

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département : Génie des procédés



جامعة غليزان  
RELIZANE UNIVERSITY

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Génie chimique

Intitulé

Contribution à une Étude d'Élimination des Médicaments  
par Adsorption

Présentée par :

Mlle : Sarah Douache

Devant les membres de jury :

Président : Mr Khaled ZAÏTER

Maître de conférence (A) A (U. Relizane)

Encadreur : Mme Affaf TABTI

Maître de conférence (A) A (U. Ain Temouchent)

Examineur : Mr Abderrazzak BABA AHMED

Pr A (U. Relizane)

Invitée : Mme Imen LAOUFI

Maître de conférence (A) A (U. Relizane)

Année universitaire: 2024/2025

## ***Abstract***

This study evaluated the effectiveness of natural pozzolan and silt for the removal of two components, ferric iron and iodine, contained in Fumacur tablets and Betadine antiseptic, respectively. These components were quantified using UV-Vis spectrophotometry, and the adsorption mechanisms were studied using kinetics and thermodynamic isotherms. The results showed excellent removal efficiency, with a treatment yield of 94.465 and 91.786% of ferric iron in the presence of natural and artificial pozzolan, respectively. Iodine removal efficiency was 98.836 and 98.194% using the same adsorbents for an adsorbent mass of 40 mg. At the end of this study, it was established that the experimental results of the adsorption of ferric iron and iodine on natural and artificial pozzolan are well represented by the Langmuir model, indicating that adsorption is favorable. The Freundlich model represents a good fit to the experimental results for the removal of both components on natural pozzolan and sludge taken in masses of 20 and 30 mg. Finally, the Temkin model also showed good correlation and fits the adsorption of ferric iron and iodine on both materials taken in masses of 20 and 30 mg. Modeling of the adsorption kinetics shows that the pseudo-second-order model is best suited to describe the adsorption kinetics of the two components.

**Keywords:** Ferric iron, iodine, natural pozzolan, sludge, adsorption, adsorption isotherms, adsorption kinetics.

## ***Résumé***

Cette étude a porté sur l'évaluation de l'efficacité de la pouzzolane naturelle et la vase pour l'élimination de deux composants le fer ferrique et l'iode contenant dans le comprimé Fumacur et l'antiseptique la Bétadine respectivement. La quantification de ces composants a été effectuée par la spectrophotométrie UV-Vis, et les mécanismes d'adsorption ont été étudiés via des cinétiques et des isothermes thermodynamiques. Les résultats ont montré une excellente efficacité d'élimination, on a attendu un rendement de traitement de 94.465 et 91.786 % du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle et artificielle respectivement, tandis que l'élimination d'iode a montré une efficacité de 98.836 et 98.194% en utilisant les mêmes adsorbants pour une masse d'adsorbant prise de 40 mg.

À la fin de cette étude, il a été établi que les résultats expérimentaux de l'adsorption du fer ferrique et l'iode sur la pouzzolane naturelle et artificielle sont bien représentés par le modèle de Langmuir, en indiquant que l'adsorption est favorable. Le modèle de Freundlich représente un

bon ajustement aux résultats expérimentaux pour l'élimination des deux composants sur la pouzzolane naturelle et la vase present en masse de 20 et 30 mg. En fin le modèle de Temkin a également présenté une bonne corrélation et il s'adapte à l'adsorption du fer ferrique et l'iode sur les deux matériaux present avec des masses de 20 et 30 mg. La modélisation de la cinétique d'adsorption montre que le modèle de pseudo de deuxième ordre est le mieux adapté pour décrire la cinétique d'adsorption des deux composants.

**Mots clés :** Fer ferrique, l'iode, la pouzzolane naturelle, la vase, adsorption, isothermes d'adsorption, cinétique d'adsorption.

## ملخص

ركزت هذه الدراسة على تقييم فعالية البوزولان الطبيعي والمخاطفي إزالة مكونين، الحديد الثلاثي واليود، الموجودين في أقراص فوماكور ومطهر بيتادين على التوالي. تم إجراء تقدير كمية هذه المكونات بواسطة مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، وتمت دراسة آليات الامتزاز من خلال الحركية والمنعطفات الحرارية الديناميكية. وأظهرت النتائج كفاءة إزالة ممتازة، حيث كان من المتوقع الحصول على كفاءة معالجة 94.465 و 91.786% من الحديد الثلاثي بوجود البوزولان الطبيعي والصناعي على التوالي، في حين أظهرت إزالة اليود كفاءة 98.836 و 98.194% باستخدام نفس المواد الماصة لكتلة ماصة مأخوذة على شكل 40 ملغ.

وفي نهاية هذه الدراسة، ثبت أن النتائج التجريبية لامتصاص الحديد الثلاثي واليود على البوزولان الطبيعي والاصطناعي ممثلة بشكل جيد بواسطة نموذج لانجموير، مما يشير إلى أن الامتصاص مناسب. يمثل نموذج فروندليش ملاءمة جيدة للنتائج التجريبية لإزالة المكونين من البوزولان الطبيعي والطيني المأخوذ بكتل 20 و 30 مجم. وأخيراً، أظهر نموذج تيمكين أيضاً ارتباطاً جيداً ويتناسب مع امتصاص الحديد الثلاثي واليود على كلتا المادتين المأخوذتين بكتل 20 و 30 ملغ. يُظهر نمذجة حركية الامتزاز أن نموذج الدرجة الثانية الزائفة هو الأنسب لوصف حركية الامتزاز لكلا المكونين.

**الكلمات المفتاحية:** الحديد الثلاثي، اليود، البوزولان الطبيعي، الوحل، الامتزاز، منحنيات الامتزاز، حركية الامتزاز.

# *Remerciements*

*Avant toute chose, je rends grâce à Dieu " الحمد لله " de m'avoir accordé la force, la patience et la foi nécessaires pour mener à bien ce travail de mémoire.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice et seconde mère de cœur, Madame « **TABTI Affaf** », Maître de Conférences Classe A à l'Université de Ain Temouchent, pour sa bienveillance, sa patience, la richesse de ses remarques, ainsi que son soutien indéfectible tout au long de ce parcours, notamment dans les moments les plus éprouvants. Son accompagnement a été d'une grande valeur.*

*J'adresse également ma reconnaissance à Monsieur « **Khaled ZAITER** », Maître de Conférences Classe A à l'Université de Relizane, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury.*

*Mes remerciements les plus sincères vont à Monsieur « **BABA AHMED Abderrazak** », Professeur à l'Université de Relizane, pour avoir accepté d'examiner ce travail et d'apporter son regard d'expert au sein de ce jury.*

*Je remercie chaleureusement Madame « **LAOUFI Iman** », Maître de Conférences Classe A à l'Université de Relizane, pour sa disponibilité et sa participation en tant que membre invitée du jury.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur « **KHELIFA Mounir** », Maître Assistant à l'Université de Relizane, pour la qualité de ses conseils, sa disponibilité attentive et son accompagnement bienveillant, qui ont été d'un grand soutien tout au long de ce travail.*

*Mes remerciements vont aussi à Madame « **ARROUSSI Chaima** », pour sa précieuse aide, sa patience, sa générosité et tout l'amour qu'elle m'a témoigné tout au long de cette aventure.*

*Je n'oublie pas de remercier l'ensemble des enseignants du département de Génie des Procédés, pour leurs enseignements, leurs orientations et leur encadrement, qui ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire dans les meilleures conditions.*

*Je remercie également le personnel du laboratoire pédagogique pour leur accueil chaleureux, en particulier Madame « **AISSA.N** » et Monsieur « **Samir** », pour les moyens mis à ma disposition et leurs encouragements bienveillants.*

*Un grand merci à mes collègues de la promotion Master 2 Génie Chimique, ainsi qu'à tout le personnel de l'université, pour l'ambiance conviviale et le climat de solidarité qui ont marqué cette année universitaire.*

*Enfin, je remercie de tout cœur toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont soutenue et aidée tout au long de la rédaction de ce mémoire.*

# *Dédicace*

## *A ma très chère maman*

*Partie trop tôt, mais toujours vivante en moi.*

*Ton amour, tes prières et ton souvenir m'accompagnent chaque jour.*

*Ce mémoire est dédié à ta mémoire, avec tout mon amour et mon respect éternels.*

إلى روح أمي الغالية،  
التي رحلت عن الدنيا، لكنها لم ترحل عن قلبي  
أسأل الله أن يجعل هذا العمل صدقة جارية لك، وأن يرحمك برحمته الواسعة  
رحمك الله وجعل مثواك الجنة

## *A mon cher père*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.*

*Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

## *A mes frères et sœurs*

*A ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la  
réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et  
encouragé tous au long de mon parcours.*

## *A ma famille et mes proches*

*Ceux qui me donnent de l'amour et de la  
vivacité.*

*SARAH*

## *Liste des figures*

### **Chapitre I : Colorants et Médicaments : Généralités et Présence dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique**

<b>Figure I.1</b> : Structure de colorant azoïque.....	4
<b>Figure I. 2</b> : Structure du colorant triphénylméthane.....	5
<b>Figure.I.3</b> : Structure de colorant anthraquinonique.....	5
<b>Figure I.4</b> : Structure de colorant indigoïde.....	6
<b>Figure I.5</b> : Structure de colorant xanthène.....	6
<b>Figure I.6</b> : Structure de colorant Phtalocyanine.....	7
<b>Figure I.7</b> : Structure de colorant nitré et nitrosé.....	7
<b>Figure I.8:</b> Structure du colorant acide ou anionique.....	8
<b>Figure I.9:</b> Structure de colorant basique.....	8
<b>Figure I.10:</b> Fumacur.....	11
<b>Figure I.11</b> : structure chimique du fumarate ferreux ( $C_4 H_2 FeO_4$ ).....	13
<b>Figure I.12</b> : Flacon de la Bétadine.....	14

### **Chapitre II : Aspects généraux de l'adsorption et propriétés des adsorbants**

<b>Figure II .1</b> : Mécanisme du transfert d'un adsorbat vers le site d'adsorption au sein d'un grain d'adsorbant.....	22
<b>Figure II. 2</b> : Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure.....	24
<b>Figure II.3:</b> Origines des matériaux pouzzolaniques.....	29
<b>Figure II.4:</b> Classification des pouzzolanes.....	30
<b>Figure II.5:</b> Diffractogramme de la pouzzolane.....	33
<b>Figure II.6:</b> Observation au MEB de la pouzzolane.....	34

### **Chapitre III : Méthodologie expérimentale appliquée**

<b>Figure III.1</b> : Scories de la pouzzolane naturelle utilisée, (a) avant le broyage, (b) après le broyage.....	45
<b>Figure III.2:</b> Diffractométrie aux rayons X (DRX) de la pouzzolane naturelle.....	46
<b>Figure III.3</b> : Etat des sédiments tels prélevés dans la retenue a) avant le broyage et b) après le broyage.....	48

<b>Figure III.4:</b> Le diffractogramme des rayons X de la pouzzolane artificielle.....	50
<b>Figure III.5:</b> Poudre fine des comprimés de Fumacur.....	52
<b>Figure III.6 :</b> Solution mère du Fumacur .....	53
<b>Figure III.7:</b> Les solutions filles de Fumacur.....	53
<b>Figure III.8 :</b> Courbe d'étalonnage du fer ferrique.....	54
<b>Figure III.9:</b> Représentation de la longueur d'onde max du fer ferrique.....	55
<b>Figure III.10:</b> Solution mère de la Bétadine.....	55
<b>Figure III.11 :</b> Les solutions filles de l'iode povidone.....	56
<b>Figure III.12 :</b> La courbe d'étalonnage de l'iode.....	57
<b>Figure III.13 :</b> Représentation de la longueur d'onde max de l'iode.....	57
<b>Figure III. 14 :</b> a) La solution fille à concentration 80mg/l, b) La solution fille avec le matériau (La pouzzolane naturelle), c) le mélange après la centrifugation du fer ferrique.....	60
<b>Figure III. 15 :</b> a) La solution fille à concentration 80mg/l, b) La solution fille avec le matériau (La vase), c) le mélange après la centrifugation du fer ferrique.....	61
<b>Figure III. 16 :</b> a) La solution fille à concentration 5500 mg/l, b) La solution fille avec le matériau (La pouzzolane naturelle), c) le mélange après la centrifugation de l'iode.....	62
<b>Figure III. 17 :</b> a) La solution fille à concentration 5500 mg/l, b) La solution fille avec le matériau (La vase), c) le mélange après la centrifugation de l'iode.....	63
<b>Figure III.18:</b> Effet du temps de contact sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	64
<b>Figure III.19:</b> Effet du temps de contact sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.....	64
<b>Figure III.20:</b> Effet du temps de contact sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	65
<b>Figure III.21:</b> Effet du temps de contact sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	66
<b>Figure III.22 :</b> Effet de masse sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	67
<b>Figure III.23 :</b> Effet de masse sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.....	67
<b>Figure III.24 :</b> Effet de masse sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	68
<b>Figure III.25 :</b> Effet de masse sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	68

<b>Figure III.26 :</b> Effet du pH sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	69
<b>Figure III.27:</b> Effet du pH sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.....	70
<b>Figure III.28:</b> Effet du pH sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	71
<b>Figure III.29:</b> Effet du pH sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	71
<b>Figure III.30 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- premier ordre du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	72
<b>Figure III.31 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- premier ordre du fer ferrique en présence de la vase.....	73
<b>Figure III.32 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	73
<b>Figure III.33 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	74
<b>Figure III.34 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- seconde ordre du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	75
<b>Figure III.35 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- seconde ordre du fer ferrique en présence de la vase.....	75
<b>Figure III.36 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-seconde ordre de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	76
<b>Figure III.37 :</b> Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	76
<b>Figure III.38 :</b> Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	79
<b>Figure III.39 :</b> Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	80
<b>Figure III.40 :</b> Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.....	80
<b>Figure III.41 :</b> Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.....	81
<b>Figure III.42:</b> Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.....	82

<b>Figure III.43</b> : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.....	82
<b>Figure III.44</b> : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	84
<b>Figure III.45</b> : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	85
<b>Figure III.46</b> : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.....	85
<b>Figure III.47</b> : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	86
<b>Figure III.48</b> : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	87
<b>Figure III.49</b> : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.....	87

## *Liste des tableaux*

### *Chapitre I : Colorants et Médicaments : Généralités et Présence dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique*

**Tableau I.1 :** Principale notions pharmacologiques « Fumacur » .....11

**Tableau I.2 :** Caractéristiques thérapeutiques de la Bétadine.....14

### **Chapitre II : Aspects généraux de l'adsorption et propriétés des adsorbants**

**Tableau II.1 :** Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.....21

**Tableau II.2 :** Analyse chimique de quelques pouzzolanes volcaniques.....31

**Tableau II.3 :** Analyse chimique de quelque pouzzolane riche en Silice.....32

**Tableau II.4:** Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle.....35

**Tableau II.5:** composition minéralogique de diverses pouzzolanes naturelles.....36

### **Chapitre III: Méthodologie expérimentale appliquée**

**Tableau III.1:** Analyse chimique et les caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle.....46

**Tableau III.2 :** Caractéristiques physique de la vase.....48

**Table III.3 :** La composition chimique de la vase (%) .....50

**Tableau III.4:** Matériels utilisés dans notre étude.....51

**Tableau III.5:** Les mesures de volume et de concentration des solutions filles du Fumacur...53

**Tableau III.6 :** Mesures des volumes et des concentrations des solutions filles préparées à partir de la Bétadine .....56

**Tableau III.7 :** Le rendement et la quantité adsorbée du colorant fer ferrique avec 20 mg de matériau (La pouzzolane naturelle) .....59

**Tableau III.8 :** Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 30 mg de matériau (La pouzzolane naturelle) .....59

**Tableau III.9 :** Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 40 mg de matériau (La pouzzolane naturelle) .....59

<b>Tableau III.10</b> : Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 20 mg de matériau (La vase) .....	60
<b>Tableau III.11</b> : Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 30 mg de matériau (La vase) .....	60
<b>Tableau III.12</b> : Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 40 mg de matériau (La vase) .....	60
<b>Tableau III.13</b> : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 20 mg de matériau (La pouzzolane naturelle) .....	61
<b>Tableau III. 14</b> : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 30 mg de matériau (La pouzzolane naturelle) .....	61
<b>Tableau III.15</b> : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 40 mg de matériau (La pouzzolane naturelle) .....	62
<b>Tableau III.16</b> : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 20 mg de matériau (La vase) .....	62
<b>Tableau III.17</b> : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 30 mg de matériau (La vase) .....	62
<b>Tableau III.18</b> : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 40 mg de matériau.....	62
<b>Tableau III.19</b> : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption du Fer ferrique par la pouzzolane naturelle.....	77
<b>Tableau III.20</b> : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption du fer ferrique par la pouzzolane artificielle.....	77
<b>Tableau III.21</b> : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption de l'iode par la pouzzolane naturelle.....	78
<b>Tableau III.22</b> : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption de l'iode par la pouzzolane artificielle.....	78
<b>Tableau III.23</b> : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du fer ferrique (La pouzzolane naturelle) .....	81

**Tableau III.24 :** Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du Fer ferrique

(La pouzzolane artificielle) .....83

**Tableau III.25 :** Constante Langmuir, Freundlich et Temkin de l'iode

(La pouzzolane naturelle) .....86

**Tableau III.26 :** Constante Langmuir, Freundlich et Temkin de l'iode

(La pouzzolane artificielle) .....88

## *Liste des Abréviations*

**Abs** : Absorbance.

**PH** : Potentielle d'hydrogène standard.

$\lambda_{max}$  : Longueur d'onde maximale.

**AMM** : Autorisation de mise sur le marché.

**DPES** : Direction de la pharmacie et des équipements de santé.

**MEB** : microscope électronique à balayage.

## ***Table des matières***

Abstract.....	I
Remerciements .....	III
Dédicace .....	V
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux .....	X
Liste des Abréviations .....	XIII
Introduction générale.....	- 1 -

### ***Chapitre I: Colorants et Médicaments : Généralités et Présence dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique***

I.1 Introduction .....	- 3 -
I.2 Les rejets des industries pharmaceutiques .....	- 3 -
I.3 Revue de la littérature sur les colorants .....	- 3 -
I.3.1 Définition d'un colorant .....	- 3 -
I.3.2 Origines et classifications .....	- 4 -
I.3.3 Classification chimique .....	- 4 -
I.3.4 Classification tinctoriale .....	- 7 -
I.4 Principaux usages des substances colorantes .....	- 9 -
I.5 Analyse de la toxicité des substances colorantes .....	- 10 -
I.6 Fondements théoriques des médicaments .....	- 10 -
I.6.1 Définition et composition d'un médicament .....	- 10 -
I.7 Médicaments et agents colorants utilisés dans notre investigation scientifique .....	- 11 -
I.7.1 Fumacur 200mg Comp. B/80 .....	- 11 -
I.7.2 La Bétadine.....	- 13 -
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	- 16 -

### ***Chapitre II: Aspects généraux de l'adsorption et propriétés des adsorbants***

II 1. Introduction.....	- 20 -
II 2 .Définition d'adsorption.....	- 20 -
II .3. Principe d'adsorption .....	- 20 -
II .4. Application d'adsorption .....	- 20 -
II .5. Types d'adsorption.....	- 21 -
II 5.1 Adsorption physique (physisorption) .....	- 21 -
II. 5.2 Adsorption chimique (chimisorption) .....	- 21 -

II.6 Le mécanisme d'adsorption .....	- 22 -
II.7 Les paramètres influençant sur l'adsorption .....	- 23 -
II .7.1 La température.....	- 23 -
II .7.2 Le pH de la solution .....	- 23 -
II .7.3 Surface spécifique .....	- 23 -
II. 7.4 La vitesse d'adsorption .....	- 23 -
II. 7.5 Masse de l'adsorbant.....	- 23 -
II.8 Isothermes d'adsorption.....	- 23 -
II .8.1. Capacité d'adsorption.....	- 23 -
II .8.2 Classification des isothermes d'adsorption .....	- 24 -
II 8.3 Modèles d'isotherme d'adsorption .....	- 25 -
II.9 Cinétique d'adsorption.....	- 27 -
II.9.1 Modèle cinétique du pseudo premier ordre.....	- 27 -
II .9.2 Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre.....	- 28 -
II.10 Définition de l'adsorbant.....	- 29 -
II.11 Différents types de pouzzolane et l'aspect normatif .....	- 30 -
II.12 Différents types de pouzzolane .....	- 31 -
II.12.1 Pouzzolane naturelle.....	- 31 -
II.12.2 Pouzzolane artificielle.....	- 32 -
II.13 Compositions de pouzzolane.....	- 33 -
II.13.1 Compositions chimiques de pouzzolane .....	- 33 -
II.13.2 Compositions physiques de pouzzolane .....	- 34 -
II.13.3 Compositions de minéralogique de pouzzolane .....	- 35 -
II.14 Activité pouzzolanique.....	- 35 -
II.15 Mécanisme de la réaction pouzzolanique.....	- 36 -
II.16 L'utilisation de pouzzolane.....	- 36 -
II.17 L'application de pouzzolane.....	- 37 -
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	- 38 -

### ***Chapitre III : Méthodologie expérimentale appliquée***

III.1 Introduction .....	- 45 -
III.2 La pouzzolane naturelle.....	- 45 -
III.3 La pouzzolane artificielle (la vase).....	- 47 -
III.3.1 Caractéristiques physiques de la vase .....	- 48 -
III.3.2 Calcination de la vase .....	- 49 -

III.3.3 Analyse chimique.....	- 49 -
III.3.4 La Composition chimique de la vase .....	- 49 -
III.4 Éléments matériels du protocole.....	- 50 -
III.5 Étude du processus d'élimination des colorants.....	- 52 -
III.6 Développement de supports adsorbants .....	- 52 -
III.6.1 Préparation de la solution mère à partir du médicament Fumacur 200mg .....	- 52 -
III.6.2 Préparation d'une solution mère à partir du colorant principal de la Bétadine....	- 55 -
III.6.3 Calcul de la quantité adsorbée .....	- 57 -
III.6.4 Évaluation de l'efficacité d'élimination du colorant.....	- 58 -
III.7 Résultats et discussions .....	- 58 -
III.7.1 Description du protocole d'adsorption.....	- 58 -
III.7.2 Calcul de la quantité adsorbée des colorants .....	- 58 -
III.7.3 Influence des paramètres physico-chimiques .....	- 63 -
III.7.4 Modélisation de la cinétique d'adsorption .....	- 72 -
III.7.5 Modélisation des équilibres des isothermes l'adsorption .....	- 79 -
III.8 Conclusion .....	- 89 -
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	- 90 -
Conclusion générale .....	- 84 -

# *Introduction générale*

## ***Introduction générale***

La contamination de l'environnement par des résidus de médicaments est devenue, ces dernières années, une problématique mondiale majeure. Qu'ils soient issus des rejets domestiques, hospitaliers, ou industriels, de nombreux principes actifs pharmaceutiques se retrouvent dans les milieux aquatiques, où ils persistent à l'état de micropolluants. [1]

Leur présence dans les eaux usées, les rivières, et même les eaux souterraines, est aujourd'hui largement documentée, et leurs effets écotoxicologiques sur la faune aquatique ou les organismes vivants, même à très faibles concentrations, soulèvent de sérieuses inquiétudes. [2]

Les stations d'épuration classiques, conçues essentiellement pour traiter la matière organique biodégradable, ne sont pas toujours capables d'éliminer efficacement ces composés pharmaceutiques. [3]

Face à cette limitation, la recherche s'oriente vers des technologies de traitement avancées, parmi lesquelles l'adsorption s'impose comme une méthode particulièrement intéressante. L'adsorption est un procédé de séparation basé sur l'accumulation d'un soluté (ici, un médicament) à la surface d'un solide (l'adsorbant). Cette technique est appréciée pour sa simplicité, sa rapidité, sa sélectivité et son coût relativement modéré lorsqu'on utilise des matériaux naturels ou récupérés. [3-4]

Dans le domaine du génie chimique, l'adsorption constitue un champ d'étude riche, qui mobilise des notions de thermodynamique, de cinétique, de transfert de matière et de conception des procédés. Plusieurs paramètres influencent l'efficacité de l'adsorption, notamment : la nature de l'adsorbant (porosité, surface spécifique, polarité, fonctionnalisation), les conditions opératoires (pH, température, concentration initiale, temps de contact), et les propriétés physico-chimiques du médicament ciblé (solubilité, masse molaire, structure chimique). [5]

Dans ce contexte, le présent travail vise à contribuer à l'étude de l'élimination d'un ou plusieurs médicaments modèles par adsorption. Il s'inscrit dans une démarche expérimentale et théorique, avec comme objectif d'évaluer l'efficacité d'un matériau adsorbant, d'analyser les mécanismes d'interaction entre le médicament et le solide, et de modéliser les isothermes et la cinétique du processus. Une attention particulière sera portée au choix des adsorbants, notamment les matériaux alternatifs (biosorbants, déchets valorisés, composites fonctionnalisés), dans une logique de durabilité et de réduction des coûts. [6]

Ainsi, ce mémoire s'articule autour d'une problématique environnementale urgente et mobilise les outils analytiques, expérimentaux et de modélisation du génie chimique pour proposer des solutions applicables au traitement des effluents pharmaceutiques.

- Ce travail est structuré en trois chapitres :  
Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les colorants et les médicaments, ainsi qu'à leur présence dans les effluents issus de l'industrie pharmaceutique.
  
- Le deuxième chapitre présente les notions générales sur le phénomène d'adsorption, en abordant différents modèles d'isothermes d'adsorption, ainsi que des informations globales sur le matériau utilisé dans le cadre de ce mémoire.
  
- Le troisième chapitre constitue une synthèse du travail expérimental réalisé, portant sur l'élimination de deux composants sélectionnés : le fer ferrique, présente dans l'anti-anémique Fumacur 200 mg comprimés B/80, et l'iode, le composant de l'antiseptique Bétadine. L'étude a été menée en utilisant la pouzzolane, naturelle et artificielle, comme matériau adsorbants.  
Enfin, à partir des résultats expérimentaux obtenus, une conclusion générale est présentée accompagnée de quelques perspectives d'avenir.

***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:***

- [1] P. Verlicchi, M. Al Aukidy, E. Zambello. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater. *Science of the Total Environment*. Pages 123-155, 2012.
- [2] Karl Fenta, Anna A. Westona, Daniel Caminada. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology* **76**. Pages 122-159, 2006.
- [3] Hai Nguyen Tran, Sheng-Jie You, Ahmad Hosseini-Bandegharaei, Huan-Ping Chao. Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions. *Water Research*. Pages 88-116, 2017.
- [4] Grégorio Crini, Eric Lichtfouse. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*. Pages 145-155, 2019.
- [5] K.Y. Foo, B.H. Hameed. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*. Pages 2-10, 2010.
- [6] Sandhya Babel, Tonni Agustiono Kurniawan. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water. *Journal of Hazardous Materials*. Pages 219-243, 2003.

***Chapitre I :***  
***Colorants et Médicaments :***  
***Généralités et Présence***  
***dans les Déchets de***  
***l'Industrie Pharmaceutique***

## **I.1 Introduction**

L'industrialisation croissante a conduit à une augmentation des rejets industriels dans l'environnement. Parmi ces industries, l'industrie pharmaceutique produit des déchets variés, y compris des substances colorées. Ces rejets peuvent poser de sérieux problèmes environnementaux en raison de leur toxicité et de leur faible biodégradabilité.

## **I.2 Les rejets des industries pharmaceutiques**

Les effluents issus de l'industrie pharmaceutique contiennent fréquemment des colorants synthétiques, en particulier des colorants azoïques, utilisés pour l'esthétique et l'identification des médicaments. Ces substances, en raison de leur stabilité chimique et de leur faible biodégradabilité, peuvent persister dans l'environnement, où elles perturbent les écosystèmes aquatiques et présentent des risques toxicologiques avérés. Selon une étude réalisée à l'Université Saad Dahlab de Blida, 81,25 % des colorants utilisés dans des formulations pharmaceutiques présentaient une génotoxicité, suggérant un potentiel danger pour la santé humaine et l'environnement aquatique. [1]

Ces rejets non traités ou insuffisamment épurés peuvent ainsi entraîner des effets écotoxicologiques à long terme, justifiant une attention réglementaire accrue.

## **I.3 Revue de la littérature sur les colorants**

### **I.3.1 Définition d'un colorant**

Un colorant est une substance chimique capable de se fixer sur un support, auquel elle confère une teinte dont l'intensité varie en fonction de sa structure moléculaire. La coloration obtenue dépend étroitement de la constitution chimique du colorant utilisé.

À l'origine, les colorants provenaient principalement de sources naturelles. Les végétaux tels que la garance, l'indigo, la gaude ou le bois de campêche étaient couramment utilisés, tout comme certains organismes animaux, notamment la cochenille, connue pour produire des teintes rouge vif.

Aujourd'hui, la quasi-totalité des colorants utilisés dans l'industrie sont d'origine synthétique. Ils sont principalement fabriqués à partir de dérivés d'hydrocarbures présents dans le goudron de houille, une substance issue de la distillation du charbon.

L'efficacité de fixation d'un colorant sur une fibre dépend de son affinité chimique avec celle-ci, qui est particulièrement forte chez les colorants présentant un caractère acide ou basique marqué. Toutefois, ces propriétés, propres aux colorants organiques, leur confèrent également une grande stabilité chimique. Cette résistance à la dégradation naturelle les rend persistants dans

l'environnement et peu susceptibles à la biodégradation, ce qui peut poser des problèmes écologiques. [2]

### **I.3.2 Origines et classifications**

On distingue deux principales catégories de colorants : les colorants naturels et les colorants synthétiques.

➤ **Les colorants naturels :**

Les colorants naturels sont des substances colorantes extraites de sources naturelles telles que les plantes, les animaux, les minéraux ou les micro-organismes. Ils sont capables de conférer une couleur à divers matériaux en absorbant sélectivement la lumière dans la région du spectre visible, généralement entre 400 et 700 nanomètres. Ces colorants sont largement utilisés dans les industries alimentaire, textile et cosmétique en raison de leur biodégradabilité et de leur acceptabilité par les consommateurs recherchant des produits plus naturels. [3-4]

➤ **Les colorants synthétiques :**

Les colorants artificiels, issus de procédés chimiques, produisent généralement des teintes plus éclatantes et présentent une meilleure stabilité que la majorité des colorants d'origine naturelle. Toutefois, certains colorants synthétiques ont été associés à des risques pour la santé, entraînant leur restriction ou leur interdiction dans certaines régions du monde. [5]

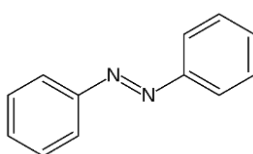
### **I.3.3 Classification chimique**

Sur le plan structural, les colorants sont classés en fonction du type de groupement chromophore qu'ils renferment. [6]

➤ **Les colorants azoïques :**

Les colorants azoïques sont des composés organiques de synthèse caractérisés par la présence d'un ou plusieurs groupements azo (-N=N-), servant de liaisons entre des noyaux aromatiques.

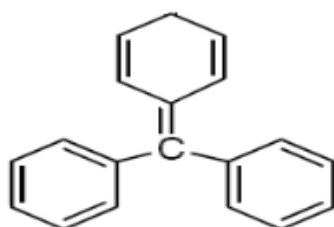
Cette structure confère à ces molécules des propriétés chromophores responsables de la coloration. Leur large gamme de nuances, leur stabilité thermique et leur affinité pour les fibres cellulosiques, en particulier le coton, expliquent leur usage étendu dans l'industrie textile. Leur synthèse repose généralement sur une réaction de couplage diazoïque entre un sel de diazonium et un composé aromatique activé. [7-8]



**Figure I.1 :** Structure de colorant azoïque.

➤ **Les colorants triphénylméthanés :**

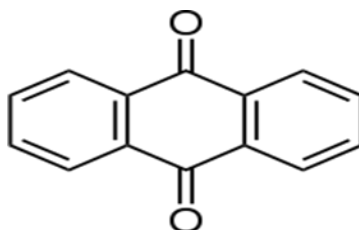
Les colorants triphénylméthanés sont des composés organiques de synthèse caractérisés par une structure de base constituée de trois groupes phényles (groupes aromatiques) liés à un atome de carbone central (carbocation). Ces colorants sont connus pour leurs teintes vives, principalement dans les tons de bleu, vert et violet, et sont largement utilisés dans l'industrie textile, l'encre, les colorants alimentaires (dans certains cas), ainsi que comme indicateurs de pH ou colorants biologiques. Ils agissent généralement comme colorants basiques (cationiques) et présentent une bonne intensité tinctoriale, mais une faible résistance à la lumière et aux agents chimiques. [9]



**Figure I. 2 :** Structure du colorant triphénylméthane.

➤ **Les colorants anthraquinoniques :**

Les colorants anthraquinoniques constituent la deuxième classe de colorants la plus importante après les colorants azoïques. Leurs structures, dérivées de l'antracène, révèlent un chromophore de type quinonique, sur lequel peuvent se greffer divers groupements fonctionnels, tels que des hydroxyles ou des amines. [10] La structure générale des colorants anthraquinoniques est illustrée à la figure I.3.

