



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE TISSEMSILT
INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES, FORESTERIE ET
ENVIRONNEMENT



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de

Master académique en

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème :

***Eliminations d'un polluant organique « le rouge bezacryl
GRL180 » par adsorption sur une argile locale***

Présenté par : ZITOUNI Meriem

Soutenu le, 10/06/2026

Devant le Jury :

M. BOUKHELLOUT Salah	Président	M.C.B	U.TISSEMSILT.
M.MELIANI Kaddour	Examineur	M.C.B	U.TISSEMSILT.
M.GUEMOU Laid	Encadrant	M.C.A	U.TISSEMSILT.

Remerciement

*M*erci est un terme court, qui en dit long, que j'aimerais exprimer à énormément **Monsieur GUEMOU Laid** que j'ai eu la chance de beaucoup de personnes aujourd'hui. Pour commencer, je remercie croiser sur mon chemin.

*Je tiens à adresser mes sincères remerciements aux membres du jury, Monsieur **MELIANI** et Monsieur **BOUKHELOUT**, pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour l'intérêt qu'ils lui ont porté.*

*Je tiens également à remercier Monsieur **MOHAMED BELKBIR Hamza** pour son aide, ses conseils et son soutien précieux durant la réalisation de ce travail.*

*Mes remerciements vont aussi à Madame **BOUKIRAT**, chef du département, pour ses efforts et son encouragement tout au long de notre parcours universitaire.*

Je tiens également à exprimer ma gratitude à tous les ingénieurs ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont aidée, soutenue et orientée durant la réalisation de ce mémoire.

*Mes sincères remerciements s'adressent aussi à Madame **TEWATE**, ingénieure de laboratoire à l'Université des Sciences et de la Technologie, pour son aide, sa disponibilité et son accompagnement au laboratoire.*

Je remercie également toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail à moi-même, pour tous les efforts, les moments de doute surmontés et la persévérance durant ce parcours.

Je me dédie ce travail à moi-même, parce qu'après tous les obstacles, les efforts et les sacrifices... j'ai finalement réussi.

Ce parcours n'a pas été facile. Il était rempli de fatigue, de doutes, de sacrifices et de moments difficiles où je pensais parfois ne pas pouvoir continuer. Je suis tombée plusieurs fois, j'ai traversé des périodes compliquées, mais à chaque fois j'ai trouvé la force de me relever et d'avancer encore.

À ma famille, merci d'avoir été mon soutien dans chaque étape de ce chemin. Merci pour votre amour, votre patience et votre présence précieuse à chaque étape de ma vie

A mes sœurs SOUMIA, FATIMA et ZAHIRA, avec qui je partage les plus beaux souvenirs, les rires, les discussions et cette affection que les mots ne peuvent pas décrire. Merci d'avoir accepté la personne que je suis, avec mes émotions, ma gentillesse et ma façon simple d'aimer les gens sincèrement.

À mes frères RABEH, DAOUD ET ZAKARIA

À mes amies KHAOILA, KENZA ET WIAM, merci d'avoir été présents dans les bons comme dans les mauvais moments, qui connaissent ma sensibilité, ma sincérité et ma manière de toujours parler avec le cœur.

Je dédie également ce mémoire à toutes les personnes qui m'ont encouragée, même avec un simple mot, un regard ou une présence.

ZITOUNI MERIEM

Résumé

La pollution des eaux par les colorants issus des activités industrielles constitue un problème environnemental majeur. Face au coût élevé de certains adsorbants utilisés dans les traitements des eaux, les recherches s'orientent vers l'utilisation des matériaux naturels, abondants et peu coûteux. Dans ce contexte, ce travail a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'une argile locale de la wilaya de Tissemsilt dans l'élimination du colorant organique BEZACRYL Rouge GRL 180 par adsorption.

L'étude a porté sur l'influence de différents paramètres expérimentaux, et les résultats optimaux obtenus sont les suivants :

- Le rapport solide-liquide : Un rapport optimal de 0,5 (soit une masse de 10 mg d'argile) a permis d'atteindre la capacité maximale de fixation du colorant, égale à $26,07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.
- L'effet du pH : Ce paramètre s'est avéré déterminant ; la capacité d'adsorption augmente progressivement avec le pH pour atteindre un maximum de $33,51 \text{ mg/g}$ à un pH optimal de 9.
- Le temps de contact : La cinétique d'adsorption a révélé une vitesse initiale très élevée durant les premières minutes, liée à la disponibilité des sites actifs, suivie d'un ralentissement progressif jusqu'à l'atteinte de l'équilibre à un temps de contact de 50 minutes.

Les données expérimentales analysées ont montré que le processus d'adsorption suit principalement le modèle cinétique du pseudo-second ordre tandis que l'étude des isothermes a révélé que le modèle de Langmuir décrit mieux les résultats expérimentaux que celui de Freundlich. Ces résultats mettent en évidence le fort potentiel de cette argile locale en tant qu'adsorbant naturel, économique et respectueux de l'environnement pour le traitement des eaux contaminées par les colorants.

Mots clés : argile locale, BEZACRYL Rouge GRL 180, adsorption, pH, temps de contact, rapport solide/liquide, cinétique.

Abstract

Water pollution caused by dyes from industrial activities is a major environmental problem. Given the high cost of certain adsorbents used in water treatment, research is focusing on the use of natural, abundant and inexpensive materials. Against this background, the aim of this study is to evaluate the effectiveness of a local clay from the wilaya of Tissemsilt in removing the organic dye BEZACRYL Red GRL 180 by adsorption.

The study examined the influence of various experimental parameters, and the optimal results obtained are as follows:

- The solid-to-liquid ratio: An optimal ratio of 0.5 (corresponding to a mass of 10 mg of clay) enabled the maximum dye adsorption capacity to be achieved, equal to $26.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.
- The effect of pH: This parameter proved to be decisive; the adsorption capacity increases progressively with pH, reaching a maximum of 33.51 mg/g at an optimal pH of 9.
- Contact time: The adsorption kinetics revealed a very high initial rate during the first few minutes, linked to the availability of active sites, followed by a gradual slowdown until equilibrium was reached at a contact time of 50 minutes.

The experimental data analysed showed that the adsorption process primarily follows the pseudo-second-order kinetic model, whilst the study of the isotherms revealed that the Langmuir model describes the experimental results better than the Freundlich model. These results highlight the great potential of this local clay as a natural, economical and environmentally friendly adsorbent for the treatment of water contaminated with dyes.

Keywords: local clay, BEZACRYL Red GRL 180, adsorption, pH, contact time, solid-to-liquid ratio, kinetics.

الملخص

يُشكل تلوث المياه بالصبغات الناتجة عن الأنشطة الصناعية مشكلة بيئية كبيرة. ونظراً لارتفاع تكلفة بعض المواد الماصة المستخدمة في معالجة المياه، تتجه الأبحاث نحو استخدام مواد طبيعية وفيرة ومنخفضة التكلفة. وفي هذا السياق، يهدف هذا العمل إلى تقييم فعالية طين محلي من ولاية تيسمسيلت في إزالة الصبغة العضوية «BEZACRYL Rouge GRL 180» عن طريق الامتزاز.

ركزت الدراسة على تأثير مختلف المعلمات التجريبية على كفاءة العملية، وأظهرت النتائج المثلى ما يلي:

- النسبة بين الصلب والسائل أظهرت النتائج أن النسبة المثالية هي 0.5 (أي كتلة تبلغ 10 ملغ)، حيث سُجلت عندها سعة امتزاز قصوى بلغت 26.07 ملغ/غ.
- الرقم الهيدروجيني (pH): تبين أن الرقم الهيدروجيني يؤثر بشكل مباشر على العملية، حيث ارتفعت سعة الامتزاز تدريجياً مع زيادة القلوية لتصل إلى ذروتها (33.51 ملغ/غ) عند pH يساوي 9.
- زمن التلامس: تميزت حركية الامتزاز بسرعتها العالية خلال الدقائق الأولى نتيجة وفرة المواقع النشطة على سطح الطين، قبل أن تتباطأ تدريجياً حتى بلوغ حالة التوازن عند 90 دقيقة.

علاوة على ذلك، أظهرت الدراسة الحركية أن عملية الامتزاز تتبع بشكل أساسي نموذج الدرجة الثانية الزائفة في حين أوضحت دراسة منحنيات الامتزاز المتساوية الحرارة (Isothermes) أن نموذج لانجموير (Langmuir) يصف النتائج التجريبية بشكل أفضل مقارنة بنموذج فريندليش (Freundlich). تبرز هذه النتائج الإمكانيات الواعدة التي يتمتع بها الطين المحلي كبديل طبيعي، اقتصادي وصديق للبيئة لمعالجة المياه الملوثة بالأصبغ.

الكلمات المفتاحية: طين محلي، احمر البيزاكريل، الامتزاز، الرقم الهيدروجيني، زمن التلامس، النسبة صلب/سائل،

الحركية

Sommaire

Remerciement.....	2
Dédicace	3
Résumé	4
Sommaire	7
Liste des figures	11
Liste des tableaux	12
Liste d'abréviations	13
Introduction générale.....	1
Chapitre I : argile et adsorption : notions fondamentales.....	4
Partie 1 : L'argile.....	5
Introduction	5
1. Définitions :.....	5
2. Structure de l'argile	5
a. Couche tétraédrique	6
b. Couche octaédrique	6
3. Classification des minéraux de l'argile	7
a) Type des feuillets	7
1) Minéraux de type 1/1 (T-O).....	7
2) Minéraux de type 2 /1 (T-O-T)	7
3) Minéraux du type 2/ 1/ 1 (ou T-O-T-O).....	8
4) Minéraux inter stratifiés	9
b) Charge globale du feuillet.....	9
c) Types de matériel inter-foliaire (les cations, molécules d'eau,.....).	9
d) Epaisseur et la structure du feuillet	9
4. Principaux groupe d'argile	9
5. Propreté de l'argile	9
5.1. Forme et surface spécifique.....	9
5.2. Échange d'ions (capacité d'échange cationique CEC).....	10
5.3. Gonflement et hydratation.....	10
5.4. Capacité d'adsorption.....	10
5.5. Plasticité	10
Conclusion.....	11

Partie 2 : Phénomène d'adsorption.....	12
Introduction	12
1. Définition du phénomène d'adsorption.....	12
2. Types d'adsorption.....	13
2.1. Physisorption (adsorption physique).....	13
2.2. Chimisorption (Adsorption chimique)	13
3. Mécanisme d'adsorption.....	14
4. Equilibre d'adsorption sur un solide	14
4.1. Cinétique d'adsorption.....	14
4.1.1. Pseudo-premier ordre (modèle de Lagergren).....	14
4.1.2. Pseudo-second ordre	15
4.1.3. Modèle de diffusion interparticulaire (Weber-Morris)	15
4.2. Isotherme d'adsorption	16
4.2.1. Classification des isothermes d'adsorption	16
4.2.2. Modélisation des isothermes d'adsorption	16
4.2.2.1. Modèle de Langmuir	16
4.2.2.2. Modèle de Freundlich.....	17
5. Thermodynamique d'adsorption :	17
6. Facteurs influençant sur le phénomène d'adsorption.....	18
Conclusion.....	19
Chapitre II : les colorants	20
Introduction	21
1. Les colorants.....	21
1.1. Classifications des colorant	21
a. Classification chimique	22
b. Classification tinctoriale.....	23
2. Sources et utilisation des colorants	26
2.1. Fabrication des colorants.....	26
2.2. Domaine d'utilisation	26
3. Comportement des colorants dans l'environnement	26
➤ Sur la santé humaine	27
➤ Toxicité sur le milieu aquatique	28
➤ Impact sur l'environnement	28
6. Cas d'étude : Le colorant cationique Bezacryl Rouge GRL 180	28
Conclusion.....	29

Chapitre III : Matériels et Méthodes	30
Introduction	31
1. Date et lieu de travail.....	31
2. Matériels.....	31
2.1. Appareillages.....	31
2.2. Produits chimiques	31
3. Préparation de l'argile	32
4. Caractérisation de l'argile	32
4.1. Analyse par diffraction des rayons X (DRX).....	32
4.2. La spectroscopie infrarouge (IRTF).....	32
5. Procédés expérimentale de l'adsorption.....	32
5.1. Préparation de la solution mère	32
5.2. Détermination de la longueur d'onde spécifique du rouge bezacryl GRL 180.....	32
5.3. Courbe d'étalonnage.....	33
5.4. La spectrophotométrie UV-Visible	33
5.5. Procédure de l'adsorption.....	34
a) Rapport solide /liquide	34
b) Effet du Ph	35
c) Cinétique	35
d) L'isotherme d'adsorption.....	37
Conclusion.....	38
Chapitre IV : résultat et discussion	39
1. Caractérisation de l'argile	40
1.1. Analyse par DRX	40
1.2. Analyse par FTIR	41
2. Adsorption du GRL 180 par notre argile.....	41
2.1. Détermination de la longueur d'onde spécifique	41
2.2. Courbe d'étalonnage.....	42
2.3. Rapport Solide-Liquide	43
2.4. Effet de Ph	44
2.5. Cinétique d'adsorption	45
2.5.1. Modélisation de la cinétique.....	46
2.5.1.2. Modèle pseudo-second ordre.....	47
2.5.1.3. Modèle de diffusion intraparticulaire (Weber-Morris)	48
3. L'isotherme d'adsorption	49

Conclusion générale	52
Références bibliographiques	56

Liste des figures

Figure 1 Couche Tétraédrique [.....	6
Figure 2 Couche Octaédrique	6
Figure 3 Structure des minéraux de type 1/1	7
Figure 4 Structure Des minéraux type 2/1	8
Figure 5 Structure des minéraux type 2/1/1	8
Figure 6 Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption	12
Figure 7 Schéma simplifié représentant l'adsorption physique	13
Figure 8 Schéma simplifié représentant l'adsorption chimique	13
Figure 9 Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al	16
Figure 10 structure chimique de BEZACRYL Rouge GRL180	29
Figure 11 Protocole expérimentale.....	38
Figure 12 Spectres DRX de l'argile utilisée.....	40
Figure 13 le spectre IR de notre argile	41
Figure 14 L'évolution de l'absorbance de GRL180 en fonction de la longueur d'onde.....	42
Figure 15 Courbe d'étalonnage de GRL 180	43
Figure 16 l'effet du rapport $R_{(S/L)}$ sur l'adsorption de GRL 180 par l'argile.	43
Figure 17 Effet du pH sur l'adsorption de BEZACRYL Rouge	45
Figure 18 Effet de temps de contact	46
Figure 19 Application du modèle pseudo-ordre 1 à l'adsorption du BEZACRYL Rouge	46
Figure 20 Application du modèle pseudo-ordre 1 à l'adsorption du BEZACRYL Rouge	47
Figure 21 Application du Modèle de diffusion intraparticulaire à l'adsorption du BEZACRYL Rouge	48
Figure 22 isothermes d'adsorption de RED 180 sur l'argile selon le modèle de Freundlich (à 20 °C).	49
Figure 23 isothermes d'adsorption de RED 180 sur l'argile selon le modèle de Langmuir (à 20 °C).	50
Figure 24 modèles d'adsorption sur un matériau solide.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 Principaux groupe d'argile	9
Tableau 2 Les propriétés de différent group d'argile	11
Tableau 3 Classification chimique	22
Tableau 4 Classification tinctoriale	23
Tableau 5 établissement de rapport solide-liquide pour l'étude d'adsorption	35
Tableau 6 étude de l'influence du temps de contact sur l'adsorption	36
Tableau 7 effet de la concentration initiale	37
Tableau 8 Résultat des paramètres cinétique des deux modèles	47
Tableau 9 Résultat des paramétré cinétique et coefficient de corrélation de modelé de diffusion intraparticulaire	48
Tableau 10 Coefficients de corrélation et paramètres d'adsorption déduits du modèle de Langmuir et du modèle de Freundlich	50

Liste d'abréviations

Å : Angstrom= 10⁻¹⁰ mètre.

AIPEA : Association internationale pour l'étude des argiles.

DCO : Demande chimique d'oxygène.

DRX : Diffraction des rayons X.

ERM : L'erreur relative moyenne (%).

FITR : Fourier Transform Infrared Spectroscopy / IRTF : La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

Meq/100gr : milliéquivalent par 100 grammes. Tu

R²: Le coefficient de détermination.

RED 180 : BEZACRYL Rouge GRL 180.

SOFACT : Société de Fabrication de Couvertures Textiles.

TDS : Taux de solide dissous.

UV-VIS : Spectrophotomètre UV-VISIBLE.

λ_{max} : Longueur d'onde maximale.

