

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BELHADJ BOUCHAIB-AIN TEMOUCHENT



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES  
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME MASTER

Domaine : ST

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Thème

ELIMINATION D'UN COLORANT PAR UN BIOMATÉRIAU

Encadrée par :

*Dr BENCHEKOR Hassiba*

Présenté par :

*M<sup>lle</sup> MADAOUI Rym Rania*

*M<sup>lle</sup> GHENAM Oumaima Zouaouia*

Année Universitaire : 2022-2023

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir accordé la santé, la volonté, l'amour du savoir et surtout le courage et la patience pour effectuer ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé au laboratoire d'Hydraulique à l'Université Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent.

Nous tenons à remercier le doyen de la Faculté des Sciences et Technologies, Monsieur BELARBI Lahcen pour sa collaboration et son aide pour la réalisation de cette étude.

Nos remerciements s'adressent également aux ingénieures de laboratoire d'Hydraulique, Mme LAHCEN Amina et Mme DERRAR Karima pour leurs précieuses aides, leurs conseils, et leur procuration d'une bonne humeur tout au long de notre travail.

Nous remercions également l'ingénieure du laboratoire de biologie Mme MEFTAHI Choukria pour sa générosité et sa patience tout au long de notre travail.

Nous remercions vivement la responsable des ingénieurs de laboratoire Mme BELKADA pour sa présence et sa disponibilité durant notre travail au laboratoire.

Nous exprimons nos respectueux remerciements aux président et membres du jury pour avoir accepté de présider et de faire partie de notre jury malgré leurs multiples occupations, veuillez trouver ici nos hautes considérations.

En guise de reconnaissance, nous tenons à témoigner nos sincères remerciements à notre encadreur Mme BENCHEKOR Hassiba. Nous tenons à la remercier pour toute la diligence qu'elle nous a consentie tout au long de l'élaboration de ce mémoire par ses encouragements et ses précieux conseils.

Egalement nous remercions tout le corps professoral du département d'Hydraulique de nous avoir assuré un enseignement de qualité tout au long des quatre dernières années.

## DEDICACES

*On dédie ce travail à nos très chers parents*

*Nos chers frangin(s)(es)*

*Nos familles*

*Nos amis*

*Et à tous ceux qui nous sont chers*

## **Résumé :**

Le présent travail a pour objectif d'étudier l'élimination d'un colorant par un biomatériau, à l'aide d'un procédé physico-chimique pratique et moins coûteux.

Le colorant utilisé dans notre travail est la safranine poudre.

Le procédé appliqué dans la présente étude pour l'élimination du colorant safranine dans une solution aqueuse est : l'adsorption. Le matériau adsorbant utilisé est la carapace de la crevette (déchets marins) dénommé CRV. Le solide est caractérisé par FTIR et l'analyse des résultats expérimentaux est faite par le modèle de BET.

Les résultats expérimentaux d'effet de pH obtenus, montrent que l'élimination de la safranine par adsorption sur le matériau est efficace et importante au niveau des pH élevés (pH basiques) notamment au niveau du pH 12 où elle dépasse les 90(mg/g). Du fait que la safranine est un colorant cationique, cela explique la forte interaction entre le matériau chargé négativement ( $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$ ) et le colorant au niveau des pH élevés.

Tandis que la modélisation des isothermes d'adsorption du colorant safranine par le matériau CRV aux deux températures étudiés : 25°C et 35°C, montrent une forte élimination du colorant. Le modèle de BET simule favorablement l'isotherme d'adsorption à 35°C prouvant ainsi que l'adsorption est plus facile au niveau des températures élevés et supérieures à 25°C.

**Mots clés :** safranine, adsorption, carapace de crevette, FTIR, modèle de BET, cationique,  $\text{pH}_{\text{pzc}}$ , isothermes.

**Abstract:**

The aim of this work is to study the removal of a dye by a biomaterial, using a practical and less expensive physico-chemical process.

The dye used in our work is safranin powder.

The process used in this study to remove the safranin dye from an aqueous solution is adsorption. The adsorbent material used is shrimp shell (marine waste) known as CRV. The solid was characterised by FTIR and the experimental results were analysed using the BET model.

The experimental results on the effect of pH obtained show that the elimination of safranin by adsorption on the material is effective and significant at high pH levels (basic pH), particularly at pH 12 where it exceeds 90(mg/g). Since safranin is a cationic dye, this explains the strong interaction between the negatively charged material ( $pH > pH_{pzc}$ ) and the dye at high pH levels.

Modelling of the adsorption isotherms of the safranin dye by the CRV material at the two temperatures studied, 25°C and 35°C, shows strong elimination of the dye. The BET model simulates the adsorption isotherm favourably at 35°C, proving that adsorption is easier at higher temperatures than 25°C.

**Key words:** safranin, adsorption, shrimp shell, FTIR, BET model, cationic,  $pH_{pzc}$ , isotherms.

## ملخص:

يهدف العمل الحالي إلى دراسة إزالة صبغة بواسطة مادة حيوية، باستخدام عملية فيزيائية كيميائية عملية وأقل تكلفة.

الصبغة المستخدمة في عملنا هي مسحوق السفرانين.

العملية المطبقة في هذه الدراسة لإزالة صبغة السفرانين في محلول مائي هي: الامتزاز. المادة الممتزة المستخدمة هي قشرة الجمبري (النفائيات البحرية) والتي تسمى CRV. تم تشخيص المادة الصلبة بتقنية FTIR وتم تحليل النتائج التجريبية بواسطة نموذج BET.

أظهرت النتائج التجريبية لتأثير الأس الهيدروجيني التي تم الحصول عليها أن إزالة السفرانين عن طريق الامتزاز على المادة تكون فعالة ومعنوية عند مستويات الأس الهيدروجيني العالية (الأس الهيدروجيني الأساسي) وخاصة عند الأس الهيدروجيني 12 حيث تتجاوز 90 (مجم/جم). ولأن السفرانين عبارة عن صبغة كاتيونية، فإن هذا يفسر التفاعل القوي بين المادة سالبة الشحنة ( $pH_{pzc} < pH$ ) والصبغة عند مستويات pH عالية.

بينما أظهرت نمذجة ايزوثرم الامتزاز لصبغة السفرانين بواسطة مادة CRV عند درجتي الحرارة المدروستين: 25 درجة مئوية و 35 درجة مئوية، إزالة قوية للصبغة. يحاكي نموذج BET بشكل إيجابي ايزوثرم الامتزاز عند 35 درجة مئوية، مما يثبت أن الامتزاز يكون أسهل عند درجات الحرارة العالية وما فوق 25 درجة مئوية.

**الكلمات المفتاحية:** السفرانين، الامتزاز، قشرة الجمبري، FTIR، نموذج BET، الكاتيون،  $pH_{pzc}$ ، متساوي الحرارة.

# Table des matières

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Symboles et abréviations</b>	
<b>Introduction générale</b>	<b>01</b>

## **Partie bibliographique**

### **Chapitre I : Pollution des eaux**

<b>I.1</b> Définition de la pollution	03
<b>I.2</b> Origines de la pollution des eaux	03
<b>I.2.1</b> Pollution domestique	04
<b>I.2.2</b> Pollution industrielle	04
<b>I.2.3</b> Pollution agricole	04
<b>I.2.4</b> Pollution pluviale	04
<b>I.3</b> Types de pollution	05
<b>I.3.1</b> Pollution organique	05
<b>I.3.2</b> Pollution biologique	05
<b>I.3.3</b> Pollution thermique	05
<b>I.3.4</b> Pollution radioactive	05
<b>I.3.5</b> Pollution chimique	05
<b>I.3.6</b> Pollution agricole	06
<b>I.4</b> L'impact des rejets industriels	06

### **Chapitre II : Les Colorants**

<b>II.1</b> Définition des colorants	07
<b>II.2</b> Classification des colorants	07
<b>II.2.1</b> Classification chimique	08

<b>II.2.2</b> Classification tinctoriale	09
<b>II.3</b> Aspect toxicologique	11
<b>II.3.1</b> Toxicité sur la santé humaine	11
<b>II.3.2</b> Toxicité des milieux aquatiques	12
<b>II.4</b> Normes de rejets	13
<b>II.4.1</b> Normes Internationales	13
<b>II.4.2</b> Normes Algériennes	14

### **Chapitre III : Epuration des eaux**

<b>III.1</b> Définition de l'épuration	15
<b>III.2</b> Nécessité de l'épuration des eaux	16
<b>III.3</b> Procédés d'épuration des eaux usées	16
<b>III.3.1</b> Procédés biologiques	16
<b>III.3.2</b> Procédés physico-chimiques	21
<b>III.3.3</b> Procédés chimiques	22

## **Partie Pratique**

### **Chapitre IV : Matériels et méthodes**

<b>IV.1</b> Définition du matériau	24
<b>IV.2</b> Préparation du matériau	25
<b>IV.2.1</b> Analyse Infrarouge à transformée de Fourier	25
<b>IV.2.2</b> Détermination du pH <sub>pzc</sub>	26
<b>IV.3</b> Adsorbat	27
<b>IV.4</b> Méthode d'analyse	28
<b>IV.4.1</b> Spectrophotométrie à UV-Visible	29

### **Chapitre V : Elimination du colorant safranine par la carapace de la crevette brut**

<b>V.1</b> Influence du pH sur l'élimination de la safranine	32
--	----



V.2 Effet de la température sur l'élimination du colorant safranine	33
V.2.1 Etablissement des isothermes d'adsorption	33
V.2.2 Modélisation des isothermes d'adsorption par le modèle BET	35
V.2.3 Discussion	37
<b>Conclusion générale</b>	<b>38</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>39</b>

## Liste des figures

*Figure III.1* : Schéma de traitement des eaux usées par lit bactérien.

*Figure III.2* : Schéma de traitement des eaux usées par disques biologiques.

*Figure III.3* : Schéma de traitement des eaux usées par lagunage.

*Figure III.4* : Schéma de traitement des eaux usées par boues activées.

*Figure IV.1* : Photo de la carapace de la crevette.

*Figure IV.2* : Spectre FTIR du matériau CRV.

*Figure IV.3* : Courbe de détermination du pHpzc du matériau CRV.

*Figure IV.4* : Courbe d'étalonnage du colorant Safranine.

*Figure V.1* : Influence du pH sur l'élimination de la Safranine par CRV.

*Figure V.2* : Isotherme de la Safranine sur le matériau CRV à T 25°C.

*Figure V.3* : Isotherme de la Safranine sur le matériau CRV à T 35°C.

*Figure V.4* : Isotherme d'adsorption de la Safranine sur le matériau CRV à 25°C par le modèle BET.

*Figure V.5* : Isotherme d'adsorption de la Safranine sur le matériau CRV à 35°C par le modèle BET.

## **Liste des tableaux**

**Tableau II.1 :** Normes de rejets Internationales.

**Tableau II.2 :** Les normes Algériennes de rejets des effluents liquides.

**Tableau IV.1 :** Caractéristiques physico-chimiques de la safranine.

**Tableau IV.2 :** Valeurs des concentrations des solutions filles en fonction de leurs absorbances.

**Tableau V.1 :** Récapitulation des paramètres de modèle BET.

## **Abréviations et symboles**

**°C** : degrés Celsius

**•OH** : radical hydroxyle

**Abs** : Absorbance

**BET** : Bruauner Emmett Teller

**C** : Concentration

**Cl<sub>2</sub>** : dichlore

**CRV** : Crevette

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biologique en Oxygène avec un temps d'incubation de 5 jours

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**FTIR** : spectroscopie Infrarouge à Transformé de Fourier

**H<sub>2</sub>O** : eau

**HCl** : Acide Chlorhydrique

**KBr** : Bromure de Potassium

**MES** : Matières En Suspension

**NaCl** : Chlorure de Sodium

**NaOH** : Hydroxyde de Sodium

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : ammonium

**nm** : nanomètre

**NO<sub>2</sub>** : dioxyde d'azote

**NO<sub>3</sub>** : nitrate

**O<sub>2</sub>** : oxygène

**O<sub>3</sub>** : Ozone

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : pentoxyde de phosphore

**pH** : potentiel d'Hydrogène

**pHpzc** : pH de point de charge nulle

**UV** : Ultra Violet

# **INTRODUCTION GENERALE**



L'eau est la source de toute vie sur terre.