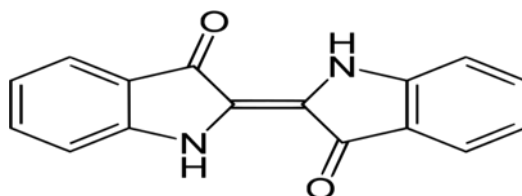


**Figure.I.3 :** Structure de colorant anthraquinonique.

➤ **Les colorants indigoïdes :**

Les colorants indigoïdes forment une classe de colorants organiques dérivés de l'indigo, un colorant naturel historique. Leur structure chimique est généralement basée sur un squelette d'indolone ou d'indoxyle, comportant deux noyaux hétérocycliques reliés par une double liaison conjuguée. Ces colorants se caractérisent par une teinte bleue à violacée intense et une excellente solidité à la lumière

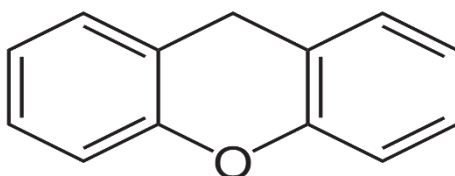
et au lavage. Ils sont largement utilisés dans l'industrie textile, notamment pour la teinture du denim (jean), ainsi que dans certaines applications en peinture et en cosmétique. [11]



**Figure I.4 :** Structure de colorant indigoïde.

➤ **Les colorants xanthènes :**

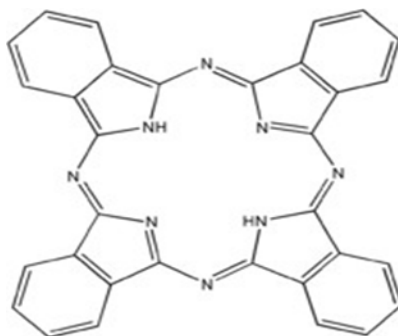
Les colorants xanthènes (Figure I.5) sont des composés dérivés de la fluorescéine halogénée, connus pour leur fluorescence particulièrement intense. Grâce à cette propriété, ils sont largement utilisés comme traceurs, notamment dans la détection des pollutions maritimes ou pour le suivi des écoulements dans les réseaux hydrogéologiques souterrains. Par ailleurs, ces colorants trouvent également des applications variées dans les domaines alimentaire, cosmétique, textile et de l'impression. [12-13]



**Figure I.5 :** Structure de colorant xanthène.

➤ **Les colorants phtalocyanines :**

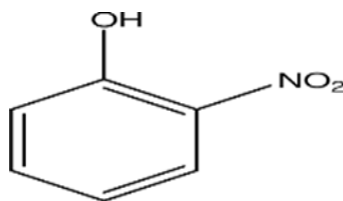
Les colorants phtalocyanines sont une vaste famille de pigments et colorants organiques basés sur une structure macrocyclique plane composée de quatre unités isoindole liées par des ponts azotés, formant un noyau tétraaza-porphyrine. Ces composés présentent une excellente stabilité thermique, chimique et à la lumière, ainsi qu'une forte intensité colorante, principalement dans les teintes bleu-vert. Les phtalocyanines sont largement utilisées dans les industries textiles, plastiques, peintures, encres d'impression et même dans des applications électroniques et optiques. [14-15]



**Figure I.6 :** Structure de colorant Phtalocyanine.

➤ **Les colorants nitrés et nitrosés :**

Les colorants nitrés et nitrosés constituent une catégorie restreinte et relativement ancienne de colorants. Leur utilisation perdure aujourd'hui principalement en raison de leur faible coût, attribuable à la simplicité de leur structure moléculaire. Celle-ci se caractérise notamment par la présence d'un groupe nitro ( $-\text{NO}_2$ ) en position ortho par rapport à un groupement électro-donneur tel qu'un hydroxyle ou un groupe aminé. [16] La figure I.7 ci-dessous illustre les principales structures représentatives de ces colorants.



**Figure I.7 :** Structure de colorant nitré et nitrosé.

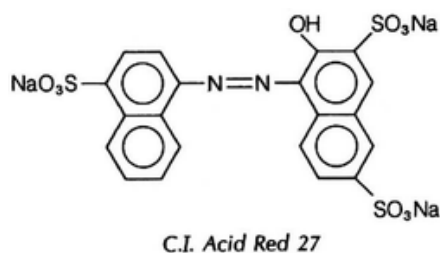
### I.3.4 Classification tinctoriale

La classification tinctoriale consiste à regrouper les colorants selon leurs domaines d'application plutôt que sur leur structure chimique. Cette approche est particulièrement utile pour le teinturier, car elle fournit des informations pratiques sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour différents types de fibres, ainsi que la nature de la liaison formée entre le colorant et le substrat textile. Ces liaisons, qui peuvent être de type ionique, hydrogène, Van der Waals ou covalente, influencent directement la solidité de la teinture et l'efficacité de la fixation du colorant sur la fibre. On distingue plusieurs catégories tinctoriales, cette fois-ci classées en fonction des auxochromes qui accompagnent les chromophores et influencent les propriétés d'application des colorants. [17]

➤ **Les colorants acides ou anioniques :**

Les colorants acides, également appelés colorants anioniques, sont des colorants solubles dans l'eau qui possèdent des groupements acides (souvent sulfonés) leur conférant une charge négative en solution. Ils sont principalement utilisés pour la teinture de fibres protéiques comme la laine, la soie,

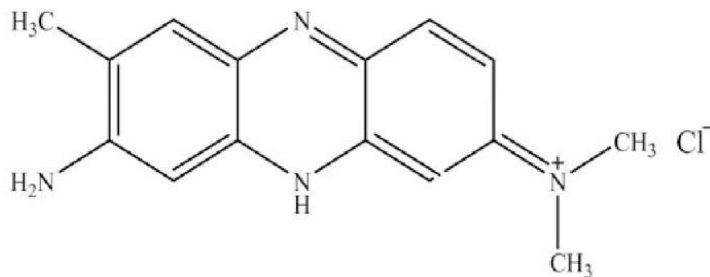
ou encore de fibres polyamides. L'affinité du colorant pour la fibre repose sur la formation de liaisons ioniques entre les groupes acides du colorant et les groupes basiques présents sur la fibre. Cette interaction confère à la teinture une bonne uniformité, bien que la solidité varie selon les structures des colorants et les conditions de traitement. La figure I.8 présente la structure chimique de ce colorant.[18]



**Figure I.8:** Structure du colorant acide ou anionique.

➤ **Les colorants basiques ou cationiques :**

Les colorants basiques, aussi appelés colorants cationiques, sont des colorants synthétiques solubles dans l'eau qui portent une charge positive (cationique) en solution. Cette caractéristique leur permet de se fixer facilement sur des substrats chargés négativement, comme les fibres textiles acides (ex. : acrylique, polyester modifié), le papier ou certains composants biologiques tels que les noyaux cellulaires. Ils sont souvent utilisés pour la teinture des fibres acryliques, la coloration biologique (coloration des cellules) et dans certaines applications industrielles. [19]



**Figure I.9:** Structure de colorant basique.

➤ **Les colorants développés ou azoïques insolubles :**

Les colorants azoïques insolubles sont des colorants formés directement sur la fibre par réaction entre un composant diazoïque et un agent de couplage, utilisés pour teindre les fibres cellulosiques en tons vifs. La figure I.5 montre un exemple d'un colorant azoïque. [20]

➤ **Les colorants de cuve :**

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau à l'état normal, mais qui deviennent solubles après réduction en milieu alcalin. Cette forme réduite, appelée leuco, est capable de pénétrer les fibres textiles. Une fois dans la fibre, le colorant est réoxydé à l'air ou par un agent oxydant, ce

qui le rend à nouveau insoluble et solidement fixé dans la matière. Ces colorants se distinguent par leur excellente solidité à la lumière, au lavage et aux agents chimiques. Ils sont principalement utilisés pour teindre les fibres cellulosiques comme le coton, et l'un des exemples les plus connus est l'indigo, utilisé dans la teinture des jeans en denim. [21]

➤ **Les colorants réactifs :**

Les colorants réactifs sont des colorants hydrosolubles qui se lient de façon covalente aux fibres textiles, notamment aux fibres cellulosiques comme le coton. Cette liaison chimique stable est assurée par un groupe réactif (ex. : triazine, vinylsulfone) qui réagit avec les fonctions hydroxyles de la fibre. Grâce à cette fixation forte, ces colorants présentent une excellente solidité au lavage. Ils sont très utilisés dans l'industrie textile pour leurs teintes éclatantes et leur durabilité. [22]

➤ **Les colorants directs :**

Les colorants directs sont des colorants capables de porter des charges électriques (positives ou négatives) qui interagissent électrostatiquement avec les charges présentes à la surface des fibres. Leur particularité réside dans leur forte affinité pour les fibres cellulosiques, qu'ils peuvent teindre sans l'utilisation de mordants. Cette propriété est principalement due à la structure plane de leurs molécules, qui favorise une bonne orientation et une interaction efficace avec la surface fibreuse. [23]

➤ **Les colorants à mordants :**

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile. [24]

➤ **Les colorants dispersés :**

Les colorants dispersés sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer. [24]

#### **I.4 Principaux usages des substances colorantes**

Les colorants trouvent de nombreuses applications dans divers secteurs. Parmi les domaines d'utilisation les plus importants, on peut citer les suivants. [25]

- Pigments (industrie des matières plastiques).
- Encre, papier (imprimerie).
- Colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire).
- Pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques

(industrie du bâtiment).

- Colorants capillaires (industrie des cosmétiques).
- Colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique).
- Carburants et huiles (industrie automobile etc...).
- Colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical etc.

### **I.5 Analyse de la toxicité des substances colorantes**

La toxicité des colorants résulte en grande partie d'une méconnaissance, tant par les chercheurs que par les utilisateurs, de leurs structures chimiques, qui varient selon le type de colorant. Elle dépend également des conditions et modes d'utilisation. De nombreuses études ont mis en évidence les effets toxiques, voire cancérogènes, de certains colorants azoïques. Par conséquent, les effluents contenant ces substances doivent impérativement être traités avant tout rejet dans le milieu naturel. [26]

### **I.6 Fondements théoriques des médicaments**

#### **I.6.1 Définition et composition d'un médicament**

Selon la législation algérienne en matière de santé publique, un médicament est défini comme toute substance ou association de substances présentée comme ayant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales. Il comprend également toute substance pouvant être administrée à l'homme ou à l'animal en vue d'établir un diagnostic médical ou de restaurer, corriger ou modifier une fonction physiologique, en exerçant une action pharmacologique, immunologique ou métabolique. [33]

En Algérie, la définition et la régulation des médicaments relèvent du cadre législatif établi par le ministère de la Santé, à travers des textes réglementaires adaptés aux normes internationales.

En pratique, un médicament est généralement constitué :

- D'un ou plusieurs **principes actifs**, responsables de l'effet thérapeutique recherché ;
- D'**excipients**, substances inactives sur le plan thérapeutique, mais indispensables pour assurer la fabrication, la conservation, la stabilité et l'administration du médicament.

Les médicaments sont soumis à une réglementation rigoureuse, incluant l'obtention d'une autorisation de mise sur le marché (AMM) délivrée par le Ministère de la Santé, à travers la Direction de la pharmacie et des équipements de santé (DPES). Cette autorisation vise à garantir la qualité, l'efficacité et la sécurité des produits mis à la disposition du public. [33]

### **I.7 Médicaments et agents colorants utilisés dans notre investigation scientifique**

Pour les besoins de cette étude, notre choix s'est porté sur deux médicaments : Fumacur 200 mg, à visée anti-anémique, et Bétadine, utilisé pour ses propriétés antiseptiques.

#### **I.7.1 Fumacur 200mg Comp. B/80**

Fumacur est un médicament générique produit par le groupe SAIDAL en Algérie. Il est formulé sous forme de comprimés contenant 200mg de fumarate ferreux, équivalent à 66mg de fer élémentaire.



**Figure I.10:** Fumacur.

Le tableau **I.1** présente la classe pharmacologique ainsi que les principales notions pharmacologiques relatives au médicament utilisé.

**Tableau I.1 :** Principales notions pharmacologiques « Fumacur ».

<b>Principe actif</b>	Fumarate ferreux 200mg
<b>Excipients</b>	Diocetyl sulfosuccinate de sodium, amidon de maïs, polyvinylpyrrolidone K90, carboxyméthylamidon sodique, stéarate de magnésium.
<b>Classe pharmacologique</b>	Anti-anémique
<b>Forme galénique</b>	Solide, comprimés dosés à 200 mg équivalent à 66mg de fer ferrique (Fe <sup>+2</sup> )

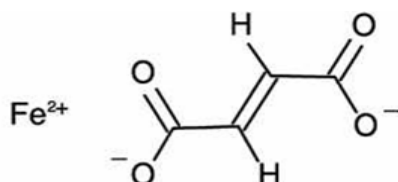
*Chapitre I: Colorants et Médicaments : Généralités et Présence  
dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique*

<b>Conditionnement</b>	Boîte de 80 comprimés
<b>Indications thérapeutiques</b>	Le traitement de l'anémie due à une carence en fer.  La prévention de la carence en fer chez la femme enceinte
<b>Contre-indications</b>	Ce médicament ne doit pas être utilisé en cas de :  Surcharge en fer (par exemple, hémochromatose).  Anémies non liées à une carence en fer, telles que la thalassémie ou l'anémie sidérolitique.  Hypersensibilité au fumarate ferreux ou à l'un des excipients.
<b>Mode d'administration</b>	Ce médicament est mieux absorbé s'il est pris avec un verre d'eau avant les repas. En cas d'intolérance, il est possible de le prendre en plusieurs fois.
<b>Posologie usuelle</b>	Adulte et enfant de plus de 30 kg (environ 10 ans) : 2 ou 3 comprimés par jour.  Femme enceinte : 1 comprimé par jour, à partir du 4 <sup>ème</sup> mois de la grossesse (sur prescription médicale).

Contrairement à de nombreux comprimés colorés artificiellement, la couleur brunâtre du Fumacur n'est pas principalement due à un colorant artificiel, mais : au fumarate ferreux, un

sel de fer brun-rouge naturellement coloré à son oxydation progressive au contact de l'air et de l'humidité.

Nature chimique : Le fumarate ferreux ( $C_4 H_2 FeO_4$ ) contient du fer bivalent ( $Fe^{2+}$ ). Ce fer forme naturellement des complexes de couleur brun-rouge à brun foncé.



**Figure I.11** : structure chimique du fumarate ferreux ( $C_4 H_2 FeO_4$ ).

Oxydation en fer ferrique ( $Fe^{3+}$ ) : Quand le  $Fe^{2+}$  s'oxyde (réagit avec l'oxygène), il devient  $Fe^{3+}$  qui donne des composés comme ;

- Oxyhydroxyde ferrique ( $Fe(OH)_3$ ) → brun
- Oxyde ferrique ( $Fe_2 O_3$ ) → rouge-brun

Cette réaction peut avoir lieu : Pendant la fabrication du comprimé, durant le stockage (surtout si mal protégé) ou même dans l'organisme (mais là, la couleur n'a plus d'intérêt visuel).

Colorants éventuels ajoutés : Dans certains cas, des excipients colorants peuvent être ajoutés pour uniformiser ou renforcer la teinte.

Ces colorants sont souvent : Oxyde de fer brun ou rouge (E172) → un colorant minéral autorisé  
Talc, dioxyde de titane, utilisés pour enrober ou stabiliser l'aspect Mais pour le Fumacur 200mg, aucune teinte vive artificielle n'est mentionnée dans la notice. Le brun vient donc très probablement du fumarate ferreux lui-même et de sa réaction à l'air. [25]

### **I.7.2 La Bétadine**

Bétadine est un médicament antiseptique commercialisé sous différentes formes, produit par plusieurs laboratoires pharmaceutiques, dont certains disponibles en Algérie. Il est formulé à base de povidone iodée, un complexe stable contenant de l'iode actif, reconnu pour ses propriétés antibactériennes, antivirales, antifongiques et antiseptiques.

Selon la forme galénique, la concentration varie généralement entre 7,5 % et 10 % de povidone iodée, ce qui équivaut à environ 0,75 % à 1 % d'iode actif.

Bétadine est utilisée pour désinfecter la peau, les plaies, les muqueuses ou le champ opératoire, en prévention des infections. [26-27]



**Figure I.12 :** Flacon de la Bétadine.

Le principe actif inclus dans la composition de la bétadine utilisée lors de cette étude et toute les caractéristiques thérapeutiques sont classées dans le tableau I.2. [26 -32]

**Tableau I.2 :** Caractéristiques thérapeutiques de la Bétadine.

<b>Substance active</b>	Povidone iodée à 10 % → Ce qui correspond à environ 1 % d'iode actif
<b>Excipients</b>	Glycérol, Éther laurique de macrogol, Phosphate disodique dihydraté, Acide citrique monohydraté, Hydroxyde de sodium, Eau purifiée.
<b>Classe thérapeutique</b>	La Bétadine est classée dans la catégorie thérapeutique des antiseptiques et désinfectants, selon la classification ATC sous le code D08AG02
<b>Classe pharmacologique</b>	Antiseptiques iodés.
<b>Forme galénique</b>	Solution pour application cutanée, de couleur brune, prête à l'emploi
<b>Conditionnement</b>	Flacon de 125ml.

*Chapitre I:Colorants et Médicaments : Généralités et Présence  
dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique*

<b>Indications thérapeutiques</b>	<p>Prévenir et traiter les infections d'origine bactérienne, fongique ou virale sur la peau ou les muqueuses.</p> <p>Avant un acte médical ou chirurgical (désinfection du champ opératoire).</p> <p>Nettoyage et désinfection des petites coupures, éraflures, brûlures peu étendues</p>
<b>Contre-indications</b>	<p>Allergie (hypersensibilité) à l'iode ou à l'un des composants de la Bétadine.</p> <p>Nouveau-né de moins de 1 mois, en raison du risque d'absorption excessive d'iode et de troubles thyroïdiens.</p> <p>Patients atteints de troubles thyroïdiens (notamment hyperthyroïdie ou goitre nodulaire), surtout en cas d'utilisation prolongée ou sur de grandes surfaces.</p>
<b>Voie d'administration</b>	Cutané à usage externe uniquement
<b>Mode d'emploi</b>	Appliquer pure sur la peau à l'aide d'une compresse ou directement en versant la solution, (ne jamais injecter).

**Chapitre I: Colorants et Médicaments : Généralités et Présence  
dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique**

---

	<p>Ne pas rincer, sauf indication médicale.</p> <p>Respecter la durée et la fréquence d'utilisation indiquées par un professionnel de santé.</p> <p>Éviter l'usage prolongé sans avis médical, surtout sur de grandes surfaces ou chez l'enfant</p>
--	---

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] ALEM, Rokaya, TOBAL, Meriem, IMOUDACH Hichem. ETUDE IN SILICO DE LA TOXICITÉ DES COLORANTS UTILISÉS EN INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE, Mémoires Master, Université Blida 1, 2017
- [2] M. Capon, V. Courrilleu, C. Valette, Chimie Des Couleurs Et Des Odeurs, Nantes, Culture Et Technique, 1996.
- [3] Nassau, K. The fifteen causes of color: the physics and chemistry of color. Color. Res. Appl. Pages 4–26, 1987.
- [4] Tripti Singh, Vinay Kumar Pandey, Kshirod Kumar Dash, Sonal Zanwar, Rahul Singh. Natural bio-colorant and pigments: Sources and applications in food processing. Journal of Agriculture and Food Research. Pages 100-628, 2023.
- [5] <https://www.croq-kilos.com/actus/quels-sont-les-differents-types-de-colorants-alimentaires>, 2024.
- [6] Mr Lamri Naidja, Elimination Du Colorant Orange Ii En Solution Aqueuse, Par Voie Photochimique Et Par Adsorption, Magister En Chimie, Université Mentouri De Constantine, 2010.
- [7] Zollinger, H. Color Chemistry: Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments (3rd ed.). Wiley-VCH, 2003.
- [8] Shahid, M., & Mohammad, F. Green chemistry approaches to develop sustainable textile dyes. Green Chemistry Letters and Reviews, 169–179, 2013.

*Chapitre I: Colorants et Médicaments : Généralités et Présence  
dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique*

---

- [9] Hunger, K. Colorants industriels : chimie, propriétés, applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. p. 213-240, 2003.
- [10] Nour Bouanimba, Etude Comparative De La Dégradation Photochimique Et Photocatalytique De Quatre Colorants : Impact De La Structure Chimique Et Corrélation Entre L'adsorption Et L'activité Photocatalytique De Tio<sub>2</sub>, Thèse De Doctorat, Université - Constantine, 2014.
- [11] Zollinger, H. Color Chemistry: Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments (3rd ed.). Wiley-VCH, 2003.
- [12] Bauer., Jacques P And Kalt A., Journal of Photochemistry and Photobiology. A: Chemistry., 140, 2001.
- [13] Stolte, M Et Vieth. M, Removal of Indigo Carmine from Aqueous Solution by Using Activated Carbon. Acta Endosc, Xxxi, 2001.
- [14] Adams, R. Phthalocyanines: Properties and Applications. In Dyes and Pigments, p 215–230. Elsevier, 2004.
- [15] Smith, K. M. Phthalocyanines and Related Compounds. Academic Press, 2008.
- [16] Winnacker Et Kucheler, 1968 ; Hedayatullah, 1976 ; Belhadj, 2007 ; Parkt Et Al, Perrin Et Scharff, 1999.
- [17] Viallier, P. La teinture : principes, procédés, applications. Paris: Éditions Tec & Doc, 1992.
- [18] Shore, J. Colorants and Auxiliaries. Organic Chemistry and Application Properties. Society of Dyers and Colourists, 1990.
- [19] Shore, J. Colorants and Auxiliaries. Colorants. Society of Dyers and Colourists, 2002.
- [20] Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir-Ghedira et Ridha Mosrati. Textiles dyes as a source of wastewater contamination: screening of the toxicity and treatment methods. Journal of Water Science. Pages 193-327, 2010
- [21] Vinet, F., & Fournier, E. Colorants et teintures. In Encyclopædia Universalis, 2010.
- [22] Encyclopædia Universalis. Colorants – Classification des colorants.
- [23] Zaki Jamal Et N Eghbil Amina ; Méthodes De Traitement Des Eaux Polluée Par Les Colorants ; Mémoire De Master ; Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2020.

*Chapitre I: Colorants et Médicaments : Généralités et Présence  
dans les Déchets de l'Industrie Pharmaceutique*

---

- [24] Zaki Jamal Et N Eghbil Amina ; Méthodes De Traitement Des Eaux Polluée Par Les Colorants ; Mémoire De Master ; Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2020.
- [25] Salmi Djaafar Et Slimani Kahina : Application De L'électro-Flottation Electrocoagulation Pour L'élimination D'un Colorant Textile Cas Du Bleu D'indanthrène Rs, Université A.Mira-Bejaia ,2014.
- [26] H. Zollinger, Color Chemistry: Syntheses, Properties, And Applications Of Organic Dyes and Pigments, Vch Publications, New York, N.Y .1991.
- [27] [https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/medicaments/le-bon-usage-des-medicaments/article/qu-est-ce-qu-un-medicament?utm\\_source=chatgpt.com](https://sante.gouv.fr/soins-et-maladies/medicaments/le-bon-usage-des-medicaments/article/qu-est-ce-qu-un-medicament?utm_source=chatgpt.com), 2016.
- [28] Pharmacie Santoni, Boticinal. [https://pharmacie-santoni-corse.fr/medicaments/14467-betadine-dermique-10-solution-pour-application-cutanee-en-recipient-unidose-10x5ml.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://pharmacie-santoni-corse.fr/medicaments/14467-betadine-dermique-10-solution-pour-application-cutanee-en-recipient-unidose-10x5ml.html?utm_source=chatgpt.com), 2022.
- [29] Pharmacie Savelli, Boticinal.
- [30] Base de données publique des médicaments – ANSM.
- [32] Base de données publique des médicaments – ANSM.
- [33] Décret exécutif n° 92-284 du 6 juillet 1992, relatif à l'enregistrement, à la fabrication, à l'importation, à l'exportation et à la mise sur le marché des médicaments à usage humain. Journal Officiel de la République Algérienne, n° 49 du 8 juillet 1992.

***Chapitre II:***  
***Aspects généraux de***  
***l'adsorption et propriétés des***  
***adsorbants***

## **II 1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous détaillerons des renseignements bibliographiques relatifs à l'adsorption des colorants ainsi qu'aux différentes modalités d'adsorption. Nous aborderons également les divers paramètres influençant le processus d'adsorption des polluants, la classification des isothermes d'adsorption. Dans la seconde partie de ce chapitre, nous allons proposer un récapitulatif bibliographique des matériaux employés dans notre recherche, connu sous le nom de pelures de pommes de terre et pelures de patates douces.

## **II 2 .Définition d'adsorption**

L'adsorption est un processus physico-chimique qui se manifeste principalement par une variation de concentration à l'interface de deux phases qui ne se mélangent pas. Il ne faut pas confondre ce phénomène de surface avec l'absorption, qui est un phénomène de profondeur. On trouve cinq catégories selon la nature des deux phases concernées : (gaz/liquide), (gaz/solide), (liquide/liquide), (liquide/solide) et (solide/solide). On peut faire la distinction, pour chaque type d'interface, entre le scénario où ces phases sont pures et celui où elles forment des mélanges. Cette étude portera notamment sur les phénomènes d'adsorption liés aux interfaces liquide/solide, c'est-à-dire l'adsorption de liquides, qu'ils soient purs ou en mélange, par les solides généralement considérés comme des phases pures.[1]

## **II .3. Principe d'adsorption**

Le déplacement des molécules s'effectue depuis la phase fluide jusqu'au cœur de l'adsorbant. Ce phénomène se produit à l'intérieur d'un grain adsorbant. Les matériaux adsorbants possèdent une grande surface spécifique, souvent développée à partir de matériaux poreux utilisés dans l'industrie. Lors du processus d'adsorption, une substance chimique, telle qu'un polluant présent dans une solution aqueuse, est capturée par l'adsorbant.[2]

## **II .4. Application d'adsorption**

L'adsorption trouve de nombreuses applications dans divers domaines, notamment :

- L'épuration de l'air contenant des composés organiques volatils.
- L'extraction des métaux lourds des effluents industriels.
- Le raffinage des hydrocarbures et des produits pétroliers.
- Le séchage, la purification et l'élimination des odeurs des gaz.

- La récupération des solvants volatils et de l'alcool lors des procédés de fermentation.
- L'élimination de la coloration des liquides.
- La chromatographie en phase gazeuse, une technique de séparation reposant sur les différences de vitesse d'adsorption des substances sur un matériau adsorbant spécifique. [3]

## **II .5. Types d'adsorption**

L'identification de deux sortes d'adsorption repose sur le type de liaisons établies et la quantité d'énergie libérée lors de la fixation d'une molécule à la surface d'un solide. Adsorption physique et adsorption chimique.[4]

### **II 5.1 Adsorption physique (physisorption)**

Dans le processus d'adsorption physique, l'attraction et la fixation des espèces dissoutes sur un substrat solide sont assurées par de faibles forces intermoléculaires, appelées forces de Van der Waals. Ce phénomène se produit de manière quasi instantanée en raison de la rapidité de l'adsorption. De plus, une diminution de la température favorise ce type d'adsorption, car il se distingue par une réversibilité rapide.[5]

### **II. 5.2 Adsorption chimique (chimisorption)**

Contrairement à l'adsorption physique, l'adsorption chimique repose sur la formation de liaisons chimiques, généralement covalentes ou ioniques, comme dans le cas des échanges d'ions entre charges opposées. Ce processus peut être irréversible et entraîner une transformation chimique de l'espèce adsorbée.[5]

Le tableau II.1 présente une comparaison entre les deux types d'adsorption qui peuvent intervenir dans les mécanismes d'adsorption.

**Tableau II.1 :** Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

<b>Propriétés</b>	<b>Adsorption physique</b>	<b>Adsorption Chimique</b>
Types de liaison	Liaison de Van der Waals	Liaison chimique
Température du Processus	Relativement faible comparée à T d'ébullition de l'adsorbât	Plus élevée que la T d'ébullition de l'adsorbât

Individualité des Molécules	L'individualité des molécules est conservée	Destruction de l'individualité des molécules
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide, indépendante de T	Très lente
Chaleur d'adsorption	Inférieur à 10 kcal/mole	Supérieur à 10 kcal/mole
Énergie mise en jeu	Faible	Élevée
Type de formation	Formation en multicouches	Formation en monocouche

## II.6 Le mécanisme d'adsorption

Le processus d'adsorption donné par la figure (II.1), peut être divisé en plusieurs étapes distinctes comme suit :

✚ **Diffusion externe** : Cette phase correspond au transfert des molécules de soluté de la phase liquide environnante vers la couche liquide adjacente à la surface de la particule solide, impliquant des mécanismes de diffusion et de convection.

✚ **Diffusion interne** : Durant cette étape, le soluté migre à travers le film liquide jusqu'à la surface externe de l'adsorbant.

✚ **Diffusion intra particulaire** : Le soluté pénètre à l'intérieur de la particule de l'adsorbant sous l'effet d'un gradient de concentration.

✚ **Adsorption dans les micropores** : Enfin, les molécules de soluté sont fixées à l'intérieur des micropores de l'adsorbant. [6]

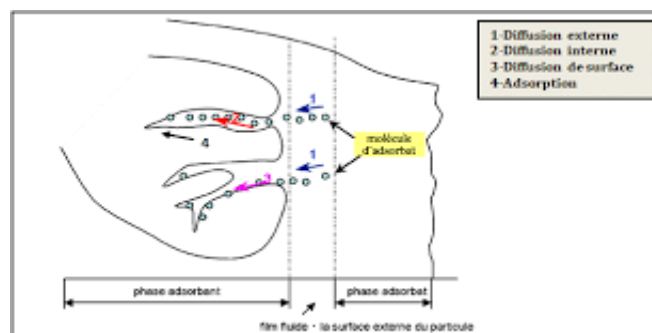


Figure II .1 : Mécanisme du transfert d'un adsorbat vers le site d'adsorption au sein d'un grain d'adsorbant [7]

## **II.7 Les paramètres influençant sur l'adsorption**

Dans le cadre de l'adsorption en phase liquide, divers éléments peuvent impacter le déroulement du processus. Parmi ces facteurs, on retrouve notamment :

### **II .7.1 La température**

C'est un processus global résultant d'un grand nombre de processus à l'interface solide-liquide. Elle détermine la nature de l'adsorption. Avec respectivement une température exothermique, endothermique ou athermique. Par conséquent, l'augmentation de la température facilite le processus de chimisorption [8] et son abaissement facilite le processus de physisorption.[9]

### **II .7.2 Le pH de la solution**

Le pH joue un rôle essentiel dans l'étude de l'adsorption, car il peut affecter à la fois la structure de l'adsorbant et de l'espèce adsorbée, ainsi que le mécanisme impliqué dans le processus d'adsorption.[10]

### **II .7.3 Surface spécifique**

L'adsorption est étroitement liée à la surface spécifique du matériau, tandis que le rapport entre la surface et la masse est déterminé par sa porosité.[11]

### **II. 7.4 La vitesse d'adsorption**

L'adsorption physique en phase liquide se déroule à une vitesse plus lente. La viscosité de la solution influence ce processus, et une diminution de celle-ci par chauffage peut accélérer l'adsorption. C'est pourquoi la décoloration des solutions à l'aide d'adsorbants solides est souvent réalisée à des températures élevées.[12]

### **II. 7.5 Masse de l'adsorbant**

L'adsorption augmente avec la quantité d'adsorbant présente dans la solution. Cependant, en raison du coût élevé des adsorbants, il est préférable d'opter pour un rapport liquide-solide optimisé. [13]

## **II.8 Isothermes d'adsorption**

Les isothermes d'adsorption sont cruciales pour déterminer les capacités maximales d'adsorption et pour développer de nouveaux matériaux adsorbants. De nombreux modèles théoriques ont été élaborés pour représenter ces isothermes. [14]

### **II .8.1. Capacité d'adsorption**

L'efficacité du processus d'adsorption est évaluée en déterminant la capacité d'adsorption du matériau, notée  $Q_e$ , et exprimée en milligrammes de métal adsorbé par gramme d'adsorbant. Cette capacité est calculée à l'aide de la formule suivante. [15]

$$q_e = \frac{(C_0 - C_{eq}) \times V}{m} \quad (\text{II.1})$$

Où

$q_e$  : Capacité d'adsorption du support (mg/g).