Introduction générale

Introduction générale

Au cours des siècles, le désir humain et la quête de confort ont conduit à la dégradation de l'environnement naturel. Cela a conduit à une détérioration de la qualité de l'air, à une exploitation excessive des sols qui sont affaissés par une gestion inadéquate, et nos eaux naturelles sont fortement polluées – un enjeu qu'il est impératif de résoudre. [1]

La qualité des eaux est aujourd'hui considérée comme un enjeu environnemental majeur. Une eau de qualité doit se conformer à plusieurs critères physiques, chimiques et biologiques afin d'être adaptée à ses différents usages. Toutefois, les rejets provenant des secteurs domestique, agricole et industriel introduisent dans les milieux aquatiques de nombreux contaminants tels que les métaux lourds, les pesticides, les matières organiques et les colorants synthétiques. Ces substances peuvent provoquer des déséquilibres écologiques et constituer une menace pour la santé humaine et les organismes aquatiques. [2]

Parmi les contaminants industriels, les colorants représentent une proportion significative. Leur existence dans les eaux résiduelles diminue la clarté de l'eau, restreint la transmission de la lumière et dérange les processus biologiques des environnements aquatiques. En outre, certains pigments ont des caractéristiques toxiques et une grande résistance à la décomposition naturelle. [3]

Le secteur textile en Algérie, en pleine évolution, est stratégique et bénéficie du soutien de divers complexes industriels comme Tayal et TEXALG. En dépit des défis économiques des dernières décennies, ce domaine connaît actuellement un renouveau grâce à l'injection de capitaux et à la mise en œuvre de nouvelles politiques industrielles par le gouvernement algérien [4]. Les industries textiles sont réparties sur l'ensemble de territoire algérien, dont les plus importantes sont localisées à M'sila, Tlemcen, Ain d'jassar, Bab – Ezzouar, Laghouat, Draa Ben Khedda et Boufarik. Ces unités rejettent des eaux contaminées qui contiennent divers polluants organiques comme les détergents et les colorants synthétiques, tels que le bleu CibacetF3R, l'orange Cetylon GR, le jaune KMP, le rouge suprantine F3B, le brun Solophényle-BCLE, le rouge Erionyle, le BEZACRYL Rouge, le bleu K, etc. [5]

Le transport des colorants dans l'eau dépend de plusieurs phénomènes physiques et chimiques tels que l'advection, la diffusion et la dispersion. Après leur rejet dans les effluents industriels, les molécules colorées peuvent se déplacer sur de longues distances dans les milieux aquatiques. Le ruissellement urbain entraîne les pigments présents sur différentes surfaces vers

les réseaux d'eaux pluviales, tandis que le ruissellement agricole transporte les colorants provenant des amendements du sol, des fertilisants et des enrobages de semences vers les plans d'eau. Dans les nappes phréatiques, les colorants migrent à travers l'aquifère sous l'effet de l'advection, de la dispersion et du retard, des processus contrôlés par l'écoulement des eaux souterraines et les caractéristiques géologiques du milieu. Leur comportement est influencé par plusieurs facteurs, notamment la nature chimique du colorant, le pH, la température ainsi que la présence de matières en suspension. Les interactions avec les sédiments et les matières organiques peuvent favoriser leur adsorption ou leur accumulation dans les fonds aquatiques [6]. Face à la pollution croissante des colorants dans les milieux aquatiques et à leurs effets néfastes sur l'environnement, les autorités environnementales ont mis en place des réglementations de plus en plus strictes concernant les rejets industriels. [7]

Plusieurs techniques biologiques (Traitement anaérobie, Traitement aérobie), chimiques (Coagulation floculation, électrocoagulation) ou physiques (Adsorption sur charbon actif et autres matériaux, Filtration sur membrane) peuvent être utilisées comme prétraitement, traitement majeur ou post traitement pour éliminer les colorants textiles des effluents [8].

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés au traitement des eaux contaminées par les colorants textiles à l'aide d'un procédé d'adsorption sur l'argile, afin d'évaluer l'efficacité de ce matériau dans l'élimination des polluants et de proposer une méthode de traitement simple, économique et respectueuse de l'environnement. Le colorant (l'adsorbat) BEZACRYL Rouge GRL180 a été sélectionné comme polluant modèle en raison de sa large application dans le secteur textile, sa stabilité et résistance à la dégradation aux procédés conventionnels de traitement des eaux usées. Ce colorant appartient à la gamme des substances couramment employée dans le secteur textile algérien. A titre d'exemple, la Société de Fabrication de Couvertures Textiles SOFACT, située dans la zone industrielle de la route d'Alger à Tissemsilt. Et pour l'adsorbant nous avons utilisé une argile naturelle locale issue d'un gisement situé à Theniet El Had willaya de Tissemsilt.

L'objectif de notre travail est d'optimiser les paramètres d'adsorption de BEZACRYL Rouge sur une argile locale. Pour ce faire, nous avons divisé ce travail en quatre chapitres

- Chapitre 01 : argile et adsorption, notions fondamentales
- Chapitre 02 : généralité sur les colorants
- Chapitre 03 : matériel et méthodes

- Chapitre 04 : résultat et discussions
- Enfin une conclusion générale synthétisant les résultats obtenus

Chapitre I : argile et adsorption : notions fondamentales

Partie 1 : L'argile

Introduction

L'argile est un matériau naturel qui se forme principalement par l'altération physicochimique des roches silicatées constitue des minéraux argileux caractérisés par une structure cristalline particulière et une très fine granulométrie.

Grace à ses propriétés, l'argile joue un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes, car elle contribue à la filtration des polluants du sol, à la rétention de l'eau et de nutriment. Parmi ses propriétés les plus importants sa capacité d'adsorption lui permet de capter et de retenir à sa surface des ions, des molécules ou même des substances dissoutes.

1. Définitions :

Les argiles Sont des matériaux géologiques naturels tendres et cohésifs, caractérisé par une granulométrie fine inférieure à 0,005 mm constitués principalement de minéraux argileux associés à des fragments minéraux très fins [9].

Elles proviennent de la transformation des roches silicatées (le granit comme le mica et le feldspath et les roches volcaniques) au cours de longues périodes géologiques. Lors de l'altération physique et chimique, les roches mère se transforment, entraînant la formation de minéraux argileux tel que la smectite, la kaolinite, le chlorite ...[10].

2. Structure de l'argile

Les minéraux argileux sont principalement connus comme des silicates complexes de divers ions tels que l'aluminium le magnésium et le fer [11].

a. Couche tétraédrique

Chaque atome silicium entouré de 4 atomes d'oxygènes cela forme un tétraèdre SiO_4 à quatre faces liées par le partage de trois coins de chaque tétraèdre pour former un motif en maille hexagonale : une couche plate et continue (Feuilles de la composition Si_2O_5) [12].

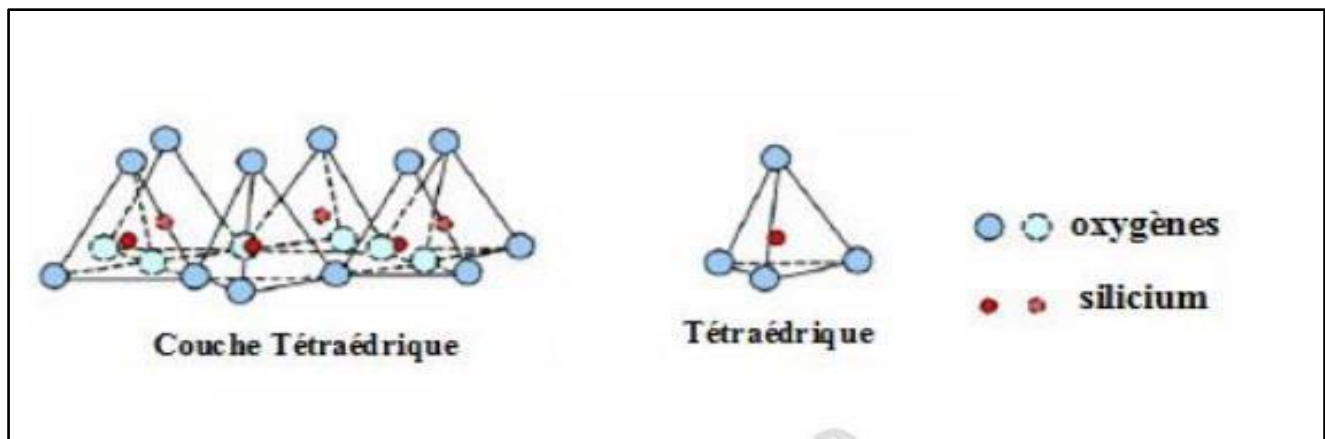


Figure 1 Couche Tétraédrique [11]

b. Couche octaédrique

Un atome central (aluminium ou magnésium) est entouré de 6 atomes hydroxyle pour former à la fin une couche de gibbsite l'aluminium Al^{3+} est l'atome majoritaire ou le brucite le magnésium Mg^{2+} est l'atome majoritaire [9].

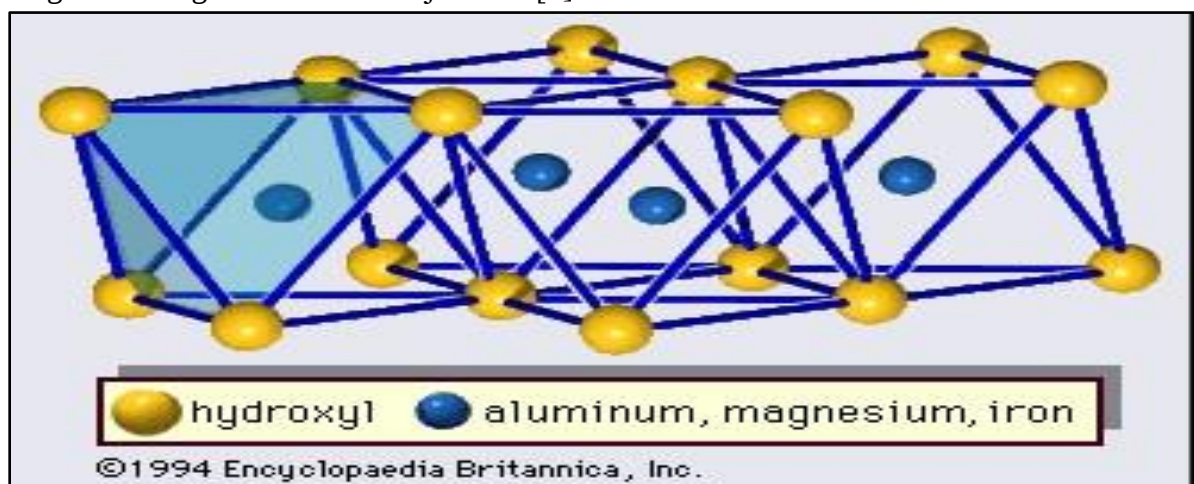


Figure 2 Couche Octaédrique [12]

3. Classification des minéraux de l'argile

- Selon l'Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA) la classification des minéraux argileux dépend de plusieurs critères, dont les plus importants sont :

a) Type des feuillets ^[13]

1) Minéraux de type 1/1 (T-O)

Groupe de kaolinite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ -serpentine ce type est une association de feuilles tétraédres T et feuilles octaédres O dans lesquelles les anions à la surface exposée de la feuille octaédrique ^[14] sont des hydroxyles son épaisseur est d'environ 7 Å [9].

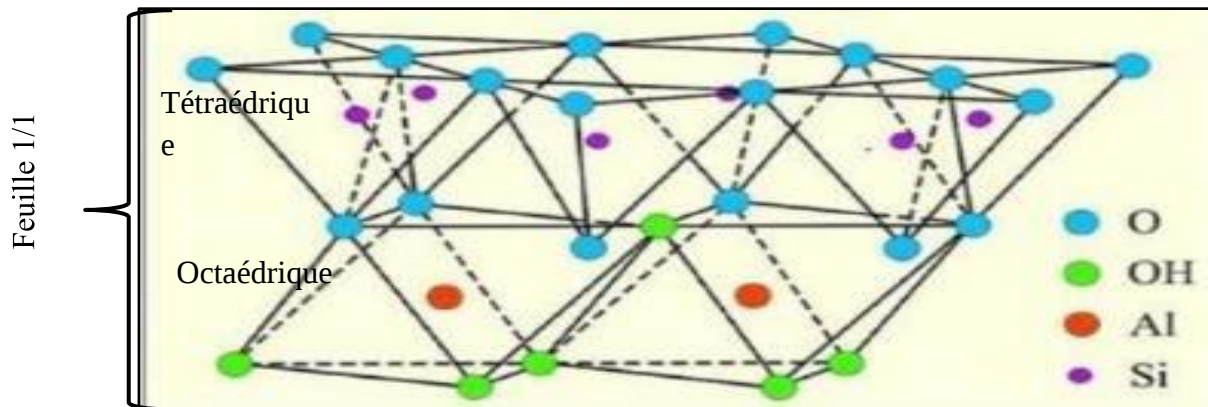


Figure 3 Structure des minéraux de type 1/1¹⁵

2) Minéraux de type 2 / 1 (T-O-T)

Groupe de smectites $((\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$, moscovite et les illites ce type est composée par une couche octaédrique trouvée entre deux couches tétraédriques ^[16], son épaisseur est d'environ 10 Å [9].

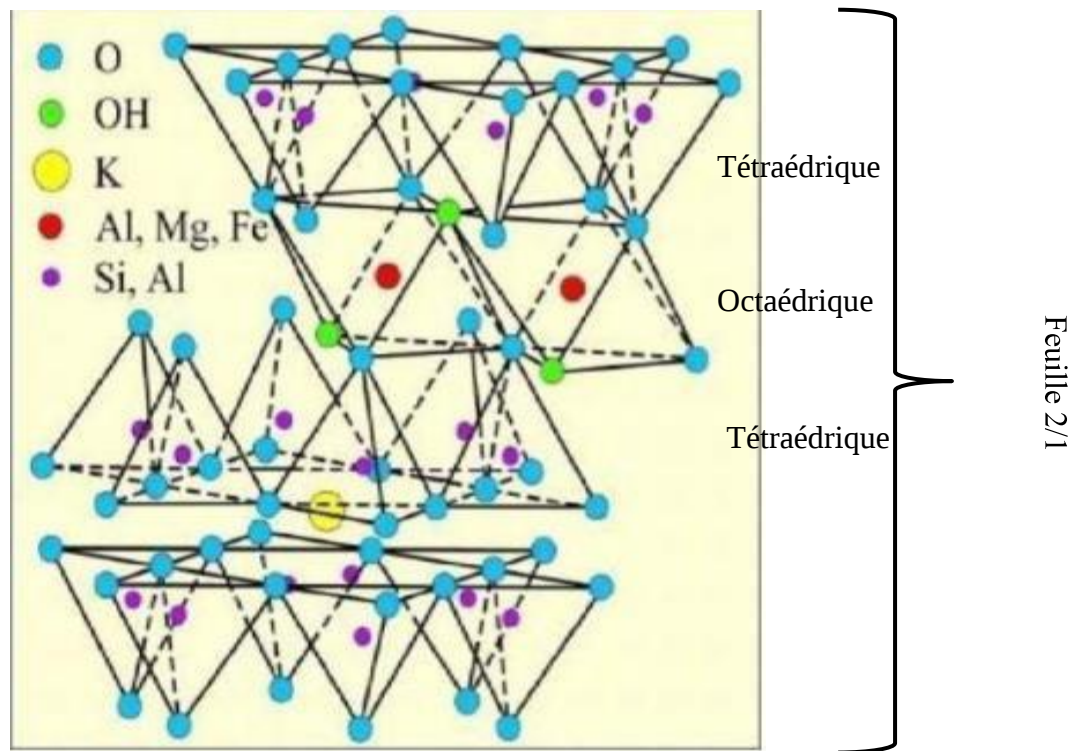


Figure 4 Structure Des minéraux type2/1

3) Minéraux du type 2/ 1/ 1 (ou T-O-T-O)

Groupe du chlorite, Le feuillet est constitué par l'alternance de feuillets T-O-T et de couche octaédriques inter foliaire, son épaisseur est d'environ varie de d'environ 14Å ^[17].

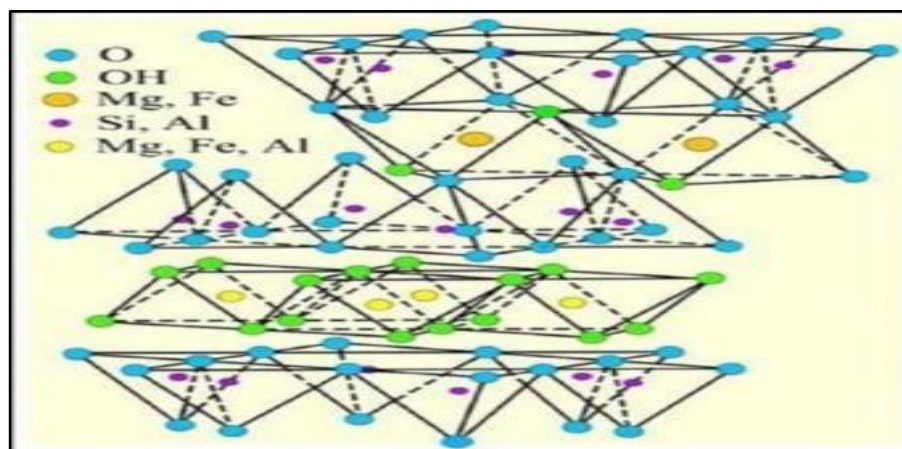


Figure 5 Structure des minéraux type 2/1/1

4) Minéraux inter stratifiés

Il existe bien entendu des minéraux inter-stratifiés, formés d'un empilement régulier ou irrégulier de feuillets de deux types différents [14].

b) Charge globale du feuillet.

c) Types de matériel inter-foliaire (les cations, molécules d'eau,.....).

d) Epaisseur et la structure du feuillet [12].

4. Principaux groupe d'argile

Les principales propriétés physico-chimiques et structurales qui caractérisent et différencient les grands groupes de minéraux argileux sont synthétisées dans le **Tableau 1** ci-dessous

Tableau 1 Principaux groupe d'argile

Groupe Minéralogique	Feuillet	Espace basal
Kaolinites	T-O ou 1/1	7Å
Smectites	T-O-T	14-15Å
Illites Vermiculites Micas	T-O-T	10Å 14 à 15Å
Chlorites	T-O-T-O	14Å

5. Propreté de l'argile

Les minéraux argileux se caractérisent principalement par :

5.1. Forme et surface spécifique

Les propriétés des argiles sont principalement contrôlées par leurs surfaces, Les particules d'argiles présentent des surfaces spécifiques très importantes et peuvent de ce fait attirer un grand nombre de molécules d'eau et d'ions et exercer entre elles d'importantes forces d'interactions. Ces forces influencent

amplement sur le comportement mécanique des argiles et l'intensité de la charge électrique. On note que le gonflement est d'autant plus fort que la surface spécifique de l'argile est grande [18].

