

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

بمسكرة في: 28 / 06 / 2020

جامعة محمد خيضر - بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الكيمياء الصناعية

إذن بإيداع مذكرة الماستر بعد التصحيحات

أنا الممضي أسفله الأستاذ: حليماني آسيا

MCB

الرتبة:

أستاذ مشرف على مذكرة ماستر - للطالب (ة):

زياني هديجة اخوتي نرجيس

الشعبة: هندسة الطرائق

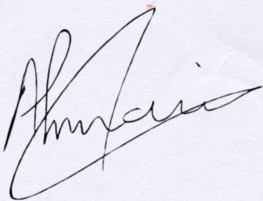
التخصص: هندسة كيميائية

بعنوان:

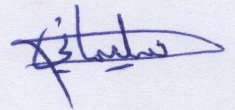
Etude et caractérisation d'un charbon préparé à partir d'épluchures de banane.

أرخص بإيداع المذكرة المذكورة.

رئيس لجنة المناقشة



الأستاذ المشرف



خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لاتجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد: حسن محمد جليل الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: حساب  
 الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 2.10.7.67.44 والصادرة بتاريخ: 20.02.4/08/08  
 المسجل بكلية: العلوم والتكنولوجيا القسم: الكيمياء السنة: السادسة  
 والمكلف بإنجاز أعمال بحث ( مذكرة التخرج ، مذكرة ماستر ، مذكرة ماجستير ، أطروحة  
 دكتوراه )، عنوانها: Etude et caractérisation d'un charbon  
Préparé à partir de peaux de banane

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إنجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2025/06/19

إمضاء المعنى

Khalim Nardjan



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Technologies**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie chimique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

**Ziani Khedidja**  
**Khouni Nardjes**

Le : 03/06 /2025

## Étude et caractérisation d'un charbon préparé à partir d' Épluchures de banane

---

### Jury :

|     |                |     |                      |            |
|-----|----------------|-----|----------------------|------------|
| Mme | Slimani Assia  | MCB | Université de Biskra | Rapporteur |
| Mme | Athmani Khaled | MCB | Université de Biskra | Président  |
| Mme | Almi Zineb     | MCB | Université de Biskra | Examineur  |

**Année universitaire : 2024- 2025**

## ***Remerciements***

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la volonté, la santé et la patience pour accomplir ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à Madame Assia Slimani pour sa supervision précieuse, ses conseils scientifiques judicieux et son accompagnement constant tout au long de ce travail. Je remercie également les ingénieurs du laboratoire de la Faculté des Sciences et de la Technologie pour leur soutien technique et leur collaboration efficace, qui ont largement contribué à la réussite de ce projet. Mes remerciements les plus sincères vont également aux ingénieurs du laboratoire « Diversité des Écosystèmes et Dynamiques des Systèmes de Production Agricoles en Zones Arides (DEDSPAZA) » pour leur appui scientifique et technique. Nous remercions aussi les honorables professeurs Khaled Athmani et Zineb Almi qui ont eu l'amabilité de présider les jurys de soutenance. Nous leur témoignons toute notre reconnaissance et notre estime. Recevez tous mes remerciements les plus sincères.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Merci

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*à mes parents*

*à mes frères et mes sœurs*

*à toute ma famille*

*à tous mes amis surtout: khadidja, Abir,*

*Wafa et Ahlam*

*à tous les personnes que j'aime*

*Nardjes*

## *Dédicace*

*Je rends grâce à Dieu et je dédie ce modeste travail à tous ceux  
qui me sont proches, en particulier : À ma mère qui a éclairé  
mon chemin, m'a encouragée et soutenue, À mon père qui m'a  
offert tout ce dont j'avais besoin tout au long de mes études, À  
mes frères et sœurs, À mes amis, Et à ma collègue dans ce  
travail, Nardjes*

*Khadidja*

# Sommaires

## Remerciements

## Dédicace

## Liste des Figures

## Liste des Tableaux

## Introduction générale ..... 1

### Chapitre I : procede d'adsorption

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| I .1.Introduction .....                               | 4  |
| I.2.Définition d'adsorption .....                     | 4  |
| I.3.Les type d'adsorption .....                       | 5  |
| I.3.1.L' adsorption physique.....                     | 5  |
| I.3.2.L' adsorption chimique . . . . .                | 5  |
| I.4.Mécanisme d'adsorption.....                       | 6  |
| I.5.Cinétique d'adsorption .....                      | 7  |
| I.5.1.Modèle du pseudo-premier ordre .....            | 7  |
| I.5.2.Modèle du pseudo-second ordre .....             | 8  |
| I.5.3.Modèle de la diffusion intra-particulière ..... | 9  |
| I.6. Modélisation de l'isotherme d'adsorption.....    | 9  |
| I.6.1.Modèle de Langmuir.....                         | 9  |
| I.6.2.Modèle de Freundlich.....                       | 11 |
| I.7.Domaine d'application d'adsorption.....           | 12 |
| I.8.Les adsorbants.....                               | 13 |
| I.9.Les grands type adsorbants.....                   | 13 |
| I.9.1.Les zéolithes.....                              | 13 |
| I.9.2.Les a lamines activées.....                     | 14 |
| I.9.3.Les gels de silice.....                         | 14 |
| I.9.4.Les argiles activées.....                       | 15 |
| I.9.5.Les charbon actifs.....                         | 15 |

## Références

### **Chapitre II : Généralités le charbon actif**

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| II.1.Introduction .....                                     | 18 |
| II.2.Définition .....                                       | 18 |
| II.3.Histoire du charbon actif.....                         | 19 |
| II.4.Les différentes formes du charbon actif.....           | 20 |
| II.4.1. Charbon actif en grain (CAG).....                   | 20 |
| II.4.2.Charbon actif en poudre(CAP) .....                   | 21 |
| II.4.3. Charbon actif extrude .....                         | 22 |
| II.5. Les type de charbon actif .....                       | 23 |
| II.5.1.Origine végétale.....                                | 23 |
| II.5.2.Origine animal.....                                  | 23 |
| II.5.3. Origine minérale .....                              | 23 |
| II.6.Structure et surface spécifique du charbon actif ..... | 23 |
| II.6.1.Structure du charbon actif.....                      | 23 |
| II.6.2.Surface spécifique du charbon actif.....             | 24 |
| II.7.Caractéristiques du charbon actif.....                 | 25 |
| II.7.1.Caractéristiques physiques.....                      | 25 |
| II.7.2.Les caractéristiques chimique.....                   | 25 |
| II.8.Préparation de charbon actif.....                      | 26 |
| II.8.1.La carbonisation.....                                | 26 |
| II.8.2.L'activation....                                     | 27 |
| II.8.3.1.Activation physique.....                           | 27 |
| II.8.3.2.Activation chimique.....                           | 27 |
| II.9.Domaine d'utilisation du charbon.....                  | 27 |
| II.9.1.Environnement.....                                   | 27 |
| II.9.2.Médecine.....                                        | 28 |
| II.9.3.Traitement.....                                      | 28 |

### **Références**

### **Chapitre III: Procédure expérimentale**

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| III.1.Introduction .....                     | 32 |
| III.2.Produits et matériels :.....           | 32 |
| III.3. Préparation de charbon actif :.....   | 34 |
| III.3.1. Préparation de charbons actifs..... | 35 |

## Sommaires

---

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| ▶ Lavage d'épluchures de banane.....                                  | 36 |
| ▶ Séchage .....                                                       | 37 |
| ▶ Broyage .....                                                       | 37 |
| ▶ Tamisage.....                                                       | 38 |
| ▶ Calcination .....                                                   | 38 |
| ▶ Activation chimique .....                                           | 39 |
| ▶ Lavage .....                                                        | 39 |
| III.4. Préparation de solution mère.....                              | 40 |
| III.4.1.La courbe d'étalonnage.....                                   | 41 |
| III.5.Effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption ..... | 42 |
| III.5.1. L'effet de pH .....                                          | 42 |
| III.5.2. L'effet de concentration.....                                | 45 |
| III.6. Préparation de solution mère.....                              | 45 |
| III.6.1.La courbe d'étalonnage .....                                  | 46 |
| III.7.Effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption ..... | 47 |
| III.7.1. L'effet de Ph.....                                           | 47 |
| III.7.2. L'effet de concentration.....                                | 49 |
| <b>Reference</b>                                                      |    |
| <b>Conclusion général</b> .....                                       | 52 |

# Liste des figures

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p style="text-align: center;"><b>CHAPITRE I</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PROCEDE D’ADSORPTION</b></p>                      |    |
| <b>Figure.I.1:</b> Schéma de le phénomène d’adsorption                                                                                   | 4  |
| <b>Figure.I.2:</b> Représentation de l'adsorption et de l'absorption.                                                                    | 5  |
| <b>Figure.I.3:</b> Mécanisme du transfert d'un adsorbat vers le site d'adsorption au sein d'un grain d'adsorbant (Manole Creanga, 2007). | 7  |
| <b>Figure.I.4:</b> Modèle d’adsorption de Langmuir.                                                                                      | 10 |
| <b>Figure.I.5:</b> Modèle d’adsorption de Freundlich.                                                                                    | 11 |
| <b>Figure.I.6:</b> Les gels de silice.                                                                                                   | 14 |
| <b>Figure.I.7:</b> Le charbon actif.                                                                                                     | 15 |
| <p style="text-align: center;"><b>CHAPITRE II</b></p> <p style="text-align: center;"><b>GENERALITES SUR LE CHARBON ACTIF</b></p>         |    |
| <b>Figure.II.1:</b> Le charbon actif.                                                                                                    | 19 |

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure.II.2:</b> Charbon actif en grain.                                                                              | 20 |
| <b>Figure.II.3:</b> Charbon actif en poudre.                                                                             | 21 |
| <b>Figure.II.4:</b> Charbon actif extrude                                                                                | 22 |
| <b>Figure.II.5:</b> Structure du charbon actif                                                                           | 24 |
| <b>Figure.II.6:</b> Représentation schématique de la surface interne et externe De charbon actif                         | 25 |
| <b>Figure.II.7:</b> Les différentes étapes pour la préparation du charbon actif.                                         | 26 |
| <p style="text-align: center;"><b>CHAPITRE III</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PROCEDURE EXPERIMENTALE</b></p> |    |
| <b>Figure III.1.</b> Épluchures de banane.                                                                               | 34 |
| <b>Figure III.2 :</b> Lavage d'épluchures de banane.                                                                     | 35 |
| <b>Figure III.3 :</b> Lavage des épluchures de banane.                                                                   | 36 |
| <b>Figure III .4:</b> épluchures de banane séchées à l'étuve.                                                            | 37 |

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure III .5:</b> Broyage des épluchures de banane                                                                                                    | 37 |
| <b>Figure III.6:</b> Tamiseuse vibrante.                                                                                                                  | 38 |
| <b>Figure III.7:</b> Calcination de la poudre d'épluchures de banane                                                                                      | 38 |
| <b>Figure III.8:</b> L'activation de la poudre d'épluchures de banane.                                                                                    | 39 |
| <b>Figure III .9:</b> Lavage de la poudre d'épluchures de banane                                                                                          | 40 |
| <b>Figure III.10:</b> La solution mère avec les solutions filles.                                                                                         | 40 |
| <b>Figure III.11 :</b> Courbe étalonnage d'adsorption du Rouge Congo.                                                                                     | 41 |
| <b>Figure III.12:</b> Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 10mg /l  | 43 |
| <b>Figure III .13:</b> Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 15mg /l | 43 |
| <b>Figure III.14:</b> Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 20mg /l  | 44 |
| <b>Figure III.15:</b> Effet de la concentration du colorant Rouge Congo sur la performance D'adsorption sur le charbon actif (issu des peaux de banane)   | 45 |
| <b>Figure III.16:</b> La solution mère avec les solutions filles.                                                                                         | 46 |

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure III.17:</b> Courbe étalonnage d'adsorption du $\text{CuSO}_4$ .                                                                                             | 46 |
| <b>Figure III.18:</b> Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 10mg /l              | 48 |
| <b>Figure III .19:</b> Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées À différents niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 15mg /l             | 48 |
| <b>Figure III .20:</b> Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées À différents niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 20mg /l             | 49 |
| <b>Figure III.21 :</b> Effet de la concentration de la solution de sulfate de cuivre sur la Performance d'adsorption sur le charbon actif (issu des peaux de banane). | 50 |

# Liste des tableaux

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Chapitre I : procede d'adsorption</b>                                                                                    |    |
| <b>Tableau.I.1:</b> Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique                                        | 6  |
| <b>Chapitre II : generalites sur le charbon actif</b>                                                                       |    |
| <b>Tableau.II.1:</b> Avantages et les Inconvénients de Charbon actif en grain                                               | 20 |
| <b>Tableau.II.2:</b> Avantages et les Inconvénients de Charbon actif en poudre                                              | 22 |
| <b>Chapitre III : procédure expérimentale</b>                                                                               |    |
| <b>Tableau.III:</b> Produits et matériels                                                                                   | 32 |
| <b>Tableau III.1 :</b> variation de l'absorbance en fonction de concentration de Rouge Congo.                               | 41 |
| <b>Tableau III.2:</b> variation de l'absorbance en fonction de concentration de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . | 46 |

## الملخص

يهدف هذا العمل إلى تحضير فحم نشط انطلاقاً من قشور الموز وتقييم كفاءته في امتزاز كل من صبغة أحمر الكونغو تم تحضير الفحم النشط عبر تنشيط كيميائي باستخدام هيدروكسيد . كبريتات النحاس من محاليل مائية وأيونات بعد التحضير، .، بعد المرور بعدة مراحل تشمل الغسل، التجفيف، الطحن، الغربلة، التكليس، ثم التفعيل (KOH) البوتاسيوم والتركيز (pH) تم اختبار قدرة الفحم على إزالة الملوثات من المحاليل، مع دراسة تأثير عدة عوامل مثل درجة الحموضة الابتدائي للملوث وسرعة التحريك. أظهرت نتائج الامتزاز فعالية عالية للفحم النشط في إزالة كل من أحمر الكونغو ، وأفضل امتزاز لأيونات النحاس في (pH = 2) وأيونات النحاس، حيث سُجِّلَت أفضل إزالة للصبغة في وسط حمضي تُظهر هذه النتائج أن الفحم النشط . كما لوحظ أن كفاءة الإزالة تتحسن بزيادة تركيز الملوث (pH = 12) وسط قاعدي المحضر من قشور الموز يُعدّ بديلاً واعدًا، صديقاً للبيئة ومنخفض التكلفة، ويمكن استخدامه بكفاءة لمعالجة المياه الملوثة.