$C_0$  : Concentration initiale du substrat (mg/L) à  $t=0$ .

$C_{eq}$  : Concentration à l'équilibre (mg/L).

$V$  : Volume de la solution(L).

$m$  : Masse du support (g)

### II .8.2 Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoide), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante) donner par la figure (II.2). Après cette description nous abordons l'interprétation des différentes classes d'isothermes. [16 -17]

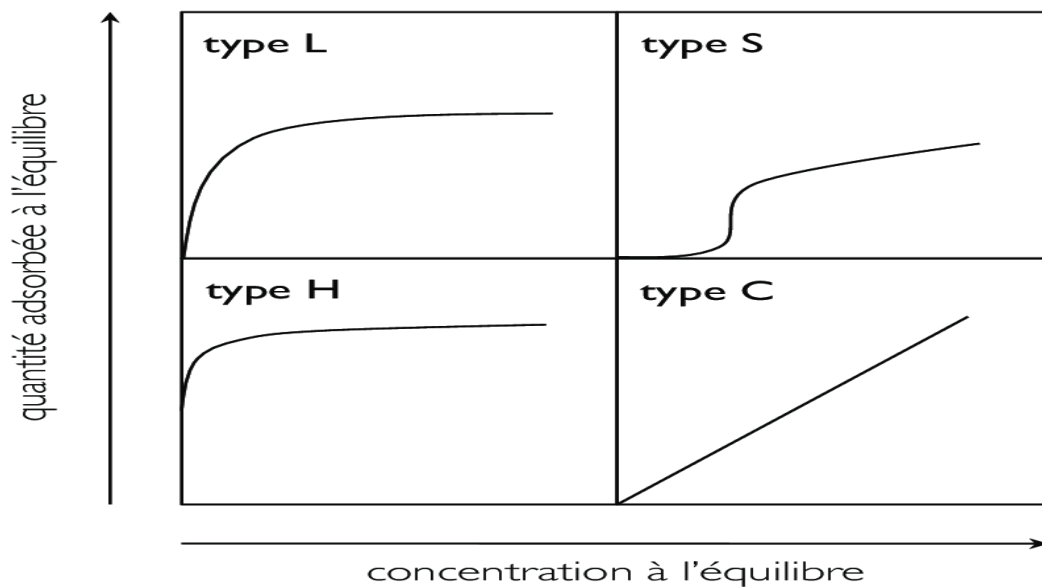


Figure II. 2 : Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure.

### **II .8.2.1 Classe L**

Les isothermes d'adsorption de classe L se caractérisent, à de faibles concentrations en solution, par une courbure orientée vers le bas, indiquant une réduction progressive des sites libres au fur et à mesure de l'adsorption. Ce comportement se manifeste lorsque les interactions entre les molécules adsorbées sont faibles. Il est fréquemment observé lorsque les molécules s'adsorbent à plat, limitant ainsi leur attraction latérale. Ce type d'isotherme peut également apparaître lorsque les molécules s'adsorbent verticalement et que la compétition entre le solvant et le soluté pour l'adsorption est faible. Dans ce contexte, l'adsorption individuelle des molécules est suffisamment forte pour que les interactions latérales deviennent négligeables. [18]

### **II. 8.2.2 Classe S**

Les isothermes de cette catégorie se caractérisent, à faible concentration, par une courbure orientée vers le haut. Ce phénomène traduit une adsorption coopérative, où les molécules adsorbées facilitent l'adsorption d'autres molécules. Cette interaction résulte des forces de Van der Waals, qui entraînent l'agrégation des molécules en îlots, où elles se resserrent les unes contre les autres. Ce comportement est particulièrement favorisé lorsque les molécules de soluté s'adsorbent de manière verticale, notamment dans le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel, et lorsque la compétition pour l'adsorption entre le solvant et le soluté est intense. [19]

### **II 8.2.3 Classe H**

La forme « H » représente une variation spécifique de la forme « L », caractérisée par une pente initiale très abrupte. Ce phénomène se produit lorsque le soluté présente une affinité particulièrement élevée pour la surface solide. [20]

### **II .8.2.4 Classe C**

La forme « C » se traduit par une droite passant par l'origine, indiquant que le rapport  $Q_e/C_e$  appelé le coefficient de distribution  $k_d$ , reste constant. Ce comportement est fréquemment observé lors de l'adsorption sur les argiles. Une autre approche pour analyser les données expérimentales consiste à représenter  $k_d = Q_e/C_e$  en fonction de  $Q_e$  en utilisant une échelle linéaire ou logarithmique, notamment lorsque les expériences couvrent plusieurs ordres de grandeur en concentration. [21]

## **II 8.3 Modèles d'isotherme d'adsorption**

Le phénomène d'adsorption a été décrit à l'aide de divers modèles mathématiques et empiriques, chacun basé sur des hypothèses et des approximations spécifiques. Parmi les modèles les plus couramment utilisés, on peut citer :

### II .8.3.1 Modèle de Langmuir

La théorie de Langmuir a été développée pour étudier l'adsorption de molécules gazeuses sur des surfaces métalliques. Cependant, son application aux systèmes naturels reste limitée, car l'adsorption en monocouche sur des sites homogènes y est rarement observée. L'isotherme de Langmuir est décrite par l'équation :

$$\frac{C_{eq}}{q_e} = \frac{1}{K_L b} + \frac{1}{b} C_{eq} \quad (\text{II.2})$$

Où :

$C_{eq}$  : Concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/L).

$q_e$  : Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g).

$K_L$  : Constante correspond à l'énergie d'adsorption.

$b$  : Capacité maximale d'adsorption. [20]

### II .8.3.2 Modèle de Freundlich

En 1962, Freundlich a développé un modèle décrivant l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. Ce modèle, formulé à partir d'une équation à deux paramètres ( $K_f$  et  $n$ ), suppose une répartition exponentielle des énergies des sites d'adsorption présents sur la surface du support. Il se caractérise par une adsorption spécifique sur des sites définis.

Ce modèle est décrit par :

$$q_e = K_f C_{eq}^{1/n} \quad (\text{II.3})$$

Sachant que :

$q_e$  : La quantité d'entités adsorbées par gramme d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

$C_{eq}$  : La concentration de l'adsorbant dans la solution à l'équilibre (mg/L).

$K_f$  : La constante de Freundlich (L/mg).

$n$  : Paramètre énergétique de Freundlich.

Lorsque le paramètre  $n$  se situe entre 1 et 10, l'adsorption est considérée comme favorable. En revanche, une valeur de  $n$  inférieure à 1 indique une adsorption limitée. [22]

Les paramètres  $k_f$  et  $n$  du modèle de Freundlich peuvent être déterminés expérimentalement en appliquant la transformation logarithmique à l'équation correspondante :

$$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln c_{e,q} \quad (\text{II.4})$$

### II .8.2.3. Modèle de Temkin

L'isotherme de Temkin considère que la chaleur d'adsorption des molécules dans la couche adsorbée diminue de façon linéaire avec l'augmentation du taux de recouvrement, en raison de la réduction des interactions entre l'adsorbant et l'adsorbat. Par conséquent, l'adsorption est caractérisée par une distribution homogène des énergies de liaison à la surface. La formule de l'isotherme de Temkin s'exprime comme suit [23]:

$$q_e = \left(\frac{R_T}{b_t}\right) \ln(K_t \cdot C_e) \quad (\text{II.5})$$

Ou sous la forme linéaire donner par équation si dessous :

$$q_e = B_1 \ln k_t + B_1 \ln c_e \quad (\text{II.6})$$

$B_1 = R_T/b_t$  (En J/mol) représente la constante de Temkin associée à la chaleur de sorption, tandis

que  $K_t$  (en L/g) correspond à la constante d'équilibre d'adsorption, liée à l'énergie de liaison maximale.

## II.9 Cinétique d'adsorption

Les processus d'adsorption se distinguent par leur cinétique et leur comportement à l'équilibre. Le transport de l'adsorbat vers l'interface solide-solution (adsorbant) et sa fixation sur la surface de l'adsorbant, qui reflète le taux d'interaction physicochimique à la surface, influencent directement la vitesse d'adsorption et déterminent ainsi la cinétique du processus. [24-25]

En règle générale, la cinétique d'un processus d'adsorption spécifique peut être évaluée dans un système discontinu, où l'évolution des concentrations en fonction du temps est analysée de manière systématique. [26] Les équations du pseudo-premier ordre et du pseudo-deuxième ordre sont parmi les modèles les plus couramment utilisés pour décrire la cinétique d'adsorption des composés organiques et de nombreux autres types de substances. [27]

### II.9.1 Modèle cinétique du pseudo premier ordre

L'équation du pseudo-premier ordre, également connue sous le nom d'équation cinétique, est fréquemment appliquée pour étudier l'adsorption d'un adsorbat à partir d'une solution aqueuse. Cette approche repose sur l'idée que la vitesse d'adsorption des solutés au fil du temps est proportionnelle à l'écart entre la concentration à saturation et la quantité adsorbée par le solide à un moment donné.[28] Le modèle de pseudo-premier ordre se formule suivant :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (\text{II.7})$$

Lorsque  $q_t = 0$  à  $t = 0$ , l'intégration de l'équation donne la forme linéaire suivante :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (\text{II.8})$$

Où

$q_e$  : La quantité de soluté adsorbé par unité d'adsorbant (mg/g) à l'équilibre,

$q_t$  : La quantité de soluté adsorbé par unité d'adsorbant (mg/g) à l'instant  $t$ ,

$k_1$  : La constante de vitesse de pseudo-premier ordre (min<sup>-1</sup>),

$t$  : Le temps de contact (min).

La constante de vitesse d'adsorption ( $k_1$ ) a été calculée à partir de la courbe de  $\log(q_e - q_t)$  par rapport à  $t$ .

### II.9.2 Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre

Le modèle du pseudo-deuxième ordre repose sur l'idée que le taux d'occupation des sites d'adsorption est proportionnel au carré du nombre de sites disponibles par rapport à ceux déjà occupés, ainsi qu'à la quantité de soluté adsorbé. Ce modèle indique la présence d'un mécanisme de chimisorption, impliquant par exemple un échange d'électrons entre la molécule de l'adsorbat et l'adsorbant solide. [29]

Présentons la cinétique du pseudo-deuxième ordre comme suit :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (\text{II.9})$$

L'intégration de l'équation à  $q_t = 0$  et  $t = 0$ , donne la forme linéarisée suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e} + \frac{t}{q_e} \quad (\text{II.10})$$

Où  $k_2$  représente la constante de vitesse du pseudo-deuxième ordre (g/mg.min).

Le taux initial d'adsorption,  $h$  (mg/g.min), lorsque  $t \rightarrow 0$ , est exprimé comme suit :

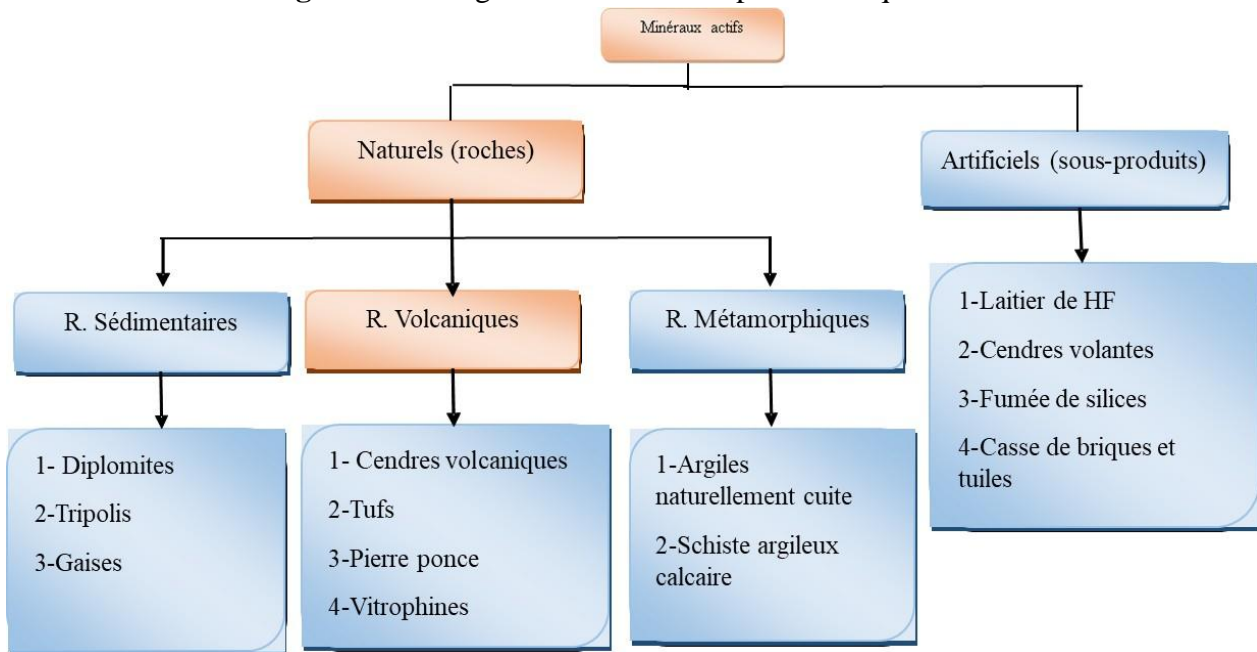
$$h = k_2 q_e^2 \quad (\text{II.11})$$

Les valeurs de  $h, q_e$ , et  $k_2$  peuvent être déterminées à partir de la représentation linéaire de  $t/q_t$  en fonction de  $t$ .

## II.10 Définition de l'adsorbant

Le terme "pouzzolane" initialement désignait un matériau naturel issu de projections volcaniques, nommé d'après la ville italienne de Pouzzole où ces roches se trouvent. Avec la découverte de matériaux similaires dans divers pays tels que l'Allemagne, l'Espagne, la France, le terme "pouzzolane" s'est généralisé pour englober un large éventail de matériaux d'origines diverses. Actuellement, le terme "pouzzolane" est étendu au sens industriel pour inclure tout matériau naturel ou artificiel riche en silice et alumine capable de réagir avec la chaux en présence d'eau à température ambiante pour former des produits liants. Une classification de ces matériaux a été présentée sur la Figure II.3, lors du 6ème Congrès International de la Chimie du Ciment en 1974 [26].

Figure II.3: Origines des matériaux pouzzolaniques.



### II.11 Différents types de pouzzolane et l'aspect normatif

La classification des pouzzolanes (Figure II.4) est complexe en raison de la diversité des matériaux inclus dans cette catégorie. On peut cependant les diviser en deux groupes principaux : les pouzzolanes naturelles et les pouzzolanes artificielles.

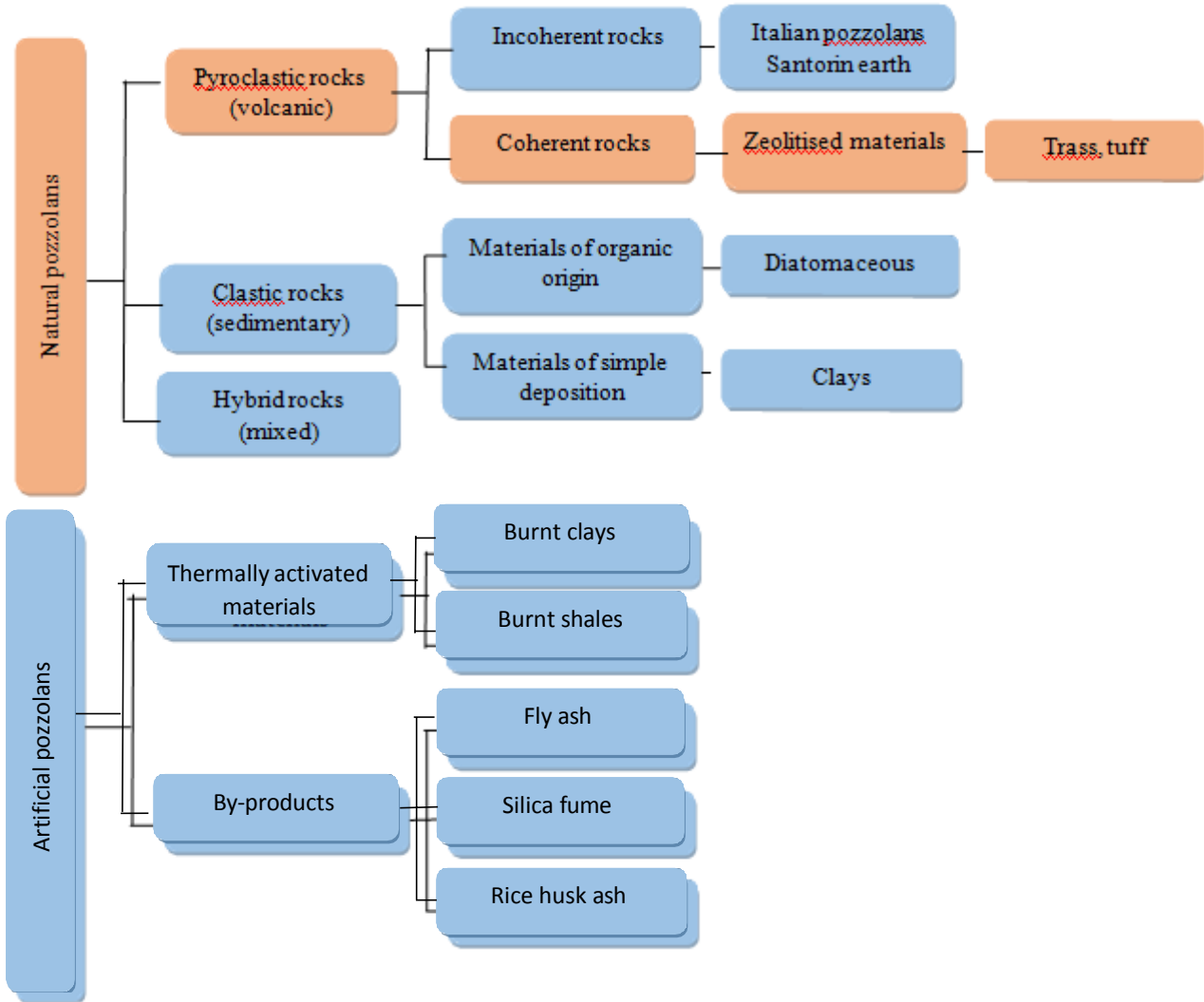


Figure II.4: Classification des pouzzolanes. [28]

Les pouzzolanes naturelles ne nécessitent aucun traitement, sauf le broyage, tandis que les pouzzolanes artificielles sont obtenues soit par traitement thermique de matériaux sans ou très peu de pouzzolanicité, soit en tant que sous-produits industriels soumis à des températures élevées, puis à un refroidissement brutal au cours des processus industriels à partir desquels ils sont obtenus [28].

## **II.12 Différents types de pouzzolane**

### **II.12.1 Pouzzolane naturelle**

Les pouzzolanes naturelles, généralement d'origine volcanique, sont principalement composées de silice réactive, d'alumine et d'oxyde de fer [29]. Elles ne durcissent pas par elles-mêmes lorsqu'elles sont mélangées avec de l'eau, mais réagissent à température ambiante, en présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium dissous pour former des composés de silicate de calcium et d'aluminium de calcium qui développent des résistances, similaires à ceux formés par le ciment lors de son hydratation [30].

#### **II.12.1.1 Matériaux d'origine volcanique**

Les roches pyroclastiques, issues d'éruptions volcaniques explosives, projettent des particules fines de magma fondu dans l'atmosphère. La libération rapide de gaz dissous dans le magma liquide due à la diminution de pression pendant l'éruption entraîne la formation de bulles et de conduits microscopiques dans chaque particule, créant une structure microporeuse. Ces particules subissent également un processus de trempe qui les rend vitreuses. Les dépôts au sol, généralement composés de cendres mêlées à des fragments des conduits volcaniques ou de la base du volcan, peuvent être lâches et hétérogènes [26]. Le tableau suivant présente les analyses chimiques de la pouzzolane.

**Tableau II.2 : Analyse chimique de quelques pouzzolanes volcaniques [26].**

<b>Pouzzolane</b>	<b>Pays</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>P. F</b>
<b>Bacoli</b>	Italie	53.08	17.87	4.29	9.05	1.23	3.08	7.61	0.31	0.65	3.05
<b>Barile</b>	Italie	44.07	19,18	9.81	12.25	6.66	1.64	1.12	0.97	Tr*	4.42
<b>Volvic</b>	Farnce	54.30	16.80	/	/	/	4.47	2.6	/	/	/
<b>Rhine tuffash</b>	Allemagne	58.91	19.53	2.85	2.48	1.33	6.12	4.53	/	/	2.21
<b>Higashi Matsuyama</b>	Japon	71.77	11.46	1.14	1.10	0.54	1.53	2.55	0.14	/	6.50

#### **II.12.1.2 Matériaux d'origine sédimentaire**

Les argiles et les terres de diatomées, roches sédimentaires, ont la capacité de se combiner avec la chaux. Les argiles proviennent de la transformation de roches magmatiques, tandis que les terres de diatomées se forment à partir des squelettes siliceux de micro-organismes déposés en eaux douces ou marines. Bien que ces deux matériaux aient des origines différentes, leur dépôt dans l'eau les amène à se mélanger. Les minerais d'argile, en particulier ceux du groupe de montmorillonite,

peuvent réagir avec la chaux pour former des hydrates de silicate et d'aluminate de calcium. Cependant, ils ne peuvent pas remplacer la pouzzolane car leur utilisation accrue augmente la demande en eau et diminue la résistance du mortier et du béton [26].

### **II.12.1.3 Matériaux d'origine mixte**

Au nord de Rome, on trouve des dépôts stratifiés d'une roche friable appelée sacrofanite, composée de matériaux d'origines variées (volcanique, sédimentaire et organique). Les couches supérieures de la sacrofanite contiennent jusqu'à 90 % de silice, subissent une perte importante lors de la chauffe et contiennent quelques autres oxydes. En revanche, les couches plus profondes présentent une teneur en silice moins élevée, une teneur en alumine pouvant atteindre environ 20%, mais de faibles quantités d'autres oxydes. La faible teneur en fer explique la couleur claire de ces matériaux, souvent appelée « terre blanche » [26]. Les analyses chimiques de la pouzzolane riche en silice sont données par le tableau suivant :

**Tableau II.3 :** Analyse chimique de quelque pouzzolane riche en Silice [26].

<b>Pouzzolane</b>	<b>Pays</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>So<sub>3</sub></b>	<b>P.F</b>
<b>Moler</b>	Danemark	75.6	8.62	6.72	/	1.1	1.34	0.43	1.42	1.38	2.15
<b>Terre blanche(a)</b>	Italie	90.00	2.70	0.70	/	0.2	/	/	/	/	6.10
<b>Gaise</b>	Farnce	79.55	7.10	3.20		2.40	1.04	/	/	0.86	5.90
<b>Diatomite</b>	USA	85.97	2.30	1.84	/	Trace	0.61	0.21	0.21	/	8.29
<b>Beppu avec argile</b>	Japon	87.75	2.44	0,41	1.10	0.19	0.23	0.11	0.11	/	/

### **II.12.2 Pouzzolane artificielle**

Les pouzzolanes artificielles sont des résidus provenant de certaines industries, comme les cendres volantes des centrales thermiques et la fumée de silice, qui contiennent une quantité significative de silice et d'alumine réactives [31].

#### **II.12.2.1 Cendre volantes**

Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques. Leur composition chimique et leur phase dépendent des impuretés présentes dans le charbon brûlé. Les cendres volantes peuvent avoir une forme sphérique avec une distribution granulométrique similaire à celle du ciment Portland, et elles peuvent contenir des sphères creuses ou des particules angulaires.

Elles se divisent en trois catégories :

- Les cendres silico-alumineuses (cendre de houille),
- Les cendres sulfocalciques (cendre de lignite)
- Les cendres non typifiées de composition irrégulière ou de propriétés incertaines. [32]

#### II.12.2.2 Argiles, Schistes, Terres de diatomées torrifiées

Le chauffage des argiles, des schistes et des terres de diatomées à des températures correspondant à la décomposition thermique des minéraux qu'ils contiennent entraîne la formation d'un mélange de silice et d'alumine amorphe. Cette réaction provoque une augmentation de la réactivité de la chaux et une perte de plasticité des pâtes de ciment, ce qui peut conduire à des résistances mécaniques comparables à celles obtenues avec l'utilisation de pouzzolanes ou de cendres volantes [32].

### II.13 Compositions de pouzzolane

#### II.13.1 Compositions chimiques de pouzzolane

La pouzzolane est principalement composée de quartz ( $SiO_2$ ), cordiérite ( $Mg_2Al_3 [AlSi_5O_{18}]$ ), hématite ( $Fe_2O_3$ ), analcime ( $Na [AlSiO_6] H_2O$ ) et axinite ( $Ca_2 (Fe, Mn) Al_2[SiO_4]_4$ ), avec une grande quantité de partie amorphe (Figure II.5) [33] :

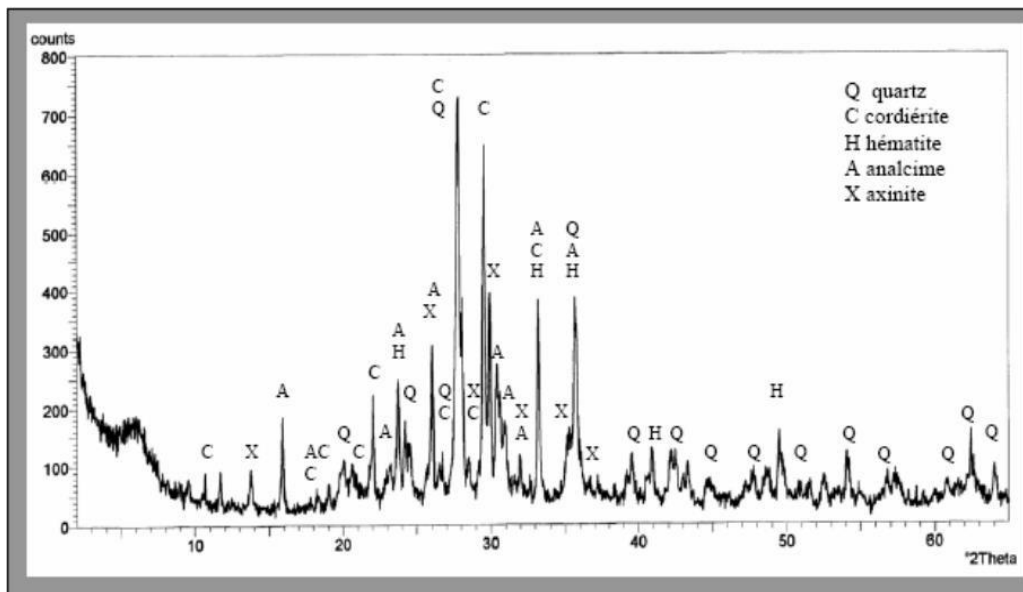


Figure II.5: Diffractogramme de la pouzzolane. [33]

L'observation au microscope électronique à balayage (MEB) de la pouzzolane montre que les particules de pouzzolane de néoformation ont une structure poreuse similaire à celle du laitier. La figure II.6 représente la microanalyse globale [33].

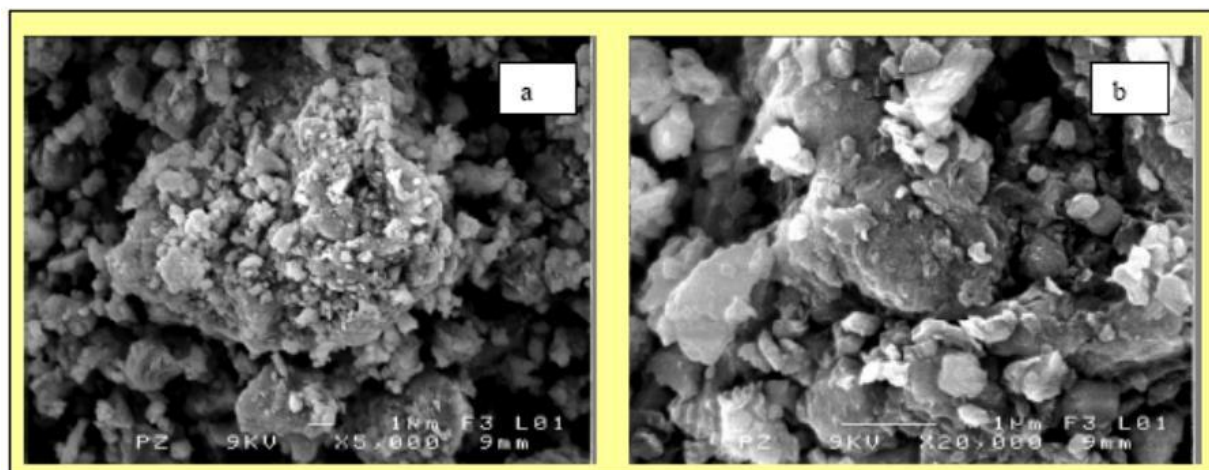


Figure II.6: Observation au MEB de la pouzzolane.

### II.13.2 Compositions physiques de pouzzolane

La pouzzolane reçue au laboratoire était un sable 0-2 humide de couleur noire et rouge, nécessitant une phase de préparation incluant le séchage et le broyage, qui sera détaillée lors de sa caractérisation physique [34].

Un matériau a la caractéristique d'une pouzzolane si :

- Sa composition chimique vérifiée :  $Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3 > 70\%$  ;
- Son indice d'activité I est :  $0,67 < I < 1$  ;
- Sa teneur en verre  $> 34\%$ .

Le Tableau II.4 représente l'ensembles des caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle.

Tableau II.4: Caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle [35].

Caractéristiques physiques	Valeurs
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.98
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.75
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3560
Pouzzolanité (%)	85
Absorption (%)	58.70

Porosité (%)	57.10
Humidité (%)	2.50
Perte au feu (%)	5.60

### II.13.3 Compositions de minéralogie de pouzzolane

Les pouzzolanes naturelles peuvent contenir divers minéraux, mais leur composant principal est une phase vitreuse à base de silice. La teneur en verre des pouzzolanes naturelles d'origine volcanique varie généralement de 50 % à 97 %, avec le reste étant principalement constitué d'argiles, de quartz et de feldspaths. Dans les terres à diatomées, la phase vitreuse peut être aussi basse que 25 %, tandis que certaines peuvent être presque entièrement vitreuses, le reste étant composé de minéraux argileux, de quartz et de feldspath. Certains minéraux présents dans certaines pouzzolanes naturelles sont répertoriés dans le tableau II.5.

**Tableau II.5:** composition minéralogique de diverses pouzzolanes naturelles [28].

Type	Référence	Phases minérales
Pyroclastique (incohérente)	Costa and masazza(1974)	Verre, feldspaths, quartz, olivine, minéraux argileux
	Mehta (1981)	Verre, quartz, anorthite, labradorite
	Edroghdu (1996)	Verre, augite, albite, hornblende
	Mielenz et al (1950)	Glass, calcite, quartz, feldspar, sanidine, montmorillonite
Pyroclastique (cohérente)	Ludwing and Schwiete(1963)	Verre, quartz, feldspaths
	Edroghdu et al (1999)	Glass, quartz, calcite, albite, hornblende
	Edroghdu (1996)	Verre, clinoptilolite, quartz, sanidine, illite
Clastique (terre de diatomées)	Aruntas et al (1998)	Verre, quartz, feldspath, smectite
	Takemoto and Uchikawa(1980)	Opale, quartz, cristobalite

### II.14 Activité pouzzolanique

L'activité pouzzolanique implique les réactions chimiques entre les phases réactives de la pouzzolane, l'eau et le calcaire. Les structures amorphes sont considérées plus réactives que les structures cristallines en raison de la mobilité et de la position de surface de leurs atomes. Les pouzzolanes en verre avec peu de minéraux cristallins non réactifs sont très actifs, tandis que les pouzzolanes faibles ont plus de minéraux cristallins et moins de verre. Une étude de Walker et Pavía souligne que l'amorphie influence de l'avantage la réactivité pouzzolanique que toute autre propriété. Les phases d'aluminosilicate amorphes réagissent avec le CH pour former du C-S-H et des phases en aluminium [36].