5.2. Échange d'ions (capacité d'échange cationique CEC)

Les minéraux argileux sont capables d'adsorber certains cations et anions retenus à la surface des particules de sol dans un état échangeable [18]. La capacité d'échange cationique (CEC) est donc définie comme la quantité de cations disponibles pour l'échange avec d'autres cations à un pH donné et est généralement exprimée en milliéquivalents/100 grammes d'argile sèche [15].

- La capacité d'échange cationique (CEC) indique [16] :
 - La capacité du sol à retenir des nutriments K^+ ,
 - La capacité à retenir des cations polluants Pb, Zn.....

5.3. Gonflement et hydratation

Le gonflement des sols est un phénomène très complexe représente l'accroissement de l'espace inter-foliaire à l'insertion de molécule de nature varié mais particulièrement de l'eau [12].

- La capacité de gonflement des minéraux argileux dépend des facteurs suivants :
 - La densité de charge des couches des minéraux argileux. ➤ Le type d'ions inter-foliaires (monovalents ou divalents).
 - La concentration des ions présents dans la solution environnante.
 - La quantité d'eau présente dans l'espace inter-foliaire des minéraux argileux [18].

5.4. Capacité d'adsorption

Les capacités d'adsorption des minéraux argileux dépendent de plusieurs facteurs notamment leur grande surface spécifique, leur faible perméabilité, leurs capacités d'échange cationique élevées et leur forte capacité de rétention [19].

5.5. Plasticité

La plasticité est une propriété importante des minéraux argileux. Elle correspond à la déformation de leur forme sous l'effet d'une force finie [9].

Lorsqu'on ajoute de l'eau à de l'argile sèche, l'eau pénètre dans les pores, il se forme une structure à haute limite d'élasticité, ce qui entraîne la déformation. La quantité minimale d'eau nécessaire pour rendre l'argile plastique est appelée limite de plasticité. Lorsque la teneur en eau de l'argile augmente, elle se transforme en pâte et sa limite d'élasticité diminue progressivement. L'argile devient collante au toucher. La teneur en eau correspondant à cet état est appelée limite de liquidité. En augmentant encore la teneur en eau, on obtient une argile dispersée. La différence de teneur en eau entre ces deux points est exprimée par l'indice de plasticité [20].

Tableau 2 Les propriétés de différents group d'argile [9] [15]

Groupe Minéralogique	Surface spécifique ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)		Échange d'ions (CEC) (meq/100gr)	Gonflement
	Interne	Externe		
Kaolinites	0	15	(3-15) faible	Faible
Smectites	7	50	Très élevée	Elevée
Illites	5	25	(10-40) moyenne	Moyenne
Vermiculites	7	<1		Elevée
Micas	50 – 200			Faible
Chlorites	0	15	Faible	

Conclusion

Grâce à cette étude bibliographique, nous avons pu identifier les types, les propriétés et les principaux minéraux d'argile. Ce travail permet ainsi de mieux comprendre le comportement de ce matériau afin d'optimiser son utilisation. L'argile représente une ressource stratégique et durable, indispensable à la protection l'environnement.

Partie 2 : Phénomène d'adsorption

Introduction

L'accroissement des activités humaines produisant des déchets agricoles et industriels a une influence majeure sur la pollution des sols et des eaux. Une croissance de la population entraîne une hausse proportionnelle des activités préjudiciables à l'environnement. Il a été rapporté une croissance démographique exponentielle au cours des dernières années. L'accroissement de la population et des activités industrielles provoque une détérioration accrue de l'écosystème, ce qui constitue un danger supplémentaire pour l'environnement physique humain. L'émission persistante de contaminants dans l'environnement due aux activités humaines appelle à l'élaboration de diverses stratégies pour réduire ou supprimer les substances nocives de notre environnement [21]. De nombreuses études et recherches sur les processus de traitement sont en cours dans divers domaines, y compris la sédimentation, la précipitation, la coagulation, la floculation, la flottation, la filtration, les techniques membranaires, les méthodes électrochimiques, les procédés biologiques, les réactions chimiques, l'échange d'ions et l'adsorption, ayant des niveaux de succès variés, ont favorisé l'évolution rapide remarquable au sein de la communauté scientifique. L'adsorption, une des technologies utilisées pour la remédiation environnementale, est largement reconnue comme la méthode fondamentale la plus efficace, prometteuse et répandue dans les techniques de traitement des eaux usées. Cela est principalement dû à sa simplicité en termes de viabilité économique, de faisabilité technique et d'acceptabilité sociale. [22]

1. Définition du phénomène d'adsorption

L'adsorption est un processus physico-chimique de fixation des molécules ou des particules dissoutes à la surface d'un matériau, permet la transition des espèces d'une phase fluide liquide ou gazeuse vers surface d'un solide. Ce phénomène met en évidence l'existence d'une affinité plus ou moins forte entre les solutés adsorbats et la surface du solide adsorbant [23].

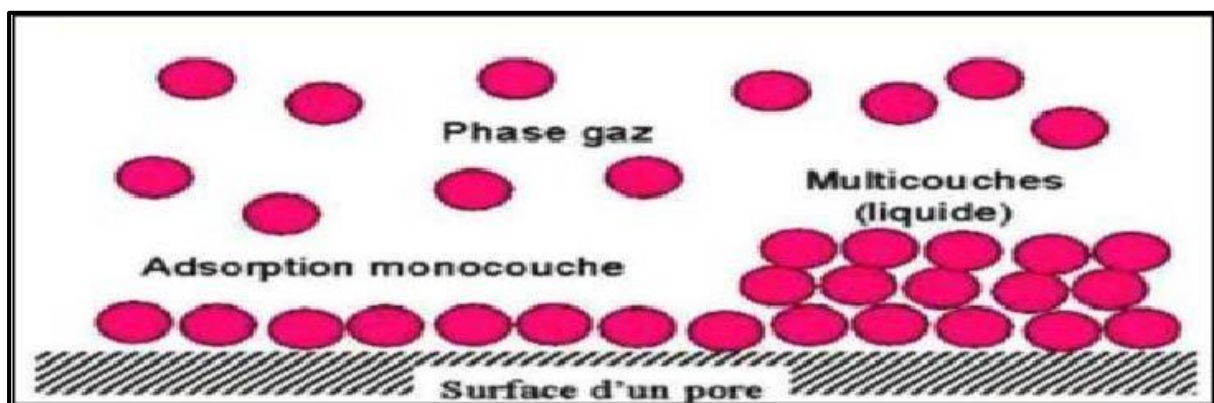


Figure 6 Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption [24]

2. Types d'adsorption

On distingue principalement deux types selon la nature de liaison adsorbat- adsorbant :

2.1. Physisorption (adsorption physique)

Dans ce type d'adsorption les liaisons sont relativement faibles, basée aux forces d'attraction physiques (interactions intermoléculaires, forces de polarisation, dipôle, forces de van der Waals...) entre les molécules de l'adsorbant et de l'adsorbat [25]. Ce phénomène est généralement réversible c'est-à-dire que les molécules adsorbées peuvent être facilement désorbées en diminuant la pression ou en augmentant la température [26].

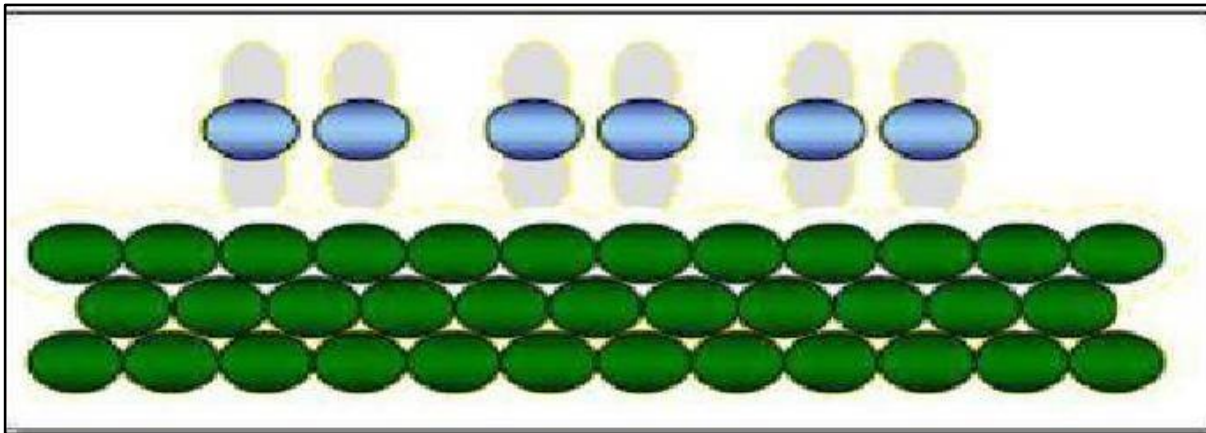


Figure 7 Schéma simplifié représentant l'adsorption physique [22]

2.2. Chimisorption (Adsorption chimique)

Ce type d'adsorption résulte d'une réaction chimique et la formation des liens chimiques entre les molécules d'adsorbat et la surface d'adsorbant. Ces liaisons sont beaucoup plus fortes que les liaisons formées lors de l'adsorption physique, ce qui rend le processus moins réversible voire parfois irréversible [27].

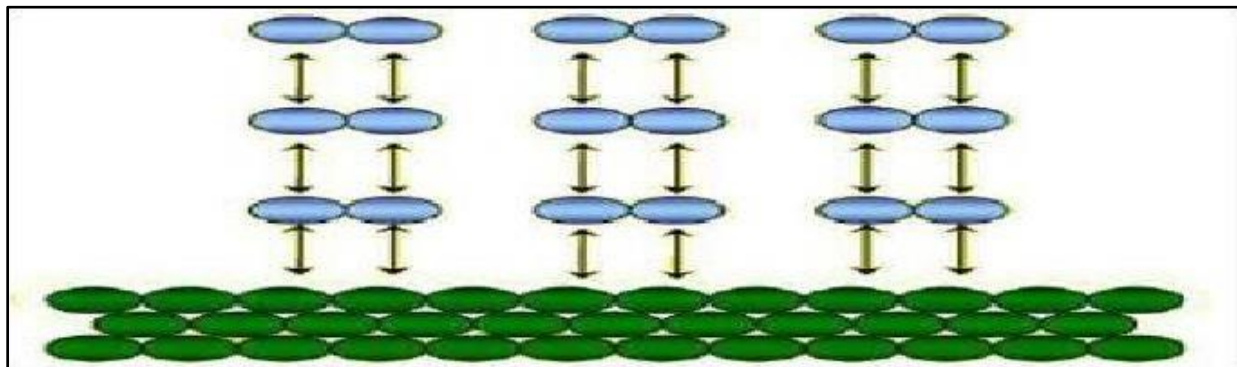


Figure 8 Schéma simplifié représentant l'adsorption chimique [22]

3. Mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en trois étapes :

1. Diffusion extragranulaire de la matière (transfert du soluté vers la surface des grains).
2. Transfert intragranulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).
3. Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile [28].

4. Equilibre d'adsorption sur un solide

4.1. Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption décrit la vitesse de rétention ou de libération d'un adsorbat à partir d'une solution aqueuse vers l'interface de phase solide. Dans l'étude de l'adsorption, une analyse linéaire ou non linéaire de la cinétique est appliquée. L'indice de qualité d'ajustement est utilisé pour déterminer le modèle qui décrit le mieux le processus [29].

- La cinétique d'adsorption sur la surface peut être déterminée par les modules suivants :

4.1.1. Pseudo-premier ordre (modèle de Lagergren)

Dans ce modèle la vitesse de l'adsorption à un instant est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre (Q_e), et la quantité (Q_t) adsorbée à cet instant, et que l'adsorption est réversible. La loi de la vitesse de réaction du pseudo-premier ordre est exprimée par la relation suivante [30] :

$$dQ_t/dt = k_1(Q_e - Q_t) \dots\dots\dots (1)$$

- K_1 : constante de vitesse de pseudo-premier-ordre (min⁻¹).
- Q_e : quantité d'adsorbat à l'équilibre (mg/g).
- Q_t : quantité d'adsorbat à l'instant t (mg/g).

L'intégration de l'équation pour les conditions aux limites ($Q_t=0$ à $t=0$; $Q_t=Q_t$ à $t=t$; devient [31] :

$$\ln (Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_{1t} \dots\dots\dots (2)$$

4.1.2. Pseudo-second ordre

L'équation du pseudo second ordre est souvent utilisée avec succès pour décrire la cinétique de la réaction de fixation des polluants sur l'adsorbant. Ce modèle du pseudo second ordre permet de caractériser les cinétiques d'adsorption en prenant compte à la fois le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et celui d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible [25].

Décrit par l'équation suivant :

$$dQ_t/dt = K_2(Q_e - Q_t) \dots\dots\dots(3)$$

Avec :

K_2 : constante de vitesse d'adsorption du modèle de pseudo- deuxième –ordre (g.mg⁻¹.min⁻¹).

Q_t : la capacité d'adsorption a l'instant t (mg/g).

Q_e : la capacité d'adsorption a l'équilibre (mg/g).

L'intégration de l'équation pour les conditions aux limites ($Q_t=0$ à $t=0$; $Q_t=Q_e$ à $t=t$; devient:

$$t/Q_t = 1/K_2 Q_e^2 + t/Q_e \dots\dots\dots(4)$$

4.1.3. Modèle de diffusion interparticulaire (Weber-Morris)

Ce modèle a été largement appliqué pour examiner l'étape limitant le taux d'adsorption [19].

$$Q_t = K_{id} t^{0.5} + C_i \dots\dots\dots(5)$$

Avec :

$K_{id} t$: La constante de la vitesse de diffusion intra particule de Weber en (mg. g⁻¹.min^{-1/2}).

Q_t : Quantité adsorbée au temps t (mg/g).

C_i : représente la valeur de l'épaisseur de la couche limite [24].

4.2. Isotherme d'adsorption

Les phénomènes d'adsorption sont étudiés généralement via leur comportement isotherme. Une telle isotherme est une courbe qui représente la relation entre la quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant [23].

4.2.1. Classification des isothermes d'adsorption

Différents types d'adsorption correspondent à diverses formes d'isothermes d'adsorption. Le type S correspond à l'adsorption d'un composé qui s'adsorbe plus aisément quand sa concentration se renforce. La forme en L représente une adsorption qui se complique progressivement à mesure que la concentration s'accroît et que le nombre de sites d'adsorption disponibles diminue. L'isotherme d'adsorption de type H est caractérisé par une forte affinité des molécules avec l'adsorbant. Le type C se distingue par une constante de partition du substrat entre l'adsorbant et le solvant, jusqu'à atteindre la saturation, ce qui est analogue à un transfert de soluté entre deux liquides non miscibles. Pour observer ce genre d'isotherme, il est nécessaire de disposer d'un adsorbant poreux ayant une texture souple et des zones présentant divers degrés de cristallinité, ainsi qu'un soluté qui manifeste une affinité pour le substrat poreux.

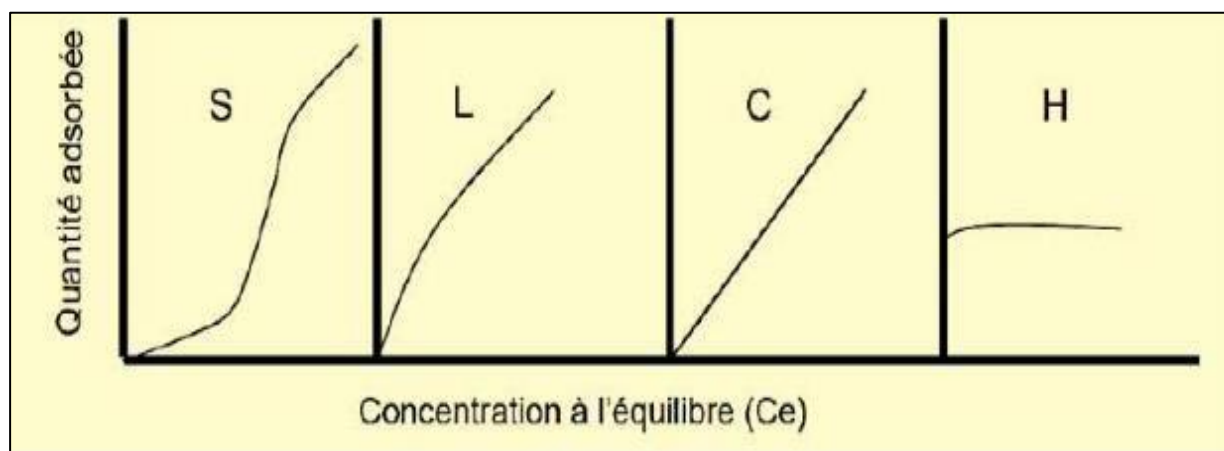


Figure 9 Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al [31].

4.2.2. Modélisation des isothermes d'adsorption

4.2.2.1. Modèle de Langmuir

Langmuir a choisi de retenir la quantité maximale Q_m comme paramètre indicatif de la performance d'un adsorbant, afin d'évaluer sa capacité d'adsorption. Décrit par la relation suivante :

$$Q_e = Q_m k_L C_e / (1 + k_L C_e) \dots\dots\dots(6)$$

Cette équation peut être linéarisée comme suit :

$$C_e/Q_e = (1/Q_m K_L) + (C_e/Q_m) \dots\dots\dots(7)$$

Avec :

Q_e : quantité d'adsorbat adsorbée par gramme d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

C_e : concentration en adsorbat dans la solution à l'équilibre (mg/L).

Q_m : capacité d'adsorption à saturation (caractéristique de la formation de la monocouche de molécules adsorbées) (mg/g).