## ABSTRACT

This work aims to prepare an active charcoal based on banana peels and evaluate its efficiency in adsorbing both Congo red pigment and copper sulphate ions from aqueous solutions. Activated charcoal was prepared through chemical activation using potassium hydroxide (KOH), after going through several stages including washing, drying, grinding, screening, calcination, and then activation. After preparation, the ability of the coal to remove contaminants from solutions was tested, studying the effect of several factors such as pH, initial concentration of the contaminant, and stirring speed. Adsorption results showed high effectiveness of activated charcoal in removing both Congo red and copper ions, with the best dye removal recorded in an acidic medium (pH = 2), and the best adsorption of copper ions in a basic medium (pH = 12). It has also been observed that the removal efficiency improves with increasing concentration of the pollutant. These results show that activated charcoal prepared from banana peels is a promising, environmentally friendly and low-cost alternative that can be used efficiently to treat polluted water.

## RÉSUMÉ

Ce travail vise à préparer un charbon actif à base de peaux de banane et à évaluer son efficacité pour adsorber à la fois le pigment rouge Congo et les ions sulfate de cuivre des solutions aqueuses. Le charbon activé a été préparé par activation chimique à l'aide d'hydroxyde de potassium (KOH), après être passé par plusieurs étapes comprenant le lavage, le séchage, le broyage, le criblage, la calcination, puis l'activation. Après la préparation, la

capacité du charbon à éliminer les contaminants des solutions a été testée, en étudiant l'effet de plusieurs facteurs tels que le pH, la concentration initiale du contaminant et la vitesse d'agitation. Les résultats de l'adsorption ont montré une grande efficacité du charbon actif pour éliminer à la fois les ions rouge Congo et cuivre, avec la meilleure élimination des colorants enregistrée dans un milieu acide ( $\text{pH} = 2$ ) et la meilleure adsorption des ions cuivre dans un milieu basique ( $\text{pH} = 12$ ). Il a également été observé que l'efficacité d'élimination s'améliore avec la concentration croissante du polluant. Ces résultats montrent que le charbon actif préparé à partir de peaux de banane est une alternative prometteuse, écologique et peu coûteuse qui peut être utilisée efficacement pour traiter l'eau polluée.

# Introduction générale

### Introduction Générale :

La sauvegarde de l'environnement s'est imposée comme une préoccupation primordiale dans notre société. Celle-ci est stimulée, en plus des études visant à diminuer les éléments générateurs de pollution, par un accroissement constant des recherches dédiées à l'amélioration des techniques de dépollution. [1]

Par conséquent, diverses techniques biologiques, physiques et chimiques comme l'ultrafiltration, la filtration sur membranes, la biodégradation microbienne, l'ozonisation et l'oxydation ont été mises en œuvre pour le traitement des rejets industriels. Cependant, de nombreuses méthodes sont onéreuses, surtout lorsqu'elles sont mises en œuvre sur des effluents à fort débit. [2]

Dans cette optique, l'adsorption est une méthode facile et largement employée pour la suppression des contaminants organiques et minéraux. Elle est utilisée tant pour les eaux polluées que dans les traitements tertiaires visant à perfectionner la qualité des rejets des stations d'épuration avant leur réemploi à des fins industrielles ou agricoles. De plus, l'implémentation de la méthode d'adsorption n'est pas coûteuse par rapport aux techniques actuellement employées. [3]

Le charbon actif est l'adsorbant le plus prisé, qui a été utilisé avec un grand succès. Toutefois, le charbon actif a un coût élevé et sa régénération et réutilisation le rend encore plus onéreux. Par conséquent, de nombreux chercheurs ont examiné la viabilité de l'utilisation de substances peu coûteuses pour l'élimination de diverses teintures et polluants des eaux usées. [4]

En gros, il existe deux méthodes distinctes pour la fabrication de charbon actif : l'activation physique et l'activation chimique. L'activation physique consiste à carboniser un précurseur carboné, puis à activer le charbon obtenu en présence d'agents activateurs. D'autre part, l'activation chimique implique la carbonisation du précurseur en présence d'agents chimiques. L'activation chimique présente davantage d'avantages par rapport à l'activation physique, notamment en termes de rendement supérieur, de surface plus importante et de meilleure élaboration des complexes de surface oxygénés à structure poreuse dans le carbone. [5]

La banane figure parmi les fruits les plus consommés à travers le monde. L'écorce de banane est principalement utilisée pour le compostage, l'alimentation animale ainsi que pour la production de protéines, de méthane, d'éthanol, de pectine et d'enzymes. Ses principaux composants sont la cellulose, la pectine, la chlorophylle et d'autres espèces de faible poids moléculaire. Les groupes carboxyle, hydroxyle et amide présents à la surface de la peau de banane jouent un rôle essentiel dans les processus d'adsorption.[6]

On trouve principalement des minéraux tels que le K, le Mg, le Na, le Ca et le Fe dans la pelure de banane. L'écorce de banane est un biomatériau lignocellulosique et économique, respectueux de l'environnement, qui se trouve en abondance.[7]

L'étude actuelle propose une méthode pour créer un produit à valeur ajoutée à partir de l'un des déchets agricoles et offre une alternative économique aux adsorbants commercialement disponibles.

## Bibliographie

- [1]Mémoire de Magister, "Etude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejetés industriels", Université des sciences et de la technologie Med-Boudiaf d'ORAN, P01-, DJIDEL TADJIA (22, 21 AVRIL 2011).
- [2]« Wastewater treatment », Hydrocarbon Processing, (ISSN 0887-0284), Beychok, Milton R, p. 109–112,( décembre 1971)
- [3] Remediation of dyes in textile effluent: 388 Adsorption du bleu de méthylène à critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. Bioresour. Technol. Robinson T, G. McMull an, R. March ant et P. Nigam, 77, 247-255, (2001).
- [4] International Journal of Environmental Management, Rice husk ash as an effective adsorbent:Evaluation of adsorptive characteristics for Indigo Carmine dye., 90, 710-720, U.R., Lakshmi, V.C. Srivastava, I.D. Mall and D.H. Lataye,( 2009)
- [5]M.A., Lillo-Rodenas, D., Carzrola-Ameros and A., Linares-Solano, Carbon, , 265(41),( 2003)
- [6]R.R. Mohammed and M.F. Chong, J. Environ. Manage. 132, 237 (2014)  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.031>
- [7]M. Soy lak, Y.E. Unsal, E. Yilmaz and M. Tuzen, Food Chem. Toxicol., 49, 1796 (2011); <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.04.030>

# Chapitre I

## Procede d'adsorption

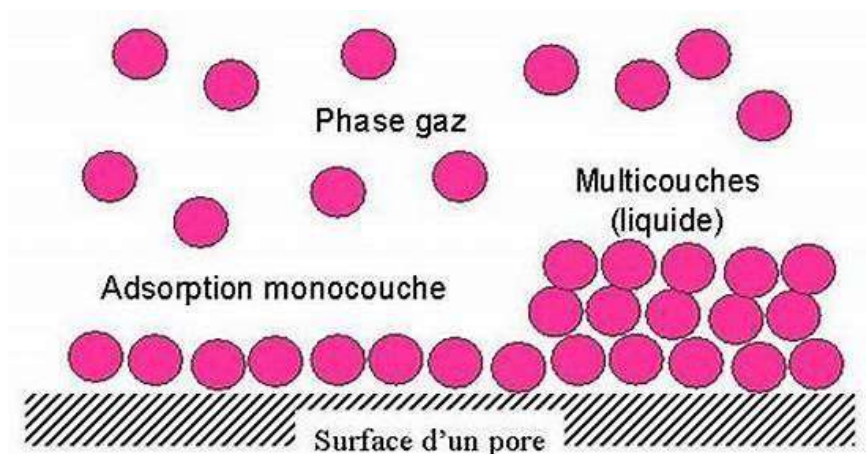
## I.1.Introduction

La technologie de séparation par adsorption est actuellement l'une des plus cruciales, elle trouve un usage répandu pour la dépollution et la purification dans divers secteurs, tels que les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, ainsi que dans les applications environnementales et pharmaceutiques. [14]

## I.2.Definition

L'adsorption est la capacité de toutes les substances solides à attirer sur leur surface des molécules de gaz ou de solutions avec lesquelles elles sont en contact. On appelle adsorbants les solides utilisés pour adsorber des gaz ou des substances dissoutes ; les molécules adsorbées sont généralement désignées comme l'adsorbat. [1]

L'adsorption est un processus de surface qui entraîne le transfert d'une molécule d'un milieu fluide vers une surface solide. Cela peut se produire en raison de forces physiques ou de liaisons chimiques. Généralement, ce processus est réversible (le processus inverse s'appelle désorption) ; il est donc à la fois responsable de l'élimination de substances et de leur libération. Dans la plupart des scénarios, ce processus est décrit à l'équilibre par le biais de certaines équations qui déterminent la quantité de substance fixée à la surface en fonction de la concentration dans le liquide. On les appelle isothermes (les plus connues étant les équations de Langmuir et de Freundlich) en raison de la dépendance de leurs paramètres vis-à-vis de la température. [2]



**Figure.I.1:** Schéma de le phénomène d'adsorption. [3]

### I.3. Les type d'adsorption

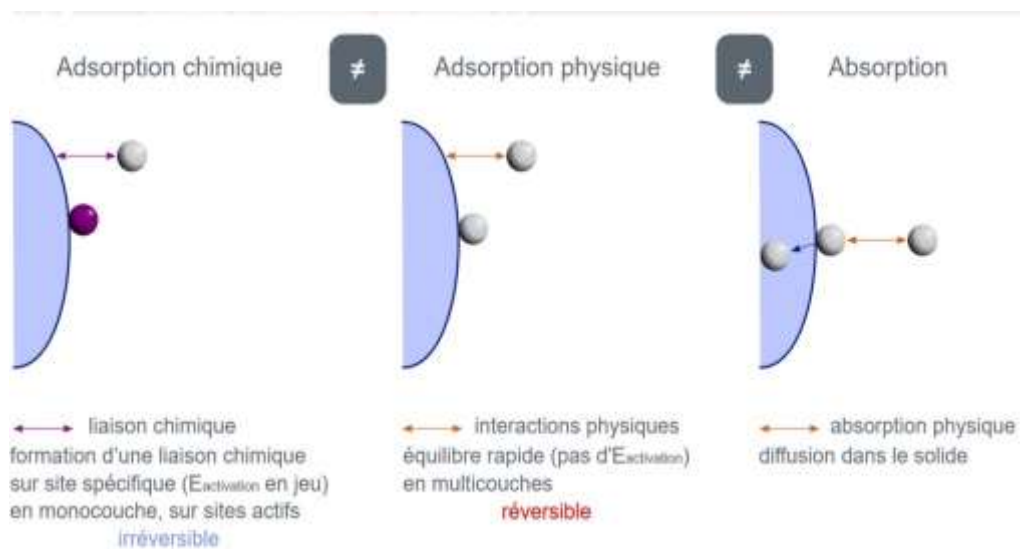
On distingue deux formes d'adsorption qui se caractérisent par les énergies impliquées et leur nature distincte.

#### I.3.1. L'adsorption physique

L'adsorption physique est similaire à la condensation des gaz en liquides et est déterminée par la force d'attraction physique, ou de van der Waals, entre le solide adsorbant et les molécules de l'adsorbat. L'adsorption physique ne présente pas de spécificité chimique, tout gaz peut être adsorbé sur n'importe quel solide si la température est suffisamment basse ou si la pression du gaz est suffisamment élevée. [1]

#### I.3.2. L'adsorption chimique

Dans l'adsorption chimique, les gaz se fixent à une surface solide grâce à des forces chimiques propres à chaque surface et à chaque gaz. L'adsorption chimique se produit généralement à des températures plus élevées que celles de l'adsorption physique ; de plus, l'adsorption chimique est habituellement un processus plus lent que l'adsorption physique et, comme la plupart des réactions chimiques, implique souvent une énergie d'activation. [1]



**Figure.I.2:** Représentation de l'adsorption et de l'absorption. [7]

**Tableau.I.1:** Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique. [17]

| <b>Propriétés</b>                  | <b>Physisorption</b>                                                     | <b>Chimisorption</b>                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Liaisons</b>                    | Van Der Waals                                                            | chimique                                                  |
| <b>Température du processus</b>    | Relativement faible comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat | Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat |
| <b>Individualité des molécules</b> | L'individualité des molécules est conservée                              | Destruction de l'individualité des molécules              |
| <b>Processus de désorption</b>     | facile                                                                   | difficile                                                 |
| <b>Cinétique</b>                   | Très rapide                                                              | lente                                                     |
| <b>Formation des couches</b>       | Multicouches                                                             | Monocouche                                                |
| <b>réversibilité</b>               | Réversible                                                               | Irréversible                                              |
| <b>Chaleur d'adsorption</b>        | 1 à 10 Kcal/mol                                                          | 10 Kcal/mol                                               |
| <b>Energies mises en jeu</b>       | Faibles                                                                  | Elevées                                                   |
| <b>Spécificité</b>                 | Non spécifique                                                           | Très spécifique                                           |

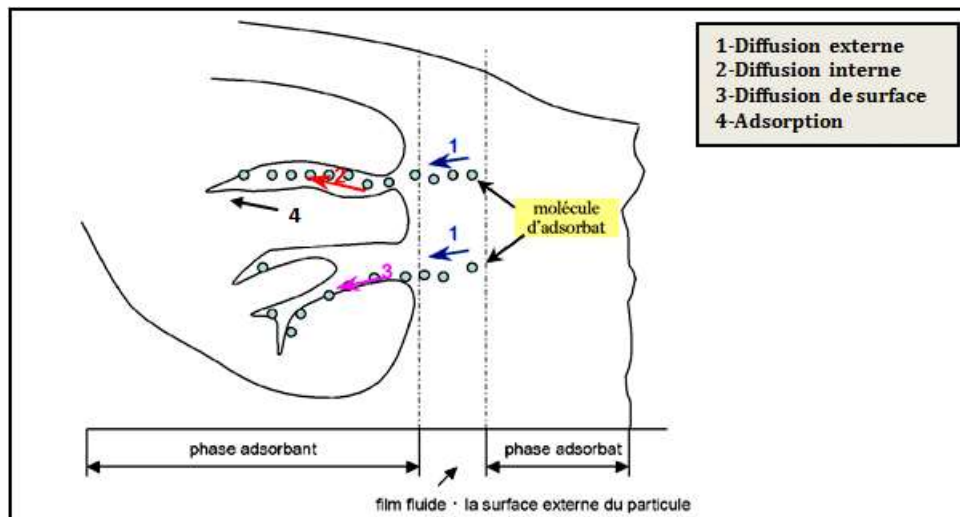
#### I.4.Mécanisme d'adsorption

L'équilibre d'un phénomène d'adsorption, régulé par la diffusion des molécules, est généralement atteint assez vite (de quelques secondes à quelques minutes). Cependant, cela peut s'étendre sur des périodes prolongées pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion des molécules à travers ces structures dont les dimensions sont comparables au diamètre des molécules du fluide. Le passage d'une phase liquide contenant l'adsorbat à une phase solide avec conservation du soluté à la surface de l'adsorbant se déroule en plusieurs phases.