### **II.15 Mécanisme de la réaction pouzzolanique**

L'étude du mécanisme de la réaction pouzzolanique se concentre sur l'hydratation individuelle des composés du ciment en présence de la pouzzolane. [37]

Selon le modèle de Le Chatelier, le processus se déroule en trois étapes :

- **Etape d'attaque** : Les molécules d'eau favorisent la libération d'ions tétraédriques, tels que l'ion  $\text{SiO}_4\text{H}^{-3}$  ou l'ion  $\text{AlO}_4\text{H}^{-}$ , en coupant les liaisons ioniques.
- **Etape de diffusion** : Les ions libérés se déplacent dans la solution sous l'effet de l'agitation thermique, se dirigeant vers les sites de cristallisation d'hydrate.
- **Etape de cristallisation des hydrates** : La cristallisation débute sur les surfaces minérales, formant une couche liante qui favorise la cohésion. La présence de pouzzolane sur les surfaces inertes ralentit progressivement le processus d'attaque, menant éventuellement à une inhibition totale. [38]

### **II.16 L'utilisation de pouzzolane**

La pouzzolane est largement utilisée dans divers domaines, tels que la stabilisation des sols pour les routes et dans le génie civil pour diverses applications. En plus d'être un composant standard des ciments et des bétons, elle peut également servir de granulats pour les bétons légers. En Algérie, des matériaux pouzzolaniques d'origine volcanique sont abondants sur une étendue de 160 km le long de la frontière Algéro-Marocaine jusqu'au Sahel d'Oran. [39]

Cependant, en Algérie, l'utilisation de la pouzzolane est principalement limitée à l'industrie cimentaire, où elle est ajoutée activement à des taux de 15 à 20% dans la fabrication des ciments

composés.

### **II.17 L'application de pouzzolane**

La pouzzolane trouve diverses applications dans les jardins. En granulométrie importante, elle est utilisée comme roche décorative pour limiter la croissance des mauvaises herbes, par exemple dans les massifs d'arbustes. En granulométrie plus fine, la pouzzolane est intégrée dans le substrat de certaines cultures telles que les bonsaïs, l'hydroponie ou pour le lagunage des piscines biologiques. Cette roche favorise un bon drainage au niveau des racines et ses bords tranchants encouragent le développement des radicelles. [40]

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] MEBARKI.B. « Etude des transferts de chaleur et de masse dans une machine frigorifique à adsorption solaire ». Thèse de doctorat. Université de Constantine, 2017.
- [2] C, CHEKEM. « Matériaux carbonés multifonctionnels à porosité contrôlée à partir des ressources végétales tropicales : application au traitement de l'eau par photo catalyse ». Thèse de doctorat. Université de Perpignan, 2017.
- [3]N, SEDIRA. « Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes ». Mémoire de magister. Université de Souk Ahras, 2013
- [4] A. Talidi, « Etude De L'élimination Du Chrome Et Du Bleu De Méthylène En Milieux Aqueux Par Adsorption Sur La Pyrophyllite Traitée Et Non Traitée », Thèse Doctorat, Université Mohammed V-Agdal Rabat 2006.
- [5] N. OUSLIMANI. « Adsorption des colorants acides des effluents manufacturiers par des montmorillonites ». Thèse de doctorat, université de BOUMERDES 2012.
- [6] KOHEIL Abdelhak, « Activation d'un précurseur naturel en vue de l'élimination des polluants organiques dans les solutions simples et binaires », Mémoire de Master, université de Mostaganem, 2016.
- [7] MANOUL CREANGA C, Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradable (par adsorption puis oxydation catalytique), Thèse de doctorat, université de Toulouse France ,2007.
- [8] Kumar P.S., Ramalingam S., Senthamarai C., Niranjanaa M., Vijayalakshmi P.,Sivanesan S. Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut Shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. Desalination. 261, 52-60.2010
- [9] Vimonses V., Lei S., Jin B., Chow C.W.K. Adsorption of Congo red by three Australian kaolins. Applied Clay Science. 43, 465-472. 2009.
- [10] Cherfouf Saliha ; « Adsorption Des Colorants Textiles Sur Charbon Actif Et Zéolithe Zsm-5 : Cas Du Bleu Cibacette, Du Brun Solophenyle Et Du Rouge Citylon », Mémoire De Master ; Université Saad Dahleb De Blida ; 2012
- [11] Sakhraoui Aicha Et Lamri Chahra ; « Adsorption D'un Polluant Inorganique : Cuivre Par Le Charbon Actif », Mémoire De Master ; Université De Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi -Bordj Bou Arreridj ; 2023.
- [12] A. Tabti Et Al. Adsorption of Bromothymol Blue (Btb) Dye Using Four Zéolites As Adsorbent., Kem. Ind.; 70; 2021

[13] G. COUDERC, « Contribution à l'étude de l'adsorption binaire par les carbones non poreux et poreux », Thèse doctorat, Université de Neuchâtel, 2002.

[14] Dekhili Meriem. « Elimination De L'ammonium Sur Un Charbon Préparé Par Les Noyaux De Dattes Sur Solutions Synthétiques », Mémoire De Master, Université Mohamed Khider Biskra, 2022.

[15] ABOUA N et al, « Élimination du plomb et du cuivre en solution aqueuse par des Charbons à base de bois de Pterygotamacarpha ». Article d'Afrique SCIENCE 14(2) 38 - 47 38 ISSN 1813-548X, 40,45.2018

[16] Houari Mohamed Amine ; « Valorisation Des Fruits Du Sapindus Mukorossi En Tant Que Biosorbant : Application Dans L'élimination Des Colorants » ; Mémoire De Master, Université Saad Dahleb De Blida ; 2011.

[17] Giles H et Smith D, « A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm, I theoretical » journal of colloid and interface science 47(3),755-765, 1974.

[18] M. Belmouden, Thèse De Doctorat, Faculté Des Sciences D'Agadir, 2000.

[19] Aga Sara ; « Etude Cinétique Et Thermodynamique De L'adsorption De Quelques Colorants Textiles Par Des Résidus Issus De L'industrie Agroalimentaire » ; Mémoire De Magister ; Université Ferhat Abbas Setif-1- ; 2015.

[20] F. Zermane Et L. Chabane, « Adsorption Compétitive De Mélange De Colorants Sur Des Billes Gelifiées Poreuses A Base D'argile Pontée Au Fer En Système Continu Et Discontinu » ; Mémoire De Master ; Université De Saad Dahleb Blida-1 ; 2015.

[21] A, Bounaceur. Adsorption Du Fer, Nickel Et Cobalt Par La Marne Argileuse En Solution Aqueuse. 2015.

[22] N, BOUGDAH, « Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur le Bentonite, » Mémoire de magister. 2007.

[23] Maater F, Jose R, Peralta-Videa, Jaime Rome-Gonza'lez, Maria Dutre-gardea, Jorje L, Gardea Torresdey, thermodynamic and isotherm studies of the biosorption of Cu(II), and Pb(II) and Zn(II) by leaves of saltbush (*Atriplex canescens*), J.Chem.thermodynamics, 39,488-492, 2007.

[24] Kavitha D., Namasivayam C. Experimental and kinetic studies on methylene blue adsorption by coir pith carbon. Bioresource Technology. 98, 14–21; 2007

[25] Sahu O., Singh N. Significance of bioadsorption process on textile industry wastewater. Chapter 13. In book: The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile

Technology .367-416. 2019.

[26] Karimi S., Yarakib M.T., Karric R.R. A comprehensive review of the adsorption Mechanisms and factors influencing the adsorption process from the perspective of bioethanol dehydration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 107, 535-553; 2019.

[27] Salman, J.M., Hameed, B.H. Adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and carbofuran pesticides onto granular activated carbon. *Desalination*. 256, 129-135; 2010.

[28] Lagergren S. About the theory of so-called adsorption of soluble substances, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*. 24, 1-39; 1889.

[29] Ho Y.S., McKay G. The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat. *Canadian Journal of Chemical Engineering*. 76, 822-827; 1998.

[30] Peter. C. Hewlett 01: Lea's chemistry of cement and concrete ,4 ème édition, ISBN: 0750662565, Publisher: Elsevier Science & Technology Books,472-480, 2004.

[31] Gabrysiak, F 'Matériaux-Les Bétons'. Académie de Nancy-Metz, 28, 2013.

[32] Tokyay, M. Cement and Concrete Mineral Admixtures. Taylor & Francis Group ,2016.

[33] Thierry Sedran, les bétons auto-nivelants (synthèse bibliographique). *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et des chaussées*, 53-60, 1995.

[34] Benosman, A S., Performance Mécanique et durabilité du matériaux Commentaires modifiés par Ajout de polymère (PET), Thèse de Doctorat, Université ENSET, Oran, Algérie, 2011.

[35] Anissa D. Benredouane et al, « Elaboration d'une Pouzzolane Artificielle à Base de la Zéolithe X Synthétisée à partir de Kaolin Naturel », Laboratoire des Eco-Matériaux Fonctionnels et Nanostructurés, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, B.P. 1505 El- M'Naouer, U.S.T.O., Oran, Algérie, 2014.

[36] BELBACHIR NASRINE ; « Etude des propriétés mécaniques à court terme de béton à base de ciment pouzzolanique de synthèse » ; Thèse de Magister ; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2012.

[37] Rabah CHAID ; « FORMULATION, CARACTÉRISATION ET DURABILITÉ DES BHP AUX AJOUTS CIMENTAIRES LOCAUX » ; Thèse de Doctorat ; Ecole National Polytechnique De Annaba, 2006.

- [38] Pézenas, Carte géologique de Pézenas au 1/50000, BRGM, 1978.
- [39] ASTM C 618-94, « Coal fly ash and raw or calcined natural pozzolana for use as a mineral admixture in Portland cement concrete », ASTM standard, 3 pages.
- [40] Walker, R., and Pavia, S. “Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime-pozzolan pastes.” *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, Springer 44, 1139–1150, 2011.
- [41] K.Ogawa et al, « The mechanism of the hydration in the system C3S-pozzolana », Central Research Laboratory Onoda Cement Co., Ltd., Tokyo, Japan, 1980.
- [42] S. CHERIF, B. BENTALHA « Mortiers à base de ciment de pouzzolane. Etude des caractéristiques mécaniques et de durabilité » université de technologie Abou Berk BelkaidTLEMCEM,1996.
- [43] Guettaf Youcef ; « Effet Du Climat Chaud Sur Les Performances Des Bétons Autoplaçants à base de pouzzolane Naturelle » ; Thèse de Doctorat ; Université Saad Dahleb De Blida, 2020.
- [44] Pierre-Discount.com, "La Pouzzolane", <http://www.pierre-discount.com/pouzzolane.html>.

***Chapitre III :***  
***Méthodologie expérimentale***  
***appliquée***

### III.1 Introduction

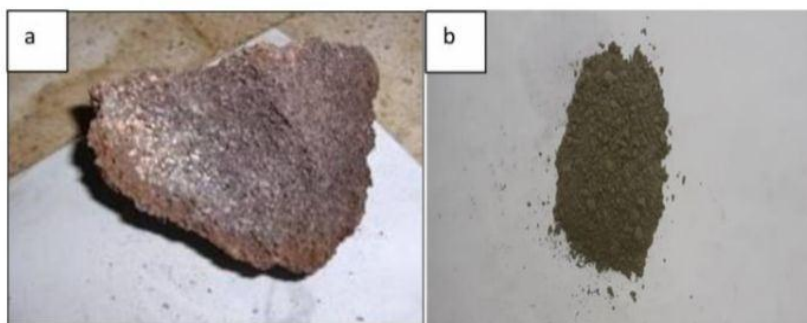
Dans ce chapitre, une étude expérimentale est menée afin d'évaluer l'élimination de deux médicaments par adsorption : le Fumacur, un antianémique riche en fer, et la Bétadine, connue pour ses propriétés antiseptiques. Deux types de matériaux adsorbants ont été utilisés : la pouzzolane naturelle et la pouzzolane artificielle (vase calcinée).

Les adsorbants ont été caractérisés à travers leurs propriétés physico-chimiques, notamment par diffraction des rayons X (DRX). Ce travail expérimental vise également à étudier les paramètres influençant le processus d'adsorption des colorants présents dans ces médicaments.

Les données obtenues ont été interprétées à l'aide de modèles cinétiques, principalement ceux du pseudo-premier ordre et du pseudo-second ordre. Par ailleurs, l'analyse des isothermes d'adsorption a été réalisée en appliquant les trois modèles les plus couramment utilisés : Langmuir, Freundlich et Temkin.

### III.2 La pouzzolane naturelle

La pouzzolane utilisée dans cette étude est une roche naturelle d'origine volcanique, extraite du gisement situé dans la région de Beni-Saf, en Algérie. Elle se présente sous forme de fragments concassés de type pierre ponce et scories (Figure III.1). Afin de l'incorporer comme addition minérale dans les différentes formulations de Béton Autoplaçant (BAP), un prétraitement a été réalisé. Celui-ci consiste d'abord en un étuvage à 50 °C, visant à éliminer toute trace d'humidité résiduelle et à faciliter l'étape de broyage. Par la suite, la pouzzolane a été entièrement broyée, puis tamisée à l'aide d'un tamis de 100 µm pour obtenir une poudre suffisamment fine pour l'usage prévu.



**Figure III.1** : Scories de la pouzzolane naturelle utilisée, (a) avant le broyage, (b) après le broyage. La poudre obtenue a fait l'objet d'analyses physico-chimiques approfondies, incluant notamment une diffraction des rayons X (DRX). Les résultats de ces caractérisations sont présentés dans le tableau III.1 ainsi que sur la figure III.2 :

**Tableau III.1:** Analyse chimique et les caractéristiques physiques de la pouzzolane naturelle.

Caractéristiques %	Teneur (%)
SiO <sub>2</sub>	45,67
CaCO <sub>3</sub>	-
CaO	8,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,14
MgO	3,45
Na <sub>2</sub> O	3,00
SO <sub>3</sub>	0,19
HCl	nul
Densité	2,61
Finesse Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	365,6
Indice d'activité i <sub>28</sub>	0,81

Les pouzzolanes naturelles d'origine sédimentaire présentent généralement des teneurs en silice particulièrement élevées, notamment lorsqu'elles proviennent de squelettes siliceux de micro-organismes. La qualité d'une pouzzolane dépend principalement de sa richesse en phase vitreuse. Pour évaluer cette dernière, il est possible de s'appuyer sur la composition chimique du matériau en calculant la différence entre les teneurs brutes en silice (SiO<sub>2</sub>) et en chaux (CaO). Selon les travaux de Dron (1977), lorsque cette différence est inférieure au seuil de 34 %, la pouzzolane ne contient pas de phase vitreuse.

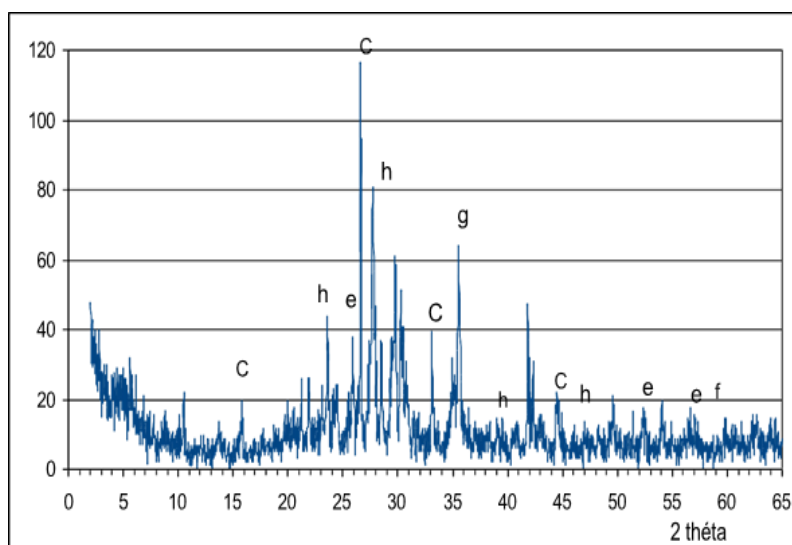


Figure III.2: Diffraction aux rayons X (DRX) de la pouzzolane naturelle.

e : Alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ; f : Silicate de Magnésium ( $\text{MgSiO}_3$ ), g :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , h : Oxyde de Calcium ( $\text{CaO}$ ).

L'analyse minéralogique par diffractométrie aux rayons X révèle que cette pouzzolane naturelle présente une structure majoritairement vitreuse. Elle se distingue notamment par la présence d'une raie principale caractéristique de la silice amorphe.

Par ailleurs, nous avons identifié deux grandes familles fondamentales de minéraux silicatés. La première regroupe les composants sialiques, caractérisés par une forte teneur en silice ( $\text{SiO}_2$ ) et en alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). La seconde correspond aux composants fémiqes, dominés principalement par le fer (Fe) et le magnésium (Mg), on peut distinguer :

- ▶ Des feldspaths qui sont des solutions solides entre les trois composés fondamentaux.
  - L'Albite [ $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ] ;
  - L'Anorthoclase ( $\text{Na}_{0.75}\text{K}_{0.25}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ) ;
  - L'Anorthite [ $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ ]. [1]

Les solutions solides albite anorthoclase constituent les feldspaths alcalins. Les solutions solides albite anorthite constituent les plagioclases. Ce sont les composants sialiques comprenant le quartz et les alumino-silicates alcalins.

Cette analyse met en évidence l'absence de feldspathoïdes tels que la néphéline ( $\text{NaAlSiO}_4$ ) et la leucite ( $\text{KAlSiO}_4$ ), généralement présents dans les roches pauvres en silice, dont la composition est insuffisante pour permettre la formation de feldspaths.

▶ Des pyroxènes qui sont des silicates contenant soit du magnésium, soit du fer, soit l'un et l'autre dont le plus répandu est comme nous le remarquons dans notre cas :

- L'Augite [ $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ ], dont lequel le fer est substitué partiellement au magnésium.

▶ Les minéraux autres que les composants sialiques et fémiqes sont qualifiés d'accessoires. Ils comprennent essentiellement les oxydes de fer tels que nous pouvons le constater dans notre pouzzolane :

- L'Hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ;

▶ Les zéolithes sont toujours présentes sous forme :

- d'Analcime  $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot (\text{H}_2\text{O})$ .

### **III.3 La pouzzolane artificielle (la vase)**

Dans le cadre de notre étude expérimentale, la vase utilisée a été prélevée en un seul point, afin de garantir l'homogénéité de ses caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques tout au long de

son exploitation. Les échantillons étudiés proviennent de la zone de rejet située en aval du barrage de Mostaganem, après opérations de dragage. Des analyses de caractérisation physique, chimique et minéralogique ont été réalisées sur des échantillons prélevés avec rigueur. La composition chimique de cette vase suggère un potentiel de transformation des structures argileuses stables en structures amorphes, condition favorable au développement de la réactivité pouzzolanique recherchée dans le cadre de la substitution envisagée.



**Figure III.3 :** Etat des sédiments tels prélevés dans la retenue a) avant le broyage et b) après le broyage.

### III.3.1 Caractéristiques physiques de la vase

La vase utilisée dans cette étude a été soumise à une calcination à une température de 850 °C pendant une durée de trois heures. Ce choix repose sur les données de la littérature, qui indiquent que les conditions optimales de calcination des boues se situent aux alentours de 850 °C pour une durée équivalente. Les caractéristiques physiques de la vase ainsi calcinée sont présentées dans le tableau III.2.

**Tableau III.2 :** Caractéristiques physique de la vase

La vase	
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.89
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.65
Surface spécifique de Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4650

### **III.3.2 Calcination de la vase**

Après l'étape de broyage, la vase collectée est tamisée à l'aide d'un tamis de 71  $\mu\text{m}$ . Seules les fractions fines, ayant franchi le tamis, sont récupérées pour l'étape de calcination. Cette dernière est réalisée par petites quantités, généralement inférieures à 400 g, dans un four statique disponible au laboratoire de génie civil. Les échantillons sont calcinés à différentes températures (750 °C, 850 °C et 950 °C) et pour deux durées distinctes : une heure et trois heures. Le four est programmé avec une vitesse de montée en température de 5 °C/min. À la fin de la calcination, le four reste fermé afin d'éviter tout choc thermique. La vase calcinée est ensuite conservée à l'abri de l'humidité et de l'air pour préserver ses propriétés.

### **III.3.3 Analyse chimique**

Les analyses de caractérisation ont été réalisées sur la poudre finale de vase avant traitement thermique. La composition chimique a été déterminée par fluorescence X (XRF) au laboratoire du département de chimie de l'Université de Tlemcen, où un échantillon de la poudre a été analysé. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

La composition chimique a été déterminée par spectrométrie de fluorescence X (XRF). Cette technique repose sur l'excitation de l'échantillon par une source primaire de rayons X, induisant l'émission d'un spectre caractéristique des éléments présents. Méthode non destructive, elle permet une analyse élémentaire qualitative et quantitative avec une sensibilité pouvant atteindre le ppm (1 partie par million, soit 10<sup>-4</sup>%). L'analyse par XRF comporte deux étapes principales :

- Une source d'excitation provoquant l'émission d'un spectre de rayon X caractéristique de la composition de l'objet.
- Un détecteur et un analyseur de rayonnement identifiant et quantifiant les intensités des raies composant le spectre.

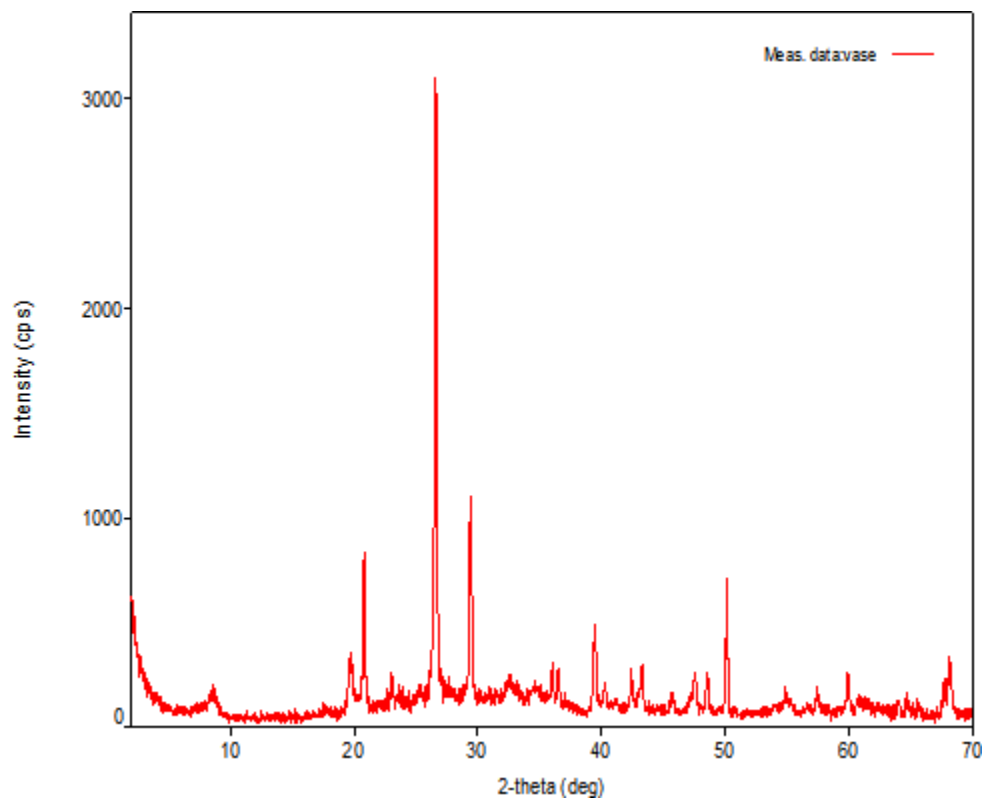
### **III.3.4 La Composition chimique de la vase**

La composition chimique de la pouzzolane artificielle, présentée dans le Tableau III.3, révèle la présence majoritaire de trois oxydes :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ces éléments jouent un rôle essentiel dans la formation des silicates de calcium hydratés (C-S-H), phase gélifiée résultant de l'hydratation du ciment. En effet, la matrice de base des ciments est constituée d'un mélange de silicates ( $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ) et d'aluminates de calcium ( $\text{C}_3\text{A}$ ,  $\text{C}_4\text{AF}$ ), obtenus par combinaison de la chaux (CaO) avec la silice ( $\text{SiO}_2$ ), l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). L'analyse par fluorescence X confirme ainsi la pertinence de cette pouzzolane artificielle comme matériau cimentaire, grâce à sa teneur en oxydes clés participant aux réactions d'hydratation.

**Table III.3 :** La composition chimique de la vase (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LOI
Natural Mud	41.40	7.82	5.02	17.47	3.12	0.32	1.36	1.17	22.84
Fergoug Calcined Mud	51.69	15.49	7.53	18.06	3.08	0.23	2.99	0,41	1.87

L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) de la vase calcinée, présentée à la Figure III.4, a permis de déterminer la composition minéralogique et le pourcentage des phases cristallines présentes dans la pouzzolane artificielle.





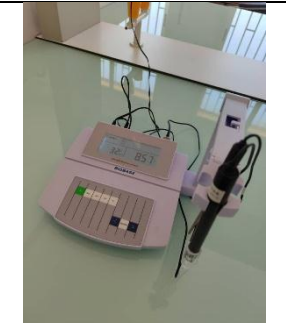


**Figure III.4:** Le diffractogramme des rayons X de la pouzzolane artificielle.

Ce diffractogramme montre que la composition minéralogique de notre adsorbant contient de la silice, de la kaolinite, de la calcite, de l'illite (traces). [2]

### III.4 Éléments matériels du protocole

Le tableau III.4 rassemble l'ensemble du matériel expérimental utilisé pour l'élimination des deux colorants identifiés dans les médicaments étudiés.

Tableau III.4: Matériels utilisés dans notre étude.

<p><b>Balance analytique</b></p>	<p>OHAUS de Précision 0.0001 g</p>	
<p><b>L'agitateur magnétique multiposte</b></p>	<p>VELP Scientifica MULTI VORTEXER</p>	
<p><b>Le pH mètre</b></p>	<p>BIOBASE</p>	
<p><b>La centrifuge</b></p>	<p>BIOBASE</p>	
<p><b>Spectrophotomètre de l'UV/Vis</b></p>	<p>JENWAY 6850 UV/Vis Spectrophotomètre</p>	

### III.5 Étude du processus d'élimination des colorants

L'objectif de cette étude était d'éliminer deux colorants par adsorption : le premier provenant du fer dans les comprimés de Fumacur 200 mg (anti-anémique) et le second associé à l'iode dans la Bétadine (antiseptique). Deux supports adsorbants ont été testés : une pouzzolane naturelle et une pouzzolane artificielle. Enfin, une comparaison de l'efficacité des deux adsorbants a été réalisée pour chacun des médicaments étudiés.

### III.6 Développement de supports adsorbants

L'étude de l'adsorption des deux colorants a nécessité la préparation de solutions mères, suivie de leur dilution afin d'obtenir une gamme étendue de concentrations pour les solutions filles.

#### III.6.1 Préparation de la solution mère à partir du médicament Fumacur 200mg

Pour préparer la solution mère à une concentration de 1g/L, une masse de 1g des comprimés de Fumacur a été finement broyée afin d'obtenir une poudre homogène, ce qui est bien présenté dans la figure III.5. Cette poudre a ensuite été dissoute dans 10ml d'eau distillée sous agitation douce dans un bécher. Après dissolution complète, le volume a été ajusté à 1L avec de l'eau distillée. Une agitation magnétique a été maintenue pendant 10 minutes pour assurer l'homogénéisation de la solution (Figure III.6).



Figure III.5: Poudre fine des comprimés de Fumacur.



Figure III.6 : Solution mère du Fumacur

### III.6.1.1 Préparation des solutions filles

Les solutions filles (2 à 8 mg/L) ont été obtenues par dilution volumétrique (fiolle jaugée de 100 ml) de la solution mère (1 g/L) avec de l'eau distillée. Leur aspect visuel est présenté en Figure III.7.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de volume ainsi de concentration de chaque solution.

Tableau III.5: Les mesures de volume et de concentration des solutions filles du Fumacur.

V(ml)	2	3	4	5	6	7	8
C(mg/l)	20	30	40	50	60	70	80



Figure III.7: Les solutions filles de Fumacur.

### III.6.1.2 La courbe d'étalonnage

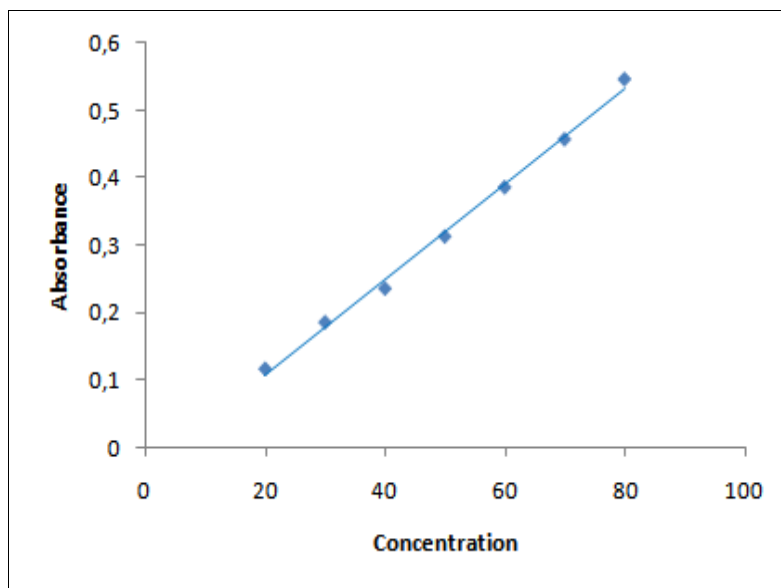
Pour mener l'étude cinétique de l'adsorption du fer ferrique sur la pouzzolane naturelle et artificielle, il est nécessaire d'établir une courbe d'étalonnage. Celle-ci est obtenue en préparant une série de solutions de concentrations connues, dont on mesure ensuite l'absorbance. La relation entre l'absorbance (Abs) et la concentration (C) est décrite par la loi de Béer-Lambert, exprimée par la formule suivante :

$$\text{Abs} = \varepsilon \times l \times C \quad (\text{III.1})$$

Où :

- **Abs** : absorbance,
- $\varepsilon$  : coefficient d'absorption molaire (L/mg dm),
- **l** : longueur de la cuve (dm),
- **C** : concentration de la solution (mg/L).

La figure ci-dessous (Figure III.8) présente la courbe d'étalonnage obtenue pour le composant étudié.

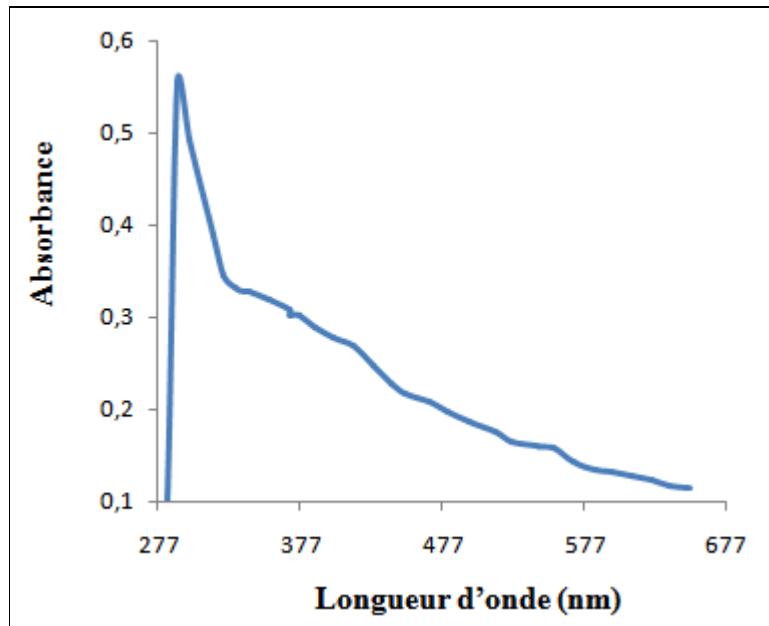


**Figure III.8** : Courbe d'étalonnage du fer ferrique

### III.6.1.3 Détermination de la longueur d'onde maximale ( $\lambda_{\max}$ ) du fer ferrique

Avant de débiter l'étude de l'équilibre d'adsorption du colorant, il a été nécessaire de déterminer la longueur d'onde d'absorption maximale ( $\lambda_{\max}$ ) du fer ferrique et de vérifier l'applicabilité de la loi de Beer-Lambert pour la gamme de concentrations utilisée.