K_L : Constante de Langmuir d'équilibre caractéristique de l'adsorbant, dépendant de la Température et des conditions expérimentales (L/mg). [32]

4.2.2.2. Modèle de Freundlich

On utilise fréquemment l'isotherme de Freundlich pour représenter les propriétés d'adsorption sur une surface hétérogène. Elle explique une adsorption préliminaire en surface, suivie d'un phénomène de condensation découlant d'une intense interaction entre les adsorbats.

L'isotherme de Freundlich est exprimée par la relation suivante [33] :

$$Q_e = K_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots(8)$$

Avec :

Q_e : quantité d'adsorbat adsorbé par l'adsorbant à l'équilibre.

C_e : concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre. **K_f** : constante de Freundlich (L/g).

Cette équation peut être linéarisée comme suit :

$$\ln Q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \dots\dots\dots (9)$$

5. Thermodynamique d'adsorption :

L'adsorption s'accompagne toujours d'un échange de chaleur, qui est soit exothermique, soit endothermique. Le critère principal pour distinguer la chimisorption de la physisorption est l'évaluation de la chaleur d'adsorption. La relation de Van 't Hoff fournit la valeur de la chaleur d'adsorption (ΔH).

$$\Delta G = -(\mathbf{Kd}) \dots \dots \dots (10)$$

Et l'équation Gibbs-Helmholtz

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \dots \dots \dots (11)$$

La combinaison des équations (15) et (16) donne :

$$\ln(\mathbf{Kd}) = -\frac{\Delta H}{R} \times \frac{1}{T} + \frac{\Delta S}{R} \dots \dots \dots (12)$$

Avec :

Kd: représente le coefficient de distribution (L/g).

ΔH : l'enthalpie (kJ/mole).

ΔS : l'entropie (kJ/mole).

ΔG : l'énergie libre (kJ/mole).

R : la constante des gaz parfaits (8,314 J/mole. K).

6. Facteurs influençant sur le phénomène d'adsorption

Il existe de nombreux facteurs qui peuvent affecter le processus d'adsorption :

1. **Caractéristiques de l'adsorbant et de l'adsorbat** : Les caractéristiques chimiques et physiques de l'adsorbant (comme sa surface spécifique, sa polarité, sa charge électrique) et de l'adsorbat (telles que sa taille, sa polarité, sa solubilité) sont les facteurs déterminants de leur affinité et de leur capacité d'adsorption.
2. **Température** : Généralement, l'adsorption physique tend à augmenter lorsque la température diminue, alors que l'adsorption chimique peut être affectée de façon plus complexe par les variations de température.
3. **Pression** : En général, une hausse de la pression peut accroître la quantité d'adsorption pour l'adsorption gazeuse, surtout en ce qui concerne l'adsorption physique.
4. **pH** : La charge de surface de l'adsorbant et l'ionisation de l'adsorbat peuvent être modifiées par le pH de la solution, ce qui a un impact sur l'efficacité du processus d'adsorption.

5. **Concentration de départ de l'adsorbat** : Généralement, une hausse de la concentration de départ de l'adsorbat dans la solution provoque une augmentation de la quantité adsorbée jusqu'à un certain seuil, au-delà duquel une saturation peut se produire.
6. **Dimension des particules adsorbants** : Une réduction de la taille des particules peut accroître la surface spécifique de l'adsorbant, ce qui améliore par conséquent la capacité d'adsorption.
7. **Existence d'autres espèces dans la solution** : L'efficacité de l'adsorption peut être influencée par la concurrence entre les divers composants de la solution destinée aux sites d'adsorption.
8. **Durée de contact** : La quantité d'adsorption obtenue peut être affectée par le temps que l'adsorbant passe en contact avec la solution d'adsorbat, surtout en ce qui concerne l'adsorption cinétique [34].

Conclusion

Cette partie a exposé les mécanismes d'adsorption majeurs, soulignant la différence entre l'adsorption physique et chimique, ainsi que les forces en jeu dans chaque situation. Les modèles d'isothermes comme Langmuir, Freundlich et Temkin ont aidé à illustrer le comportement du système adsorbant/adsorbat à l'état d'équilibre, tandis que les modèles cinétiques ont apporté des éclaircissements sur la rapidité et les phases de la procédure d'adsorption.

En conclusion, le pouvoir d'adsorption de l'argile constitue un avantage considérable dans la purification des eaux polluées. L'argile, grâce à sa haute surface spécifique, sa porosité et ses caractéristiques d'échange ionique, est capable de retenir efficacement une large gamme de polluants. Cependant, cette aptitude est liée à divers facteurs, comme le pH, la concentration de départ et les conditions de l'expérience. Donc, l'argile se présente comme un adsorbant naturel efficace, peu coûteux et aisément accessible, proposant des opportunités prometteuses pour les applications environnementales, en particulier pour la suppression des micropolluants.

Chapitre II : les colorants

Introduction

Aujourd'hui, l'industrie des colorants est un secteur crucial de la chimie. On utilise des colorants pour la coloration et l'impression de divers matériaux tels que les fibres textiles, le papier, le cuir, les fourrures, le bois, les plastiques et les élastomères. Ils sont également utilisés dans la préparation de peintures, d'encres d'impression et de vernis, et comme additifs pour donner de la couleur à des produits alimentaires et pharmaceutiques. On les utilise dans le secteur cosmétique, l'anodisation de l'aluminium, la photographie (sensibilisateurs), la biologie (coloration des échantillons microscopiques), les indicateurs colorés, et certains sont même utilisés en médecine (antiseptiques, antipaludiques, etc.).^[35]

Grâce à leurs performances techniques et leur coût réduit les colorants de textiles restent les colorants les plus présents sur le marché mondial. Néanmoins, leur utilisation massive pose des problématiques environnementales considérables : pollution des eaux, toxicité et même des impacts nocifs sur la santé humaine.

1. Les colorants

Les Colorants sont des composants organiques colorés possèdent un groupement qui confèrent la couleur (chromophores) et des groupements qui permettent sa fixation (auxochromes). Ils se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 400 à 800 nm) et ils sont capables de teindre une substance d'une manière durable.^[36] On distingue deux grandes familles de colorants : les colorants naturels

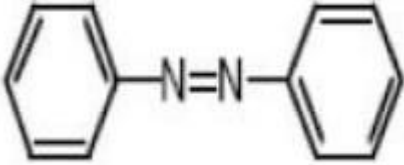
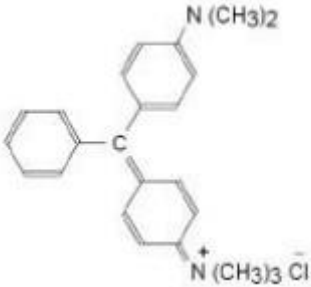
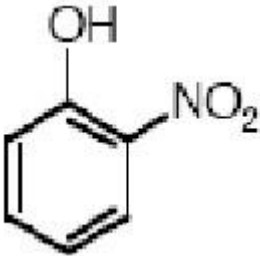
(Extraits de matières minérales ou organiques) et ceux issus de la synthèse chimique.^[37]

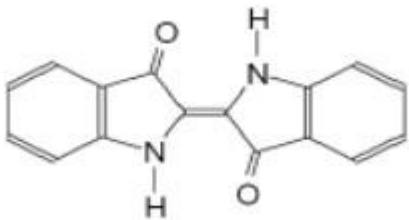
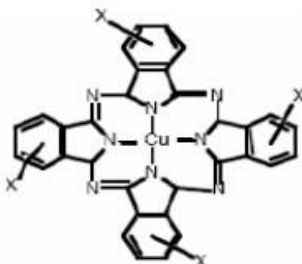
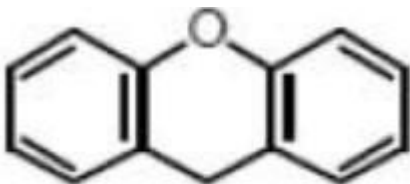
1.1. Classifications des colorants

Les colorants sont classés sous un nom de code indiquant leur classe, leur nuance ainsi qu'un numéro d'ordre, selon leur usage (nuance, applications, solidités), leurs constitutions chimiques (colorants azoïques, anthraquinoniques, triaziniques, méthiniques, indigoïdes, etc.)

a. Classification chimique

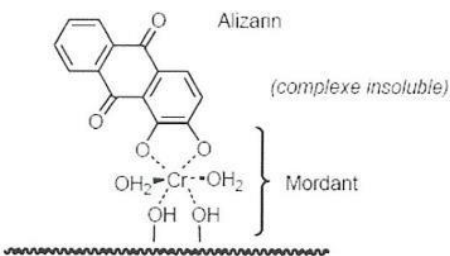
Tableau 3 Classification chimique [38] [39] [40]

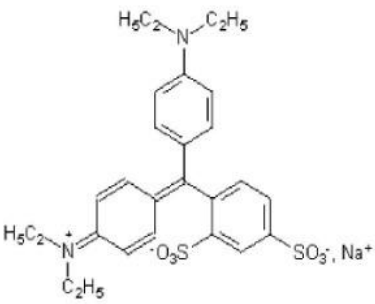
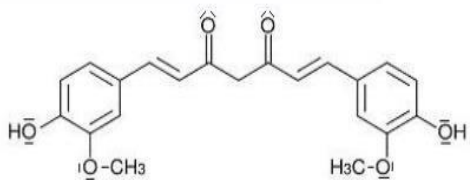
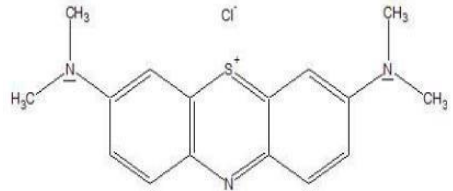
Colorant	Propriétés
Azoïques $C_6H_5-N=N-C_6H_5$ 	• Caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque ($N=N$-) reliant deux noyaux benzéniques. • Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories ; les colorants basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant non-ioniques insolubles dans l'eau. • Toxique et cancérigènes. • Sont très résistants à la biodégradation.
Triphénylméthanes 	• Les plus importants après les colorants azoïques ; • Forme générale dérivée de l'anthracène. • Leur chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino. • Couvrent toute la gamme de nuances jaune-orange-rouge. • Solidité à la lumière et vivacité des coloris surtout dans le bleu et le turquoise.
Nitrés et Nitrosés 	• Présence d'un groupe nitro (NO_2) en position ortho par rapport à un groupement électrodonneur (hydroxyl ou groupes aminés). • Structure simple, très limité en nombre et relativement pas cher.

Indigoïdes 	• Forme générale dérivée de l'indigo • Résistance remarquable aux traitements de lavage; • Faible solidité à la lumière.
Phtalocyanines 	• Structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. • Employés dans l'industrie des pigments pour peinture et dans la teinture des fibres textiles.
Xanthènes 	• Intense fluorescence • Marqueurs lors d'accident maritime ou traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines.

b. Classification tinctoriale

Tableau 4 Classification tinctoriale [41][42][43][44].

Colorant	Propriétés
Colorants à mordant 	• Ce sont des colorants solubles dont la particularité est de pouvoir former des complexes avec les ions métalliques. • les colorants à mordant sont souvent appelés colorants au chrome ou colorants chromatables.

Colorants acides 	• Cette classe de colorants est largement utilisée de nos jours et la palette des nuances réalisables est parmi les plus complètes.
Colorants métallifères	• Ce type présente un meilleur niveau de solidité par rapport aux colorants acides. • Sont des colorants contenant un atome métallique (Cr, Ni, Co).
Colorants directs 	• S'avéra capable de teindre directement le coton sans intervention d'aucun mordant • sont des colorants solubles dans l'eau • Les avantages principaux de ces colorants sont la grande variété des coloris, leur facilité d'application et leur prix modique. Par contre, leur inconvénient principal réside dans leur faible solidité au mouillé
Colorants cationique 	• sont des cations colorés • La vivacité des teintures obtenues avec ces colorants est remarquable mais, en contrepartie, ces produits résistent mal à l'action de la lumière

Colorants au soufre	• À quelques exceptions près, les colorants au soufre sont utilisés pour teindre les fibres cellulosiques. Les principales applications concernent la teinture du velours côtelé, du velours fin, des articles en denim, des vêtements de travail en sergé, des bâches et des tissus pour sacs à dos.
Colorants de cuve et leurs leuco-ester	• Teinture et impression du coton et de fibres cellulosiques polyamide et de polyester avec des fibres cellulosiques
Colorants réactifs	• Teinture du coton, de la laine et des polyamides Azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines
Colorants plastosolubles	• Appelés aussi 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. • Les colorants dispersés sont largement utilisés dans la teinture de la plupart des fibres manufacturées, surtout le polyester.
Les pigments	• Sont des molécules insolubles dans l'eau et ne présentent aucune affinité pour les fibres textiles.

2. Sources et utilisation des colorants

2.1. Fabrication des colorants

Les colorants sont généralement fabriqués à partir de dérivés du pétrole (composant aromatiques tel que le benzène ou le toluène). La synthèse passe par plusieurs réactions (Sulfonation, halogénéation, amination, nitration, diazotation, couplage). Après la synthèse, le produit est purifié par : filtration, recristallisation pour obtenir une pâte ou des cristaux, ce dernier est séché et broyé en poudre fine. [45]

2.2. Domaine d'utilisation

Les colorants jouent toujours un rôle crucial dans notre vie de tous les jours, que ce soit dans le domaine industriel, chimique ou biologique...

A. Dans l'industrie

- Dans le domaine de la construction : peintures, matériaux de bâtiment, céramiques...
- Plastiques.
- Les textiles
- Produits cosmétiques.
- Utilisé comme un colorant et un agent de conservation.

B. En chimie

Des indicateurs colorés sont utilisés pour surveiller, soit à l'œil nu, soit à l'aide d'un spectrophotomètre, le déroulement d'une réaction chimique ou d'un dosage. On trouve des indicateurs de pH, des indicateurs redox et des indicateurs de complexométrie.

C. En biologie

Des colorants sont employés lors d'examens au microscope afin de dévoiler les composants spécifiques d'une cellule. On utilise des colorants sensibles au potentiel en neurobiologie pour surveiller l'activité électrique des neurones. [46]

3. Comportement des colorants dans l'environnement

Il faut encore mieux comprendre ce que deviennent les colorants dans l'environnement et comment ils se comportent. Les colorants et leurs métabolites sont présents dans l'environnement de plusieurs façons : par les industries (On estime que 10-15% des quantités initiales sont perdues durant

les procédures de teinture et sont évacuées sans traitement préalable dans les effluents⁴⁷), par les eaux usées traitées des stations d'épuration, par les fortes pluies qui ruissellent sur les champs, et parfois par les eaux usées non traitées. Certaines de ces eaux atteignent les rivières, les lacs et les estuaires, et finissent par pénétrer dans les eaux souterraines après avoir résisté à la dégradation prévue. Dans l'eau de surface, elles peuvent se dégrader à cause de la lumière du soleil.

Malheureusement, les usines textiles sont considérées comme l'un des secteurs industriels les plus polluants en raison de la quantité d'eau qu'elles utilisent et du type d'effluents qu'elles produisent. Les variations des paramètres, notamment le pH, la couleur, la salinité, la demande chimique et biochimique en oxygène (DCO) et le pH, sont caractéristiques des eaux usées issues des industries textiles. La composition des eaux usées est déterminée par les types de produits chimiques, de colorants et de composés organiques utilisés dans les procédés de traitement humides et secs. En particulier lors du processus de teinture, on estime que 20 % à 50 % des colorants non fixés sont rejetés dans l'environnement. Étant donné que les colorants et les pigments sont conçus pour résister à la biodégradation et persister dans l'atmosphère pendant de longues périodes, l'élimination de la couleur des eaux usées représente un défi majeur pour l'industrie textile. En conséquence, des sels non utilisés tels que le chlorure de sodium et le sulfate s'accumulent et augmentent le taux de TDS [48].

4. Toxicité des colorants

➤ Sur la santé humaine

En ce qui concerne les effets sur la santé des colorants, les risques les plus fréquents associés aux colorants réactifs sont les complications respiratoires résultant de l'inhalation de particules de colorant. Il arrive parfois que ces éléments puissent influencer le système immunitaire d'un individu et, dans des situations extrêmes, le corps peut réagir de manière spectaculaire. Parmi les symptômes, on note des démangeaisons, des larmes aux yeux, des éternuements et des manifestations d'asthme comme la toux et un souffle sifflant. Les soucis de santé les plus courants associés aux procédures de teinture et de finition peuvent potentiellement découler de l'exposition à des substances chimiques qui agissent comme des irritants. Ces facteurs peuvent entraîner une irritation cutanée, des grattements, un nez obstrué, des éternuements et des yeux enflammés. Effectivement, les teintures intègrent des résines contenant du formaldéhyde, de l'ammoniac, de l'acide acétique, divers agents antirétrécissement et certains azurants optiques. [49] Certains colorants de textile susceptibles de libérer des amines cancérogènes entrent dans la composition des teintures. D'autres substances dangereuses interviennent également à différentes étapes de la fabrication des vêtements [50].

