

***République Algérienne Démocratique et Populaire***  
***Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche***  
***scientifique.***

***UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM***  
***Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la***  
***Terre et de l'Univers***  
***Département d'écologie et environnement***



***Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master***  
***Option : Toxicologie industrielle et environnementale***

***THÈME :***

**Toxicité des colorants et contribution au traitement des  
rejets de l'entreprise algérienne des textiles industriels et  
techniques**

***Présenté par : Badreddine DJEDDI***

***Soutenue le 30 juin 2025 devant le jury composé de :***

Mme BENKHALED Amal	Professeure	Université de Tlemcen	Présidente
Mr BELKHOUDJA Abd abdelmadjid	M C B	Université de Tlemcen	Examineur
Mme CHOUKCHOU BRAHAM Esma	Professeure	Université de Tlemcen	Encadrante
Mme HEDDI Djawhar	M C B	Université de Tlemcen	Co-Encadrante

***Année universitaire : 2024-2025***

# Remerciements

*Ce travail de Master a été mené au sein du **Laboratoire Toxicomed** de l'Université **Abou Bakr Belkaid de Tlemcen**.*

*Je commence par remercier chaleureusement **Dieu Tout-Puissant** pour le succès et la force qu'Il m'a donnés pour achever ce travail.*

*Un grand merci à **Madame BENKHALED Amal** (directrice du laboratoire TOXICOMED) pour sa confiance en m'ouvrant les portes de son laboratoire.*

*Mes remerciements les plus sincères vont à mon encadrante, **Madame CHOUKCHOU BRAHAM Esma** Professeure à l'Université de Tlemcen. Merci de m'avoir accueillie dans son équipe, de m'avoir guidée en recherche, pour ses précieux conseils et son inestimable bonne humeur.*

*J'exprime ma profonde gratitude à, ma co-encadrante **Madame HEDDI Djawhar**, Maître de conférences B à l'Université de Tlemcen, pour son soutien constant, ses conseils avisés, sa disponibilité et sa patience tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Enfin, je remercie également les ingénieurs des laboratoires, **Monsieur TALEB Zoheir**, pour sa disponibilité et son aide précieuse durant toute cette période.*

*Je remercie vivement les membres du jury, **Madame BENSMAIN Amel**, Professeure à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider ce jury, et **Monsieur BELKHOUDJA Abdelmajid**, Maître de conférences B à l'Université de Tlemcen, d'avoir voulu évaluer mon travail.*

*J'adresse également mes remerciements et ma gratitude à tous ceux qui m'ont aidée à réaliser ce travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*À mon cher père, et à la personne la plus chère à mon cœur :  
Maman, qui m'a supportée vaillamment pas à pas tout au long  
de ma vie.*

*Les mots ne suffisent pas pour exprimer toute l'affection que  
j'éprouve pour toi ;*

*je te dois ma réussite, mon éducation, ma fierté.*

*Tu m'as aimée profondément et tu as toujours été une mère  
idéale.*

*À mes grands-mères, qui sont pour moi une source de vie.*

*À ma famille Djeddi, Berramdane, Bouaziz et Adjaj.*

*À ma chère sœur et ses enfants.*

*À ma fiancée Chaimaa, merci pour ton soutien constant.*

# SOMMAIRE

*Dédicaces*

**SOMMAIRE**

**Liste du Figure**

**Liste du Tableaux**

Introduction.....	9
Chapitre I Partie bibliographique.....	3
<b>Partie 01 : Impact environnemental des activités industrielles .....</b>	<b>4</b>
<b>I. Pollution.....</b>	<b>4</b>
<b>I.1. L'Industrie textile.....</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Définition de la pollution industrielle dans le monde .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3. La pollution industrielle en Algérie .....</b>	<b>4</b>
<b>I.4. Définition de la pollution .....</b>	<b>4</b>
<b>I.5. Types de pollution.....</b>	<b>5</b>
<b>I.6.Origines des pollutions .....</b>	<b>5</b>
<b>II. Les colorants .....</b>	<b>6</b>
<b>II.1. Définition d'un colorant .....</b>	<b>6</b>
<b>II.2. Classification des colorants .....</b>	<b>6</b>
II.2.1. Classification Technologique (Appellation Usuelle).....	6
II.2.2. Classification Chimique.....	7
II.2.3. Classification Selon le Domaine d'Application.....	7
<b>II.3. Effets éco toxicologiques des colorants .....</b>	<b>8</b>
<b>II.4. Toxicité des colorants sur la santé humaine .....</b>	<b>8</b>
<b>Partie 02: L'ARGILE ET ADSORPTION.....</b>	<b>9</b>
<b>I. ....</b>	<b>L'ARGILE</b>
.....	9
<b>I.1. Définition .....</b>	<b>9</b>
<b>I.2. Propriétés des argiles.....</b>	<b>10</b>

<b>I.3. Structure cristalline des argiles</b> .....	10
<b>I.4. Domaines d'études</b> .....	10
<b>I.5. Classification des minéraux argileux</b> .....	12
<b>II.ADSORPTION</b> .....	12
<b>II.1. Définition</b> .....	12
<b>II.2. Les types d'adsorption</b> .....	12
<b>II.3. Mécanismes d'adsorption</b> .....	13
<b>II.4. Expression du pourcentage d'adsorption</b> .....	13
Chapitre II Matériels et méthodes.....	14
<b>II.1. Introduction</b> .....	15
<b>II.2. Situation géographique</b> .....	15
<b>II.3. Zone d'étude</b> .....	15
<b>II.4 Les matériaux utilisés</b> .....	16
<b>II.4.1. Les adsorbants</b> .....	16
<b>a. La sépiolite</b> .....	16
<b>b. La zéolite</b> .....	17
<b>c. La bentonite de Maghnia</b> .....	18
<b>II.4.2. les adsorbats</b> .....	18
<b>a. Le colorant fourni par l'usine de sebdou</b> .....	18
<b>b. le Rouge de cuve</b> .....	19
<b>c. Le colorant Orange de cuve</b> .....	20
<b>II.5. Matériels utilisés</b> .....	21
<b>II.5.1. Spectrométrie UV- Visible</b> .....	21
<b>II.5.2. Principe de la spectroscopie UV-Visible</b> .....	21
<b>II.6.4. Expériences d'adsorption</b> .....	29
<b>II.7. Enquête socio-environnementale (Questionnaire)</b> .....	29
<b>Questionnaire : Risques sanitaires liés aux colorants et mesures de prévention</b> .....	29
<b>1. Connaissances générales</b> .....	29
<b>2. Maladies liées à l'exposition aux colorants</b> .....	29
<b>3. Populations les plus exposées</b> .....	30
<b>4. Prévention et sécurité</b> .....	30
<b>5. Efforts pour réduire les risques</b> .....	31
Chapitre III Résultats et discussions.....	32
<b>III.1 Introduction</b> .....	33

<b>III.3 Résultats d'adsorption</b> .....	33
<b>III.3.1 Traitement du Rejet 1 – Colorant Noir Tecosol BRA 200 %</b> .....	33
.....	33
<b>Interprétation :</b> .....	34
<b>III.3.2 Traitement du Rejet 2 – Noir Tecosol BRA 200 %</b> .....	34
<b>Interprétation</b> .....	35
<b>III.3.3 Comparaison Rejet 1 / Rejet 2</b> .....	34
<b>III.3.4 Résultats pour le Rouge de Cuve</b> .....	35
<b>III.3.5 Résultats pour l'Orange de Cuve</b> .....	36
Interprétation : .....	36
III.3.6 Comparaison Rouge de Cuve vs Orange de Cuve .....	37
Tableau III.1. Comparaison des argiles utilisées .....	38
<b>III.4 Analyse des résultats du questionnaire : Maladies causées par les colorants et leur préve</b> .....	39
1. Connaissances générales .....	39
2. Maladies liées aux colorants : .....	40
3. Populations les plus exposées .....	40
4. Prévention : .....	40
5. Réduction des risques.....	41
Conclusion de l'enquête : .....	41
Conclusion .....	42
Références bibliographiques.....	44
Keywords: Textile dyes, Toxicity, Adsorption, Natural clays, Industrial effluents, Wastewater treatment.....	46

## **Resumé**

## Liste du Figure

Figure I 1: Résumé pour les constituants en général de l'argile .....	9
Figure II. 1 : Situation géographique industriel de Sebdou (Googel Mps) .....	15
Figure II. 2 Photo du complexe textile industriel de Sebdou. ....	16
Figure II. 3 La sépiolite .....	17
Figure II. 4 La zéolite .....	17
Figure II. 5 La bentonite .....	18
Figure II. 6 La structure chimique du colorant Noir Tecosol BRA 200% .....	19
Figure II. 7 Structure chimique du Rouge FBB .....	20
Figure II. 8: Structure chimique du colorant Orange de cuve .....	20
Figure II. 9: Spectroscopie UV-Visible .....	22
Figure II. 10: Balance Analytique .....	22
Figure II. 11: Agitateur magnétique.....	23
Figure II. 12: pH-mètre.....	23
Figure II. 13: La Centrifugation .....	24
Figure II. 14: Détermination de la Longueur d'onde maximale des colorants .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Figure II. 15: Les Courbes d'étalonnage des colorants .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure III 1: Pourcentage d'adsorption du noire tecosol BRA 200% de rejet (1) .....	33
Figure III 2: Pourcentage d'adsorption du colorant Noire Tecosol BRA 200% rejet (2) .....	34
Figure III 3: Comparaison rejet 1 et 2 du Noire Tecosol BRA 200% .....	34
Figure III 4: Résultat de colorants Rouge de cuve .....	35
Figure III 5: Résultat de colorants d'Orange de cuve.....	36
Figure III 6: Comparaison entre le Rouge de cuve et l'Orange de cuve .....	37

# Liste du Tableaux

<b>Tableau I 1:</b> Les principales utilisations de l'argile .....	11
<b>Tableau II 1:</b> Propriétés du colorants Noir Tecosol BRA.....	19
<b>Tableau II 2:</b> Propriétés du colorants Rouge de cuve .....	19
<b>Tableau II 3:</b> Propriétés du colorants Orange de cuve .....	20
<b>Tableau II.4:</b> Les valeurs de $\lambda_{\max}$ et de coefficient d'extinction molaire de chaque colorant.	27

# **Introduction**

La pollution environnementale constitue aujourd'hui l'un des défis majeurs à l'échelle mondiale, notamment en raison de l'expansion rapide et incontrôlée des activités industrielles. Parmi les secteurs les plus concernés, l'industrie textile occupe une place prédominante du fait des volumes importants d'eaux usées générées, riches en colorants synthétiques et en agents chimiques divers. Ces colorants, caractérisés par leur complexité structurale et leur faible biodégradabilité, représentent une source de contamination persistante pour les écosystèmes aquatiques. Leur présence dans les rejets industriels entraîne des perturbations physico-chimiques et biologiques notables, avec des risques avérés pour la santé humaine, incluant des effets allergènes, mutagènes et cancérigènes. [1]

La toxicité des colorants découle principalement de leur stabilité chimique, de leur forte affinité pour les substrats biologiques et de leur résistance aux procédés de traitement conventionnels des eaux usées. Face à ces enjeux, le développement de solutions de dépollution efficaces et économiquement viables devient impératif. [1]

Parmi les technologies disponibles, l'adsorption sur des matériaux naturels tels que les argiles (sépiolite, zéolite, bentonite...) suscite un intérêt croissant. Ces matériaux offrent de nombreux avantages : coût modéré, disponibilité locale, grande surface spécifique et propriétés d'échange ionique favorables à la rétention des polluants. [2]

Dans ce contexte, le présent travail s'inscrit dans une démarche d'évaluation de l'efficacité de trois types d'argiles locales dans l'élimination des colorants industriels présents dans les effluents de l'Entreprise Algérienne des Textiles Industriels et Techniques (EATIT) de Sebdou. Les colorants étudiés incluent ceux issus directement de l'usine ainsi que deux colorants modèles : le Rouge de Cuve et l'Orange de Cuve.

L'objectif principal de ce mémoire est double : d'une part, étudier la capacité d'adsorption de ces argiles vis-à-vis des colorants présents dans les rejets industriels ; d'autre part, établir un lien entre la nature chimique des colorants, leurs propriétés toxicologiques et l'efficacité des procédés d'élimination mis en œuvre.

Ce mémoire est structuré en trois parties :

- Le **premier chapitre** présente un état de l'art sur la pollution industrielle par les colorants, la toxicité associée ainsi qu'une revue des propriétés des argiles et des mécanismes d'adsorption.
- Le **deuxième chapitre** décrit la zone d'étude, les matériaux et les méthodes expérimentales utilisées.

- Enfin, le **troisième chapitre** expose les résultats expérimentaux obtenus, leur analyse critique et les pistes d'amélioration possibles.

# **Chapitre I**

## **Partie bibliographique**

## Partie 01 : Impact environnemental des activités industrielles

### I. Pollution

#### I.1. L'Industrie textile

L'industrie textile couvre un vaste éventail d'activités liées à la transformation des matières premières en produits finaux destinés aux consommateurs. Ce secteur englobe toute la chaîne de production et de distribution : depuis la création et le traitement des fibres, qu'elles soient naturelles ou synthétiques, jusqu'à la commercialisation des produits finis.

