermination de la concentration de l'adsorbat……31

III.2.2. Caracterisation de l'adsorbant……..…....32

a. Humidité H(%)……32

b.Masse volumique apparente……..…..…...33

c.Masse volumique réelle ……..……...33

d.Surface spécifique par unité de volume de la solution……..……...33

e.Surface spécifique par unité de masse des particules……...34

f.Conductivité électrique de solution de l'adsorbant……..34

g.Mesure du pH d'une suspension de l'adsorbant……..…34

h.pH de point de charge zéro pHpz ……...34

III.3. Protocole experimental de l'adsorption……35

III.4. Spectrophometrie infrarouge de l'alumine avant et apres l'adsorption……....36

III.5 Etude cinetique de l'adsorption…….37

Chapitre IV: Résultats et Discussions

IV.1. Resultats de la caracterisation de l'alumine ……...…38

IV.1.1. Résultats de mesures physico-chimiques……...….38

IV.1.2. Résultats de mesure du pH de point de charge zéro pHpz……...…38

IV.2. Resultat de la spectroscopie infrarouge de l'alumine……..…39

IV.3. Etude de la cinetique d'adsorption ……..43

IV.3.1. Résultats du premier essai……...…43

IV.3.2. Résultats du deuxième essai……44

IV.3.3 Résultats du troisième essai……..45

IV.4. Modelisation de la cinetique d'adsorption……...….46

IV.4.1.Modèle cinétique du pseudo premier ordre……..…46

IV.4.2. Modèle cinétique de pseudo-second ordre……..…46

IV.4.3. Modèle d'Elovich……....51

IV.4.4.Modèle globale de la cinétique…….....53

Conclusion générale…… 61

Références bibliographiques……..

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Classes des colorants utilisés dans la coloration du textile……..11

Tableau I-2 : Estimation des degrés de fixation de différents colorants aux fibres de textile…...11

Tableaux I.3 . Les normes de rejet des eaux usées appliquées en Algérie…….16

Tableau II.1 : Différences entre physisorption et chemisorption……18

Tableau II. 2 : Quelques travaux effectués sur l'alumine……28

Tableau IV.1. Caractéristiques de l'alumine……..38

TableauxIV.2.Les pics IR de l'alumine essai 1……..……41

Tableaux IV.3. Les pics IR de l'alumine essai 2……42

Tableaux IV.4.Les pics IR de l'alumine essai 3……..…42

Tableau IV.5. Paramètres des modèles cinétiques du pseudo premier ordreet second ordre pour la fuchsine basique. Essais 1……..…48

Tableau IV.6. Paramètres des modèles cinétiques du pseudo premier ordreet second ordre pour la fuchsine basique. Essais 2…….……49

Tableau IV.7.Paramètres des modèles cinétiques du pseudo premier ordreet second ordre pour la fuchsine basique. Essais 3……..……51

Tableau IV.8 . Paramètres de la régression linéaire du modèle d'Elovich pour les trois essais…...53

Tableau IV.9. Paramètres des modèles de diffusion dans le film externe, dans les particules et ceux du modèle de la réaction chimique pour les trois essais…….……..….59

Liste des figures

LISTE DES FIGURE

Figure I.1: L'eau source de vie…….……3

Figure I.2: La pollution industrielle…….5

Figure I.3: La désertification ; conséquence de la pollution……7

Figure I.4: Formule développée générale de la fuchsine…….13

Figure I.5: Coloration d'une goutte d'eaul par la fuchsine…….13

Figure II.1 : Schéma d'interfaces adsorbant-adsorbat. a : gaz-solide, b : liquide-solide……..17

Figure II.2.Schéma représentant le mécanisme d'adsorption…….19

Figure II.3: Types d'isothermes d'adsorption…….24

Figure II.4 : L'alumine active……..27

Figure II.5 : Photo en 3D de la structure de l'alumine……28

Figure III.1:Solution mère (S1)…….…..31

Figure III.2: Solutions diluées……..31

Figure III.3: Analyse par UV- VISIBLE …….31

Figure III.4 : Courbe d'étalonnage UV de la Fuchsine…….32

Figure III.5: Agitation ……..36

Figure III.6:Echantillonage …….36

FigureIII.7 : Filtration……36

Figure III.8 : Mesure de l'absorbance……36

Figure IV.1 Détermination du point de charge zero……..……39

Figure IV.2.Spectre IR de l'alumine Avant adsorption…….39

Figure IV.3. Spectre IR de l'alumine après adsorption pour l'essai 1……..40

Figure IV.4. Spectre IR de l'alumine après adsorption pour l'essai 2…….…..40

Figure IV.5. Spectre IR de l'alumine après adsorption pour l'essai 3…….….41

LISTE DES FIGURE

Figure IV.6.Cinétique d'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumine……..44

Figure IV.7.Cinétique d'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumine……44

Figure IV.8.Cinétique d'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumin actif……..45

Figure IV.9.Application du modèle du pseudo-premier ordre pour l'adsorption de la fuchsine sur l'alumine, Essais 1……..46

Figure IV.10.Application du modèle du pseudo- seconde ordre pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 1……..47

Figure IV.11. Application du modèle du pseudo-premier ordre pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 2……..48

Figure IV.12. Application du modèle du pseudo- seconde ordre l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 2……..….48

Figure IV.13.Application du modèle du pseudo-premier ordre pour l'adsorption deLa fuchsine sur l'alumine, Essais 3……..…….49

Figure IV.14. Application du modèle du pseudo- seconde ordre pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 3……...50

Figure IV.15.Application du modèle d'Elovich pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 1……..……...51

Figure IV.16. Application du modèle d'Elovich pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 2…….52

Figure IV.17. Application du modèle d'Elovich pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 3……..52

Figure IV.18.Application du modèle de diffusion dans le film pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 1…….54

LISTE DES FIGURE

Figure IV.19. Application du Modèle de diffusion dans les particules pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai1 …….54

Figure IV.20. Application du Modèle de réaction chimique pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 1……..55

Figure IV.21.Application du modèle de diffusion dans le film pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 2……..……55

Figure IV.22.Application du Modèle de diffusion dans les particules pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 2…….56

Figure IV.23. Application du Modèle de rection chimique pour l'adsorption de La fuchsine

sur l'alumine, Essai 2……56

Figure IV.24. Application du modèle de diffusion dans le film pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 3……...57

Figure IV.25.Application du Modèle de diffusion dans les particules pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essai 3……57

Figure IV.26. Application du Modèle de rection chimique pour l'adsorption de La fuchsine

sur l'alumine, Essai 3……..58

Liste des abréviations et Nomenclatures

Nomenclatures

A : surface spécifique de la particule adsorbée par unité de volumede la solution (m^2/m_3)

b : Constante de Langmuir

$\boldsymbol{C_t}$**:** concentration du substrat à l'instant t (mg/L)

$\boldsymbol{C_0}$**:** concentration initiale du substrat (mg/L) à t=0

Ce: Concentration à l'équilibre (mg/l)

$\boldsymbol{d_p}$**:** diamètre moyen du grain de charbon active (mm)

I/$\boldsymbol{I_0}$**:** La transmittance.

$\boldsymbol{I_0}$ **:**L'intensité du faisceau à l'entrée de la cellule

I : L'intensité à la sortie de la cellule

$\boldsymbol{K_1}$ **:** concentration de vitesse d'adsorption pour le premier ordre (min-1)

$\boldsymbol{K_2}$ **:** concentration de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre (g. mol-1.min-1)

$\boldsymbol{K_L}$ **:** constant de Langmuir (L/mg)

$\boldsymbol{K_F}$**:**Constante de Freundlich associée à la capacité d'adsorption

n: Paramètre énergétique de Freundlich

$\boldsymbol{q_e}$**:** Quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbantà l'équilibre

$\boldsymbol{q_{max}}$**:**Capacité d'adsorption maximale (mg/g)

V : Volume de la solution (L)

H (%) : l'humidité

$\boldsymbol{m_0}$**:** masse de charbon active avant séchage (g)

$\boldsymbol{m_1}$**:** masse de charbon active après séchage (g).

$\boldsymbol{M_E}$**:** masse de l'éthanol rajouté pour remplir le pycnomètre (g)

$\boldsymbol{\rho_{app}}$**:** masse volumique apparente (g/cm3)

$\boldsymbol{\rho_{E}}$**:** masse volumique de l'éthanol (g/ cm3)

t: temps de contact (min)

T: Température (°C).

ABREVIATIONS

DBO: Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

IR : Infrarouge.

MES : Matières En Suspension

mg/L: Milligramme par litre.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

UV : Ultra Violet.

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus importantes sur notre planète. En effet, non seulement la vie sous toutes ses formes sur notre planète dépend de l'eau, mais aussi une grande partie de l'activité humaine, de l'agriculture et de l'industrie, du simple fait d'ouvrir le robinet et de pouvoir ainsi profiter de l'eau pour boire ou se laver. C'est pourquoi la pollution de l'eau est l'un des grands problèmes auxquels nous devrons faire face dans les décennies à venir, car il s'agit d'une ressource beaucoup plus rare qu'il n'y paraît.[1]

La pollution de l'eau peut être causée par la décharge de matières ou d'énergie qui dégradent la qualité de l'eau. La pollution affecte les sources d'eau surfaciques comme les lacs, et les rivières, ainsi que les eaux maritimes côtières et les eaux souterraines. D'une manière indirecte, elle est causée par la croissance démographique et l'industrialisation, mais elle peut néanmoins être parée si des mesures appropriées sont mises en place.

Les molécules organiques colorées sont largement utilisés dans les produits pharmaceutiques, cosmétiques, alimentaires, les imprimeries, mais en particulier dans les industries textiles. Cependant, ces substances sont à l'origine de la pollution une fois évacués dans l'environnement. La production mondiale des colorants ne cesse d'augmenter. Compte tenu de la composition très hétérogène de ces derniers, leur dégradation conduit souvent à la formation de molécules nocives. Des études ont montré que plusieurs colorants sont toxiques et mutagènes et leur présence dans les eaux modifie la couleur, l'odeur et la saveur de ces dernières.

Plusieurs procédés de traitements ont été développés (adsorption, coagulation/floculation, précipitation, biologique …..), mais demeurent pour la plupart complexes et trop onéreux pour être appliqués à l'échelle industrielle. Les recherches actuelles sont orientées vers des technologies simples, efficaces et moins coûteuses pour le traitement des eaux. De ce point de vue, les procédés d'adsorption sont particulièrement intéressants. L'intérêt de ces techniques réside dans leur aspect non polluant et leur facilité d'automatisation. Les procèdes d'adsorption sont souvent une technique de choix, et complémentaire à la filière de base, parce que l'adsorption s'avère efficace dans la rétention, et l'élimination des composés organiques et minéraux solubles dans l'eau sans être modifies. Parmi les matériaux adsorbants les charbons actifs et les argiles sont largement utilisés pour le dégraissage et la floculation d'eaux turbides. [2]

Dans le but de concevoir une stratégie de traitement des eaux qui concilie le respect des normes environnementales et une efficacité technico-économique. L'objectif de cette étude est donc de mettre au point des systèmes adsorbants efficaces dans le traitement des eaux. Pour ce faire, une alumine commerciale de grande surface spécifique a été choisie pour l'élimination de la Fuchsine, largement utilisés dans le domaine industriel, pharmaceutique et biologique comme teinture et biomarqueur.

Ce modeste travail consiste à évaluer la capacité d'adsorption de l'alumine activée, et ce, en fonction de la concentration du colorant. Ce matériau a été caractérisé par la mesure de sa masse volumique, pH en solution et pH zéro, et par spectroscopie infra rouge. L'effet du temps de contact a été exploité par le suivi de la cinétique du phénomène d'adsorption. Par la suite, les modèles mathématiques : pseudo premier ordre, pseudo second ordre, modèle d'Elovich et les modèles de diffusion ont été testés en vue d'investiguer le mécanisme d'adsorption sur le matériau choisi.

Ce manuscrit est composé de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre nous donnons des généralités sur la pollution des eaux, particulièrement par les produits pharmaceutiques et les colorants notamment; la fuchsine, leurs présences dans l'environnement et leurs impacts.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'adsorption, ses types et ses paramètres influant. Ainsi que le détail des modèles cinétiques testés dans la partie expérimentale ; à savoir : modèle pseudo premier ordre, pseudo second ordre, Elovich et le modèle globale de diffusion.
- Le troisième chapitre regroupe le matériel et les méthodes d'analyses utilisés et appliqués dans cette étude. La procédure expérimentale adoptée est aussi décrite.
- Le quatrième chapitre défile les résultats obtenus dans l'étude cinétique ainsi que les paramètres des différents modèles mathématiques testés. les propriétés physicochimiques et les fonctionnalités chimiques caractérisant l'alumine sont aussi présentées. A cause de l'indisponibilité des moyens d'analyse au niveau du Hall Technologique, seulement la cinétique d'adsorption a pu être étudiée.
- Une conclusion générale et des suggestions et perspectives pour une éventuelle continuation du travail sont données à la fin de ce polycopié.

Chapitre I:
Pollution des eaux par les composés pharmaceutiques colorés

I.1. DEFINITION DE LA POLLUTION DES EAUX

La pollution de l'eau c'est la contamination de l'eau par des corps étrangers tels que des micro-organismes, des produits chimiques, des déchets industriels ou autres. Ces substances ou ces corps étrangers dégradent la qualité de l'eau et la rende impropre aux usages souhaités.[3]



Figure I.1: L'eau source de vie

I.2. LES TYPE DE POLLUTION DES EAUX

I.2.1. Pollutions chimiques:

Ce sont des pollutions dues au déversement de substance chimiques telles que les hydrocarbures, les détergents, les biocides (pesticides), métaux lourds.

I.2.2. Pollutions biologiques:

Il peut s'agir de pollution par micro-organisme : les germes (bactéries, virus, champignons….) provenant des égouts peuvent proliférer à leur arrivée dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes. Il peut également s'agir de l'introduction d'une espèce marine dans une zone où elle est normalement absente et dans laquelle elle a un impact non négligeable. En eau douce, l'exemple de la jacinthe d'eau est frappant : introduite par l'homme, elle a depuis colonisé une grande partie des cours d'eau de la zone intertropicale, éliminant la majorité des espèces de plantes aquatiques indigènes et affectant profondément les écosystèmes limniques (rivières et lacs). [4]

I.2.3. Pollutions physiques:

On parle de pollution physique lorsque le milieu aqueux est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Il peut s'agir :

- d'un rejet d'eau qui fera baisser la salinité et la densité d'un lieu, d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (par une centrale électrique ou une usine de regazéification de gaz liquide),

- d'un rejet de liquide ou solide de substance modifiant la turbidité du milieu (boue, limon, ...),

- d'une source de radioactivités ...

La plupart du temps, un rejet n'est jamais d'une source unique et les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres. Ainsi, un égout rejette des déchets organiques, des détergents dont certains s'accompagnent de métaux lourds (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau douce (pollution physique). [4]

I.3. IMPACTS DES DECHETS DOMESTIQUES SUR LA QUALITE DES EAUX

La pollution de l'eau par les déchets ménagers sont classée dans les catégories des déchets biodégradables, des polluants chimiques dangereux tels que les produits pharmaceutiques et d'hygiènes personnelles (Pharmaceuticals and personal care products PPCPS). Généralement, les équipements de traitements des eaux usées sont capables de traiter les déchets biodégradables. Les produits chimiques toxiques sont plus difficiles à traiter lorsqu'ils sont dans l'environnement, ils sont plus dangereux, plus réactifs et plus persistants. Les produits chimiques comme les détergents, les peinture, les pesticides et les solvants lorsqu'ils sont utilisés dans les différentes applications sont des formes substantielles et dangereuses de pollution. Les équipements de traitement d'eaux usées ne sont pas équipés pour les traiter tous. La pollution par les PPCPS est une forme de pollution en croissance [5].

I.4. IMPACTS DES ACTIVITES INDUSTRIELLES SUR LA QUALITE DES EAUX

La pollution industrielle peut prendre plusieurs formes. Plusieurs règlements existent par rapport aux quantités de polluants qui peuvent être émient par les industries. Dans certains pays,

les sociétés peuvent, lorsqu'ils atteignent les quantités maximales de polluants, acheter des ''Crédits de pollution''.

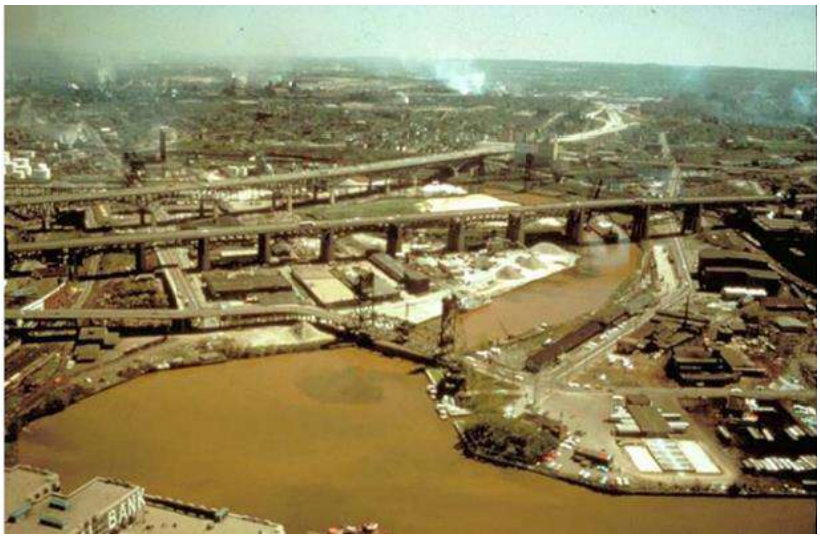


Figure I.2: La pollution industrielle

La construction, les mines et les opérations d'extraction peuvent polluer un grand nombre de lacs et cours d'eau dû aux dépôts de sédiments. Tandis que les pratiques agricoles sont les principaux responsables de la pollution par le dépôt de sédiment les activités de constructions et les mines perdent jusqu'à 70 tonnes de sédiments par acre par année, qui est 15 fois plus élevé que le taux normal. [5]

I.5. POLLUTION DES EAUX PAR LES REJETS INDUSTRIELS

Une des raisons principales de la pollution de l'eau est l'activité industrielle. L'histoire de l'industrie s'est toujours construite en corrélation avec l'eau : sans eau, il n'y a pas d'industries. Mais le problème est que les industries réduisent la quantité d'eau potable de la planète. Utiliser de l'eau potable, c'est ainsi pour dire consciemment accepter de polluer de l'eau. Par exemple, selon l'Agence Européenne de l'Environnement, seuls 40% des eaux européennes de surface seraient en "bon état"[6].