➤ Toxicité sur le milieu aquatique

Les rejets d'eaux usées provenant des industries du textile, riches en teintures, dans les cours d'eau peuvent causer de graves dommages aux espèces animales et végétales, ainsi qu'aux différents microorganismes présents dans ces milieux aquatiques. Cette toxicité pourrait être associée à la baisse de l'oxygène dissous dans ces environnements. Par ailleurs, Leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible. Par conséquent, ils peuvent subsister longtemps dans cet environnement, provoquant d'importantes disruptions dans les divers processus naturels de la flore (capacité d'autoépuration des rivières, suppression de la croissance des plantes aquatiques...) et de la faune (anéantissement d'une certaine espèce de poissons, de microorganismes, etc.).^[51]

➤ Impact sur l'environnement

Les teintures, généralement non biodégradables, une fois relâchés dans l'environnement, dégradent la qualité de l'eau et peuvent causer une contamination durable des ressources en eau. En se décomposant progressivement, ils troublent les écosystèmes aquatiques en altérant la composition chimique de l'eau, ce qui influence la flore et la faune aquatiques. Par ailleurs, certains colorants renferment des métaux lourds ou des substances nocives susceptibles de s'accumuler dans les chaînes alimentaires (bio amplification), ce qui représente une menace à long terme pour la biodiversité. ^[52]

6. Cas d'étude : Le colorant cationique Bezacryl Rouge GRL 180

Dans le cadre de cette étude, le colorant cationique « Bezacryl Rouge GRL 180 (RED180) » a été retenu comme polluant modèle. Ce colorant est utilisé par l'usine de SOFACT de Tissemsilt pour teinter sa production en textile. Ses principales caractéristiques physicochimiques sont récapitulées ci-dessous

- Colorants basiques
- Appropriés pour les fibres de polyacrylonitrile ainsi que pour les fibres de polyester avec une modification cationique. La gamme couvre le domaine de nuances brillantes jusqu'au noir.
- **Nom chimique :** 5-[[4-[benzylmethylamino]phenyl]azo]-1,4-dimethyl-1H-1,2,4-triazolium trichlorozincate(1-).

➤ **Propriétés :**

- Basic
- BEZACRYL
- Solide
- Soluble dans l'eau

➤ **Formule moléculaire**

$\text{C}_{18}\text{H}_{23}\text{Cl}_3\text{N}_6\text{Zn}$.

➤ **Poids moléculaire :**

495,16442(g/mol) [53].

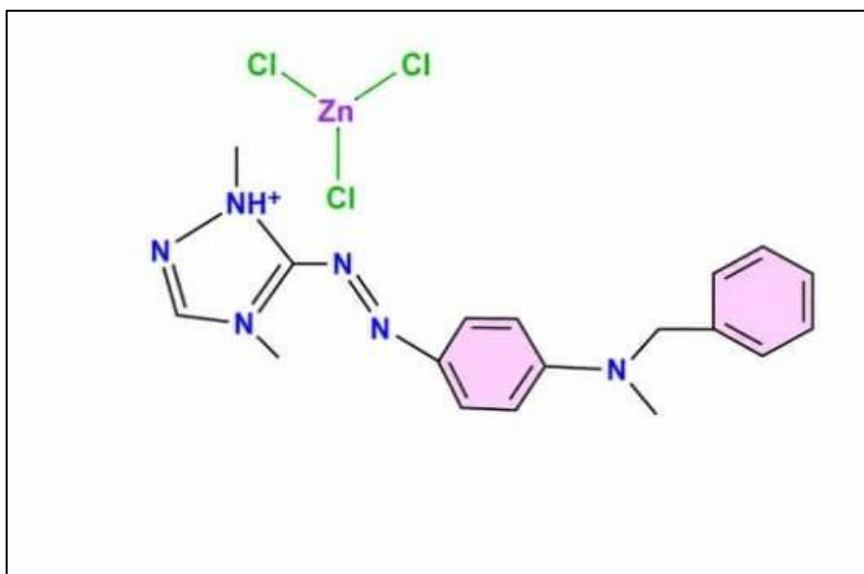


Figure 10 structure chimique de BEZACRYL Rouge GRL180

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de faire une synthèse bibliographique sur les colorants, les plus précisément, les colorants de textile leur différents types, leurs fabrications, ainsi que leurs impacts et leurs comportements dans l'environnement. Ces données bibliographiques mettent en évidence la nécessité de la dépollution de ces eaux usées.

Donc il faut des techniques de traitement adaptée aux colorants doit, avant tout, dégrader les molécules jusqu'à la minéralisation complète afin d'éviter la formation de sous-produits plus dangereux que les composés initiaux et plus particulièrement, empêcher la formation de produits cancérigènes.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Introduction

Dans ce chapitre nous illustrons les matériels, les produit et les techniques analytiques ainsi que les différents protocoles expérimentaux utilisés au cours de ce travail et qui peuvent être classés en deux parties : partie de préparation d'adsorbant (préparation d'argile) et partie sur l'influence des principaux paramètres physico-chimiques tels que le pH, la masse de l'adsorbant, les concentrations initiales de colorant et le temps de contact sur l'élimination de colorant à partir de processus d'adsorption.

1. Date et lieu de travail

L'ensemble de ce travail a été réalisé aux laboratoires de l'institut des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université de Tissemsilt durant la période du 07/03/2026 à 20/04/2026.

2. Matériels

2.1. Appareillages

- pH mètre (JENWAY, modèle 3520)
- Balance analytique (OHOUS, modèle ADVENTURER, précision 0,0001g)
- Broyeur
- Tamis 100µm
- Spectrophotomètre UV-visible (FAITHFUL 752N)
- Agitateur magnétique chauffant (VELP scientifica, modèle AREC 7)
- Agitateur secoueur orbital (LAUDA)
- Centrifugeuse (OHAUS, modèle frontierTM 5708)
- Autres matériels : spatule, fioles jaugée, bécher, barreau magnétique

2.2. Produits chimiques

- BEZACRYL rouge GRL 180 sous forme de poudre qui nous a été fournie gracieusement par la société de fabrication de couvertures textiles «SOFACT» de Tissemsilt
- Hydroxyde de sodium (NaOH) (1N)
- Acide chlorhydrique (HCl) (1N)
- Eau distillée

3. Préparation de l'argile

L'argile utilisée dans cette étude a été prélevée au niveau de la commune de Theniet EL HAD, wilaya de Tissemsilt, le site d'échantillonnage est localisé aux coordonnées géographiques :

Latitude =35.877103, longitude =2.019505.

L'échantillon a été séché dans une étuve pendant 24h, broyée puis tamisée à 100µm.

4. Caractérisation de l'argile

4.1. Analyse par diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X permet d'identifier la nature des phases cristalline et amorphe présentes dans un solide. Cependant, plusieurs mailles cristallines doivent se succéder pour former des raies de diffraction visibles. Si le nombre de mailles constituant les cristallites est faible, les raies de diffraction apparaîtront larges. Cette propriété permet dans certains cas de déterminer la taille des cristallites. [54]

4.2. La spectroscopie infrarouge (IRTF)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) repose sur l'absorption du rayonnement infrarouge par le matériau étudié. Cette technique permet d'identifier les différentes fonctions chimiques présentes grâce à la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques qui composent le matériau. [55]

5. Procédés expérimentale de l'adsorption

5.1. Préparation de la solution mère

Afin de réaliser les expériences d'adsorption, une solution mère de colorant GRL 180 de concentration 500 mg/L a été préparée. Pour cela, 500 mg de colorant ont été dissous dans 1L d'eau distillée. La solution obtenue a ensuite été homogénéisée par agitation.

5.2. Détermination de la longueur d'onde spécifique du rouge bezacryl GRL 180

Afin de déterminer la longueur d'onde maximale d'absorption du rouge bezacryl GRL 180 (GRL 180), une solution de concentration 20 mg/L a été analysée par spectrophotométrie UV-

Visible dans une plage de longueurs d'onde comprise entre 400 et 700 nm. La longueur d'onde caractéristique du colorant a été identifiée à partir du maximum d'absorbance enregistré.

5.3. Courbe d'étalonnage

Pour tracer la courbe d'étalonnage du GRL 180, on a préparé des solutions de 1, 2,3, 4, 5 et 6 mg/l de ce polluant. On mesure par la suite, la variation de la densité optique en fonction de la concentration de ces solutions et cela à la longueur d'onde spécifique. Cette courbe nous permet de déterminer les concentrations finales en utilisant le spectrophotomètre et la loi de Beer-Lambert.

5.4. La spectrophotométrie UV-Visible

La spectrophotométrie ultraviolet-visible (UV-Visible) est une technique d'analyse quantitative qui permet de mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique en solution. Cette méthode repose sur la loi de Beer-Lambert. [56]

Lorsqu'une substance absorbe un rayonnement dans les domaines de l'ultraviolet et du visible, l'énergie absorbée provoque des transitions électroniques au sein des atomes, ions ou molécules. Les électrons passent ainsi d'un niveau d'énergie inférieur à un niveau supérieur. Ces transitions électroniques se situent généralement dans la gamme de 200 à 350 nm pour l'ultraviolet et de 350 à 800 nm pour le visible. [57]

Dans un milieu homogène traversé par un faisceau lumineux, une partie de la lumière est absorbée. Les différentes radiations du faisceau incident sont absorbées de manière sélective en fonction de leur longueur d'onde, tandis que les radiations transmises sont caractéristiques du milieu analysé. [56]

Ainsi, lorsqu'un rayonnement monochromatique de longueur d'onde λ traverse un milieu homogène d'épaisseur L , la diminution de l'intensité lumineuse en fonction de l'épaisseur du milieu absorbant est décrite par la loi de Beer-Lambert. Les concentrations sont calculées en se basant sur la loi suivante :

$$A = \epsilon . L . C \dots \dots \dots (15)$$

Avec

A : absorbance

ϵ : coefficient d'extinction molaire (mol⁻¹.cm⁻¹)

L : l'épaisseur de la cuve (1cm)

C : concentration molaire de composé dosé (mol /L)

5.5. Procédure de l'adsorption

Des essais d'adsorption ont été réalisés en mettant en contact un volume donné (20 mL, 300 mL) d'une solution du colorant RED 180, à une concentration initiale donnée (exemple 20 mg·L⁻¹) avec une quantité adéquate d'adsorbant selon le rapport solide/liquide adéquat. Les mélanges ont été agités dans un agitateur jusqu'à l'atteinte de l'équilibre d'adsorption. Les phases solide et liquide ont ensuite été séparées par centrifugation à 6000 tr·min⁻¹ pendant 4 minutes à l'aide d'une centrifugeuse.

L'absorbance du surnageant a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible à la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption du RED 180, préalablement déterminée expérimentalement. La concentration résiduelle du colorant a été calculée selon la loi de Beer-Lambert à partir d'une courbe d'étalonnage. La quantité de colorant adsorbée à l'équilibre a ensuite été déterminée à l'aide de l'équation suivante :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \dots\dots\dots (15)$$

Avec :

Q_e : quantité adsorbée à l'équilibre (mg / g) .

V : volume de la solution (l) . **m** :
masse d'adsorbant (g) .

C₀ : concentration initiale de l'adsorbat (mg / l) .

C_e : concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg / l) .

a) Rapport solide /liquide

Le rapport solide/liquide correspond à la masse de l'adsorbant (mg) mise en contact avec un volume donné de solution. La masse de l'adsorbant nécessaire pour un volume déterminé peut être calculée à l'aide de la relation suivante :

$$R(S/L) = \frac{m(mg)}{v(ml)} \dots\dots\dots (16)$$

Pour l'étude de l'effet du rapport solide/liquide (R_{S/L}) sur l'adsorption du RED 180, 20 mL d'une solution de colorant à une concentration initiale de 20 mg·L⁻¹ ont été mis en contact avec différentes masses de l'adsorbant (10, 20, 30 et 40 mg).

Tableau 5 établissement de rapport solide-liquide pour l'étude d'adsorption

Rapport solide-liquide	La masse d'argile	Concentration de colorants	Volume de solution	Temps de Contact
0,5	10g	20mg/L	20ml	90min
1	20g			
1,5	30g			
2	40g			

- Après la fixation de rapport solide-liquide, les paramètres opératoires pH, le temps de contact et la concentration initiale ont été optimisés.

b) Effet du Ph

Le processus d'adsorption est influencé par plusieurs paramètres susceptibles d'affecter à la fois l'équilibre et la cinétique d'adsorption, notamment la concentration initiale de l'adsorbat, la dose de l'adsorbant, le pH du milieu et la température. Parmi ces facteurs, le pH joue un rôle déterminant puisqu'il influence à la fois la charge de surface de l'adsorbant et la spéciation des molécules adsorbées en solution. [58]

Afin d'évaluer l'effet du pH sur l'adsorption du RED 180, des essais ont été réalisés dans une gamme de pH comprise entre 3 et 9, en maintenant constante la concentration initiale du colorant à 20 mg·L⁻¹ et en travaillant à température ambiante. L'étude n'a pas été étendue à des valeurs de pH supérieures à 9, car des essais préliminaires ont montré une décoloration progressive de la solution, se traduisant par un éclaircissement de sa couleur. Le pH optimal déterminé à l'issue de cette étude a été conservé pour l'ensemble des expériences ultérieures

c) Cinétique

L'étude de la cinétique de l'adsorption est essentielle pour la sélection, le dimensionnement et l'optimisation des systèmes d'adsorption [59]. L'adsorption étant un processus passif et indépendant de toute activité métabolique. Les expériences ont été réalisées à température ambiante en mettant en contact une solution synthétique de RED 180 à une concentration de 20 mg/L avec notre matériau adsorbant étudié.

L'homogénéisation du milieu réactionnel a été assurée à l'aide d'un agitateur magnétique fonctionnant à vitesse constante pendant une durée de 1 heure et 30 minutes. Des échantillons ont été prélevés à intervalles de temps réguliers afin de suivre l'évolution de l'adsorption. Après séparation

de l'adsorbant par centrifugation, l'absorbance du surnageant a été mesurée au moyen d'un spectrophotomètre UV-Visible à la longueur d'onde caractéristique du RED 180.

La concentration résiduelle du colorant a ensuite été déterminée en utilisant une courbe d'étalonnage préalablement établie. La quantité de colorant adsorbée à l'instant t a été calculée à l'aide de l'équation (15).

Tableau 6 étude de l'influence du temps de contact sur l'adsorption

Temps de contact	Rapport sol-liquide	Masse d'argile	Concentration de colorant	Volume de solution	pH de solution
5min	0,5	150mg	20mg	300ml	9
10min					
15min					
20min					
25min					
30min					
35min					
40min					
45min					
50min					
55min					
60min					
70min					
80min					
90min					

d) L'isotherme d'adsorption

Dans le cadre des études d'isothermes d'équilibre, des solutions de RED 180 de concentrations comprises entre 30 et 400 mg·L⁻¹ ont été préparées à un pH initial optimal (déterminé à travers cette étude). Ces solutions ont été mises en contact avec notre adsorbant, en respectant un rapport solide/liquide adéquat, puis agitées sur un agitateur à une température ambiante de 22 °C pendant 90 minutes.

À l'équilibre, les concentrations résiduelles (C_e) ont été déterminées par mesure de l'absorbance des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible, après séparation de la phase solide et de la phase liquide. Les quantités adsorbées à l'équilibre ont ensuite été calculées, permettant ainsi l'établissement d'une isotherme d'adsorption.

Tableau 7 effet de la concentration initiale

Concentration initiale	Rapport solideliquide	masse d'argile	Volume de solution	Ph	Temps de contact	Température
30mg/L	0,5	10mg	20ml	9	90min	22°C
60mg/L						
90mg/L						
120mg/L						
150mg/L						
200mg /L						
300mg/L						
400mg/L						

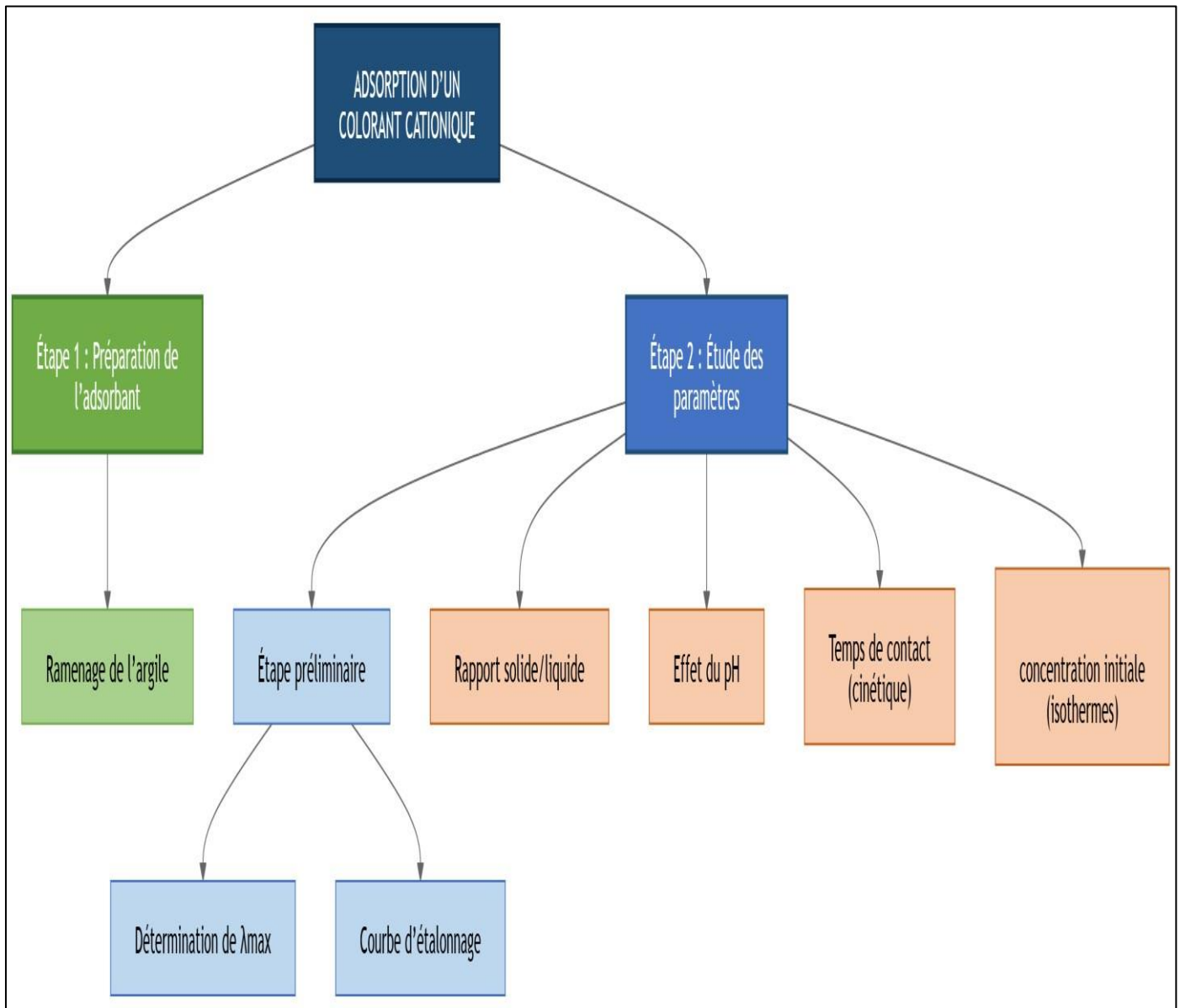


Figure 11 Protocole expérimentale

Conclusion

En somme, cette approche méthodologique rigoureuse garantit la fiabilité et la reproductibilité de l'étude d'adsorption du colorant sur l'argile. Elle pose ainsi les bases nécessaires à l'analyse et à l'interprétation des résultats cinétiques présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV : résultat et discussion

1. Caractérisation de l'argile

1.1. Analyse par DRX

L'analyse DRX (figure 12) met en évidence une forte dominance du quartz avec un pic intense à $2\theta \approx 26,6^\circ$, caractéristique de la silice cristalline. Un second pic important à $2\theta \approx 29,4^\circ$ correspond à la calcite, indiquant la présence de carbonates. Ces deux phases montrent que l'échantillon contient une matrice minérale détritique et carbonatée. Dans la zone des faibles angles (2° – 15°), on observe un pic basal large entre 5° et 8° . Ce pic traduit la présence d'une fraction argileuse à structure peu ordonnée. La position de ce pic correspond à des distances interfoliaires typiques des smectites (12–15 Å). Le caractère diffus suggère une capacité de gonflement liée à l'hydratation des feuillets. L'absence de pics nets à 7 Å exclut la kaolinite comme phase dominante. De même, l'absence de pic à 10 Å indique que l'illite n'est pas majoritaire. Ainsi, l'échantillon est une argile smectitique (probablement montmorillonite) associée à du quartz et de la calcite.