Cette filière se structure en plusieurs étapes distinctes et complémentaires :

- La production et le traitement des fibres textiles
- Le tissage et le tricotage pour créer différents types d'étoffes
- Les procédés d'ennoblissement comme la teinture
- La confection de produits finis (vêtements, chaussures, accessoires). [3]

#### I.2. Définition de la pollution industrielle dans le monde

La pollution industrielle menace gravement la santé et l'environnement, causant 9 millions de décès en 2015 (OMS, 2016). [4] Elle affecte 90 % de la population urbaine mondiale. Les rejets industriels contaminent l'eau et perturbent les écosystèmes, évalués via le pH, la Demande Biologique en Oxygène et la Demande Chimique en Oxygène et les solides dissous.[5]

#### I.3. La pollution industrielle en Algérie

L'Algérie souffre d'une pollution industrielle croissante due à un traitement insuffisant des eaux usées, des émissions atmosphériques et des déchets dangereux. Le secteur textile utilise d'importantes quantités de produits chimiques et d'eau, aggravant la contamination. [6] Malgré des projets comme une déchetterie à Blida et un centre d'enfouissement à Oran, l'absence de stations d'épuration fonctionnelles continue de polluer les ressources hydriques, compromettant leur utilisation. [7]

#### I.4. Définition de la pollution

La pollution de l'eau désigne toute altération de sa qualité rendant son usage dangereux pour la santé humaine ou nuisible aux écosystèmes aquatiques. Elle affecte aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines et résulte principalement des activités humaines, incluant l'industrie, l'agriculture et le rejet des déchets domestiques et industriels.[8]

### I.5. Types de pollution

- **Pollution physique**

Ce type de pollution survient lorsque la structure d'un milieu est altérée par divers facteurs. Elle inclut la pollution mécanique causée par les effluents solides, la pollution thermique due au réchauffement de l'eau par les installations industrielles, ainsi que la pollution nucléaire.[7]

- **Pollution chimique**

Elle résulte du rejet de substances chimiques issues des activités industrielles, dont certaines sont persistantes et difficiles à dégrader, compromettant ainsi l'équilibre environnemental.[7]

- **Pollution biologique**

Cette forme de pollution est liée à la présence de micro-organismes tels que les bactéries, virus et champignons, susceptibles de contaminer l'air, l'eau et le sol.[7]

### I.6.Origines des pollutions

Les principales sources de pollution de l'eau

- **La pollution domestique et urbaine**

Nos activités quotidiennes dans les villes génèrent deux types d'eaux usées. D'une part, les eaux ménagères issues de nos activités domestiques (douches, vaisselle, lessive) charrient savons, huiles et résidus organiques. D'autre part, les eaux sanitaires transportent matières fécales et composés azotés, créant une charge organique et microbienne importante.[9]

- **La pollution industrielle**

Le monde industriel constitue un autre acteur majeur de la dégradation des eaux. Les usines déversent une véritable "soupe chimique" : huiles, substances métalliques, produits acides ou basiques. Sans oublier l'impact thermique des systèmes de refroidissement qui perturbent les écosystèmes aquatiques. Certaines industries spécifiques ajoutent à ce tableau des contaminants particuliers comme des résidus pharmaceutiques ou des éléments radioactifs.[9]

- **La pollution agricole**

L'agriculture moderne pose des défis majeurs. L'élevage intensif produit des quantités massives de déjections animales qui, dépassant la capacité d'absorption des sols, finissent par contaminer eaux de surface et souterraines. En parallèle, l'usage généralisé d'engrais synthétiques enrichit excessivement les eaux en azote et phosphore. [9]

- **La pollution d'origine naturelle**

La nature elle-même peut devenir source de pollution. Les éruptions volcaniques, par exemple, libèrent des gaz qui, en se dissolvant dans l'eau ou en provoquant des précipitations acides, altèrent sa composition.[10]

- **Les pollutions accidentelles**

Bien que plus rares, les incidents industriels ou les accidents de transport peuvent provoquer des catastrophes localisées mais intenses, comme lors du déversement brutal de substances toxiques suite au naufrage d'un navire ou au renversement d'un camion-citerne.[10]

## **II. Les colorants**

### **II.1. Définition d'un colorant**

Un colorant se définit par deux caractéristiques essentielles : sa capacité à produire une couleur et son aptitude à se fixer durablement sur différents supports, notamment les textiles. Pour être commercialement viables, les colorants synthétiques modernes doivent présenter plusieurs qualités : résister à l'usure mécanique, conserver leur teinte face à la lumière, supporter les produits chimiques (particulièrement les détergents) et résister aux microorganismes. [11]

### **II.2. Classification des colorants**

#### **II.2.1. Classification Technologique (Appellation Usuelle)**

Cette classification permet aux utilisateurs de comprendre comment les colorants sont appliqués et leurs propriétés, telles que la solubilité, l'affinité pour les fibres, et les propriétés de fixation. Elle repose généralement sur trois éléments :[12]

- Le nom de la classe d'application
- La couleur du colorant
- Un numéro d'enregistrement dans le "Color Index".

### II.2.2. Classification Chimique

La classification chimique des colorants se base sur leur structure moléculaire, principalement le groupe chromophore, qui est responsable de leur couleur :

- **Colorants Azoïques** : Représentant la majorité (60-70 %) des colorants synthétiques, ces colorants sont très prisés pour leur rentabilité, leur facilité d'utilisation et leur stabilité. Leur structure comprend un groupe azo (-N=N-) qui permet une bonne solubilité dans l'eau et une fixation efficace sur les fibres. [13]
- **Colorants Indigoïdes** : Dérivés de l'indigo, ces colorants, qui donnent des teintes allant du bleu au turquoise, sont utilisés en textile, dans l'industrie alimentaire, ainsi qu'en pharmacie. [13]
- **Colorants Triphénylméthanes et Diphénylamine** : Ces colorants, parmi les plus anciens, sont issus de structures de type hydrocarbure à cycles phényle [14]
- **Colorants au Soufre** : Ces colorants, de haut poids moléculaire, sont résistants à la lumière et à l'eau, mais moins au chlore. [14]

### II.2.3. Classification Selon le Domaine d'Application

Cette approche est plus pratique pour les utilisateurs finaux, tels que les teinturiers, en se concentrant sur la solubilité, l'affinité pour les fibres, et les propriétés de fixation des colorants. Elle comprend plusieurs types :

- **Colorants Réactifs** : Utilisés principalement pour les tissus en coton, ces colorants contiennent des groupes chimiques réactifs qui forment des liaisons covalentes avec les fibres. [15]
- **Colorants Directs** : Ces colorants anioniques sont solubles dans l'eau et sont utilisés pour teindre des tissus de moindre qualité, comme les doublures ou les tapis. [16]
- **Colorants de Cuve** : Peu solubles dans l'eau, ces colorants doivent subir une réduction pour devenir solubles. Ils sont utilisés pour des tissus comme le coton et la laine, et sont très résistants à la lumière. [17]
- **Colorants Dispersés** : Développés pour les fibres hydrophobes comme le polyester, ces colorants ont une faible solubilité et nécessitent une application à haute pression et température pour pénétrer la fibre. [18]

### II.3. Effets éco toxicologiques des colorants

Les colorants sont devenus un élément incontournable de notre industrie moderne, trouvant leur place dans une multitude de secteurs, du textile aux cosmétiques, en passant par l'alimentation et le papier. L'ampleur de leur utilisation est considérable, avec plus de 10 000 variétés de colorants et pigments employés mondialement, représentant une production annuelle d'environ 700 000 tonnes de colorants synthétiques. Un fait particulièrement préoccupant est que près de 280 000 tonnes de colorants textiles se retrouvent chaque année déversées dans l'environnement.[19]

La présence de ces substances dans les milieux naturels engendre de sérieuses perturbations écologiques. Leur impact est visible même à des concentrations infimes, moins d'1 mg/L suffisant à colorer visiblement l'eau. Dans les cours d'eau, ces composés créent une fine couche en surface qui bouleverse l'équilibre naturel en perturbant la pénétration de la lumière, ce qui entrave la photosynthèse. Cette pollution réduit également l'oxygénation de l'eau et augmente la demande biologique et chimique en oxygène, déstabilisant ainsi toute la chaîne alimentaire aquatique.[7]

Les rejets industriels, notamment ceux du secteur textile, présentent des caractéristiques particulièrement problématiques : températures élevées, forte concentration en matières en suspension, toxicité importante et conductivité excessive. La composition de ces effluents varie considérablement en fonction des procédés et produits utilisés, compliquant leur traitement.[7]

### II.4. Toxicité des colorants sur la santé humaine

Les colorants industriels, notamment ceux utilisés dans le textile, peuvent être toxiques pour la santé humaine. Certains contiennent des substances cancérigènes, allergènes ou perturbatrices endocriniennes. L'exposition prolongée, par contact ou inhalation, peut causer des troubles respiratoires, cutanés et neurologiques. Les colorants rejetés dans l'eau contaminent les ressources hydriques, augmentant les risques sanitaires. Une réglementation stricte est essentielle pour limiter leurs effets nocifs. [20]

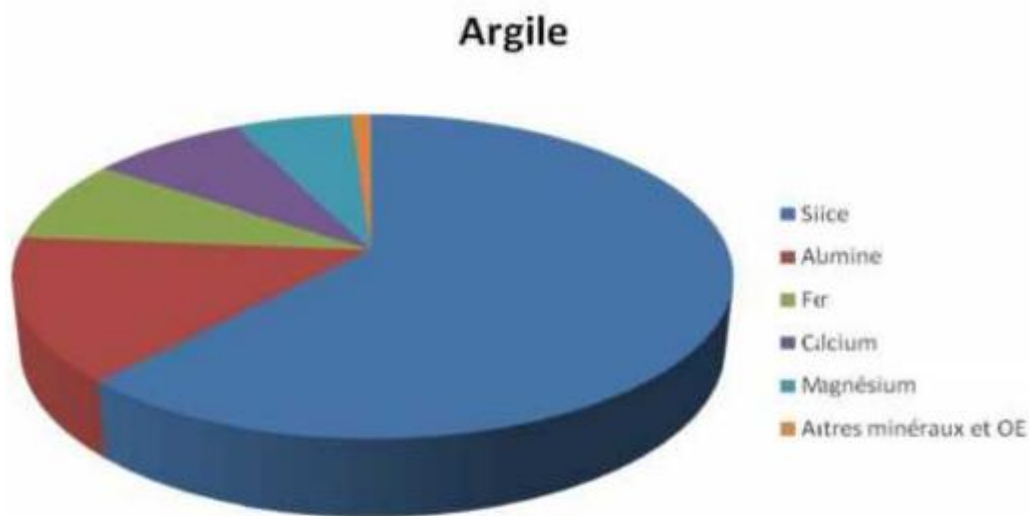
### Partie 02: L'ARGILE ET ADSORPTION

#### I. L'ARGILE

##### I.1. Définition

L'argile est une roche sédimentaire riche en minéraux spécifiques, principalement des silicates d'aluminium hydratés. Sa structure, qui peut être feuilletée (phyllosilicates) ou fibreuse (comme la sépiolite et la palygorskite), lui confère des propriétés remarquables d'absorption et de plasticité.[21]

Considérée comme un véritable don de la nature, elle est principalement composée de silicates d'alumine hydratés, enrichis par divers éléments minéraux responsables de sa teinte caractéristique. Parmi ces éléments en faible concentration, on retrouve des oxydes d'aluminium, de titane, de calcium, de magnésium, de potassium et de sodium.[21]



**Figure I 1:** Résumé pour les constituants en général de l'argile.

Grâce à ses propriétés adsorbantes, l'argile est capable de piéger les colorants présents en grande quantité dans les eaux usées. Ces colorants, issus principalement des effluents industriels du textile et des rejets domestiques, constituent une menace sérieuse pour l'environnement et la santé humaine en raison de leur faible biodégradabilité et de leur grande stabilité.[22]

En outre, l'argile est largement utilisée pour absorber les liquides et capturer diverses substances indésirables, telles que les bactéries, virus, champignons et toxines, que ce soit sous forme de cataplasmes appliqués en usage externe ou en traitements internes.[22]

### I.2. Propriétés des argiles

Les argiles sont des minéraux ultrafins ( $<2 \mu\text{m}$ ) appartenant aux phyllosilicates, avec une structure aluminosilicate réactive. Elles possèdent une grande surface de contact et interagissent fortement avec l'eau grâce à leurs charges électriques et cations échangeables.