يقول الله سبحانه وتعالى في كتابه العزيز (وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ) سورة الأنبياء الآية: 30

L'eau joue, dans le développement de la vie humaine, animale ou végétale et dans l'évolution des sociétés, un rôle essentiel et irremplaçable. Pour vivre et pour agir l'homme a été et demeurera toujours un utilisateur de l'eau. Malheureusement, cette précieuse ressource est mise en péril par diverses activités humaines, dont l'industrie occupe une place prépondérante.

Lorsque nous pensons à la pollution industrielle, notre esprit se tourne souvent vers le ciel sombre et enfumé des usines crachant leurs émissions toxiques dans l'air que nous respirons. Cependant, il ne faut pas sous-estimer le rôle majeur joué par ces mêmes industries dans la contamination silencieuse des sources d'eau douce qui irriguent nos terres et étanchent notre soif. Les principales causes de cette pollution sont multiples : déversements accidentels ou intentionnels de produits chimiques nocifs tels que métaux lourds (mercure), hydrocarbures (pétrole) ou pesticides.

Les rejets industriels, y compris ceux du textile, industrie cosmétique, plastique, alimentaire et pharmaceutique, etc. contiennent plusieurs types de colorants synthétiques. Ces colorants sont non biodégradables et très solubles dans l'eau. Ainsi, ils affectent la vie humaine et aquatique. Par conséquent, ces industries sont tenues de traiter correctement leurs effluents colorés avant de les rejeter dans le milieu naturel.

Cependant, la décoloration des rejets de textiles a fait l'objet de très nombreuses études afin d'éliminer ou de récupérer ces composés. Toutefois, l'adsorption demeure la technique classique la plus préconisée en raison de sa simplicité, son efficacité, sa facilité de mise en œuvre et son faible coût. Le charbon actif est l'adsorbant le plus communément employé, mais il reste très onéreux et nécessite en plus une régénération. Les recherches se sont alors axées sur l'utilisation des adsorbants de faible coûts, disponible localement et biodégradables.

## **INTRODUCTION GENERALE**

---

Dans notre présent travail, nous nous sommes intéressés à l'utilisation d'un matériau biologique riche en chitine qui est un produit de transformation successive d'exosquelettes (carapaces de crevettes).

L'objectif de notre étude est de valoriser la chitine extraite des carapaces de crevettes dans la dépollution des eaux et montrer l'intérêt du procédé d'adsorption sur la dégradation de colorants en solution aqueuse. Le colorant utilisé dans notre étude est la safranine (poudre).

Afin de mieux situer le contexte dans lequel s'inscrit ce travail, une synthèse bibliographique est présentée sur la pollution de l'eau, les colorants et les différents procédés d'épuration des eaux usées. La partie expérimentale de ce travail est consacré à la préparation et la caractérisation de la chitine, ainsi qu'à son utilisation dans l'élimination du colorant safranine par adsorption.



# **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

# **CHAPITRE I : POLLUTION DES EAUX**

**E** lément essentiel pour toute existence et fondamental pour l'économie de l'humanité, mais élément dont les réserves ne peuvent augmenter, l'Eau ne doit pas être gaspillée. Les pollutions, rupture avec l'équilibre naturel et avec les lois de la vie, sont un gaspillage du présent qui préfigure un vol pour l'avenir [1].

Le phénomène de pollution est lié aux origines de la vie et l'homme a éprouvé très tôt le souci de ne pas souiller l'eau [1].

### ***I.1 DEFINITION DE LA POLLUTION DE L'EAU :***

La pollution de l'eau se définit comme une détérioration de la qualité de l'eau, résultant d'une modification défavorable et nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques de cette dernière.

D'après la loi n°3 du 19 juillet 2003, « la pollution des eaux, est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques, et/ou biologiques de l'eau».

Une eau polluée est une eau altérée par les activités humaines suite à son usage dans le domaine domestique, industrielle ou agricole.

### ***I.2 ORIGINES DE LA POLLUTION DE L'EAU :***

La pollution de l'eau permanente est liée aux rejets industriels, aux eaux usées d'origine urbaine, à l'emploi des pesticides et engrais dans l'agriculture.

Selon W.Wesley Eckenfelder, (1982) la pollution de l'eau provient de quatre sources principales :

1. Les eaux usées domestiques ;
2. Les eaux usées industrielles ;
3. Le ruissellement dans les zones agricoles ;
4. Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes.

**I.2.1 POLLUTION DOMESTIQUE** : en provenance des habitations, elle est véhiculée par le réseau d'assainissement vers la station d'épuration.

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines. Ces dernières contiennent des matières organiques dégradables et des matières minérales, soit sous forme dissoute ou en suspension [2].

Les eaux usées domestiques se répartissent en :

- a) Eaux ménagères : ce sont les eaux de cuisine, de lessive et les eaux de toilettes. Elles sont chargées en matière grasse.
- b) Eaux de vannes : ce sont les eaux en provenance des sanitaires (WC). Elles sont chargées en matières azotées et germes fécaux.

**I.2.2 POLLUTION INDUSTRIELLE** : en provenance des industries, elle se caractérise par sa diversité suivant l'utilisation de l'eau.

Les eaux usées industrielles varient d'une industrie à une autre. Elles peuvent contenir des matières organiques, phosphorés, azotés, des solvants, des métaux lourds, hydrocarbures, etc[3].

**I.2.3 POLLUTION AGRICOLE** : elle résulte de l'élevage et de la culture des terres.

Les eaux usées d'origine agricole sont la cause potentielle des pollutions diffuses [4].

Cette pollution se caractérise par :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore...) provenant d'engrais et des purins (élevage) ;
- Présence de produit chimique de traitement (pesticides, herbicides...) [5].

**I.2.4 POLLUTION PLUVIALE** : issue du ruissellement de l'eau de pluies.

Les eaux pluviales constituent une source de pollution importante des cours d'eau, notamment en période orageuses [6]. Elles sont en contact direct avec l'atmosphère et le sol, de ce fait elles se chargent d'impuretés et ruissellent vers les cours d'eau, ainsi causant leur contamination.

### ***I.3 LES DIFFERENTS TYPES DE POLLUTION DES EAUX :***

**I.3.1 POLLUTION ORGANIQUE :** elle concerne les microorganismes pathogènes présents dans l'eau comme les bactéries et les virus [7].

La pollution par les matières organiques est en effet une des importante et une des plus répandue, elle est représentée par des substances plus ou moins biodégradables rejetées par certaines industries agroalimentaires et de conditionnement, elle comprend aussi des substances toxiques plus ou moins remuantes (phénols, hydrocarbures, tensioactifs, pesticides....etc.) et apparentés[8].

**I.3.2 POLLUTION BIOLOGIQUE :** une contamination microbiologique correspond à la présence dans l'eau de bactéries, de parasites ou de virus pathogènes. Essentiellement d'origine fécale, leur présence dans l'eau est principalement liée au rejet d'eaux usées insuffisamment épurées dans le milieu [9].

**I.3.3 POLLUTION THERMIQUE :** la pollution thermique correspond à l'augmentation ou la diminution de la température de l'eau par rapport à la température normale suite à l'action de l'homme et qui affectera la vie aquatique. Il s'agit d'une pollution diffuse, non visible et elle n'est donc pas toujours considérée comme une vraie pollution [8].

**I.3.4 POLLUTION RADIOACTIVE :** il s'agit de l'introduction, directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances radioactives dans l'environnement, susceptibles de contribuer ou de causer un danger pour la santé de l'homme [8]. Les eaux minérales puisées dans des terrains granitiques peuvent contenir du potassium 40, du radon ou de l'uranium dissous et sont ainsi plus radioactives que les eaux de surface [10].

**I.3.5 POLLUTION CHIMIQUE :** elle concerne les nitrates et les phosphates contenus dans les pesticides, les médicaments humains et vétérinaires, les produits ménagers, la peinture, les métaux lourds, les acides, ainsi que les hydrocarbures utilisés dans l'industrie [7].

**I.3.6 POLLUTION AGRICOLE :** cette pollution est causée principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et les pesticides, le ruissellement des engrais, l'utilisation de pesticides et les effluents d'élevage contribuent tous à la pollution des cours d'eau et des eaux souterraines [8].

### ***I.4 L'IMPACT DES REJETS INDUSTRIELS :***

Les rejets des activités industrielles dans les milieux aquatiques sont à l'origine de préoccupations environnementales et sanitaires car ils sont susceptibles de dégrader fortement et durablement la qualité de ces milieux, qui constituent des ressources essentielles. En effet, les rejets industriels contiennent fréquemment des contaminants et polluants multiples, dont il est nécessaire d'évaluer les dangers et les risques préalablement à leur libération dans les écosystèmes aquatiques.

Pour pouvoir être rejetés dans l'environnement, les effluents issus des procédés industriels doivent en effet satisfaire de nombreux critères de qualité visant notamment à maintenir leurs concentrations en polluants en dessous de valeurs seuils, inscrites dans un arrêté préfectoral d'exploitation. Pour respecter ces exigences, les effluents industriels font fréquemment l'objet de traitements de décontamination, préalablement à leur rejet, afin d'abattre les concentrations des substances dangereuses pour l'environnement et la santé humaine. Cependant, la composition chimique des eaux usées est en général complexe et variable en raison des variations de l'activité de l'entreprise productrice. Ceci rend délicate et difficile l'épuration de ces effluents malgré la mise en œuvre de technologies de traitements de plus en plus performantes. En règle générale, cette épuration ou décontamination (ou encore dépollution ou détoxification) n'est jamais complète et, bien qu'ils respectent les seuils réglementaires en vigueur, les rejets libérés dans les cours d'eaux ne sont pas totalement dépourvus de substances polluantes [11].

## **CHAPITRE II : LES COLORANTS**

**A**ussi loin qu'on puisse remonter dans l'Antiquité, on constate que l'homme a éprouvé un plaisir particulier à regarder des objets colorés, de sorte qu'il s'est ingénié très tôt à colorier certaines parties de son corps, ses vêtements, ses ustensiles, son habitation. Pour ce faire, il a utilisé d'abord « les terres colorées » que la nature lui offre, puis il a observé que certaines plantes, que certains animaux recelaient des composés colorés qu'il a réussi à extraire et à utiliser grâce à d'ingénieuses techniques [12].

En XIX<sup>e</sup> siècle, la chimie naissante vient apporter du changement en ce qui concerne l'utilisation des colorants. En 1856, un jeune chimiste anglais, William Perkin, observe en effet qu'en oxydant l'aniline impure dont on disposait alors il se formait un colorant mauve, soluble dans l'eau et l'alcool ; c'est ainsi qu'est né le premier colorant synthétique, connu depuis sous le nom de mauvéine [12].

### ***II.1 DEFINITION D'UN COLORANT :***

Un colorant par définition est une substance fortement colorée qui interagit avec le milieu dans lequel elle est introduite, et le colore en s'y dissolvant et en s'y dispersant [13].

Selon Larousse un colorant est une substance colorée, naturelle ou synthétique, qui, mise en contact avec un support, dans des conditions appropriées, se fixe sur ce dernier de façon durable en lui communiquant une certaine couleur.

