



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'Agronomie

Mémoire

Présenté par :

GHELLAI Hanaa Fatima Zohra

CHELLALI Sara

Pour l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Alimentaire

Spécialité : Agro-alimentaire et Contrôle de la Qualité

Sur le thème

Valorisation d'un déchet alimentaire « le marc de café » dans le traitement des eaux

Soutenu le 29/06 /2025 à Tlemcen devant le jury composé de :

Présidente Mme Meziane Kawther Radja MCA Université de Tlemcen

Examinatrice Mme GHANEMI Fatima Zohra MCA Université de Tlemcen

Encadrante Mme MERGHACHE Salima Pr Université de Tlemcen

Année universitaire : 2024/2025

Dédicace

Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé le don de la raison et de la religion.

Je dédie cette remise de diplôme à celle qui m'a appris à donner et à celle dont je porte le nom avec fierté. J'espère que Dieu prolongera sa vie pour qu'il puisse nous voir réussir après une longue attente, mon cher père.

Et à mon ange dans la vie. Ressentir de l'amour, de la tendresse et de l'honnêteté.

Au sourire de la vie et au secret de l'existence. Et à celle dont la prière fut le secret de ma réussite. Prolonger sa durée de vie. Ma mère bien-aimée.

Et à mon cher frère, qui a été mon soutien et mon compagnon dans les difficultés les plus difficiles, car il n'était pas mon frère, mais plutôt mon deuxième père, malgré son jeune âge, car je lui souhaite de réussir son baccalauréat, et puisse il se rétablir, et que Dieu le bénisse avec santé et bien-être, mon frère Boumediene.

Et à ma petite fille, ma bien-aimée, et le dernier groupe de notre famille, ma sœur, qui porte le bouquet de l'innocence. Son sourire a un charme particulier qui nous rend très heureux. Elle est la lumière qui illumine ma vie. Une source à laquelle je bois de l'amour et de la tendresse.

Seigneur, rends-l 'heureuse dans chaque détail de sa vie et protège-la de tout mal. Ma sœur, WALAA RAIHEN.

A mes amis SARA et KAWTHER, avec qui j'ai passé le plus beau moment dans ce travail.

HANAA

Dédicace

À mon père que dieu ait pitié de lui : Dans le jour de ma remise de diplôme, comme j'aurais aimé que tu sois là, me souriant fièrement, ta sagesse, ton courage et les valeurs que tu m'as transmises sont les fondements de mon cheminement. Ce travail, fruit de mon engagement et de mes efforts, t'est dédié. Tu restes à jamais vivant dans mon cœur.

À ma mère : À celle qui a été une source inépuisable de courage, de patience et d'inspiration tant que les mots me manquent pour l'exprimer. Par ta force silencieuse et ton soutien constant, tu m'as toujours encouragé à avancer. Que Dieu te protège et t'accorde une longue vie, en pleine santé et remplie de bonheur.

À mon oncle Youssef : Votre présence m'a été d'un précieux soutien dans les moments difficiles, Je prie Dieu de vous protéger, de vous accorder santé et bien-être, et de prolonger vos jours dans la paix et la tranquillité. Merci du fond du cœur pour votre confiance indéfectible et votre amour précieux.

À ma sœur Aya et mon frère Abderrahmane : Merci d'être toujours là, présent dans les bons comme dans les mauvais moments. Vous avez créé pour moi un espace de sécurité et de chaleur, un foyer rempli d'amour où je peux me ressourcer. Je suis si fière de vous avoir à mes côtés. Que Dieu vous bénisse et vous accorde un avenir radieux, rempli de bonheur, de paix et de réussite

À tous les membres de ma famille CHELLALI et BENSAIM

À mes chères amies : SABAH, HANAA, KAWTHER

SARA

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى: {رب أوزعني أن أشكر نعمتك الّتي أنعمت عليّ وعلى والديّ وأنّ
أعملّ صالحاً ترضاه وأصلح لي في ذرّيتي إنّني أتبت إليك وإنّي من المسلمين}

(سورة النمل 19).