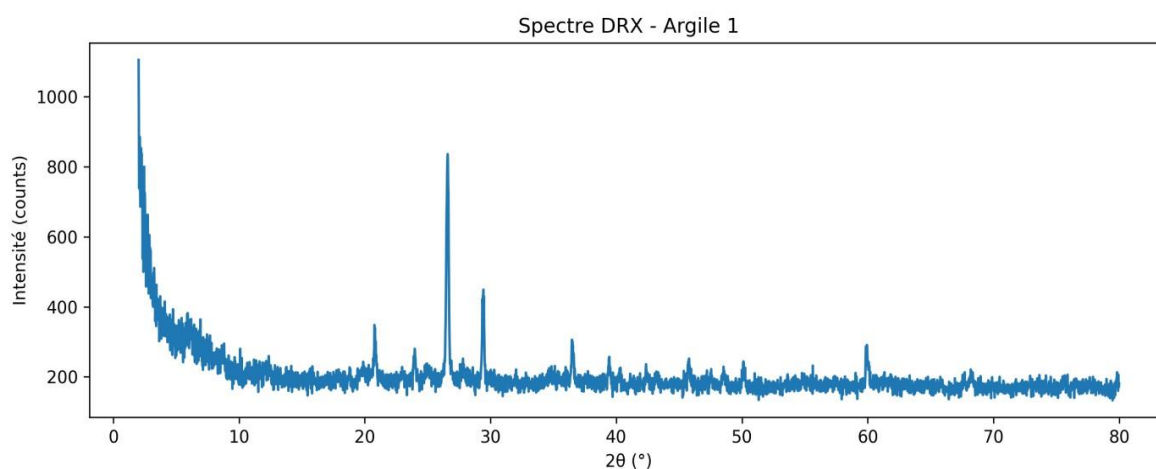


Figure 12 Spectres DRX de l'argile utilisée

1.2. Analyse par FTIR

Le spectre infrarouge de l'argile (figure13) met en évidence plusieurs bandes caractéristiques des matériaux aluminosilicatés. La large bande observée entre 3400 et 3600 cm^{-1} est attribuée aux vibrations d'élongation des groupements hydroxyles (OH) et de l'eau adsorbée, traduisant la présence d'eau interfoliaire et d'hydroxyles structuraux propres aux phyllosilicates [60]; [61]. La bande située autour de 1630–1650 cm^{-1} correspond à la vibration de déformation des molécules d'eau adsorbée dans la structure argileuse [60]. La bande intense observée entre 1000 et 1100 cm^{-1} est associée aux vibrations d'élongation des liaisons Si–O–Si et Si–O–Al, ce qui confirme la nature aluminosilicatée de l'échantillon [61] ; [62]. Les bandes localisées vers 780–800 cm^{-1} et 690–700 cm^{-1} peuvent être attribuées aux vibrations du réseau silicaté ainsi qu'à la présence de quartz comme phase minérale associée [63]. Enfin, les bandes observées dans la région des basses fréquences (400–600 cm^{-1}) correspondent aux vibrations de déformation des liaisons Si–O ainsi qu'aux vibrations impliquant les groupements Al–O et Mg–O, caractéristiques des minéraux argileux [60] [61].

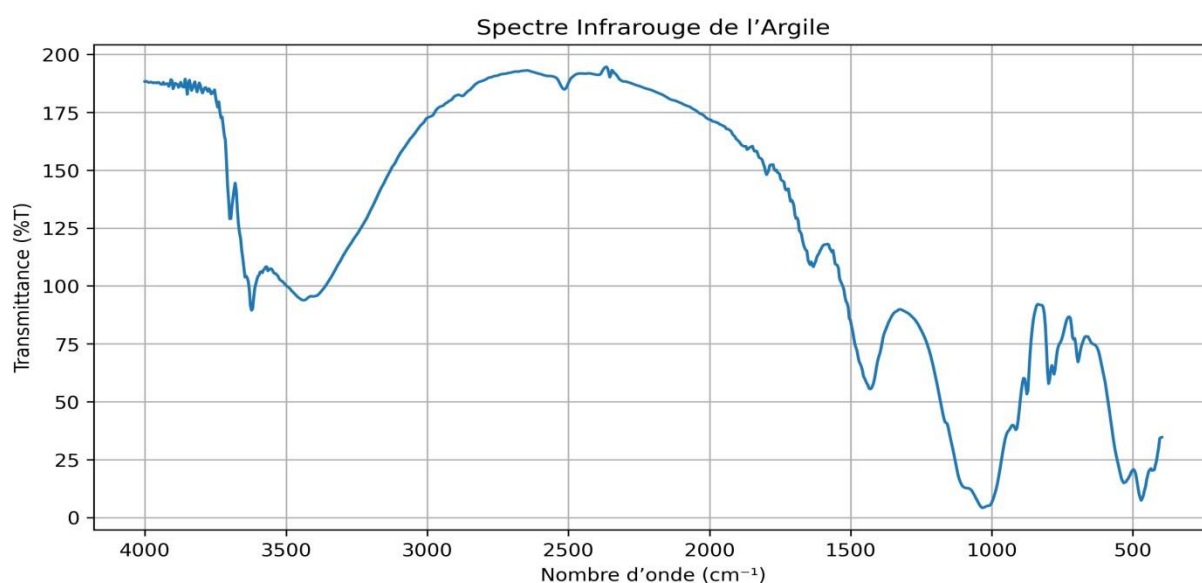


Figure 13 le spectre IR de notre argile

2. Adsorption du GRL 180 par notre argile

2.1. Détermination de la longueur d'onde spécifique

La longueur d'onde spécifique a été déterminée après un balayage spectral réalisé dans l'intervalle de 400 à 700 nm. L'évolution de la densité optique en fonction de la longueur d'onde

présente une allure de type gaussienne, avec un maximum d'absorbance observé à 515 nm. Cette longueur d'onde a donc été retenue pour l'ensemble des mesures spectrophotométriques.

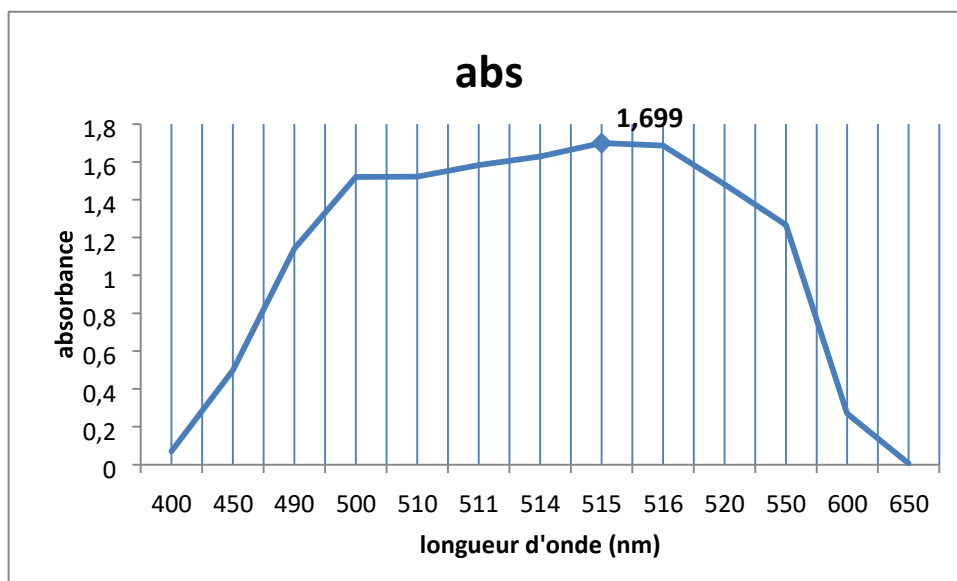


Figure 14 L'évolution de l'absorbance de GRL180 en fonction de la longueur d'onde

2.2. Courbe d'étalonnage

La figure (15) présente la courbe d'étalonnage établie pour le colorant GRL180, mettant en évidence la variation de l'absorbance en fonction de sa concentration. Les résultats obtenus révèlent une relation linéaire entre ces deux paramètres, avec un coefficient de corrélation élevé ($R^2 = 0,9864$), témoignant d'une bonne conformité à la loi de Beer-Lambert dans le domaine de concentrations étudié. L'équation de la droite d'étalonnage est donnée par :

$$Y = 0,0702X$$

Où :

Y : Absorbance à $\lambda = 515$ nm

X : Concentration du GRL180 en mg/l dans la solution.

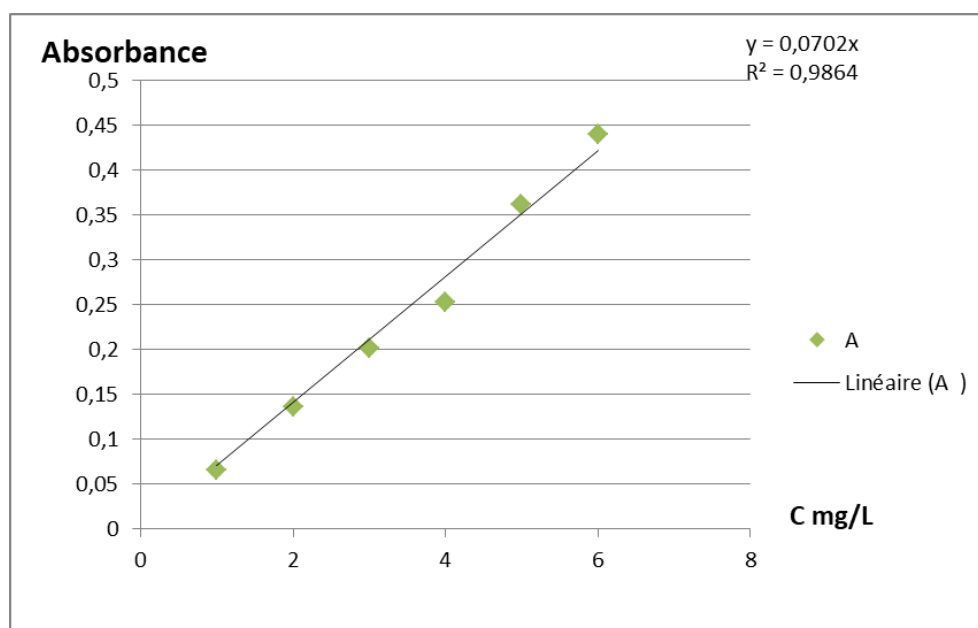


Figure 15 Courbe d'étalonnage de GRL 180

2.3. Rapport Solide-Liquide

La figure suivante représente la quantité de rouge GRL 180 adsorbée à l'équilibre exprimée en mg de colorant par g d'argile Q_e (mg/g) en fonction du rapport solide-liquide ($R_{S/L}$).

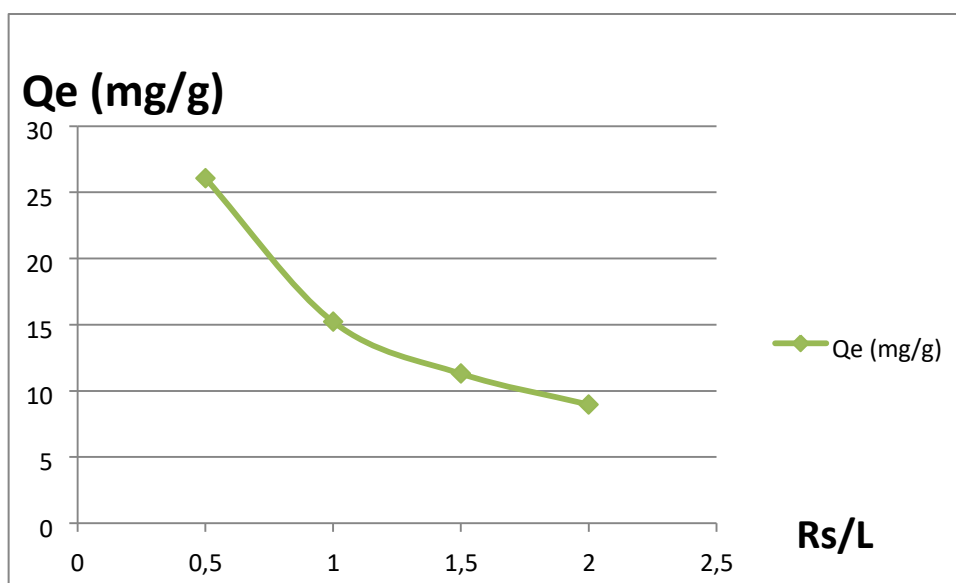


Figure 16 l'effet du rapport $R_{S/L}$ sur l'adsorption de GRL 180 par l'argile.

La courbe présentée à la figure (16) indique qu'une masse de 10 mg de notre argile permet d'atteindre la capacité maximale de fixation du colorant, soit 26.07 mg·g⁻¹. Les quantités de colorant adsorbées doivent être proportionnelles aux doses d'adsorbant introduites en solution afin de garantir un nombre comparable de sites d'adsorption disponibles.

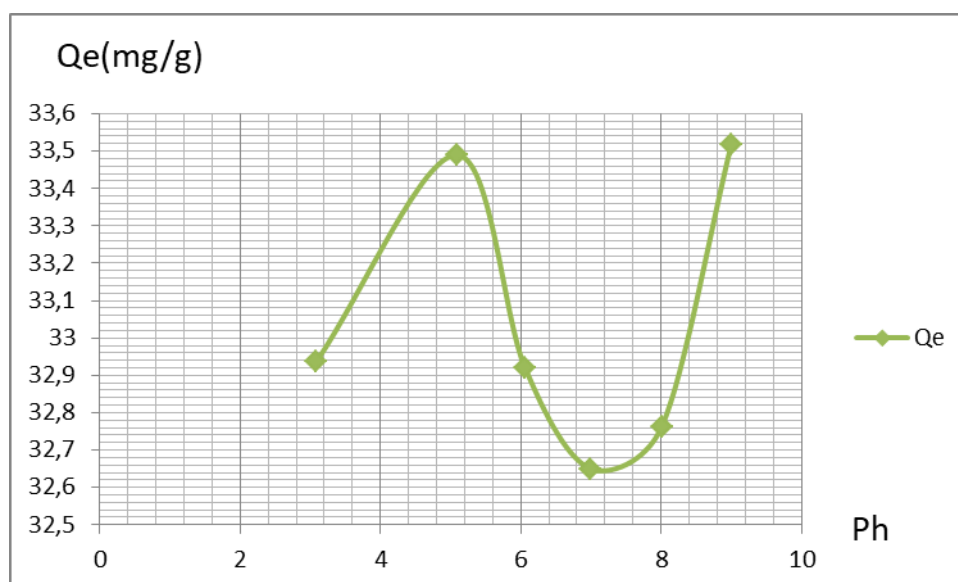
Au-delà d'une masse de 20 mg ($RS/L = 1$), une légère diminution du taux de rétention est observée. Ce phénomène pourrait traduire l'existence d'interactions supplémentaires entre le colorant et l'adsorbant. Une hypothèse avancée est celle d'une compétition entre les particules ayant déjà adsorbé une fraction du colorant et les particules libres de l'adsorbant, susceptibles d'attirer à nouveau le colorant et de favoriser son retour en solution. [64]

Par conséquent, l'utilisation de doses d'adsorbant inférieures ou égales à 10 mg apparaît comme la plus appropriée, tout en évitant un surdosage peu efficace. Dans la suite de cette étude, et afin d'évaluer les capacités maximales d'adsorption en saturant l'ensemble des sites potentiellement actifs, un rapport RS/L de 0,5 a été retenue.