Les colorants ont le pouvoir de donner une certaine couleur à un produit. Cette couleur est due aux ondes lumineuses. Un composé paraît coloré quand il absorbe une énergie rayonnante correspondant au spectre visible (de 380 à 750 nm) [13].

### ***II.2 CLASSIFICATION DES COLORANTS :***

Les colorants peuvent être soit inorganiques ou organiques, d'origine naturelle ou synthétique. La classification des colorants peut être faite selon plusieurs modes :

1. suivant la nature chimique (structure chimique de la molécule) ;
2. suivant leur propriété principale, et domaines d'applications.



**II.2.1 CLASSIFICATION CHIMIQUE :** cette méthode de classification se base sur la constitution chimique des molécules (leur structure).

**a) Colorants azoïques :** ces colorants sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque ( $-N=N-$ ) reliant deux groupes alkyles ou aryles identiques ou non [14].

L'introduction d'auxochromes dans l'azo-benzène, en position ortho ou para de la liaison azoïque, fournit le squelette des innombrables produits de ce groupe dans lequel on trouve des colorants appartenant à toutes les classes tinctoriales à l'exception des colorants de cuve [12].

**b) Colorants anthraquinoniques :** ces colorants sont classés deuxième parmi les colorants commerciaux. Dans leur formule générale dérivée de l'anthracène, on y trouve le chromophore étant un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines [15].

L'identification de l'alizarine avec la dihydroxy-1,2 anthraquinone attira l'attention sur cette quinone d'accès très facile (oxydation de l'anthracène du goudron de houille ou synthèse phtalique) [12].

**c) Colorants du triphénylméthane :** dérivés du méthane, ces colorants ont à la place des atomes hydrogènes des groupes phényles, liés à un carbone central [14].

En principe partant du diphenyl- ou du triphénylméthane, on obtient un colorant en introduisant, en para du carbone central, au moins deux auxochromes aminés ou hydroxylés, puis en oxydant en milieu acide [12].

**d) Phtalocyanines :** ces colorants ayant une structure complexe, possèdent un atome central métallique [14].

De découverte récente, due à l'étude minutieuse d'une impureté bleue observée dans la fabrication de la phtalimide, ce groupe ne renferme que peu de représentants. Il s'agit de complexes métalliques formés très facilement par 4 molécules de dicyanobenzène unies autour d'un atome métallique (Fe, Cu, Ni, etc.). La phtalocyanine elle-même est un beau pigment bleu [12].

e) **Colorants cyanine** : on classe ces colorants selon le nombre de groupes méthine (-CH=) dans la chaîne entre les deux systèmes cycliques, et selon la nature de la fraction cyclique présente [15].

Très différentes des autres colorants et initialement utilisées seulement par l'industrie photographique, les cyanines sont constituées par une chaîne polyméthinique de 1 à 11 ou même 13 carbones, portant aux extrémités des hétérocycles divers : quinoléine, benzothiazole, benzosélénezole [12].

f) **Colorants nitrés et nitrosés** : ces colorants forment une classe très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils ont une structure moléculaire simple, caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électro-donneur [15].

g) **Colorants indigoïdes** : les indigoïdes constituent le groupe le plus important de colorants naturels et les plus anciens colorants utilisés par la civilisation humaine [15]. Ces colorants tirent leur appellation de l'indigo [14].

h) **Colorants xanthènes** : les xanthènes sont des composés organiques tricycliques, constitués d'un cycle de pyrane encadré par deux cycles de benzène [14]. Ces colorants sont dotés d'une intense fluorescence [16].

**II.2.2 CLASSIFICATION TINCTORIALE** : cette méthode de classification repose sur le domaine d'application des colorants.

a) **Colorants basiques ou cationiques** : ce sont des sels d'amines complexes colorés ; l'anion est le plus souvent Cl<sup>-</sup>, HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Ces colorants basiques se caractérisent très facilement car ils sont précipités par les réactifs généraux des amines : acide picrique, tanin, hétéro-polyacides divers [12].

Les colorants cationiques possèdent différentes structures chimiques avec des groupements aromatiques substitués. Ils sont azoïques, méthaniques, à base

d'anthraquinone, phtalocyanine...etc.[15]. Ces colorants sont dotés d'une très bonne solubilité.

**b) Colorants acides ou anioniques :** ce sont des sels alcalins d'acides sulfoniques ou carboxyliques colorés dans lesquels le cation ( $\text{Na}^+$  le plus souvent) ne joue pratiquement aucun rôle [12]. Les colorants acides appartiennent aux deux plus grandes classes chimiques : azoïques et anthraquinoniques [14]. Ils ont une bonne solubilité dans l'eau.

**c) Colorants réactifs :** de découverte assez récente, les colorants réactifs, solubles dans l'eau, présentent dans leur molécule des groupes fonctionnels susceptibles de réagir chimiquement sur les fibres textiles avec formation de liaisons covalentes [12]. Des halogènes relativement mobiles ou des groupes vinyles activés sont les fonctions le plus couramment utilisées.

Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores issues essentiellement des familles azoïque, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une formation chimique réactive [14].

**d) Colorants directs :** les colorants directs sont des colorants anioniques solubles dans l'eau. Ils sont essentiellement des colorants azoïques ou aussi des phtalocyanines [14].

Ces colorants sont classés selon de nombreux paramètres tels que : le chromophore, les propriétés de solidité ou les caractéristiques d'application [15].

**e) Colorants dispersés :** ce sont des colorants synthétiques pour substrats hydrophobes. Ils sont définis comme étant insolubles dans l'eau [15].

**f) Colorants à mordant :** dès les temps les plus reculés, on avait observé que certains oxydes métalliques formaient, avec des colorants convenables, des associations particulièrement résistantes. De là était née la pratique du mordantage qui consiste à déposer au sein des fibres (de textile), avant la teinture, un oxyde métallique [12].

Les colorants à mordant se lient à un matériau pour lequel ils n'ont que peu ou pas d'affinité, et cela par l'ajout d'un mordant, qui augmente l'interaction entre le colorant et le matériau. La plus part de ces colorants sont azoïques ou triphénylméthanés [15].

**g) Colorants de cuve :** les colorants de cuve dont l'indigo constitue le représentant le plus anciennement utilisé et le plus connu. Leur principe consiste à solubiliser provisoirement le colorant (pour qu'il y est une affinité avec le matériau à teindre).

Les colorants de cuve sont des quinones complexes dont la réduction forme des hydroquinones solubles dans les alcalis [12].

Ce groupe de colorants compte que trois colorants naturels seulement : l'indigo (comme il est initialement mentionner), pastel et le violet tyrine [15].

### ***II.3 ASPECT TOXICOLOGIQUE :***

Les colorants sont des composés difficilement biodégradables par les microorganismes, ils sont toxiques ou nocifs pour l'homme et les animaux [17].

**II.3.1 TOXICITE SUR LA SANTE HUMAINE :** plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. Les impacts dangereux sur la santé sont dus à certaines capacités de ces colorants qui peuvent :

- Être mutagènes ;
- Être Génotoxiques ;
- Entraîner des cancers de la thyroïde ;
- Entraîner des tumeurs des glandes surrénales ;
- Contenir des substances cancérigènes ;
- Avoir des actions sur le système nerveux central ;
- Inhibition ou déficit de certains enzymes ;
- Augmentation de la perméabilité intestinale [18].

Les travaux de recherche qui ont été réalisés sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont bien montré que les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane sont souvent suspectés de l'eczéma et d'ulcération.

Ces travaux confirment ceux de Desoille, qui a enregistré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermites.

Selon Desoille, des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques.

Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérigènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie [19].

Le bleu de méthylène peut entraîner des cas d'anémie après une absorption prolongée. Les dérivés du triphénylméthane provoquent l'eczéma et des troubles gastriques (diarrhées). Une des plus graves conséquences de l'usage des colorants synthétiques réside en des effets cancérigènes suite à leur ingestion répétée [19].

Les colorants azoïques sont les plus toxiques en comparaison avec les autres colorants, des études ont montré que plusieurs colorants azoïques sont toxiques et mutagènes. De même, les colorants métallifères sont parmi les substances qui représentent de grands risques pour la santé de l'homme. Ils peuvent aussi causer des dégâts sur les réseaux d'assainissement et des perturbations des traitements biologiques dans les stations d'épuration à cause de leur toxicité élevée [19].

**II.3.2 TOXICITE DES MILIEUX AQUATIQUES** : les principales questions environnementales soulevées par les activités de l'industrie concernent essentiellement les rejets dans l'eau, les émissions dans l'air ainsi que la consommation d'énergie [20].

Les rejets d'effluents des industries textiles, chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire grandement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité pourrait être liée à la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Par ailleurs, leur très faible biodégra-

dabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible. De ce fait, ils peuvent persister longtemps dans ce milieu, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore (pouvoir d'auto épuration des cours d'eau, inhibition de la croissance des végétaux aquatiques...) et dans la faune (destruction d'une catégorie de poissons, de microorganismes...)[19].

### II.4 NORMES DE REJETS :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépassée ou une limite inférieure à respecter.

**II.4.1 NORMES INTERNATIONALES** : les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) respectives pour les eaux usées.

**Tableau II.1** : Normes de rejets Internationales [21].

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6,5-8,5
DBO <sub>5</sub>	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<0,5 mg/l
NO <sub>2</sub>	1mg/l
NO <sub>3</sub>	<1 mg/l
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<2 mg/l
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

**II.4.2 NORMES ALGERIENNES** :les normes de rejets des effluents industriels résultent de la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, de l'ordonnance n° 96-13 du 15 Juin 1996 modifiant et complétant la loi n° 83-17, du décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides des industriels et du décret exécutif n°06-141 du 19 Avril 2006 de la république algérienne démocratique définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

**Tableau II.2** : Les normes Algériennes de rejets des effluents liquides [21].

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
PH	-	6,5-8,5
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	120
MES	mg/l	35
Azote total	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
Furfural	mg/l	50
Hydrocarbures	mg/l	10
Plomb	mg/l	0,5
Fer	mg/l	3
Mercure	mg/l	0,01
Cuivre	mg/l	0,5
Zinc	mg/l	3

## **CHAPITRE III : EPURATION DES EAUX**



**L**a croissance démographique s'accompagne d'un développement des activités humaines (industrie, agriculture, activités domestiques) avec pour conséquence une production plus importante de rejets polluants qui viennent notamment dégrader la qualité de l'eau. Or, notre ressource en eau n'est pas inépuisable.

Si nos eaux usées ne sont pas systématiquement nettoyées avant d'être rejetées dans le milieu naturel, elles risquent de détériorer l'environnement qui ne serait alors plus en capacité de fournir suffisamment d'eau, augmentant le risque de pénurie. C'est pourquoi l'assainissement de nos eaux usées est absolument essentiel pour préserver nos ressources naturelles [22].

### *III.1 DEFINITION DE L'EPURATION :*

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour réutiliser ou recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable.

L'épuration des eaux est le processus de nettoyage et de traitement des eaux usées avant leur retour dans l'environnement. Les eaux usées peuvent contenir des polluants tels que des produits chimiques, des matières organiques, des bactéries et des virus qui peuvent être dangereux pour la santé humaine et l'environnement.

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité suffisamment différente de l'eau tel que les grains de sables et les particules minérales, comme elle consiste éventuellement à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore....etc.)[6].

Les eaux usées sont traitées en station d'épuration, avant d'être rejetées en milieu naturel. Cette eau ne sera pas potable, mais d'une qualité élevée.

### **III.2      *NECESSITE DE L'EPURATION DES EAUX :***

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives)[23].