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

*Nous remercions également le Professeur **Pr. BENGUELLA BELKACEM**, Chef du Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnementale ‘**LCIE**’ de l'Université **Abou Bakr BELKAID**, qui a mené les recherches qui font l'objet de cette mémoire. et même le technicien de cette laboratoire **MOHAMMED**.*

*Nous remercions l'encadreur **Pr. MERGHACHE SALIMA** pour leurs encouragements et leurs conseils. Nous vous exprimons notre respect et notre gratitude.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous les membres du jury **Madame Meziane Kawther Radja** et **Madame GHANEMEI Fatima Zohra**, qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de notre travail.*

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont été impliquées de près ou de loin pour terminer ce travail.

Résumé :

L'eau, c'est la vie, on doit la protéger contre les différents polluants. Le but de notre travail est de synthétiser un adsorbant (charbon actif) à partir du marc de café par différentes méthodes (séchage, activation chimique (H_3PO_4), activation thermique (carbonisation), lavage, tamisage) et de tester son efficacité d'éliminer des contaminants trouvés dans les eaux de rejet de une entreprise des boissons.

Le charbon actif est ensuite caractérisé par la détermination de certaines propriétés physicochimiques. La masse volumique de 0.4225 g/mL montre que le charbon actif est léger favorisant l'adsorption grâce à sa structure poreuse. Un taux d'humidité de 4,70 % est bas, préservant le pouvoir d'adsorption. Un taux de cendres de 3,12 % indique une meilleure pureté, et un pH de 6,31 pas loin de 7, évite des réactions indésirables dans l'eau.

Le charbon actif est utilisé pour traiter l'eau de rejet provenant d'une industrie de boissons par adsorption en se basant sur la mesure de la turbidité, la masse volumique et le pH. Pour améliorer les performances et l'efficacité des systèmes de purification de l'eau, nous avons étudié l'effet de certains paramètres sur le rendement d'élimination de la matière polluante à savoir : la masse du charbon actif, la vitesse d'agitation, le pH, le temps de contact et la température

Mots clés : Marc de café, charbon actif, eau de rejet, adsorption, paramètres physicochimiques

Abstract:

Water is life, and it must be protected from various pollutants. The aim of our study is to synthesize an adsorbent (activated carbon) from coffee grounds using different methods (drying, chemical activation with H_3PO_4 , thermal activation/carbonization, washing, and sieving), and to test its effectiveness in removing contaminants found in the wastewater of a beverage company.

The activated carbon is then characterized by determining several physicochemical properties. The bulk density of 0.4225 g/mL indicates that the activated carbon is lightweight, which promotes adsorption due to its porous structure. A moisture content of 4.70% is low, preserving its adsorption capacity. An ash content of 3.12% indicates better purity, and a pH of 6.31, close to neutral (7), prevents undesirable reactions in water.

The activated carbon is used to treat wastewater from a beverage industry through adsorption, based on measurements of turbidity, bulk density, and pH. To improve the performance and efficiency of water purification systems, we investigated the effect of several parameters on the removal efficiency of pollutants, namely: the mass of activated carbon, stirring speed, pH, contact time, and temperature.

Keywords: Coffee grounds, activated carbon, wastewater, adsorption, physicochemical parameters

الملخص:

الماء هو الحياة، ويجب علينا حمايته من مختلف الملوثات. يهدف هذا العمل إلى تحضير مادة مازة (فحم منشط) انطلاقاً من تفل القهوة باستخدام طرق مختلفة تشمل: التجفيف، التنشيط الكيميائي بحمض الفوسفوريك (H_3PO_4)، التنشيط الحراري (الكربنة)، الغسل، والغربلة، ومن ثم اختبار فعاليتها في إزالة الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصناعي لشركة مشروبات.