I.6. CONSEQUENCES DE LA POLLUTION DES EAUX

Comme nous pouvons l'imaginer, la pollution de l'eau est l'un des problèmes les plus urgents auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui. Certaines des conséquences les plus directes que cause leur contamination sont les suivantes :

I.6.1. Le Manque d'eau potable:

Il s'agit là du problème le plus urgent pour plusieurs endroits de la planète et, à l'avenir, cela pourrait être un problème commun plus qu'on ne le croit. La pollution de l'eau s'explique par la destruction de nombreuses sources d'eau douce d'où provient l'eau potable, comme les aquifères. Leur contamination entraîne la perte de ces sources d'eau douce et, par conséquent, la création de zones qui n'ont pas accès à l'eau potable malgré la présence d'eaux souterraines.

I.6.2. L'Augmentation du prix des activités économiques:

Une autre conséquence de la pollution de l'eau est l'augmentation du prix des activités économiques, spécifiquement celles qui ont un rapport avec l'agriculture et l'élevage, mais aussi celles en rapport avec l'industrie, puisque les activités industrielles consomment énormément d'eau pour l'utilisation et le nettoyage de leurs machines. Comme il y a de plus grandes quantités d'eau polluée sur la planète, l'utilisation de l'eau douce potable devient plus coûteuse et, par conséquent, toutes les activités économiques qui dépendent de son utilisation deviennent plus coûteuses également.

I.6.3. Les Maladies non infectieuses:

Une autre conséquence de la pollution de l'eau est l'apparition de certaines maladies non infectieuses sur les personnes ou les animaux dues à la présence de bactéries. Un bon exemple de ce phénomène est la présence de métaux comme le mercure, le plomb ou l'aluminium qui sont présents dans l'air puis dans l'eau et qui se retrouvent dans les océans. Ces métaux passent dans la chaîne alimentaire pour se retrouver finalement au sein de nos corps et sont associés à des maladies dégénératives ou des tumeurs.

I.6.4. Les Maladies infectieuses:

Comme les maladies non infectieuses, de la même manière que l'eau est un moyen pour transmettre les métaux dans notre corps, l'eau est un moyen de distribution des bactéries et autres germes lorsque les eaux ne sont pas traitées ou ne sont pas traitées correctement. La conséquence directe est l'apparition de maladies infectieuses au sein d'une population.

I.6.5. Une Augmentation des flux migratoires:

Enfin, une autre conséquence de la pollution de l'eau est l'augmentation de flux migratoires. Vous pensez cela absurde ? Et bien pourtant, bien que cela ne soit pas une cause directe, elle reste néanmoins une des conséquences les plus importantes. Ces flux migratoires sont la conséquence de la destruction et de la désertification des sols. En détruisant un écosystème, la pollution crée des zones où l'agriculture devient impossible. Par conséquent, l'économie locale chute, ce qui oblige les personnes à migrer vers d'autres endroits. Ceci forme alors des endroits inhabités, complètement déserts et stériles. [6]



Figure I.3: La désertification ; conséquence de la pollution

I.7. AUTRES EFFETS DE LA POLLUTION DES EAUX

La pollution de l'eau peut avoir des conséquences directes ou indirectes sur la santé de l'homme. Les nitrates (sels de l'acide nitrique) existants dans l'eau potable peuvent être la cause de maladies mortelles chez les jeunes enfants. Le cadmium, présent dans les engrais dérivés des boues d'épuration, est susceptible d'être stocké par les plantes cultivées. La consommation ultérieure de ces végétaux contaminés peut provoquer des troubles digestifs sérieux et une atteinte du foie ou des reins. Le mercure, l'arsenic, le plomb, et d'autres métaux lourds sont aussi très toxiques. [7]

Les lacs sont particulièrement exposés à la pollution. L'eutrophisation, un des problèmes majeurs, se produit lorsque l'eau s'enrichit artificiellement et excessivement en nutriments, provoquant une croissance anormale de la végétation. Elle peut être déclenchée par l'écoulement des engrais chimiques depuis les terres cultivées. Le processus d'eutrophisation entraîne des odeurs désagréables, une prolifération d'algues vertes, l'épuisement des réserves d'oxygène des eaux profondes et des modifications de la composition chimique de l'eau. Le problème des pluies acides est également devenu très préoccupant ces dernières années. Ces dépôts ont anéanti toute forme de vie dans de nombreux lacs d'Europe du Nord et de l'Est, et dans le nord-est des États-Unis. [4]

Les déchets déversés directement dans les mers contiennent des substances toxiques qui sont plus ou moins rapidement absorbées par les organismes marins. Ils forment également d'importants dépôts près des littoraux, qui entraînent une croissance excessive de certains organismes. Ces déchets proviennent de boues d'épuration, de résidus de dragage (essentiellement dans les ports et les estuaires), des graviers, et du sable, ainsi qu'une grande variété de substances toxiques, organiques ou chimiques. [4]

I.8. PROCEDE DE TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES

Les eaux résiduaires industrielles sont des liquides de composition hétérogène, chargés de matières minérales ou organiques, pouvant être en solution ou en suspension, et dont certaines peuvent avoir un caractère toxique. En fonction des caractéristiques physico-chimiques des effluents à traiter et du degré d'épuration visé, on est conduit à concevoir différentes chaînes de traitement de l'eau. D'une manière générale, une installation de traitement des rejets industriels comporte classiquement la succession de différents stades de traitement classés comme suit.

- ✓ des procédés de séparation et d'élimination des matières en suspension ;
- ✓ des procédés d'élimination des matières en solution, dont une certaine proportion pourra être convertie en matières en suspension et éliminée avec ces dernières.

Il convient tout d'abord de faire la distinction entre les traitements séparés d'effluents particuliers réalisés en interne au sein de l'usine et les traitements en installation centralisée qui assurent l'épuration de l'ensemble des rejets de l'usine regroupés au niveau d'un collecteur général. [7]

I.9. POLLUTION PAR LES PRODUITS PHARMACEUTIQUE ET LES COLORANTS

De nombreuses études parues ces dernières années ont mis en lumière l'existence d'une source jusque-là ignorée de pollution des eaux : les substances pharmaceutiques et les colorants. Une nouvelle forme de pollution de l'eau menace les pays riches. Depuis quelques années, plusieurs études conduites par des scientifiques et/ou des écologistes en Europe et en Amérique du Nord ont attiré l'attention du public sur la présence dans l'eau de traces de produits pharmaceutiques et cosmétiques. Une étude menée par U.S. Geological Survey et l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) sur 139 cours d'eau dans 30 États a ainsi révélé la présence de traces médicamenteuses dans 80 % des échantillons. Les analyses effectuées sur des fleuves allemands ou français ont aussi révélés la présence des traces de somnifères, d'antidépresseurs, de contraceptifs, d'aspirine et de paracétamol, d'anti-inflammatoires, d'antiépileptiques, d'anticancéreux, et de médicaments contre la tension artérielle. [8]

I.9.1 Sources de pollution des eaux par les produits pharmaceutiques:

Cette pollution est issue principalement des traces médicamenteuses contenues dans les urines, mais aussi des médicaments jetés par les particuliers dans leurs toilettes pour s'en débarrasser, ainsi que des eaux usées des hôpitaux. Les exploitations d'élevage sont également une source de pollution de l'eau par des antibiotiques. La consommation de médicaments étant à la hausse dans les pays riches depuis quelques décennies, cette pollution s'accentue en proportion et fait craindre

que certains seuils critiques soient atteints. Or cette problématique n'a jamais été prise en compte dans la gestion de l'eau. La plupart des stations d'épuration ne sont pas équipées pour éliminer ces substances. Même si l'aspirine y est dégradée à plus de 90 %, on en retrouve des traces dans les eaux usées libérées et donc dans les cours d'eau. Certains autres composés comme la carbamazépine (un antiépileptique) ou le Diclofénac (un anti-inflammatoire) ne se dégradent quasiment pas. [8]

I.9.2. Pollution des eaux par les colorants

I.9.2.1. Définition des colorants

Les colorants sont définis comme des composés organiques capables d'absorber certaines radiations lumineuses et de réfléchir, ou de diffuser les radiations complémentaires ,Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur : appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation : auxochromes [9].

I.9.2.2.Classification des colorants

a) **Classification chimique**

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore [10]

b) **Classification tinctoriale**

Il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies dans le tableau I.1 [10].

Tableau I-1 : Classes des colorants utilisés dans la coloration du textile [10].

Classe de colorant	Description
Acides	Composés anioniques, hydrosolubles, ex ; l'éosine aqueuse
Basiques	Hydrosolubles, appliqués dans les bains de teinture faiblement acides ; colorants très lumineux.
Directs	Composés hydrosolubles et anioniques ; peut être appliqué directement à la cellulose (ou métaux comme le chrome et le cuivre).
Dispersé	non hydrosoluble
Réactifs	Composés hydrosolubles et anioniques ; la classe la plus grande de colorant
Soufrés	Composés organiques contenant du soufre.
De Cuve	Insoluble dans l'eau ; les colorants les plus anciens ; plus complexe chimiquement.

I.9.2.3. Procèdes de d'élimination des colorants

Des quantités plus ou moins importantes de colorants sont rejetées dans l'environnement. Ceci est dû en grande partie au degré de fixation des colorants aux fibres cellulosiques. Le tableau I-2 résume l'estimation des degrés de fixation des différents colorants aux fibres de textile.[11]

Tableau I-2 : Estimation des degrés de fixation de différents colorants aux fibres de textile.

Classe de Colorant	Fibre utilisée	Degré de fixation (%)	Pertes dans l'effluent (%)
Acide	Polyamide	80 – 95	5 – 20
Basique	Acrylique	95 – 100	0 – 5
De cuve	Cellulose	80 – 95	5 – 20
Direct	Cellulose	70 – 95	5 – 30
Dispersé	Synthétique	90 – 100	0 – 10
Réactif	Cellulose	50 – 90	10 – 50
Soufré	Cellulose	60 – 90	10 – 40
Métallifère	Laine	90 – 98	2 – 10

Des systèmes technologiques pour l'élimination des polluants organiques tels que les colorants sont actuellement bien maîtrisés à l'échelle du laboratoire et appliqués à grande échelle incluant les traitements physiques (adsorption, les technologies membranaires et les procédés de séparation solide-liquide: précipitation-coagulation, floculation et décantation), chimiques (résine échangeuse d'ions, oxydation par: oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H_2O_2, réduction ($Na_2S_2O_4$) et biologiques (traitement aérobie et anaérobie). [11]

I.9.2.4. Utilisation des colorants :

L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés, principalement :

* colorants capillaires (industrie des cosmétiques) ;
* colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique);
* pigments (industrie des matières plastiques) ;
* encre, papier (imprimerie) ;
* colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire) ;
* pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment) ;
* carburants et huiles (industrie automobile etc.,...) ;
* colorants textiles, de décoration, du bâtiment, du transport. [9] .

Dans ce travail la molécule choisie comme modèle de polluant est la Fuchsine, et la technique de dépollution choisie est l'adsorption.

I. 10. LA FUCHSINE

I.10.1. Notions sur la fuchsine :

Le chlorhydrate de fuchsine ou de rosaniline est un colorant magenta de formule chimique $C_{20}H_{19}N_3 \cdot$HCl, Il existe d'autres formulations chimiques similaires de produits vendus sous le nom de fuchsine, et plusieurs dizaines d'autres synonymes de cette molécule. [12]

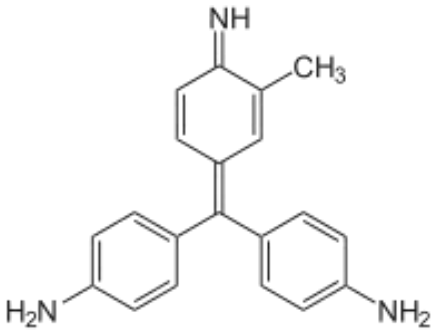


Figure I.4: Formule développée générale de la fuchsine

Il devient magenta lorsqu'il est dissous dans l'eau ; en tant que solide, il forme des cristaux vert foncé. En plus de la teinture des textiles, la fuchsine est utilisée pour tacher les bactéries et parfois comme désinfectant. Dans la littérature des colorations biologiques, le nom de ce colorant est fréquemment mal orthographié, avec l'omission du e terminal, qui indique une amine [12]. Les dictionnaires américains et anglais (Webster's, Oxford, Chambers etc.) donnent l'orthographe correcte, qui est également utilisé dans la littérature de la teinture industrielle. [12]

I.10.2. Propriétés de la fuchsine

Les "cristaux", illustrés à droite sur la figure ci-après, sont de fuchsine basique, également connue sous le nom de violet basique 14, rouge basique 9, pararosanaline ou CI 42500. Leur structure diffère de la structure indiquée précédemment par l'absence du groupe méthyle sur l'anneau supérieur, sinon ils sont assez similaires.



Figure I.5: Coloration d'une goutte d'eaul par la fuchsine

Ils possèdent un lustre métallique fort et une couleur jaune vert. Ils laissent des stries verdâtres foncées sur le papier et lorsqu'elles sont humidifiées avec un solvant, la forte couleur magenta apparaît. Les deux taches magenta sur le papier ont été faites en plaçant une goutte d' éthanol-eau.

I.10.3. Utilisation de la Fuchsine basique

La fuchsine basique est un mélange de rosaniline, de pararosaniline, et de nouvelle fuchsine. La composition réelle de la fuchsine de base a tendance à varier quelque peu selon le fournisseur et le lot, ce qui rend les lots adaptés différemment à des fins différentes. Les formulations utilisables pour la fabrication du réactif de Schiff doivent avoir une teneur élevée en pararosaniline. [12]

En solution avec du phénol (également appelé acide carbolique) comme accenteur, il est appelé carbol fuchsine et est utilisé pour la coloration de Ziehl-Neelsen et d'autres colorations acido-résistantes similaires des mycobactéries qui causent la tuberculose, la lèpre, etc.[12]

La fuchsine basique est largement utilisée en biologie pour colorer le noyau dans la coloration de Gram, mais aussi dans les milieux de culture bactériens. Dans un tout autre domaine, la fuchsine est aussi utilisée pour faire des tracés à la peau (aussi appelés « tatouages ») persistants notamment en radiothérapie externe.

I.10.4. Effet de la fuchsine sur l'environnement et l'homme

I.10.4.1. Effet de la fuchsine sur l'homme

La fuchsine a plusieurs effets toxiques sur l'organisme humain [13]:

- Toxicité aiguë
- Irritation cutanée
- Lésion oculaire grave/sévère irritation des yeux
- Sensibilisation respiratoire
- Peut entraîner des cancers

I.10.4.2. Effet de la fuchsine sur l'environnement

Les grandes usines textiles ou pharmaceutiques du monde sont situées dans des pays sous-développés pour des raisons économiques de faible coût de main d'œuvre. Bien que des observations montrent qu'elles sont très polluantes, il n'y a ni de données sur l'effet de leur pollution dans les milieux naturelles, ni d'étude toxico-écologique. Alors que dans les pays développés, ils ont les moyens d'y remédier. En général, les administrations locales exigent des normes réglementaires sur la quantité d'eau journalière à traiter dans les stations de traitement des eaux usées. Mais il faut noter que pour les eaux fortement chargées de colorants et certains dérivés pharmaceutiques, les usines ont du mal à faire du traitement à cause d'un coût élevé des réactifs et la nécessité d'un traitement spécifique. Ces polluants spécifiques peuvent réduire le pouvoir d'autoépuration du milieu récepteur et mettent en péril la vie des microorganismes.

Pour les composés pharmaceutiques et les colorants ils n'existent pas de quantités admissibles normées mais les études ont montré que la fuchsine inhibe la croissance des algues et des petits crustacés pour des concentrations minimales de 1mg/L et 20mg/L respectivement.[14]

I.11. NORMES DE REJETS DES EAUX USEES EN ALGERIE

Les normes de rejet des eaux usées sont différentes d'un pays à l'autre, et d'une application à l'autre. Elles fixent des valeurs limite admissibles pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines. Dans le tableau I.3 les normes appliquées en Algérie sont présentées.

Tableaux I.3. Les normes de rejet des eaux usées appliquées en Algérie [15]

Paramètres	**Valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines.**
Température (℃)	30
pH	5.5-3.5
MES (mg/I)	30
Azote (mg N/1)	40
Phosphore total (mg P/l)	2
DCO (mg $\boldsymbol{O_2}$/l)	120
DB$\boldsymbol{O_5}$(mg $\boldsymbol{O_2}$/l)	40
Chlore actif ($\boldsymbol{Cl_2}$)(mg/l)	1
Dioxyde de chlore (Cl$\boldsymbol{O_2}$)(mg/l)	0.05
Aluminum (Al) (mg/l)	10
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	2
Conductivité électrique ($\boldsymbol{\mu}$S/cm)	2700
Zinc total (Zn) (mg/l)	5
Manganese (Mn) (mg/I)	1
Hydrocarbures par Infra-rouge (mg/I)	20
Salmonellas/5OOO m1	Absence
Nickel total (Ni) (mg/l)	5
Argent (mg/l)	0.05
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	2
Cyanures libres (CN) (mg/I)	0.1

Chapitre II: Phénomène d’adsorption et modèles cinétiques

II.1. DEFINITION

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants selon divers processus plus ou moins intenses (figure II.1). Le phénomène inverse par lequel les molécules se détachent de la surface solide est la désorption.