Une station de traitement des eaux vise à réduire la nocivité des eaux usées par voie biologique et physico-chimique avant rejets dans le milieu naturel et efforce à atteindre les objectifs suivants :

- Protection de la nappe phréatique contre la pollution ;
- Éviter aux agriculteurs l'irrigation des terres agricoles avec les eaux usées ;
- Minimiser le risque des maladies à transmission hydrique ;
- Réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation ;
- Économie importante de l'eau ;
- Éviter la surexploitation des nappes souterraines [24].

### **III.3      *PROCEDES D'EPURATION DES EAUX USEES :***

**III.3.1      *PROCEDES BIOLOGIQUES :*** le traitement des eaux usées dans les stations de traitement biologique et d'épuration fait appel à différentes techniques : soit **la culture fixe** ou **la culture libre**.

#### **a.      *Culture fixe :***

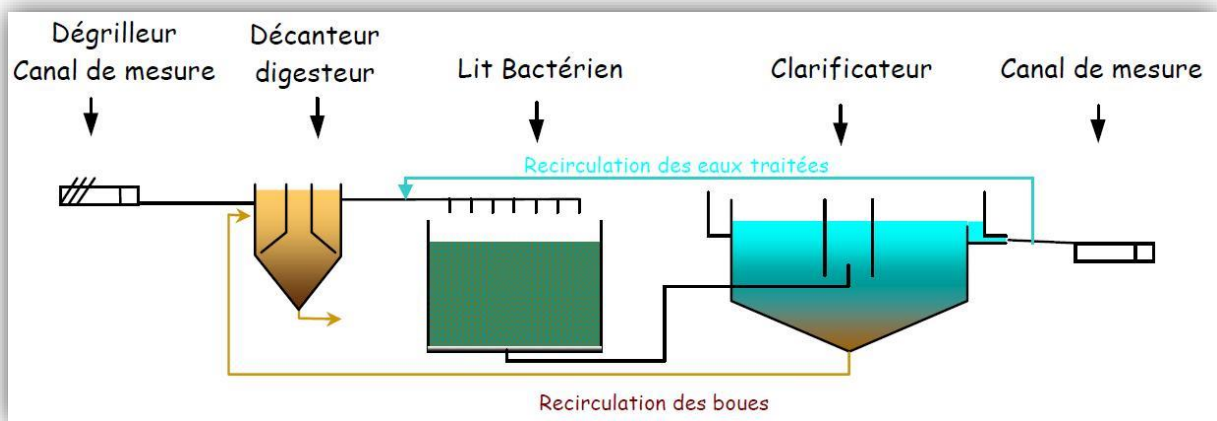
Une station est dite à culture fixe quand elle contient au sein de son bioréacteur des supports solides où les micro-organismes responsables du traitement des eaux sont fixés [25].

### ✚ Lits bactériens :

Dans ce procédé, après une décantation primaire précédée ou non d'une floculation, l'effluent à épurer est dispersé au moyen d'un distributeur rotatif à la surface d'un lit bactérien constitué soit par un empilement de matériaux inertes tels que pouzzolane, granit, coke, soit par des tubes cloisonnés, soit par des plaques en matière plastique (tours d'oxydation).

Sur ces supports, les micro-organismes se développent en constituant une zooglé ou masse mucilagineuse formée par l'association de divers micro-organismes intervenant dans l'épuration de l'effluent. L'eau s'écoule au travers du lit bactérien par les interstices dans le cas des lits classiques ou ruisselle le long de parois dans les autres.

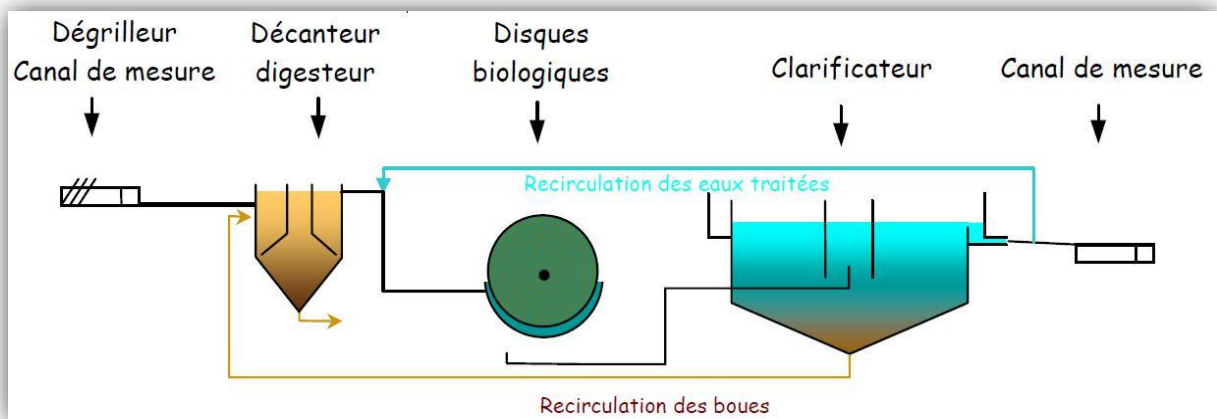
Les polluants sont adsorbés puis métabolisés au niveau des zooglé. L'oxygénation de l'ensemble est assurée par une circulation d'air naturelle ou forcée au travers du lit [26].



*Figure III.1* : Schéma de traitement des eaux usées par lit bactérien.

### ✚ Disques biologiques :

Le dispositif est constitué d'une série de disques en matière plastique à surface ondulée de 3 mètres de diamètre environ et montés sur un axe horizontal. Ces disques sont immergés à 40% approximativement dans un bassin recevant l'eau à traiter. Les disques sont suffisamment espacés de manière à ce que l'eau puisse circuler librement. Lorsqu'ils subissent une rotation autour de leur axe, les parties submergées entrent en contact avec l'air. Le film biologique qui recouvre les disques est alternativement en contact avec l'eau usée et l'air. Ceci est analogue à ce qui se passe dans un lit bactérien traditionnel alimenté par sprinkler (distributeur rotatif). L'excès de biomasse se détache des disques et est évacué avec l'effluent puis décanté [27].



*Figure III.2* : Schéma de traitement des eaux usées par disques biologiques.

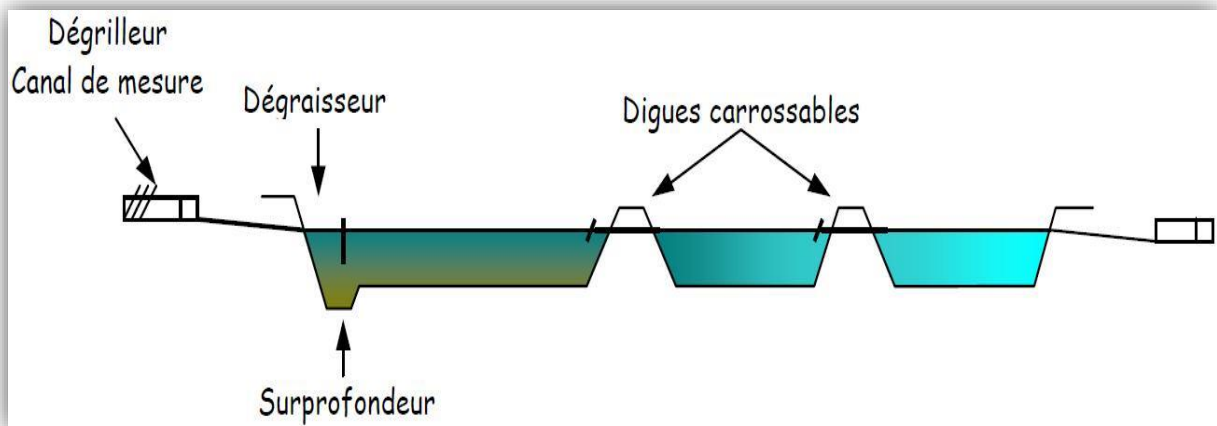
### b. Culture libre :

Les dispositifs à culture libre permettent d'assurer le traitement des eaux usées suivant le principe d'une dégradation aérobie (avec oxygène) des eaux usées par des micro-organismes en culture libre (bactéries). Les stations agissent par une oxygénation forcée qui développe de manière importante des bactéries aérobies. Ces micro-organismes dégradent les matières polluantes de l'eau. Le système d'aération est généré par un supprimeur, un compresseur ou turbine [25].

### ✚ Lagunage :

Le lagunage classique se rapproche par sa conception de l'auto-épuration dans les lacs ou les bassins de retenue. Après une floculation chimique partielle préliminaire et une décantation, on fait arriver l'effluent à épurer dans des bassins peu profonds (1 m au maximum) où s'opère une épuration naturelle. L'inconvénient de ce procédé est qu'il faut disposer de vastes superficies de façon à avoir un temps de rétention atteignant parfois plusieurs dizaines de jours suivant la charge et la nature des effluents. Le procédé est un peu coûteux, mais nécessite de grandes surfaces de terrain imperméables (50 kg de DBO éliminés au maximum par hectare et par jour). En outre, les basses températures réduisent considérablement les rendements [26].

Dans le cas du lagunage aéré, on prévoit des bassins moins étendus mais plus profonds (2 à 3 m). Il est indispensable de favoriser l'oxygénation du milieu au moyen d'un système d'aération, soit par aérateur de surface, soit encore à l'aide de brosses métalliques rotatives. Le rendement du lagunage est alors fortement augmenté (de 1000 à 1500 kg/ha/j de DBO éliminée) [26].

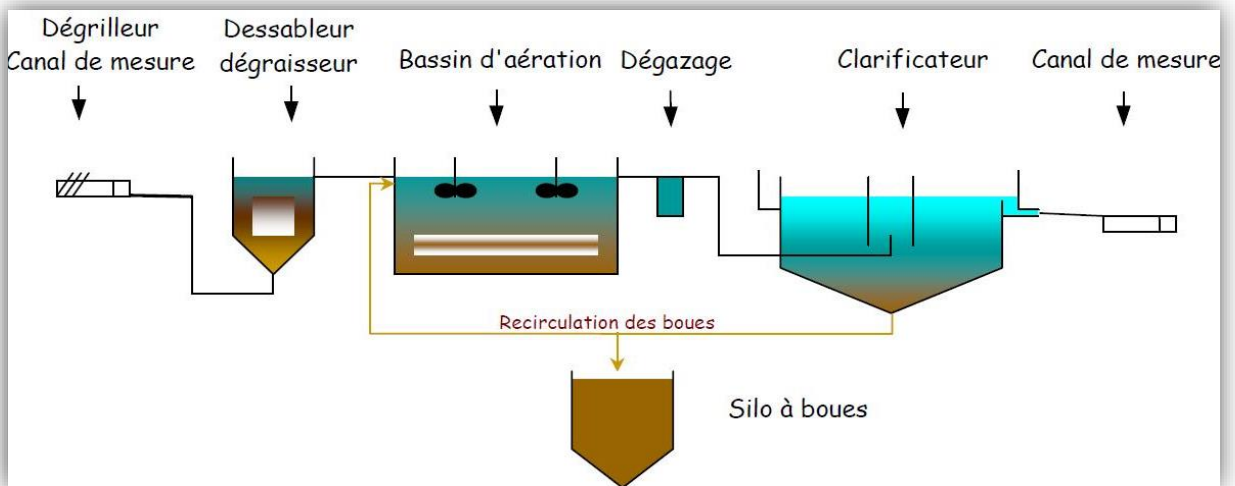


**Figure III.3** : Schéma de traitement des eaux usées par lagunage.

### ✚ Boues activées :

Après un traitement éventuel et une décantation, l'effluent s'écoule dans une cuve d'oxydationensemencée au besoin avec une flore adaptée. On réalise une oxygénation ménagée du milieu par insufflation d'air ou tout autre procédé mécanique. Il en résulte la formation de particules floconneuses (floc) appelées "boues activées". Ces flocons sont constitués par des agrégats de matières organiques et minérales et de divers micro-organismes (bactéries, algues, champignons... etc.). Dans un premier temps les polluants solubles ou insolubles s'adsorbent sur le floc, puis ils sont ultérieurement utilisés par les micro-organismes [26].