Cette interaction entraîne des capacités de gonflement et de retrait, influençant leurs propriétés mécaniques. Leur hydrophilie les rend essentielles dans divers domaines scientifiques et industriels.[23]

### I.3. Structure cristalline des argiles

La structure cristalline des argiles repose sur deux éléments fondamentaux : le silicium et l'aluminium, organisés autour d'oxygènes et d'hydroxyles. Le silicium occupe le centre d'une structure tétraédrique, tandis que l'aluminium se trouve au cœur d'une structure octaédrique. La connexion de ces structures tétraédriques et octaédriques forme des couches distinctes qui, lorsqu'elles se superposent, créent un feuillet élémentaire. L'espace inter foliaire séparant ces feuillets présente une dynamique remarquable. Cet interstice peut demeurer vide ou accueillir des cations alcalins et alcalino-terreux, ainsi que des molécules d'eau. Ces cations possèdent une mobilité remarquable, pouvant être librement échangés, ce qui confère aux argiles leur capacité d'adaptation et leur réactivité chimique unique.[24]

### I.4. Domaines d'études

L'argile présente une remarquable versatilité d'applications industrielles. Le tableau 01 souligne sa valeur à travers divers secteurs d'activité : [25]

**Tableau I 1:** Les principales utilisations de l'argile.

Secteur d'utilisation	Exemple d'application
Industrie de forage	<ul style="list-style-type: none"><li>• Liant et enrobage du forage</li><li>• Ingrédient minéral du forage</li></ul>
Industrie alimentaire	<ul style="list-style-type: none"><li>• Clarification et purification des vins</li><li>• Décoloration des huiles</li><li>• Filtration des bières</li></ul>
Industrie pharmaceutique et cosmétique	<ul style="list-style-type: none"><li>• Liant des pommades</li><li>• Adsorbant des matières pharmaceutiques</li></ul>
Industrie textile	<ul style="list-style-type: none"><li>• Epaisseur des tissus</li><li>• Traitement antistatique</li><li>• Décoloration des effluents de l'industrie textile</li></ul>
Industrie des colorants	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vernis et lutte thixotropie</li></ul>
Industrie chimique	<ul style="list-style-type: none"><li>• Support des pesticides</li></ul>
Engrais	<ul style="list-style-type: none"><li>• Additif d'engrais</li></ul>
Production végétale	<ul style="list-style-type: none"><li>• Amélioration du rendement de sol</li></ul>
Matériaux de construction	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ingrédient du ciment</li></ul>
Pétrochimie	<ul style="list-style-type: none"><li>• Catalyseur dans le raffinage du pétrole et les lubrifiants</li><li>• Dessiccation des gaz et des vapeurs</li></ul>
Industrie de papier	<ul style="list-style-type: none"><li>• Papier pour impression et production spéciale</li></ul>
Fonderie	<ul style="list-style-type: none"><li>• Moule</li></ul>

### I.5. Classification des minéraux argileux

Les argiles peuvent être classées selon divers critères, mais la classification la plus courante repose sur l'épaisseur et la structure de leurs feuillets. On distingue ainsi quatre principaux groupes :[26]

- **Minéraux de 7 Å** : Composés d'un feuillet formé par une couche tétraédrique et une couche octaédrique, ils sont désignés sous l'appellation T:O ou de type 1:1, avec une épaisseur d'environ 7 Å.
- **Minéraux de 10 Å** : Constitués de deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique, ces minéraux sont qualifiés de T:O:T ou de type 2:1, avec une épaisseur avoisinant 10 Å.
- **Minéraux de 14 Å** : Leur structure repose sur une alternance de feuillets T:O:T et de couches octaédriques interfoliaires.
- **Minéraux interstratifiés** : Ils présentent une épaisseur variable, résultant d'un agencement régulier ou irrégulier de différents types d'argiles issus des groupes précédents.

En complément, d'autres modèles de classification des phyllosilicates sont également mentionnés dans la littérature scientifique.

## II. ADSORPTION

### II.1. Définition

L'adsorption est une technique de traitement largement employée pour éliminer divers polluants toxiques présents dans l'environnement. Elle est principalement utilisée dans la purification de l'eau et de l'air. Ce procédé repose sur l'adhésion des molécules d'un fluide, appelé adsorbat, à la surface d'un matériau solide, désigné comme adsorbant.

Ce phénomène met en évidence la capacité de certains matériaux à capturer et retenir des molécules sur leur surface, de manière réversible ou irréversible. Il implique un transfert de matière depuis une phase aqueuse ou gazeuse vers un support solide. Ce dernier voit ainsi ses propriétés de surface modifiées, ce qui peut altérer l'équilibre du milieu environnant.[27]

### II.2. Les types d'adsorption

L'adsorption se manifeste sous deux formes principales aux caractéristiques distinctes :

- **L'adsorption physique** se caractérise par une fixation temporaire et réversible des molécules sur la surface de l'adsorbant. Ce processus est basé sur des interactions faibles, principalement les forces de Van der Waals, qui maintiennent les molécules adsorbées tout en préservant leur structure et leurs propriétés intrinsèques. L'énergie mise en jeu dans ce type d'adsorption est relativement modeste, atteignant environ 10 kilocalories par mole.[28]
- **L'adsorption chimique** implique une transformation plus profonde. Les molécules adsorbées établissent des liaisons chimiques avec la surface de l'adsorbant par le biais d'échanges électroniques. Ce processus, qui nécessite des températures élevées, conduit à une modification permanente des molécules initiales et à la création de nouvelles espèces chimiques en surface. L'énergie impliquée est nettement plus importante, oscillant entre 10 et 100 kilocalories par mole, reflétant la formation de ces nouvelles liaisons chimiques. Contrairement à l'adsorption physique, ce processus est généralement irréversible.[28]

### II.3. Mécanismes d'adsorption

Le processus se déroule en quatre étapes principales lors du transfert d'un adsorbat d'une phase liquide vers un solide adsorbant :[26]

1. Transport rapide de la particule jusqu'au solide.
2. Évacuation rapide de l'eau liée pour permettre le contact avec le solide.
3. Diffusion lente à l'intérieur du solide sous l'effet du gradient de concentration.
4. Fixation rapide de l'adsorbat dans les micropores du solide.

### II.4. Expression du pourcentage d'adsorption

Le pourcentage d'adsorption peut être calculé en prenant en compte :[29]

$$\frac{C_0 \times C_e}{C_0} \times 100$$

$C_0$  : concentration initiale ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

$C_e$  : concentrations à l'équilibre ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

# **Chapitre II**

## **Matériels et méthodes**

### II.1. Introduction

Ce chapitre présente les différentes étapes expérimentales mises en œuvre pour évaluer la capacité d'adsorption de trois argiles naturelles vis-à-vis de colorants textiles présents dans les rejets industriels de l'entreprise Textile de Sebdou (wilaya de Tlemcen, Algérie). L'étude inclut la caractérisation du site d'échantillonnage, la description des matériaux utilisés (adsorbants et adsorbats), les instruments analytiques mobilisés ainsi que le protocole expérimental d'adsorption.

### II.2. Situation géographique

Le site d'étude est situé à Sebdou, à 38 km au sud de la ville de Tlemcen. Le complexe textile occupe environ 16,9 hectares, dont 6,9 hectares sont construits. Il est géographiquement positionné à 34°38'22" Nord et 1°19'37" Ouest (Rue Émir Abdelkader, Sebdou - CP 13006).



**Figure II. 1 :** Situation géographique industriel de Sebdou (Googel Mps).

### II.3. Zone d'étude

Historiquement spécialisé dans la production de textiles en denim et en gabardine, le complexe oriente désormais sa production vers des tissus destinés à des usages institutionnels, notamment la gendarmerie. Cette industrie est caractérisée par une consommation massive de colorants et de volumes importants d'eau, entraînant des rejets liquides fortement colorés, riches en composés organiques récalcitrants.



**Figure II. 2 :** Photo du complexe textile industriel de Sebdoou.

Les principales sources de pollution identifiées sont :

- **Pollution industrielle** : liée aux effluents de teinture.
- **Pollution biologique** : issue des eaux sanitaires et domestiques du personnel.

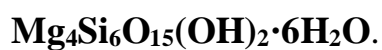
### II.4 Les matériaux utilisés

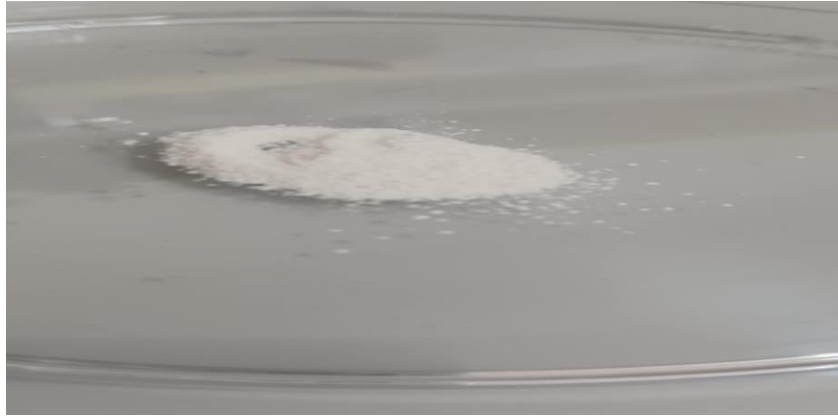
#### II.4.1. Les adsorbants

Trois matériaux argileux ont été sélectionnés pour leur disponibilité locale et leurs propriétés physico-chimiques :

##### a. La sépiolite

La sépiolite est un minéral argileux naturel de type silicate hydraté de magnésium. Elle possède une structure fibreuse et une grande capacité d'adsorption, ce qui la rend utile dans le traitement des eaux polluées. Sa formule chimique générale est : [30]





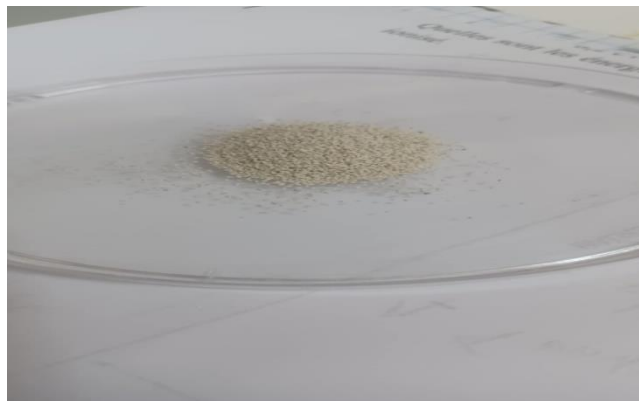
**Figure II. 3 :** La sépiolite

### b. La zéolite

La zéolite est un minéral microporeux cristallin appartenant à la famille des aluminosilicates hydratés. Elle est connue pour sa structure en réseau tridimensionnel, capable d'échanger des cations et d'adsorber des molécules, ce qui la rend efficace dans la dépollution des eaux. Sa formule chimique générale est : [31]



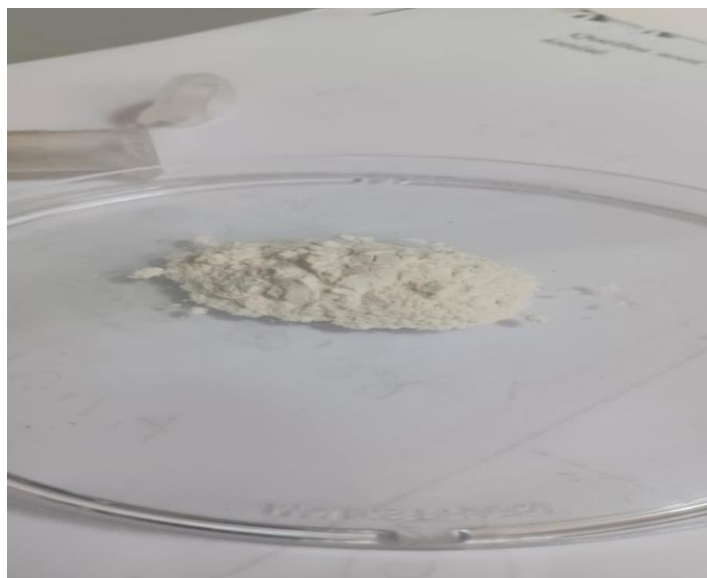
où **M** est un cation ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ...), **n** sa valence, et **zH<sub>2</sub>O** l'eau de cristallisation.



**Figure II. 4 :** La zéolite

### c. La bentonite de Maghnia

La bentonite de Maghnia est une argile naturelle d'origine volcanique, riche en smectite, principalement montmorillonite, connue pour sa capacité de gonflement et son fort pouvoir adsorbant. Elle est utilisée dans divers domaines, notamment le traitement des eaux industrielles.[32]



**Figure II. 5 :** La bentonite

### II.4.2. les adsorbats

Les colorants testés proviennent du complexe textile de Sebdou :

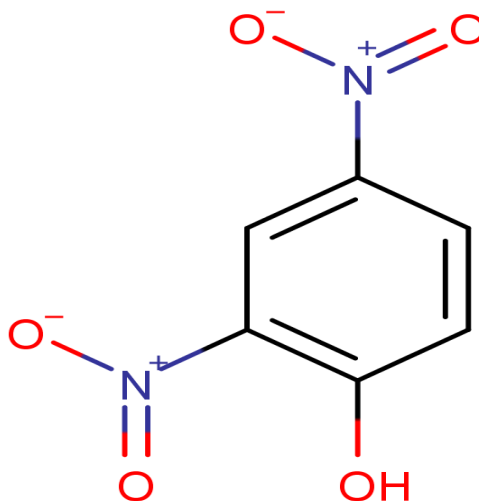
#### a. Le colorant fourni par l'usine de sebdou

Le colorant Noir Tecosol BRA 200%, également connu sous le nom de Soufre Noir BR 200%, appartient à la famille des colorants soufrés. Ce colorant se présente sous forme de poudre noire brillante soluble en milieu alcalin en présence de sulfure de sodium. Il est principalement utilisé pour la teinture de fibres cellulosiques comme le coton, offrant une teinte noire profonde, une bonne solidité au lavage et un coût économique.