1-Transfert de masse externe (diffusion externe), qui se rapporte au mouvement du soluté (molécules présentes dans la phase liquide) depuis l'intérieur de la solution jusqu'à la surface extérieure des particules.

2-Diffusion interne de masse au sein des pores (transfert de masse interne) qui se produit dans le liquide occupant les pores ; les molécules se déplacent de la surface des grains vers leur noyau à travers les pores.

3- Diffusion à la surface Pour quelques adsorbants, une contribution de la diffusion des molécules adsorbées à travers les surfaces des pores au niveau d'un grain d'adsorbant peut également être présente. [3]



**Figure.I.3:** Mécanisme du transfert d'un adsorbat vers le site d'adsorption au sein d'un grain

D'adsorbant (Manole Creanga, 2007). [3]

## I.5.Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption est l'étude de la quantité d'adsorbant adsorbée en fonction de la variation du temps. On peut obtenir la vitesse du processus d'adsorption en étudiant les cinétiques de l'adsorption. Il est avantageux d'examiner le fonctionnement global du processus d'adsorption et de juger la qualité de l'adsorbant. [5]

### I.5.1.Modèle du pseudo-premier ordre

La cinétique du PFO est connue sous le nom d'équation de taux de Lagergren. Dans ce modèle, la différence entre le nombre de molécules adsorbées sur les adsorbants à l'heure d'équilibre et à un moment spécifique est déterminée par le taux du processus d'adsorption. L'équation est employée pour définir le processus d'adsorption en suivant le modèle cinétique PFO.

$$\text{Log } (q_e - q_t) = \text{Log } q_e - \frac{k_1 t}{2.303}$$

Dans l'équation :

- ▶  $q_t$  (mg/g) représente la quantité de capacité d'adsorption au temps  $t$  (min).
- ▶  $k_1$  est la constante de vitesse du modèle cinétique PFO ( $\text{min}^{-1}$ ).
- ▶  $q_e$  (mg/g) symbolise la capacité d'absorption à l'état d'équilibre (min).

La représentation graphique de  $\log (q_e - q_t)$  en fonction de  $t$  produit une ligne droite, ce qui confirme l'adéquation du modèle cinétique PFO pour décrire la cinétique d'adsorption. Dans ce modèle, l'adsorption est uniquement déterminée par la nature des adsorbats. [6]

### I.5.2.Modèle du pseudo-second ordre

L'équation de réaction cinétique du modèle PSO est connue sous le nom d'équation de taux de Ho et McKay. Dans ce modèle, il est supposé que le partage ou l'échange d'électrons entre l'adsorbant et l'adsorbé constitue une étape limitante de la vitesse. La forme linéaire du modèle cinétique PSO peut être exprimée par l'équation suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Dans lequel :

- ▶  $q_t$  (mg/g) représente la quantité de capacité d'adsorption à un instant  $t$  (min).
- ▶  $q_e$  (mg/g) désigne la quantité de capacité d'adsorption au moment de l'équilibre (min).
- ▶  $k_2$  (g/mg/min) est le coefficient de vitesse du modèle cinétique PSO.

On peut obtenir l'adsorption à temps d'équilibre ( $q_e$ ) et la constante de vitesse ( $k_2$ ) à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine, respectivement. L'intrigue de  $t/q_t$  par rapport à  $t$  révèle une relation linéaire qui indique la pertinence de la cinétique PSO avec le mécanisme d'adsorption. Selon la cinétique PSO, le processus d'adsorption est régi par la chimisorption. [6]

### I.5.3.Modèle de la diffusion intra-particulière

Bien que les modèles cinétiques PFO et PSO soient deux approches efficaces pour déterminer le mécanisme du processus d'adsorption, ils ne permettent pas d'élucider le mécanisme de diffusion des molécules adsorbants sur les adsorbants. Le modèle de diffusion intra particulaire est un modèle adéquat pour examiner le processus d'adsorption. Le modèle de diffusion intra-particule proposé par Weber et Morris permet d'observer le mécanisme de diffusion des adsorbats sur les adsorbants. [6]

$$q_t = k_{id} t^{0,14.5}$$

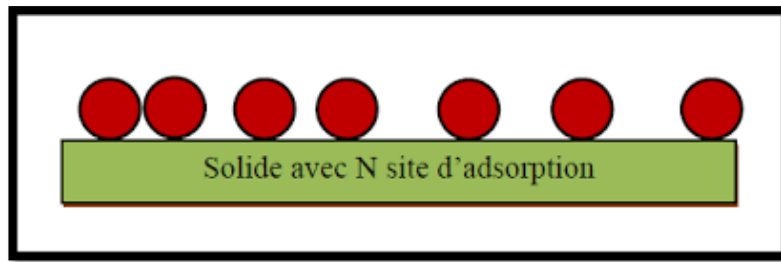
### I.6.Modélisation des isotherme d'adsorption

Plusieurs modèles mathématiques théoriques ont été élaborés pour représenter la forme de l'isotherme d'adsorption et instaurés pour quantifier le lien entre  $q_{eq}$  et  $C_{eq}$ . Parmi les plus couramment employés, on trouve les modèles de Langmuir et de Freundlich. [11]

#### I.6.1.Modèle de Langmuir

Le modèle de Langmuir est le deuxième le plus fréquemment employé. On part du principe que :

- ▶ Le matériau adsorbant a une capacité d'adsorption limitée ( $q_m$ ).
- ▶ Tous les points actifs sont uniformes.
- ▶ Chaque point actif ne peut se lier qu'à une seule molécule de soluté (adsorption en monocouche).
- ▶ Il n'existe aucune interaction entre les molécules adsorbées. Dans cette situation, c'est une simple mise en œuvre de la loi d'action de masse qui mène à la constante thermodynamique d'équilibre  $K$  définie ci-après.



**Figure.I.4:** Modèle d'adsorption de Langmuir. [16]

$$K_0 = (a_{\text{complexe}})_{eq} / (a_{\text{sites libres}})_{eq} \cdot (a_{\text{soluté}})_{eq}$$

En substituant les activités par des concentrations et  $K_0$  par  $K_L$ , l'équation se transforme en

$$K_L = q_e / (C_e(q_m - q_e))$$

$$(q_e/q_m) = \Theta = K_L \cdot C_e / (1 + K_L \cdot C_e)$$

Tel que :

- $K_L$ : Constante d'équilibre de Langmuir (L/mg).
- $\Theta$  : Taux de recouvrement.
- $q$  : la capacité maximale d'adsorption (mg /g).

L'équation est développée pour obtenir des formes linéaires de l'isotherme de Langmuir. Deux des cinq formes mentionnées dans les écrits sont fréquemment employées :

$$(\text{Langmuir I}) \quad 1/q_e = (1/q_m) + (1/(K_L \cdot C_e \cdot q_m))$$

$$(\text{Langmuir II}) \quad C_e/q_e = (1/K_L \cdot q_m) + (C_e / q_m)$$

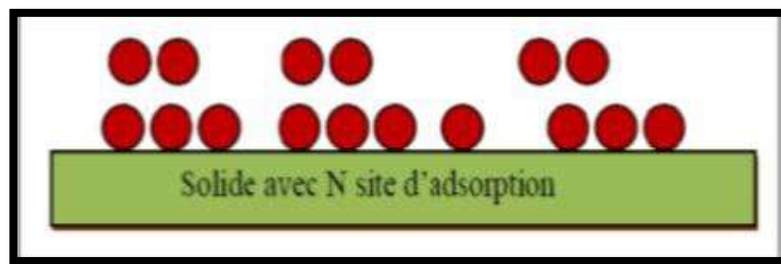
On peut toujours déterminer la faisabilité d'une adsorption à partir du facteur de séparation sans dimension  $RL = 1 / (1 + K_L \cdot C_0)$

- Si  $RL$  dépasse 1 : les conditions d'adsorption ne sont pas favorables.
- Si  $RL < 1$  : les conditions pour l'adsorption sont propices.

- Si  $RL = 0$  : l'adsorption est non réversible. [13]

### I.6.2. Modèle de Freundlich

Le modèle de Freundlich, qui est simple et empirique, est celui qui est le plus fréquemment utilisé. On estime qu'il s'applique à de nombreuses situations, y compris dans le contexte de l'adsorption multicouche où il existe une possibilité d'interaction entre les molécules adsorbées conformément à l'équation.



**Figure.I.5:** Modèle d'adsorption de Freundlich. [16]

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

L'approche la plus fréquemment utilisée consiste à représenter les variations de  $q_e$  en fonction de  $(C_e)$  sur un graphique à échelle logarithmique :

$$\ln q_e = \ln K_F + (1/n) \ln C_e$$

Comme suit :

- $K - C_F$  : la constante de Freundlich (mg : concentration à l'équilibre (mg/L)).
- $q_e (1-1/n)$  : capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g).
- $(L - (1/n))$  : La constante sans dimension  $1/n$  fournit une indication concernant la force de l'adsorption.

La liaison entre  $K_F$  et la capacité d'adsorption maximale  $q_m$  est :

$$KF=(q_m/c_0)^{(\frac{1}{n})}$$

On considère généralement que des valeurs basses de  $1/n$  ( $0,1 < 1/n < 0,5$ ) sont représentatives d'une adsorption efficace, tandis que des valeurs plus hautes indiquent une adsorption moyenne ( $0,5 < 1/n < 1$ ) ou faible ( $1/n > 1$ ). Il est à noter que si  $1/n$  converge vers 1, l'isotherme devient linéaire, donc de type C. [13]

### **I.7.Application d'adsorption**

Trois caractéristiques distinctives de l'adsorption, qui en font une technique de séparation unique, sont à l'origine de ses multiples applications techniques :

\*La conservation de particules extrêmement petites, à l'instar des colloïdes.

\*La conservation des éléments à très faible concentration, comme les impuretés ou les molécules et ions métalliques qui donnent au produit des couleurs, des odeurs ou des goûts désagréables, voire une toxicité.

\*La capacité de l'adsorbant à cibler certains composants du mélange On mentionne plusieurs applications, dont :

- Le processus de séchage, purification et désodorisation des gaz.
- Le raffinage des produits issus du pétrole.
- La catalyse au contact.
- L'élimination de l'humidité et la désodorisation de l'air.
- La récupération de solvants volatils et d'alcool lors de la fermentation.
- L'opération visant à enlever la couleur des liquides.
- La technique de chromatographie gazeuse. [10]

## I.8.Les adsorbants

Les adsorbants, qui sont des solides microporeux, disposent de surfaces significatives par rapport à leur masse (de 100 m<sup>2</sup>/g et pouvant dépasser les 1000 m<sup>2</sup>/g) dans le but d'optimiser leur capacité d'adsorption (la quantité de matière adsorbée par unité de masse d'adsorbant). D'après la norme IUPAC (Union internationale de chimie pure et appliquée), les pores sont catégorisés en fonction de leur diamètre (d) :

- ▶ Les macropores ( $d > 50$  nm).
- ▶ Les mésopores ( $2 < d < 50$  nm).
- ▶ Les micropores ( $d < 2$  nm).

On retrouve une multitude de types d'adsorbants, tout matériau doté de porosité peut être employé. La sélection se fera en fonction de l'adsorbât et/ou du type d'intervention requise. [12]

## I.9.Les grands type d'adsorbants

On identifie cinq principales catégories d'adsorbants « physiques » : les charbons actifs, les zéolithes, les alumines, les gels de silice et les argiles activées. On produit à peu près 150 000 tonnes par an de zéolithes pour adsorption, 400 000 tonnes par an de charbons actifs, 75 000 tonnes par an d'alumines activées, 400 000 tonnes par an d'argiles et 25 000 tonnes par an de gels de silice. [8]

### I.9.1.Les zéolithes

Les zéolithes sont des alumino-silicates cristallisés de nature microporeuse, dont la formule générale est (AlO<sub>2</sub>M, nSiO<sub>2</sub>), avec M qui désigne habituellement un métal alcalin ou alcalino-terreux et  $n \geq 1$ . On compte plus de 100 variétés de zéolithes, qui se distinguent par leur valeur de n et leur structure cristalline. L'existence de cations dans les micropores produit des champs électriques d'environ 10<sup>10</sup> V/m, ce qui confère à ces substances une forte capacité d'adsorption polaire. [8]

### I.9.2.Les alumines activées

Les alumines activées sont produites grâce à la thermolyse flash du trihydroxyde d'aluminium  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , ce qui donne un produit approximativement composé de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $0.5 \text{ H}_2\text{O}$ , ayant une structure poreuse due à l'élimination des molécules d'eau. La surface des pores est revêtue de groupes  $\text{Al-OH}$ , et l'adsorption a lieu de manière privilégiée par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants non cristallins, présentant une polarité intermédiaire et une affinité pour l'eau. [8]

### I.9.3.Les gels de silice

Les gels de silice peuvent être fabriqués à partir du  $\text{Si}(\text{OH})_4$  en solution aqueuse, obtenu grâce à l'acidification d'un silicate de sodium, ou alors à partir d'un sol de silice (une suspension de microparticules (20 à 100 nm), connues sous le nom de micelles, qui sont stables car trop petites pour se décanter), ou encore par hydrolyse d'un alcoxy-silane. Le gel obtenu à partir de la solution fluide ne tarde pas à polymériser, et il garde sa structure aérée même après lavage et séchage. Les liaisons hydrogène sont engendrées par les groupements  $\text{Si-OH}$ . On distingue deux catégories de gels de silice : les microporeux, plutôt hydrophiles, et les macroporeux, polyvalents, qui se différencient par la dimension des pores, comme leur appellation le suggère. [8]