Le solide est appelé adsorbant et la substance qui s'adsorbe est nommée l'adsorbat que nous appellerons plus couramment soluté afin d'éviter toute confusion avec l'adsorbant. On distingue souvent les deux types d'adsorption ; la chimisorption et la physisorption qui différent complètement par les énergies et par la nature des forces mises en jeu.[16]

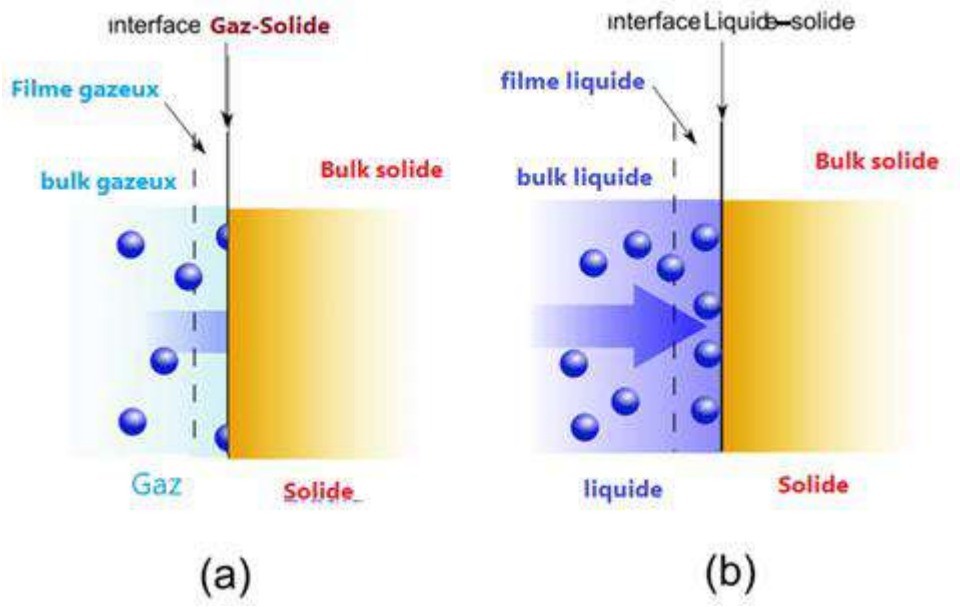


Figure II.1 : Schéma d'interfaces adsorbant-adsorbat. a : gaz-solide, b : liquide-solide

L'adsorption peut être définie comme l'opération fondamentale de Génie chimique qui exploite l'aptitude de certains solides à concentrer spécifiquement à leur surface les constituants d'une solution permettant ainsi leur séparation. L'adsorption est un processus appliqué dans le domaine de la séparation solide - liquide. Elle est basée sur des interactions spécifiques (thermodynamique et / ou cinétique), privilégiée et sélective, entre la surface d'un matériau et une substance chimique.[17]

II.2. TYPES D'ADSORPTION

II.2.1.Adsorption physique (physisorption)

L'adsorption physique ou adsorption de van der Waals est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celle de la substance adsorbée. Ce phénomène contrôlé par la diffusion des molécules atteint son équilibre rapidement (quelques secondes à quelques minutes) mais peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion de l'adsorbat dans ses structures de dimensions voisines du diamètre des molécules de l'adsorbant

II.2.2.Adsorption chimique (chimisorption)

L'adsorption chimique ou adsorption activée résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une enthalpie de transformation élevée.

Le tableau II.1 récapitule les différences qui existent entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

Tableau II.1 : Différences entre physisorption et chemisorption **[17]**

Propriétés	**Adsorption physique**	**Adsorption chimique**
Type de liaison	Van der Waals (électrostatique)	Ionique ou covalente
Energie de liaison	Faible	Forte
Réversibilité	Facile	Difficile
Type de couche	Poly-moléculaire	Mono-moléculaire
Chaleur d'adsorption (Kj/mol)	50	100 à 500

II.3. MECANISME D'ADSORPTION

Le processus d'adsorption est l'une des étapes de transfert de matière qui s'effectue entre le fluide et le solide adsorbant. Il se produit principalement en plusieurs étapes. La Figure II.2 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver

les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.

L'adsorption se produit principalement selon les étapes citées ci-après, intervenant chacune dans l'expression de la vitesse totale (figure II.2) :

1. transfert de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle proche de la surface de l'adsorbant ;
2. diffusion extra-granulaire de la matière par le transfert du soluté à travers le filme liquide externe vers la surface des grains;
3. transfert intra-granulaire (intra-particulaire) de la matière par le transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface des graines vers les sites actifs;
4. réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.[18]

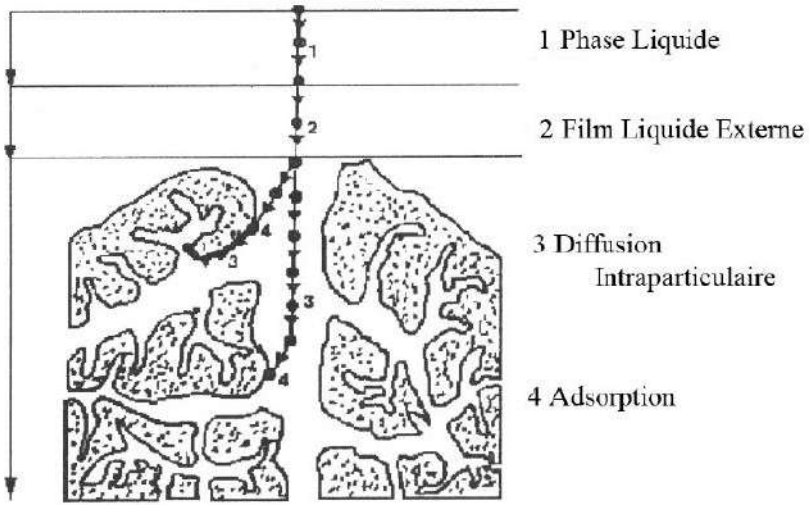


Figure II.2.Schéma représentant le mécanisme d'adsorption

II.4. FACTEURS INFLUANT SUR L'ADSORPTION

II.4.1. Surface spécifique :

La surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux. Il est clair que l'on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique, cette grandeur désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant

II.4.2. La température :

Les processus de l'adsorption qui ne se font pas par des réactions chimiques s'accompagnent toujours de dégagement de chaleur (exothermique), de sorte qu'avec une augmentation de la température, le phénomène de désorption devient dominant. Par contre, pour une adsorption chimique, l'équilibre d'adsorption n'est pas atteint rapidement, et l'augmentation de la température favorise l'adsorption. [19]

II.4.3.Le PH :

Le pH ou potentiel d'hydrogène conditionne la forme sous laquelle se trouve la molécule (ionisée ou neutre). Ainsi, ce ne sont pas les mêmes éléments de la matrice qui interviendront dans le mécanisme d'adsorption. Toutefois, il ne faut pas confondre le pH de la solution et le pH à la surface du solide. Le pH reste cependant un facteur limitant du milieu puisqu'il ne peut pas être facilement modifié. [19]

II.4.4. Nature de l'adsorbant

Les dimensions des pores ainsi que la taille des particules de l'adsorbant influent remarquablement sur la possibilité de l'adsorption de se produire et sur la quantité adsorbée. En effet, d'un côté en présence de pores de petites tailles les molécules d'adsorbat ne peuvent pas atteindre le site actif, et d'un autre côté le diamètre des particules influe directement sur la surface spécifique. De plus, la quantité de l'adsorbant affecte fréquemment la quantité adsorbée.

II.4.5. Nature de l'adsorbat

La nature et la quantité de l'adsorbat influencent le phénomène d'adsorption. Où, les molécules polaires s'adsorbent mieux sur un solide polaire et les molécules apolaires s'adsorbent mieux sur un solide apolaire. Ceci s'explique par l'affinité entre les constituants de l'adsorbant et ceux de l'adsorbat.

II.5. MODELISATION DE LA CINETIQUE D'ADSORPTION

L'évolution de la quantité d'adsorbat fixée sur le solide en fonction du temps décrit la cinétique du processus. La cinétique fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide.

Les vitesses d'adsorption sont beaucoup plus faibles en phase liquide qu'en phase gazeuse. Cette cinétique relativement lente se traduit par des délais assez importants pour atteindre l'équilibre d'adsorption. Parmi ces modèles, on distingue le modèle de pseudo-premier ordre, le modèle de pseudo-second ordre et les modèles de diffusion.[18]

La quantité adsorbée ou capacité d'adsorption (Q_t) en mg.g^{-1} à l'instant **t** est obtenue par la relation suivante :

$$Q_t = (C_0 - C_t)\mathrm{V/m} \quad \text{.....(II.1)}$$

Avec :

V: Volume de la solution (L).

m: masse de l'adsorbant (g).

C_0 : Concentration initiale de la solution (mg.L^{-1}).

C_t: Concentration à l'instant t de la solution (mg.L^{-1}).

II.5.1.Modèle cinétique de pseudo-premier ordre :

L'analyse la plus simple de la cinétique d'adsorption est donnée par le modèle de pseudo-premier ordre. L'équation différentielle s'exprime comme suit:[18]

$$\mathrm{d}Q_t/\mathrm{dt} = \mathrm{K1}(Q_e - Q_t) \quad \text{.....(II.2)}$$

Où :

$Q_e$et Q_t sont respectivement les quantités de soluté adsorbé en (mg.g^{-1}) à l'équilibre et à un instant t , et K_1 est la constante de vitesse de premier ordre (min^{-1}).

L'intégration de cette équation entre 0 et t pour la durée de contact entre l'adsorbat et l'adsorbant est entre 0 et Q_t pour les quantités adsorbées conduit à :

$$\mathrm{Ln}(Q_e - Q_t) = \mathrm{Ln}Q_e - K_1\mathrm{t} \quad \text{.....(II.3)}$$

Les valeurs de K_1 et Q_e peuvent être calculées en portant graphiquement ln (Q_e- Q_t) en fonction de t. [18]

II.5.2 Modèle cinétique de pseudo-second ordre :

La cinétique d'adsorption peut également dans certains cas suivre un modèle de pseudo-second ordre et son équation différentielle s'écrit :

$$dQ_t/dt = K_2(Q_e - Q_t)^2 \quad \text{.....(II.4)}$$

Avec :

k_2: constante de vitesse de second ordre ($g.mg^{-1}.min^{-1}$).

L'intégration de cette équation entre 0 et Q_t pour le temps de contact adsorbat- adsorbant variant entre 0 et t conduit à :

$$t/Q_t = 1/K_2Q_e^2 + 1/Q_e t \quad \text{.....(II.5)}$$

La droite obtenue en portant t/Q_t en fonction de t permet de déterminer Q_e et K_2.[20]

II.5.3.Modèles cinétiques basés sur la diffusion

a. Modèle d'Elovich

L'un des modèles les plus utiles pour décrire la cinétique d'adsorption est l'équation d'Elovich [2], qui est donnée par :

$$\frac{dQ_t}{dt} = \alpha . \exp(-\beta . Q_t) \quad \text{.....(II.6)}$$

où : $\boldsymbol{\alpha}$: est la vitesse initiale d'adsorption ($mg.g^{-1}.min^{-1}$).

$\boldsymbol{\beta}$: est la constante de désorption ($mg.min^{-1}$).

Ces deux constantes peuvent être déterminées en utilisant l'équation suivante :

$$Q_t = \frac{1}{\beta}\ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta}\ln t \quad \text{.....(II.7)}$$

b. Modèle globale de la cinétique d'adsorption

L'étude du mécanisme global d'adsorption est basée sur le transfert de matière en utilisant les trois modèles : modèle de diffusion externe dans le film (diffusion externe), modèle de diffusion

dans les particules (diffusion inter-particulaire) et le modèle de réaction d'adsorption (modèle chimique). Ces trois modèles sont représentés par les équations suivantes :

- Modèle de diffusion dans le film : $-\ln(1-F) = K_f.t$ …… (II.8)
- Modèle de diffusion dans les particules : $1-3(1-F)^{2/3}+2(1-F) = K_p.t$ …… (II.9)
- Modèle de réaction chimique : $1-(1-F)^{1/3} = K_c.t$ …… (II.10)

Où

F : fraction partielle à l'équilibre ; $F = Q_t / Q_e$

K_f, K_c, K_p (min^{-1}): constantes de vitesse des : modèle externe, modèle interne et modèle chimique respectivement.

- K_f est obtenu en traçant : -ln (1−F) en fonction de t, si la courbe est une droite, donc le processus d'adsorption est contrôlé par la diffusion dans le film liquide.
- K_p est obtenu en traçant : -(1−F) en fonction de t, si la courbe est une droite, donc le processus d'adsorption est contrôlé par la diffusion dans les particules.
- K_c est obtenu en traçant : -(1−F) en fonction de t, si la courbe est une droite, donc le processus d'adsorption est contrôlé par la réaction chimique.

II.6. ISOTHERMES D'ADSORPTION

On peut décrire un processus d'adsorption à l'aide d'une isotherme d'adsorption. Une telle isotherme est une courbe qui représente la relation à une température constante entre la quantité de soluté adsorbée sur le solide (Qe) et la concentration à équilibre en soluté (C_e). On peut calculer la quantité de soluté adsorbée à l'aide de l'équation suivante :

$Q_e=(C_0-C_e).\frac{V}{m}$……(II.11)

Où

V : Volume de la solution (l)

m : Masse de solide adsorbant utilisé (g) ;

C_0: Concentration initiale en phase liquide (mg/l);

C_e: Concentration à l'équilibre (mg/l).

Les isothermes d'adsorption les plus couramment exploitées sont illustrées sur la figure II.3:

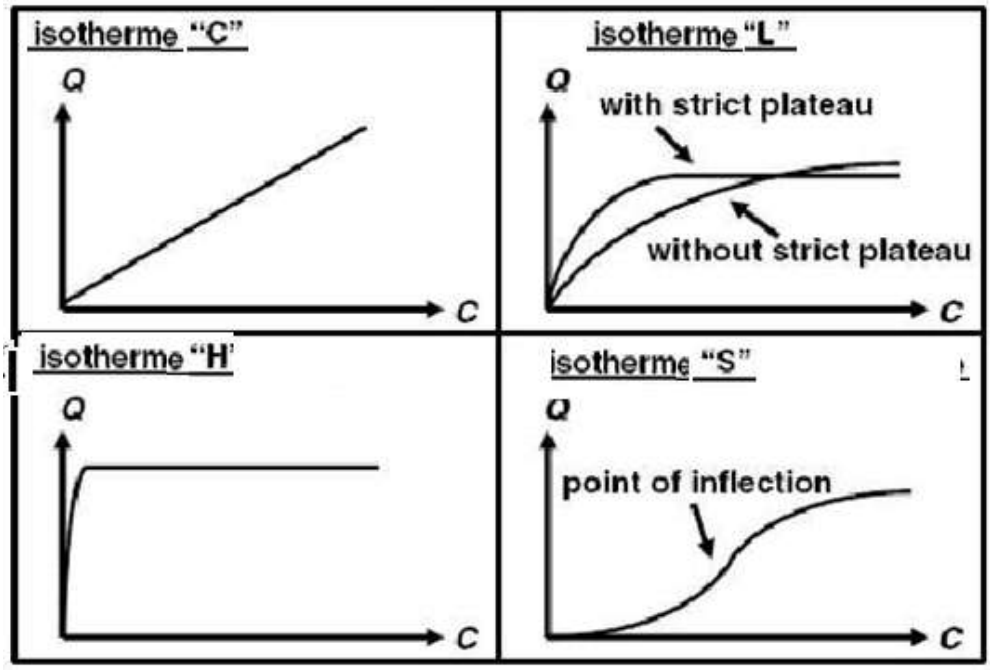


Figure II.3: Types d'isothermes d'adsorption

- **La forme H, dite de « haute affinité » ;**

- La forme « H » est un cas particulier de la forme « L », où la pente initiale est très élevée. C'est le cas quand le soluté exhibe une forte affinité pour le solide.

- **La forme L, dite de « Langmuir » ;**

- La forme « L » correspondrait plutôt aux faibles concentrations en soluté dans l'eau. L'isotherme est de forme convexe, ce qui suggère une saturation progressive du solide. Quand C_e tend vers zéro, la pente de l'isotherme est constante.

- **La forme S, dite « sigmoïdale »**

- La forme « S » présente un point d'inflexion révélateur d'au moins deux mécanismes d'adsorption. C'est le cas, par exemple, quand une première couche de soluté est d'abord adsorbée puis quand l'adsorption d'une ou plusieurs couches supplémentaires devient favorisée.

- **La forme C, dite de « partition constante » ;**

- La forme « C » est une droite passant par zéro ce qui signifie que le rapport Q_e/C_e (appelé coefficient de distribution) est constant. C'est souvent le cas de l'adsorption sur les argiles [19].

II.7.MODELES MATHEMATIQUES DES ISOTHERMES D'ADSORPTION

II.7.1.Modèle de Langmuir :

Ce modèle est très utile pour l'adsorption monomoléculaire d'un soluté à la surface monocouche d'un adsorbant par adsorption chimique.[19]

II.7.2.Modèle de Freundlich :

L'isotherme représentée selon le modèle de Freundlich peut convenir dans toutes les situations pour décrire l'adsorption multicouche.

II.8. IMPORTANCE ET USAGE DE L'ADSORPTION

- Le procédé d'adsorption est utilisé dans les laboratoires de chimie pour l'échange d'ions et la chromatographie.
- Les adsorbants sont utilisés pour produire des revêtements antiadhésifs sur les surfaces.
- L'adsorption peut être utilisée pour prolonger le temps d'exposition de certains médicaments.
- De nombreuses réactions chimiques sont accélérées par la présence d'un adsorbant catalyseur. L'oxygène et l'hydrogène sont adsorbés ensemble sur du noir de platine et se combinent rapidement à température ordinaire pour former de l'eau.
- L'adsorption en surface aide à combiner des enzymes catalytiquement avec des substrats pour donner des produits de réaction.
- Les processus d'adsorption qui se déroulent sur les membranes cellulaires favorisent de nombreuses réactions chimiques vitales et provoquent également des modifications de la tension superficielle et de la consistance cellulaire.