Les propriétés du colorant et sa structure chimique sont présentées sur tableau et la figure, respectivement :

**Tableau II 1:** Propriétés du colorants Noir Tecosol BRA.

<b>Nom chimique</b>	Soufre Noir 1
<b>Formule moléculaire</b>	$C_6H_4N_2O_5$
<b>Masse molaire</b>	Environ 168,11 g/mol



**Figure II. 6 :** Structure chimique du colorant Noir Tecosol BRA 200%.

### b. le Rouge de cuve

Le Rouge FBB est un colorant de cuve appartenant au groupe azoïque. Les colorants azoïques sont largement utilisés dans l'industrie textile grâce à leurs propriétés résistantes à la lumière, aux acides et aux bases. [33]

Les propriétés du colorant et sa structure chimique sont présentées sur tableau et la figure, respectivement :

**Tableau II 2:** Propriétés des colorants Rouges de cuve.

<b>Nom chimique</b>	Indanthrène Rouge FBB
<b>Formule moléculaire</b>	$C_{29}H_{14}N_2O_5$
<b>Masse molaire</b>	470,43g/mol

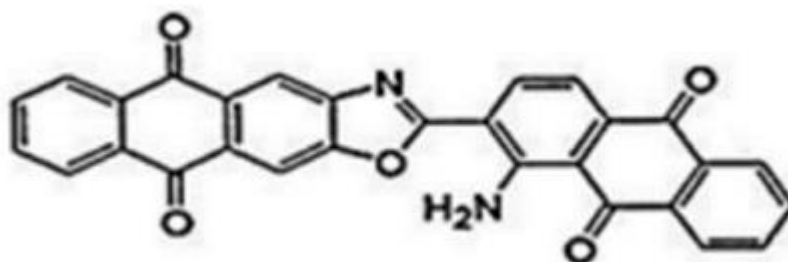


Figure II. 7 : Structure chimique du Rouge FBB.

c. Le colorant Orange de cuve

Le Orange de cuve, souvent désigné comme Indanthrène Orange GC, est également un colorant vat, utilisé principalement pour la teinture des fibres cellulosiques telles que le coton. Ce colorant est apprécié pour sa teinte vive, sa grande solidité à la lumière et au lavage, ainsi que pour sa résistance aux agents chimiques.

Les propriétés du colorant et sa structure chimique sont présentées sur tableau et la figure, respectivement :

Tableau II 3: Propriétés du colorant Orange de cuve.

Nom chimique	Indanthrène Orange GC
Formule moléculaire	$C_{26}H_{14}N_2O_4$
Masse molaire	418,40 g/mol

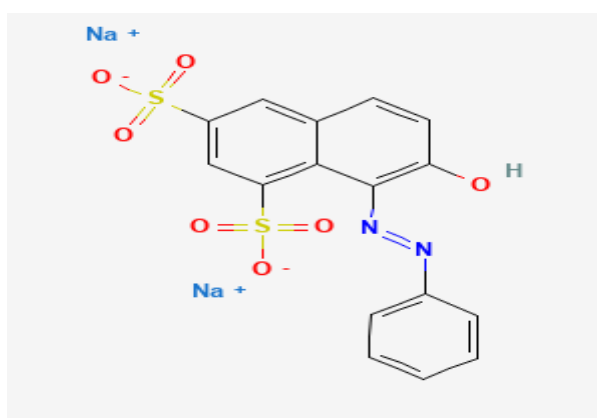


Figure II. 8: Structure chimique du colorant Orange de cuve.

### II.5. Matériels utilisés

#### II.5.1. Spectrométrie UV- Visible

La spectroscopie UV-Visible est l'une des méthodes d'analyse les plus anciennes et les plus couramment utilisées dans les laboratoires. Elle est particulièrement appréciée pour ses applications quantitatives, grâce à l'application de la loi de Beer-Lambert, qui relie l'absorbance d'une solution à sa concentration. Toutefois, cette technique fournit peu d'informations structurales en comparaison avec d'autres méthodes spectroscopiques comme l'IR, la RMN ou la spectrométrie de masse.[34]

La loi de Beer-Lambert s'exprime par la relation suivante :

$$A = \epsilon \times l \times C$$

Où :

- **A** : absorbance (sans unité),
- **$\epsilon$**  : coefficient d'absorption molaire ( $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ ),
- **l** : longueur du trajet optique (cm),
- **C** : concentration de la solution ( $mol \cdot L^{-1}$ ).

#### II.5.2. Principe de la spectroscopie UV-Visible

La spectroscopie UV-Visible repose sur l'absorption de rayonnements électromagnétiques par les molécules, dans une gamme d'énergie allant de 160 à 665  $kJ \cdot mol^{-1}$ , ce qui correspond à des énergies comparables à celles des liaisons chimiques. Lorsqu'une molécule absorbe un photon dans cette gamme, cela peut entraîner une transition électronique, c'est-à-dire le passage d'un électron d'un état fondamental vers un état excité.

Ces transitions impliquent les électrons des liaisons  $\sigma$ ,  $\pi$ , ainsi que les doublets non liants (n), qui passent vers des orbitales antiliantes notées  $\sigma^*$  et  $\pi^*$ . Chaque transition est caractérisée par une longueur d'onde d'absorption maximale ( $\lambda_{max}$ ) et un coefficient d'absorption molaire ( $\epsilon$ ) associé, qui reflètent l'intensité et la nature de l'absorption.



**Figure II. 9:** Spectroscopie UV-Visible

✓ **Balance analytique Ohaus, model PAJ1003**

Instrument de précision utilisé pour mesurer des masses avec une très grande exactitude, généralement au millième de gramme (0,001 g).[35]



**Figure II. 10:** Balance Analytique

✓ **Agitateur magnétique**

Appareil utilisé pour mélanger automatiquement des solutions liquides à l'aide d'un barreau aimanté en rotation.



**Figure II. 11:** Agitateur magnétique

### ✓ pH-mètre

Appareil de mesure utilisé pour déterminer le **pH** d'une solution, c'est-à-dire son niveau d'acidité ou de basicité. Il fonctionne à l'aide d'une électrode qui capte l'activité des ions hydrogène ( $H^+$ ) dans la solution et affiche une valeur numérique allant généralement de 0 à 14.[36]



**Figure II. 12:** pH-mètre

### ✓ La Centrifugation

Est un procédé de séparation mécanique qui utilise la force centrifuge pour dissocier deux ou trois phases mises en rotation. Elle permet, par exemple, de séparer deux liquides, un solide en suspension dans un liquide, ou encore deux liquides contenant une phase solide.



Figure II. 13: Centrifugeuse

## II.6. Protocole expérimental

### II.6.1. Préparation et prélèvement des échantillons de rejets textiles

#### ▪ Préparation des flacons

Les rejets industriels ont été collectés sur deux jours distincts durant lesquels le même colorant (Noir Tecosol) a été utilisé par l'usine. Les récipients de prélèvement ont été prétraités selon le protocole suivant :

- Nettoyage avec détergent.
- Rinçage à l'eau distillée.
- Passage à l'acide nitrique pour éliminer les contaminants organiques.
- Rinçage final et séchage.

#### ▪ Procédure de prélèvement

Le prélèvement des rejets textiles a été réalisé sur deux jours distincts, au cours desquels le groupe de l'usine a utilisé le même colorant : le noir tecosol pour la teinture. Ces prélèvements

ont été effectués dans le but du traitement des rejets textiles colorés à différentes concentrations et sous diverses conditions de travail.

- ❖ Le colorant noir a été fourni par le complexe textile, en plus de deux autres colorants utilisés dans le secteur : le rouge de cuve et l'orange de cuve. Cela visait à évaluer le pourcentage d'adsorption de ces colorants par nos matériaux adsorbants.

### II.6.2. Préparation des solutions mères

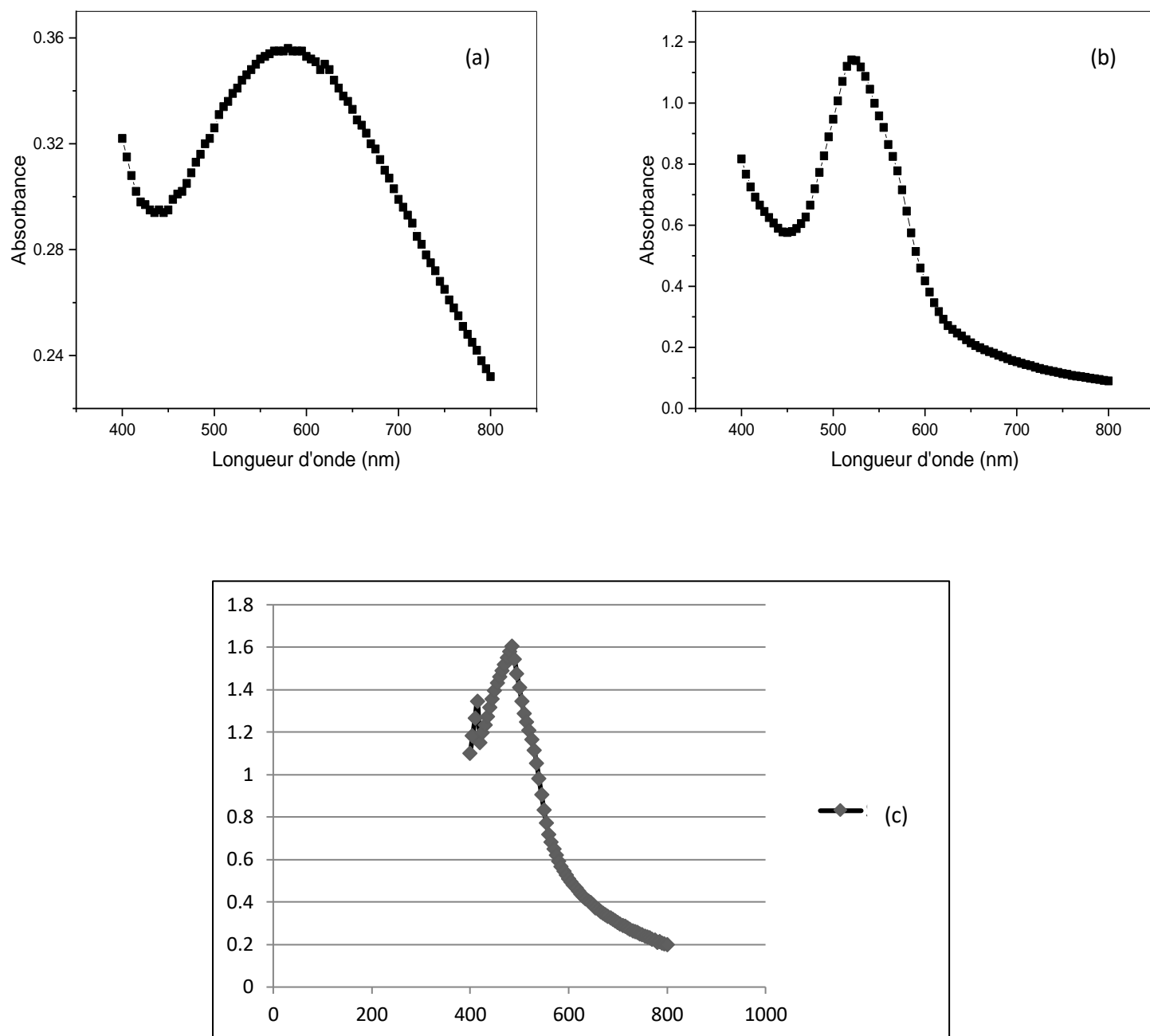
Des solutions mères à 1 g/L ont été préparées pour chaque colorant :

- Pesée de 0,1 g de colorant.
- Dissolution dans 100 mL d'eau distillée dans une fiole jaugée.
- Agitation jusqu'à homogénéisation.

### II.6.3. Détermination de $\lambda_{\max}$ et vérification de la loi de Beer-Lambert

Avant chaque série d'adsorption, la longueur d'onde d'absorption maximale ( $\lambda_{\max}$ ) a été déterminée pour chaque colorant par balayage dans le domaine 400-800 nm. La linéarité entre absorbance et concentration a été vérifiée pour s'assurer de la validité de la loi de Beer-Lambert.

L'obtention de  $\lambda_{\max}$  a été réalisée par un balayage dans le domaine du visible (400-800 nm) pour les trois colorants utilisés. Par la suite, nous avons tracé la courbe de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde ( $A = f(\lambda)$ ). La figure 14 illustre l'absorbance des trois colorants étudiés en fonction de la longueur d'onde, permettant ainsi de déterminer la longueur d'onde maximale pour chaque colorant.