Après une durée d'aération variable suivant les cas, les effluents séjournent dans un décanteur secondaire puis sont rejetés à la rivière. Une partie des boues décantées est recyclée en tête des cuves d'aération, réalisant ainsi un ensemencement massif en micro-organismes adaptés. L'autre partie, constituant l'excédent de boues, est soutirée, puis soumise à une minéralisation soit dans un digesteur fonctionnant en anaérobie, soit dans des bassins d'oxydation en aérobie [26].



**Figure III.4** : Schéma de traitement des eaux usées par boues activées.

**III.3.2 PROCÉDES PHYSICO-CHIMIQUES** : les filières physicochimiques utilisent des moyens physiques (décantation, flottation, filtres et membranes) et/ou des produits chimiques, notamment des coagulants (chlorure ferrique, sulfate d'aluminium...) et des floculants. On les utilise pour certains effluents industriels (toxiques) ou lorsque l'on doit gérer des variations rapides des flux à traiter (cas des stations d'épuration de communes touristiques, ou lorsqu'avec un réseau unitaire on veut faire face à l'arrivée d'eau de pluie) [28].

### Procédés membranaires :

Les procédés membranaires sont des techniques de séparation par perméation à travers une membrane, sous l'action d'un gradient de pression. La séparation se fait en fonction des tailles moléculaires des composés, mais aussi de leur forme, leur structure, leur polarisabilité, leur solubilité, de la présence de co-solubilité de matériau et de la configuration de la membrane, des paramètres opératoires, etc. les techniques membranaires regroupent la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF), et l'osmose inverse (OI) [16].

Leurs actions se différencient par la taille des pores de la membrane qui est de l'ordre de 0.1 à 10 micromètre pour la microfiltration, 10 nanomètre à 1 micromètre pour l'ultrafiltration, quelques nanomètres pour la nanofiltration et une structure dense. Ces techniques de filtration sont utilisées pour récupérer et réutiliser une eau [14].

### Procédés de coagulation-floculation :

La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent d'accélérer la décantation gravitaire des particules en suspension dans l'eau. Ce procédé est basé sur l'addition d'un coagulant qui va former des floes avec les polluants organiques. Ces floes sont ensuite éliminés par décantation et filtration. Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules en suspension et produire des floes, sont : le sulfate d'aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , l'aluminate de sodium  $\text{NaAlO}_2$ , le chlorure ferrique  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , le sulfate ferreux  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , le sulfate ferrique  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Ces procédés ont donné des résultats satisfaisants pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants de cuve, mais

sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques [14].

### **Echange d'ions :**

L'échange d'ions est le procédé au moyen duquel les ions d'une certaine charge (positive ou négative) contenue dans une solution sont éliminés et remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par un solide (l'échangeur d'ions). Ainsi, les métaux précieux ou nobles, tel que l'argent ou le cuivre et les substances nocives, comme le cyanure, peuvent être récupérés et remplacés par d'autres ions sans valeur ou moins nocif [16].

### **Procédé d'adsorption :**

L'adsorption est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules (adsorbat) présents dans un effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide (adsorbant). Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physicochimiques de l'adsorbat. Ce procédé de séparation est très utilisé pour la décoloration des eaux usées contenant différentes variétés de colorants [14].

Le charbon actif est un adsorbant efficace pour une large gamme de colorants, mais son prix élevé et la difficulté de sa régénération limitent son utilisation dans le traitement des colorants. Par ailleurs, la recherche et la mise au point de nouveaux adsorbants naturels, abondants, économiquement rentables et efficaces pour le traitement des écosystèmes est un grand challenge. Des bio-adsorbants comme les déchets agricoles, forestiers, algues ont montré une rentabilité prometteuse pour l'élimination des colorants [14].

**III.3.3 PROCÉDES CHIMIQUES :** les techniques d'oxydation chimique sont généralement appliquées quand les procédés biologiques sont inefficaces. Elles peuvent être ainsi utilisées en étape de prétraitement pour les procédés biologiques. L'oxydation chimique est souvent appliquée pour le traitement des eaux usées contenant des polluants non biodégradables et/ou toxiques et de fortes concentrations que les autres procédés ne peuvent pas traiter ou transformer en pro-



duits biodégradables et/ou non toxiques. Ainsi, l'oxydation chimique se révèle un procédé efficace de traitement des eaux usées [16]. On distingue :

- les procédés classiques d'oxydation chimique
- les procédés d'oxydation avancée.

### ✚ Les procédés classiques d'oxydation chimique :

Les procédés classiques d'oxydation chimique sont basés sur l'ajout d'un agent oxydant dans la solution à traiter. Les principaux agents oxydants sont :  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$  [16].

### ✚ Les procédés d'oxydation avancée :

Les procédés d'oxydation avancée (POA), sont fondés sur la formation d'une entité radicalaire extrêmement réactive : le radical hydroxyle ( $\bullet\text{OH}$ ) qui possède un temps de vie très court, un potentiel d'oxydation élevé et une forte réactivité vis-à-vis de nombreux composés organiques [29].

## **PARTIE PRATIQUE :**

# **CHAPITRE IV : MATÉRIELS ET MÉTHODES**

Dans ce chapitre, nous décrivons le matériau utilisé dans notre étude pour l'élimination d'un colorant. Un bref aperçu sur la caractérisation du matériau et les protocoles exploités dans l'adsorption du polluant en mode batch sont présentés.

### ***IV.1 DEFINITION DU MATERIAU :***

Le matériau utilisé dans cette étude est la carapace d'un crustacé riche en chitine. Il s'agit des exosquelettes de la crevette (*Aristeus antennatus*).



***Figure IV.1 :*** Photo de la carapace de la crevette.

Ce choix repose sur le fort pouvoir adsorbant de la chitine, qui lui permet d'éliminer des effluents industriels, les métaux lourds, les molécules aromatiques et phénoliques ainsi que les colorants. La chitine, qui existe dans les carapaces des crustacés, est présente sous forme de muco-polysaccharides intimement associés au calcaire de la coquille (30 à 50 % de carbonate de calcium) ; liés par des liaisons covalentes aux protéines (20 à 40 %) et aux pigments tels que caroténoïdes et astaxantine et aux lipides. Le pourcentage de la chitine dans la carapace de la crevette est à 22%.

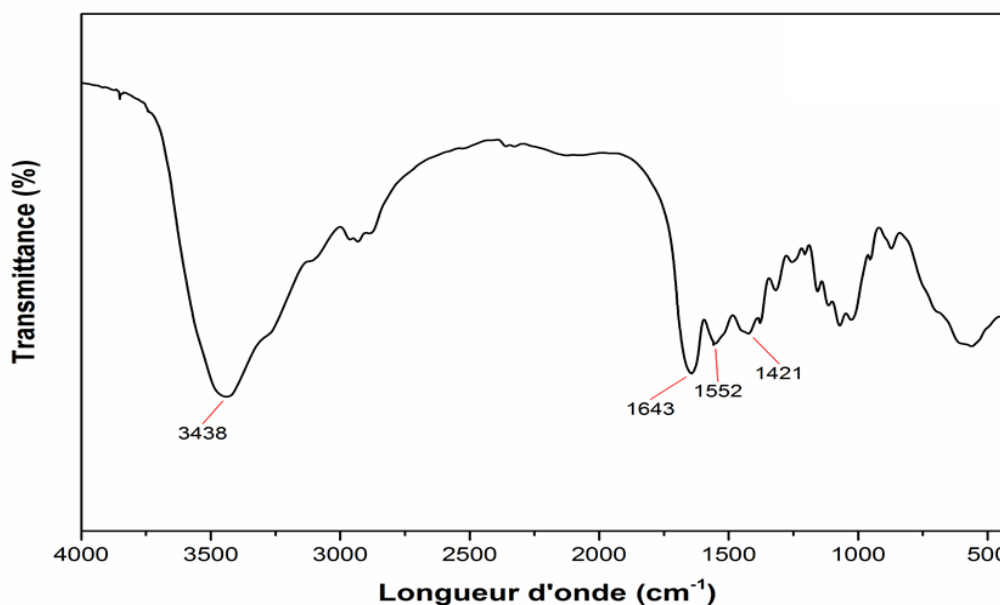
### IV.2 PRÉPARATION DU MATÉRIAU :

- a) **Collecte** : Les carapaces de la crevette utilisées dans cette étude ont été collectées à partir des déchets de cuisines.
- b) **Lavage** : Le matériau a été lavé avec de l'eau du robinet à plusieurs reprises afin d'éliminer la chair, le gras et les salissures.
- c) **Séchage** : En premier, le matériau a été séché à l'air libre, puis il a été mis dans l'étuve à une température de 40°C pendant deux jours.
- d) **Broyage et tamisage** : Afin d'avoir un matériau homogène avec une granulométrie de 500  $\mu\text{m}$ .

Le produit obtenu a été conditionné dans un flacon étanche jusqu'à utilisation. Et a été nommé :

- Carapace brute de la crevette : CRV.

#### IV.2.1 ANALYSE INFRAROUGE À TRANSFORMÉE DE FOURIER :



*Figure IV.2* : Spectre FTIR du matériau CRV.

Le spectre FTIR a été obtenu à l'aide d'un spectromètre Nicolet 360 dans la gamme 500 à 4000  $\text{cm}^{-1}$ . L'échantillon a été préparé sous forme de pastille d'une dispersion de matériau dans KBr.

Le spectre obtenu est caractérisé par trois importantes bandes d'amide.

La bande à  $1643\text{ cm}^{-1}$  correspond au groupe amide I qui est assigné aux vibrations d'élongation des groupes C=O [30], sachant que les groupes C=O correspondent aux carbonates de calcium. La bande à  $1552\text{ cm}^{-1}$  correspond au groupe amide II qui est assignée aux vibrations de l'élongation des groupes N-H [30], et la bande à  $1309\text{ cm}^{-1}$  correspond au groupe amide III qui est assignée aux vibrations de l'élongation des groupes C-H [30].

Le spectre montre une large et intense bande à  $3438$  et  $3446\text{ cm}^{-1}$ , ces deux bandes sont assignées aux groupes amino et aux groupes hydroxyles [31].