2.4. Effet de Ph

Le pH constitue un paramètre déterminant dans le processus d'adsorption, car il influence directement les interactions entre l'adsorbat et l'adsorbant. En effet, la variation du pH de la solution polluante peut modifier plusieurs caractéristiques du système, notamment la charge de surface de l'adsorbant, le degré d'ionisation des matériaux, l'état de dissociation des groupes fonctionnels présents sur les sites actifs, ainsi que la structure chimique de l'adsorbat. Ces modifications affectent par conséquent l'efficacité du phénomène d'adsorption.

La figure (17) met en évidence l'influence du pH sur l'adsorption du colorant RED 180. Les résultats montrent que la capacité d'adsorption augmente progressivement avec le pH pour atteindre un maximum (33.51 mg/g) à pH 9. Cette observation est en accord avec les travaux de Moradi (2012), qui a étudié l'adsorption du colorant cationique Basic Red 46 sur des nanotubes de carbone à paroi simple. L'auteur a démontré que l'efficacité d'adsorption dépend fortement du pH initial de la solution, la capacité maximale étant également obtenue aux environs de pH 9. Compte tenu de ces résultats, la valeur de pH 9,0 a été retenue comme condition optimale et utilisée pour l'ensemble des études ultérieures.



**Figure 17 Effet du pH sur l'adsorption de BEZACRYL Rouge
Par l'argile**

2.5. Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption est une méthode qui permet de déterminer le temps d'atteinte de l'équilibre entre l'adsorbat et l'adsorbant. Elle aide aussi à identifier le mécanisme d'adsorption et le mode de transfert entre les phases liquide et solide. Cette cinétique est exprimée en fonction du taux de rétention du soluté en relation avec le temps de contact.

Le graphe suivant figure (18) illustre les résultats obtenus. Au cours des premières minutes, la vitesse d'adsorption est élevée, ce qui peut être attribué à la présence de sites actifs sur la surface de l'adsorbant. Puis, elle ralentit progressivement jusqu'à établir l'équilibre suite à l'occupation de la plupart des sites par les ions de l'adsorbat [65]. Dans le contexte de travail, une durée de contact de 45 à 50 minutes semble amplement suffisante pour parvenir à l'équilibre.

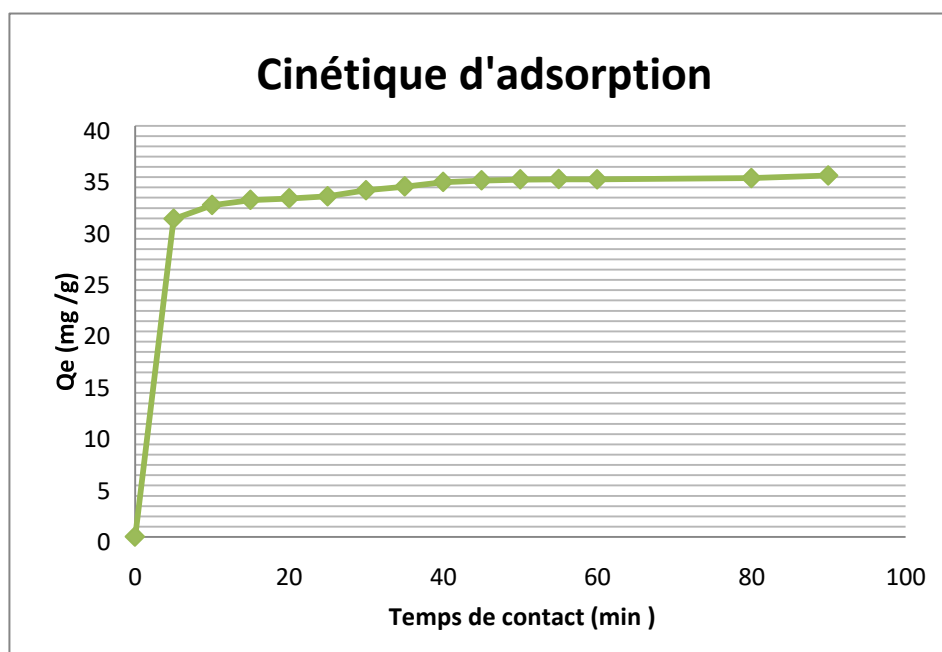


Figure 18 Effet de temps de contact

2.5.1. Modélisation de la cinétique

Les données cinétiques issues du processus d'adsorption ont été exploitées à l'aide de trois modèles cinétiques : le modèle de pseudo-premier ordre, le modèle de pseudo-second ordre et le modèle de diffusion intraparticulaire. Cette approche a permis d'évaluer le mécanisme d'adsorption et d'identifier le modèle décrivant le mieux le comportement expérimental du système étudié.

2.5.1.1. Modèle de pseudo premier ordre

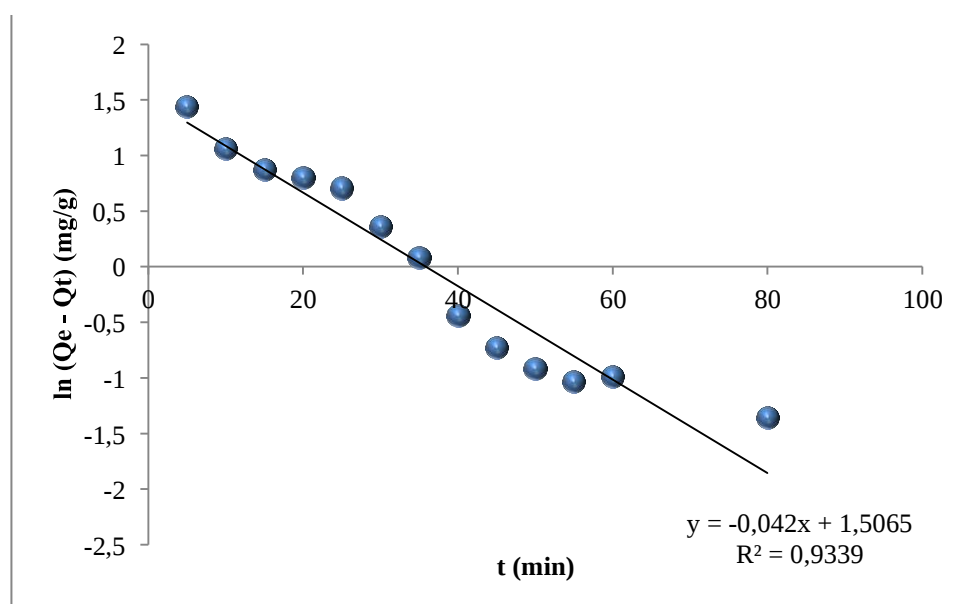


Figure 19 Application du modèle pseudo-ordre 1 à l'adsorption du BEZACRYL Rouge

2.5.1.2. Modèle pseudo-second ordre

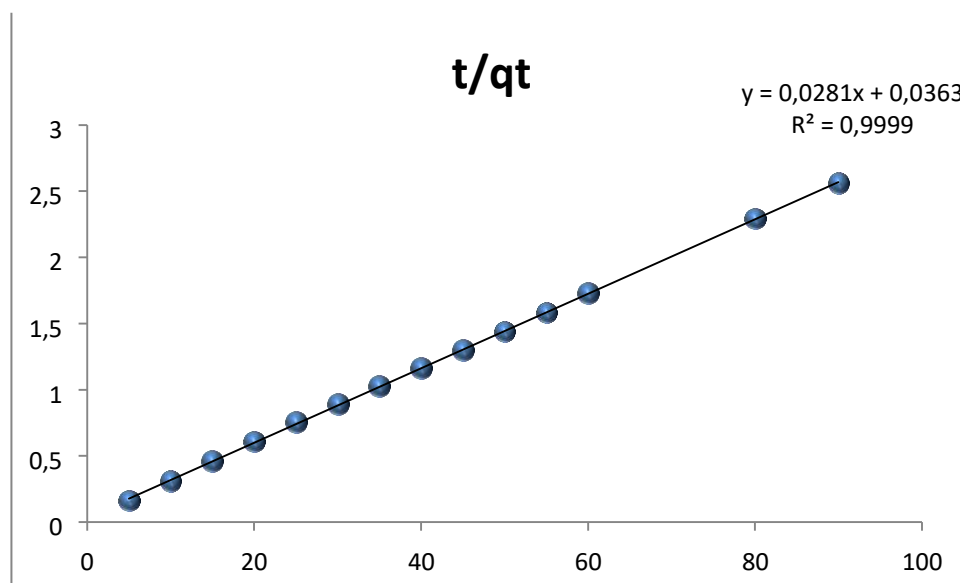


Figure 20 Application du modèle pseudo-ordre 1 à l'adsorption du BEZACRYL Rouge

Tableau 8 Résultat des paramètres cinétique des deux modèles

Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
$Q_e \text{ exp(mg/g)}$	K_1	$Q_e \text{ théo(mg/g)}$	R^2	K_2	$Q_e \text{ théo(mg/g)}$	R^2
35,16	-0,096726	4,51091493	0,9339	0,021752342	35,58718861	0,9999

➤ Les résultats obtenus indiquent que le modèle cinétique du pseudo-second ordre décrit convenablement le processus d'adsorption du colorant étudié. En effet, le coefficient de corrélation obtenu ($R^2=0,93$) est élevé. Cependant, la grande différence entre la capacité d'adsorption expérimentale $Q_e=35,16$ et la capacité d'adsorption calculée ($Q_e = 4,51 \text{ mg/g}$). Cela signifie que ce modèle ne décrit pas adéquatement le processus d'adsorption du colorant étudié.

➤ De plus, dans le pseudo-second ordre la capacité d'adsorption calculée ($Q_e=35,587\text{mg/g}$) est très similaire de la capacité expérimentale ($Q_e=35,16\text{mg/g}$) et le coefficient de corrélation est très élevé ($R^2= 0,9999$). Ces résultats suggèrent que l'adsorption du colorant suit principalement une cinétique de pseudo-second ordre, impliquant probablement des interactions chimiques entre les molécules du colorant et les sites actifs de l'adsorbant (argile).

Plusieurs études dont Belkaid et kacha (2011) [64] ont montré que l'adsorption des colorants est bien décrite par le modèle pseudo-second ordre.

2.5.1.3. Modèle de diffusion intraparticulaire (Weber-Morris)

Les données cinétiques obtenues peuvent servir à établir si le processus de diffusion des particules représente l'étape déterminante dans l'adsorption du RED 180 par l'adsorbant employée. Si la représentation graphique de la concentration adsorbée en fonction de $t^{1/2}$ forme une ligne droite traversant l'origine, on déclare que cette étape est l'étape limitative.

Tableau 9 Résultat des paramétré cinétique et coefficient de corrélation de modelé de diffusion intraparticulaire

K _{id}	I	R ²
1,0215	28,059	0,9

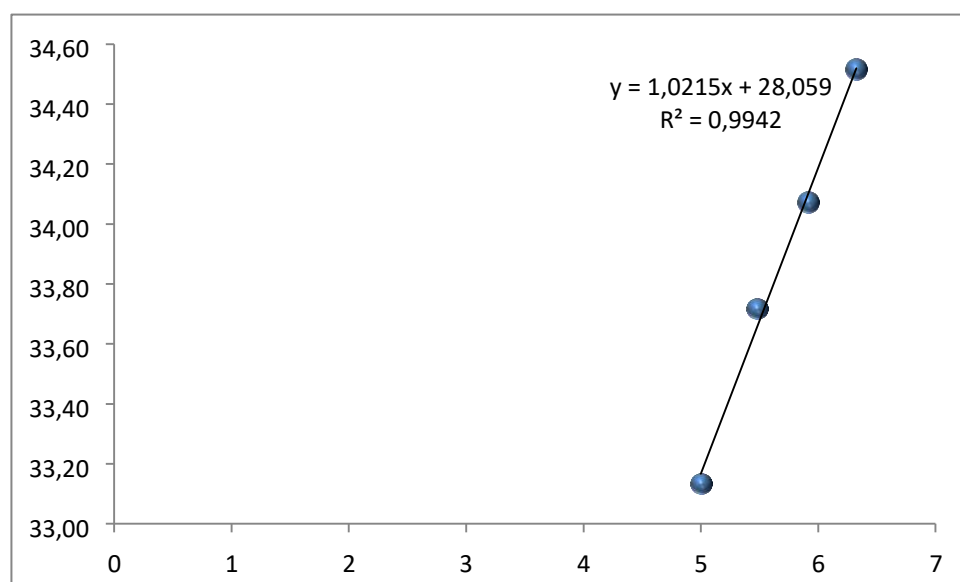


Figure 21 Application du Modèle de diffusion intraparticulaire à l'adsorption du BEZACRYL Rouge

- Le modèle de diffusion intraparticulaire présente un coefficient de détermination élevé ($R^2=0,9942$), ce qui montre que la diffusion intraparticulaire participe au mécanisme d'adsorption. Cependant, la valeur de la constante $I=28,059$ indique que la droite ne passe pas par l'origine. Cela signifie que la diffusion intraparticulaire n'est pas l'unique étape contrôlant le processus d'adsorption et que d'autres mécanismes interviennent également dans l'adsorption du RED 180. Selon la littérature, le processus d'adsorption des colorants

repose sur un mécanisme complexe faisant intervenir simultanément l'adsorption à la surface du biosorbant et la diffusion intraparticulaire des molécules adsorbées. [66]

3. L'isotherme d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont souvent exploitées pour déterminer le type d'adsorption ainsi que la détermination de la capacité maximale de fixation de colorant. Les résultats traités selon les modèles mathématiques de Langmuir (suppose une adsorption en monocouche sur des sites homogènes), Freundlich (décrit une adsorption sur une surface hétérogène). Ces modèles ont permis de calculer la capacité maximale d'adsorption ainsi que les différents paramètres caractéristiques de l'adsorption.

Nous avons exploité les résultats selon les formes linéarités des modèles de Freundlich et Langmuir, en considérant les conditions opératoires suivantes : concentration initiale du RED 180 est de 20 mg/l, masse de l'argile g, pH=9, temps de contacte 90min et la température 20

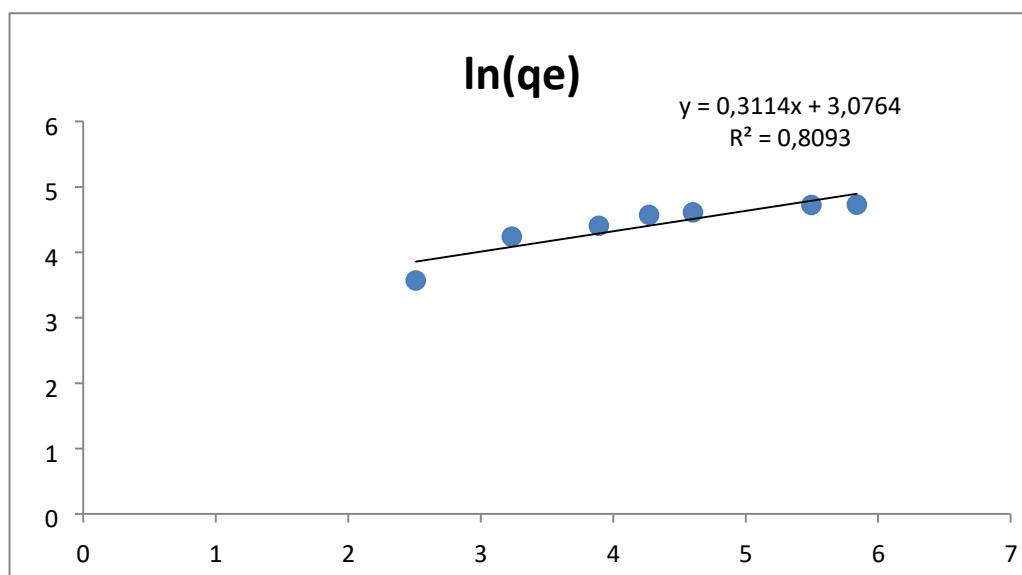


Figure 22 isothermes d'adsorption de RED 180 sur l'argile selon le modèle de Freundlich (à 20 °C).

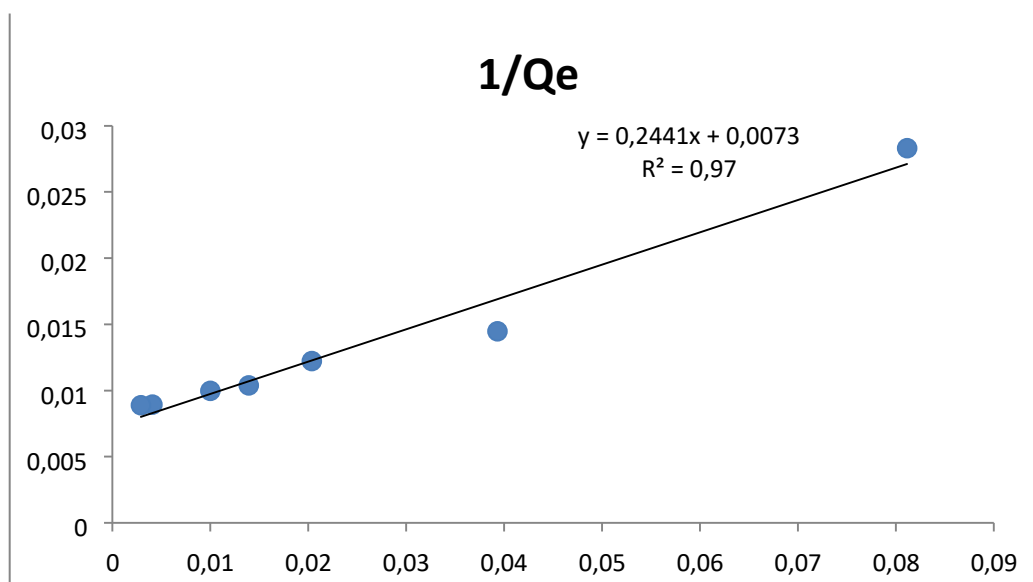


Figure 23 isothermes d'adsorption de RED 180 sur l'argile selon le modèle de Langmuir (à 20 °C).