**Figure II. 14:** Détermination de la Longueur d'onde maximale des colorants

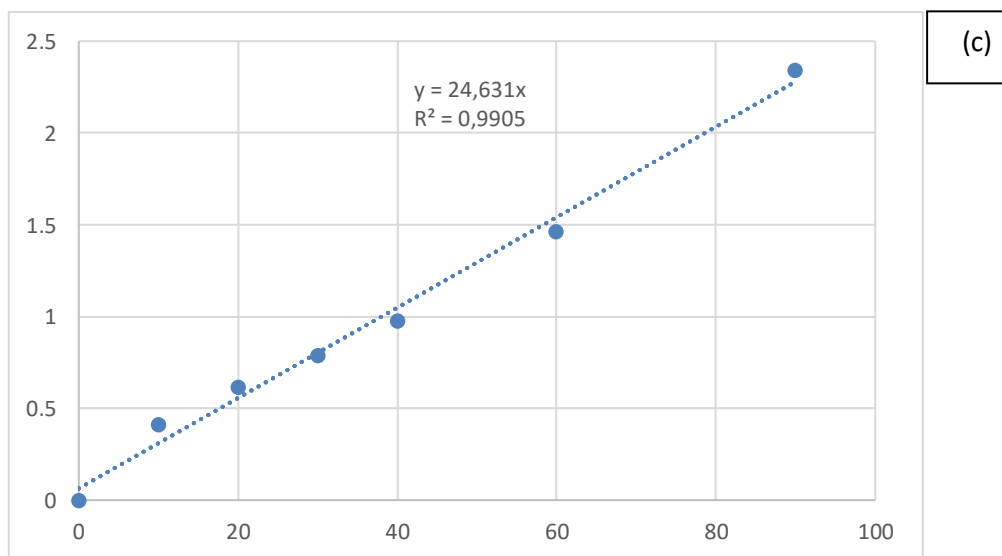
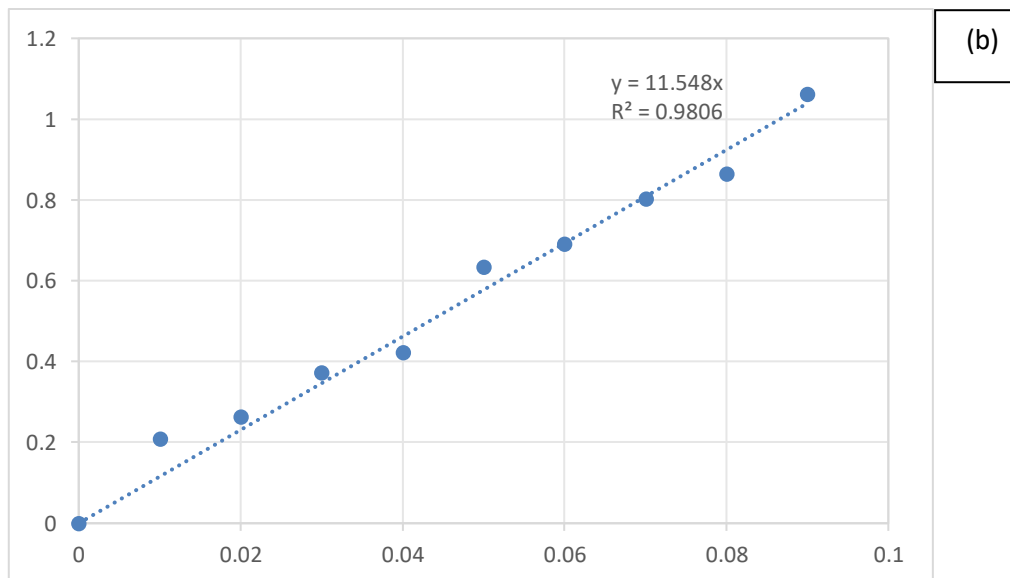
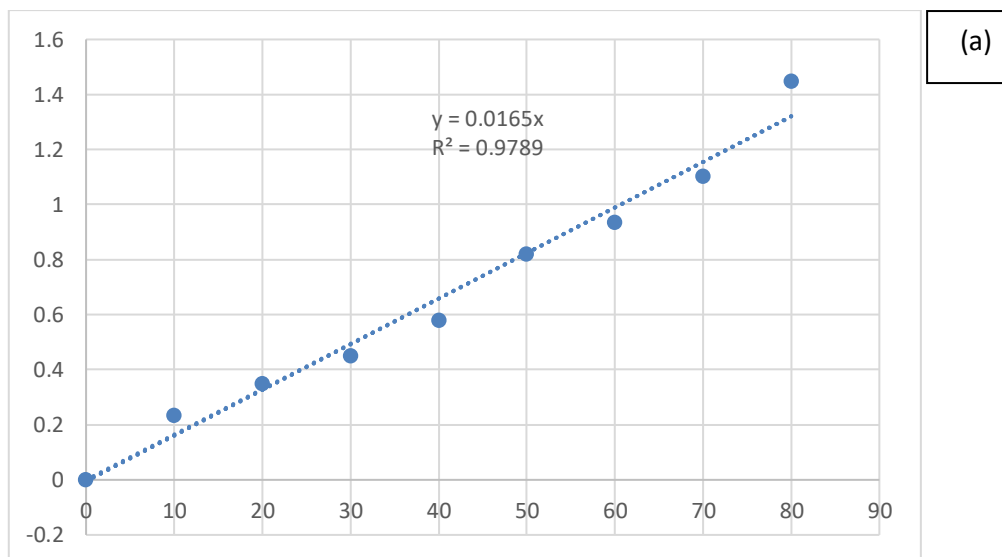
(a)Noir Tecosol BRA 200%,(b) Rouge de cuve, (c) Orange de cuve

La vérification de la loi de Beer-Lambert a été réalisée à l'aide de la courbe d'étalonnage pour ces trois colorants, afin de déterminer le domaine de concentration approprié. Les concentrations filles ont été préparées par dilution à partir de la solution mère.

Le tableau regroupe la longueur d'onde maximale et le coefficient d'extinction molaire de chaque colorant ainsi que la figure présente les courbes d'étalonnage des colorants étudiés :

**Tableau II.4:** Les valeurs de  $\lambda_{\max}$  et de coefficient d'extinction molaire de chaque colorant

	$\lambda_{\max}$ (nm)	$\epsilon$ (mg.L <sup>-1</sup> .cm <sup>-1</sup> )
<b>Noir Tecosol BRA 200%</b>	620	0,016
<b>Rouge de cuve</b>	520	0,011
<b>Orange de cuve</b>	460	24,63



**Figure II.15:** Les courbes d'étalonnage des colorants  
 (a)Noir Tecosol BRA 200%,(b) Rouge de cuve, (c) Orange de cuve

### II.6.4. Expériences d'adsorption

Deux types de milieux ont été testés :

- **Les rejets industriels réels** : 10 mL de chaque rejet mélangé à 20 mg d'un des trois adsorbants. Les mélanges sont agités pendant 4, 24 et 48 heures, puis centrifugés. Les filtrats sont analysés par UV-Visible.
- **Les solutions modèles synthétiques (colorants purs)** : Concentration initiale de 50 mg/L. Protocole identique : 10 mL + 20 mg d'argile + agitation puis centrifugation.

### II.7. Enquête socio-environnementale (Questionnaire)

Une enquête a été menée auprès de 15 employés du complexe textile afin d'évaluer leur niveau de sensibilisation aux risques liés aux colorants et à la pollution industrielle. L'analyse des réponses couvre cinq thématiques : connaissances générales, maladies liées à l'exposition, populations à risque, moyens de prévention et actions de réduction des risques.

#### Questionnaire : Risques sanitaires liés aux colorants et mesures de prévention

##### 1. Connaissances générales

1. **Comment définiriez-vous un colorant ou un pigment ?**
  - A) Substance conférant une couleur à un matériau
  - B) Produit exclusivement naturel
  - C) Composé sans effet toxique
  - D) Autre : .....
2. **Dans quels secteurs industriels les colorants sont-ils principalement utilisés ?**  
(Plusieurs réponses possibles)
  - Industrie textile
  - Agroalimentaire
  - Cosmétique
  - Industrie pharmaceutique
  - Autre : .....
3. **Tous les colorants sont-ils d'origine naturelle ?**
  - Oui
  - Non
  - Je ne sais pas

##### 2. Maladies liées à l'exposition aux colorants

4. **Citez deux maladies ou troubles potentiellement causés par l'exposition aux colorants chimiques :**

- 1 : .....
  - 2 : .....
5. **Parmi les effets suivants, lesquels sont associés à certains colorants synthétiques ?**  
(Plusieurs réponses possibles)
- Allergies cutanées
  - Troubles hormonaux (perturbation endocrinienne)
  - Effets cancérogènes (ex : cancer de la vessie)
  - Troubles neurologiques
  - Aucun effet
6. **Quelle est la principale voie d'exposition aux colorants dans le secteur textile ?**
- Contact cutané
  - Inhalation
  - Ingestion
  - Autre : .....

### 3. Populations les plus exposées

7. **Quels groupes sont les plus exposés aux risques liés aux colorants ?**
- Travailleurs des usines textiles
  - Consommateurs de vêtements colorés
  - Enfants
  - Autre : .....
8. **Pourquoi les enfants sont-ils plus vulnérables aux colorants alimentaires ?**
- Métabolisme plus fragile
  - Consommation proportionnellement plus élevée
  - Système immunitaire immature
  - Toutes les réponses précédentes

### 4. Prévention et sécurité

9. **Quels moyens de prévention sont les plus adaptés pour les travailleurs exposés aux colorants ?**  
(Plusieurs réponses possibles)
- Port d'équipements de protection individuelle (EPI : gants, masques, lunettes)
  - Amélioration de la ventilation
  - Formation à la sécurité chimique
  - Aucune précaution n'est nécessaire
10. **Les colorants d'origine naturelle sont-ils toujours sans danger ?**
- Oui
  - Non
  - Je ne sais pas

**11. Quels éléments devez-vous vérifier sur les étiquettes des produits pour limiter l'exposition aux substances toxiques ?**

- Présence d'un code (ex : E102...)
- Mention "sans colorants"
- Certifications (écologique, biologique...)
- Composition chimique détaillée
- Je ne regarde pas les étiquettes

**5. Efforts pour réduire les risques**

**12. Que peuvent faire les industries pour rendre l'utilisation des colorants moins dangereuse ?**

- Améliorer les procédés de fabrication
- Substituer les colorants dangereux par des alternatives plus sûres
- Installer des systèmes de traitement des effluents
- Former le personnel aux risques chimiques
- Toutes les réponses précédentes

**13. Peut-on éliminer totalement les risques liés à l'usage des colorants ?**

- Oui
- Non, mais on peut les réduire
- Je ne sais pas

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussions**

### III.1 Introduction

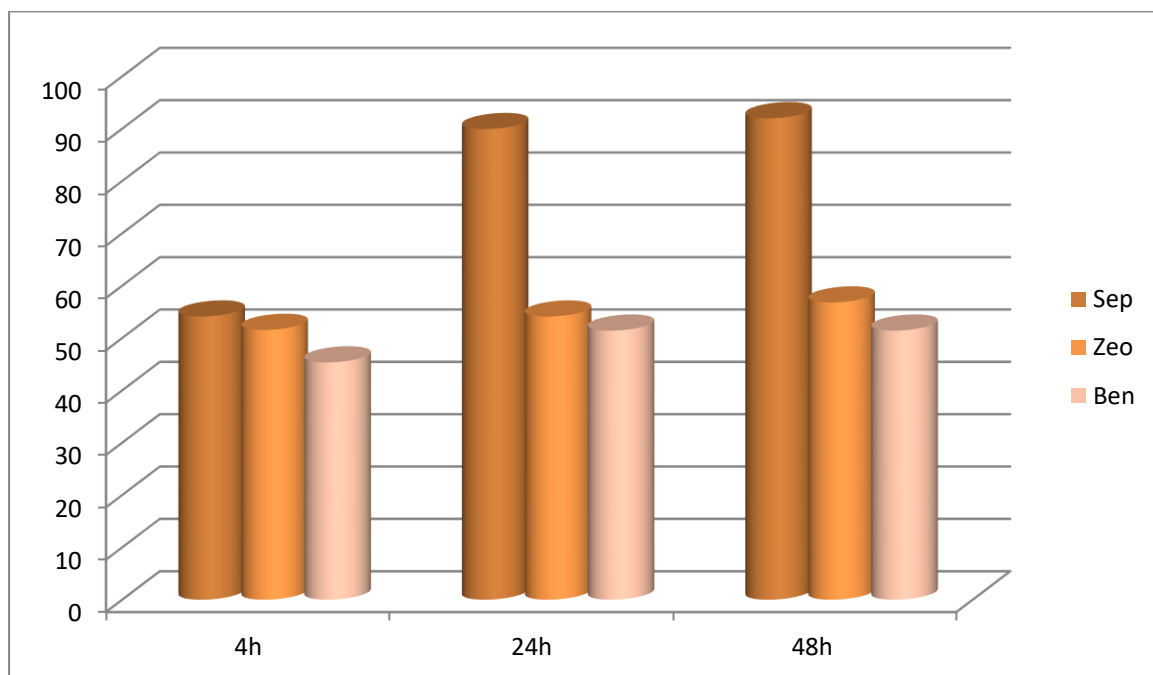
L'objectif principal était de collecter et d'analyser des échantillons d'effluents industriels et de tester leur traitement par adsorption à l'aide de trois types d'argiles locales. Deux prélèvements ont été réalisés : le premier le 17/02/2025 et le second le 19/04/2025. Cette précision est essentielle pour garantir la rigueur scientifique et la traçabilité des données.