### IV.2.2 DETERMINATION DU pH<sub>pzc</sub> :

#### a) Définition :

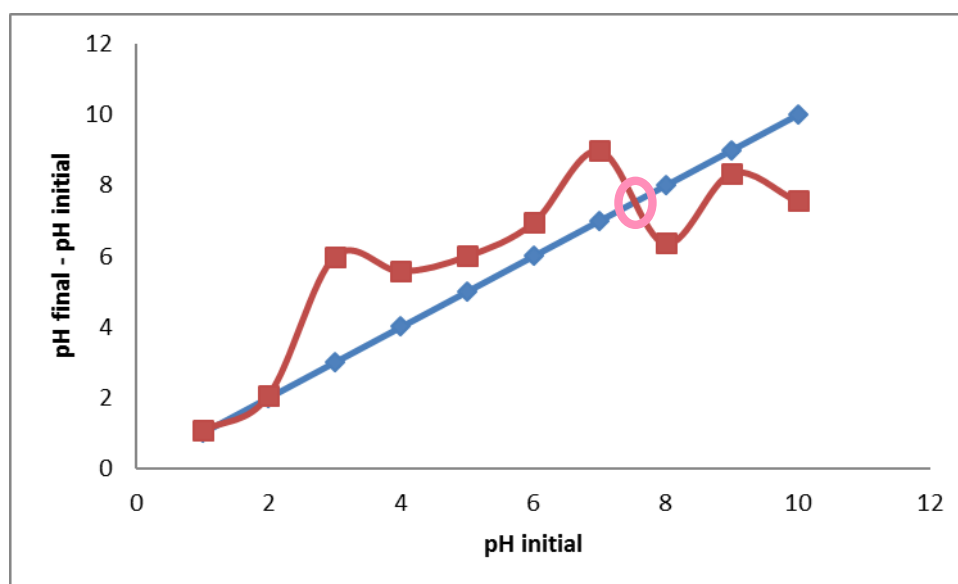
Le pH<sub>pzc</sub> est le paramètre du point de charge nulle de la surface du matériau. Il correspond à la valeur du pH à laquelle la somme des charges positives du solide équilibre la somme des charges négatives de la surface du solide. En outre, la surface est chargée positivement quand les valeurs du pH sont inférieures à la valeur du pH<sub>pzc</sub> et elle est chargée négativement quand les valeurs du pH sont supérieures au pH<sub>pzc</sub> [32].

#### b) Protocole de la détermination du pH<sub>pzc</sub> :

Nous avons utilisé la méthode décrite par Ouazani et al pour déterminer expérimentalement le pH<sub>pzc</sub> du matériau étudié.

Des suspensions ont été préparé de (50 ml de NaCl plus 10 mg de matériau) à différentes valeurs de pH, allant de 1 jusqu'à 10. Pour ajuster le pH de la solution ; on ajoute soit du HCl de 0,1 mole ou soit de NaOH de 0,1 mole. Les suspensions sont agitées pendant 24h à température ambiante. Chaque solution est ensuite filtrée à l'aide d'un papier filtre et une nouvelle mesure du pH est effectuée.

On trace la courbe représentant  $\text{pH}_{\text{final}} - \text{pH}_{\text{initial}} = f(\text{pH}_{\text{initial}})$ . Le pH<sub>pzc</sub> correspond au point d'intersection de la courbe.



*Figure IV.3* : Courbe de détermination du pH<sub>pzc</sub> du matériau CRV.

D'après le graphe, nous constatons que le pH<sub>pzc</sub> du matériau CRV est à proximité de 7.33.

### ***IV.3 ADSORBAT :***

Le polluant utilisé comme adsorbat dans notre étude est la safranine.

La safranine est un colorant industriel, solide à l'état poudre de couleur rouge foncé, il appartient à la famille des colorants basiques qui sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau.

La safranine appelée le 3,7-diamino -2,8-diméthyl -5-phénylphenolazine chloride, elle est utilisée dans la coloration de Gram à la place de la fuschine, et largement utilisée dans les industries du textile pour teindre la laine, le coton, et la soie. Son contact peut causer des irritations de la peau et de l'œil, il peut également causer des dommages permanents à la cornée et la conjonctive [33].

**Tableau IV.1** : caractéristiques physico-chimiques de la safranine.

<b>Colorant</b>	Safranine
<b>Formule moléculaire brute</b>	$C_{20}H_{19}ClN_4$
<b>Nomenclature (UICPA)</b>	3,7-diamino -2,8-diméthyl -5-phénylphenolazine chloride
<b>Apparence</b>	Poudre rouge foncé (lorsqu'il est dissous dans l'eau, il devient rose)
<b>Etat physique</b>	Solide
<b>Solubilité dans l'eau (g/l)</b>	50 à 25°C
<b><math>\lambda_{max}</math> (nm)</b>	519
<b>Odeur</b>	Inodore
<b>Masse molaire (g/mol)</b>	350,85
<b>Densité volumique (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	400

#### **IV.4 MÉTHODE D'ANALYSE :**

Du fait de sa couleur apparente, le colorant safranine présente la propriété d'absorber sélectivement certaines radiations du spectre de la lumière blanche. Cette propriété est utilisée pour mesurer la concentration en colorant dans l'eau. Cette méthode qui est la spectrophotométrie est rapide et reproductible permet une analyse immédiate et fiable.



### IV.4.1 SPECTROPHOTOMETRIE UV-VISIBLE :

#### ➤ Définition :

La spectrophotométrie d'absorption est une technique basée sur la propriété de la matière. En particulier, certaines molécules ont la capacité d'absorber la lumière à certaines longueurs d'ondes d'un spectre UV-visible. Cette technique permet de réaliser des dosages grâce à la loi de Beer-Lambert, qui montre une relation de proportionnalité entre l'absorbance et la concentration, elle permet également une étude structurale des complexes par l'étude des spectres d'absorption [34].

On parle de spectrophotométrie lorsque les radiations électromagnétiques rencontrent la matière. Ces interactions sont observées dans le domaine UV-visible (UV de 200 à 400 nm et visible de 400 à 800 nm) [34].

#### ➤ Principe :

Le spectrophotomètre que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques. Les analyses sont effectuées sur un spectrophotomètre par un ordinateur piloté d'un logiciel. Les longueurs d'ondes maximales sont obtenues directement par balayage automatique entre 200 et 800 nm. Des cuves en quartz de 1 cm de trajet optique sont utilisées. Des échantillons témoins sans adsorbants sont préparés afin de vérifier qu'il n'y aucune interférence au cours du temps. Les mesures des concentrations résiduelles ont été obtenues par interpolation à l'aide de la courbe d'étalonnage. Le spectre d'absorption de la molécule du colorant Safranine présente un maximum d'absorption à  $\lambda = 519$  nm. Sur la base de ce résultat on établit la courbe d'étalonnage.

#### ➤ La loi de BEER LAMBERT :

Lorsque la cuve contenant la solution est placée dans le spectrophotomètre, elle reçoit un rayonnement d'intensité  $I_0$ . Une partie de cette lumière incidente notée  $I_0$  est absorbée par le milieu, tandis que la partie restante notée  $I$  est transmise. L'intensité  $I$  du rayonnement issu de la cuve est donc inférieure à l'intensité du rayonnement initial  $I_0$ .

La fraction de la lumière incidente est absorbée par une substance de concentration  $C$  contenue dans une cuve de longueur  $L$ , on obtient alors la relation de Beer-Lambert :

$$\text{Abs} = \log(I_0/I) = \epsilon \cdot L \cdot C$$

Avec:

**Abs** : absorbance (densité optique) (-) ;

**$\epsilon$**  : coefficient d'extinction molaire (coefficient d'absorption molaire) ( $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) ;

**L** : largeur (épaisseur) de cuve (cm) ;

**C** : concentration de la solution ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

➤ **Préparation de la solution mère** : notre solution mère de safranine utilisée durant toutes les expériences et dont la concentration est de 1 g/l (1000 mg/l) à été préparé à partir de la safranine poudre.

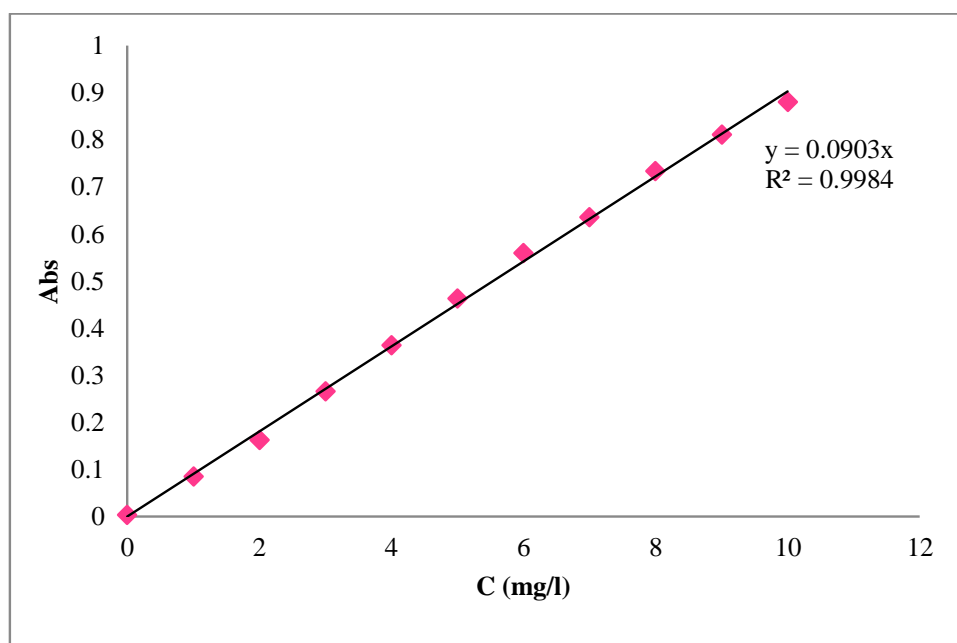
- On doit peser une masse de 500 mg de safranine poudre
- Cette masse de 500 mg est versée dans une fiole jaugée de 500 ml
- On remplit la fiole avec de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge et on agite bien jusqu'à la dissolution complète de notre solution.

➤ **Courbe d'étalonnage** :

La courbe d'étalonnage a été obtenue en mesurant par spectrophotométrie UV-visible les densités optiques en fonction des concentrations des solutions filles.  $\text{Abs} = f(C)$ .

**Tableau IV.2 :** valeurs de concentrations des solutions filles en fonction de leurs absorbances.

C	ABS
0	0,0033
1	0,0851
2	0,1622
3	0,2657
4	0,3638
5	0,4629
6	0,5589
7	0,6362
8	0,733
9	0,8107
10	0,881



**Figure IV.4 :** courbe d'étalonnage du colorant safranine.

La courbe obtenue est une droite qui passe par l'origine avec un coefficient de corrélation de 0,99.



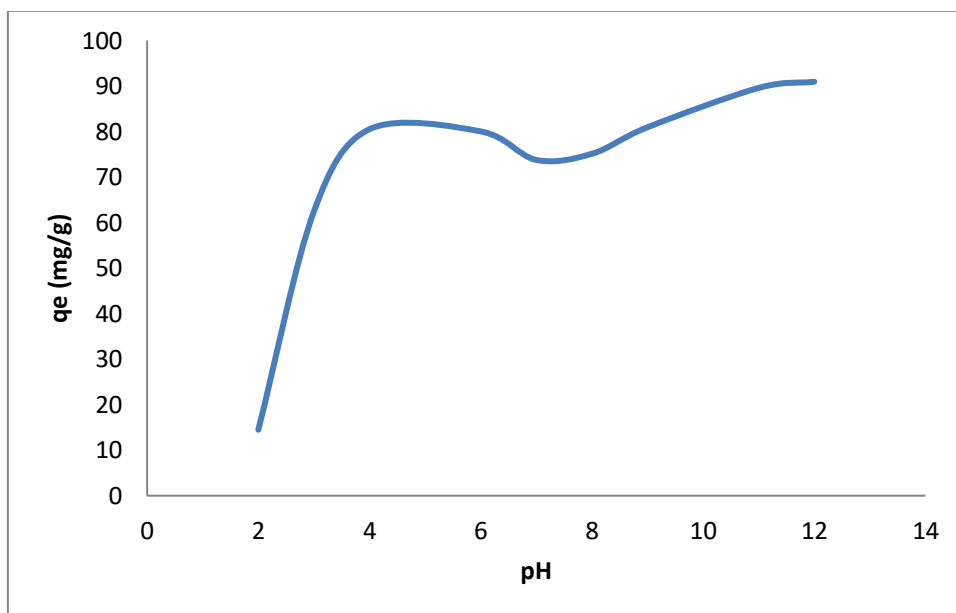
**CHAPITRE V : ELIMINATION DU  
COLORANT SAFRANINE PAR LA  
CARAPPACE DE LA CREVETTE  
BRUT**

## CHAPITRE V : ELIMINATION DU COLORANT SAFRANINE PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE BRUT

Notre étude s'est focalisée sur la rétention du colorant safranine sur la carapace de la crevette qui s'est orientée essentiellement sur l'étude de l'effet de température.