**Figure.I.6:** Les gels de silice. [7]

### I.9.4. Les argiles activées

Les argiles activées sont des alumino-silicates dont la composition chimique est proche de celle des zéolithes, bien qu'elles présentent une structure cristalline distincte. Il s'agit de produits naturels, principalement employés pour le processus de séchage. [8]

### I.9.5. Les charbons actifs

Les charbons actifs possèdent une capacité d'adsorption considérable en raison de leur réseau microporeux hautement développé. Ainsi, ils représentent les adsorbants les plus produits et les plus employés dans l'industrie. Les charbons actifs sont des adsorbants rarement spécifiques, dotés d'une structure poreuse fortement développée composée principalement de micropores et de mésopores de divers diamètres. En général, les charbons actifs ont une surface spécifique supérieure à  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ , ce qui leur confère une capacité d'adsorption élevée. Cette surface spécifique est fonction du matériau initial, de la technique d'activation et de la densité. [9]



**Figure.I.7:** Le charbon actif. [7]

## Bibliographie

- [1] Adsorption | Definition, Types, & Facts | Britannica  
[www.britannica.com/science/adsorption](http://www.britannica.com/science/adsorption)
- [2] Adsorption - an overview | ScienceDirect Topics; [www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/adsorption](http://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/adsorption)
- [3] Baize, D, 2000. Guide Des Analyses En Pédologie, Inra, p;(07/03/2023)
- [5] Journal, Separation and Purification Technology Tong Wang,Ligang Chen 2022
- [6] Book, Hydrogels Based on Natural Polymers Malihe Pooresmaeil, Hassan Namazi (2020)
- [8]Expert groupe Air Liquide - Adsorption et adsorbants Hélène Soyer Edith Thummen
- [9]Mémoire de Master,«Etude de l'élimination du colorant Rouge Congo par l'adsorption sur charbon actif », Université Echahid Hamma Lakhdar.El Oued, K. Bekakra, K.Boutayb (2017).
- [10]Modélisation De L'adsorption Par Les Charbons Microporeux:Approches Théorique Et Expérimentale, Université De Neuchatel; Slasli,M,(2002).
- [11]Removal Of Copper.The Removal Of Heavy Metals From Aqueous Solution By Sawdust Adsorption –, J. Hazardous Material, Yu. B .Zhang, Y. Alka, S. Shyam, S.Kenneth, L. Dorris, M, B80, pp. 33. (2000)
- [12] Mark Clausse « Etude d'un procédé d'adsorption TSA (temperatur swing adsorption) a chauffage et refroidissement indirects », Thèse de doctorat, INSA-Lyon, (2013)
- [13]Thèse de doctorat en génie des procédés ,Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels., option génie de l'environnement, université de BOUMERDES, AKSAS H ,pp 23, 24, 93, 120. (2013).
- [14] Memoir de Magister,Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes,Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, N. Sedira, (2012-2013).
- [16]Diplôme de Magister, Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée, Université Mohamed Chérif Messaadia – Souk-Ahras-Algérie, S.Bouacherine, (2013).

[17] Mémoire Master, "Adsorption De Blue Méthylène Sur Des Argiles Brute Et Sodée", Université Dr Moulay Tahar – SAÏDA, LAKHACHE SOFIANE, P44-48,( 08 / 06 / 2017)

[4][https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/adsorption-kinetics?fbclid=IwY2xjawJGq4pleHRuA2FlbQIxMAABHYLL64ec6kuTuAf2PT6399nUfdJPd8hyO0OkdMU0Ur9ylMTMFDWifNWw\\_aem\\_NN\\_9KS6pAHy60DQ5aeAqXw](https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/adsorption-kinetics?fbclid=IwY2xjawJGq4pleHRuA2FlbQIxMAABHYLL64ec6kuTuAf2PT6399nUfdJPd8hyO0OkdMU0Ur9ylMTMFDWifNWw_aem_NN_9KS6pAHy60DQ5aeAqXw)

[15][https://nte.minesalbi.fr/STP/fr/co/uc\\_AdsorptionPhysique.html?fbclid=IwY2xjawJGxLpl eHRuA2FlbQIxMAABHcaEi7GPqOayIHXlcHwQ0zUoVZDKPq6KdEbJknHWf6ApL11dq7QG9DUDkQ\\_aem\\_Q0ByJB1CRCQaH1DGSGPB5g](https://nte.minesalbi.fr/STP/fr/co/uc_AdsorptionPhysique.html?fbclid=IwY2xjawJGxLpl eHRuA2FlbQIxMAABHcaEi7GPqOayIHXlcHwQ0zUoVZDKPq6KdEbJknHWf6ApL11dq7QG9DUDkQ_aem_Q0ByJB1CRCQaH1DGSGPB5g)

## Chapitre II

# Généralités sur le charbon actif

## II.1.Introduction

Tout élément économique, possédant un taux élevé de carbone et une faible proportion de substance inorganique, peut être utilisé pour la production de charbons actifs. Ils sont couramment dérivés de sources telles que le bois, le charbon, la noix de coco, le lignite, etc. Actuellement, on assiste à un élan significatif dans la valorisation de divers déchets, notamment ceux provenant du secteur pétrolier et des huiles lubrifiantes. Les charbons actifs sont sans conteste les adsorbants les plus largement produits et employés dans l'industrie.[21]

## II.2.Définition

Le charbon actif désigne un matériau carboné hautement poreux qui est couramment employé dans différentes applications, telles que la purification de l'eau et de l'air, ainsi que dans le traitement des eaux usées et comme catalyseur. Sa vaste surface et son volume poreux en font un excellent adsorbant pour une multitude de polluants.[1]

Le charbon actif (CA), également appelé charbon activé, est une forme de graphite rugueuse et imparfaitement structurée. Elle présente un large éventail de pores de tailles diverses, allant des fractures et fissures visibles aux dimensions moléculaires. En raison de sa grande surface, le charbon actif est couramment employé pour diverses applications, dont l'élimination des impuretés dans l'air et l'eau. Des pores de petite taille et de faible volume présents dans l'AC augmentent la surface accessible pour des réactions chimiques telles que l'adsorption (qui diffère de l'absorption). Avant activation, le charbon a une surface spécifique de 2.0 à 5.0 m<sup>2</sup>/g, qui passe à 1000 m<sup>2</sup>/g une fois activé. L'analyse de l'adsorption de gaz indique qu'un gramme de charbon actif possède une surface supérieure à 3000 m<sup>2</sup> en raison de son degré élevé de microporosité, qui offre un niveau d'activation important pour des applications pratiques.[2]

Les charbons actifs sont des adsorbants spécifiques employés pour la suppression des impuretés qui s'accumulent sur leur surface. Leur caractéristique essentielle est l'existence d'un réseau fortement développé de micropores qui en est la source de leur capacité d'adsorption.[3]



**Figure.II.1:** Le charbon actif.

### II.3.Histoire du charbon actif

Les origines de l'utilisation du charbon actif (ou « activated carbon ») remontent à l'époque égyptienne, où il était utilisé pour ses capacités d'adsorption dans des applications médicales et pour la purification des huiles. En réalité, c'était du charbon de bois ; le charbon actif tel qu'on l'entend aujourd'hui n'est apparu qu'à la fin du XIXe siècle. Raphael Ostrejko, un Russe, est crédité de l'invention du produit, il s'efforçait d'améliorer les caractéristiques d'absorption des charbons dans la décoloration des sucres au début des années 1900.[4]

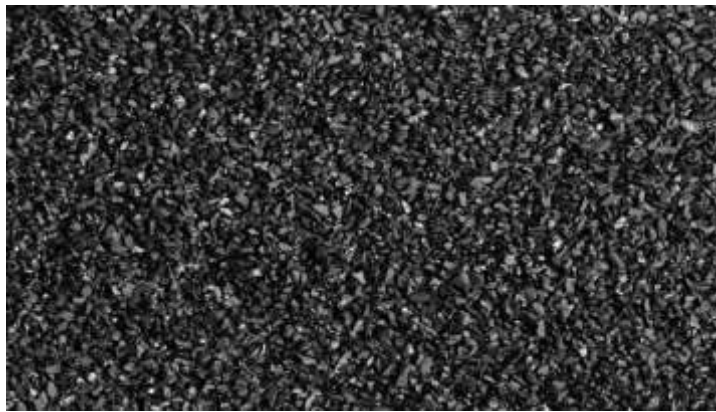
La véritable industrialisation du charbon actif a débuté au début du XXe siècle afin de répondre aux exigences des raffineries de sucre. Ces premiers charbons actifs sont produits par la carbonisation de matières végétales. La production de charbons actifs connaît une augmentation durant la Première Guerre mondiale, en raison de l'usage croissant des gaz toxiques et de l'évolution des masques à gaz. À l'heure actuelle, la production mondiale annuelle de charbon actif s'élève à 420 000 tonnes. Les charbons actifs, grâce à leur nature non sélective, conservent une position privilégiée sur le marché des adsorbants malgré l'émergence de divers concurrents, notamment les zéolites. Ces dernières, principales adversaires des charbons actifs, possèdent des caractéristiques similaires en termes de conductivité et de résistance thermique, tout en présentant une distribution de taille de pores très spécifique.[5]

## II.4. Les différentes formes du charbon actif

En fonction de leurs usages, les charbons actifs peuvent être proposés en poudre, en grains ou en forme extrudée.

### II.4.1. Charbon actif en grain (CAG)

Le charbon à l'état granulaire se distingue par une dimension des particules dépassant 1 millimètre (1 mm), un diamètre de pores réduit, une vaste surface interne et une superficie externe plutôt modeste. Cela implique que les phénomènes de diffusion au sein des pores jouent un rôle majeur dans le processus d'adsorption.[6]



**Figure.II.2:** Charbon actif en grain. [25]

| Avantages                                                                                          | Inconvénients                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La sélection du genre de charbon actif est aussi cruciale pour l'efficacité de l'élimination.      | Une durée de vie restreinte.                                                                                                                                                        |
| Il possède une forte capacité d'adsorption pour les substances organiques, notamment les solvants. | Pré filtration : Les carburants dissous et les particules peuvent rapidement encrasser le charbon, ce qui exige généralement une étape de prétraitement.                            |
| Il retient simultanément un grand nombre de substances chimiques                                   | Coût : la nécessité de renouveler fréquemment le charbon utilisé rend le charbon actif granulaire plus coûteux que la méthode de stripping pour des niveaux élevés de contaminants. |

|                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Il opère efficacement dans une vaste gamme de températures et d'humidités. | Déchets nocifs : tous les charbons doivent être, au final, éliminés, car ils ne peuvent être régénérés qu'un nombre limité de fois, voire pas du tout dans le cas où ils adsorbent des métaux ou des résidus d'explosifs. En fonction des propriétés du charbon utilisé, celui-ci peut être éliminé en tant que déchet dangereux. |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tableau.II.1:** Avantages et les Inconvénients de Charbon actif en grain. [23]

#### II.4.2.Charbon actif en poudre(CAP)

Le charbon actif en poudre, également connu sous l'acronyme CAP, se présente sous forme de particules dont la taille varie entre 10 et 50  $\mu\text{m}$ . Il est couramment employé en association avec un procédé clarificateur. Le CAP est constamment enrichi en eau à traiter et en agents flocculant. On suggère l'emploi de clarificateurs pour prolonger la durée du contact entre l'eau et le charbon.[6]



**Figure.II.3:** Charbon actif en poudre. [25]

| Avantages                                                                                                       | Inconvénients                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Le coût du charbon actif en poudre est de deux à trois fois inférieur à celui du charbon actif en granulés.     | Il n'est pas possible de régénérer le charbon actif en poudre lorsqu'il est combiné avec des boues d'hydroxyde.       |
| En cas de pics de pollution accidentels ou temporaires, des quantités supplémentaires peuvent être ajoutées.    | Éliminer les dernières traces d'impuretés sans incorporer une grande quantité de charbon actif en poudre est un défi. |
| L'adsorption est rapide étant donné qu'une large portion de la surface de contact est immédiatement accessible. | Il est difficile de détecter les pics de pollution et la concentration applicable est restreinte.                     |

**Tableau.II.2:** Avantages et les Inconvénients de Charbon actif en poudre. [23]

### II.4.3. Charbon actif extrude

Comme montré dans la figure II.2, le charbon actif extrudé se présente sous une forme cylindrique avec des diamètres variant de 0,8 mm à 5 mm. Il est surtout utilisé pour des applications en phase gazeuse grâce à sa perte de charge réduite, sa résistance mécanique élevée et sa faible concentration en poussières.[8]



**Figure.II.4:** Charbon actif extrude.[8]

## **II.5. Les type de charbon actif**

La production de charbon actif implique obligatoirement la sélection et la détermination de la matière première. On peut obtenir cette dernière à partir d'une large variété de matériaux contenant du carbone, tels que :

### **II.5.1.Origine végétale**

Une grande variété de produits dérivés de la plante peut être utilisée dans la production de charbons actifs, et ce, sous diverses formes : Nous avons opté pour l'utilisation des éléments suivants dans ce projet : les bois, les noyaux de jujubes, les coques d'arachide, les noyaux de cerises, la bagasse, le bambou, les tiges de coton, les écorces d'orange, la tige de tabac, les noyaux d'olives, les coques des pierres à abricots, les quenouilles et les déchets solides provenant des usines de production de jus de fruits. De plus, nous incluons également les noyaux de dattes issus du palmier dattier et le marc de café.[9]

### **II.5.2.Origine animal**

Les charbons actifs sont principalement fabriqués à partir des os d'animaux, mais également de leur sang et de leur chair.[10]