### III.2 Objectif de la partie expérimentale

L'objectif spécifique de cette partie expérimentale est d'évaluer l'efficacité des argiles naturelles (sépiolite, zéolite et bentonite) dans l'élimination de colorants industriels présents dans les rejets liquides, et d'étudier la perception des risques toxicologiques par les travailleurs de l'usine textile de Sebdou.

### III.3 Résultats d'adsorption

#### III.3.1 Traitement du Rejet 1 – Colorant Noir Tecosol BRA 200 %



**Figure III 1:** Pourcentage d'adsorption du noire tecosol BRA 200% de rejet (1)

Les résultats présentés dans la Figure III.1 indiquent que :

- Après 4 heures de contact, les taux de décoloration atteignent 60 % pour la sépiolite, 55 % pour la zéolite et 50 % pour la bentonite.

- À 24 heures, la sépiolite se distingue nettement avec une décoloration atteignant environ 95 %, tandis que la zéolite et la bentonite atteignent 60 % et 57 % respectivement.
- À 48 heures, les performances restent stables : la sépiolite conserve son efficacité proche de 95 %, tandis que les deux autres matériaux restent autour de 60 %.

### Interprétation :

Ces résultats montrent clairement que la **sépiolite** est l'adsorbant le plus efficace pour l'élimination du colorant Noir Tecosol BRA des rejets textiles. Son pouvoir adsorbant élevé se manifeste dès les 24 premières heures, et reste constant au-delà, ce qui indique une saturation et une forte affinité pour le colorant. En revanche, la **zéolite** et la **bentonite** présentent une capacité d'adsorption plus limitée, avec peu d'évolution au fil du temps, ce qui suggère une interaction moins favorable avec le colorant étudié. Ainsi, la sépiolite se révèle comme un matériau prometteur pour le traitement rapide et efficace des eaux usées colorées issues de l'industrie textile.

La sépiolite se distingue nettement par son pouvoir adsorbant élevé. Sa structure microporeuse et sa grande surface spécifique favorisent une forte interaction avec le colorant. Les performances plus modestes de la zéolite et de la bentonite s'expliquent probablement par leurs surfaces spécifiques plus faibles et des interactions chimiques moins favorables.

### III.3.2 Traitement du Rejet 2 – Noir Tecosol BRA 200 %

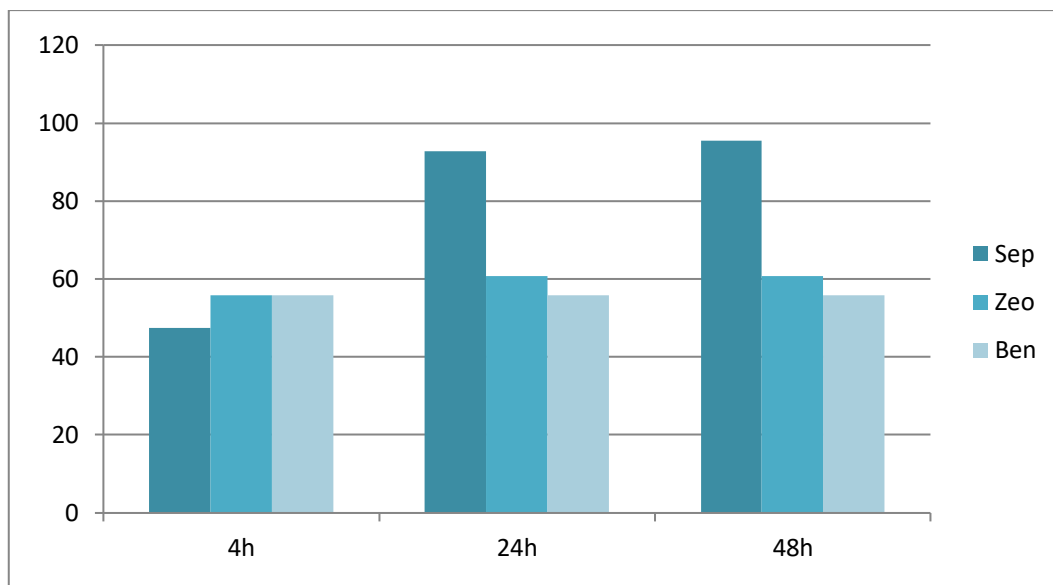


Figure III 2: Pourcentage d'adsorption du colorant Noire Tecosol BRA 200% rejet 2

La Figure III.2 montre des tendances similaires à celles du Rejet 1 :

- À 4 heures, la décoloration atteint 47,7 % pour la sépiolite, 55,93 % pour la zéolite, et 55,93 % pour la bentonite.
- À 24 heures, la sépiolite montre une amélioration remarquable avec 92,71 % de décoloration, tandis que la zéolite monte légèrement à 60,7 %, et la bentonite reste stable à 55,8 %.
- Après 48 heures, la sépiolite atteint 95,54 %, tandis que la zéolite et la bentonite ne présentent aucun gain supplémentaire, maintenant leurs taux de décoloration à 60,7 % et 55,8 % respectivement.

### Interprétation

Les résultats confirment l'excellente aptitude de la sépiolite pour le traitement des rejets fortement chargés en colorants noirs. Elle atteint des niveaux de décoloration très élevés (>92 %) dès 24 heures, et presque totaux à 48 heures. En revanche, la **zéolite** et la **bentonite** montrent une efficacité limitée et stable, sans amélioration significative au-delà des 4 premières heures. Cela suggère une saturation rapide de ces deux adsorbants et une interaction moins favorable avec le colorant. Cette différence d'efficacité peut être interprétée à la lumière des caractéristiques minéralogiques et structurales propres à chaque argile. La sépiolite, avec sa structure fibreuse, sa porosité élevée et sa grande surface spécifique, favorise une adsorption plus importante et prolongée des molécules de colorant. En revanche, la zéolite, malgré sa structure cristalline microporeuse, présente une affinité moindre vis-à-vis du Noir Tecosol BRA, probablement en raison de la taille de ses pores et de la polarité des sites actifs. Quant à la bentonite, de nature smectitique et à structure lamellaire, elle subit rapidement une saturation de ses couches interfoliaires, limitant ainsi son efficacité dans le temps. Ces observations soulignent l'importance de la morphologie et de la composition des argiles dans les processus d'adsorption.[37]

III.3.3 Comparaison Rejet 1 / Rejet 2

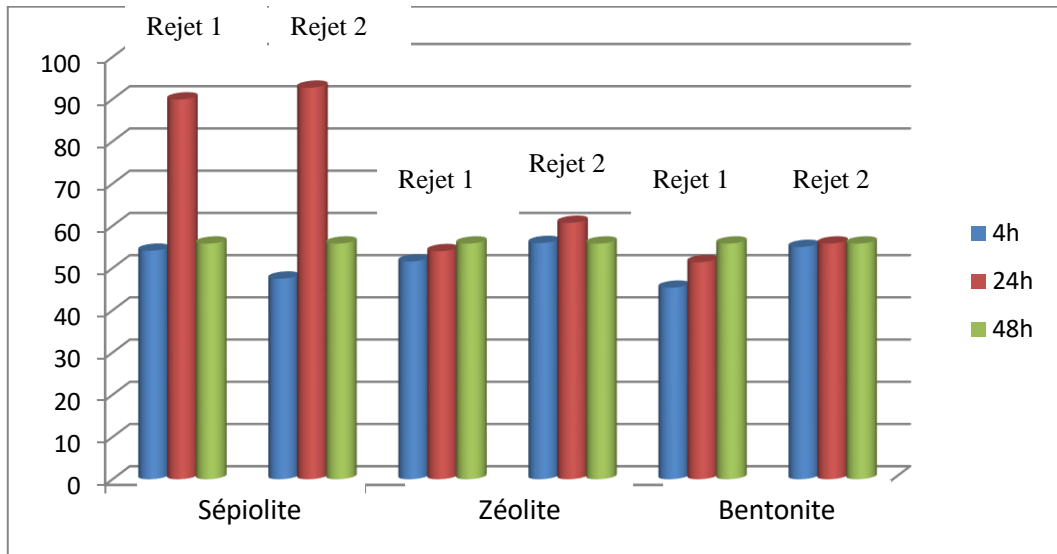


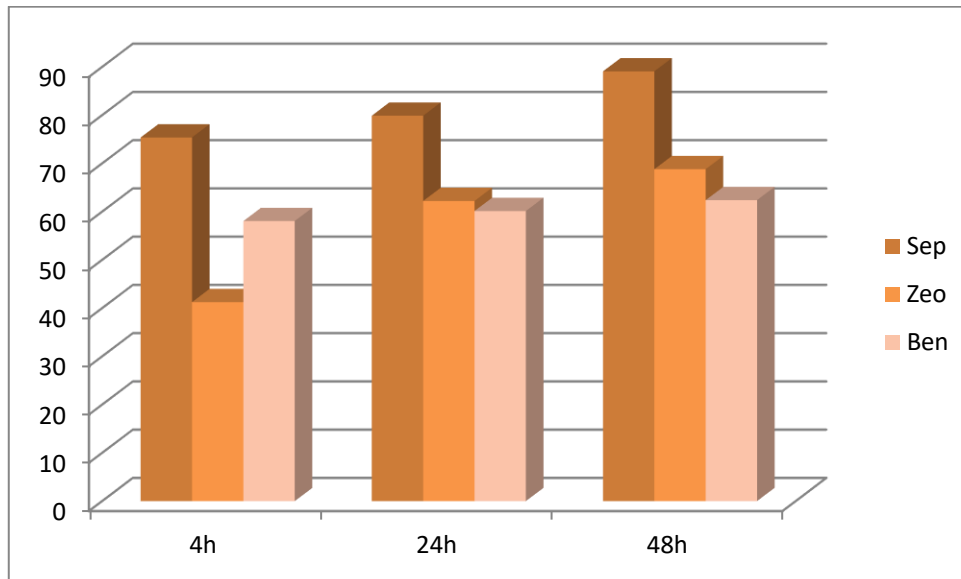
Figure III 3: Comparaison rejet 1 et 2 du Noire Tecosol BRA 200%

La comparaison (Figure III.3) entre les deux rejets montre que :

- La sépiolite offre une performance constante sur les deux rejets, atteignant un taux de décoloration de plus de 90 % dès 24 heures, et se maintenant à un niveau élevé jusqu'à 48 heures.
- Les écarts entre zéolite et bentonite restent faibles, et relativement stables, avec une faible amélioration au-delà des 4 premières heures.
- Le pH des deux rejets a été mesuré, révélant des valeurs basiques :  $pH_{\text{rejet1}}=11,5$ ,  $pH_{\text{rejet2}} =11,9$  ; ce qui explique l'interaction efficace entre les rejets textiles et les surfaces de nos argiles chargées négativement.

Ces résultats démontrent la robustesse de la sépiolite, indépendamment de la concentration initiale. De plus, les tests d'adsorption ont révélé une reproductibilité élevée entre les deux rejets, renforçant ainsi la fiabilité des résultats obtenus et la position de nos matériaux en tant que solution pour traiter ces rejets textiles.

### III.3.4 Résultats pour le Rouge de Cuve



**Figure III 4:** Résultat du colorant Rouge de cuve

Les résultats de la figure III.4 montrent l'évolution du pourcentage de décoloration du colorant Rouge de Cuve après traitement avec **sépiolite (Sep)**, **zéolite (Zeo)** et **bentonite (Ben)** sur trois durées : 4 h, 24 h, et 48 h.

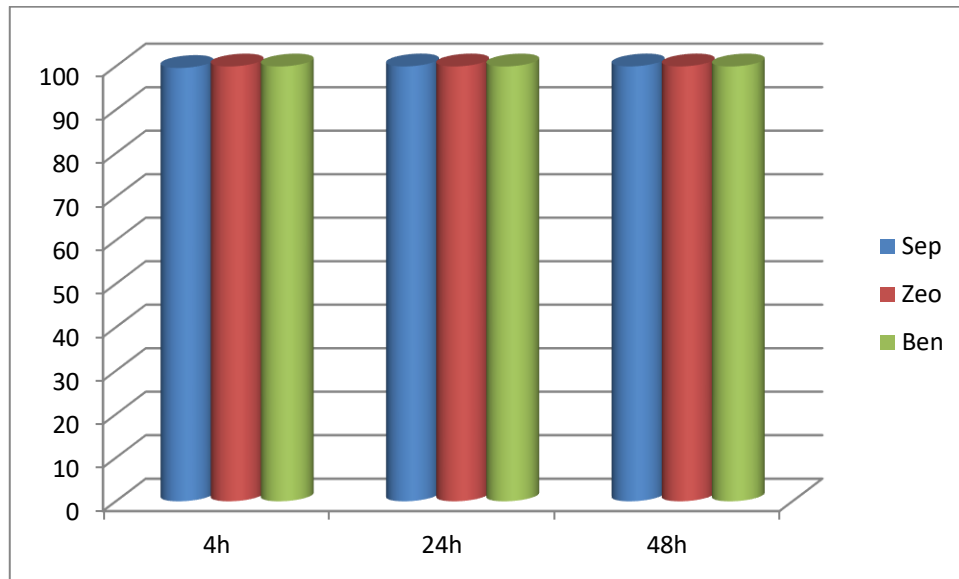
- Après 4 heures, l'efficacité d'adsorption s'élève à 75,38 % pour la sépiolite, 41,24 % pour la zéolite, et 58,08 % pour la bentonite.
- À l'issue de 24 heures, une amélioration significative a été observée, avec des taux d'adsorption atteignant 89 % pour la sépiolite, 68 % pour la zéolite, et 62 % pour la bentonite.
- À 48 heures, ces valeurs restent globalement stables.