II.9. CARACTERISTIQUES DE L'ADSORPTION

L'adsorption dépend de l'énergie de surface. Les atomes de surface de l'adsorbant sont partiellement exposés afin qu'ils puissent attirer les molécules d'adsorbat. L'adsorption peut résulter d'une attraction électrostatique ou chimique (chimisorption ou physisorption). L'adsorption est un phénomène de surface caractérisé par :

- Les forces d'attraction à la surface sont limitées à des distances d'une molécule de profondeur.
- Le degré d'adsorption dépend de la nature à la fois de l'agent adsorbant et des substances adsorbées.
- Plus la surface de l'agent adsorbant est grande, plus la quantité adsorbée est grande. [20]

II.10. LES 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 ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de 100 $m^2.g^{-1}$, atteignant même quelques milliers de $m^2.g^{-1}$.

Certains adsorbants ont leurs surfaces fonctionnalisées par des groupements oxygénés permettant la formation de liaisons hydrogènes, tandis que d'autres possèdent une structure ionique responsable d'un champ électrique intense dans les pores.

Les principaux adsorbants sont, les charbons actifs les gels de silices, les zéolites, les argiles et les alumines. Il en existe également d'autres : les résines, les polymères ...etc. [17].

- Le charbon actif est le plus utilisé et le plus connu. Il est utilisé pour la filtration des aquariums et la filtration de l'eau domestique…etc.
- Le gel de silice est utilisé pour empêcher l'humidité d'endommager les appareils électroniques et les vêtements.
- Les zéolites sont utilisées pour éliminer le dioxyde de carbone du gaz naturel, éliminer le monoxyde de carbone du gaz de reformage, pour le craquage catalytique et d'autres procédés.[17]

II.10.1. L'alumine activée

L'alumine activée (Al_2O_3) est un oxyde d'aluminium poreux de surface spécifique très élevée (jusqu'à plus de 300 $m^2.g^{-1}$). Il est utilisé pour des dessiccations liquides ou gazeuses, notamment dans l'industrie pétrochimique. Il permet d'éliminer l'arsenic et le fluorure de l'eau. L'alumine est l'adsorbant utilisé dans notre étude. La figure II.4 représente un échantillon de cet adsorbant.



Figure II.4 : L'alumine activée

Selon sa préparation, il renferme un certain nombre de molécules d'eau liées, et s'hydrate très facilement au contact de l'air, ce qui implique que son activation doit être ménagée (la meilleure température se situe autour de 200°C). L'alumine peut avoir une surface spécifique de 150 à 300 m^2/g avec une porosité de 30 à 40% sous forme de mésopores de 3nm de diamètre (mésopores= diamètre de pore entre 2 et 100nm) [21].

On distingue :

- les alumines "basiques" qui adsorbent pratiquement toutes les molécules et ceci d'autant mieux que leur polarité est plus prononcée (à l'exception des hydrocarbures saturés aliphatiques).
- les alumines " neutres et acides" dont les activités sont diminuées par lavage avec des solutions d'acides tels que l'acide acétique, l'acide chlorhydrique ou l'acide nitrique. Elles permettent la fixation des substances à caractère acide, mais le traitement par certains de ces acides leur confère parfois des propriétés d'échangeuses d'anions [21].

II.10.2. Propriétés de l'alumine activée

Les propriétés adsorbantes de l'alumine peuvent être reliées à la nature des hydroxyles superficiels. Il a été mis en évidence par spectroscopie infrarouge l'existence de plusieurs types de

groupements hydroxyle. En générale, cinq bandes vibration (OH) sont observées montrant ainsi la présence, sur une alumine activée à 300°C, d'au moins cinq types de groupements hydroxyle différents. Leur différence résulterait selon Knözinger du nombre de coordination (1, 2 ou 3) de l'atome d'oxygène du groupement OH et de la nature des aluminiums liés à cet oxygène (Al (nombre d'oxydation IV) ou Al (VI)). [21]

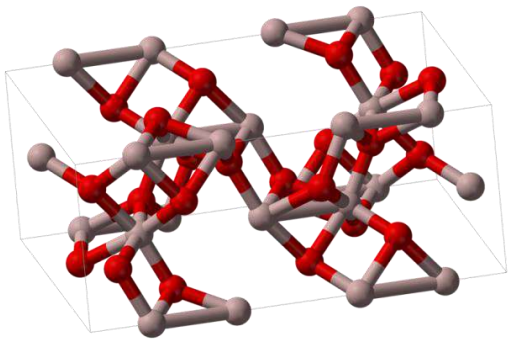


Figure II.5 : Photo en 3D de la structure de l'alumine

II.10.3. Travaux antérieurs sur l'adsorbant alumine activée

Le tableau II. 2 présente quelques travaux effectués sur l'adsorption des colorants sur l'alumine.

Le tableau II. 2 : Quelques travaux effectués sur l'alumine

Type d'alumine	**Nom du colorant**	**Modèle cinétique**	**Condition de travail**	**Qe (mg/g) et % élimination**	**Reference**
Nanoparticules d'alumine	Orange G (anionique)	-	pH= 2.5.	98.4%	**[22]**
Alumine nano poreux synthétisé	Colorant anionique : Methyl orange (MO), Blue bromothymol ()	pseudo-second ordre Isotherme Langmuir	10-30 mg/L 1-240 min pHzéro=7.8 ; 3mg alumine, 20mg/L, 150rpm, 25°C	à pH 6.2 30% après 30 s 60 % après 6 min	**[23]**
Fibre ultrafine d'alumine	bleu de méthylène		Surface spécifique 226.94 m^2 g^{-1} 30 min , 25 °C	97.65%	**[24]**
Mélange de 4% SiO_2 et 96% Al_2O_3	Acid Orange 7, (AO7), Réactif Noir5(RB5), Bleu Direct 71 (DB71)	pseudo-second ordre Isotherme Langmuir	temps équilibre: AO7 =180min DB71 =240min	AO7: 41.4 mg/g, RB5 : 47.1 mg/g DB71: 49.2 mg/g	**[25]**

Chapitre III: Matériels et Méthodes

Ce chapitre, traite l'adsorption de la Fuchsine sur l'alumine dans une solution aqueuse. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la capacité d'adsorption de l'alumine activée, et de modéliser la cinétique de sorption. Pour se faire, nous avons étudié l'influence de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption à savoir : le temps de contact, la concentration de l'adsorbat (fuchsine), la dose d'adsorbant (alumine), et la température. Les valeurs optimales obtenues de ces différents paramètres sont appliqués déterminés et des analyses physico-chimiques sont effectuées avant et après le traitement par l'alumine. Après, nous avons tenté d'appliquer différentes lois cinétiques pour modéliser le mécanisme de l'adsorption dans ce système.

Toutes les expériences dans ce travail ont été réalisées au niveau des laboratoires du Hall Technologique de l'université Dr Yahia Farès de Médéa. Ce chapitre présente le matériel et l'ensemble des expériences effectuées, ainsi que les méthodes d'analyse réalisées.

III.1. MATERIELS

III.1.1.Solutions et produits utilisés

- Alumine activée (poudre), c'est l'adsorbant
- Solution de chlorure de sodium NaCl (0.01N).
- Solution d'acide chlohydrique HCl (0.1M).
- Solution de l'hydroxyde de sodium NaOH (0.1M).
- Solution du colorant « Fuchsine basique » différentes concentrations. C'est l'adsorbat.
- Eau distillée**.**

III.1.2. Petit matériel

- Papier filtre, Verrerie de laboratoire
- Plaque agitation, barreau magnétique, thermomètre.

III.1.3. Appareillage

- Conductimètre (HANNA instruments)
- Etuve (MEMMERT) 105°C
- spectrophotomètre infrarouge a transformé de fourrier FTIR (SHIMADZU)
- Spectrophotomètre UV-VISIBLE (UV-mini 1240 SHIMADZU)
- pH mètre (HANNA instruments HI8519N)

III.2.METHODES D'ANALYSES

III.2.1. ANALYSE PAR SPECTROPHOTOMETRIE UV-VISIBLE

La spectrophotométrie est une technique d'analyse quantitative et qualitative basée sur l'interaction des électrons des molécules du soluté (appelé chromophore) avec la lumière. Elle permet, entre autres d'identifier une substance chimique par sa longueur d'onde qui correspond à absorption maximale **(du λ max)**, et aussi de déterminer la concentration d'un soluté dans une solution en utilisant une courbe d'étalonnage.

Lorsqu'un faisceau lumineux d'intensité I_0 traverse une solution d'un chromophore, ce dernier absorbe plus que d'autres certaines longueurs d'onde et restitue une intensité I du faisceau initial.

III.2.1.1. Détermination de la longueur d'onde maximale λmax de la Fuchsine

- Préparée une solution mère de Fuchsine (S1) de concentration 50mg/l dans l'eau distillée (Figure III.1).
- Faire un balayage ou scan de tout l'intervalle UV entre 400 et 700 nm
- Déterminer selon le pic qui a l'absorption maximale et lire la valeur de λmax
- la valeur de λmax de la Fuchsine est égale à **536 nm.**

III.2.1.2. Courbe d'étalonnage et détermination de la concentration de l'adsorbat :

Faire des dilutions à partir de la solution (S1) pour avoir des concentrations bien définies (Figure III.2).



Figure III.1: Solution mère (S1)

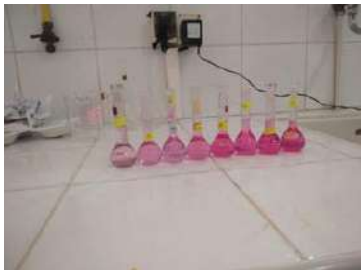


Figure III.2: Solutions diluées



Figure III.3: Analyse par UV- VISIBLE

- Cette étape consiste à faire des lectures de l'absorbance à la longueur d'onde λmax= 536nm, correspondant à chaque concentration (Figure III.3).

- Tracer le graphe représentant la variation des concentrations en de l'absorbance (C=f(Abs)).

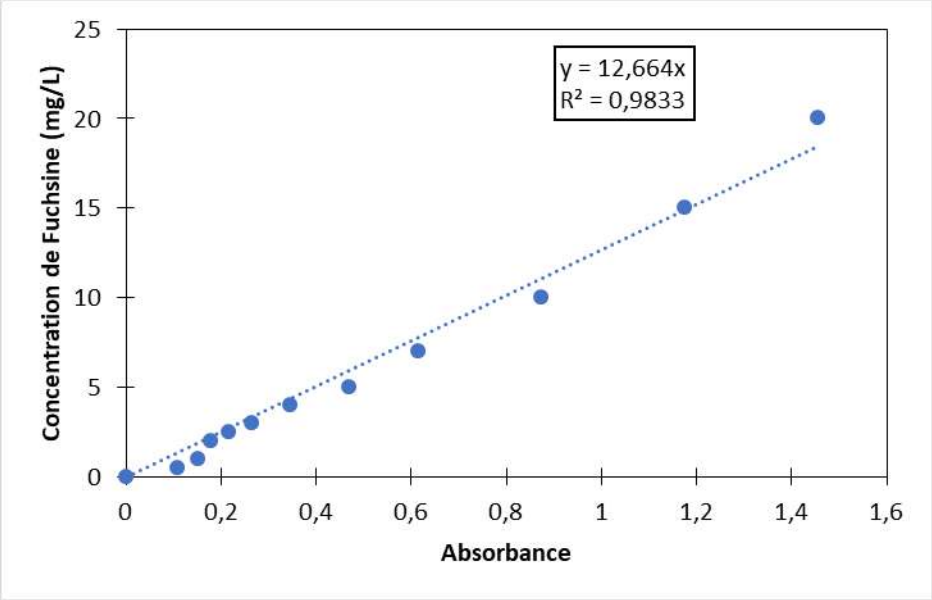


Figure III.4 : Courbe d'étalonnage UV de la Fuchsine

L'équation de la droite issue de la régression linéaire de la courbe C=f(Abs), ainsi que le coefficient de corrélation sont obtenus par le logiciel Excel. La figure III.4 présente le résultat obtenu.

La figure III.4 montre la linéarité de la courbe d'étalonnage avec un coefficient de corrélation très proche de 1 (R^2 = 0.98).

L'équation obtenue (Concentration=12.664 x Absorbance), est utilisée pour déterminer les concentrations inconnues des solutions aqueuses de Fuchsine à différents instant, et dont on a mesuré l'absorbance.

III.2.2. CARACTERISATION DE L'ADSORBANT

a. Humidité H(%) :

Peser une masse de 5 g de l'adsorbant puis sécher à l'étuve jusqu' à un poids constant pendant 2 heures à une température de 105°C. Ensuite, peser l'échantillon séché. La teneur en eau est exprimée par la formule suivante:

$$H\ (\%) = \left(\frac{(M_0 - M_1)}{M_0}\right).100$$

Avec :

H (%) : % d'Humidité,

M_0 : masse de adsorbant avant séchage (g).

M_1: masse de adsorbant après séchage (g).

b. Masse volumique apparente :

La détermination de la masse volumique apparente consiste à introduire une masse M_0 de l'adsorbant broyé et séché, dans une éprouvette de volume V_0 égal à 5 ml . La masse volumique apparente est calculée par la relation suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M_0}{V_0}$$

avec :

ρ_{app} : masse volumique apparente (g/cm^3),

M_0: la masse du adsorbant (g),

V_0 : volume d'éprouvette (cm^3).

c. Masse volumique réelle :

La masse volumique réelle a été déterminée en introduisant une masse M_0 de l'adsorbant broyé et séché. Le vide existant entre les particules a été comblé par l'éthanol de masse volumique 0,8172 g/cm^3 à la température d'expérience qui est égale à 25°C. La masse volumique est déterminée par la formule ci-dessous :

$$\rho_r = M_0 / (V_0 - \frac{(M_E)}{\rho_E})$$

Avec :

ρ_E : masse volumique de l'éthanol ρ_E = 0,8172 g / cm^3,

ρ_r : masse volumique réelle de l'adsorbant (g /cm^3),

M_0 : masse de adsorbant qui occupe le volume V_0 du pycnomètre (g),

M_E : masse de l'éthanol ajouté pour remplir le pycnomètre (g).

d. Surface spécifique par unité de volume de la solution :

La surface spécifique d'une particule est le rapport entre la surface de cette particule et son volume. Cependant, ces particules sont supposées sphériques. La valeur de la surface peut s'évaluer selon la relation suivante :

$$S = 6\, C_B / d_p\ \rho_{app}$$

Avec :

S: surface spécifique de la particule adsorbée par unité de volume de la solution m^2/m^3

C_B : concentration de l'adsorbant (g $.cm^{-3}$). ,

d_p : diamètre moyen des grains de l'adsorbant , d_p = 0,063 mm,

ρ_{app} : masse volumique apparente de adsorbant (g $.cm^{-3}$).

e. Surface spécifique par unité de masse des particules :

La connaissance de la surface spécifique est d'une grande importance dans la caractérisation d'une poudre ou d'un solide. La surface spécifique représente la surface totale par unité de masse du produit. Elle est calculée à partir de l'expression suivante :

$$A = 6 / \rho_{app}\ d_p$$

Avec :

A : Surface spécifique par unité de masse des particules (m^2/g).

ρ_{app} : masse volumique apparente de adsorbant (g $.cm^{-3}$).

d_p : diamètre moyen des grains de l'adsorbant, d_p = 0,063 mm,

f. Conductivité électrique de solution de l'adsorbant:

On mélange 1g d'alumine activé avec 10 ml d'eau distillée. Après agitation, on mesure la conductivité de la solution à la température ambiante.

g. Mesure du pH d'une suspension de l'adsorbant:

On mélange 1g de l'adsorbant avec 10 ml d'eau distillée. Après agitation, on mesure le pH de la solution grâce à un pH-mètre. La mesure du pH est effectuée en plongeant directement l'électrode combinée dans le milieu considère.

h. pH de point de charge zéro pHpz :

La valeur du pHpz est déterminée selon le protocole suivant :

- Préparer 1 litre d'une solution de NaCl (0.01N), puis verser 50ml d'elle dans des différents erlenmeyers.
- Le pH de chaque solution est fixé entre (2 et 12) par l' ajout de HCl (0.1M) si la solution est acide et NaOH (0.1M) si elle est alcaline .

- Après la fixation de pH initiale, on le note comme pH initial, puis on ajoute une masse m=0.15g de l'alumine à analyser dans chaque erlenmeyer.
- Ces flacons sont agités pendant 48h dans un secoueur.
- Finalement on mesure le pH final de chaque suspension.
- Le pHpz est la valeur où pH final= pH initial, il est déterminé par l'intersection de la courbe pH initial - pH final= f(pH initial).

III.3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL DE L'ADSORPTION

On a réalisé trios essai avec une masse fixe de l'adsorbant, cette dernière est choisie selon les résultats obtenus précédemment dans des travaux antérieurs. Pour chaque essais on mesure le pH avant adsorption (pH_{avant}) et le pH après adsorption ($pH_{apré}$. les conditions opératoires pour chaque essai sont présentées ci-après :

Essai 1: (Alumine 1.5g et Fuchsine 0.025g) dans 500ml d'eau distillée.

pH_{avant}=7.82

$pH_{apré}$=5.46

Essai 2: (Alumine 1.5g et Fuchsine 0.05g) dans 500 ml d'eau distillée.

pH_{avant}=7.82

$pH_{apré}$=5.37

Essai 3: (Alumine 1.5g et Fuchsine 0.075g) dans 500ml d'eau distillée.

pH_{avant}=7.82

$pH_{apré}$=5.40

Les expériences d'adsorption ont été réalisées pour chaque essai comme le montrent les Figures 5, 6, 7 et 8, selon les étapes suivantes:

1) Prendre un volume de la solution **de fuchsine** dans un bécher

2) Ajouter une quantité de l'adsorbant et laisser sous agitation pendant 25 min.