### *V.1 INFLUENCE DU pH INITIAL SUR L'ÉLIMINATION DE LA SAFRANINE :*

Des suspensions de 25 mg de carapace de crevette CRV dans 50 ml de solutions de safranine à une concentration de 50mg/l sont mises sous agitation magnétique pendant 120 min. les pH des solutions ont été ajustés allant de 1 jusqu'à 12. La température de l'expérience est la température ambiante. Les suspensions sont alors filtrées puis les surnageants sont soumis à la procédure d'analyse par spectrophotométrie UV-visible.



**Figure V.1 :** Influence du pH sur l'élimination de la Safranine par CRV.

## **CHAPITRE V : ELIMINATION DU COLORANT SAFRANINE PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE BRUT**

---

La figure V.1 présente l'influence du pH sur la fixation de la safranine sur le matériau CRV. D'après le graphe, les quantités du colorants adsorbées sont en croissance au niveau des pH faibles, précisément jusqu'au pH 4 ( $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ ), puis elles diminuent jusqu'au pH 7. Au-delà du pH 7, les quantités de la safranine adsorbées augmentent et elles dépassent les 90 mg/g au niveau du pH 12 ( $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$ ).

Du fait que la safranine est un colorant cationique, cela explique la forte interaction entre l'adsorbant chargé négativement ( $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$ ) et le colorant au niveau des pH élevés.

### ***V.2 EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR L'ÉLIMINATION DU COLORANT SAFRANINE :***

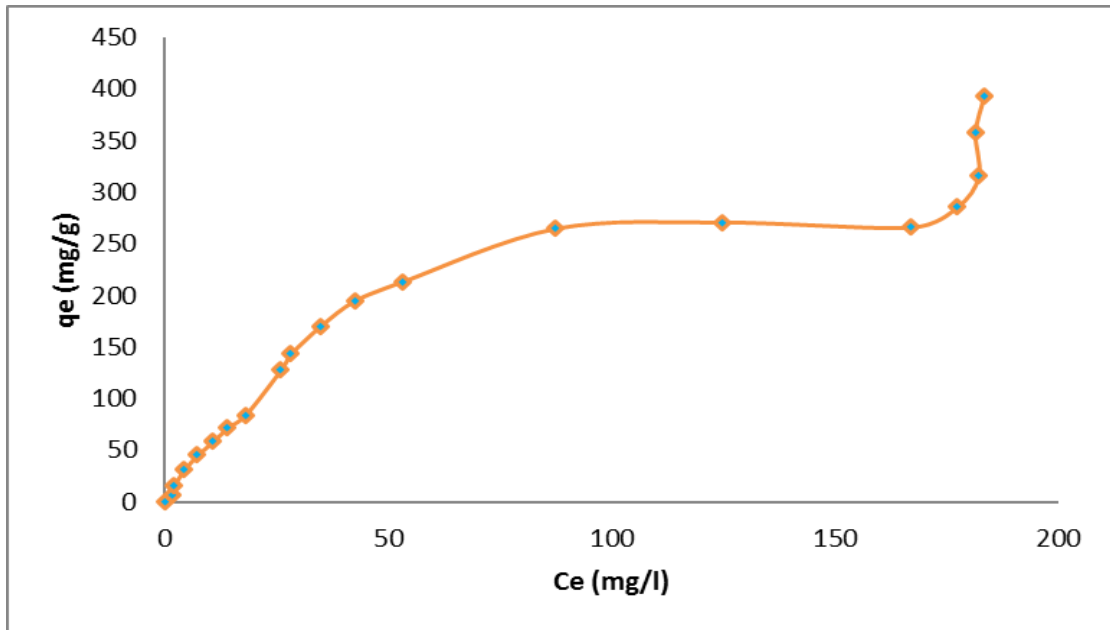
#### **V.2.1 ETABLISSEMENT DES ISOTHERMES D'ADSORPTION :**

Les isothermes d'adsorption de la safranine sur la carapace de la crevette à l'état brut CRV sont déterminées pour deux températures : 25 et 35°C. Elles sont exploitées afin de calculer les paramètres thermodynamiques et ainsi mettre en évidence la nature endothermique ou exothermique de la fixation.

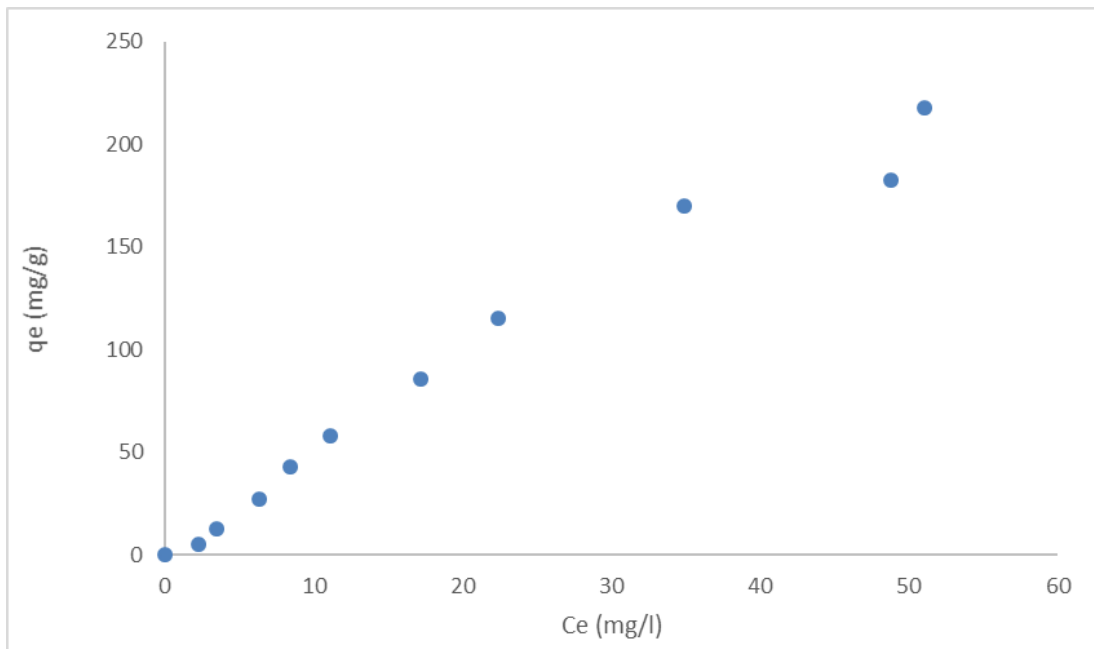
Des suspensions de 25mg de matériau CRV dans 50ml de solution de safranine à différentes concentrations allant de 10 à 400 mg/l sont placées sous agitation pendant une heure et demie. Les suspensions sont thermo statées aux températures choisies. Le pH choisi est le pH de la solution. L'analyse est effectuée après filtration par spectrophotométrie UV- visible.

Nous représentons sur des figures séparées les différentes isothermes pour bien visualiser l'évolution de l'adsorption pour chaque température.

## CHAPITRE V : ELIMINATION DU COLORANT SAFRANINE PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE BRUT



*Figure V.2* : Isotherme de la Safranine sur le matériau CRV à T 25°C.



*Figure V.3* : Isotherme de la Safranine sur le matériau CRV à T 35°C.



## CHAPITRE V : ELIMINATION DU COLORANT SAFRANINE PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE BRUT

---

D'après les résultats expérimentaux obtenus par la figure V.2, l'isotherme d'adsorption du colorant safranine sur le matériau CRV à 25°C (carapace de la crevette) est de forme sigmoïdale de type L3, Selon la classification de Giles [35]. Il s'agit de la formation de la monocouche à la multicouche. Elle peut se produire quand les molécules du colorant adsorbées sur la surface du matériau changent de forme d'organisation ou de rangement. C'est-à-dire le passage de l'alignement horizontal vers le vertical.

En plus, la figure V.2 montre que la partie initiale de la courbe correspondante au matériau CRV, présente un palier long, d'après Giles la signification du palier long représente une barrière de haute énergie qui empêche l'adsorption additionnelle de se produire qu'après la saturation de la monocouche [35].

Les résultats expérimentaux obtenus par l'étude d'isotherme d'adsorption de la safranine sur le matériau CRV à 35°C sont de type S3 d'après la classification de Giles. Dans ce cas, le site récepteur peut être occupé par une infinité de molécules.

### V.2.2 MODELISATION DES ISOTHERMES D'ADSORPTION PAR LE MODELE BET :

Les isothermes d'adsorption obtenues de type L3 et de type S3, ont été représentées par le modèle de BET. Le modèle de BET est présenté par l'équation ci-dessous qui est une extension de la théorie de Langmuir pour l'adsorption de la monocouche à l'adsorption de la multicouche.

$$q_e = \frac{q_{BET} k_1 C_e}{(1 - k_2 C_e)(1 - k_2 C_e + k_1 C_e)}$$

Avec :

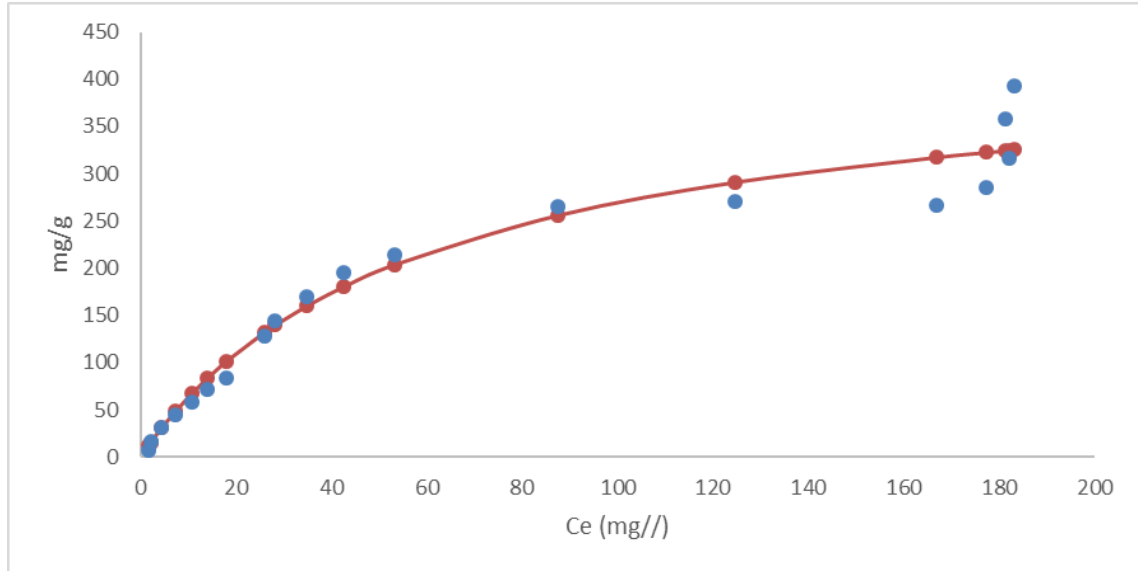
$q_{BET}$  : Capacité maximale d'adsorption de la monocouche (mg / g) ;

$k_1$  : Constante liée à l'énergie de la monocouche (l / mg) ;