### **II.5.3. Origine minérale**

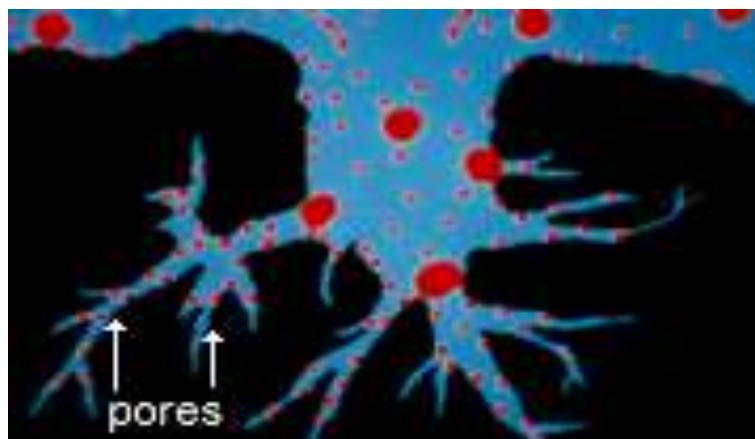
Provenance minérale : La plupart des charbons actifs sont fabriqués à partir de matières combustibles telles que le charbon minéral (comme la houille, les résidus pétroliers, le coke) ou la tourbe. [10]

## **II.6.Structure et surface spécifique du charbon actif**

### **II.6.1.Structure du charbon actif**

Le charbon actif possède une structure cristalline formée d'une série de couches planes d'atomes de carbone, organisés en hexagones réguliers (Figure I-6). L'étude par diffraction des rayons X indique que sa structure est de type graphitique, bien qu'il existe quelques variations, en particulier la configuration des couches d'atomes de carbone sous une structure

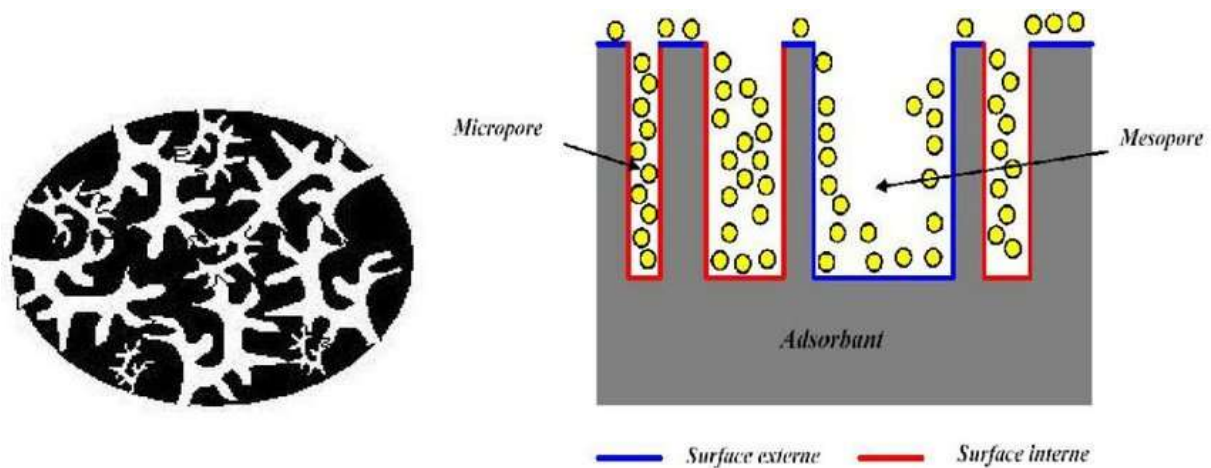
désordonnée et l'apparition de groupements fonctionnels induite par la présence d'hétéroatomes (oxygène, métaux, hydrogène...) dans le réseau cristallin. [11]



**Figure.II.5:** Structure du charbon actif.[27]

### II.6.2.Surface spécifique du charbon actif

La surface spécifique, également appelée aire massique ( $\text{m}^2/\text{g}$ ), représente la superficie totale accessible aux molécules sur une unité de masse d'adsorbant. Pour le calcul de la surface spécifique qui additionne ainsi la surface intérieure de chaque pore formant le grain d'adsorbant, on prend en compte l'intégralité de la surface des particules de l'adsorbant, y compris la porosité ouverte. La surface spécifique englobe la surface extérieure et la surface intérieure d'un adsorbant. La surface interne fait référence à la surface microporeuse indiquée par les parois des micropores. La surface extérieure se réfère à la surface qui n'est pas microporeuse, englobant les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface de l'échantillon qui est non poreuse. Pour les charbons actifs, cette surface peut varier approximativement de 10 à 200 ( $\text{m}^2/\text{g}$ ). [12]



**Figure.II.6:** Représentation schématique de la surface interne et externe De charbon actif.[26]

## II.7.Caractéristiques du charbon actif

### II.7.1.Caractéristiques physiques

Deux critères principaux définissent la structure d'un solide : la porosité et la surface spécifique, qui est directement liée au volume des pores.[13]

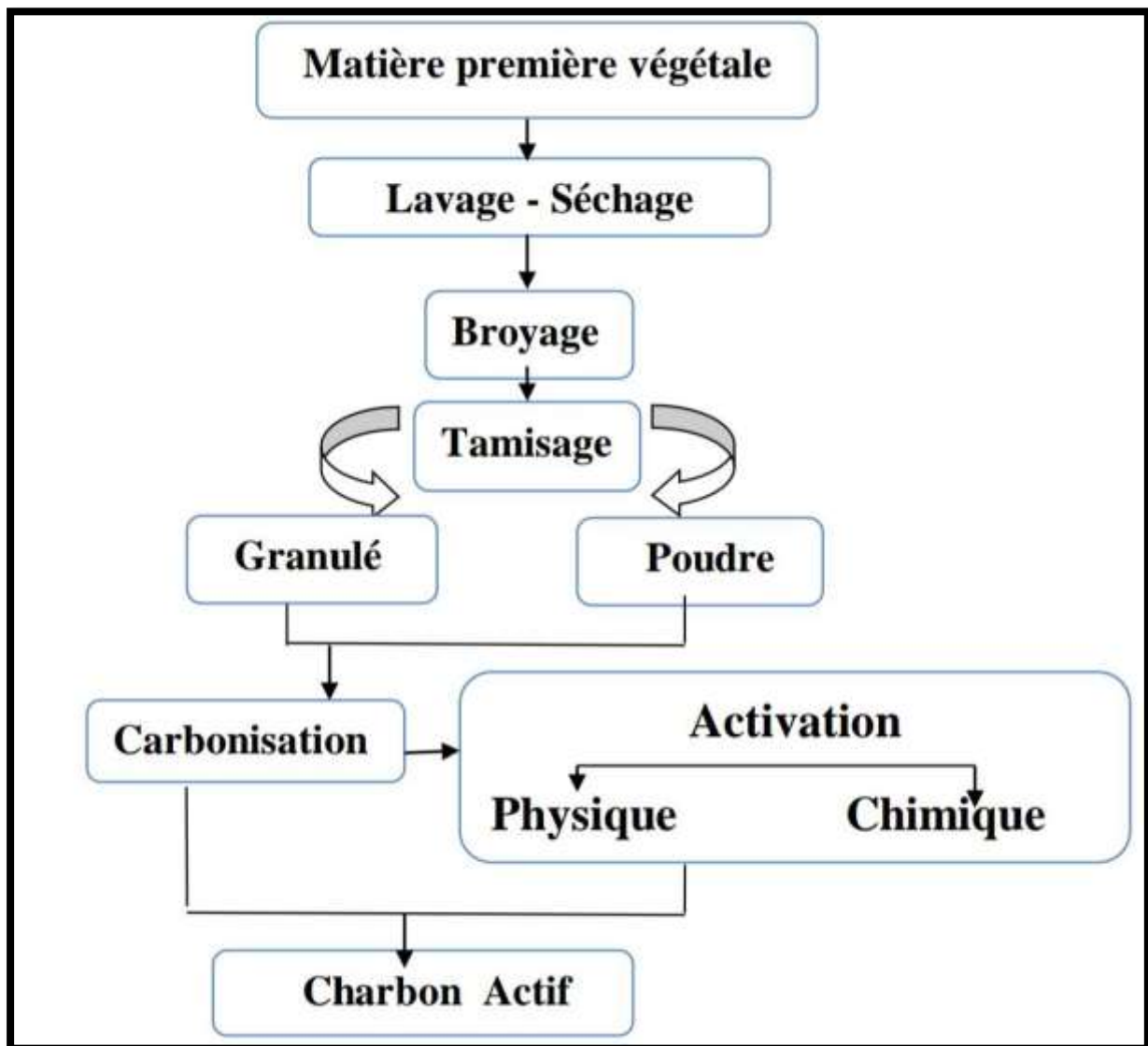
### II.7.2. caractéristiques chimique

Les caractéristiques chimiques de surface d'un charbon actif sont étroitement liées à la présence et au type de complexes oxygénés. Ces éléments sont en grande partie à l'origine de ses caractéristiques acido-basiques en surface, lesquelles ont une importance notable dans le processus d'adsorption. On classe les charbons en deux catégories, en fonction de leur nature acido-basique :

\*Les charbons de type L : ayant une nature acide, dotés de propriétés hydrophiles.

\*Les charbons de type H : de nature basique, ils disposent d'une surface hydrophobe. [14]

## II.8. Préparation de charbon actif



**Figure.II.7:** Les différentes étapes pour la préparation du charbon actif.

### II.8.1. La carbonisation

La pyrolyse se définit comme la dégradation thermique d'une substance organique en absence d'air ou dans une atmosphère inerte, à des températures variant de 400 à 1000°C. Sous l'action de la chaleur, les hétéroatomes (comme l'oxygène et l'hydrogène) sont supprimés, rendant le matériau plus riche en carbone. Les atomes de carbone qui restent se rassemblent en couches aromatiques ayant une structure planaire. Ces feuilles sont ensuite

disposées de manière aléatoire, créant ainsi des espaces vides entre elles. Ces espaces vides créent une porosité primaire dans le produit carbonisé. [18]

### **II.8.2.L'activation**

L'activation vise à créer une structure poreuse en débarrassant les pores des goudrons qui les bouchent, et à générer des propriétés de surface (habituellement oxydées) qui provoquent les interactions entre le solide et les molécules adsorbées. Cela peut être de nature physique ou chimique. [19]

#### **II.8.2.1.Activation physique**

Elle implique une activation intensive utilisant un agent oxydant gazeux tel que la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone ou un mélange des deux à haute température (450-1000°C). Selon le gaz oxydant employé, la structure poreuse du charbon produit peut varier. Par exemple, l'emploi du dioxyde de carbone comme agent oxydant stimule l'accroissement de la microporosité, tandis que la vapeur d'eau privilégie une porosité à plus grande échelle.

À une température basse, l'activation entraîne une répartition uniforme des dimensions des pores dans l'ensemble du matériau. Lorsque la température s'élève, le processus entraîne une dégradation de l'uniformité de la porosité. En somme, cette phase favorise l'expansion des pores et génère une surface spécifique considérable. [20]

#### **II.8.2.2.Activation chimique**

À la différence de l'activation physique, la carbonisation et l'activation peuvent être réalisées en même temps. Le processus d'activation chimique implique la saturation du précurseur avec des substances oxydantes comme :  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KOH}$ , entre autres. Puis, le matériau est calciné à une température variant entre 400 et 600°C. La dimension des pores dans le charbon actif final est définie par le niveau d'imprégnation. Plus ce chiffre est important, plus le diamètre des pores se dilate. [20]

### **II.9.Domaine d'utilisation du charbon**

#### **II.9.1.Environnement**

Actuellement, le charbon actif trouve son application dans une multitude de secteurs diversifiés. Chaque usage requiert une forme spécifique de charbon (matériau initial,

configuration physique, méthode de traitement). En matière environnementale, il est employé dans diverses situations telles que :

- L'épuration de l'air pour éliminer les vapeurs d'huiles.
- La neutralisation des odeurs et autres hydrocarbures.
- Le traitement de l'eau destinée à la consommation.
- La purification des eaux à l'échelle domestique ou municipale.
- La dépollution des eaux souterraines. Et ainsi de suite. [15]

### **II.9.2.Médecine**

- Médicament anti-diarrhéique en cas de diarrhées.
- Brûlures d'estomac, aérophagies, flatulences.
- Purification intestinale et réduction du niveau de cholestérol.
- Gestion de l'empoisonnement alimentaire.
- Contre le poison en cas d'intoxication par des médicaments, produits chimiques, métaux lourds, détergents ou solvants organiques. [16]

### **II.9.3.Traitements des eaux usées**

► Traitement de l'eau : Dans les pays comme les États-Unis et l'Europe, où les standards concernant l'eau potable sont rigoureux, on privilégie fréquemment une méthode de filtration-adsorption utilisant un lit de charbon actif granulaire pour supprimer les résidus de pesticides transportés par les rivières.

► Traitement des effluents industriels : On utilise le charbon actif comme une mesure de purification tertiaire dans le traitement des eaux usées industrielles avant leur déversement dans l'environnement naturel. Les secteurs principalement touchés incluent l'industrie du textile, celle des détergents et tensioactifs, ainsi que celle des pesticides. [17]

## Bibliographie

- [1] Journal of Environmental Management, 2021, /www.sciencedirect.com/journal/journal-of-environmental-management/vol/297
- [3] Thèse de Magister « Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive des sur carbonate de calcium, Hydroxyapatite et Charbon actif ».Université de Mouloud MAMMERI. Yahiaoui N,( 2012)
- [4] Chemical activation of wood using  $\text{CaCl}_2$ , British patent 14,224, 1900 ; French patent 304,867, 1901 ; German patent 136,792, 1901 ; Thermal activation of wood with steam, USA patent 739,104, 1903.
- [5]Mémoire Master, "Valorisation De Déchets Textiles (Coton Et Viscose) En Charbons Actifs En Vu De L'élimination Par Adsorption De L'acide Clofibrique, La Tétracycline Et Le Paracétamol",Université A.Mira- BEJAIA, AREZOUG MAHFOUD & MR. AIT-OUALI IDIR, P25 ,26.( 2014/2015)
- [6] Mémoire de Magister, Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, Université de Tizi Ouzou. N. Yahiaoui,(2012).
- [8] Waste Management Adsorption of malachite green on groundnut shell waste based powdered activated carbon., R. Malik, D.S. Ramteke, S.R. Wate. 27 ,1129-1138. (2007)

- [9] Thèse doctorat, Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués, chimie de Lyon, O. Joseph. (2009).
- [10] Active Carbon, New York, R.C. Bansal, J.B. Donnet, F. Stoeckli. (1988).
- [11] Mémoire de Master, «Etude de l'élimination du colorant Rouge Congo par l'adsorption sur charbon actif », Université Echahid Hamma Lakhdar.El Oued , K. Bekakra, K.Boutayb, (2017).
- [12] Adsorption, surface area and porosity, Academic Press, London. S.J. Gregg, K.S .Sing, (1982).
- [13] The Role Of Carbon Materials In Heterogeneous Catalysis, Carbon 36(3), Rodriguez-Reinoso, F. pp. 159-175, (1998).
- [14] Mémoire De Magister: Elimination Du 2-Mercaptobenzothiazole Par Voie Photochimique Et Par Adsorption Sur La Bentonite Et Le Charbon Actif En Poudre, Université Mentouri De Constantine; Bouziane, N.(2007).
- [15] Ecole polytechnique de Lausanne Évaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines, J. Omlin, L. Chesaux, (2010).
- [16] Epuration digestive lors des intoxications digestives, Nimes, le 27 novembre,(1992).
- [17] Cyril et Gomella, « Traitement des eaux publiques industrielles et privées », Edition Eyrolles, Paris (1978).
- [18] Lenntech, « Traitement de l'eau et de l'air », 2004.
- [19] Rapport bibliographique, Matériaux adsorbants pour la rétention et le traitement de substances pharmaceutiques et phytosanitaires Caractéristiques et éléments de Choix, Université de France, A. Tahar, J.Marc Choubert, M.Pascal, M.Coquery, (2010).
- [20] Thèse pour obtenir le grade de MASTER ,Élimination des ions Mn (II) des solutions aqueuses par adsorption sur des charbons actifs préparés à partir des coques de noix de noisette. d'Université des Sciences et Techniques de Masuku. Ch.1 ZUE MVE Mexent, (2012).