Pour ce faire, une solution de fer ferrique d'une concentration de 80 mg/L a été préparée par dilution à partir d'une solution mère de concentration 1 g/L. L'analyse spectrophotométrie de cette solution a permis d'identifier la longueur d'onde à laquelle l'absorbance est maximale, comme illustré dans la (figure III.9).



**Figure III.9:** Représentation de la longueur d'onde max du fer ferrique.

L'extrapolation des résultats obtenus révèle une bande d'absorption centrée à 291 nm. Cette valeur correspond à la longueur d'onde maximale ( $\lambda_{\max}$ ), à laquelle l'absorbance du fer ferrique est la plus élevée. [3]

### III.6.2 Préparation d'une solution mère à partir du colorant principal de la Bétadine

Pour préparer cette solution mère, 50 g de Bétadine sont pesés puis dissous dans 1 litre d'eau distillée.



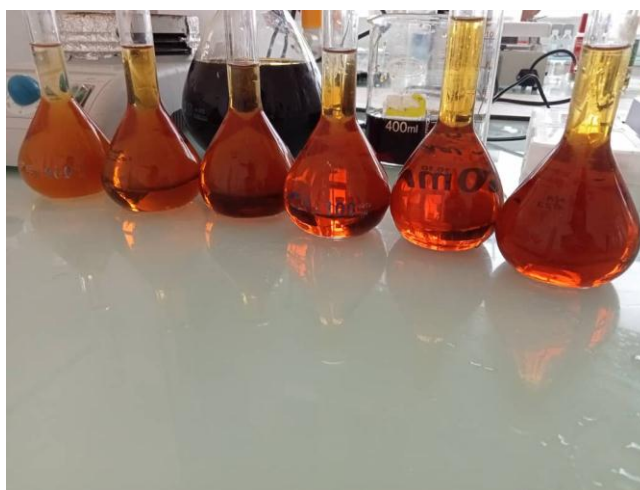
**Figure III.10:** Solution mère de la Bétadine.

### III.6.2.1 Préparation des solutions filles

Issue d'une solution mère de Bétadine contenant de l'iode en tant qu'antiseptique. Ayant une concentration de 50 g/L, un volume  $V_0$  a été prélevé puis dilué avec de l'eau distillée afin d'obtenir un volume final de 100 ml. Cette procédure a permis de préparer des solutions filles aux concentrations souhaitées : 5500, 6500, 7500, 8500, 9500 et 10500 mg/l. La (figure III.11) illustre les différentes solutions obtenues. Le tableau ci-dessous présente pour chaque solution le volume utilisé correspond à chaque concentration.

**Tableau III.6 :** Mesures des volumes et des concentrations des solutions filles préparées à partir de la Bétadine.

<b>C (mg/l)</b>	5500	6500	7500	8500	9500	10500
<b>V (ml)</b>	11	13	15	17	19	20



**Figure III.11 :** Les solutions filles de l'iode povidone.

### III.6.2.2 La courbe d'étalonnage

Des solutions de concentrations connues (5500, 6500, 7500, 8500, 9500 et 10500 mg/L) ont été préparées, puis leur absorbance a été mesurée. Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe d'étalonnage, cette courbe est présentée dans la (figure III.12).

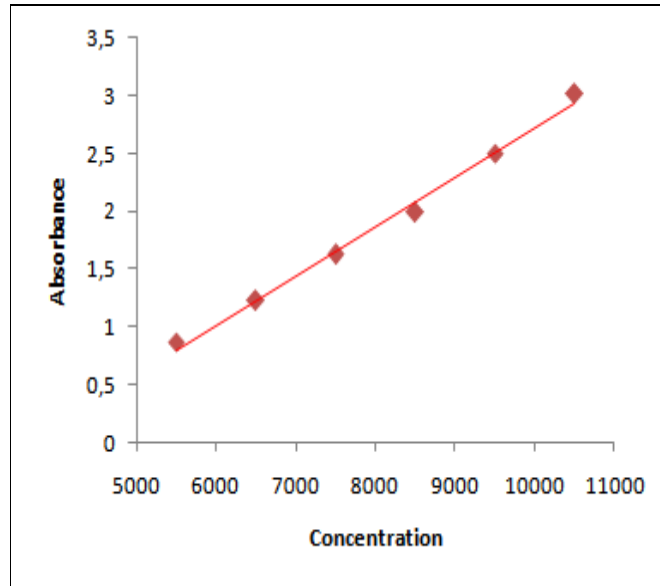


Figure III.12 : La courbe d'étalonnage de l'iode.

### III.6.2.3 Détermination de la longueur d'onde maximale ( $\lambda_{\max}$ ) du composant iode

Afin de déterminer la longueur d'onde maximale d'absorption de l'iode voir (figure III.13), une solution de concentration 5500 mg/L a été préparée par dilution de la solution mère de l'adsorbat, initialement à 50 g/L.

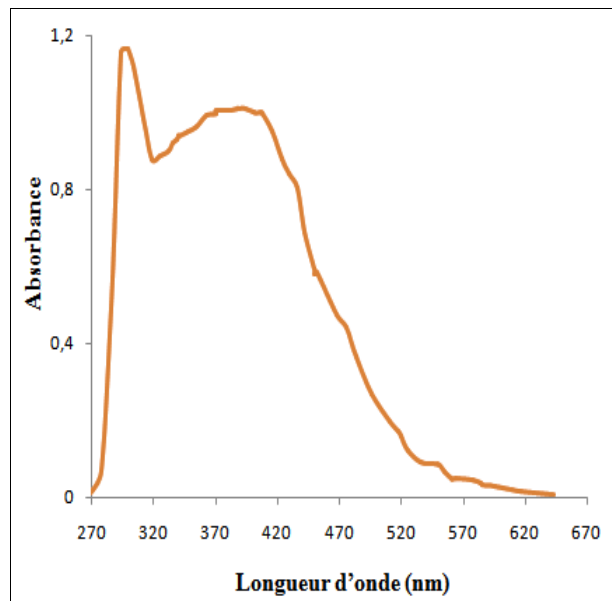


Figure III.13 : Représentation de la longueur d'onde max de l'iode.

Après extrapolation des résultats obtenus, en remarquant deux pics clairs et distinctifs, 298 et 387 nm, correspondant à l'absorbance maximale de l'iode. [4]

### III.6.3 Calcul de la quantité adsorbée

La quantité adsorbée (qt), exprimée en mg de colorant par g d'adsorbant à un instant t, est calculée selon la formule ci-dessous : [5]

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)}{m} \times V \quad (\text{III.2})$$

Où :

- $C_0$  : La concentration initiale du colorant dans la solution (mg/L),
- $C_t$  : La concentration du colorant restant dans la solution à l'instant  $t$  (mg/L),
- $V$  : Le volume de la solution (ml),
- $m$  : La masse d'adsorbant utilisée (g).

### III.6.4 Évaluation de l'efficacité d'élimination du colorant

Le taux d'élimination, aussi appelé rendement de l'adsorption, correspond au pourcentage de colorant retiré de la solution à un instant donné  $t$ , par rapport à la concentration initiale. Il est calculé selon la formule suivante : [6]

$$R\% = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Où :

- $C_0$  est la concentration initiale du colorant dans la solution (mg/L),
- $C_t$  est la concentration du colorant dans la solution au temps  $t$  (mg/L).

Cette expression permet d'évaluer l'efficacité du processus d'adsorption à différents temps de contact.

## III.7 Résultats et discussions

### III.7.1 Description du protocole d'adsorption

Les expériences d'adsorption ont été menées en introduisant des quantités précises d'adsorbant (20, 30 et 40 mg) dans des erlenmeyers contenant chacun 10 ml de solution médicamenteuse, préparée à des concentrations respectives de 80 et 5500 mg/L. Le pH de chaque solution a été contrôlé à intervalles réguliers de 5 minutes afin de suivre son évolution au cours du processus d'adsorption.

La séparation entre la phase liquide colorée et l'adsorbant a été réalisée par centrifugation à une vitesse de 2000 tours par minute pendant 10 minutes. L'absorbance du surnageant a ensuite été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis, à la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorbance du colorant, déterminée pour le pH étudié.

### III.7.2 Calcul de la quantité adsorbée des colorants

Les résultats concernant le calcul de la quantité de colorant adsorbée et le rendement d'élimination pour les deux médicaments étudiés sont présentés dans les tableaux III.7 à III.18, ainsi que dans les figures III.14 à III.17. Ces données illustrent le comportement des solutions colorées, préparées à des

concentrations de 80 et 5500 mg/L respectivement, en présence et en absence des matériaux adsorbants utilisés, à savoir la pouzzolane naturelle et la pouzzolane artificielle (vase).

**Tableau III.7 :** Le rendement et la quantité adsorbée du colorant fer ferrique avec 20 mg de matériau (La pouzzolane naturelle)

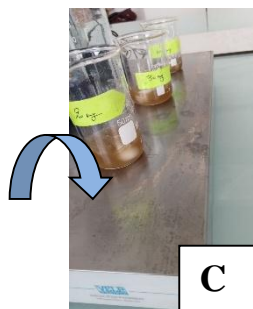
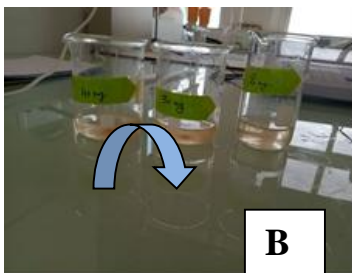
T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.265	0.249	0.233	0.225	0.214	0.187
Ct (mg/l)	33.00	30.714	28.428	27.285	25.714	21.857
qt (mg/g)	235.00	246.43	257.86	263.575	271.43	290.715
R%	58.75	61.607	64.465	65.893	67.857	72.678

**Tableau III.8 :** Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 30 mg de matériau (La pouzzolane naturelle)

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.181	0.173	0.165	0.152	0.141	0.129
Ct (mg/l)	21.00	19.857	18.714	16.857	15.285	13.571
qt (mg/g)	196.666	200.476	204.286	210.476	215.716	221.43
R%	73.75	75.178	76.607	78.928	80.893	83.036

**Tableau III.9 :** Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 40 mg de matériau (La pouzzolane naturelle)

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.119	0.110	0.089	0.081	0.076	0.065
Ct (mg/l)	12.142	10.857	7.857	6.714	6.00	4.428
qt (mg/g)	169.645	172.857	180.357	183.215	185.00	188.93
R%	84.822	86.428	90.017	91.607	92.50	94.465



**Figure III. 14 :** a) La solution fille à concentration 80mg/l, b) La solution fille avec le matériau (La pouzzolane naturelle), c) le mélange après la centrifugation du fer ferrique.

**Tableau III.10 :** Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 20 mg de matériau (La vase)

<b>T (min)</b>	10	20	30	40	50	60
<b>Absorbance</b>	0.255	0.245	0.238	0.220	0.196	0.188
<b>Ct (mg/l)</b>	31.571	30.142	29.142	26.571	23.142	22
<b>qt (mg/g)</b>	242.145	249.29	254.29	267.145	284.29	290
<b>R%</b>	60.536	62.322	63.572	66.786	71.072	72.50

**Tableau III.11 :** Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 30 mg de matériau (La vase )

<b>T (min)</b>	10	20	30	40	50	60
<b>Absorbance</b>	0.179	0.168	0.159	0.147	0.139	0.136
<b>Ct (mg/l)</b>	20.714	19.142	17.857	16.142	15.00	14.571
<b>qt (mg/g)</b>	197.620	202.860	207.143	212.860	216.666	218.096
<b>R%</b>	74.107	76.071	77.678	79.822	81.25	81.786

**Tableau III.12 :** Le rendement et la quantité adsorbée du fer ferrique avec 40 mg de matériau (La vase)

<b>T (min)</b>	10	20	30	40	50	60
<b>Absorbance</b>	0.131	0.122	0.117	0.109	0.093	0.080
<b>Ct (mg/l)</b>	13.857	12.571	11.857	10.714	8.428	6.571
<b>qt (mg/g)</b>	165.357	168.572	170.357	173.215	178.930	183.572
<b>R%</b>	82.678	84.286	85.178	86.607	89.465	91.786

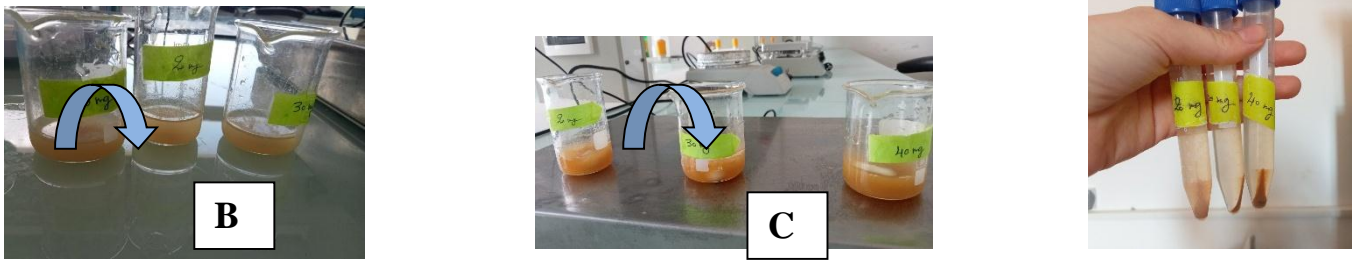


Figure III. 15 : a) La solution fille à concentration 80mg/l, b) La solution fille avec le matériau (La vase), c) le mélange après la centrifugation du fer ferrique.

Tableau III.13 : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 20 mg de matériau (La pouzzolane naturelle)

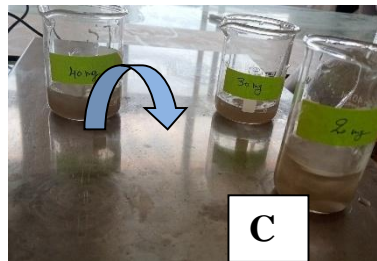
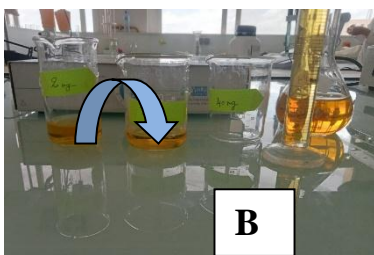
T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.222	0.215	0.191	0.185	0.176	0.164
Ct (mg/l)	433.411	416.941	360.470	346.352	325.176	296.941
qt (mg/g)	25332.945	25415.295	25697.65	25768.24	25874.12	26015.295
R%	92.119	92.419	93.446	93.702	94.087	94.601

Tableau III. 14 : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 30 mg de matériau (La pouzzolane naturelle )

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.168	0.163	0.153	0.148	0.142	0.136
Ct (mg/l)	306.352	294.588	271.058	259.294	245.176	231.058
qt (mg/g)	17312.16	17351.373	17429.806	17469.02	17516.08	17563.14
R%	94.429	94.643	95.071	95.285	95.542	95.798

**Tableau III.15** : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 40 mg de matériau  
(La pouzzolane naturelle )

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.137	0.125	0.095	0.082	0.073	0.065
Ct (mg/l)	233.411	205.176	134.588	104.00	82.823	64.00
qt (mg/g)	13166.472	13237.06	13413.530	13490.00	13542.942	13590.00
R%	95.756	96.695	97.552	98.109	98.494	98.836



**Figure III. 16** : a) La solution fille à concentration 5500 mg/l, b) La solution fille avec le matériau  
(La pouzzolane naturelle), c) le mélange après la centrifugation de l'iode.

**Tableau III.16** : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 20 mg de matériau  
(La vase)

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.248	0.232	0.218	0.198	0.181	0.176
Ct (mg/l)	494.588	456.941	424.00	376.941	336.941	325.176
qt (mg/g)	25027.06	25215.295	25380.00	25615.295	25815.295	25874.12
R%	91.00	91.691	92.290	93.146	93.873	94.087

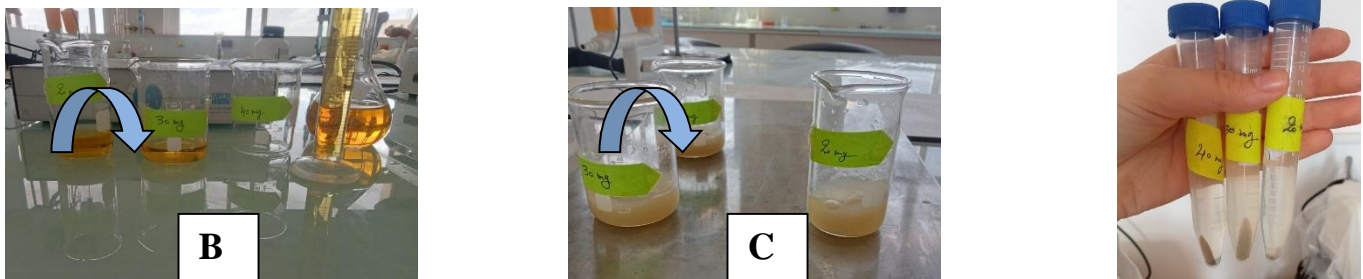
**Tableau III.17** : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 30 mg de matériau  
(La vase)

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.174	0.169	0.161	0.157	0.151	0.146
Ct (mg/l)	320.470	308.705	289.882	280.470	266.352	254.588
qt (mg/g)	17265.10	17304.316	17367.06	17398.433	17445.493	17484.706
R%	94.173	94.387	94.729	94.90	95.157	95.371

**Tableau III.18** : Le rendement et la quantité adsorbée d'iode avec 40 mg de matériau

(La vase)

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.142	0.136	0.129	0.112	0.092	0.080
Ct (mg/l)	245.176	231.058	214.588	174.588	127.529	99.294
qt (mg/g)	13137.06	13172.355	13213.53	13313.530	13431.177	13501.765
R%	95.542	95.798	96.098	96.825	97.681	98.194



**Figure III. 17 :** a) La solution fille à concentration 5500 mg/l, b) La solution fille avec le matériau (La vase), c) le mélange après la centrifugation de l'iode.

### III.7.3 Influence des paramètres physico-chimiques

Cette section est consacrée à l'étude de l'influence de différents paramètres sur le processus d'adsorption, notamment :

- Le temps de contact
- Le pH de la solution
- La masse de l'adsorbant

#### III.7.3.1 Le temps de contact

L'étude cinétique de l'adsorption a été effectuée en fonction du temps, dans le but de quantifier la quantité de colorant retenue à différents intervalles et de déterminer le temps requis pour atteindre l'équilibre d'adsorption. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures suivantes.

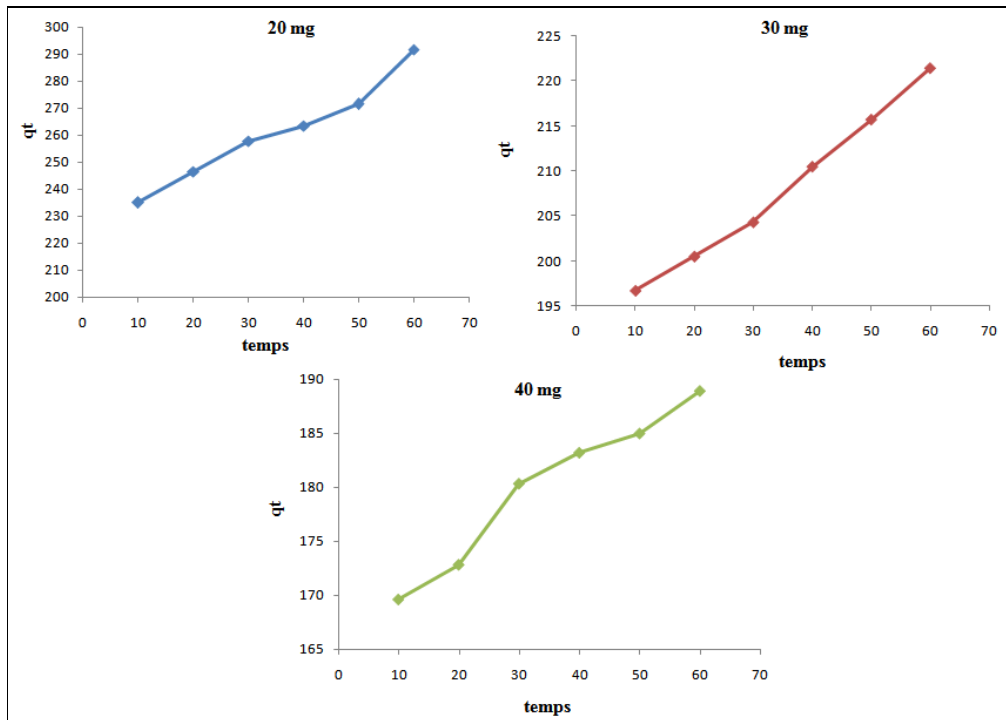


Figure III.18: Effet du temps de contact sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.

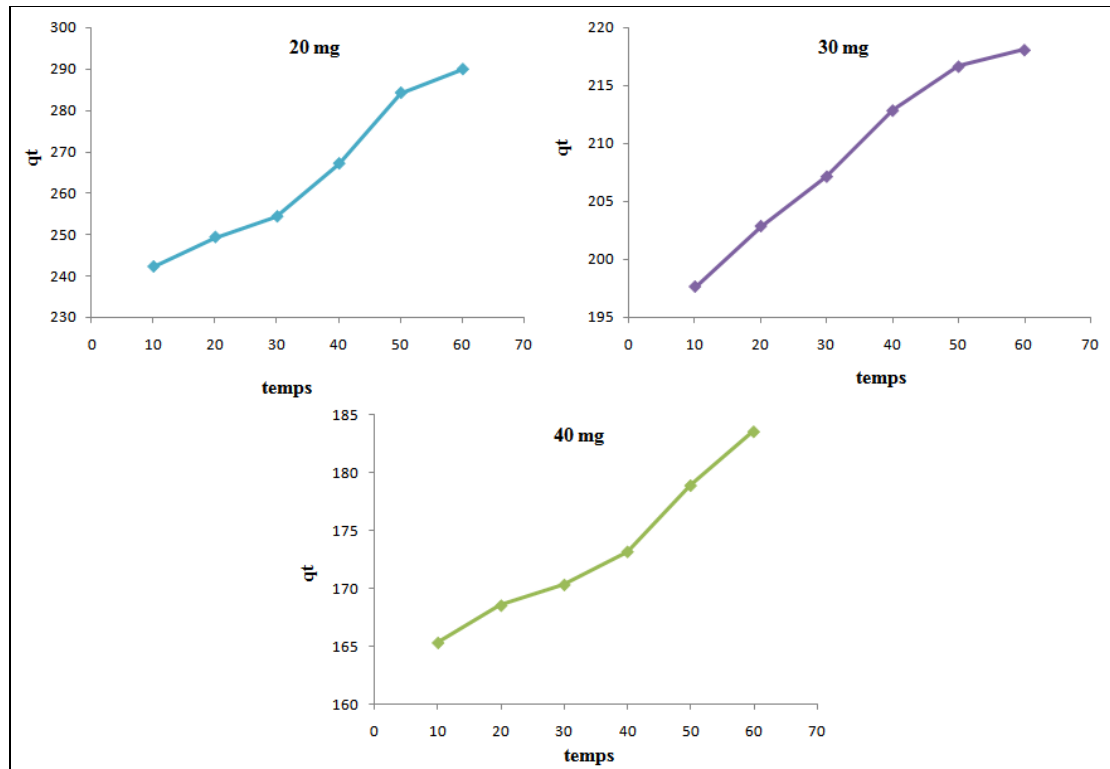


Figure III.19: Effet du temps de contact sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.

Les données présentées dans les figures III.18 et III.19 démontrent clairement une relation directe entre les concentrations initiales du fer ferrique et la quantité du composant adsorbée. Cette adsorption accrue est attribuée à un gradient de concentration significatif entre les solutions de composant et la surface des deux adsorbants pour différentes masses d'adsorbant. Il est intéressant de noter que la quantité adsorbée diminue à mesure que la masse d'adsorbant augmente. Plus précisément, après 60 minutes, l'utilisation de 40 mg d'adsorbant a entraîné 188.93 mg/g de fer ferrique adsorbé par la pouzzolane naturelle et 183.572 mg/g du fer ferrique adsorbé par la vase.

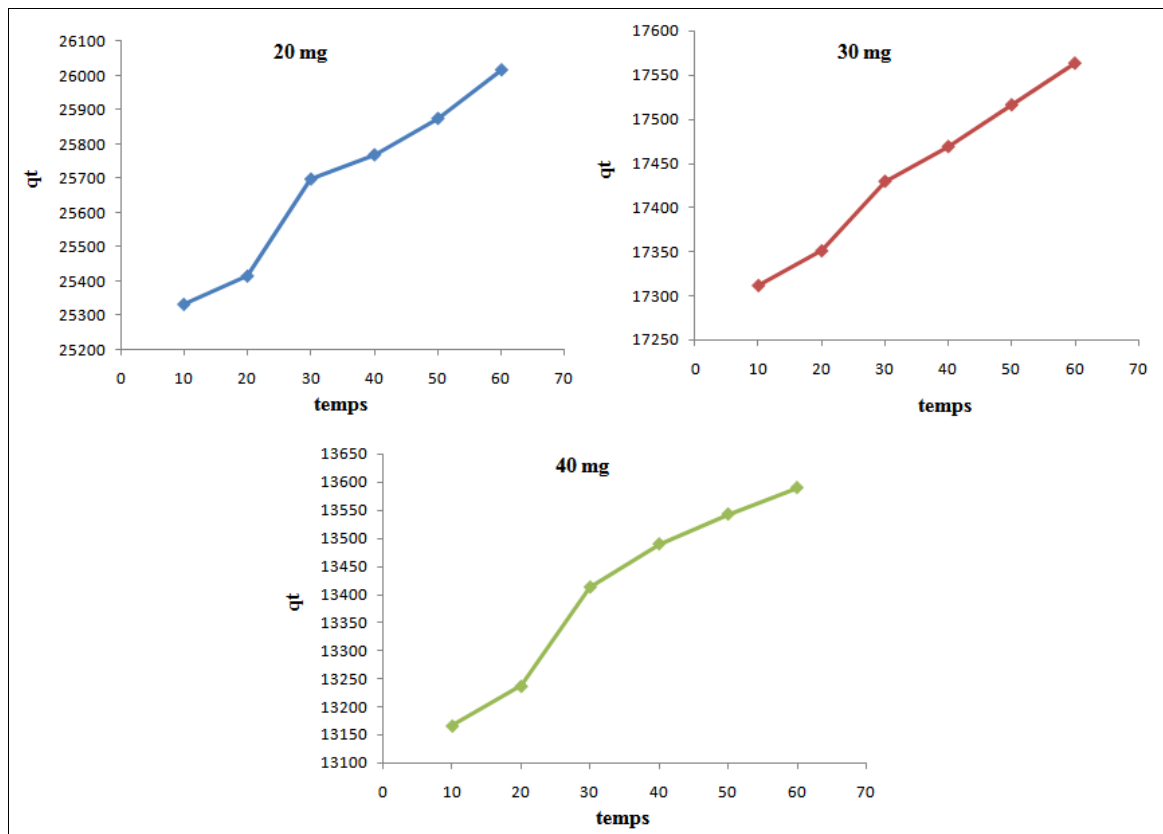
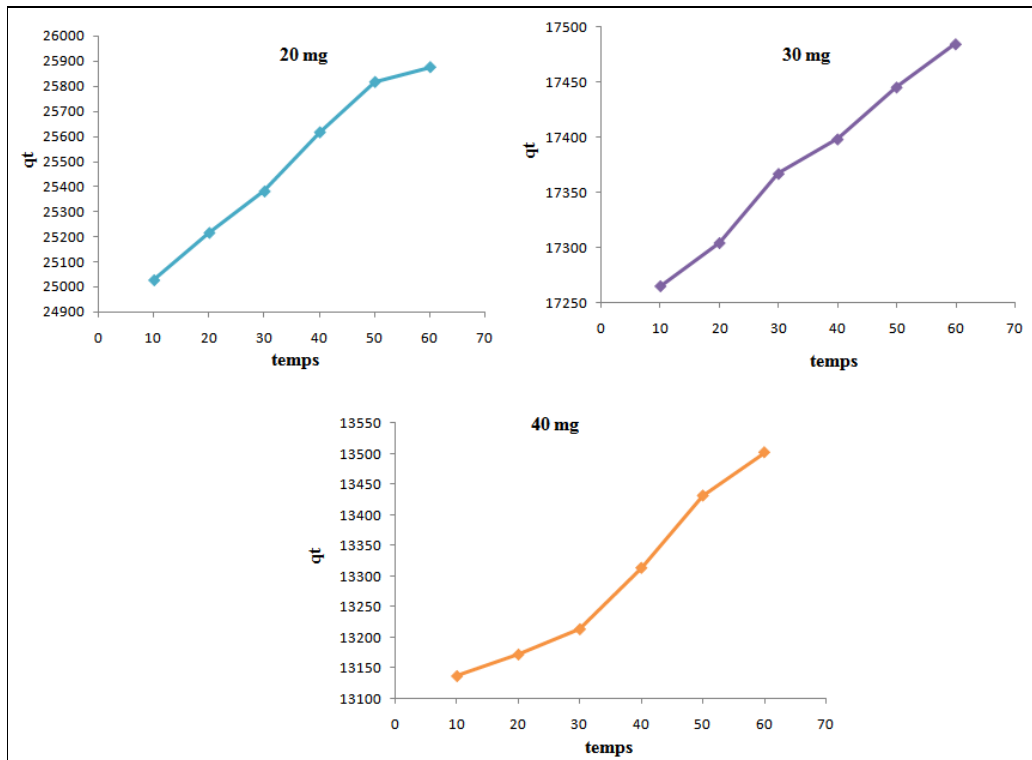


Figure III.20: Effet du temps de contact sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.



**Figure III.21:** Effet du temps de contact sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

Comme le montrent les figures (III.20) et (III.21), une concentration initiale plus élevée de l'iode est directement corrélée à une augmentation de la quantité du composant adsorbée sur la pouzzolane naturelle et artificielle. Ce phénomène peut s'expliquer par le gradient de concentration substantiel qui se forme entre la solution et la surface de l'adsorbant. Cependant, il est notable que la quantité de colorant adsorbée par gramme d'adsorbant diminue à mesure que la masse d'adsorbant augmente. Par exemple, à 60 minutes, avec une masse d'adsorbant de 40 mg, les quantités adsorbées pour l'iode sur la pouzzolane naturelle et artificielle sont 13590 et 13501.765 mg/g respectivement.

### III.7.3.2 Effet de masse

L'influence de la masse est évaluée en traçant les courbes illustrant le rendement R% en fonction du temps t (en minutes). Les différents résultats sont présentés dans les figures ci-après.