3) prendre un échantillon de 3.5ml de la solution surnageant à un instant t

4) Filtrer l'échantillon par papier filtre.

5) mesurer l'absorbance de la solution par UV visible à la longueur d'onde correspondante.

6) il faut faire une dilution (1/10) de l'échantillon pour avoir une absorbance <1.5.

7) l'expérience est arrêtée après 3heurs d'agitation

8) le mélange adsorbant + solution adsorbat est filtré sur papier filtre, puis l'alumine après adsorption est séchée dans l'étuve.

9) après séchage l'alumine est analysée par spectrométrie infrarouge pour comparer la nature de l'adsorbant avant et après adsorption.

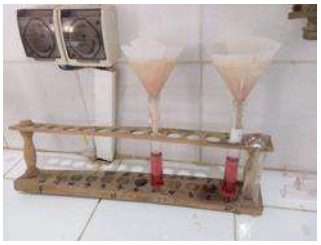
10) Enfin, Après 3 heures on arrête l'agitateur et l'expérience.



Figure III.5: Agitation



Figure III.6: Echantillonage



FigureIII.7 : Filtration



Figure III.8 : Mesure de l'absorbance

III.4. SPECTROPHOTOMETRIE INFRAROUGE DE L'ALUMINE AVANT ET APRES ADSORPTION

L'analyse infrarouge de l'alumine avant et après adsorption est réalisée sur tous les échantillons solides de l'alumine afin de déterminer la nature des fonctions chimiques présentent dans ces solides et les changements dus à l'adsorption. L'analyse est effectuée au nombre d'onde variant Entre 400 et 4000 cm^{-1} avec une résolution de $4cm^{-1}$ à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourrier de type SHIMADZU FTIR 8400.

Les spectres obtenus ainsi que les fonctions attribuées aux pics caractéristiques sont regroupés dans des tableaux.

III.5 ETUDE CINETIQUE DE L'ADSORPTION

La quantité adsorbée ou capacité d'adsorption (Q_t) en $mg.g^{-1}$ à l'instant **t** est obtenue par la relation (II.1) écrite dans le chapitre II.

Une fois la valeur de Q_t est calculée, on procède à la détermination des paramètres suivants :

- Quantité adsorption maximale à l'équilibre Q_e
- temps de contacte nécessaire pour atteindre l'équilibre (pour atteindre Q_e)
- application des modèles cinétiques décrits dans le chapitre II, à savoir ; le modèle de pseudo-premier ordre, le modèle de pseudo-second ordre et les modèles de diffusion et celui d'Eloviche.
- les constantes cinétiques de chaque modèle ainsi que les coefficients de corrélation sont obtenus par régression linéaire.

Chapitre IV: Résultats et Discussions

IV.1. RESULTATS DE LA CARACTERISATION DE L'ALUMINE

IV.1.1. Résultats de mesures physico-chimiques

Les résultats de mesures et analyses effectuées sur l'alumine sont regroupés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1. Caractéristiques de l'alumine

Paramètre	**H(%):**	ρ_{app}	ρ_r	**S**	**A**	**pH**	**Conductivité**
Valeur	2.6%	0.95 g/cm^3	0.63 g/cm^3	1003.34 cm^2/cm^3	1002 cm^2/g	8.93	77.81µS/cm

- La valeur de la surface spécifique massique (A) obtenue est très petite comparée aux valeurs fréquemment publiées pour l'alumine activée .Ceci dit ; cet écart est due car cette méthode de calcul est très approximative est basée sur le postulat que les grains sont tous sphériques.
- l'alumine (Al_2O_3) étant un oxyde d'aluminium, il présente une très faible conductivité électrique car c'est un bon isolant électrique et non conducteur. 10^{-12} S/m
- l'alumine présente une valeur de pH>7, ce qui reflète la libération des hydroxyles dans la solution aqueuse provenant du solide.
- La masse volumique apparente montre la présence d'un volume poreux dans la matrice solide de l'alumine.

IV.1.2. Résultats de mesure du pH de point de charge zéro pHpz

Les résultats de mesure du pH initial et final ont permet de tracer la courbe pH final - pH initial= f(pH initial) présentée sur la figure IV.1.

L'intersection avec l'axe des abscisses donne le point d'équivalence électrique désigné par le point de charge zéro (pHpz). En ce point la charge de la surface du solide est neutre (non chargée électriquement). Pour l'alumine la valeur est pHpz= 4.

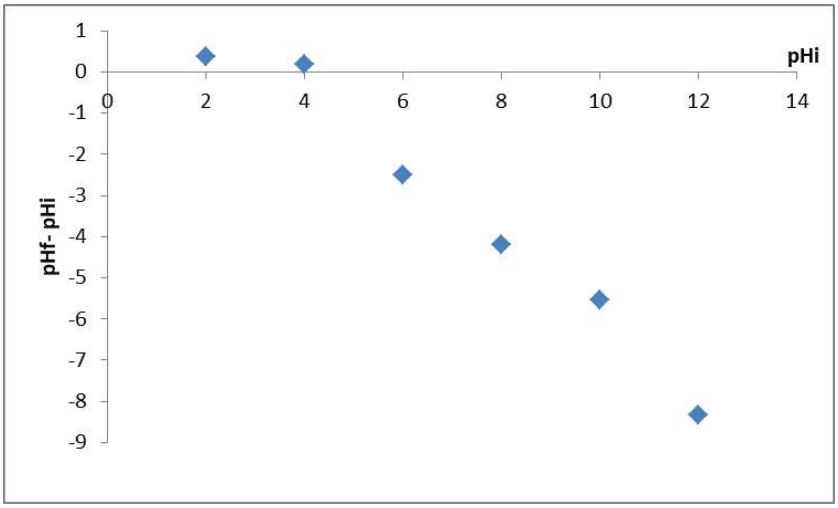


Figure IV.1 Détermination du point de charge zéro

IV.2. RESULTAT DE LA SPECTROSCOPIE INFRA-ROUGE DE L'ALUMINE

L'analyse a été faite sur une plage de longueur d'ondes allant de 400–4000 cm^{-1}. Afin de mettre en évidence la structure moléculaire de notre adsorbant (l'alumine), nous avons eu recours à la spectrophotométrie infrarouge comme méthode d'analyse qualitative. Les spectres infrarouges des échantillons de l'alumine avant adsorption (alumine brute) et après adsorption (pour les tris essais) sont représentés dans les figures (IV.2 et IV.3, IV.4, IV.5).

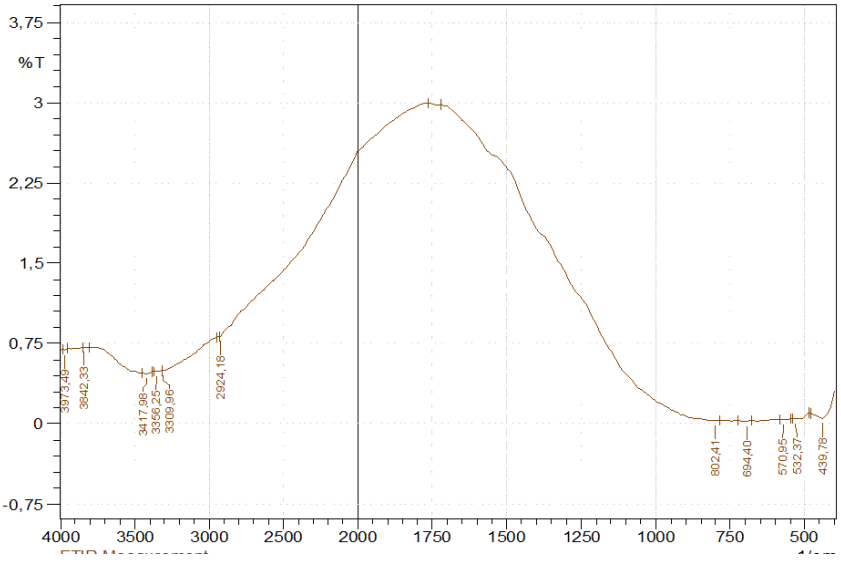


Figure IV.2. Spectre IR de l'alumine Avant adsorption.

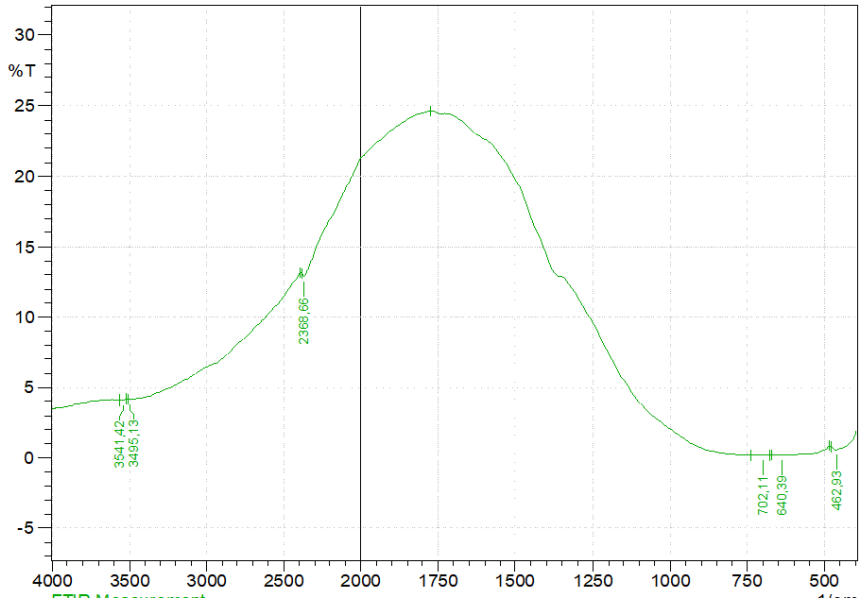


Figure IV.3. Spectre IR de l'alumine après adsorption pour l'essai 1.

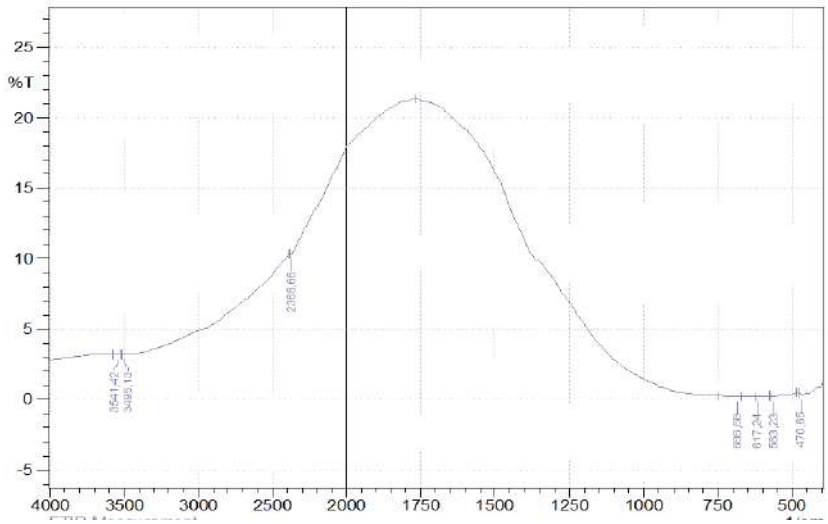


Figure IV.4. Spectre IR de l'alumine après adsorption pour l'essai 2.

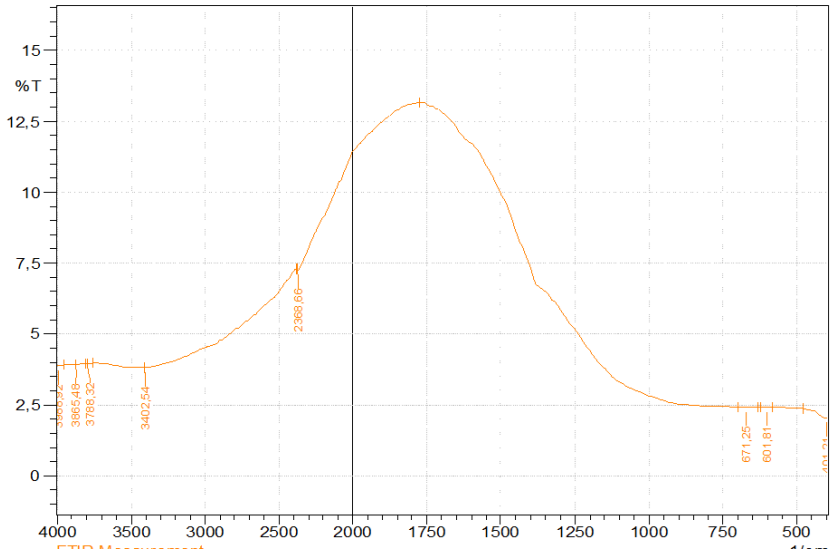


Figure IV.5. Spectre IR de l'alumine après adsorption pour l'essai 3.

Les pics caractéristiques de chaque spectre observé pour les trois échantillons d'alumine après adsorption sont regroupés dans les tableaux IV.2 , IV.3 et IV.4. Dans chaque tableau les pics de l'alumine avant adsorption sont donnés afin de comparer les différents spectres.

Tableaux IV.2 Les pics IR de l'alumine essai 1

Pic (cm^{-1}) avant adsorption	**Liaison**	**Pic (cm^{-1}) aprés adsorption**	**Liaison**
2924.18	H-O-H	2368.66	H-O-H
3417.98	O-H libre	3541.42	O-H libre
3309.98	O-H libre	3495.13	N-H des amines
694.40	Al-O	640.39	Al-O
532.37et 570.96	Al-O		
435	Al-O pseudo-boehmite	462	Al-O pseudo-boehmite
		702.11	C-H aromatique di-substitué méta

L'analyse spectroscopique IR de ces figures permet d'identifier les différents groupements fonctionnels qui constituent la structure de l'alumine activée avant et après adsorption dans les trois essais. Une forte similitude entre les spectres avant et après adsorption est constatée,

cependant il y a une légère différence entre ceux après adsorption et celui de l'alumine brute dans la zone 500-1000cm^{-1}.

Tableaux IV.3. Les pics IR de l'alumine essai 2

Pic (cm^{-1}) avant adsorption	**Liaison**	**Pic (cm^{-1}) aprés adsorption**	**Liaison**
2924.18	H-O-H	2368.66	H-O-H
3417.98	O-H libre	3541.42	O-H libre
3309.98	O-H libre	3495.13	N-H des amines
694.40	Al-O	640.39	Al-O
532.37et 570.96	Al-O	617	Al-O pseudo-boehmite
435	Al-O pseudo-boehmite	470	Al-O pseudo-boehmite
		686.68	C-H aromatique trisubstitué méta

Tableaux IV.4. Les pics IR de l'alumine essai 3

Pic (cm^{-1}) avant adsorption	**Liaison**	**Pic (cm^{-1}) aprés adsorption**	**Liaison**
2924.18	H-O-H	2368.66	H-O-H
3417.98	O-H libre	3402.54	O-H libre
3309.98	O-H libre	671.25	C-H aromatique trisubstitué
694.40	Al-O	3488.	N-H des amines
532.37et 570.96	Al-O		Al-O pseudo-boehmite
435	Al-O pseudo-boehmite	601	Al-O pseudo-boehmite
		401	

La lecture de ces trois tableaux donne les remarques suivantes :

- Les bandes les plus intenses reportées dans la bande d'absorption autour de 3417.98 cm^{-1} et 3309.98cm^{-1}correspondent aux vibrations d'élongation de l'hydrogène des groupes hydroxyles O-H (de carboxyles, phénols ou alcools).
- Les spectres d'IR montrent aussi des bandes d'absorption à 2924.18cm^{-1}, résultant principalement des vibrations H-O-H de l'eau adsorbée.
- Les spectres d'IR montrent la présence des liaisons Al-O dans différentes structures et à différentes bandes d'absorption entre 400 et 700 cm^{-1} pour tous les adsorbants avant et après adsorption.
- dans l'alumine après adsorption, on constate l'apparition des pics caractéristiques des liaisons C-H aromatiques et N-H des amines. Ceci démontre l'adsorption du colorant sur la surface de l'alumine.

IV.3. ETUDE DE LA CINETIQUE D'ADSORPTION

Afin d'étudier la cinétique d'adsorption du mélange fuchsine basique sur L'alumine activé, les expériences ont été menées dans des conditions opératoires différentes pour les trois essais.

IV.3.1. Résultats du premier essai

Cet essai est réalisé sous les conditions suivantes:

T =22°C, C_A=1.5g/l, $C_{0Fuchsine}$ =50mg/l, pH_{avant}=7.82, $pH_{après1}$=5.64

Les résultats obtenus montrent que la quantité adsorbée augmente rapidement dès les premières minutes, suivi par augmentation lente jusqu'à atteindre un état d'équilibre. Globalement, la cinétique d'échange de la fuchsine basique aux concentrations considérées s'exprime en différentes courbes qui peuvent se subdiviser en trois parties (**Figure IV.6)**:

- première Partie linéaire s'étale jusqu'à t=50 min : durant cet intervalle, une augmentation très rapide de la quantité adsorbée , la quantité retenue par l'alumine est au voisinage de 8.82mg/g.
- La deuxième partie s'étale jusqu'à t=150 min, Nous remarquons que pour un temps plus long, la quantité de polluant fixée sur l'alumine augmente lentement. Ceci est normal vu que la presque totalité des sites d'échange ont été occupées durant la première étape.