[21] Thèse De Doctorat: Contribution A La Modélisation Dynamique Simplifiée D'un Procédé D'adsorption Modulée En Pression, Université Claude Bernard Lyon 1, France; Leinekugel-Le-Cocq, D.(2002).

[23] Mémoire Master, "Evaluation Du Pouvoir D'adsorption D'un Charbon Actif Commercial", Université Larbi Ben M'hidi- OUM EL BOUAGHI , MAZOUZ MANEL - KHELAIPIA LEMMA ,P7-21.( 2010- 2011)

[25]Mémoire De Magister: Etude De L'adsorption Des Composés Phénoliques Des Margines D'olive Sur Carbonate De Calcium, Hydroxyapatite Et Charbon Actif; Yahiaoui, N., 2012.

[26] Thèse de doctorat, Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique), thèse de doctorat, Polytechnique de Toulouse, C.C. Manole. (2007).

[13] S. Hazourli, « adsorption et electrosorption de composés organiques sur charbon actif en grains », USTHB 1991.

[27] thèse doctorat, Couplage des procédés d'adsorption sur charbon actif et de photocatalyse  $\text{TiO}_2$  / UV pour l'élimination de composés organiques volatils, Université de Rennes 1 N. Petit. (2007).

[2][https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/activated-carbon?fbclid=IwY2xjawJRRExleHRuA2FlbQIxMAABHWdlNMTMPH5vUswUFF6N80kwTHsfiefdcwLi3FnKPvB7EVOa-pU4Fwxklw\\_aem\\_V-h2efOU9wZKLR9okCxlGQ](https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/activated-carbon?fbclid=IwY2xjawJRRExleHRuA2FlbQIxMAABHWdlNMTMPH5vUswUFF6N80kwTHsfiefdcwLi3FnKPvB7EVOa-pU4Fwxklw_aem_V-h2efOU9wZKLR9okCxlGQ)

[7][https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/activated-carbon?fbclid=IwY2xjawJRRExleHRuA2FlbQIxMAABHWdlNMTMPH5vUswUFF6N80kwTHsfiefdcwLi3FnKPvB7EVOa-pU4Fwxklw\\_aem\\_V-h2efOU9wZKLR9okCxlGQ](https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/activated-carbon?fbclid=IwY2xjawJRRExleHRuA2FlbQIxMAABHWdlNMTMPH5vUswUFF6N80kwTHsfiefdcwLi3FnKPvB7EVOa-pU4Fwxklw_aem_V-h2efOU9wZKLR9okCxlGQ)

# Chapitre III

## Partie expérimentale

### III.1. Introduction :

Ce chapitre vise à étudier la possibilité de préparer du charbon actif à partir de pelures de banane, considérées comme des déchets agricoles riches en carbone, ce qui en fait une matière première prometteuse pour une production de charbon actif à la fois économique et respectueuse de l'environnement. La partie expérimentale de ce travail a été réalisée au laboratoire de la Faculté des Sciences et Technologies, département de Chimie Industrielle, à l'Université Mohamed Khider – Biskra. Ce chapitre présente les étapes de préparation du charbon actif à partir de pelures de banane ainsi que l'étude de son efficacité dans l'élimination de colorant Rouge Congo et des ions cuivre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) à partir de solutions aqueuses de différentes concentrations, en mettant l'accent sur la détermination du pH optimal pour son utilisation dans les processus d'élimination

### III.2. Produits et matériels :

| Les produits/les matériels                                                          | Nom                                                   | Propriétés et rôle                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Spectrophotomètre UV-Visible T60 (Pg instruments).    | Mesure d'absorbance                                                                                                                                 |
|  | Spectroscopie infrarouge                              | Utilisée pour identifier les liaisons et les groupes fonctionnels dans les molécules grâce à leur absorption du rayonnement infrarouge              |
|  | Tamiseuse à vibration électromagnétique type BA 200N. | Séparer et classer les particules solides selon leur taille                                                                                         |
|  | Ph mètre                                              | Modèle : HI 2210 de la marque HANNA Instruments<br>Le pH-mètre permet de déterminer avec précision le degré d'acidité ou de basicité d'une solution |

|                                                                                     |                                                                          |                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>Broyeur mixeur.</b>                                                   | <b>Broyage de granulés moins poreux</b>                                                       |
|    | <b>Agitateur (Jar teste).</b>                                            | <b>Mélanger les échantillons de manière homogène</b>                                          |
|    | <b>Une étuve</b>                                                         | <b>Séchage des échantillons</b>                                                               |
|   | <b>Balance électronique de laboratoire Type :<br/>Balance analytique</b> | <b>Mesure précise de la masse</b>                                                             |
|  | <b>Acide<br/>chlorhydrique HCl</b>                                       | <b>Formule : HCl.<br/>Masse molaire : 36.46g/mol.<br/>Utilisé pour maintenir un pH acide.</b> |
|  | <b>Hydroxyde de Potassium</b>                                            | <b>Formule : K OH.<br/>Masse molaire : 56.11 g/mol.<br/>Utilisé pour rendre la solution.</b>  |

|                                                                                    |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <b>Hydroxyde de sodium</b>                    | <b>Formule : NaOH.</b><br><b>Masse molaire : 40g/mol.</b><br><b>Utilisé pour rendre la solution basique.</b>                                                                                                                                                                                                            |
|   | <b>Sulfate de cuivre(II)<br/>pentahydrate</b> | <b>Formule: CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O</b><br><b>Masse molaire : 249.6g/mole.</b><br><b>Couleur : bleu clair (cristallin).</b>                                                                                                                                                                                    |
|  | <b>Rouge Congo</b>                            | <b>Formule: C<sub>32</sub>H<sub>22</sub>N<sub>6</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>S<sub>2</sub>.</b><br><b>Couleur: rouge foncé.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ph&gt;5: rouge.</li> <li>• Ph&lt;3: bleu violet.</li> </ul> <b>Nom UICPA : acide benzidinediazobis- ;<br/>1- naphtylamine-4-sulfonique.</b> |

### III.3. Préparation de charbon actif :

Une quantité importante d'épluchures de banane a été collectée, puis soigneusement lavée plusieurs fois à l'eau du robinet pour éliminer les impuretés, avant d'être laissée à sécher naturellement dans une pièce jusqu'à son utilisation.



**Figure III.1:** Épluchures de banane.

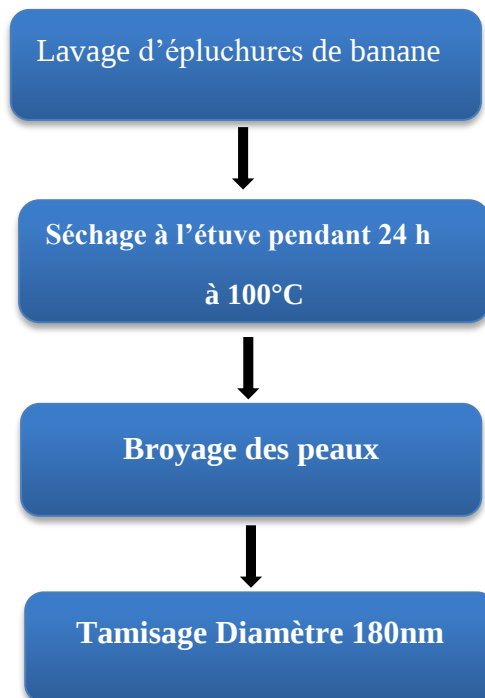


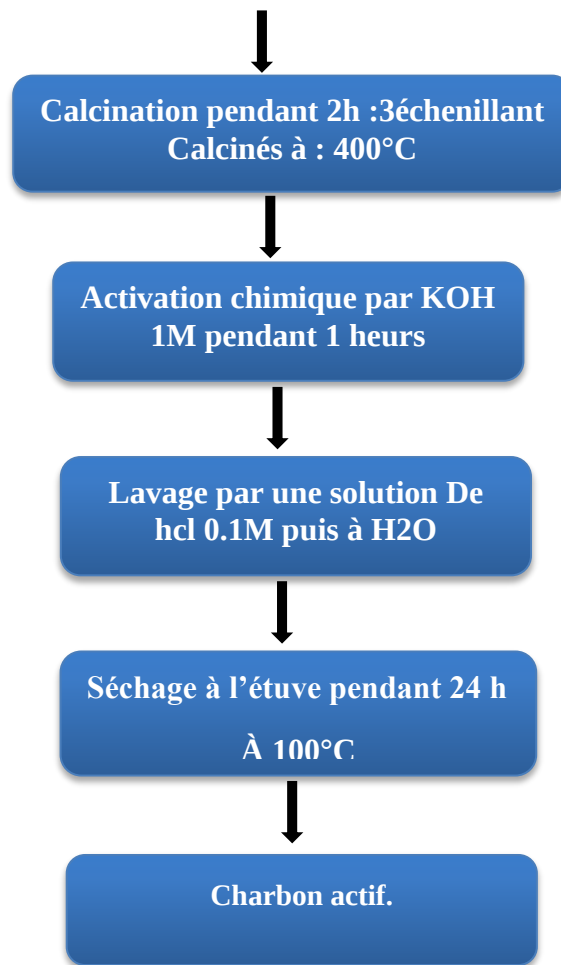
**Figure III.2 :** Lavage d'épluchures de banane.

### III.3.1. Préparation de charbons actifs :

Dans cette étude, les épluchures de banane ont été utilisées comme matière première pour la préparation du charbon actif. Un protocole bien défini a été suivi, comprenant plusieurs étapes : le lavage soigneux des épluchures pour éliminer les impuretés et les saletés, suivi de leur séchage, de leur broyage en petits morceaux, puis de leur tamisage afin d'obtenir des particules de taille homogène.

Ensuite, le matériau a subi une activation chimique à l'aide d'une solution de potasse (KOH) dans le but d'améliorer ses propriétés de surface et d'augmenter sa porosité.





Protocole de préparation de charbon actif.

► **Lavage d'épluchures de banane :**

Épluchures de banane ont été bien lavées à l'eau du robinet pour éliminer les saletés, puis rincées à l'eau distillée afin de se débarrasser des impuretés et des substances indésirables, comme illustré dans la figure.



**Figure III.3 :** Lavage des épluchures de banane.

**► Séchage :**

Après avoir bien lavé les épluchures, elles sont placées dans un cristalliseur puis séchées dans une étuve à 100°C pendant 24 heures afin d'éliminer l'humidité.



**Figure III .4:** épluchures de banane séchées à l'étuve.

**► Broyage :**

Après le séchage, les écorces sèches sont broyées dans un moulin électrique afin d'obtenir des particules de faible diamètre, ce qui permet d'augmenter la surface spécifique et de les utiliser dans diverses applications.



**Figure III .5:** Broyage des épluchures de banane

**► Tamisage :**

À cette étape, nous tamisons les écorces broyées à l'aide d'un tamis afin de séparer les particules dont le diamètre est de 180 nanomètres (nm)."



**Figure III .6:** Tamiseuse vibrante.

**► Calcination:**

C'est un processus essentiel consistant à chauffer la matière tamisée à une température de 400 °C pendant deux heures, dans le but d'améliorer ses propriétés physiques.



**Figure III .7:** Calcination de la poudre d'épluchures de banane.

**► Activation chimique :**

L'activation assure une amélioration de la surface spécifique et de la structure poreuse [01].

Les granulés ont été activés chimiquement à l'aide d'une solution de KOH selon le protocole établi :

- Une quantité de granulés issus du tamisage, de taille 180 nanomètres, est placée dans un bécher, puis divisée en trois échantillons égaux.
- Une solution de KOH 1M est ajoutée à chaque échantillon.
- Le taux d'immersion est de 1.
- L'agitation se poursuit pendant après l'ajout de la solution de KOH aux échantillons, agitation pendant une heure.
- Enfin, les échantillons sont séchés dans un four Étuve pendant 24 heures à une température de 100 °C.



**Figure III .8:** L'activation de la poudre d'épluchures de banane.

**► Lavage :**

Le charbon actif obtenu a été lavé avec une solution d'acide chlorhydrique de concentration 1M, puis rincé plusieurs fois à l'eau distillée jusqu'à atteindre un pH neutre ( $\text{pH} = 7$ ).



**Figure III .9:** Lavage de la poudre d'épluchures de banane.

### **\*Calcul du rendement du charbon actif à partir des peaux de banane :**

Les peaux de banane ont été transformées en charbon actif. Le rendement est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (\text{masse du charbon} \div \text{masse initiale}) \times 100$$

Ce paramètre permet d'évaluer l'efficacité de la conversion, en indiquant la proportion de matière résiduelle après la carbonisation par rapport à la masse de départ. Plus le pourcentage est élevé, plus la production est considérée efficace.