#### **Interprétation:**

Les résultats du traitement du Rouge de Cuve révèlent une dynamique intéressante entre les adsorbants. **La sépiolite se distingue par une progression constante et maîtrisée**, traduisant une adsorption lente mais efficace. Ce comportement est idéal dans des systèmes de traitement où le temps de contact est optimisé pour garantir une élimination maximale du colorant.

Concernant la zéolite et la bentonite, bien qu'elles commencent avec une performance faible, elles montrent une capacité d'adsorption croissante avec l'augmentation du temps.

### III.3.5 Résultats pour l'Orange de Cuve



**Figure III 5:** Résultat du colorant Orange de cuve

L'analyse des résultats de décoloration du colorant Orange de Cuve présenté sur la figure III.5 montre des performances exceptionnellement élevées dès les premières heures de traitement. La sépiolite permet une élimination de 99,62 % du colorant après seulement 4 heures, avec une légère amélioration à 99,97 % maintenue jusqu'à 48 heures. De manière similaire, la zéolite et la bentonite présentent des taux de décoloration de 99,96 % dès la 4e heure, qui restent stables dans le temps. Ces données indiquent que l'adsorption de l'Orange de Cuve est **quasi-instantanée et très efficace**, quel que soit l'adsorbant utilisé. Aucun écart significatif n'est observé entre les trois matériaux, ce qui témoigne d'une affinité élevée et équivalente du colorant pour la sépiolite, la zéolite et la bentonite.

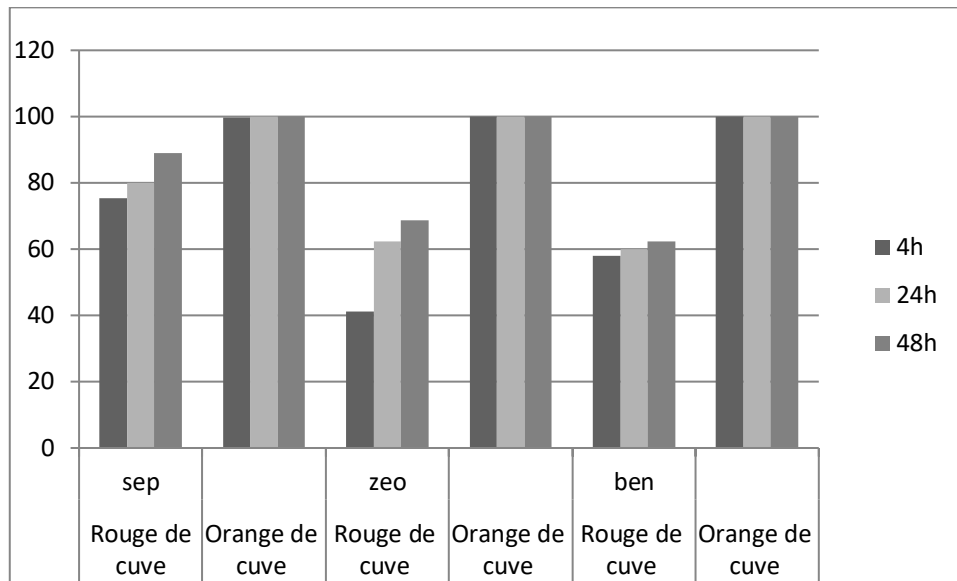
#### **Interprétation :**

Le traitement du colorant Orange de Cuve a montré une efficacité quasi parfaite avec les trois adsorbants testés. Dès 4 heures, les taux de décoloration dépassent 99,6 %, indiquant une adsorption extrêmement rapide et complète du colorant. Cela suggère une très forte affinité de ce colorant avec les surfaces actives des trois matériaux utilisés.

La **sépiolite** atteint un plateau à 99,97 % dès 24 h, ce qui traduit une performance légèrement supérieure mais non significativement différente des deux autres adsorbants. La zéolite et la bentonite affichent une efficacité immédiate et stable dans le temps, sans variation notable.

L'Orange de Cuve présente une affinité exceptionnelle avec toutes les argiles. Sa petite taille moléculaire et sa structure chimique facilitent son adsorption rapide.

### III.3.6 Comparaison Rouge de Cuve vs Orange de Cuve



**Figure III.6:** Comparaison entre le Rouge de cuve et l'Orange de cuve

Les résultats de comparaison entre l'adsorption des deux colorants présentés sur la figure III.6 révèlent que l'Orange de Cuve présente des taux d'adsorption nettement plus élevés et plus rapides que le Rouge de Cuve, quel que soit le type d'argile, cette différence peut être expliquée par :

- la structure chimique et la taille moléculaire, En effet, la taille moléculaire joue un rôle crucial dans l'adsorption, car les argiles possèdent des pores de dimensions spécifiques qui limitent l'accès des molécules en fonction de leur taille. Le colorant orange, avec une structure moléculaire plus petite ( $M = 418,40 \text{ g/mol}$ ), pénètre plus facilement dans les pores des argiles, favorisant son adsorption. En revanche, le colorant rouge, ayant une taille moléculaire plus importante ( $M = 470,43 \text{ g/mol}$ ) et une structure plus complexe, rencontre des difficultés à s'adsorber efficacement.
- Les propriétés spécifiques de chaque argile, notamment leur surface spécifique et leur capacité d'échange ionique, semblent également jouer un rôle important dans cette d'adsorption, la sépiolite, avec sa structure microporeuse et sa grande surface spécifique,

offre une interaction optimale avec les molécules de colorant, facilitant ainsi l'adsorption [38].

- La zéolite, grâce à sa capacité d'échange ionique élevée et à ses pores bien définis, peut également favoriser l'adsorption du colorant orange de cuve [39].
- La bentonite, bien qu'elle possède une bonne capacité d'adsorption, peut-être moins efficace que la sépiolite pour le colorant rouge de cuve, en raison de son gonflement en présence d'eau, limitant l'accès à ses sites d'adsorption. Les interactions spécifiques entre les argiles et les colorants varient selon la nature chimique des colorants, ce qui explique les différences d'adsorption observées. [40].

Pour synthétiser les résultats obtenus lors de cette étude, le tableau ci-dessous présente un résumé des caractéristiques principales des différentes argiles étudiées, ainsi que leurs avantages et limites en matière d'adsorption des colorants. Chaque type d'argile est évalué en fonction de sa performance spécifique pour les colorants testés, permettant ainsi de comparer leur efficacité et d'identifier les meilleures options pour le traitement des rejets textiles.

**Tableau III.1.** Comparaison des argiles utilisées

Argile	Structure / Caractéristiques principales	Avantages pour l'adsorption	Limites observées	Performance par colorant
Sépiolite	Argile fibreuse, grande surface spécifique, haute porosité, forte capacité d'échange ionique	Excellente capacité d'adsorption, même à faible concentration, rapidité de fixation	Coût légèrement plus élevé, régénération non testée	Noir Tecosol BRA : >90% Rouge de Cuve : >85% Orange de Cuve : >99%
Zéolite	Structure cristalline microporeuse, aluminosilicate naturel	Bonne sélectivité pour certains ions et polluants organiques	Moins efficace pour les colorants de grande taille, cinétique plus lente	Noir Tecosol BRA : ~60% Rouge de Cuve : ~65% Orange de Cuve : >99%
Bentonite	Argile smectique, structure en feuillets, capacité de gonflement	Disponibilité locale, faible coût, facile à manipuler	Capacité d'adsorption plus faible, sensibilité au pH	Noir Tecosol BRA : ~50-57% Rouge de Cuve : ~62% Orange de Cuve : >99%

### III.4 Analyse des résultats du questionnaire : Maladies causées par les colorants et leur prévention.

L'analyse qui suit présente donc les résultats de questionnaire simulé, en distinguant les tendances générales et les points clés observés dans les réponses de ces 15 travailleurs. Cette approche permet de mieux cerner les enjeux liés à l'exposition aux colorants et d'envisager des pistes de prévention adaptées.

#### 1. Connaissances générales

**Q1/** L'ensemble des participants (100 %) a su définir correctement ce qu'est un colorant ou un pigment, en mettant en avant son rôle dans la coloration des matériaux. Les secteurs d'application les plus fréquemment cités sont l'industrie textile (100 % des répondants), suivie de l'agroalimentaire et de la cosmétique, démontrant une bonne connaissance de la diversité des usages des colorants.

De plus, tous les participants ont correctement identifié que les colorants ne sont pas exclusivement d'origine naturelle, ce qui traduit une sensibilisation aux risques chimiques des produits de synthèse

**Q2/** Concernant les maladies et effets toxiques associés aux colorants, les réponses révèlent un niveau de sensibilisation globalement satisfaisant. La majorité des participants a cité les dermatites de contact (13/15), les troubles respiratoires (10/15) et les cancers, en particulier celui de la vessie (7/15), confirmant une perception réaliste des risques.

Les effets secondaires des colorants synthétiques les plus souvent mentionnés sont les allergies, les troubles endocriniens, les effets cancérigènes et les troubles respiratoires. Ces résultats sont cohérents avec les données toxicologiques disponibles dans la littérature sur les colorants azoïques et les colorants soufrés.

La voie d'exposition la plus fréquemment citée reste le **contact cutané** (14/15), suivi par l'inhalation, ce qui reflète bien les conditions de travail au sein du complexe textile.

**Q3/** Concernant les secteurs d'utilisation, le secteur textile est unanimement mentionné (15/15), suivi de l'agroalimentaire (10/15) et des cosmétiques (8/15). Cette répartition traduit une conscience des usages variés des colorants au-delà de leur propre environnement de travail.

Les travailleurs ont une bonne connaissance des colorants et de leurs usages, ce qui constitue un point de départ essentiel pour la prévention.

### 2. Maladies liées aux colorants :

**Q4/** Concernant les maladies et effets toxiques associés aux colorants, les réponses révèlent un niveau de sensibilisation globalement satisfaisant. La majorité des participants a cité les dermatites de contact (13/15), les troubles respiratoires (10/15) et les cancers, en particulier celui de la vessie (7/15), confirmant une perception réaliste des risques.

**Q5/** Les effets secondaires des colorants synthétiques les plus souvent mentionnés sont les allergies, les troubles endocriniens, les effets cancérigènes et les troubles respiratoires. Ces résultats sont cohérents avec les données toxicologiques disponibles dans la littérature sur les colorants azoïques et les colorants soufrés.

**Q6/** La voie d'exposition la plus fréquemment citée reste le **contact cutané** (14/15), suivi par l'inhalation, ce qui reflète bien les conditions de travail au sein du complexe textile.

### 3. Populations les plus exposées

**Q7/** Tous les répondants désignent les travailleurs des usines textiles comme les plus exposés. Cela montre une conscience aiguë de leur propre vulnérabilité.

**Q8/** La vulnérabilité des enfants aux colorants alimentaires est aussi bien comprise : elle est attribuée à leur métabolisme plus fragile et leur consommation proportionnellement plus élevée. Cela reflète une sensibilisation au-delà du seul domaine professionnel.

Les employés identifient clairement les groupes à risque, ce qui peut favoriser une approche solidaire dans les politiques de prévention.

### 4. Prévention :

**Q8/** Tous les travailleurs connaissent les Équipements de Protection Individuelle (gants, masques, lunettes).

Importance de la ventilation soulignée.

**Q9/** Sur le plan des mesures préventives, tous les répondants ont identifié le port des équipements de protection individuelle (gants, masques, lunettes) et l'importance d'une bonne ventilation comme mesures essentielles. La majorité (12/15) a également souligné que les colorants naturels ne sont pas forcément sans danger, ce qui démontre un esprit critique face à l'idée souvent répandue selon laquelle « naturel » équivaudrait à « non toxique ».

**Q10/** En matière de choix des produits, la lecture attentive des étiquettes, la recherche de certifications et l'identification des codes colorants (ex : E102, etc.) font partie des bonnes pratiques citées.

Il existe une culture de prévention, mais la mise en pratique dépend de la disponibilité des équipements et de la formation continue.

### **5. Réduction des risques**

**Q11/** Enfin, les participants ont largement souligné l'importance des efforts industriels pour limiter les dangers liés aux colorants : amélioration des procédés de fabrication, substitution par des alternatives plus sûres, mise en place de systèmes de traitement des effluents et renforcement de la formation du personnel.