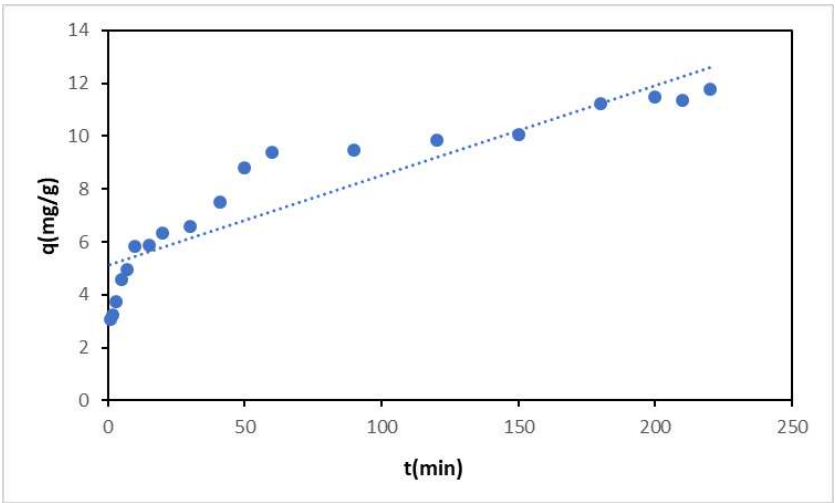


Figure IV.6. Cinétique d'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumine

- La troisième partie s'étale au-delà de t= 150 min, la cinétique de fixation de l'adsorbat sur l'alumine est représentée par un palier. Ce dernier montre que nous avons déjà atteint la fin du processus d'échange c'est l'équilibre.

En conclusion nous pouvons dire que ces résultats montrent que l'échange cationique aux concentrations utilisées se fait au bout d'un temps relativement court.

IV.3.2. Résultats du deuxième essai

Les résultats obtenus montrent une évolution identique au 1er essai, sauf que le 2ème palier est un peu long (**Figure IV.7)**.

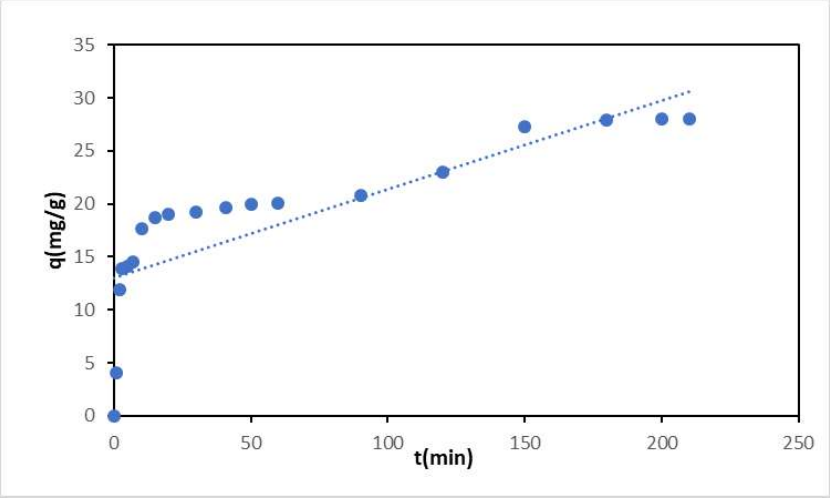


Figure IV.7. Cinétique d'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumine

Les condition de cet essai sont :T=22℃,C_A=1.5g/l,$C_{0Fuchsine}$=100mg/l, $pH_{avant} = 7.82, pH_{apres} = 5.37$

- première Partie linéaire s'étale jusqu'à t=41 min : durant cet intervalle, une augmentation très rapide de la quantité adsorbée, la quantité retenue pour l'alumine est proche de19.60mg/g.
- La deuxième partie s'étale de 90min jusqu'à t=150 min, faible augmentation.
- La troisième partie s'étale au-delà de t= 150 min, l'équilibre est atteint.

IV.3.3 Résultats du troisième essai

Les résultats obtenus montrent une évolution plus rapide que celle observée dans le 1er et le 2ème (**Figure IV.8)**.

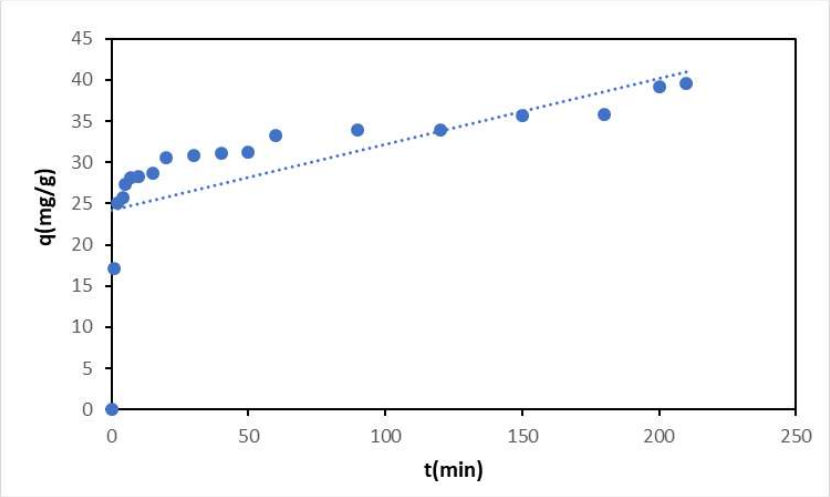


Figure IV.8. Cinétique d'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumin actif

Les condition :T =22℃, C_A=1.5g/l, $C_{0Fuchsine}$ =150mg/l,$pH_{avant} = 7.82, pH_{apres} = 5.30$

Les résultats obtenus montrent que la quantité adsorbée augmente rapidement dès les premières minutes, suivi par une faible et courte augmentation jusqu'à atteindre un état d'équilibre. Globalement, la courbe peut être subdivisée en trois parties :

- première partie s'étale jusqu'à t=50 min : durant cet intervalle, une augmentation

très rapide de la quantité adsorbée , la quantité retenue par l'alumine est proche de31.28mg/g.

- La deuxième partie s'étale jusqu'à t=180 min.
- La troisième partie s'étale au-delà de t= 180 min,et elle est proche de la précédente en terme de quantité adsorbée.

les temps d'équilibre obtenus pour les trois essais sont compris entre :50-90 min.

IV.4. MODELISATION DE LA CINETIQUE D'ADSORPTION

La connaissance de la cinétique d'adsorption présente un intérêt pratique considérable dans l'utilisation optimale d'un adsorbant au cours d'une opération industrielle. En effet, l'étude cinétique des processus d'adsorption donne des informations sur le mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide. Les modèles cinétiques les plus utilisés pour l'adsorption de solutés en solution liquide sont Les modèles du pseudo-premier et pseudo second ordre.

IV.4.1.Modèle cinétique du pseudo premier ordre

La cinétique d'adsorption de pseudo-premier ordre est étudiée en traçant la courbe Ln(qe-qt) en fonction du temps. On suppose, dans ce modèle, que la vitesse d'adsorption à l'instant t est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre Q_e et la quantité adsorbée à cet instant et que l'adsorption est réversible .Les résultats obtenus sont présentés sur la figure IV.9.

IV.4.2. Modèle cinétique de pseudo-second ordre

Les paramètres de la cinétique d'adsorption de pseudo-second ordre sont déterminés à partir de-là représentation linéaire de t/qt en fonction du temps. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure IV.10.

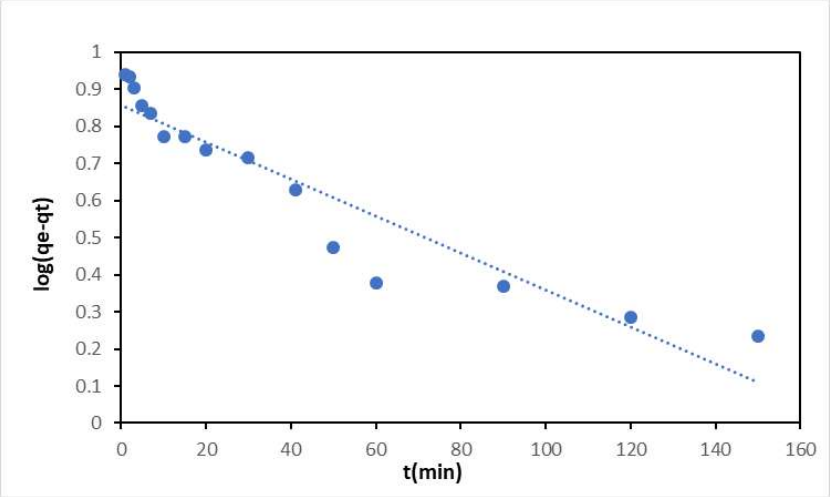


Figure IV.9. Application du modèle du pseudo-premier ordre pour l'adsorption de la fuchsine sur l'alumine, Essais 1

D'après les figures (IV.9 et IV.10), nous pouvons conclure que le modèle Lagergren du premier ordre de pollution (fuchsine basique) sur l'alumine n'est pas applicable. Tandis que

la courbe du second ordre montre que ce dernier simule parfaitement les résultats expérimentaux obtenus. En effet, Les résultats montrent que la loi cinétique de pseudo second ordre peut simuler l'évolution temporelle de la quantité fixée du colorant sur l'adsorbant. Le modèle pseudo-second ordre permet de caractériser la cinétique d'adsorption en prenant en compte à la fois le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et celui d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible.

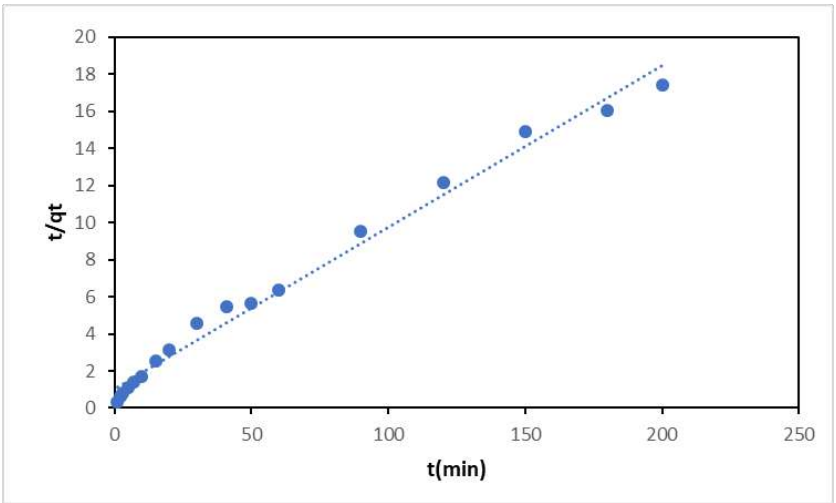


Figure IV.10. Application du modèle du pseudo- seconde ordre pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 1

La constante de vitesse d'adsorption K_2 ainsi que la quantité de soluté adsorbée à l'équilibre q_e sont déterminées graphiquement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine. Les constantes de vitesse d'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumine sont déterminées en supposant en premier lieu que les cinétiques d'adsorptions obéissent au modèle cinétique étudié. Une comparaison entre les deux modèles permet de déduire le modèle le plus représentative.

Les trois essais représentent les ordres des cinétiques de la fuchsine basique respectivement. Les paramètres des deux modèles sont regroupés dans le tableau (IV.5).

Tableau IV.5. Paramètres des modèles cinétiques du pseudo premier ordre et second ordre pour la fuchsine basique. Essais 1

	Pseudo-premier ordre				Pseudo-deuxième ordre			
	K_1(min^{-1})	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique	K_2 (mg/g. min^{-1})	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique
Valeur	-0.005	0.8916	11.79	0.856	0.087	0.9883	11.79	1.0695

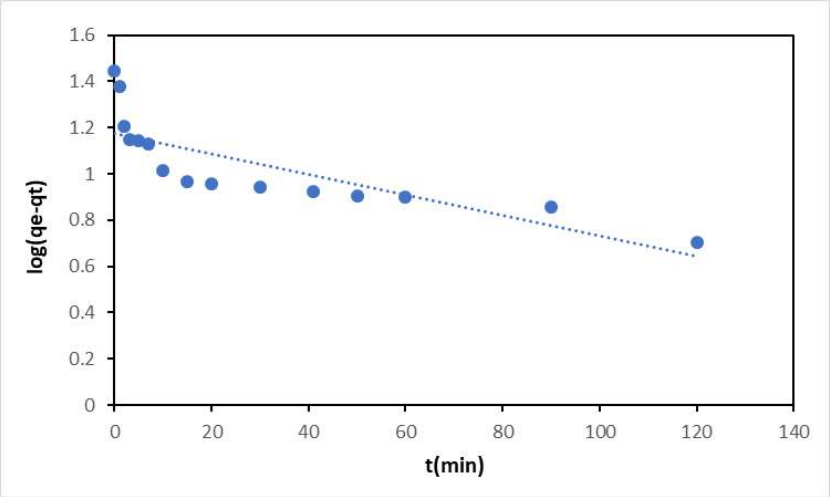


Figure IV.11. Application du modèle du pseudo-premier ordre pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 2

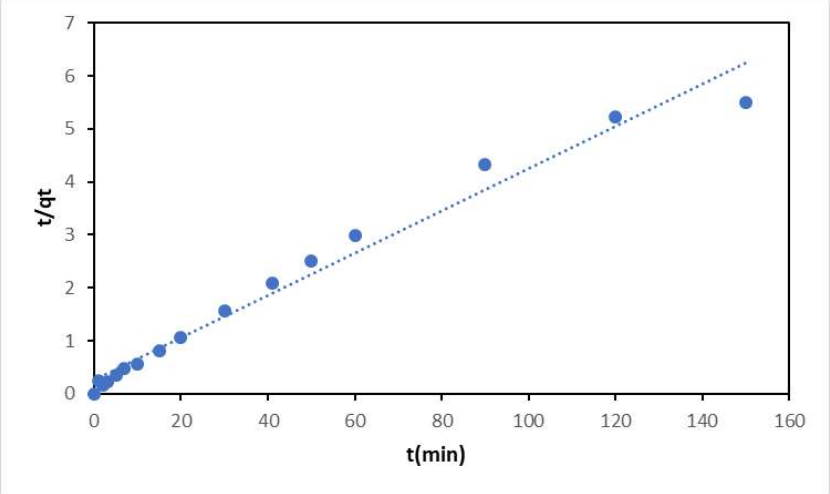


Figure IV.12. Application du modèle du pseudo- seconde ordre l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 2

D'après les figures (IV.11 et IV.12), nous pouvons conclure que le modèle Lagergren du premier ordre de pollution (fuchsine basique) sur l'alumine n'est pas applicable. Tandis que la courbe du second ordre suive parfaitement les résultats.

Les paramètres des deux modèles obtenus pour l'essai 2sont regroupés dans le tableau (IV.6).

Tableau IV.6. Paramètres des modèles cinétiques du pseudo premier ordre et second ordre pour la fuchsine basique. Essais 2

	Pseudo-premier ordre				**Pseudo-deuxième ordre**			
	K_1(min^{-1})	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique	K_2 (mg/g. min^{-1})	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique
VAleur	-0.00045	0.6477	27.98	1.1761	0.0399	0.9767	27.98	0.2511

Les valeurs des coefficients de corrélation linéaire R^2 montrent clairement l'applicabilité meilleure du modèles cinétiques du pseudo second ordre, car la valeur de ce dernier est la plus grande (R^2=0.977).

Les résultats de l'étude cinétique de l'essai 3 sont présentés sur les figures IV.13 et IV.14.

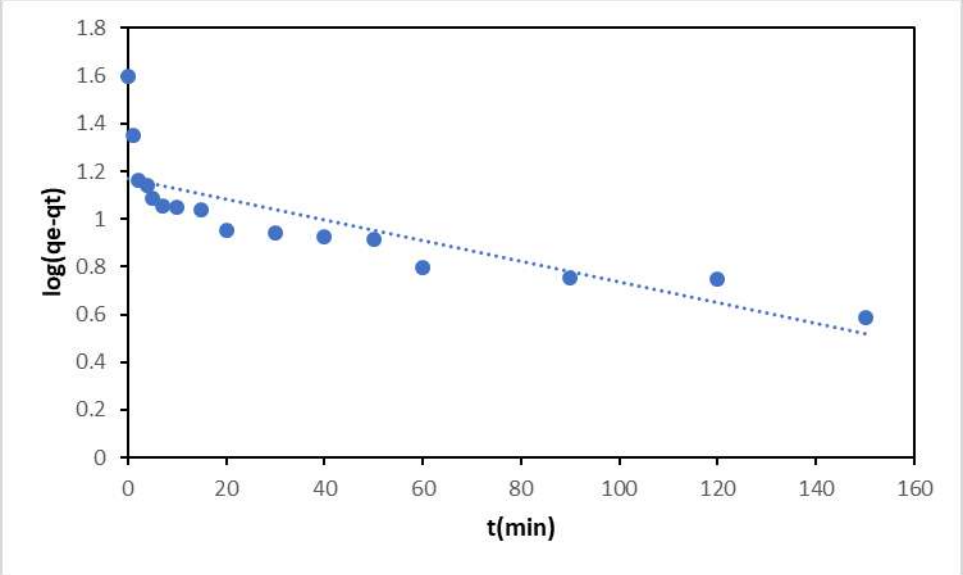


Figure IV.13. Application du modèle du pseudo-premier ordre pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 3.

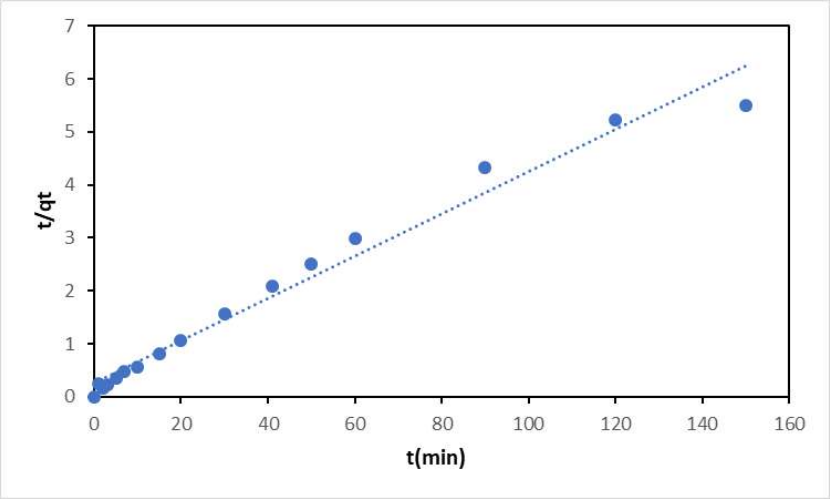


Figure IV.14. Application du modèle du pseudo- seconde ordre pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, Essais 3.