Tableau 10 Coefficients de corrélation et paramètres d'adsorption déduits du modèle de Langmuir et du modèle de Freundlich

Le modèle de Freundlich				Le modèle de Langmuir			
kf	n	ERM%	R ²	Qm	Kl	ERM%	R ²
21,68	3,21	15,55462822	0,8093	136,99	0,030	5,30212648	0,97

1

➤ D'après le tableau 11 il apparaît que le modèle de Langmuir permet de décrire adéquatement les données expérimentales relatives à l'adsorption du GRL 180. En effet, de leur coefficient de corrélation élevé ($R^2=0,97$), une capacité maximale d'adsorption $Q_{max}=136,99$ mg/g montre que l'argile possède une capacité importante de fixation du colorant. De plus, la constante de Langmuir ($K_L=0,030$ L/mg) traduit une affinité remarquable entre la surface de l'adsorbant et le colorant. Même la valeur des erreurs ERM sont considérées comme faible (ERM=5,30%).

➤ Concernant le modèle de Freundlich, la valeur de $1 < n=3,21 < 10$, indique que l'adsorption reste favorable mais, les faibles valeurs du coefficient de détermination ($R^2=0,8093$), associées à des erreurs élevées (ERM=15,55%) montre que ce modèle est moins adapté à l'interprétation des résultats expérimentaux.

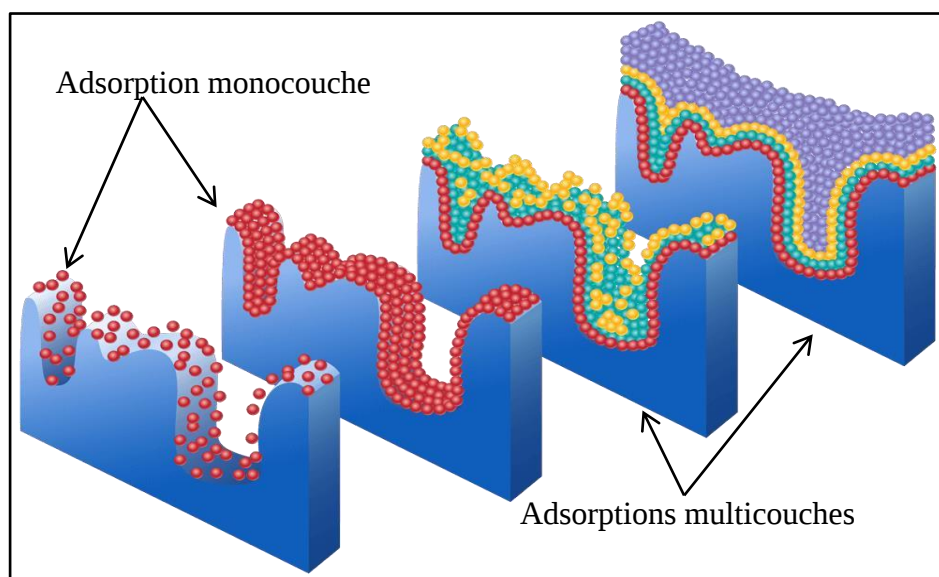


Figure 24 modèles d'adsorption sur un matériau solide.

Conclusion générale

Cette étude vise à évaluer l'efficacité de l'argile locale pour éliminer le colorant BEZACRYL rouge GRL 180 à partir de solution aqueuse. Les résultats obtenus ont confirmé que ce matériau naturel possède une capacité d'adsorption intéressante, ce qui en fait un adsorbant abondant, peu coûteux et respectueux de l'environnement. Son utilisation représente ainsi une alternative prometteuse aux autres adsorbants utilisés dans le domaine du traitement des effluents industriels.

L'analyse des résultats obtenus montre que les conditions optimales d'adsorption du colorant sont atteintes pour un rapport solide/liquide de 0,5, un pH de 9. L'étude cinétique a révélé que le modèle de pseudo-second ordre décrit le mieux les données expérimentales, indiquant que ce modèle est le plus approprié pour représenter le mécanisme d'adsorption du colorant sur l'argile. L'examen du modèle de diffusion intraparticulaire a également mis en évidence que cette dernière contribue au processus global d'adsorption, sans toutefois constituer l'étape limitant ou le facteur principal contrôlant la vitesse du phénomène.

Par ailleurs, l'analyse des isothermes d'adsorption a montré que le modèle de Langmuir fournit le meilleur ajustement aux résultats expérimentaux. Cette observation suggère que l'adsorption se déroule essentiellement sous forme de monocouche sur une surface relativement homogène, comportant des sites actifs énergétiquement équivalents.

Notre travail constitue une première étape vers la valorisation de l'argile locale dans les procédés de dépollution des eaux plusieurs perspectives peuvent être envisagée afin d'approfondir les résultats obtenus et d'améliorer les performances adsorbants de ce matériau nature :

- Activation chimique ou thermique de l'argile afin d'améliore sa capacité d'adsorption
- Mise en forme de l'argile sous forme de filtre ou de matériaux composites adaptés aux systèmes de traitement des eaux
- Etude de l'efficacité d'argile sur autre polluants organique et sur des effluents réels
- Evaluer les possibilités de réutilisation de l'adsorbant après plusieurs cycles d'utilisation

Sur un autre plan, la Willaya de Tissemsilt n'est pas une grande zone industrielle, mais elle abrite quelques unités de production. Dont l'une des plus importantes est l'usine de fabrication de couverture et de textuelle SOFACT. Les activités de ce type d'industrie peuvent être à l'origine des rejets contenant des colorants susceptibles d'affecté la qualité des eaux.

Dans ce contexte, la valorisation des ressources naturelles telles que l'argile, apparaît comme une solution intéressante pour contribuer à la réduction de cette pollution.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [¹]Rápó, E., & Tonk, S. (2021). Factors Affecting Synthetic Dye Adsorption; Desorption Studies: A Review of Results from the Last Five Years (2017–2021). *Molecules*, 26(17), 5419. <https://doi.org/10.3390/molecules26175419>
- [²]Service Public de l'Assainissement Francilien (SIAAP). (2009). La cité de l'eau et de l'assainissement : Livre pédagogique. Paris, France.
- [3] FERNANE, G. MEZIOUD, F. (2017). Etude de l'adsorption du rouge bezacryl sur les biomasses *Streptomyces rimosus* et *Pleurotus mutilus* . Mémoire d'Ingénieur d'état en Génie Chimique.
- [4] BENNEBRI, M. KECHAD, R. (2023). Analyse de la compétitivité du secteur textile en Algérie.
- [⁵]Nabiev, M., Kaddour, O. Nabieva, A.M., Khettab, N., Gater, SN. (2015). Purification des eaux usées de l'industrie textile polluée par des colorants organiques synthétiques à l'aide des déchets industriels et des mélanges matériaux locaux. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*.
- [6] Alfred, C. Rubiyatno, Zarina ,A. (2024). Environmental Impact of Synthetic Dyes on Groundwater in Malaysia: Sources, Distribution, Transport Mechanisms, and Mitigation Strategies.
- [7] Guivarch, L. Oturan, M. (2004). Le problème de la contamination des eaux par les colorants synthétiques : comment les détruire ? Application du procédé électro-Fenton.
- [8] LOUNICI, D. KAHLERRAS, Z. (2013). Traitement des effluents textiles et de l'eau de mer par Electrocoagulation. Mémoire D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE DE L'ENVIRONNEMENT.
- [9] Ralph G, Kodama,H. Hydrous mica , formation, structure, propriétés. Britannica consulté le 19 Février 2026. Adresse <https://www.britannica.com/science/clay-mineral#ref80126> .
- [10] CALVET, R. Le sol. (2e éd.). Éditions France Agricole. (2013).
- [11] Mamadou Yaya BALDE. CARACTÉRISATION PHYSICOCHIMIQUE DES ALUMINOSILICATES (ARGILES ET BAUXITE) DE KINDIA, GUINÉE : APPLICATION DANS LA FORMULATION DES MORTIERS HYDRAULIQUES ET DES COMPOSITIONS CÉRAMIQUES. Edition 2023.
- [12] BOUROUIS M. Dépollution par l'argile naturelle et traitée : Étude expérimentale et modélisation du processus d'adsorption / désorption. Thèse de doctorat 2025.
- [13] Nevila, J. HAL Id: tel-00003740 Étude de matériaux argileux albanais. Caractérisation "multi-échelle" d'une bentonite magnésienne. Minéralogie. Université d'Orléans, 2003. Fr. HAL Id: tel-00003740.
- [14] Ralph E. Grim [Formation, structure, propriétés] Britannica. Consulté le 20 février 2026, l'adresse <https://www.britannica.com/science/clay-mineral/Vermiculite> .
- [15] SOUFI, I. (2024). ÉLIMINATION D'UN POLLUANT ORGANIQUE SUR UNE ARGILE LOCALE PAR PROCÉDE D'ADSORPTION. MEMOIRE DE MASTER.
- [16] H, VIALIS-TERRISSE. (2000). Interaction des Silicates de Calcium Hydratés, principaux constituants du ciment, avec les chlorures d'alcalins. Analogie avec les argiles. Thèse de doctorat de l'université de Bourgogne
- [17] AMIROUCHE, L. (2011). Etude du pouvoir de sorption du Cuivre (II), du Zinc (II) et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes. MEMOIRE DE MAGISTER.
- [18] HARRAT, M. (2007). Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique Etude sur site : unité Maghreb céramique de Touggourt. MEMOIRE DE MAGISTER. [¹⁹] THIEBAULT T. (2015). L'adsorption des produits pharmaceutiques par interactions organo-minérales : Processus et Applications environnementales. Thèse de Docteur de l'université d'Orléans.
- [20] H A I G H, S. VAR DA N E G A, P. a n d B O LTON, M. The plastic limit of clays. *Public Roads*, Page 435. 2013.
- [21] EHIOMOGUE, P. AHUCHAOGU, I. AHANEKU, I. (2021). REVIEW OF ADSORPTION ISOTHERMS MODELS. *ACTA TECHNICA CORVINIENSIS – Bulletin of Engineering*.
- [22] Foo, K.Y., Hameed B.H. (2009). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*.
- [23] TIZAOUI K. (2019). Elimination des métaux lourds par une argile Marneuse : Application aux traitements des lixiviats des déchets urbains "CET de Saf-Saf ". Thèse de Doctorat en Sciences.
- [24] HOCEIN O. (2024). Adsorption d'un polluant organique par une argile Mémoire de Master académique.
- [25] GUEMOU L. (2021). Biosorption des polluants organiques et inorganiques par un lichen modifié. Thèse de Doctorat en Sciences.
- [26] HOCEIN O. (2024). Adsorption d'un polluant organique par une argile. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master académique.

Références bibliographiques

- [27] BOUGDAH N. (2016). Possibilité de rétention de micropolluants de type pesticides sur des adsorbants naturels. Thèse de Doctorat en Sciences.
- [28] SEDIRA, N. (2013). Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes. Mémoire de magister En chimie physique et analytique.
- [29] Musah, M. Azeh, Y. Mathew, J. T. Umar, M. T., Abdulhamid, Z., & Muhammad, A. I. (2022). Adsorption kinetics and isotherm models: A review. *Caliphate Journal of Science and Technology (CaJoST)*, 4(1), 20–26.
- [30] Elaziouti, A. (2023). Chapitre II : Equilibre d'adsorption. Module : Techniques d'adsorption. Université des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF USTO-MB.
- [31] MESSAI, I. (2017). ,Cinétique de l'adsorption en batch du phénol sur marc de café en grain. Mémoire du Projet de Fin d'Etudes d'ingénieur d'état en Génie de l'Environnement. Ecole Nationale Polytechnique.
- [32] LANSARI, I. (2021) Elimination des colorants textiles par des sorbants naturels. Thèse de Doctorat Université de Tlemcen.
- [33] ANEESHMA, P. SYNTHESIS OF BIOCHARS FROM ULTRASOUND ENHANCED PYROLYSIS AND THEIR APPLICATION IN WATER TREATMENT. Thèse de Doctorat en Sciences de L'ÉNERGIE ET DES MATÉRIAUX. 2021. UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES.
- [34] ARAR, F. BACH, F. Impact des propriétés de surface des charbons actifs sur l'adsorption de composé phénolique. Mémoire MASTER ACADIMIQUE.
- [35] DJEBRI, M. (2014).Préparation des membranes chitosane/Montmorillonite application a la retention du vert de malachite. mémoire de master.
- [36] DIARRA, A.(2021).PHOTODEGRADATION DU METHYLE ORANGE EN SOLUTION AQUEUSE : ASPECTS CINETIQUES. Mémoire MASTER ACADIMIQUE.
- [37] Christie R.M. (2015). Colour Chemistry. Royal Society of Chemistry.
- [38] ALIZOUAOUI, Z. MAHCHOUCHE, W. (2019). Application des co-produits naturels à la dépollution des eaux. MEMOIRE de MASTER.
- [39] MESKHER, H. MOUD M. (2017). Adsorption de bleu de méthylène par la sciure de bois brute et activée. Mémoire d'ingénieur d'état en Génie de l'environnement.
- [40] FERNANE, G. Toxicité des colorants et différentes techniques de traitement des effluents.
- [41] MEROUANI D. (2011). TRAITEMENT DE COLORANTS AZOIQUE ET ANTHRAQUINONIQUE PAR PROCEDES D'OXYDATION AVANCEE (POA).Thèse de doctorat en science .
- [42] K. Hunger . Industrial Dyes Chemistry, Properties, Applications.
- [43] Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir-Ghedira and Ridha Mosrati. (2011). Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement Textiles dyes as a source of wastewater contamination: screening of the toxicity and treatment methods. *Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science*.
- [44] De Reguardati S. Barthe, W. (2012). Les colorants organiques utilisés en teinturerie : aspects physicochimiques.
- [45] Guangzhou pingio Home products Co. Ltd. Comment sont fabriqués les colorants textiles.2025.Consulté en mai 2026.Sur <https://WWW.Pingiohome.Com> .
- [46] BENIDIRI S. HAMMOUDI N. (2021). Elimination d'un colorant textile par photodégradation catalytique. Mémoire de Master.
- [47] BEREZ, A. (2015). Dépollution par argile naturelle d'effluents teinturiers : étude expérimentale et modélisation du processus d'adsorption / désorption en réacteur fermé et colonne de percolation . HAL Open science.
- [48] D. A. Yaseen · M. Scholz. (2018). Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic Effluents: à critical review.
- [49] Guerry, E. Diaz, L. (2025). Colorants biosourcés pour une industrie de la couleur textile plus verte : cas de la synthèse enzymatique Pili©.
- [50] Delphine de la Encina, (2012). Jérôme Frignet. Les dessous toxiques de la mode. Greenpeace international.
- [51] BELOUETTAR A. (2017).Etude comparative des procédés d'élimination des colorants textiles. Mémoire de master.
- [52] BELHOUL, M. (2025). Etude de l'adsorption d'un colorant organique sur support argileux naturel. Mémoire de master.

Références bibliographiques

- [53] CHT Germany GmbH. BEZACRYL ROUGE GTL200. Consulté en mai 2026. sur https://solutions.cht.com/cht/web.nsf/id/pa_fr_startseite.html.
- [54] Dubus, M. (2018). Diffraction des rayons X appliquée au patrimoine. Institut Français d'Études Andines. <https://hal.science/hal-01908481v1>.
- [55] Smith, B. C. (2011). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts* (3rd ed.). Wiley.
- [56] Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). *Principles of instrumental analysis* (7th ed.). Cengage Learning.
- [58] Sílvia C.R. Santos, Gabriela Ungureanu, Irina Volf, Rui A.R. Boaventura, Cidália M.S. Botelho, 3 - Macroalgae Biomass as Sorbent for Metal Ions, Editor(s): Valentin Popa, Irina Volf, Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of High-Tech Value, Elsevier, 2018, Pages 69-112, ISBN 9780444637741,).
- [59] Volesky, B. (2001). Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy*, 59(2–3), 203–216. Madejová Jana (2003). FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational Spectroscopy*, 31(1), 1–10.
- [60]. Madejová Jana (2003). FTIR techniques in clay mineral studies. *Vibrational Spectroscopy*, 31(1), 1–10.
- [61] V.C. Farmer (1974). *The Infrared Spectra of Minerals*. Mineralogical Society, London.
- [62] L. Vaculíková & E. Plevová (2005). Identification of clay minerals and micas by infrared spectroscopy. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2(1), 167–175.
- [63] B.J. Saikia & G. Parthasarathy (2010). Fourier transform infrared spectroscopic characterization of kaolinite from Assam and Meghalaya, India. *Journal of Modern Physics*, 1, 206–210.
- [64] Belaid, K., & Kacha, S. (2011). Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 24(2), 131-144.
- [65] Giles, C. H., MacEwan, T. H., Nakhwa, S. N., & Smith, D. (1960). A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *J. Chem. Soc*, 111, 3973-3993.
- [66] Naskar, A., Majumder, R. (2017). Understanding the adsorption behaviour of acid yellow 99 on *Aspergillus niger* biomass. *Journal of Molecular Liquids*, 242, 892-899.