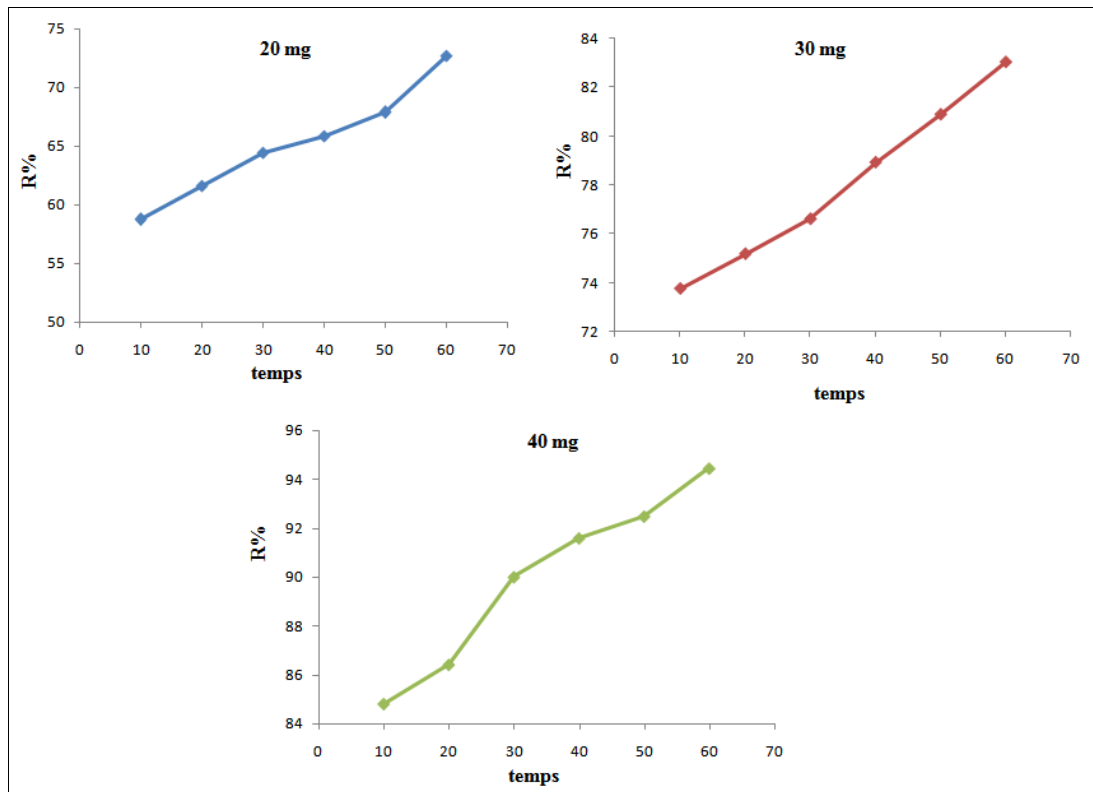


Figure III.22 : Effet de masse sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.

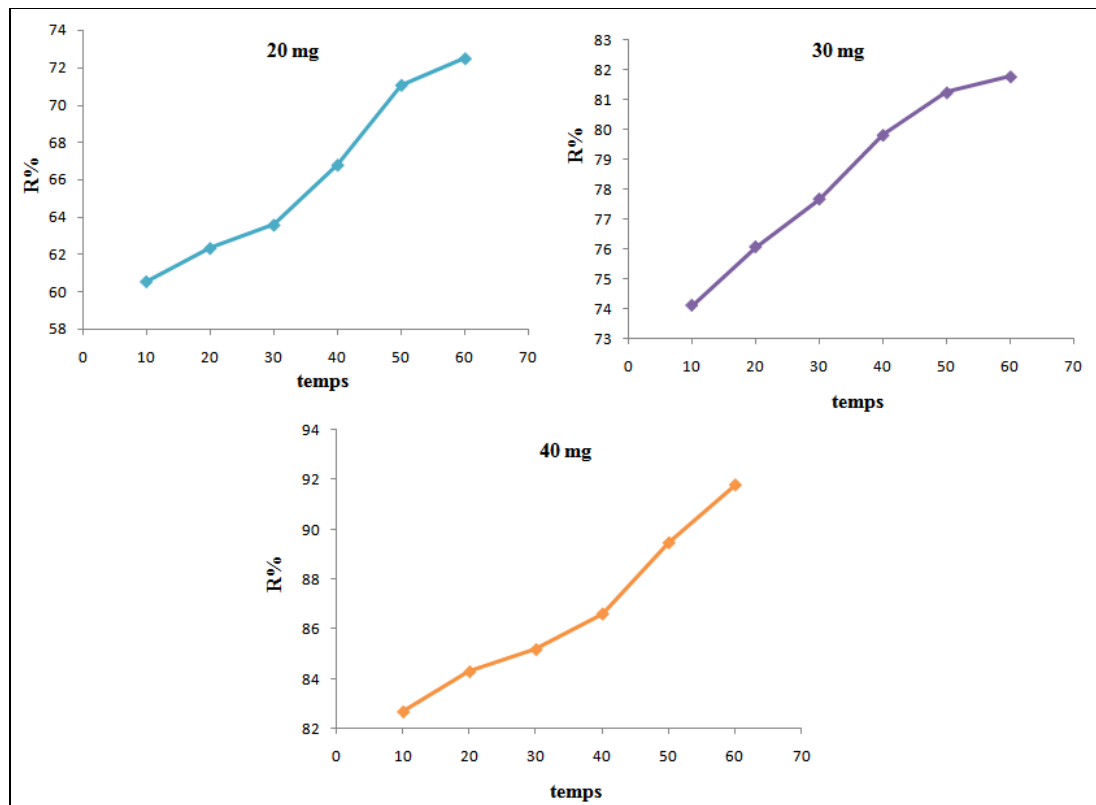


Figure III.23 : Effet de masse sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.

Les figures (III.22) et (III.23) montrent une augmentation rapide du pourcentage d'élimination du fer ferrique à mesure que la masse des deux adsorbants augmente. Cela est principalement dû à l'accroissement de la surface et du nombre de sites actifs du matériau. [7] Les taux d'élimination ont atteint des valeurs maximales de 94.465 % pour la pouzzolane naturelle et de 91.786 % pour la vase avec une masse d'adsorbant de 40 mg.

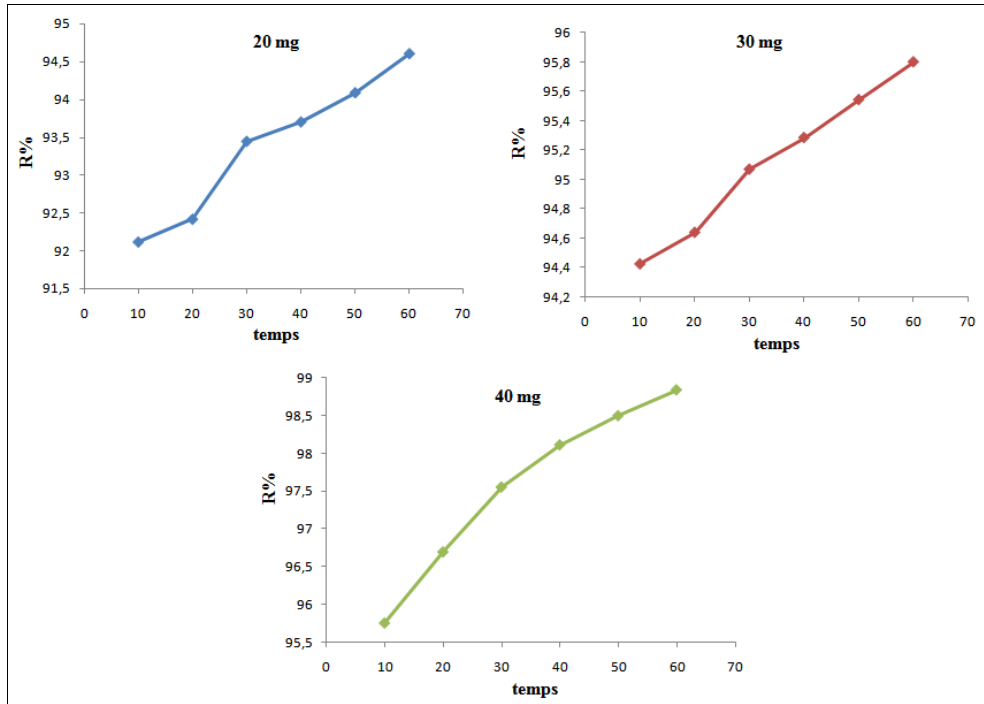


Figure III.24 : Effet de masse sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.

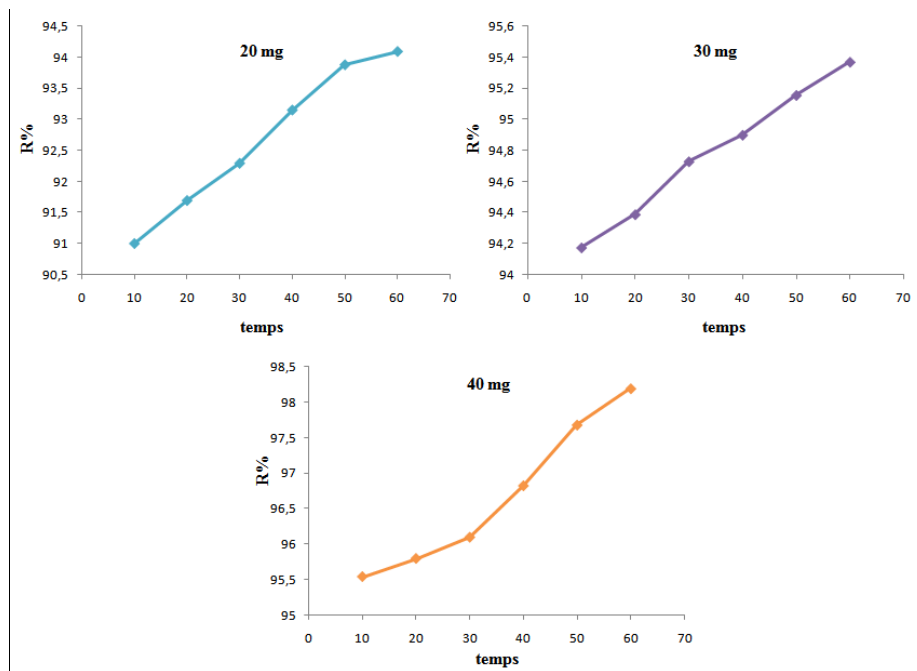


Figure III.25 : Effet de masse sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

Comme l'illustrent les figures (III.24) et (III.25), l'augmentation de la masse des deux adsorbants améliore significativement l'efficacité d'élimination de l'iode. Cette amélioration est principalement attribuable à l'augmentation correspondante de la surface et des sites d'adsorption actifs des deux matériaux. Des rendements d'élimination maximaux sont enregistrés à 98.836 % pour la pouzzolane naturelle et de 98.194 % pour la vase avec 40 mg d'adsorbant.

### III.7.3.3 Effet du pH

L'évolution de la quantité adsorbée des deux composants a été analysée pour différentes valeurs de pH de la solution. Les résultats ont été obtenus en traçant les courbes figures III. (26,27,28,29) illustrant le pH en fonction du temps (t) en minutes.

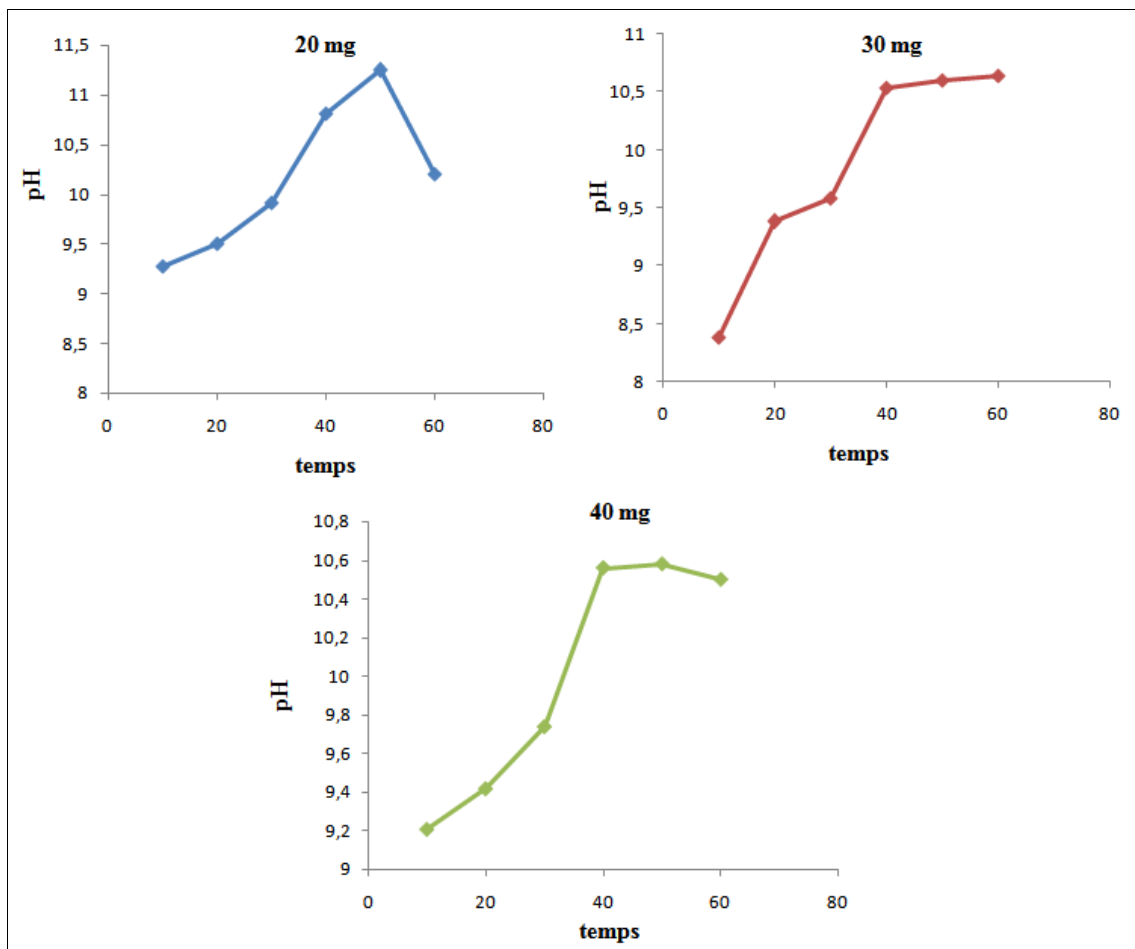
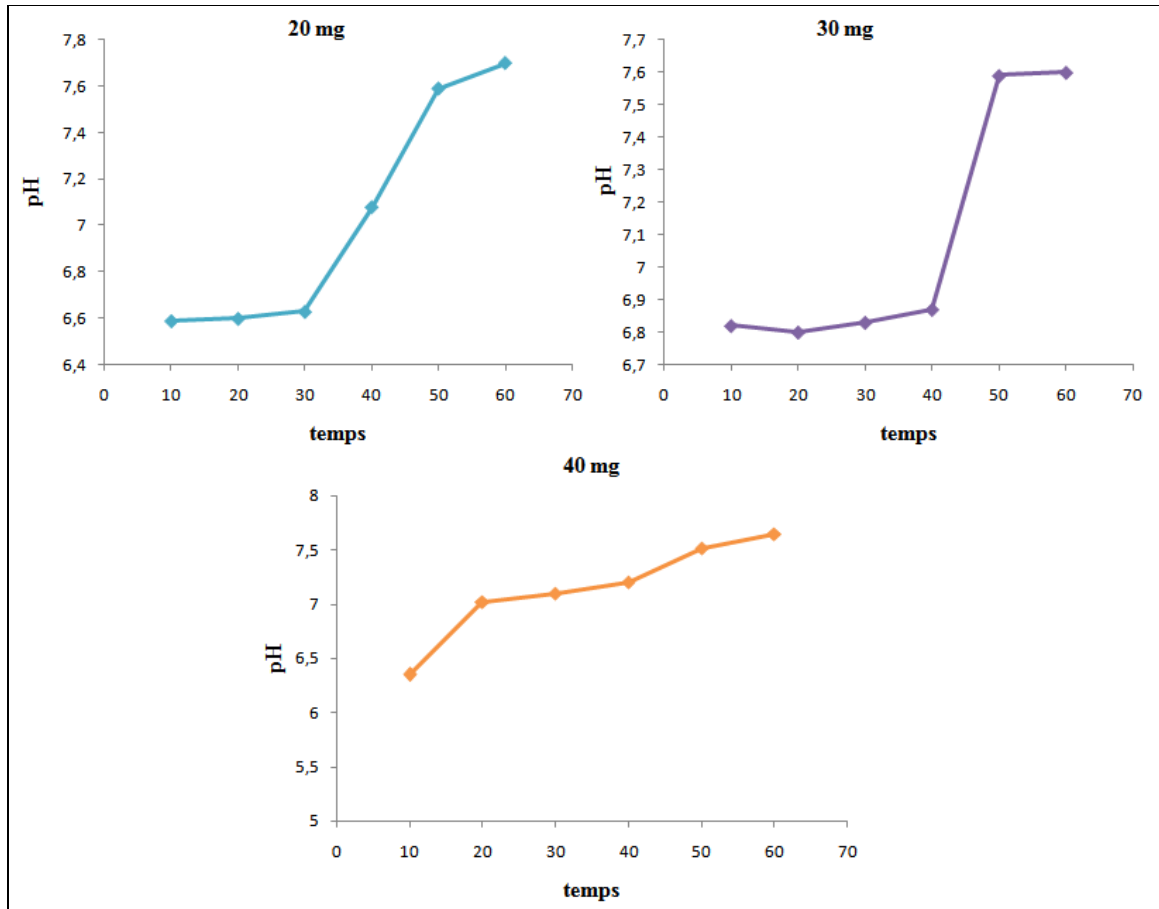


Figure III.26 : Effet du pH sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.



**Figure III.27:** Effet du pH sur l'adsorption du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle. D'après les figures (III.26, 27) qui représente le pH en fonction du temps du fer ferrique. Le pH initial de la solution fille de concentration 80 mg/l est qualifié de faiblement acide (pH=6.37) devient faiblement alcaline lorsque on ajoute les deux adsorbants.

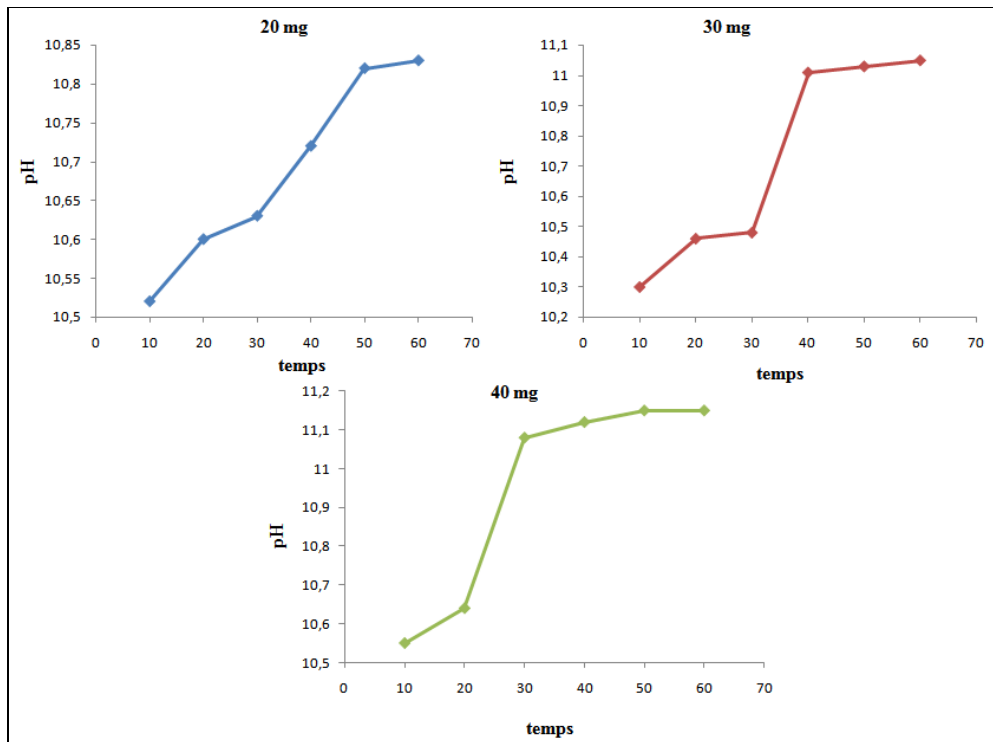


Figure III.28: Effet du pH sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.

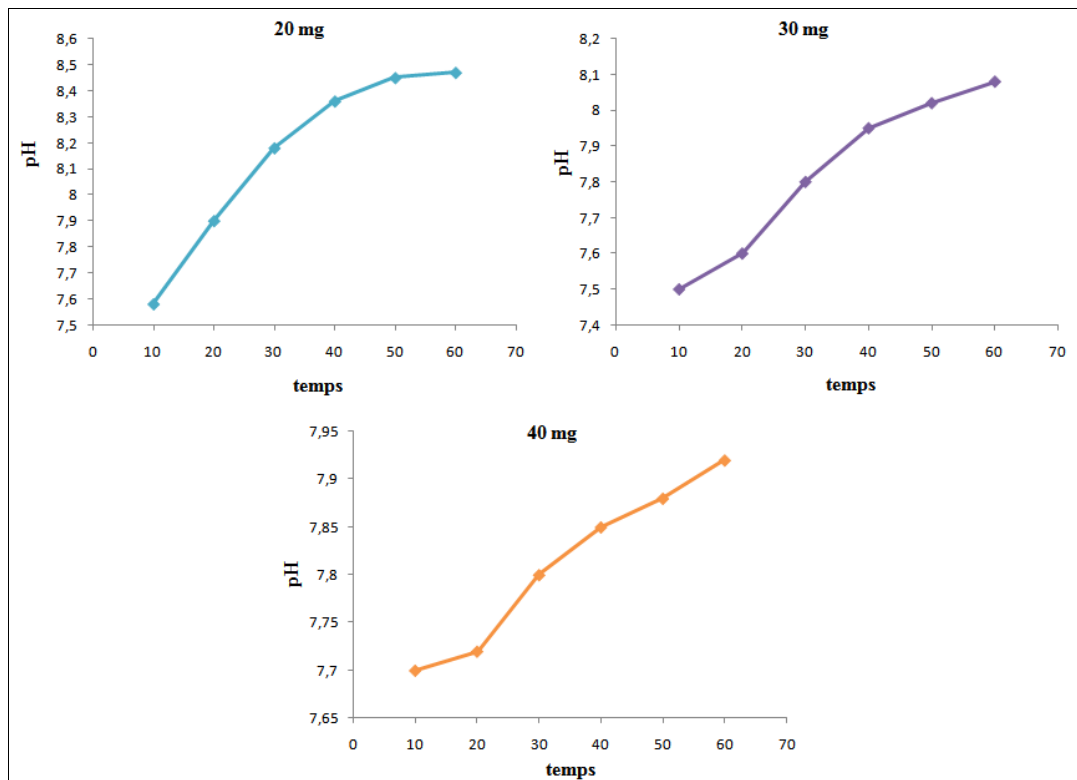


Figure III.29: Effet du pH sur l'adsorption de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

D'après les figures (III.28) et (III.29) qui représente le pH en fonction du temps de l'iode en présence des deux adsorbants. Le pH initial des solutions filles de concentration 55000 mg/l est qualifié de faiblement acide devient modérément alcaline lorsque on ajoute les adsorbants.

### III.7.4 Modélisation de la cinétique d'adsorption

Les isothermes d'adsorption permettent d'analyser le comportement à l'équilibre des deux colorants étudiés et d'apporter des informations précieuses sur les mécanismes mis en jeu dans le processus d'adsorption. Par ailleurs, plusieurs modèles sont proposés dans la littérature pour décrire la cinétique de ce phénomène, en particulier les modèles cinétiques du pseudo-premier ordre et du pseudo-second ordre.

#### III.7.4.1 Modèle cinétique de premier ordre

La modélisation de la cinétique d'adsorption des deux substances médicamenteuses, le fer ferrique et l'iode, en présence des deux adsorbants la pouzzolane naturelle et la vase (pouzzolane artificielle) selon le modèle cinétique du pseudo-premier ordre, est présentée dans les figures III.30 et III.33.

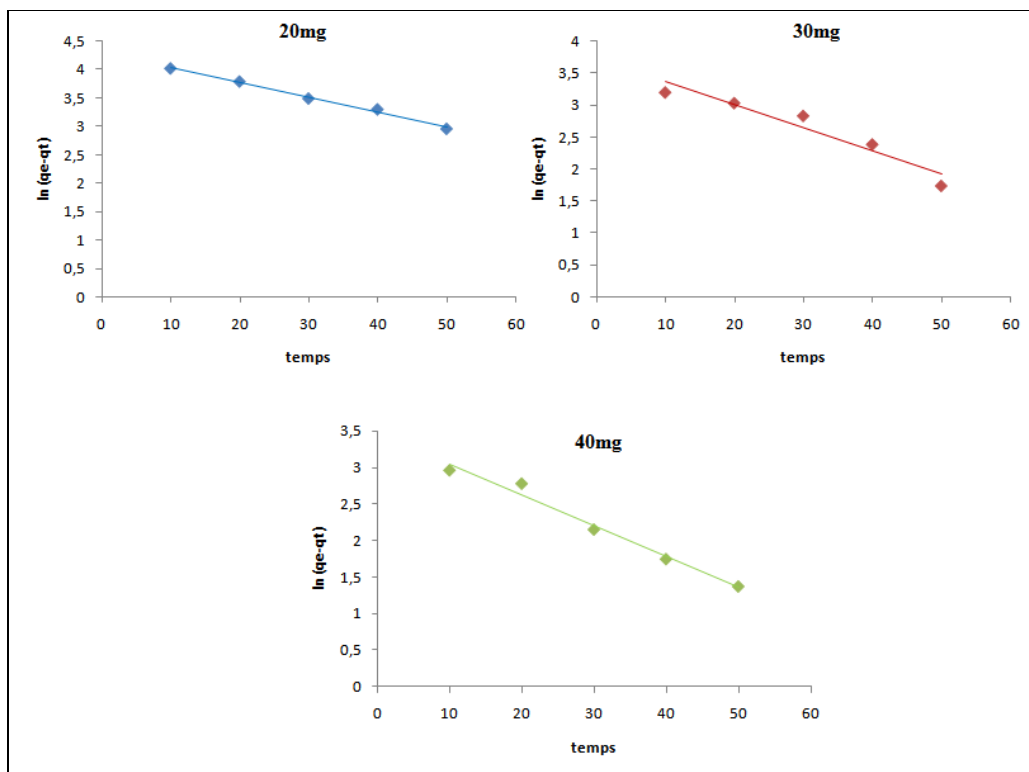


Figure III.30 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- premier ordre du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.

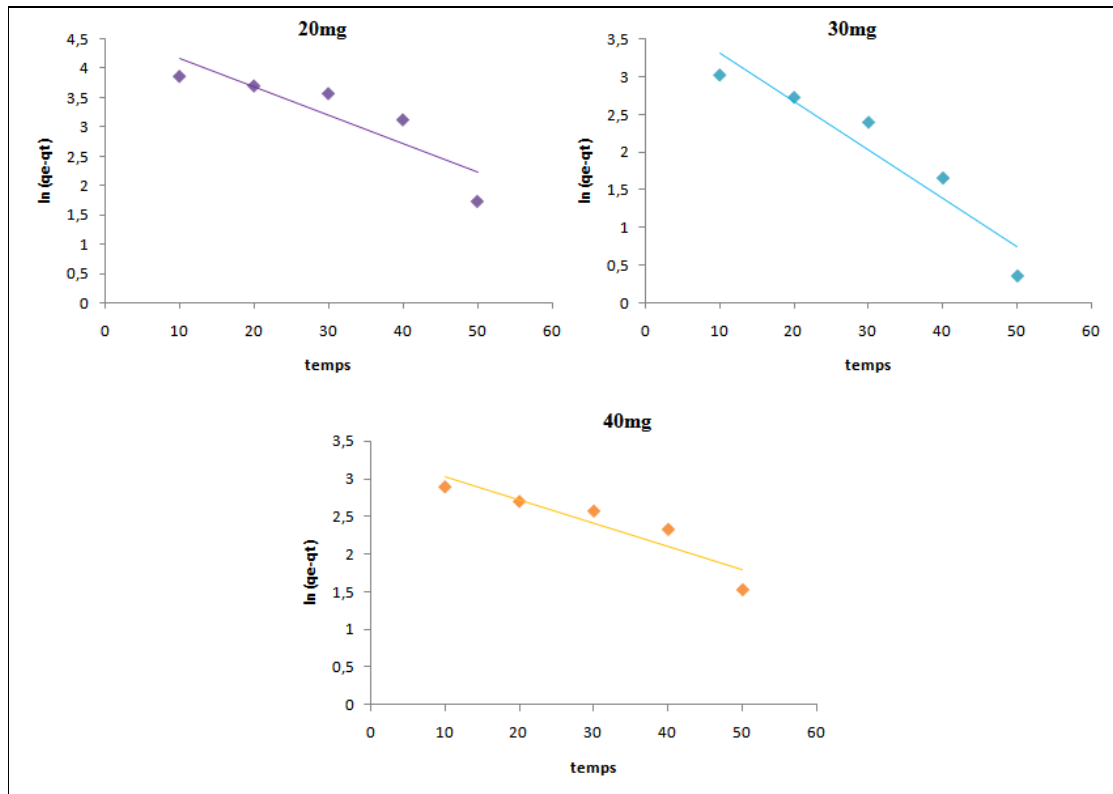


Figure III.31 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- premier ordre du fer ferrique en présence de la vase.

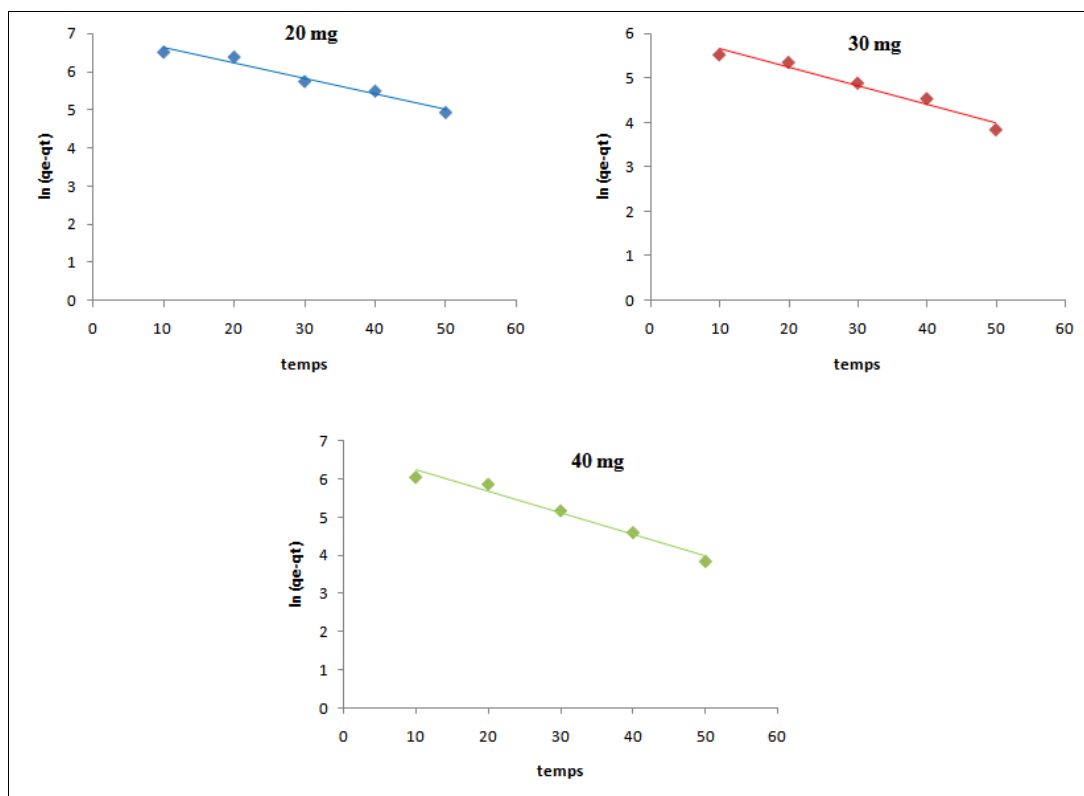
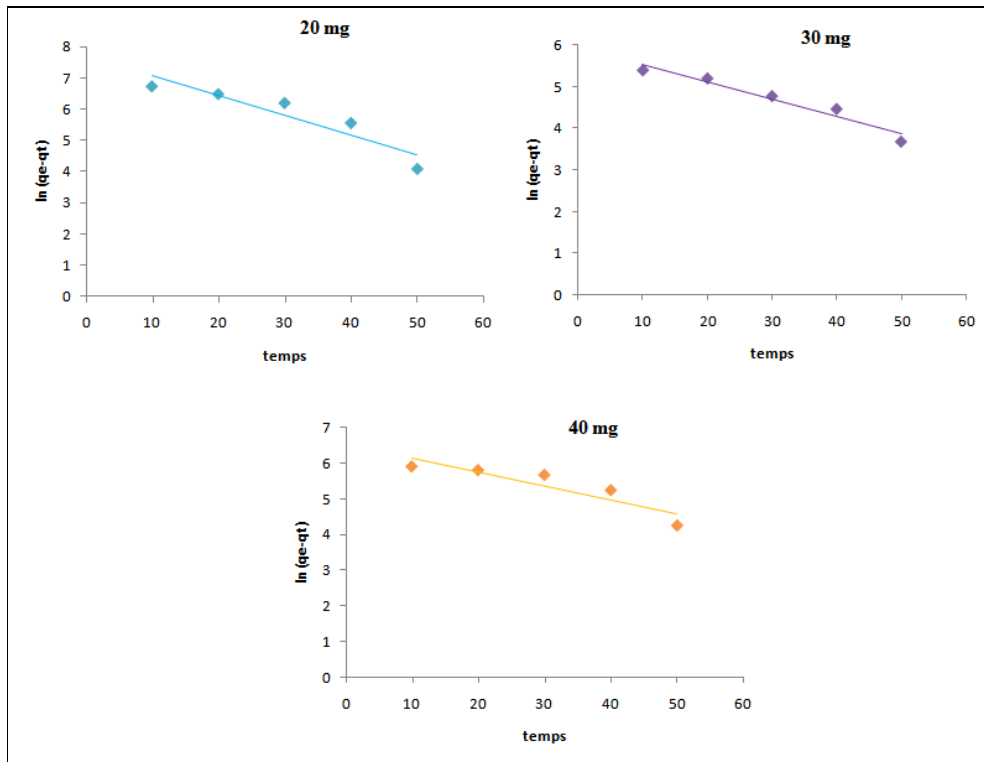


Figure III.32 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.