D'après les figures (IV.13 et IV.14), nous pouvons conclure que le modèle du second ordre est le mieux adapté aux résultats du 3ème essai, identiquement aus essais 1 et 2. De plus, les valeurs des coefficients de corrélation linéaire R^2 (tableau IV.7) montrent clairement l'applicabilité meilleure du modèles cinétiques du pseudo second ordre, car la valeur de ce dernier est la plus grande (R^2=0.997).

En outre, **l**es résultats obtenus pour les deux modèles étudiés montrent que, dans le cas de la cinétique du premier ordre, les quantités adsorbée à l'équilibre, déterminée expérimentalement et celle déterminée par le modèle sont différents. Par contre, la quantité adsorbée à l'équilibre, déterminée expérimentalement est plus proche de celle calculée en utilisant le modèle de la cinétique du second ordre. Ce modèle s'applique bien dans le cas des systèmes adsorbant/adsorbât étudiés vu les valeurs obtenues des coefficients de détermination R^2 qui sont très proches de l'unité.

Tableau IV.7. Paramètres des modèles cinétiques du pseudo premier ordre et second ordre pour la fuchsine basique. Essais 3

	Pseudo-premier ordre				**Pseudo-deuxième ordre**			
	K_1(min^{-1})	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique	K_2 (mg/g. min^{-1})	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique
Valeur	-0.00434	0.6655	39.51	1.1698	0.0285	0.9979	39.51	0.0708

IV.4.3. Modèle d'Elovich

L'équation d'Elovich a été largement utilisée dans la cinétique d'adsorption qui décrit le mécanisme d'adsorption chimique (réaction chimique). En tracant q_t=f(lnt) on peut determiner les valeurs des paramètres α, β.

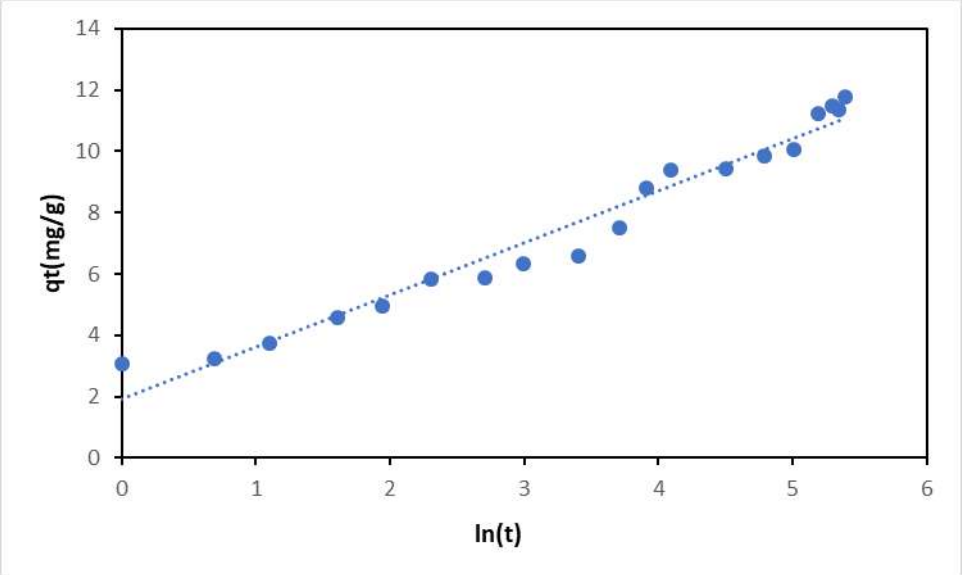


Figure IV.15. Application du modèle d'Elovich pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 1.**

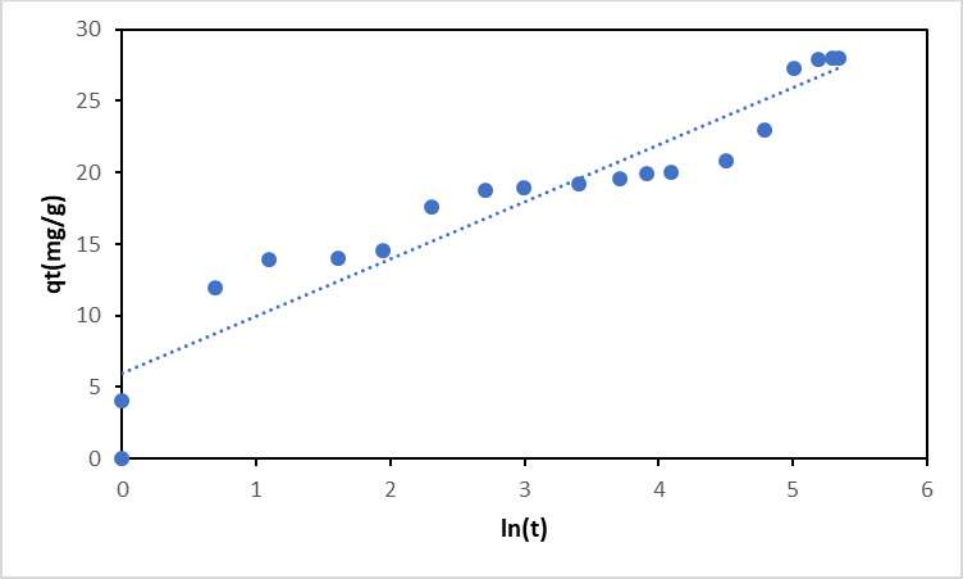


Figure IV.16. Application du modèle d'Elovich pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 2.**

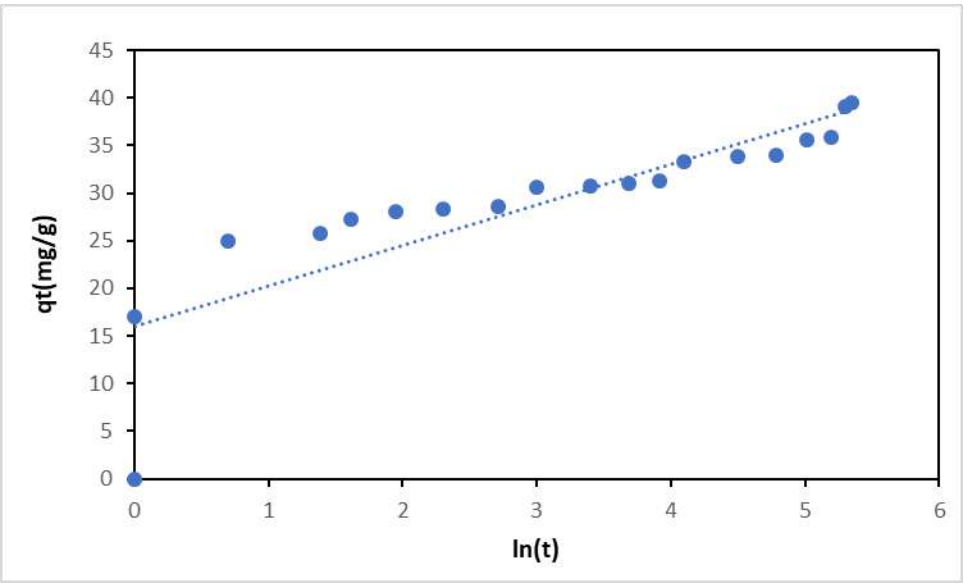


Figure IV.17. Application du modèle d'Elovich pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 3.**

Le tableau IV.8 présent les paramètres de la régression linéaire du modèle d'Elovich pour les trois essais.

Tableau IV.8 . Paramètres de la régression linéaire du modèle d'Elovich pour les trois essais.

	Modèle d'Elovich					
Fuchsine basique	$K_1(min^{-1})$	R^2	**q(mg/g) Expérimental**	**q(mg/g) théorique**	α	β
Essai 1	1.2033	0.5254	11.79	4.0009	3.226	0.486
Essai 2	2.3545	0.3494	28	12.46	7.85	0.153
Essai 3	3.1193	0.9179	39.51	20.678	21.38	0.0938

On remarque que ce modèle est faible adapté à simuler l'adsorption de la fuchsine sur l'alumine, comparé au modèles précédents. On remarque que la valeur de α augmente et celle de β diminue avec l'élévation de concentration de l'adsorbat.

IV.4.4.Modèle globale de la cinétique

Afin d'étudier le mécanisme d'adsorption, une étude comparative entre trois modèles qui proposent des régimes limitants différents selon l'étape limitante et le type de transfert de masse, tels que le modèle de diffusion dans le film externe, le modèle de diffusion dans les particules et le modèle de réaction chimique.

Nous avons défini (qt / q_e) comme F, où qt était la capacité d'adsorption au temps t ($mg.g^{-1}$), et q_e était la capacité d'adsorption lorsque l'adsorption a atteint l'équilibre ($mg.g^{-1}$). En utilisant les équations présentées dans le chapitre II (les équations II.8, II.9 et II.10).

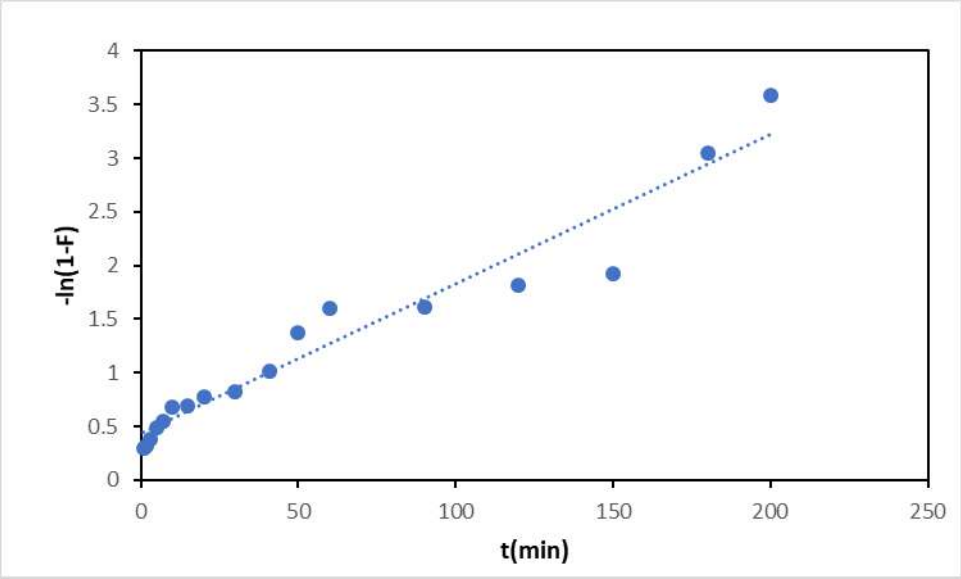


Figure IV.18. Application du modèle de diffusion dans le film pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 1.**

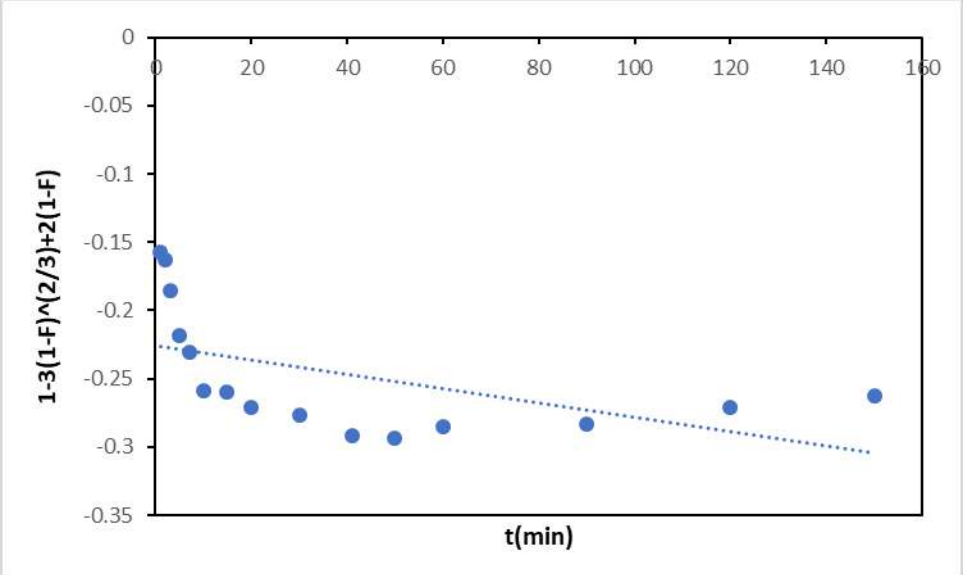


Figure IV.19. Application du Modèle de diffusion dans les particules pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai1 .**

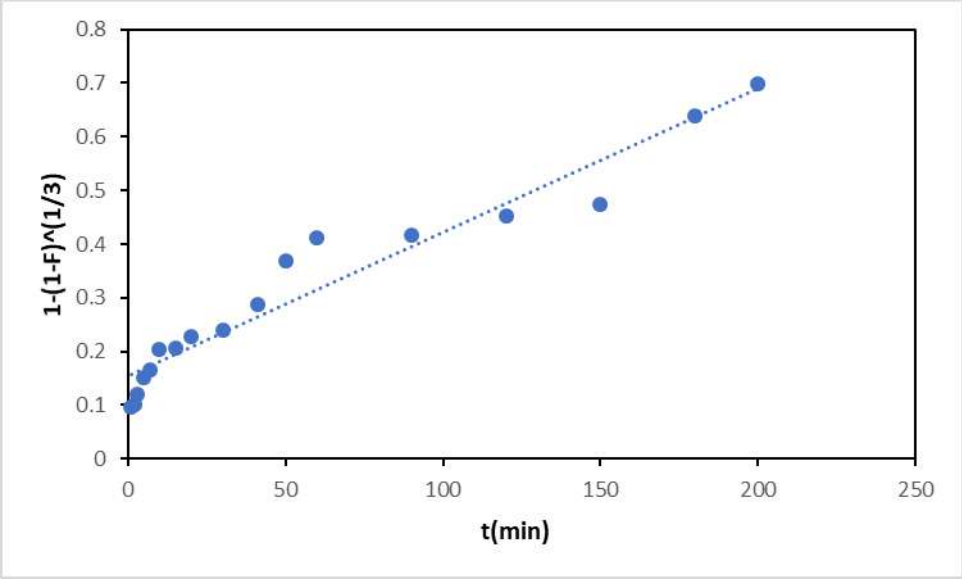


Figure IV.20. Application du Modèle de réaction chimique pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 1.**

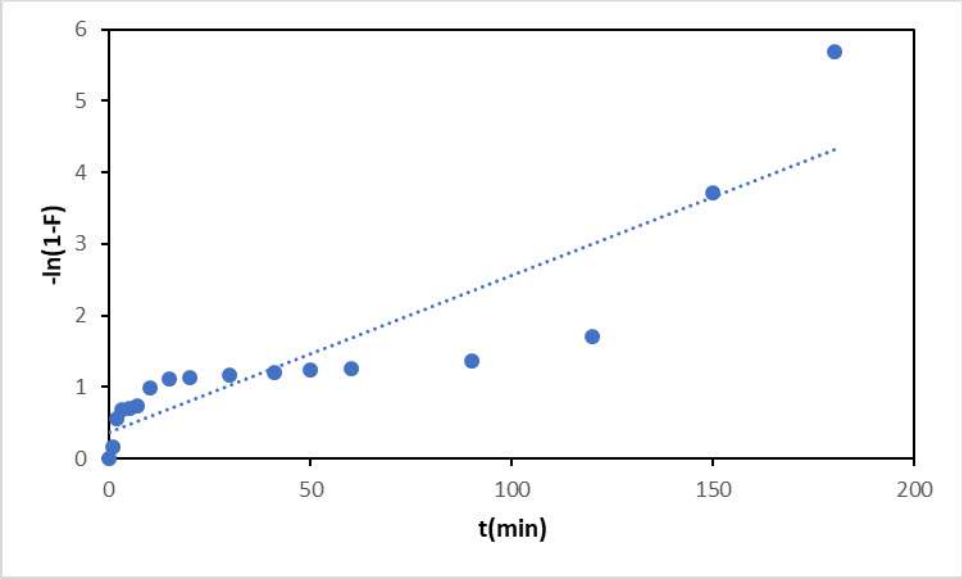


Figure IV.21. Application du modèle de diffusion dans le film pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 2.**

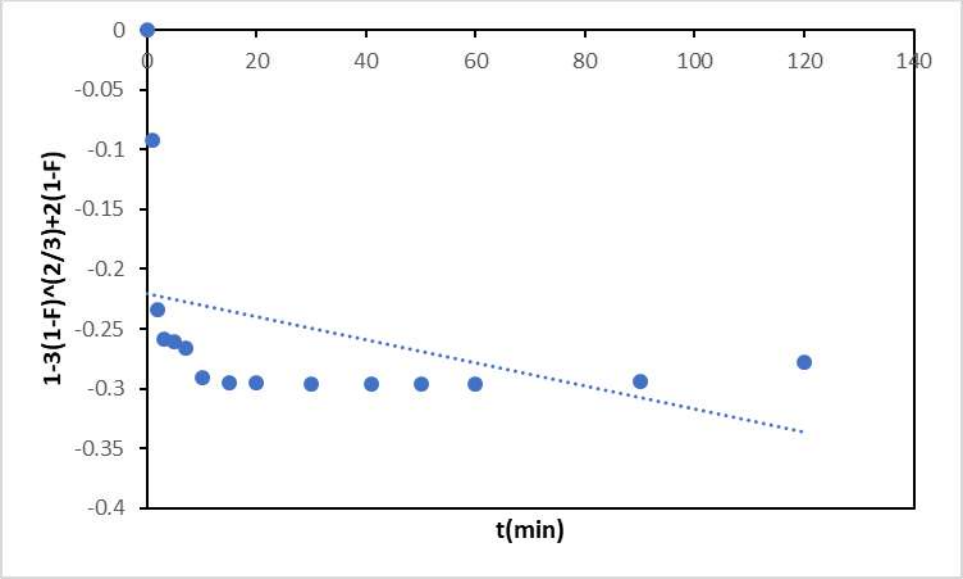


Figure IV.22. Application du Modèle de diffusion dans les particules pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 2.**