تمت بعد ذلك دراسة خصائص الفحم المنشط من خلال تحديد بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية. حيث أظهرت الكثافة الحجمية البالغة 0.4225 غ/مل أن الفحم المنشط خفيف الوزن، مما يعزز عملية الامتزاز بفضل بنيته المسامية. كما أن نسبة الرطوبة البالغة 4.70% تُعتبر منخفضة، مما يساعد في الحفاظ على قدرته الامتصاصية، في حين تشير نسبة الرماد البالغة 3.12% إلى نقاوة أفضل، ويظهر رقم pH البالغ 6.31 - وهو قريب من القيمة المحايدة - أنه لا يُسبب تفاعلات غير مرغوبة في الماء.

استُخدم الفحم المنشط لمعالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة عن صناعة المشروبات بواسطة تقنية الامتزاز، معتمدين على قياسات العكارة، والكثافة الحجمية، ودرجة الحموضة (pH). ولتحسين أداء وكفاءة أنظمة تنقية المياه، تمت دراسة تأثير بعض العوامل على كفاءة إزالة الملوثات، وهي: كتلة الفحم المنشط، سرعة التحريك، درجة الحموضة، زمن التلامس، ودرجة الحرارة.

الكلمات المفتاحية: تفل القهوة، فحم منشط، مياه صرف، امتزاز، خصائص فيزيوكيميائية

TABLE DES MATIERES

Introduction Générale	1
I Synthèse Bibliographique	1
I.1 Les rejets liquides des industries.....	2
I.1.1 Définition de la pollution de l'eau.....	2
I.1.2 Origine de la pollution des eaux.....	2
1.1.2.1 Les eaux résiduaires domestiques.....	2
1.1.2.2 Les eaux résiduaires industrielles	2
1.1.2.3 Le ruissellement dans les zones agricoles.....	2
1.1.2.4 Les eaux pluviales et le ruissellement en milieu urbain	2
I.1.3 Les principaux polluants de l'eau	2
1.1.3.1 Les métaux lourds	3
1.1.3.2 Composés phénoliques	3
1.1.3.3 Les colorants	3
I.2 Les méthodes de traitement des rejets industriels	3
I.2.1 Le prétraitement	3
I.2.2 Le traitement primaire.....	3
I.2.3 Le traitement secondaire	4
I.2.4 Le traitement tertiaire.....	5
I.2.5 L'adsorption.....	5
1.2.5.1 Définition de l'adsorption.....	5
1.2.5.2 Type d'adsorption	5
1.2.5.3 Mode d'adsorption.....	6
1.2.5.4 Mécanisme de l'adsorption.....	7
1.2.5.5 Facteur influençant l'adsorption	8
1.2.5.6 Les différents adsorbants	9

I.3	Charbon Actif.....	11
I.3.1	Définition du charbon actif (CA).....	11
I.3.2	Type du charbon actif	12
I.3.3	Propriétés d'un charbon actif.....	12
1.3.3.1	Propriétés physiques	12
1.3.3.2	Propriétés chimiques	13
I.3.4	Structure de charbon actif.....	13
I.3.5	Porosité du charbon actif	15
I.3.6	Utilisation des charbons actifs	15
I.3.7	Méthodes de préparation du charbon actif.....	16
1.3.7.1	Carbonisation	16
1.3.7.2	Activation.....	16
I.4	Valorisation du marc de café.....	18
I.4.1	Définition du marc de café	18
I.4.2	Composition chimique du marc de café.....	19
I.4.3	Substances bioactives	20
I.4.4	Écotoxicité	21
I.4.5	Les différentes utilisations du marc de café.....	21
II	Matériels et Méthodes.....	22
II.1	Matériels.....	22
II.2	Présentation de la matière première.....	23
II.2.1	Séchage du marc de café.....	24
II.2.2	Préparation d'une solution d'acide phosphorique.....	24
II.2.3	Les activations physique et chimique	24
Activation chimique		24
Activation physique.....		25
II.2.4	Lavage.....	25
II.2.5	Tamissage.....	26
II.2.6	Le rendement.....	27
II.3	Caractérisations des charbons actifs	28
II.3.1	Détermination de la masse volumique	28
II.3.2	Détermination du taux d'humidité.....	29
II.3.3	Détermination du taux de cendre	30
II.3.4	Détermination de pH	30
II.3.5	Spectrophotomètre UV visible	31
Loi de Beer-Lambert.....		31
II.4	Traitement de l'eau.....	32