**Figure III.33 :** Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

#### III.7.4.2 Modèle de pseudo-second ordre

La modélisation de la cinétique d'adsorption des deux médicaments, en présence de pouzzolane naturelle et de vase, selon le modèle du pseudo-second ordre, est présentée dans les figures III.34 à III.32.

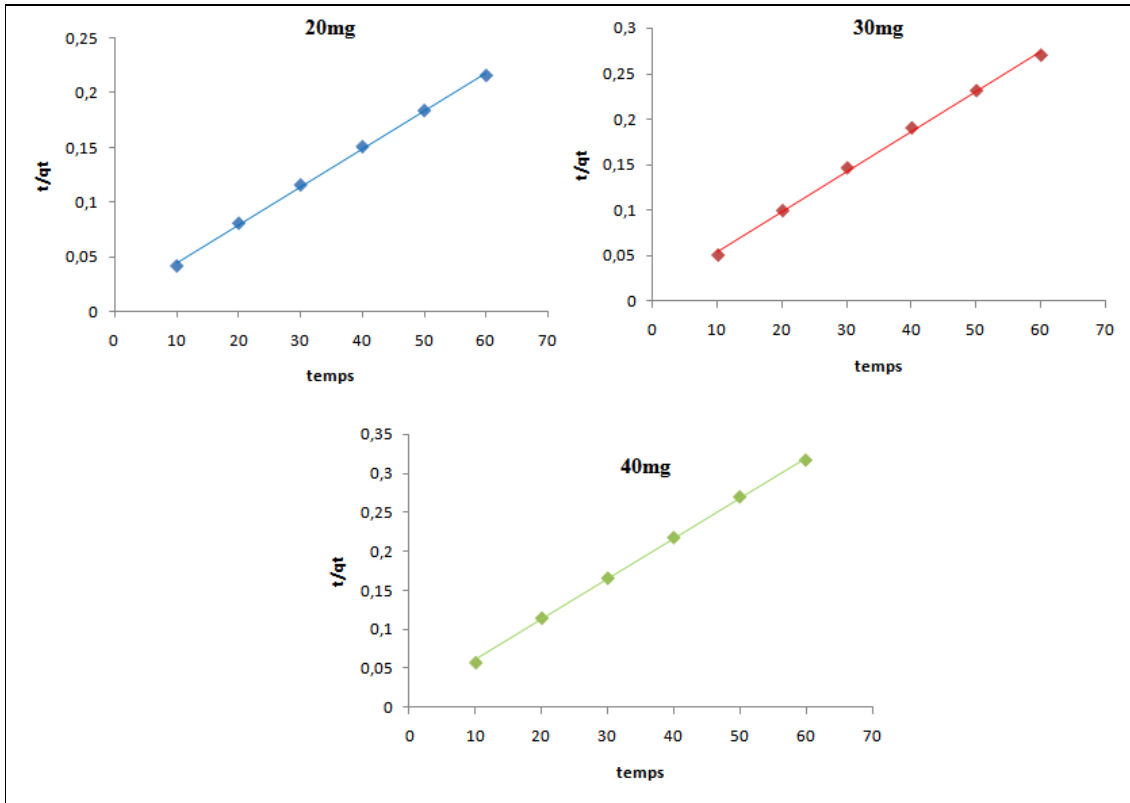


Figure III.34 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- seconde ordre du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.

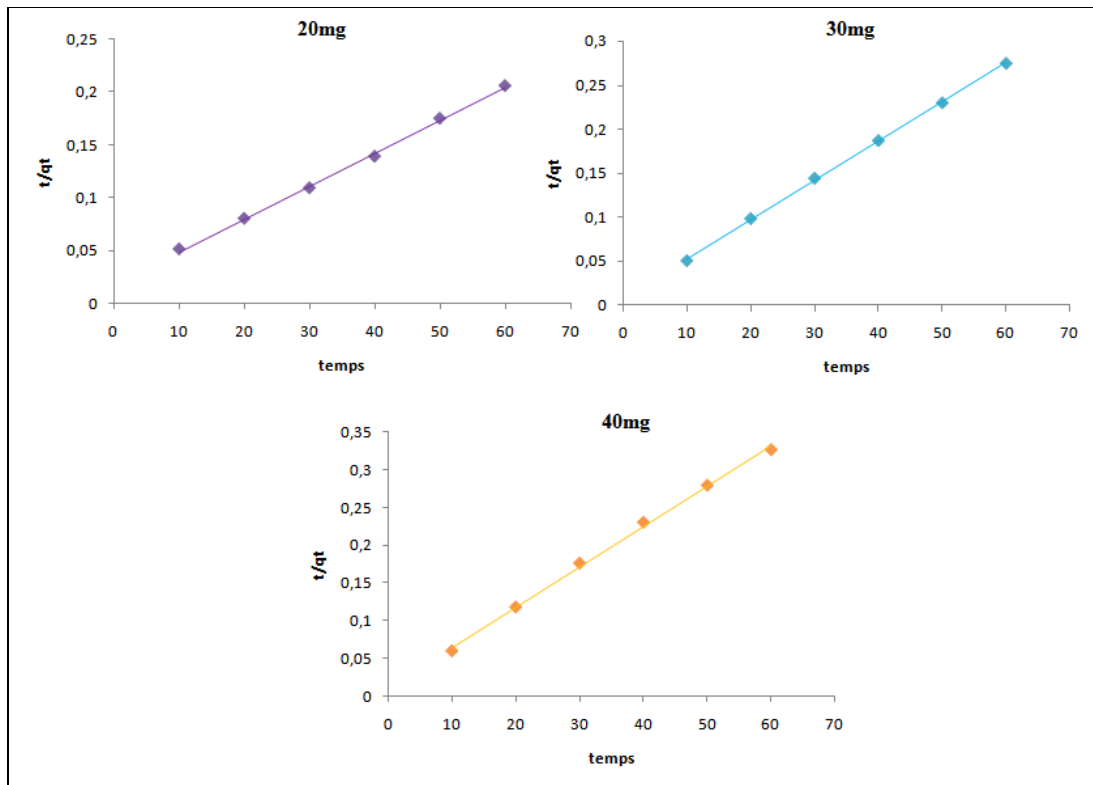


Figure III.35 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- seconde ordre du fer ferrique en présence de la vase.

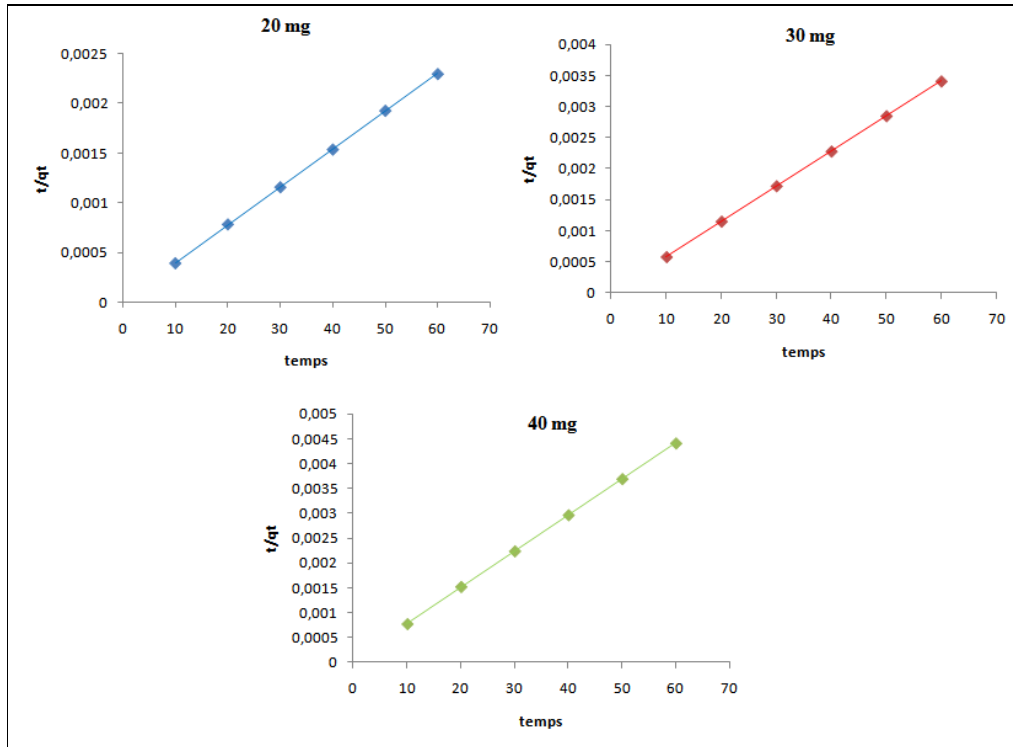


Figure III.36 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-seconde ordre de l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.

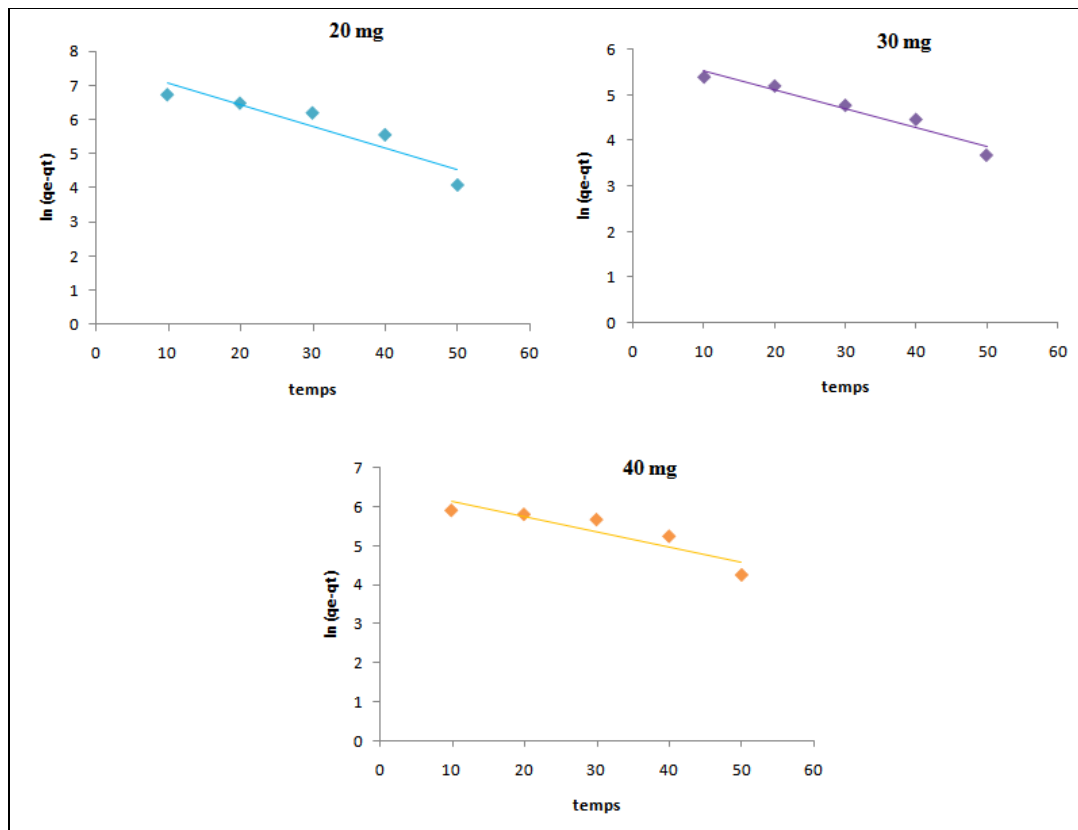


Figure III.37 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

Les paramètres des deux modèles, ainsi que le coefficient de corrélation, sont regroupés dans les tableaux (III.19), (III.20), (III.21) et (III.22).

**Tableau III.19** : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption du Fer ferrique par la pouzzolane naturelle.

Colorant	Masse D'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		$q_e$ (exp) Mg/g	$q_e$ (cal) Mg/g	$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$q_e$ (Cal) Mg/g	$k_1$	R <sup>2</sup>
CI	20	290.715	73.332	0.026	0.993	285.714	3.50 10 <sup>-2</sup>	0.998
	30	221.43	41.264	0.035	0.921	222.222	4.50 10 <sup>-2</sup>	0.998
	40	188.93	31.912	0.042	0.998	192.307	5.481 10 <sup>-2</sup>	0.999

**Tableau III.20** : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption du fer ferrique par la pouzzolane artificielle.

Colorant	Masse D'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		$q_e$ (exp) Mg/g	$q_e$ (cal) Mg/g	$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$q_e$ (cal) Mg/g	$k_1$	R <sup>2</sup>
CI	20	290	104.794	0.048	0.784	294.117	2.873 10 <sup>-2</sup>	0.998
	30	218.096	51.779	0.063	0.902	217.391	5.498 10 <sup>-2</sup>	0.998
	40	183.572	28.332	0.031	0.852	185.185	5.148 10 <sup>-2</sup>	0.999

Le modèle de pseudo-second ordre est le plus pertinent pour déterminer la vitesse d'adsorption du fer ferrique sur les deux adsorbants la pouzzolane naturelle et la vase. Cela est confirmé par une bonne corrélation de ce modèle avec un coefficient de corrélation bien établi R<sup>2</sup> (0.998, 0.999 et 0.999) en présence des deux adsorbants et par le fait que la valeur de la capacité d'adsorption à l'équilibre ( $q_e$ ) calculée par ce modèle est proche de la valeur expérimentale  $q_e$  (285.714, 222.222 et 192.307 mg/l) et (294.117, 217.391 et 185.185 mg/l) en utilisant la pouzzolane naturelle et la vase respectivement.

Ces résultats indiquent clairement que la cinétique d'adsorption du fer ferrique sur les deux adsorbants suit un mécanisme de pseudo-second ordre.

**Tableau III.21** : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption de l'iode par la pouzzolane naturelle.

Colorant	Masse D'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		$q_e$ (exp) Mg/g	$q_e$ (cal) Mg/g	$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$q_e$ (cal) Mg/g	$k_1$	R <sup>2</sup>
CI	20	26015.295	1140.2467	.0040	0.966	25000.00	6.324 10 <sup>-3</sup>	0.999
	30	17563.14	437.466	0.041	0.959	16666.666	7.745 10 <sup>-3</sup>	0.999
	40	13590.00	902.347	0.056	0.970	14285.714	8.366 10 <sup>-3</sup>	0.999

**Tableau III.22** : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption de l'iode par la pouzzolane artificielle.

Colorant	Masse D'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		$q_e$ (exp) Mg/g	$q_e$ (cal) Mg/g	$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$q_e$ (cal) Mg/g	$k_1$	R <sup>2</sup>
CI	20	25874.12	2192.94	0.062	0.861	25641.025	2.757 10 <sup>-2</sup>	0.999
	30	17484.706	383.753	0.041	0.945	17543.859	1.802 10 <sup>-2</sup>	0.999
	40	13501.765	683.345	0.038	0.817	13888.888	1.314 10 <sup>-2</sup>	0.999

Le modèle de pseudo-second ordre est le plus approprié pour déterminer la vitesse d'adsorption d'iode sur la pouzzolane naturelle et la vase. Ceci est étayé par les coefficients de corrélation élevés R<sup>2</sup> (0.999, 0.999, 0.999) pour les adsorbants et par la similitude frappante entre la valeur de la capacité d'adsorption à l'équilibre ( $q_e$ ) calculée par ce modèle et celle obtenue expérimentalement. Ces résultats confirment que la cinétique d'adsorption de notre composant de l'antiseptique sur la

pouzzolane et artificielle respectivement est correctement décrite par le modèle de pseudo-second ordre.

### III.7.5 Modélisation des équilibres des isothermes l'adsorption

Les modèles d'isothermes d'adsorption les plus couramment utilisés pour représenter les équilibres sont ceux de Langmuir, Freundlich et Temkin. Cette modélisation vise à fournir une description précise des données expérimentales des isothermes d'adsorption à l'aide de ces modèles.

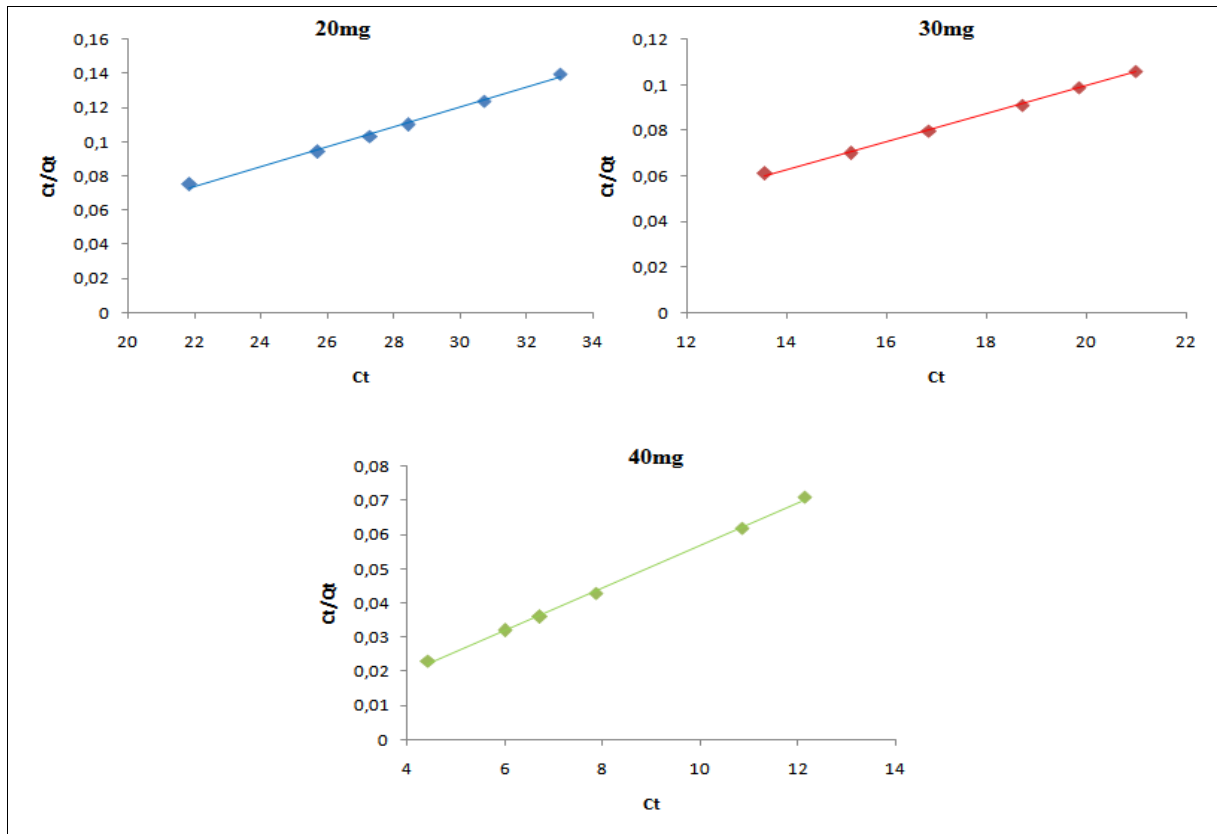


Figure III.38 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.

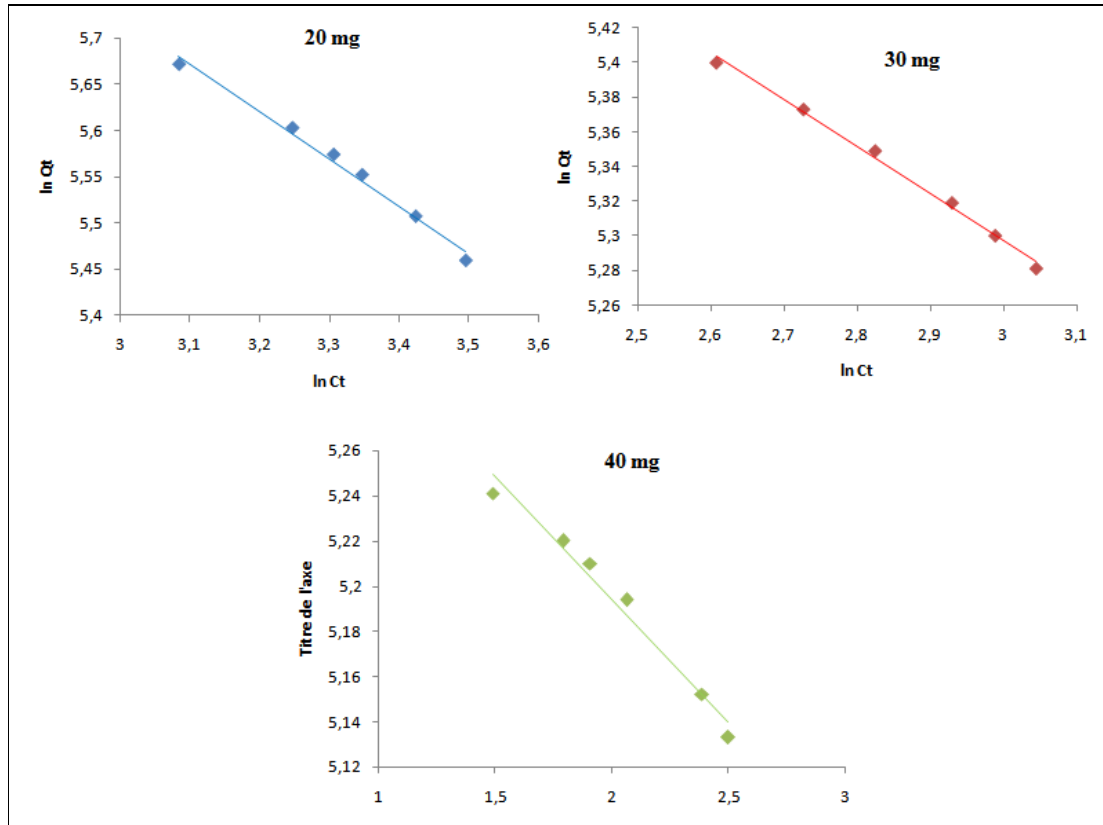


Figure III.39 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.

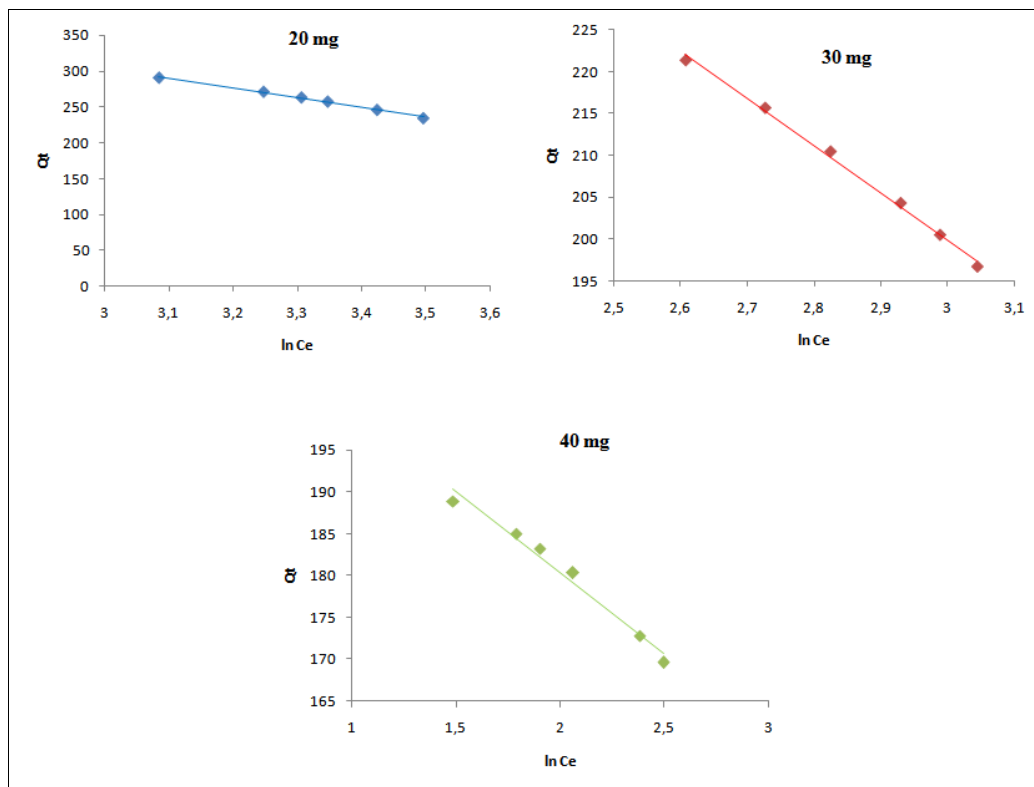


Figure III.40 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du fer ferrique en présence de la pouzzolane naturelle.

Tableau III.23 : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du fer ferrique  
(La pouzzolane naturelle).

Masse d'adsorbant mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	q <sub>max</sub>	k <sub>l</sub>	R <sup>2</sup>	R <sub>l</sub>	k <sub>f</sub>	1/n	R <sup>2</sup>	B (kJ/mol)	k <sub>t</sub>	R <sup>2</sup>
20	303.030	6.111 10 <sup>-2</sup>	0.994	0.169	1.427 10 <sup>3</sup>	0.513	0.988	-134.90	5.244 10 <sup>-3</sup>	0.995
30	221.765	2.136 10 <sup>-1</sup>	0.998	0.058	4.512 10 <sup>2</sup>	0.271	0.994	-56.660	1.463 10 <sup>-3</sup>	0.996
40	188.679	1.060	0.999	0.0116	2.238 10 <sup>2</sup>	0.085	0.975	-19.40	1.238 10 <sup>-5</sup>	0.978

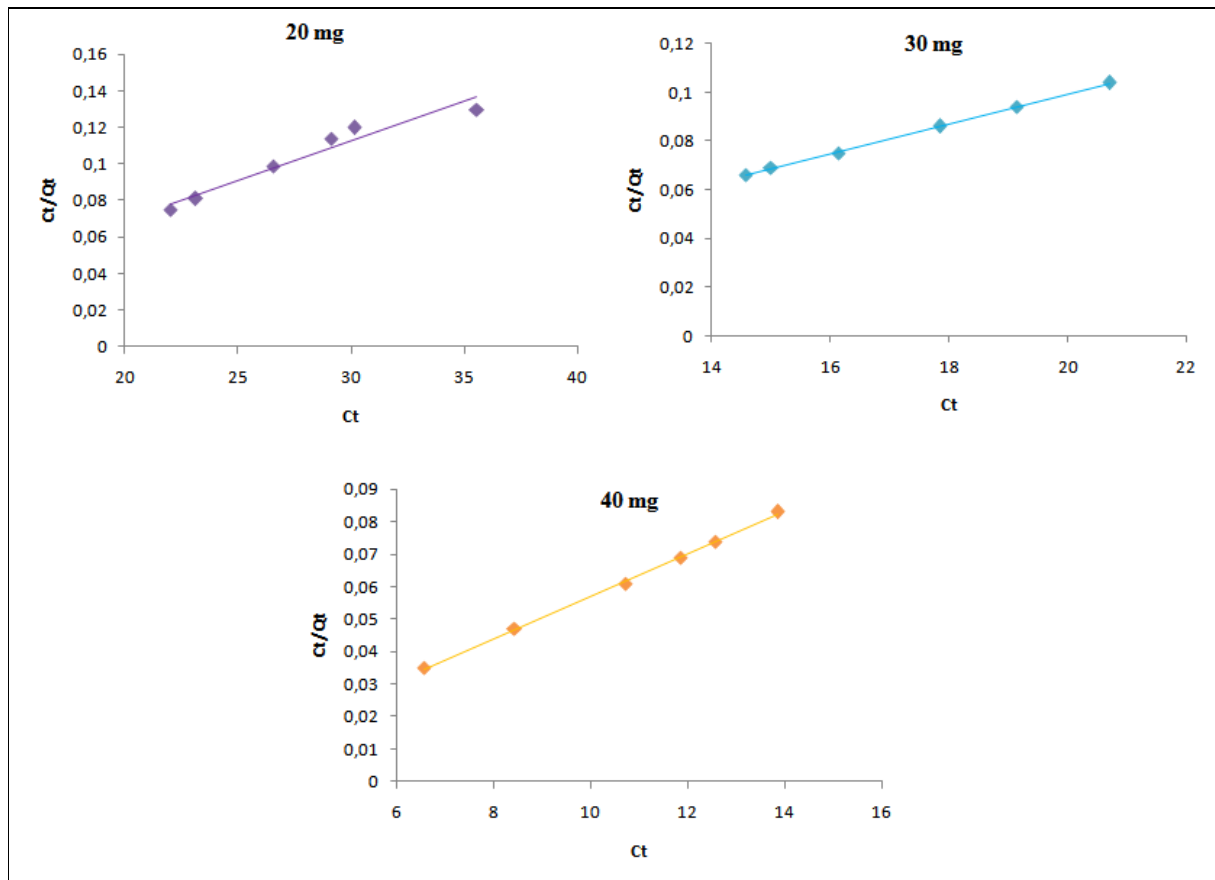


Figure III.41 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.

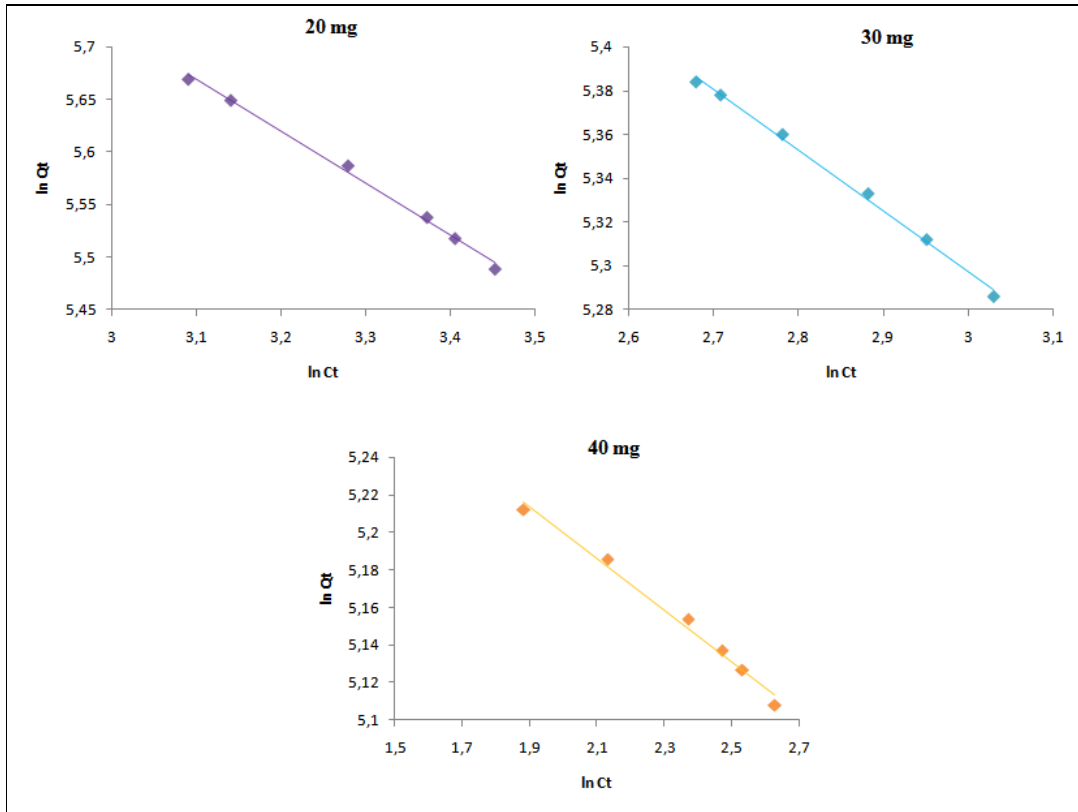


Figure III.42: Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.