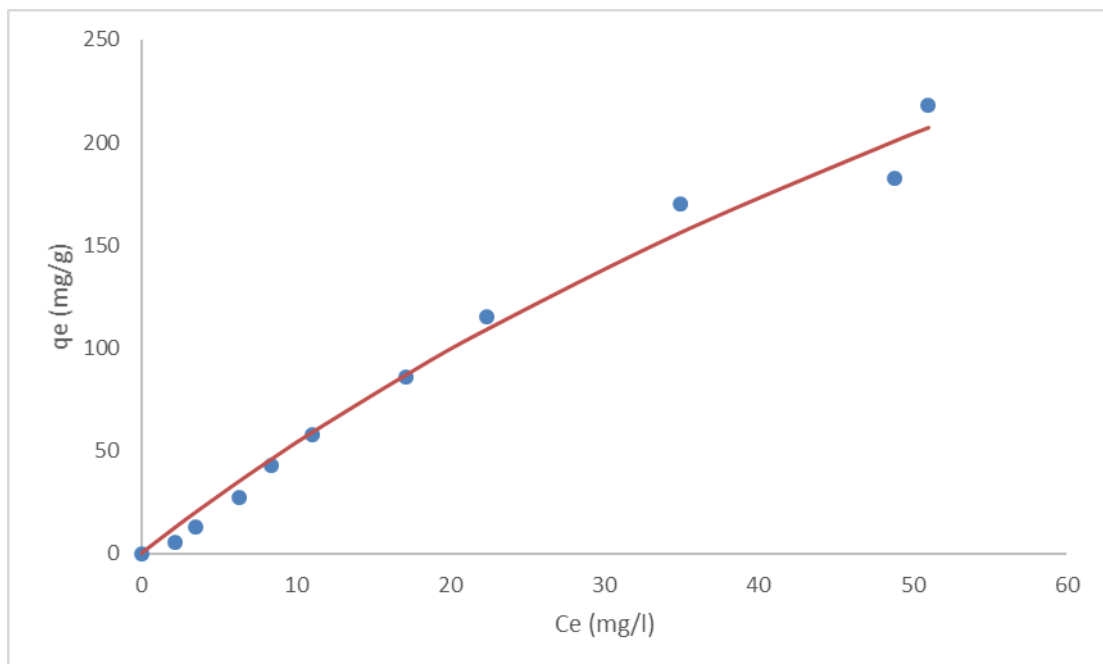
$k_2 = 1 / C_s$ , avec  $C_s$  est la concentration à la saturation (mg / l).

## CHAPITRE V : ELIMINATION DU COLORANT SAFRANINE PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE BRUT

Les valeurs des capacités maximales d'adsorption et des constantes d'équilibres d'adsorption adsorbant- adsorbant  $k_1$  et  $k_2$  sont regroupées dans le tableau 1.



**Figure V.4 :** Isotherme d'adsorption de la Safranine sur le matériau CRV à 25°C par le modèle de BET.



**Figure V.5 :** Isotherme d'adsorption de la Safranine sur le matériau CRV à 35°C par le modèle de BET.

## **CHAPITRE V : ELIMINATION DU COLORANT SAFRANINE PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE BRUT**

Le tableau suivant regroupe tous les paramètres du modèle de BET de l'adsorption du colorant la safranine sur la carapace de la crevette brut.

**Tableau V.1 : Récapitulation des paramètres de modèle de BET.**

<b>Paramètres</b>	<b>25°C</b>	<b>35°C</b>
<b><math>R^2</math></b>	0,978	0,993
<b><math>q_{BET}</math> (mg/g)</b>	415,888	491,518
<b>K1 (l/mg)</b>	0,0177	0,01191
<b>K2 (l/mg)</b>	0,0001	0,00128

### **V.2.3 DISCUSSION :**

D'après les figures V.4 et V.5, nous constatons que le modèle de BET simule favorablement les résultats expérimentaux obtenues à 35°C le coefficient de corrélation dépasse les 99%.

La valeur de  $k_1$  correspondante à 25°C est de 0,0177L/mg. Cette valeur est supérieure à celle qui correspond à 35°C. Cela indique que de faibles concentrations sont suffisantes à la saturation de la monocouche.

Les valeurs de  $k_2$  suivent l'ordre suivant,  $k_2 35^\circ\text{C} > k_2 25^\circ\text{C}$ , cela indique que la rétention du colorant sur le matériau CRV à 35°C est plus facile qu'à 25°C, cela est due probablement à la forte énergie entre les sites captifs du matériau et les groupements fonctionnels du colorant au niveau des températures supérieures à 25°C.

A partir du tableau V.I, la capacité d'adsorption du matériau CRV à 35°C est supérieure à celle qui correspond à 25°C.

## **CONCLUSION GENERALE**

Notre étude s'est focalisée sur la rétention du colorant safranine par la carapace de la crevette CRV en solution aqueuse à différentes températures. La difficulté de ce travail était la représentation mathématique des résultats expérimentaux par un théorème mathématique adéquat. Le seul et unique modèle qui a simulé favorablement les résultats expérimentaux est le modèle de BET. Les capacités d'adsorption maximales sont supérieures à 400mg/g pour les deux cas étudiés avec des coefficients de corrélation ( $R > 97\%$  pour  $25^{\circ}\text{C}$  et  $R > 99\%$  pour  $35^{\circ}\text{C}$ ).

Nous avons constaté dans cette étude que les interactions entre le matériau étudié CRV et la safranine diffèrent d'une température à une autre sous les mêmes conditions.

Les résultats expérimentaux correspondants à  $25^{\circ}\text{C}$  ont une allure sigmoïdale avec un palier long. Ceci suggère qu'il s'agit d'une adsorption de multicouches, d'après Giles la signification du palier long représente une barrière de haute énergie qui empêche l'adsorption additionnelle de se produire qu'après la saturation de la monocouche.

Par contre, les résultats expérimentaux correspondant à  $35^{\circ}\text{C}$  sont de type S3. D'après la littérature, cet isotherme de ce type, suppose que chaque site récepteur est occupé par une infinité de molécules de même énergie.



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [1] CHARTIER, Marcel. *Les types de pollutions de l'eau*. Norois, 1974, vol. 82, no 1, p. 183-193.
- [2] BENGOUGA, Khalila. *Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides*. 2010. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.
- [3] GHERARA, Nabila. *Étude des performances de la station d'épuration des eaux usées de la région HAOUD BERKAOUI*. 2019. Thèse de doctorat.
- [4] METAHRI, Mohammed Saïd. *Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes: cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou*. 2012. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
- [5] KRID, Loubna et BOULDJEDRI, M. *Évaluation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique des eaux du lac El-Kennar*. 2006. Thèse de doctorat. Université de Jijel.
- [6] DEHBI, Fatima Zohra. *Étude comparative des performances d'un lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf et d'un lit bactérien à garnissage plastique*. 2015. Thèse de doctorat.
- [7] <https://www.cieau.com/connaitre-leau/la-pollution-de-leau/pollution-ressource-eau-comment-reduire/>
- [8] BEN MEHRAZ, Ahcene et LOUELH, Djamel. *Contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager «ENIEM»*. 2016. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
- [9] <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-de-la-pollution-de-leau>



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

- [10] MARINE, Master En Hydrobiologie. *Contribution à l'étude de la qualité des eaux de baignade de la crique de la salamandre.*
- [11] MORIN-CRINI, Nadia, CRINI, Grégorio, et ROY, Laurent. *Eaux industrielles contaminées.* Presses universitaires de Franche-Comté, 2017.
- [12] H.WAHL, "*Colorants*" in Encyclopaedia Universalis, Vol.4, Encyclopaedia Universalis, 1980, p.714-720.
- [13] MECHEDDOU, Chahrazed et BARR, Kahina. *Valorisation des carapaces des crevettes dans la dépollution des eaux : Extraction du chitosane et optimisation des procédés.* 2018.
- [14] BERKANE, Nabila. *Développement et caractérisation de nouveaux adsorbants pour l'élimination des polluants organiques en solution aqueuse.* 2019. Thèse de doctorat. Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou.
- [15] TALHI, Amina et BOUKHALFA-DJEBBAR, Chahrazed. *Elimination d'un colorant industriel par des méthodes physico-chimiques cas du Noir Acide 210.* 2021. Thèse de doctorat. Université Frères Mentouri-Constantine 1.
- [16] BENGRINE, Asma. *Dépollution des eaux usées sur un support naturel Chitosane-Bentonite.* 2011.
- [17] BELOUETTAR, Ahlam-Hana. *Etude comparative des procédés d'élimination des colorants textiles.* 2017. Thèse de doctorat.
- [18] DIDI, Fela, BOULAHBEL, Abir. *Oxydation d'un polluant organique par le procédé d'oxydation avancé (POA)-procédé Fenton.* 2021. Thèse de doctorat. Université de Jijel.
- [19] BEN MESSAOUD, Nour El Houda. *Possibilité d'élimination d'un colorant diazoïque (Rouge Congo) par coagulation-floculation.* 2019. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[20] BELKHIR, Souhila, AFIF, Meriem, et AZIZI, Soulef. *Etude bibliographique sur la dégradation photoquatalitique d'un colorant organique par des oxydes métalliques supports, en solution aqueuse*. 2020.

[21] [http://learn.univ-sba.dz/pluginfile.php/37311/course/summary/Cours%20N%C2%B02\\_STEP.pdf](http://learn.univ-sba.dz/pluginfile.php/37311/course/summary/Cours%20N%C2%B02_STEP.pdf)

[22] <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/assainissement-eau-usees/>

[23] DEKHIL SOROR, W. et ZIABET, M. *Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville Bordj Bou Arreridj effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA*. Chimie, Master, Bordj Bou Arreridj : Université Mohamed El Bachir elibrahimi, 2013, p. 18.

[24] MR.Toubal, «*Cours qualité et traitement des eaux* », Master 1 environnement, P1.

[25] BECHOUA, Abdelkader et BEN ATIA, Aicha. *Phyto-épuration de la pollution organique des eaux usées domestiques Cas des plantes phragmites australis Ouargla Station de N'gousa*. Thèse de doctorat. Université KASDI-MERBAH Ouargla

[26] C.Gomella, G.Brebion, "*EAU-Approvisionnement et traitement*" in Encyclopaedia Universalis, Vol.5, Encyclopaedia Universalis, 1980, p.870-874.

[27] OUALI, Mohand Said. *Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux*. Alger, Ben Aknoun, Algérie : Office des Publications Universitaires, Mars 2008.

[28] [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89puration\\_des\\_eaux](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89puration_des_eaux)

[29] KHIR, Imane et ZEBAR, Rachda. *Elimination des micropolluants organiques par l'adsorption sur les argiles*. Thèse de doctorat. Université MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [30] Jaafarzadeh N, Menglizadeh N, Takdastann A, Heidari-Farsani M, Niknam N. *Adsorption of Zn (II) from aqueous solution by using chitin extraction from crustaceous shell*. J Adv Environ Health 2014 2(2): 110-9.
- [31] Kousha M, Tavakali S, Daneshvar E, et al. (2015) *Central composite design optimization of Acid Blue 25-dye biosorption using shrimp shell biomass*. Journal of Molecular Liquids 207: 266-273.
- [32] GATABI, Maliheh Pashai, MOGHADDAM, Hossain Milani, et GHORBANI, Mohsen. *Point of zero charge of maghemite decorated multiwalled carbon nanotubes fabricated by chemical precipitation method*. Journal of Molecular Liquids, 2016, vol. 216, p. 117-125.
- [33] S, ATTOUTI. *Activation des deux algues méditerranéennes par diverse méthodes pour l'élimination de colorants*. Thèse de doctorat. 2013.
- [34] MARTINE, NZONG MBA. *Analyse d'un mélange binaire par spectrophotométrie*.
- [35] C. H. Giles., T. H. MacEwan., N. Nakhwa., D. Smith. *Studies in adsorption. Part XI. 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*. (1960).