II.4.1	Etude de l'adsorption.....	32
II.4.2	Analyse physicochimique.....	32
	Détermination de la température.....	33
	Détermination de la conductivité électrique.....	33
	Détermination de la turbidité.....	34
III	Résultats Et Discussions.....	35
III.1	Caractérisation de l'adsorbant et l'adsorbat	36
III.2	Caractéristiques des rejets de l'eau de l'entreprise des boissons.....	38
III.3	Traitement de l'eau de rejet de l'industrie des boissons par adsorption sur le charbon actif : étude de l'effet de certains paramètres	39
	a) Etude de l'effet de la masse d'adsorbant.....	39
	b) Etude de l'effet de la vitesse d'agitation.....	40
	c) Etude de l'effet du pH.....	42
	d) Etude de l'effet de temps.....	43
	e) Etude de l'effet de la température.....	44

Conclusion Générale.....	45
---------------------------------	-----------

Références Bibliographiques

Annexes

Résumé

LISTE DES FIGURES

I.1	Schéma de l'adsorption physique	6
I.2	Mécanisme d'adsorption	7
I.3	Charbon actif.	11
I.4	Représentation schématique de la structure des pores d'un charbon actif, d'après Rodriguez Reinoso et Linares-Solano	12
I.5	Caractérisation compositionnelle et chimique des carbonates microporeux	13
I.6	Représentation schématique des microstructures du charbon actif	14
I.7	Représentation à l'échelle de la porosité d'un adsorbant.	15
I.8	Marc de café	18
II.1	Marc de café	23
II.2	Le mélange (marc de café + acide phosphorique)	24
II.3	Activation physique	25
II.4	Lavage par l'eau distillée chaude.....	26
II.5	Tamis (0,2 mm de diamètre)	26
II.6	Spectrophotomètre UV visible	31
II.7	Conductivité électrique.....	33
II.8	Turbidimètre.....	34
III.1	Courbe d'étalonnage du bleu de méthylène.....	38
III.2	Résultat de rendement de l'effet de la masse d'adsorbant	40
III.3	Résultat de rendement de l'effet de la vitesse d'agitation.....	41
III.4	Résultat de rendement de l'effet de PH	42
III.5	Résultat de rendement de l'effet de temps.....	43
III.6	Résultat de rendement de l'effet de la température.....	44

LISTE DES TABLEAUX

I.1	Composition élémentaire du marc de café	19
I.2	Les principaux composés du marc de café	19
I.3	Composition des principaux minéraux du marc de café	19
I.4	Composition moyenne en fibres du marc de café	19
II.1	Appareillage de matériels utilisés	22
III.1	Caractérisation de l'adsorbant.....	36
III.2	Caractérisation de l'adsorbat	37
III.3	Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de rejet	38
III.4	Effet de la masse du charbon actif sur les propriétés physico-chimiques des eaux traitées	39
III.5	Effet de la vitesse d'agitation sur les propriétés physico-chimiques des eaux traitées	41
III.6	Effet du pH sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.....	42
III.7	Effet du temps de contact sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.....	43
III.8	Effet de la température sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.....	44

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Signification
CA	Charbon actif
PAC	Charbon actif en poudre
GAC	Charbon actif granulaire
M.C	Marc de café

Introduction Générale

L'eau est une ressource indispensable et sans substitut, qui est au cœur de la vie et de l'environnement. Toutefois, sa pureté est compromise par la pollution, ce qui constitue un défi de santé important, surtout pour les enfants. Afin d'assurer une eau potable saine, il est essentiel de la sauvegarder, de la purifier et de la conserver, dans le but d'éradiquer les agents pathogènes microscopiques et les contaminants, tout en garantissant un approvisionnement fiable pour les communautés.