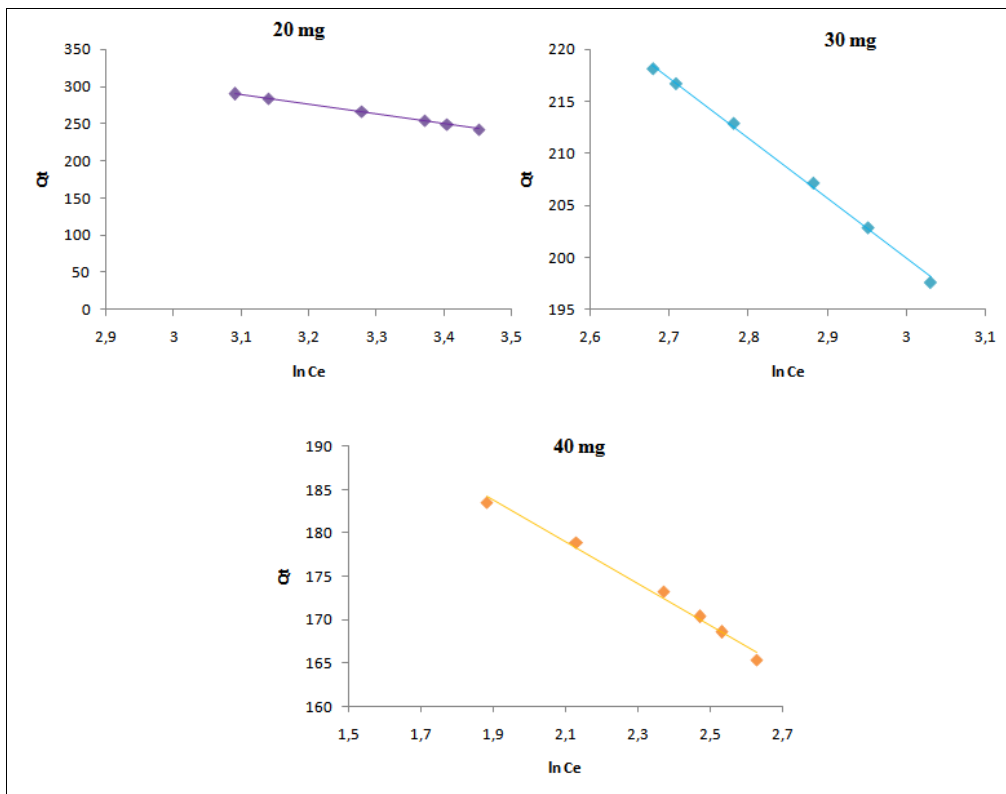


Figure III.43 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du fer ferrique en présence de la pouzzolane artificielle.

**Tableau III.24** : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du Fer ferrique  
(La pouzzolane artificielle).

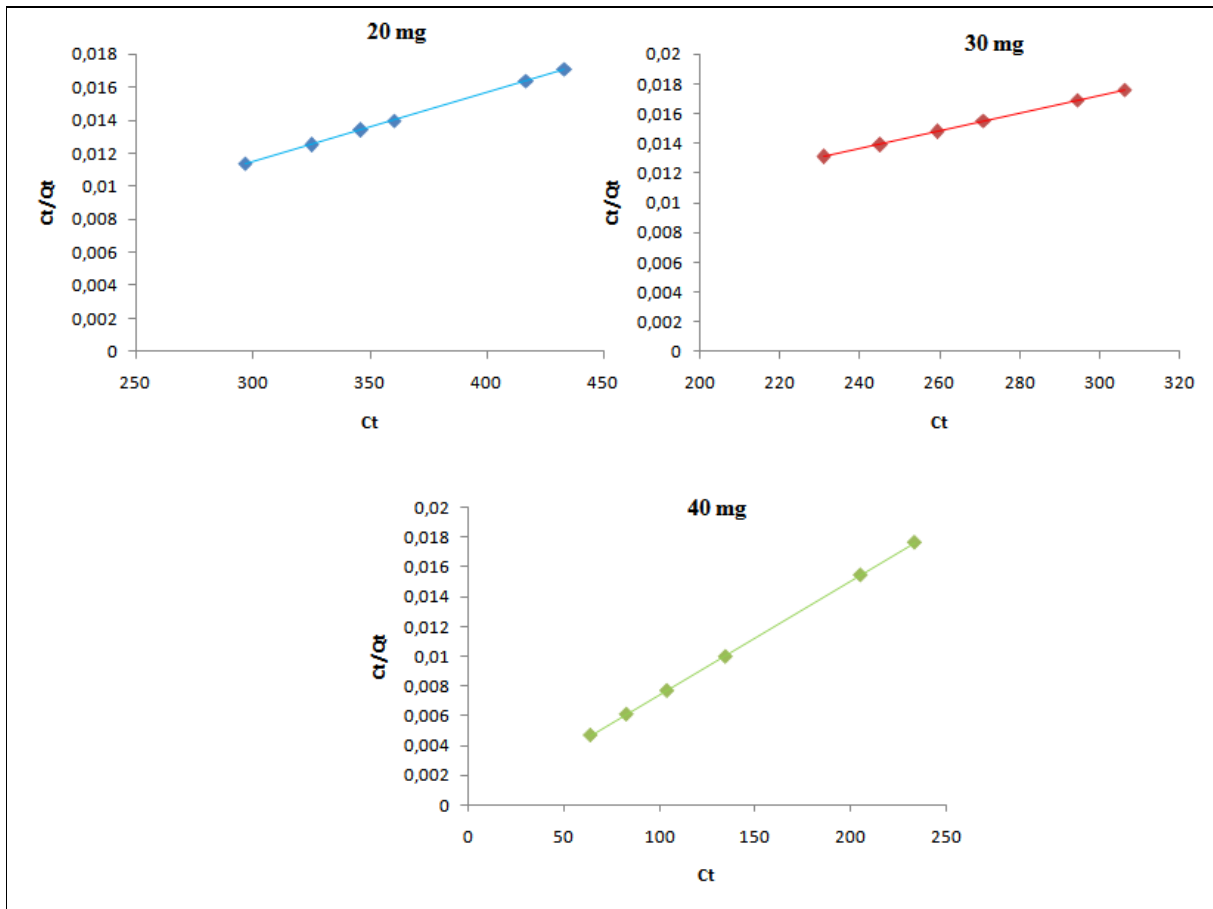
Masse d'adsorbant  mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	q <sub>max</sub>	k <sub>l</sub>	R <sup>2</sup>	R <sub>l</sub>	k <sub>f</sub>	1/n	R <sup>2</sup>	B (kJ/mol)	k <sub>t</sub>	R <sup>2</sup>
<b>20</b>	277.777	6.666 10 <sup>-2</sup>	0.994	0.157	1.427 10 <sup>3</sup>	0.513	0.989	-131.90	5.017 10 <sup>-3</sup>	0.998
<b>30</b>	217.391	2.090 10 <sup>-1</sup>	0.998	0.056	4.512 10 <sup>2</sup>	0.271	0.996	-57.98	1.587 10 <sup>-3</sup>	0.997
<b>40</b>	178.571	1.120	0.999	0.0110	2.238 10 <sup>2</sup>	0.080	0.973	-24.19	7.486 10 <sup>-5</sup>	0.989

Les résultats des isothermes d'adsorption du fer ferrique sur la pouzzolane naturelle et la vase, illustrés dans les Figures III. (38 à 42), ont été analysés à l'aide des modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin, dont les paramètres sont détaillés dans le tableau (III.23) et le tableau (III.24).

Le modèle de Langmuir a montré un bon ajustement aux données expérimentales, avec un coefficient de corrélation R<sup>2</sup> (0.994, 0.998 et 0.999) pour notre composant le fer ferrique sur la pouzzolane naturelle prise avec des masses de 20, 30 et 40 mg respectivement. Dans le cas de l'utilisation de la vase comme adsorbant prise avec des masses 20, 30 et 40mg, le modèle de Langmuir a présenté une bonne corrélation, cela est expliquée par la valeur du coefficient R<sup>2</sup> donnée est proche de 1 (0.999). La valeur du facteur d'équilibre en présence des deux adsorbants prisent avec des masses 20, 30 et 40 mg a donné des valeurs RL < 1 (0.169, 0.058 et 0.0116) et (0.157, 0.056 et .0110) respectivement, cela confirme que l'adsorption de ce composant du notre médicament est favorable.

Concernant le modèle de Freundlich, les résultats ont montré que les coefficients de corrélation (R<sup>2</sup>) étaient élevés (0.988 et 0.994) et (0.989 et 0.996) en présence des deux adsorbants prisent avec des masses 20 et 30 mg respectivement. En remarquant un faible ajustement en présence des mêmes adsorbants prisent avec une masse de 40 mg, en donnant un coefficient de corrélation R<sup>2</sup> (0.975 et 0.973) respectivement. Les valeurs de 1/n trouvées (0.513 et 0.271) et de n (1.949 et 3.690) en présence de la pouzzolane naturelle et (0,513 et 0,271) et de n (1.949 et 3.690) en présence de la vase suggèrent une adsorption efficace du fer ferrique.

Enfin, le modèle de Temkin a également présenté des coefficients de corrélation (R<sup>2</sup>) élevés (0,995 et 0.996) et (0.998 et 0.997) pour les masses de 20 et 30 mg de chaque adsorbant respectivement.



**Figure III.44 :** Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.

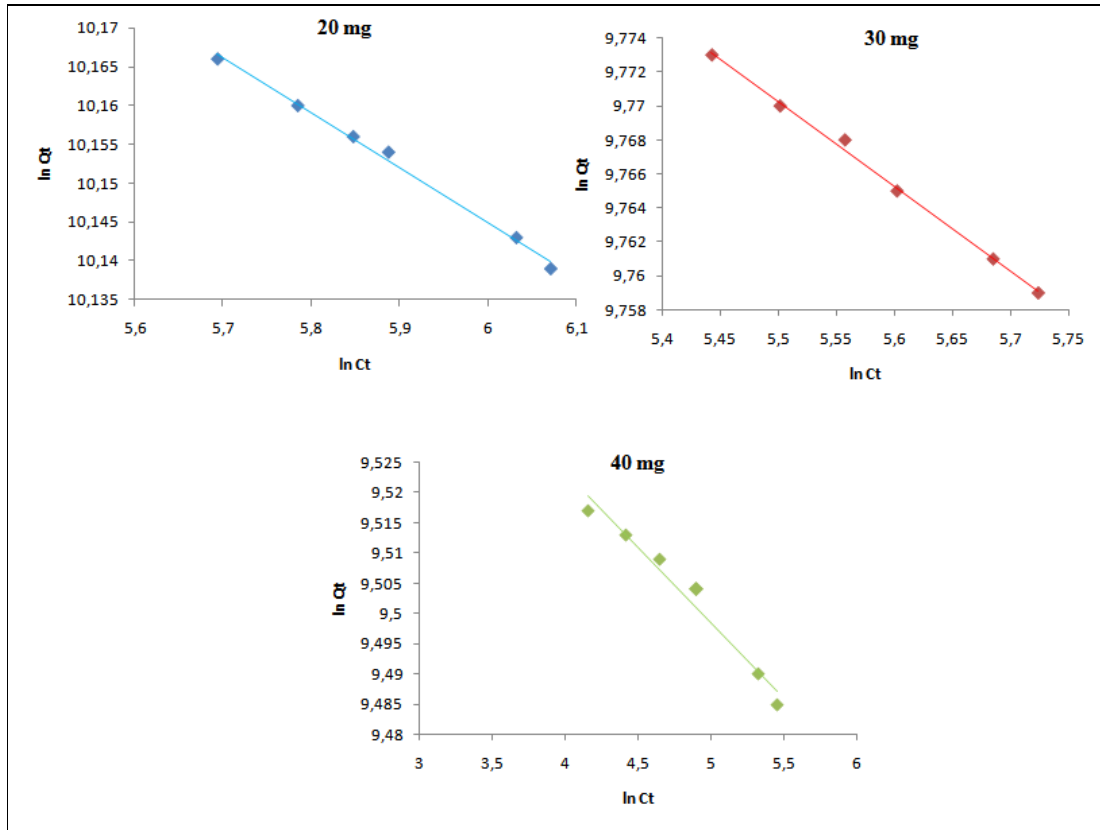


Figure III.45 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.

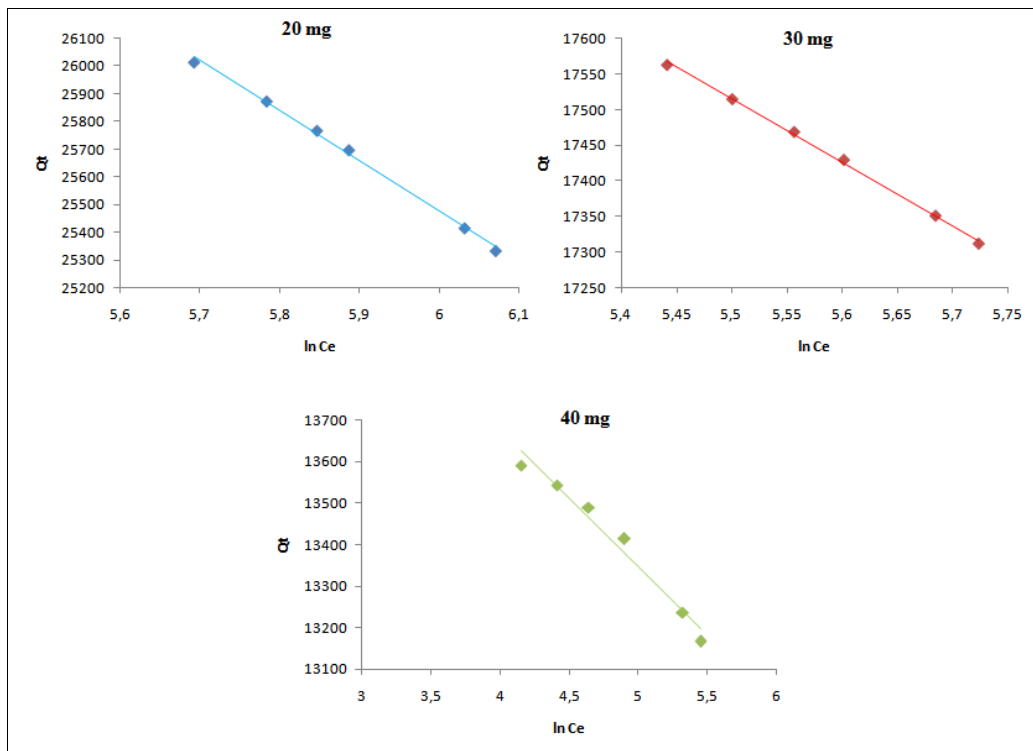
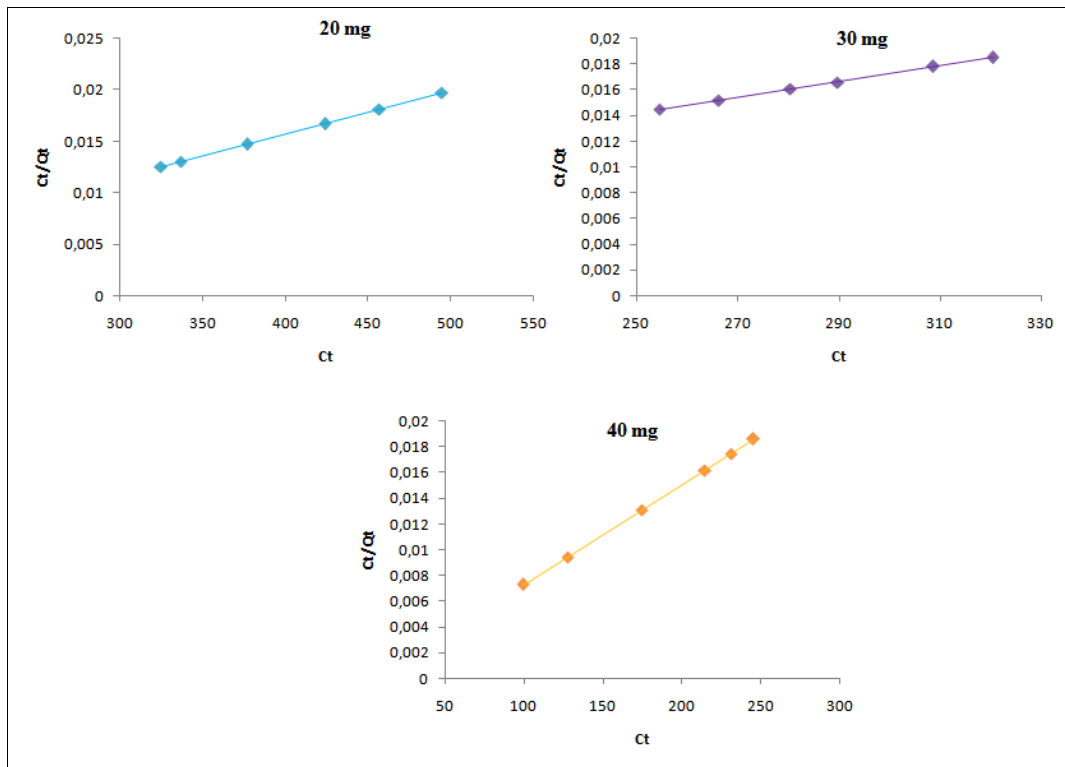


Figure III.46 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du l'iode en présence de la pouzzolane naturelle.

**Tableau III.25** : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin de l'iode  
(La pouzzolane naturelle).

Masse d'adsorbant mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	q <sub>max</sub>	k <sub>l</sub>	R <sup>2</sup>	R <sub>l</sub>	k <sub>f</sub>	1/n	R <sup>2</sup>	B (kJ/mol)	k <sub>t</sub>	R <sup>2</sup>
20	26315.789	3.80 10 <sup>-2</sup>	0.999	0.0047	3.856 10 <sup>4</sup>	0.070	0.995	-1821	2.075 10 <sup>-9</sup>	0.997
30	17241.379	5.80 10 <sup>-2</sup>	0.999	0.0031	2.292 10 <sup>4</sup>	0.049	0.996	-890	1.158 10 <sup>-11</sup>	0.998
40	13333.333	7.50 10 <sup>-2</sup>	0.999	0.0024	1.510 10 <sup>4</sup>	0.024	0.971	-331.10	2.106 10 <sup>-20</sup>	0.972



**Figure III.47** : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

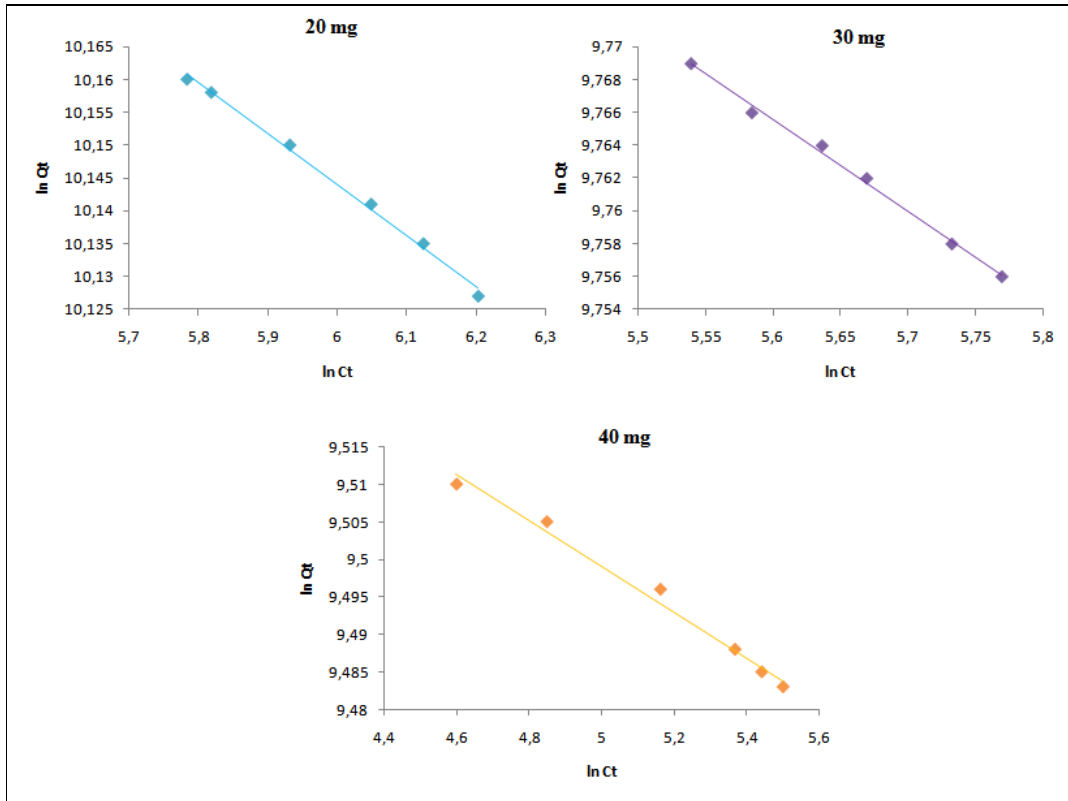


Figure III.48 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

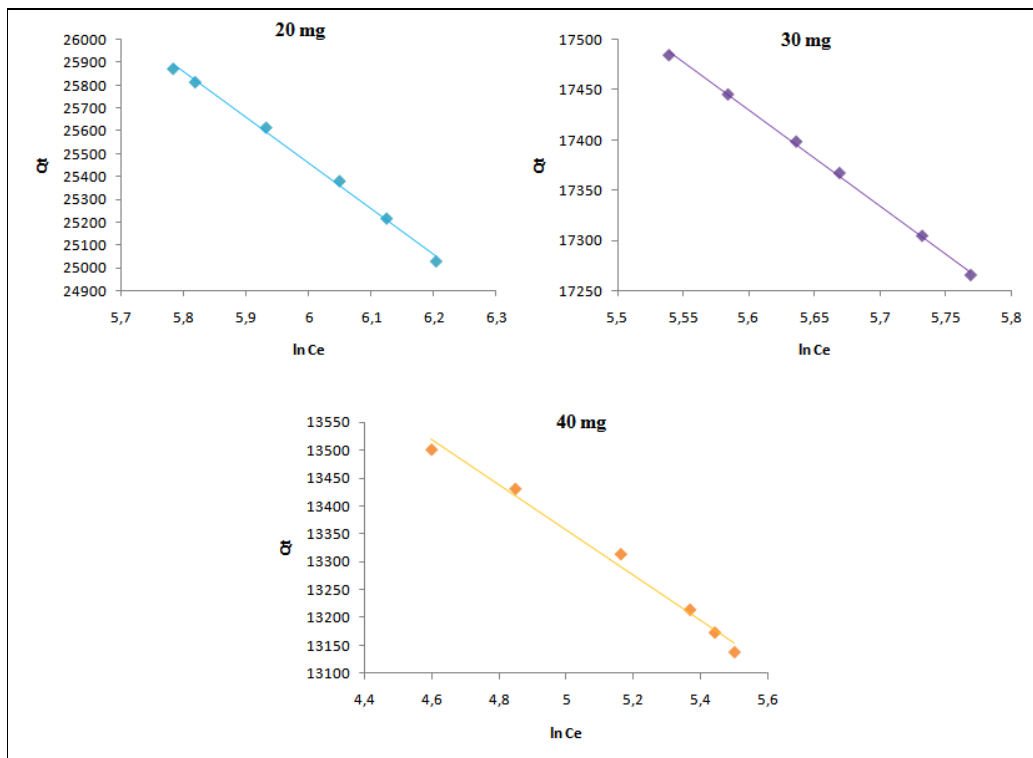


Figure III.49 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du l'iode en présence de la pouzzolane artificielle.

**Tableau III.26** : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin de l'iodine  
(La pouzzolane artificielle).

Masse d'adsorbant mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	q <sub>max</sub>	k <sub>l</sub>	R <sup>2</sup>	R <sub>l</sub>	k <sub>f</sub>	1/n	R <sup>2</sup>	B (kJ/mol)	k <sub>t</sub>	R <sup>2</sup>
20	27777.777	3.60 10 <sup>-2</sup>	0.999	0.005	4.053 10 <sup>4</sup>	0.077	0.995	-2004.00	7.532 10 <sup>-9</sup>	0.996
30	17857.142	5.60 10 <sup>-2</sup>	0.999	0.003	2.362 10 <sup>4</sup>	0.056	0.995	-954.60	4.345 10 <sup>-11</sup>	0.998
40	13698.630	7.30 10 <sup>-2</sup>	0.999	0.002	1.555 10 <sup>4</sup>	0.030	0.987	-404.90	3.171 10 <sup>-17</sup>	0.987

Les isothermes d'adsorption du composant de l'antiseptique en présence des deux adsorbants, présentées dans les Figures III. (44 à 49), ont été analysées à l'aide de plusieurs modèles, dont les résultats expérimentaux sont détaillés dans les tableaux (III.25 et III.26).

Le modèle de Langmuir montre une excellente corrélation en utilisant la pouzzolane naturelle et artificielle présent avec des masses de 20, 30 et 40 mg, en donnant les coefficients R<sup>2</sup> élevés est proche de 1 (0.999, 0.999 et 0.999) respectivement. La valeur du facteur d'équilibre en présence des deux adsorbants avec les masses 20, 30 et 40 mg a donné des valeurs RL < 1 (0.0047, 0.0031 et 0.0024) et (0.005, 0.003 et 0.002) respectivement, cela confirme que l'adsorption de ce composant est favorable. Cependant, ce modèle semble être le plus approprié pour décrire l'adsorption de l'iodine sur les deux adsorbants, compte tenu de son excellent ajustement.

Dans l'isotherme de Freundlich, les résultats ont présenté une bonne corrélation en présence de la pouzzolane naturelle et artificielle présent en masse de 20 et 30 mg, cela est confirmé par les valeurs du coefficient de corrélation R<sup>2</sup> trouvé (0.995, 0.996) et (0.995 et 0.995) respectivement, ainsi les valeurs de 1/n (0.070 et 0.049) et (0.077 et 0.056) ont montré que l'adsorption du composant est favorable.

Quant au le modèle de Temkin, il s'adapte bien à l'élimination d'iodine sur les deux adsorbants présent avec les masses 20 et 30 mg. Car ce modèle présente une bonne corrélation, avec R<sup>2</sup> donné comme suit (0.997 et 0.998) et (0.996 et 0.998) respectivement.

### **III.8 Conclusion**

Cette recherche met en évidence la capacité de nos matériaux, la pouzzolane naturelle et artificielle, à éliminer les composants des deux médicaments tels que le fer ferrique existant dans le comprimé Fumacur et l'iode existant dans l'antiseptique Bétadine. Les résultats expérimentaux révèlent que :

- L'effet de certains paramètres a été analysé et discuté.
- Le taux d'adsorption varie en fonction de la masse de l'adsorbant.
- L'analyse de la cinétique d'adsorption a montré que la cinétique apparente suit un modèle d'ordre 2, avec une quantité adsorbée calculée proche des valeurs expérimentales.
- Les isothermes d'adsorption ont été étudiées en utilisant les trois modèles les plus courants : Langmuir, Freundlich et Temkin. Ces modèles ont été appliqués pour décrire le processus d'adsorption du fer ferrique et l'iode sur les deux matériaux solides, la pouzzolane naturelle et artificielle.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Imene Laoufi , Laid Laoufi , Yassine Senhadji , Amar Benazzouk JOURNAL OF MATERIALS AND ENGINEERING STRUCTURES 6,427–442,2019.
- [2] Omar Safer, Nadia Belas, Omar Belaribi, Khalil Belguesmia, Nasr-Eddine Bouhamou, And Abdelkader Mebrouki, Valorization Of Dredged Sediments As A Component Of Vibrated Concrete: Durability Of These Concretes Against Sulfuric Acid Attack, International Journal Of Concrete Structures And Materials,2018.
- [3] Wu Feng, Deng Nansheng. Photochemistry of hydrolytic iron (III) species and photoinduced degradation of organic compounds. A minireview. Chemosphere 41 1137-1147, 2000.
- [4] D.Kida, O.Gładysz, M.Szulc, J.Zborowski, A.Junka , M.Janeczek, A.Lipinska, A.Skalec and B.Karolewicz, Development and Evaluation of a Polyvinylalcohol - Cellulose Derivative-Based Film with Povidone-Iodine Predicted for Wound Treatment. 12, 1271, 2020.
- [5] Lemouedda Saddek Et Madoui Imene, élimination du bleu de méthylène par adsorption sur les coquilles de noix, mémoire de master, universite Salah Boubnider, Constantine ,2019.
- [6-7] Medekhel Abdallah, adsorption du bleu de méthylène par charbona actif, mémoire De master, Université Echahid Hamma Lakhdar -El Oued, 2018.

## *Conclusion générale*

## ***Conclusion générale***

L'objectif de ce travail est étudié l'élimination d'es composants existant dans des médicaments en utilisant des matériaux. Nous avons utilisé la pouzzolane naturelle et artificielle comme adsorbant pour éliminer ces composants.

Nous avons opté pour le processus d'adsorption, reconnu comme l'une des méthodes les plus courantes et efficaces pour l'élimination des polluants.

Les études cinétiques et les isothermes d'adsorption ont été réalisées pour mieux comprendre le mécanisme de fixation de ces composants sur les matériaux testés. Les effets de divers paramètres expérimentaux ont été examinés dans le cadre de l'application de la technique d'adsorption. La modélisation cinétique révèle que le modèle de pseudo-second ordre offre la meilleure description de la cinétique d'adsorption. Les quantités maximales adsorbées pour une masse de 40 mg des adsorbants utilisés dans l'élimination du fer ferrique et l'iode sont respectivement de 188.93 et 183.572 mg/g, 13590 et 13501.765 mg/g.

L'adsorption du fer ferrique sur les deux adsorbants a été modélisée en utilisant les isothermes les plus courants tels que les modèles de Langmuir, Freundlich et de Temkin.

Le modèle de Langmuir a montré un bon ajustement aux données expérimentales, avec un coefficient de corrélation  $R^2$  (0.994, 0.998 et 0.999) pour notre composant le fer ferrique sur la pouzzolane naturelle prit avec des masses de 20, 30 et 40 mg respectivement. En présence de la vase, le même modèle a présenté une bonne corrélation dans tous les cas, cela est expliquée par la valeur du coefficient  $R^2$  donnée est proche de 1 (0.999).

Le modèle de Freundlich a montré une bonne adéquation dans deux cas en présence des deux adsorbants avec des masses de 20 et 30 mg, cela est expliqué par la valeur du coefficient de corrélation, en donnant  $R^2$  (0.988 et 0.994) en présence de la pouzzolane naturelle et (0.989 et 0.996) en présence de la vase.

Enfin, le modèle de Temkin a offert le meilleur ajustement  $R^2$  (0,995 et 0.996) et (0.998 et 0.997) pour les masses de 20 et 30 mg de chaque adsorbant respectivement.

Pour le composant l'iode, on remarque que Le modèle de Langmuir montre un excellent en utilisant la pouzzolane naturelle et artificielle prisent avec des masses de 20, 30 et 40 mg, en donnant les coefficients  $R^2$  élevés est proche de 1 (0.999, 0.999 et 0.999) respectivement.

Le modèle de Freundlich montre une bonne adéquation en présence des deux matériaux prisent en masse de 20 et 30 mg, cela est confirmé par les valeurs du coefficient de corrélation  $R^2$  donné (0.995, 0.996) et (0.995 et 0.995) respectivement.

Le modèle de Temkin s'adapte bien à l'adsorption sur les deux matériaux présent avec les masses 20 et 30 mg. Car ce modèle présente une bonne corrélation, avec  $R^2$  enregistré comme suit (0.997 et 0.998) et (0.996 et 0.998) respectivement.