**Masse initiale = 334,2 g**

**Masse du charbon = 17,45 g**

**Rendement (%) = 5,22%**

### **III.4. Préparation de solution mère :**

Une solution mère de Rouge Congo (1 g/L) a été préparée à l'aide d'eau distillée, puis des solutions diluées ont été élaborées en vue de tracer la courbe d'étalonnage nécessaire à l'étude du phénomène d'adsorption. L'absorbance de ces solutions a été mesurée à l'aide d'un

spectrophotomètre UV-Vis à la longueur d'onde maximale  $\lambda_{\text{max}} = 500 \text{ nm}$ , correspondant au maximum d'absorption du colorant.

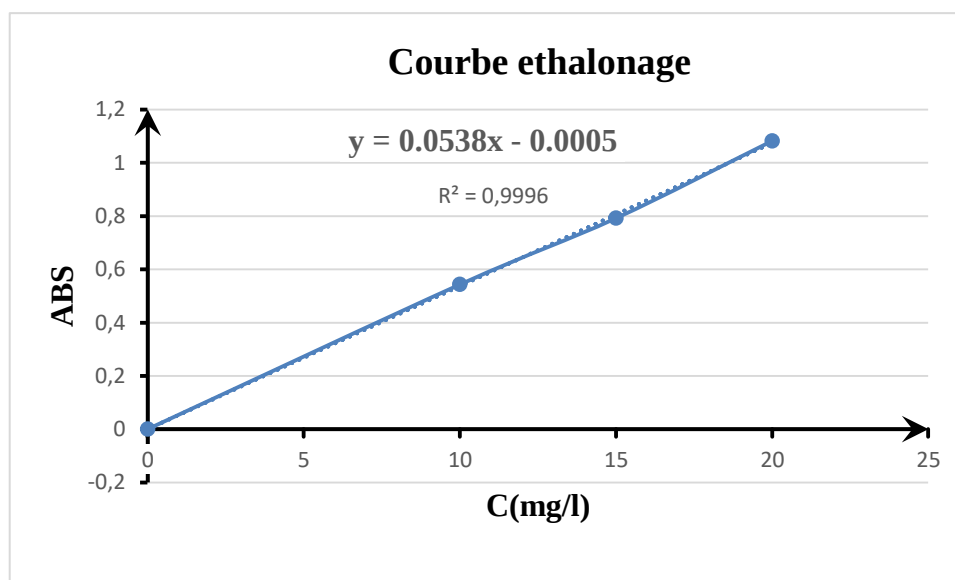


**Figure III .10:** La solution mère avec les solutions filles.

#### III.4.1.La courbe d'étalonnage:

**Tableau III.1 :** variation de l'absorbance en fonction de concentration de Rouge Congo.

| C (mg/l) | 0 | 10    | 15    | 20    |
|----------|---|-------|-------|-------|
| Abs (nm) | 0 | 0.543 | 0.792 | 1.082 |



**Figure III.11 :** Courbe d'étalonne d'adsorption du Rouge Congo.

- L'équation du droit représentant l'absorbance en fonction de la concentration du Rouge Congo est établie :  $C_e = \frac{A}{0.0538}$  ainsi que le coefficient de régression  $R^2 = 0.9996$ , qui caractérise une bonne concordance.
- L'équation est ensuite utilisée pour déterminer la concentration inconnue du Rouge Congo

### III.5.Effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption :

#### III.5.1. L'effet de pH :

Le pH d'une solution aqueuse est l'un des facteurs les plus importants dans l'adsorption de colorants anioniques en raison de leur impact à la fois sur les sites de liaison de surface de l'adsorbant et sur le processus d'ionisation de la molécule de colorant.

L'adsorption de Rouge Congo a été étudiée à différentes valeurs de pH (2, 4, 6, 10, 12) ces valeurs de pH ont été fixées en utilisant l'acide hydrochlorique HCL ou la base NaOH. Les solutions ont été de concentrations initiales 10, 15 et 20 mg/L. 0,5 g de charbon actif préalablement préparé a été ajouté à un volume de 50 ml de Rouge Congo, et le tout a été mélangé pendant 2 heures. Nous laissons les solutions reposer pendant au moins une demi-heure, puis nous mesurons leurs concentrations à l'équilibre pour calculer la quantité de cuivre adsorbée à chaque valeur de pH est ce par la relation suivante :

$$Q = (C_0 - C_e) / m \cdot V$$

Avec:

**Q:** quantités de RC absorbées (mg/g).

**C<sub>0</sub>:** Concentration initiale de solution de RC en (mg/l).

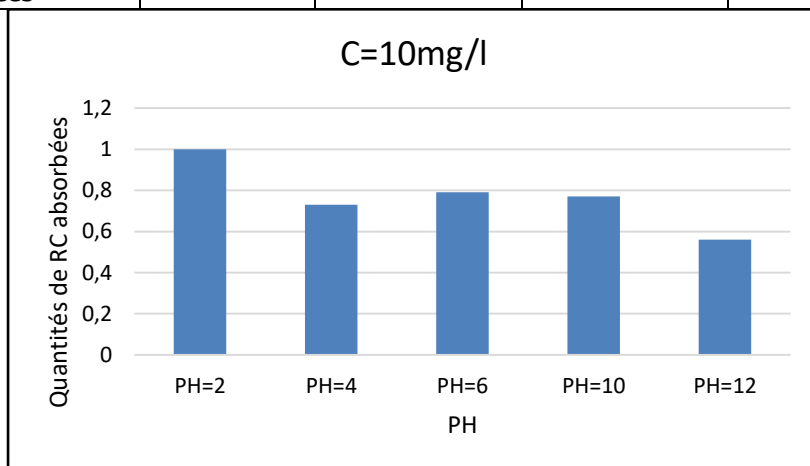
**C<sub>e</sub>:** La concentration de solution RC résiduelle en (mg/l).

**V :** volume de la solution de colorant utilisé (l).

**m:** masse de biosorbant (g)

► **C=10mg/l**

| ph                               | 2            | 4            | 6            | 10           | 12           |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Quantités de RC absorbées</b> | <b>0.973</b> | <b>0.730</b> | <b>0.799</b> | <b>0.771</b> | <b>0.561</b> |

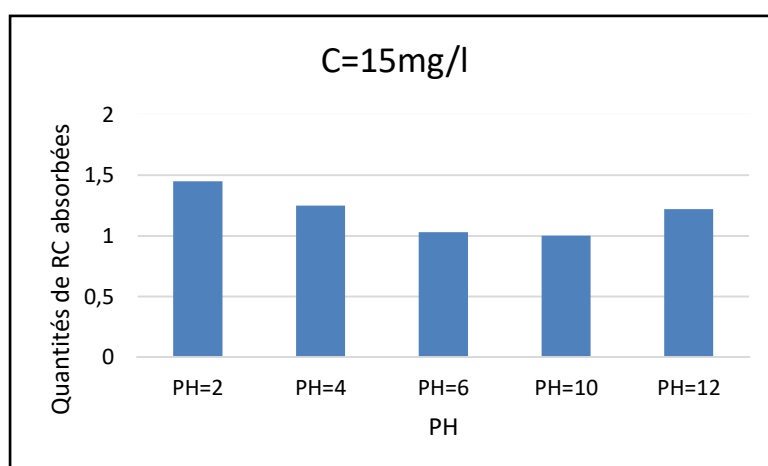


**Figure III .12:** Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents

Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 10mg /l

► **C=15mg/l.**

| ph                               | 2           | 4           | 6           | 10           | 12           |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>Quantités de RC absorbées</b> | <b>1.45</b> | <b>1.25</b> | <b>1.03</b> | <b>1.001</b> | <b>1.221</b> |

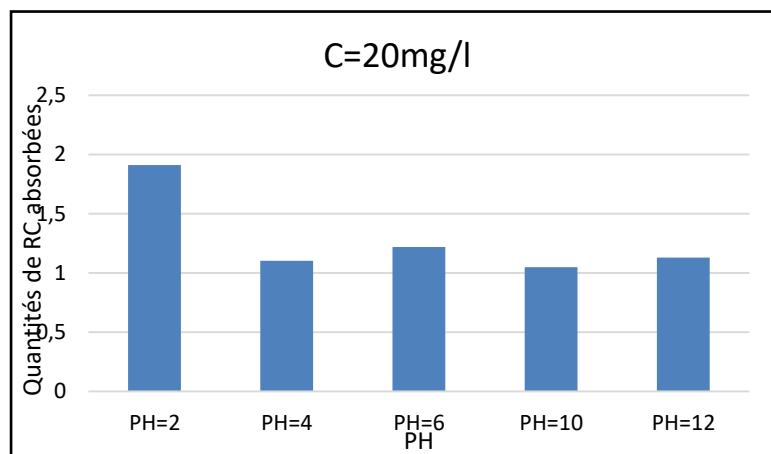


**Figure III .13:** Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents

Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 15mg /l

►  $C=20\text{mg/l}$ .

| ph                        | 2    | 4      | 6      | 10    | 12   |
|---------------------------|------|--------|--------|-------|------|
| Quantités de RC absorbées | 1.91 | 1.1022 | 1.2193 | 1.048 | 1.13 |



**Figure III .14:** Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents

Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 20mg /l

Les résultats ont montré qu'en milieu acide, la quantité adsorbée augmente avec la diminution du pH, la quantité maximale ayant été observée à pH=2 .

Par conséquent, on en conclut que le colorant Rouge Congo est efficacement adsorbé par le charbon actif issu des épiluchures de banane, en particulier en milieu acide (pH =2).

a partir des résultats obtenus lors du processus d'adsorption du colorant rouge Congo ,qui est un colorant anionique, de la phase aqueuse par le charbon préparé avec des épiluchures de bananes, activé avec le KOH (1M) la meilleure valeur de la quantité du colorant adsorbée ( $Q_e$ ) a été enregistré à pH égal à 2. Cet effet du pH peut s'expliquer par les différentes interactions entre le CR et l'ACCW en termes de charge de surface et de degré d'ionisation et de spéciation. Cependant, en milieu basique, la surface de est chargée positivement, ce qui favorise la répulsion électrostatique entre le colorant (RC) et la surface d'adsorbant proposé dans cette étude De nombreuses études dans ce contexte sont en accord avec nos résultats [02], [03], [04], [05], [06].

### III.5.2. L'effet de concentration:

Les résultats montrent que le pourcentage d'élimination du rouge Congo diminue avec l'augmentation de la concentration initiale de 10 à 20 mg/L, ce qui indique que l'adsorption est plus efficace à des concentrations faibles, où une plus grande quantité de colorant est adsorbée.

| C (mg/l)  | 0 | 10    | 15   | 20   |
|-----------|---|-------|------|------|
| Qt (mg/g) | 0 | 0.973 | 1.45 | 1.91 |

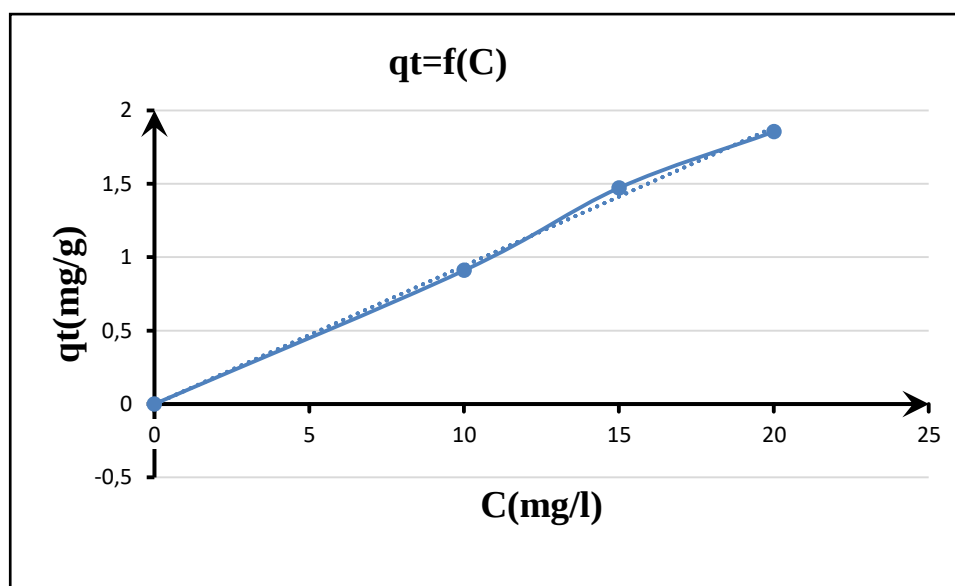


Figure III.15: Effet de la concentration du colorant Rouge Congo sur la performance d'adsorption sur le charbon actif (issu des épluchures de banane).

À partir du graphique représentant les variations de la quantité de colorant rouge Congo adsorbé en fonction de sa concentration illustrée dans la figure III.15, nous pouvons remarquer que plus la concentration du colorant est élevée, plus la quantité absorbée est élevée.

### III.6. Préparation de solution mère :

Une solution mère de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (1 g/L) a été préparée à l'aide d'eau distillée, puis des solutions diluées ont été élaborées en vue de tracer la courbe d'étalonnage nécessaire à l'étude du phénomène d'adsorption. L'absorbance de ces solutions a été mesurée à l'aide d'un

spectrophotomètre UV-Vis à la longueur d'onde maximale  $\lambda_{\text{max}} = 800 \text{ nm}$ , correspondant au maximum d'absorption du colorant.