**Q12/** La majorité des travailleurs estiment cependant que l'élimination totale des risques est difficilement envisageable mais qu'une réduction significative est possible par l'adoption de bonnes pratiques industrielles et de prévention.

### **Conclusion de l'enquête :**

L'ensemble des résultats montre que les travailleurs du complexe textile de Sebdou possèdent un niveau de sensibilisation relativement bon concernant les risques liés aux colorants. Toutefois, certaines thématiques, telles que les risques liés aux colorants naturels ou l'importance de la formation continue, mériteraient d'être renforcées par des actions ciblées de sensibilisation et de formation en hygiène industrielle et en toxicologie environnementale.

# **Conclusion**

La présente étude visait à évaluer l'efficacité de matériaux naturels, en l'occurrence trois types d'argiles locales (sépiolite, zéolite et bentonite), dans le traitement des effluents industriels colorés issus du complexe textile de Sebdou (EATIT). Les résultats obtenus confirment la capacité d'adsorption de ces matériaux vis-à-vis de différents colorants textiles, notamment le Noir Tecosol BRA, le Rouge de Cuve et l'Orange de Cuve.

Sur le plan expérimental, la sépiolite s'est révélée être l'adsorbant le plus performant, affichant des taux de décoloration supérieurs à 90 % pour le Noir Tecosol BRA et le Rouge de Cuve, dès 24 heures de contact. La zéolite et la bentonite ont montré une efficacité modérée, mais restent des alternatives viables en fonction des contraintes économiques et de disponibilité locale. Pour le cas du colorant Orange de Cuve, les trois argiles ont présenté des performances quasi équivalentes, dépassant les 99 % de décoloration dès les premières heures, ce qui suggère une affinité naturelle entre ce type de colorant et les surfaces argileuses testées.

Sur le plan toxicologique, l'analyse bibliographique et l'enquête menée auprès des travailleurs du complexe textile ont permis de mettre en évidence la perception des risques liés à l'exposition aux colorants. Les résultats du questionnaire confirment une sensibilisation croissante au sein du personnel concernant les risques cutanés, respiratoires et cancérigènes associés à ces substances.

En conclusion, l'utilisation de ces argiles locales représente une solution environnementale prometteuse et économiquement accessible pour le traitement des eaux industrielles colorées. Toutefois, des études complémentaires sont nécessaires afin d'optimiser les conditions opératoires (pH, température, dosage, temps de contact) et d'envisager une mise à l'échelle industrielle.

Enfin, il serait pertinent, dans le cadre de perspectives futures, de coupler ces matériaux à d'autres techniques de traitement (oxydation avancée, filtration membranaire) et de réaliser des tests de régénération des adsorbants afin de garantir la durabilité et la viabilité économique du procédé.

# **Références bibliographiques**

[01]Ben mansour. H ; Boughzala. O ; dridi. D ; Barillier. D ; chekir chedira. L ; Mosrati. R. Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : criblage de la toxicité et des méthodes de traitement. Revue des sciences de l'eau/journal of water science ; 24(3) ; 193-327 ; 2011.

[02]Mittal, A., Polymer layered silicate nanocomposites: a review, Materials Science and Engineering: A, 537, 1–17. 2009.

[03]Weber, S., Lynes, J., & Young, B. S., Fashion interest as a driver for consumer textile waste management: reuse, recycle or disposal, International Journal of Consumer Studies, 41(2), 207-225. 2017.

[04]Lembrouk, L., Impact de la pollution métallique industrielle sur la diversité de la pédofaune et de la flore de la Kabylie selon un gradient altitudinal (Doctoral dissertation, Université Mouloud MAMMERI). 2019.

[05]Boudiaf, S., Etude de l'élimination d'un colorant contenu dans les rejets d'industrie de textile par un procédé hybride (Biologique/POA). 2024.

[06]CEGP, Audit environnementale de l'entreprise Electro-Industries, Zone industrielle de Azazga, Wilaya de Tizi Ouzou, Centre d'étude et de gestion de projets, Hydra, Alger. 2016.

[07]Boursas, F., & Saidia, H., Traitement des eaux de rejets industriels par la poudre de marbre. 2014.

[8]Belhadji, H., & Moumeni, O., Etude des performances épuratoires d'une station d'épuration des eaux usées de l'industrie textile: cas de la STEP de Sebdou (Thèse de doctorat). 2016.

[9]Machu, E. et al., Chapitre 2. Pollutions Dans un Monde Liquide, IRD Éditions, 1-3. 2023.

[10]Hichour, S., La pollution des eaux (Mémoire, Université Bel-Abbès). 2023.

[11]Zhang, Y. M. et al., A single-molecule multicolor electrochromic device generated through medium engineering, Light: Science & Applications, 4(2), e249. 2015.

[12]Nesrine, J., Politique de classification des additifs alimentaires « borderline ». 2019.

- [13]Li, W., Mu, B., & Yang, Y., Feasibility of Industrial-Scale Treatment of Dye Wastewater via Bio-Adsorption Technology, *Bioresource Technology*, 277, 157–170. 2019.
- [14]Ghaly, A. E. et al., Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review, *J. Chem. Eng. Process Technol*, 5, 1–18. 2014.
- [15]Thakur, S., & Chauhan, M. S., Treatment of Dye Wastewater from Textile Industry by Electrocoagulation and Fenton Oxidation: A Review, In *Water Quality Management*, 117–129. 2018.
- [16]Brosseau, C. L. et al., Surface-enhanced Raman spectroscopy: a direct method to identify colorants in various artist media, *Analytical Chemistry*, 81(17), 7443-7447. 2009.
- [17]Deghfel, N. et al., Étude comparative de l'adsorption d'un colorant de cuve sur différents adsorbants à base d'un matériau inorganique la Bentonite et l'argile de la région de M'sila, *Matériaux & Techniques*, 105(4), 405. 2017.
- [18]Meireles, G. et al., Red Disperse Dyes at Environmentally Realistic Concentrations Impact Biochemical Profile of Early Life Stages of Zebrafish, *Chemico-Biological Interactions*, 292, 94–100. 2018.
- [19]Sharma, B., Dangi, A. K., & Shukla, P., Contemporary enzyme based technologies for bioremediation: A review, *Journal of Environmental Management*, 210, 10–22. 2018.
- [20]Madaoui, R. R., Ghennam, O. Z., & Bencheko, R., Élimination d'un colorant par un biomatériau (Thèse de doctorat). 2023.
- [21]Ferhat, M., Co-adsorption des métaux lourds sur la bentonite modifiée en présence des flocculants minéral et biologique (Mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou). 2012.
- [22]Qlihaa, A. et al., Caractérisation physico-chimique d'une argile Marocaine, *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(5), 1741–1750. 2016.
- [23]Belaib, F., Étude expérimentale de l'effet de l'enrobage de supports solides par des polymères conducteurs sur leur capacité de rétention des cations métalliques en solution aqueuse par adsorption (Thèse de doctorat, Université de Constantine). 2006.

- [24]Harrat, M., Contribution du procédé de fabrication de la céramique (Diplôme de magistère, Université Kasdi Merbah Ouargla). 2007.
- [25]Derroueche, F., Décoloration par adsorption des eaux résiduaires textiles chargées en colorants acides par les bentonites locales (Diplôme de magistère, Université M'Hamed Bougara Boumerdes). 2006/2007.
- [26]Taibi, M., Adsorption du bleu de méthylène par l'argile illite-montmorillonite de la région de Naima-Tiaret-Algérie chimiquement modifiée. 2022.
- [27]Daoud, Y., Évaluation du piégeage des métaux lourds des eaux usées de la région de Tlemcen par absorption atomique, p. 21. 2017.
- [28]Arris, S., & Chebira, M., Étude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales (Thèse de doctorat, Université de Mentouri Constantine). 2008.
- [29]Lefki, N., Étude de l'adsorption du bleu de méthylène sur la poudre des feuilles d'olivier (Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri). 2017.
- [30]Jiang, Y. et al., Influence of Sepiolite on the Rheological Properties of PVA Composite Hydrogels, *ChemistrySelect*, 9(24), e202401210. 2024.
- [31]Gneedy, A. H. et al., Application of marine algae separate and in combination with natural zeolite in dye adsorption from wastewater: A review, *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(9), 589–616. 2022.
- [32]Lin, T. et al., Modification of Bentonite and Its Application in Antimicrobial Material, *Paper & Biomaterials*, 5(1). 2020.
- [33]Deghfel, N. et al., Étude comparative de l'adsorption d'un colorant de cuve sur différents adsorbants à base d'un matériau inorganique la Bentonite et l'argile de la région de M'sila, *Matériaux & Techniques*, 105(4), 405. 2017.
- [34]Yasmine, A. L., Melissa, C. H., & Dihia, B. O., Mise au point et validation d'une technique de dépistage urinaire de la prégabaline par spectrophotométrie UV/Visible (Mémoire de doctorat en Pharmacie, Université Mouloud Mammeri). 2024.

[35]Kitwanga, E. S. W. et al., Système de détermination des coûts complets des produits d'une Entreprise Agro-Industrielle et pharmaceutique, *Revue Internationale du Chercheur*, 5(4). 2024.

[36]Meniker, S. et al., Contrôle de qualité d'un produit pharmaceutique de l'unité Saidal (Mémoire de doctorat en Pharmacie, Université Salah Bounider Constantine III). 2022.

[37]Özdemir, Y. et al., Adsorption of cationic dyes from aqueous solutions by sepiolite, *Microporous and Mesoporous Materials*, 96(1-3), 419–427. 2006.

[38]Ozdemir, O. et al., Comparison of the adsorption characteristics of azo-reactive dyes on mesoporous minerals, *Dyes and Pigments*, 62(1), 49–60. 2004.

[39]Khan, M. I. et al., Adsorption studies of dyes using activated carbon and clay minerals, *Journal of Hazardous Materials*, 374, 20–29. 2019.

[40]García-Rubio, J. et al., The role of the structure of zeolites in the adsorption of organic pollutants, *Environmental Science & Technology*, 50(12), 6405–6413. 2016.

## Résumé

La pollution des eaux industrielles par les colorants textiles constitue un problème environnemental et sanitaire majeur. Cette étude évalue l'efficacité de trois argiles locales (sépiolite, zéolite et bentonite) dans l'élimination du Noir Tecosol BRA 200 %, du Rouge de Cuve et de l'Orange de Cuve, présents dans les effluents de l'entreprise textile de Sebdou. Les tests d'adsorption réalisés à différentes durées ont montré une performance supérieure de la sépiolite, surtout pour le Noir et le Rouge de Cuve. Pour l'Orange de Cuve, les trois argiles ont présenté des taux d'élimination supérieurs à 99 %. Un questionnaire a également permis d'évaluer la perception des risques toxicologiques par les travailleurs. Ces résultats confirment l'intérêt des argiles locales comme solution simple et économique pour le traitement des rejets colorés.

**Mots clés :** Colorants textiles, Toxicité, Adsorption, Argiles, Effluents industriels, Dépollution.

## Abstract

Industrial wastewater pollution by textile dyes poses a significant environmental and health challenge. This study investigates the adsorption efficiency of three local clays (sepiolite, zeolite, and bentonite) for the removal of dyes (Noir Tecosol BRA 200%, Vat Red, and Vat Orange) present in the effluents of the Sebdou textile industry. Batch adsorption tests at different contact times revealed superior performance of sepiolite, particularly for Noir Tecosol BRA and Vat Red. For Vat Orange, all three clays showed over 99% removal efficiency. Additionally, a survey conducted among factory workers assessed their awareness of the toxicological risks associated with dye exposure. The findings highlight the potential of local clays as an economical and eco-friendly solution for industrial dye wastewater treatment.

**Keywords:** Textile dyes, Toxicity, Adsorption, Natural clays, Industrial effluents, Wastewater treatment.

## الملخص

تُعدّ تلوث المياه الصناعية الناتج عن الأصباغ النسيجية من بين أبرز التحديات البيئية والصحية في الوقت الحالي. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية ثلاثة أنواع من الطين المحلي (السيبوليت، الزيوليت، البنتونيت) في إزالة الأصباغ (أسود Tecosol BRA 200%، الأحمر القطني، والبرتقالي القطني) من مياه الصرف الصناعي لمجمع النسيج بمدينة سبدو. أظهرت تجارب الامتزاز عند أزمنة تماس مختلفة تفوق السيبوليت في إزالة الصبغتين السوداء والحمراء، في حين تم تسجيل نسب إزالة تجاوزت 99% للصبغة البرتقالية باستخدام جميع أنواع الطين. كما تم إجراء استبيان لموظفي المصنع لتقييم وعيهم بالمخاطر السمية المرتبطة بالتعرض للأصباغ. تؤكد هذه النتائج إمكانية استخدام الطين المحلي كحل بيئي واقتصادي لمعالجة المياه الصناعية الملونة.

## الكلمات المفتاحية:

الأصباغ النسيجية، السمية، الامتزاز، الطين الطبيعي، المياه الصناعية، السيبوليت، معالجة مياه الصرف.