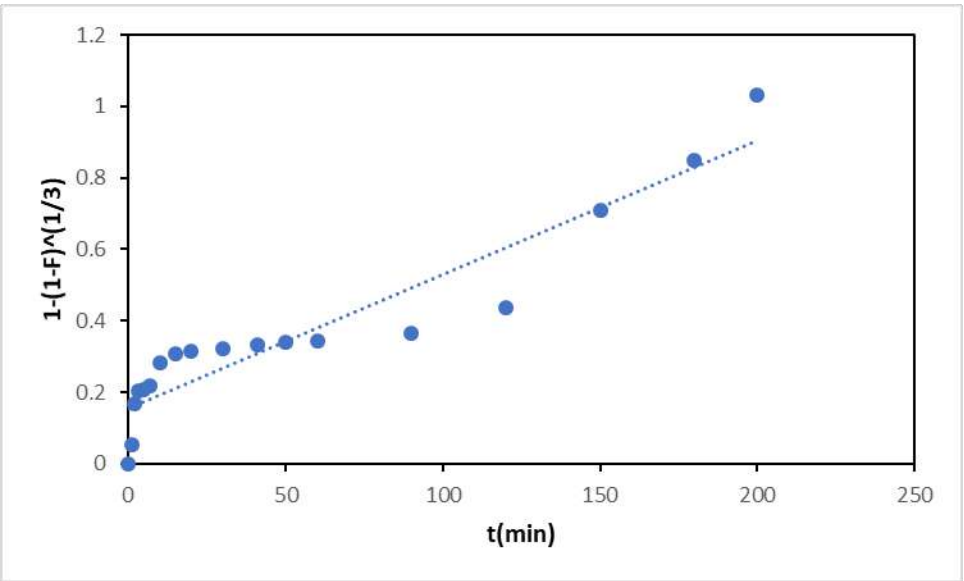


Figure IV.23. Application du Modèle de rection chimique pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 2.**

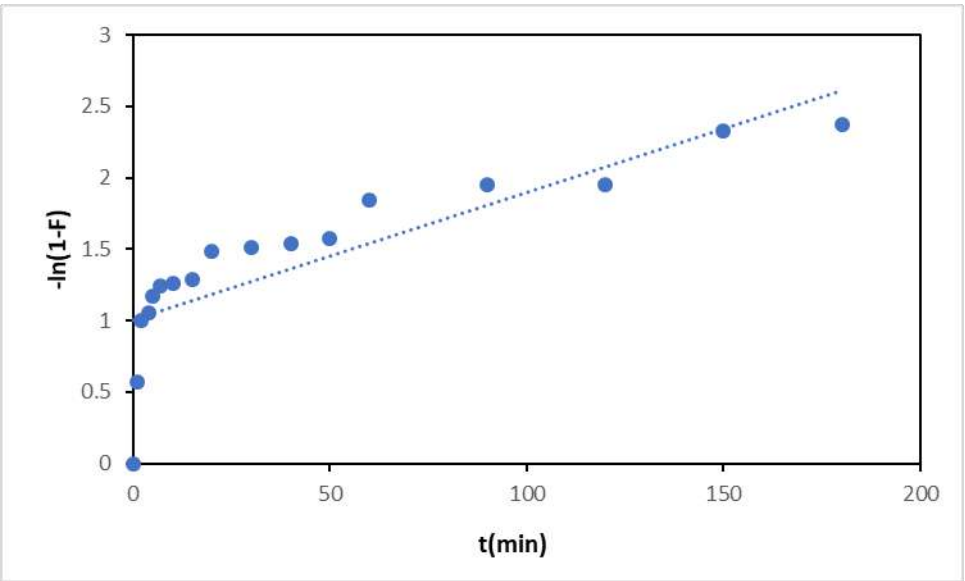


Figure IV.24. Application du modèle de diffusion dans le film pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 3.**

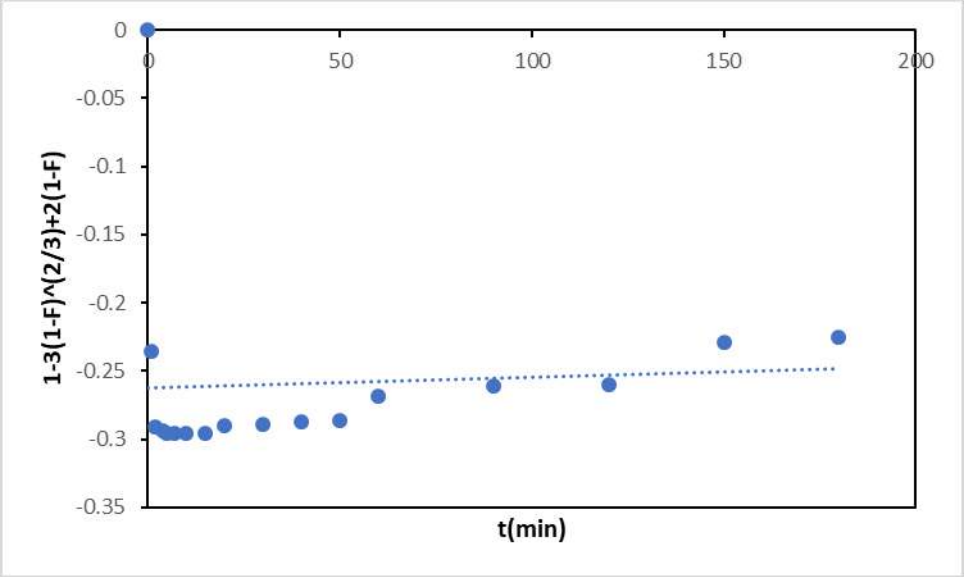


Figure IV.25. Application du Modèle de diffusion dans les particules pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 3.**

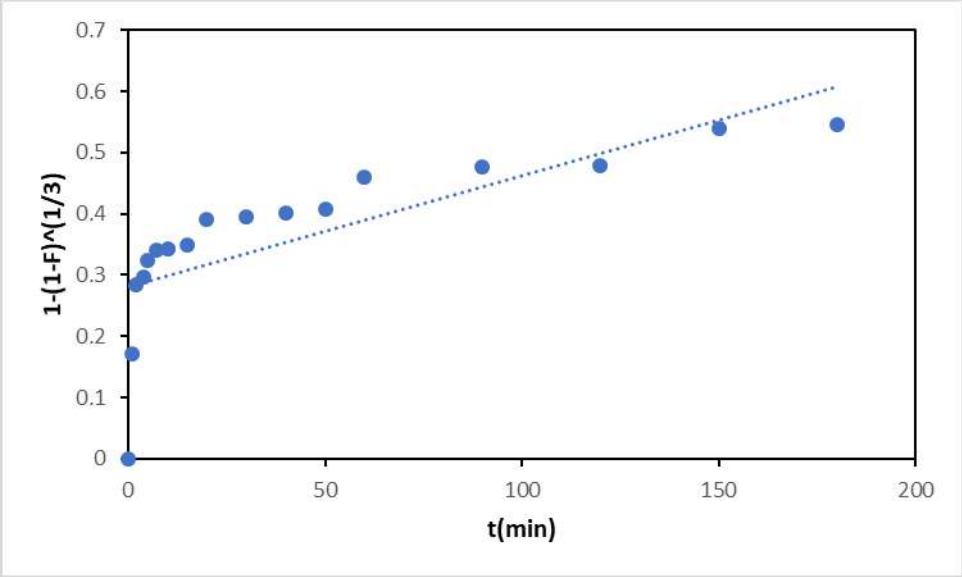


Figure IV.26. Application du Modèle de rection chimique pour l'adsorption de La fuchsine sur l'alumine, **Essai 3.**

Le tableau IV.9 présente les paramètres de régression du modèle globale de l'adsorption pour les trois essais.

Tableau IV.9. Paramètres des modèles de diffusion dans le film externe, dans les particules et ceux du modèle de la réaction chimique pour les trois essais.

	Modèle de diffusion dans le film					***Modèle de diffusion dans les particules***				
Fuchsine basique	$K_1(min^{-1})$	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique	$K_f(min^{-1})$	$K_1(min^{-1})$	R^2	q(mg/g) Expérimenta	q(mg/g) théorique	$K_p(min^{-1})$
Essai 1	0.0139	0.942	3.7580	0.428	0.12	0.0005	0.2792	3.7580	-0.2263	-0.2138
Essai 2	0.0219	0.8144	14	0.366	0.231	-0.001	0.1632	14	-0.2206	-0.1296
Essai 3	0.0089	0.7044	25.7296	1.0088	0.351	$8*10^{-5}$	0.0041	25.7296	-0.2626	-0.0162

Modèle de réaction chimique				
$K_1(min^{-1})$	R^2	q(mg/g) Expérimental	q(mg/g) théorique	$K_c(min^{-1})$
0.002	0.9355	3.7580	0.1543	0.04
0.0038	0.8876	14	0.1545	0.068
0.0018	0.579	25	0.2813	0.098

Les remarques qui peuvent être tirées de ce tableau sont :

- dans l'essai 1 la cinétique de l'adsorption de la fuchsine par l'alumine est mieux décrite par le modèle de diffusion dans le film et le modèle de réaction chimique plus que le modèle de diffusion dans les particules.
- dans l'essai 2 la cinétique de l'adsorption de la fuchsine par l'alumine est mieux décrite par le modèle de diffusion dans les particules et le modèle de réaction chimique plus que le modèle de diffusion dans les film.
- dans l'essai 3 la cinétique de l'adsorption de la fuchsine sur l'alumine est mieux décrite par le modèle de diffusion dans les particules et le modèle de réaction chimique plus que le modèle de diffusion dans les film.

Ainsi, le modèle de diffusion dans les particules et le modèle de réaction chimique simulent plus que le modèle de diffusion externe l'adsorption de la fuchsine sur l'alumine pour les différentes concentrations en adsorbat. Dans ce cas le mécanisme d'adsorption repose sur les deux étapes limitantes suivantes; la diffusion des molécules de Fuchsine dans les particules et les pores de l'adsorbant, et l'étape de la réaction chimique entre les composantes du colorant et celles de l'alumine.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le contexte de la conservation des ressources en eaux par l'élimination des polluants comme les colorants et les produits pharmaceutiques, par adsorption sur l'alumine. L'utilisation de ce matériau dans l'adsorption fut étudiée par de nombreux auteurs, car l'alumine est un minéral de grande surface spécifique. Dans ce travail il a été utilisé pour l'adsorption de la fuchsine. Ce colorant, est largement utilisé dans le domaine pharmaco-biologique ainsi que les industries de textiles et autres…

Les résultats des analyses effectuées sur l'alumine montrent que :

- l'alumine (Al_2O_3) présente une très faible conductivité électrique car c'est un bon isolant électrique et non conducteur (valeur usuelle : 10^{-12} S/m)
- l'alumine présente une valeur de pH en solution >7, ce qui reflète la libération des hydroxyles dans la solution aqueuse provenant du solide. Et un pH zéro charge=4.
- La masse volumique apparente montre la présence d'un volume poreux dans la matrice solide de l'alumine.

Les résultats de l'adsorption de la fuchsine basique sur l'alumine montrent que :

- L'analyse par spectrophotométrie IR confirme la présence de certaines bandes caractéristiques de la fuchsine sur la surface de l'alumine.
- Le modèle du pseudo deuxième ordre est le plus adéquat pour représenter la cinétique d'adsorption de la fuchsine sur l'alumine. la quantité maximale adsorbée selon ce modèle est 39.51mg/g.
- Le mécanisme d'adsorption repose sur les deux étapes limitantes suivantes; la diffusion des molécules de Fuchsine dans les particules et les pores de l'adsorbant, et l'étape de la réaction chimique entre les composantes du colorant et celles de l'alumine.

Comme perspectives, il est important d'identifier la composition et la texture de notre adsorbant, d'où on propose d'effectuer des analyse plus performantes et précises par la microscopie électronique à balayage, la diffraction par des rayons X, afin de mieux comprendre les interactions adsorbant-adsorbat. Enfin, les résultats de notre étude sont modestement encourageants pour la préservation de l'environnement.

Référence Bibliographique

Références bibliographiques

[1] Mediavilla L, "Pollution Des Eaux : Des Chiffres En Trompe L'œil En Europe", Les Echos, 7 Juillet 2018

[2] Guergazi S. Amimeur D. Achour S. Elimination Des Substances Humiques De Deux Eaux De Surface Algériennes Par Adsorption Sur Charbon Actif Et Sur Bentonite, Larhyss Journal, Issn 1112-3680, N°13, Pp. 125-137, Mars 2013

[3] Rapport National D'évaluation De L'atteinte Des Omd En Rdc, 2010.

[4] J. Kambale Luvagho, La Pollution De L'eau, Universitaire Et Recherche Scientifique Esurs, 2013

[5] Https://Www.Safewater.Org/French-Fact-Sheets/2017/2/14/Pollution-Eau

[6] Https://Education.Toutcomment.Com/Article/Consequences-De-La-Pollution-De-L-Eau-13908.Html

[7] Jean-Claude Boeglin, Lutte Contre La Pollution De L'eau - Inventaire Des Traitements, 1999

[8] P. Olivier ,La Pollution De L'eau Par Les Produits Pharmaceutiques, Une Menace Dont On Commence Seulement A Prendre La Mesure, 11 Décembre 2008

[9] D. Ghedabna, Elimination Des Colorants Bleu De Methylene Etjaune D'alizarine Des Eaux Par Adsorption Sur Un Biomateriau, Universite Larbi Ben M'hidi (Oum El Bouaghi),2016

[10] R. Yous, Adsorption D'un Produit Pharmaceutique Sur Un Charbon Actif Issu De Résidus Végétales, Université Dr. Yahia Farès De Médéa,2020

[11] Easton J.R., The Dye Maker's View, In Colour In Dyehouse Effluent, P. Cooper,

Editor. 1995, Society Of Dyers And Colourists: Bradford, England. P. 9-21.

[12] Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Fuchsine

[13] Https://Sordalab.Com/Ressources/Documents/Fr/Si050.Pdf

[14]Tahina Randrianantoandro, Rova Rakotobe, Hanitriniony Razafimandimby, Holy Rakotondrazaka, Laurence Raharimalala, Thomas Rakotonirina, Etude Des Répercussions De La Pollution Industrielle Sur La Riziculture Dans La Plaine De Laniera A Antananarivo, Madagascar, Afrique Science 10(4) (2014) 45 - 60, Consulté Le 21/06/2021

[15] [Bulletin Officiel N° 6202 , 3 Moharrem 1435,7-11-2013.)

[16] Chap Ii Adsorption, Meridja Dahiauniversité De Bejaia,Graduate Studen 17 Pages,1 File

[17] A. Guerradi – Hechachna ,L'utilisation Industrielle Du Charbon Actif 'Université Amar Thladji De Laghouat Algérie, Université Amar Thladji De Laghouat Algérie ,2013

[18] A. Khedda ,K . Maziri, Etude De La Cinétique Et Isotherme D'adsorption De Bleu De Méthylène Sur Les Nanotubes D'halloysites, Université Djilali Bounaâma De Khemis Miliana,2019

[19] S. Boulaajoul ,Etude Cinétique De L'adsorption Statique Du4-Nitrophénol Sur Charbon Actif Commercial(Nc60) , Université Kasdi Merbeh Ouargla, 2013

[20] A.Taneja ,Adsorption: Characteristics, Principles And Importance,

[21] Z. Bououden, Adsorption Du Bore En Solution Aqueuse Par Le Charbon Actif Et L'alumine ,2007

[22] Sushmita Banerjee, Shikha Dubey, Ravindra Kumar Gautam, M.C. Chattopadhyaya, Yogesh C. Sharma,Adsorption Characteristics Of Alumina Nanoparticles For The Removal Of Hazardous Dye, Orange G From Aqueous Solutions,Arabian Journal Of Chemistry,Volume 12, Issue 8,2019,Pages 5339-5354,

[23] Bahareh Yahyaei, Saeid Azizian,Rapid Adsorption Of Anionic Dyes By Ordered Nanoporous Alumina,Chemical Engineering Journal,Volume 209,2012,Pages 589-596,

Https://Doi.Org/10.1016/J.Cej.2012.08.055

[24] Lei Li, Huiru Ren, Yalin Liu, Xiaolian Liu, Yixia Zhao, Xinghai Zhou, Weimin Kang, Xupin Zhuang, Bowen Cheng,Facile Construction Of Hierarchical Porous Ultrafine Alumina Fibers (Hpafs) And Its Application For Dye Adsorption,Microporous And Mesoporous Materials,Volume 308,2020, 1387-1811,

Https://Doi.Org/10.1016/J.Micromeso.2020.110544

[25] Monika Wawrzkiewicz, Małgorzata Wiśniewska, Vladimir M. Gun'ko, Vladimir I. Zarko,

Référence bibliographique

Adsorptive Removal Of Acid, Reactive And Direct Dyes From Aqueous Solutions And Wastewater Using Mixed Silica–Alumina Oxide, Powder Technology, Volume 278, 306-315, 2015,

Https://Doi.Org/10.1016/J.Powtec.2015.03.035