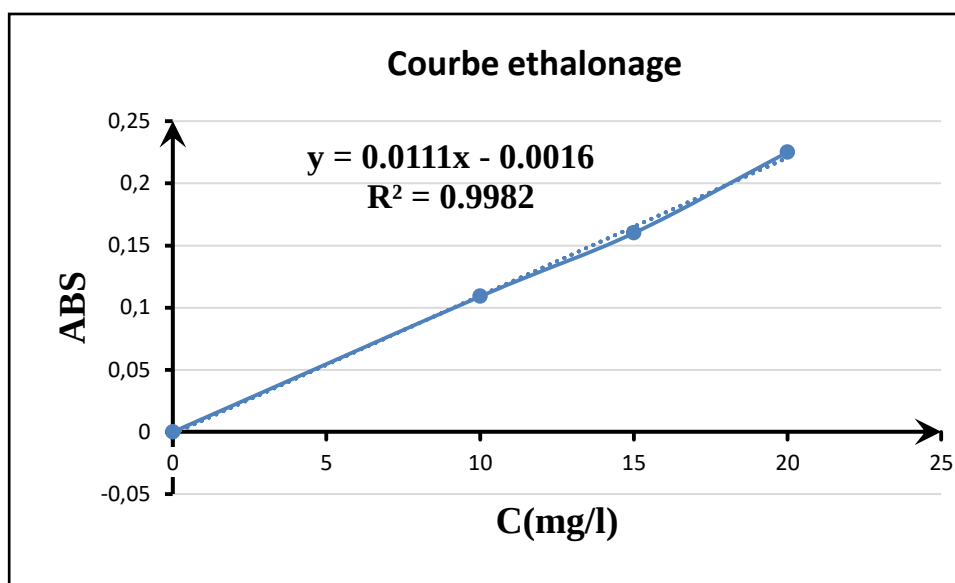


**Figure III.16:** La solution mère avec les solutions filles.

### III.6.1. La courbe d'étalonnage:

**Tableau III.2 :** variation de l'absorbance en fonction de concentration de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

| C (mg/l) | 0 | 10    | 15    | 20    |
|----------|---|-------|-------|-------|
| Abs (nm) | 0 | 0.109 | 0.160 | 0.225 |



**Figure III.17:** Courbe d'étalonne d'adsorption du  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

- L'équation du droit représentant l'absorbance en fonction de la concentration du  $\text{CuSO}_4$  est établie :  $C_e = \frac{A}{0.0111}$ , ainsi que le coefficient de régression  $R^2 = 0.9982$ , qui caractérise une bonne concordance.
- L'équation est ensuite utilisée pour déterminer la concentration inconnue du  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

### III.7.Effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption :

#### III.7.1. L'effet de pH :

L'adsorption de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  a été étudiée à différentes valeurs de pH (2, 4, 6, 10, 12) ces valeurs de pH ont été fixées en utilisant l'acide hydrochlorique HCL ou la base NaOH. Les solutions ont été de concentrations initiales 10, 15 et 20 mg/L. 0,5 g de charbon actif préalablement préparé a été ajouté à un volume de 50 ml de sulfate de cuivre, et le tout a été mélangé pendant 2 heures. Nous laissons les solutions reposer pendant au moins une demi-heure, puis nous mesurons leurs concentrations à l'équilibre pour calculer la quantité de cuivre adsorbée à chaque valeur de pH est-ce par la relation suivante :

$$Q = [(C_0 - C_e) / m] \cdot V$$

Avec:

**Q:** quantités de RC absorbées (mg/g).

**$C_0$ :** Concentration initiale de solution de RC en (mg/l).

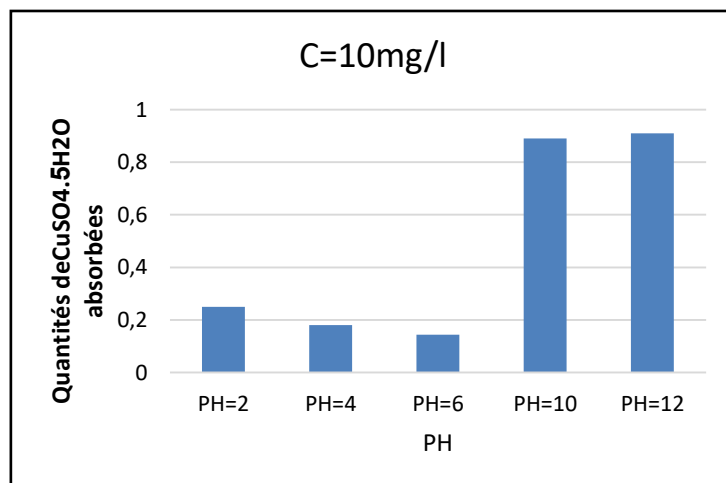
**$C_e$ :** La concentration de solution RC résiduelle en (mg/l).

**V :** volume de la solution de colorant utilisé (l).

**m:** masse de biosorbant (g)

► **C=10mg/l**

| ph                                                          | 2    | 4    | 6     | 10   | 12     |
|-------------------------------------------------------------|------|------|-------|------|--------|
| Quantités de CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O absorbées | 0.25 | 0.18 | 0.144 | 0.89 | 0.9099 |

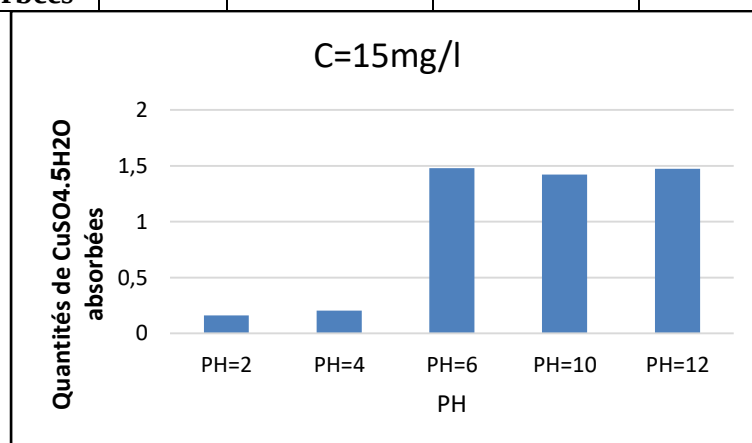


**Figure III.18:** Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées à différents

Niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 10mg /l

► **C=15mg/l**

| ph                                                          | 2    | 4    | 6    | 10   | 12    |
|-------------------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|
| Quantités de CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O absorbées | 0.16 | 0.20 | 1.48 | 1.42 | 1.471 |

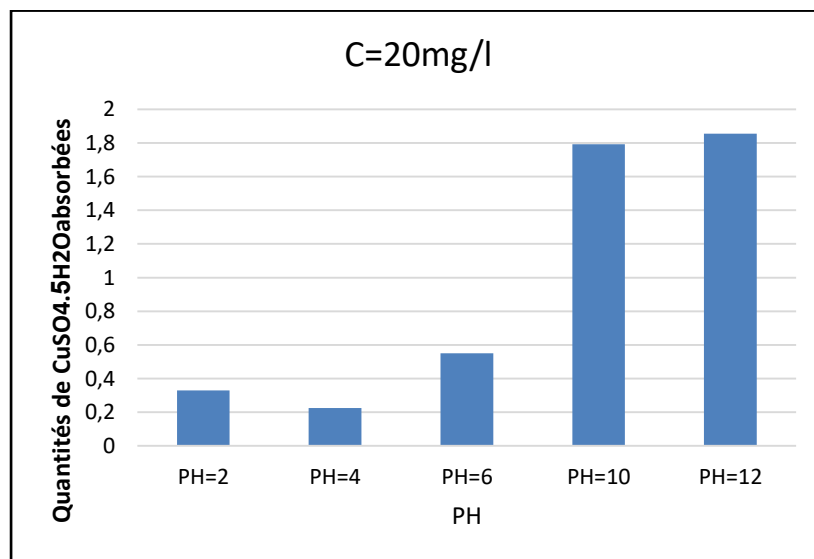


**Figure III.19:** Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées

À différents niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 15mg /l

► **C=20mg/l**

| ph                                                          | 2    | 4     | 6     | 10    | 12    |
|-------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Quantités de CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O absorbées | 0.33 | 0.225 | 0.549 | 1.792 | 1.855 |



**Figure III.20:** Diagramme à barres montrant la quantité de RC absorbées À

Différents niveaux de pH (2, 4, 6, 10,12) à une concentration de 20mg /l

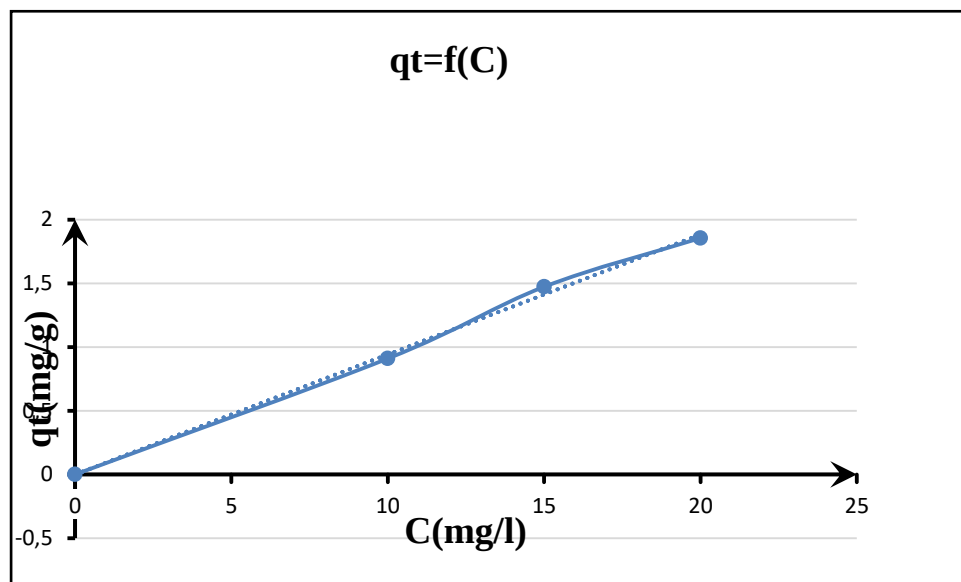
Les résultats ont montré qu'en milieu basique, la quantité adsorbée augmente avec pH, la quantité maximale ayant été observée à pH=12.

Par conséquent, on en conclut que le CuSO<sub>4</sub> est efficacement adsorbé par le charbon actif issu des épluchures de banane, en particulier en milieu basique (pH =12).

### III.7.2. L'effet de concentration:

Les résultats montrent que le pourcentage d'élimination du CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O augmenter avec l'augmentation de la concentration initiale de 10 à 20 mg/L, ce qui indique que l'adsorption est plus efficace à des concentrations fortes, où une plus grande quantité de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O est adsorbée.

|                 |   |        |       |       |
|-----------------|---|--------|-------|-------|
| <b>C (mg/l)</b> | 0 | 10     | 15    | 20    |
| <b>Qt(mg/g)</b> | 0 | 0.9099 | 1.471 | 1.855 |



**Figure III.21 :** Effet de la concentration de la solution de sulfate de cuivre sur la Performance d'adsorption sur le charbon actif (issu des Épluchures de banane).

À partir du graphique représentant les variations de la quantité de le cuivre adsorbé en fonction de sa concentration illustrée dans la figure III.21, nous pouvons remarquer que plus la concentration du colorant est élevée, plus la quantité absorbée est élevée.

### Bibliographie

- [01] Roskill information services Rapport the economics of activated carbon, Londres .p 193. (2003).
- [02] Mémoire de fin d'étude, « Optimisation des paramètres de l'élimination du rouge congo de l'eau par un biomatériau », Université Ahmed Draïa – Adrar, Berhoum Djamila, (2021).
- [03] Environmental Engineering and Management Journal, "Congo red removal from aqueous effluents by adsorption on cherry stones activated carbon", Grigoraş Cristina-Gabriela, Simion Andrei-Ionuţ, Favier Lidia, Gavrilă Lucian, Vol. 19, No. 2, pp. 247–254, Février 2020.
- [04] Adsorption of congo red dye from aqueous solutions by prepared activated carbon with oxygen-containing functional groups and its regeneration, Adsorption Science & Technology, Lafi Ridha, Montasser Imed, Hafiane Amor, Vol. 37 (1–2), pp. 160–181, 2019.
- [05] Journal of Hazardous Materials, \*Removal of Congo red using activated carbon and its regeneration \*. Purkait, M. K., Maiti, A., DasGupta, S., & De, S. \*\* (2007). 145(1–2), 287–295. ( 2006.11.021) <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat>.
- [06] "Preparation, characterization, and application of a homemade graphene for the removal of Congo red from aqueous solutions", Environmental Science and Pollution Research, Temilolu Popoola Afamefuna Okoronkwo Oluwasina O Olugbenga Matthew Ayorinde Adebayo, ( October 2021)

# Conclusion générale

### Conclusion générale

Au terme de ce travail, il est possible d'affirmer que le charbon actif préparé à partir des pelures de banane constitue un matériau efficace et prometteur dans le traitement des eaux polluées, notamment pour l'élimination du Rouge Congo, un colorant industriel aux effets environnementaux négatifs. Cette étude a mis en lumière le potentiel important de valorisation de ce type de déchets agricoles abondants en Algérie, en les transformant en adsorbants performants à faible coût [8].

Les résultats expérimentaux ont montré que le processus d'adsorption est fortement influencé par les conditions opératoires, notamment le pH, où le charbon actif présente la meilleure capacité d'adsorption du Rouge Congo à  $\text{pH} = 2$ , c'est-à-dire en milieu acide, tandis que l'efficacité diminue nettement en milieu basique. Cela s'explique par la variation de la charge de surface du charbon actif ainsi que par la nature du colorant selon le pH, ce qui affecte l'interaction entre le polluant et la surface adsorbante [7].

Des essais parallèles ont également été réalisés pour étudier l'adsorption du sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ), un polluant inorganique des eaux industrielles, et il a été constaté que la meilleure capacité d'adsorption est obtenue à  $\text{pH} = 12$ . Cela souligne que chaque polluant possède des caractéristiques physico-chimiques qui déterminent les conditions optimales d'adsorption, soulignant l'importance d'adapter les traitements d'eau selon le type de contaminant ciblé [5].

Sur le plan environnemental, ce type de solution constitue une alternative durable aux produits chimiques industriels coûteux, tout en contribuant à la valorisation des déchets organiques et à la réduction de la pollution liée à leur rejet. D'un point de vue économique, la fabrication locale de charbon actif à faible coût ouvre des perspectives larges pour les stations d'épuration, notamment dans les régions disposant de ressources financières et techniques limitées [9].

### Bibliographie

[5]Journal of Hazardous Materials,Copper removal from aqueous solutions by adsorption onto hazelnut shell and activated carbon. 74(1-2), 63-73. Teker, M., & Imamoglu, M.(1999).

[7] Journal of Environmental Chemical Engineering, Adsorption of Congo Red from aqueous solution using raw and modified banana peels. 3(4), 2586–2593. Khalfaoui, M., Meniai, A. H., & Bencheikh Lehocine, M. (2015).

[8]Chemical Engineering Journal, Preparation and characterization of activated carbon from rambutan peel for the adsorption of Congo red dye from aqueous solutions. 172(2-3), 385-392. Njoku, V. O., & Hameed, B. H. (2011).

[9] Journal of Hazardous Materials,Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. 167(1-3), 1–9 ,Demirbas, A. (2009).