Le marc de café renferme plusieurs composants précieux qui peuvent être utilisés pour fabriquer des biocarburants, du compost, des biomatériaux ou encore du charbon actif. Sa récupération apporte des bénéfices environnementaux et socio-économiques, tels que la génération d'emplois et l'émergence de nouveaux marchés. Bien que d'importantes quantités soient produites sur le territoire, en particulier par quelques établissements, la plupart du marc de café n'est toujours pas récupéré ni valorisé.

L'industrie chimique s'efforce de substituer les méthodes conventionnelles d'élimination des polluants par l'adsorption, une approche efficace, aisée et économique. Il est crucial de sélectionner l'adsorbant avec soin, en prenant en compte plusieurs facteurs (surface spécifique importante, coût réduit, empreinte écologique minimale). La recherche exposée se concentre sur la fabrication de charbons actifs à partir des résidus de café, un déchet organique, en utilisant diverses techniques d'activation (physique et chimique). Elle étudie l'impact de la durée et du volume d'activation sur les caractéristiques des charbons, en particulier leur surface spécifique et leur porosité.

Notre étude vise à développer un adsorbant à partir de déchets agroalimentaires (marc de café), en les réemployant comme charbon actif pour le traitement des eaux.

Le mémoire se divise en 3 chapitres majeurs, complétés par une introduction générale et une conclusion générale.

Chapitre I : consacrée à la synthèse bibliographique, elle est divisée en 4 grandes parties:

- Les rejets liquides des industries
- Les méthodes de traitement des rejets industriels
- Le charbon actif
- Valorisation du marc de café

Chapitre II : consacré à la partie expérimentale, là où nous avons présenté les matériels, les étapes de fabrication et les méthodes d'analyses utilisées durant la procédure expérimentale

de traiter l'eau par le charbon actif issu du marc de café.

Chapitre III : consacrée à la description des résultats obtenus et les discussions.

Chapitre I :

Synthèse Bibliographique

I.1 Les rejets liquides des industries :

I.1.1 Définition de la pollution de l'eau :

La contamination de l'eau rend son utilisation dangereuse et affecte l'écosystème. Elle provient de l'action humaine, des industries, de l'agriculture et des sites d'enfouissement. L'eau a un "niveau de pollution" et ne doit pas être rejetée dans l'environnement sans traitement. Sa qualité dépend du secteur et de l'endroit où elle est déversée [1].

I.1.2 Origine de la pollution des eaux :

La pollution continue de l'eau est associée aux déversements industriels, aux eaux usées provenant de l'urbanisation, ainsi qu'à l'utilisation de pesticides et d'engrais dans le secteur agricole. D'après W. Wesley Eckenfelder (1982), quatre sources majeures sont à l'origine de la pollution de l'eau :

1.1.2.1 Les eaux résiduaires domestiques :

Sont transportées vers la station d'épuration par le réseau d'assainissement [2]. Les eaux usées comprennent les eaux ménagères et les eaux de vannes.

1.1.2.2 Les eaux résiduaires industrielles :

Varient selon l'utilisation de l'eau dans les secteurs. Les eaux résiduaires contiennent des substances comme des métaux lourds et des solvants [3].

1.1.2.3 Le ruissellement dans les zones agricoles :

Les rejets d'eaux usées du secteur agricole causent des pollutions diffuses par des minéraux et des produits chimiques [4,5].

1.1.2.4 Les eaux pluviales et le ruissellement en milieu urbain :

Les eaux de pluie, surtout pendant les tempêtes [6], sont une source importante de pollution pour les rivières.

I.1.3 Les principaux polluants de l'eau :

Les principaux contaminants de l'eau sont : les bactéries, les hydrocarbures, les pesticides, l'azote, les métaux lourds, les colorants, les produits à base de phénol, les déchets en plastique et les résidus pharmaceutiques.

1.1.3.1 Les métaux lourds :

Les éléments qualifiés de métaux lourds sont ceux qui possèdent une densité supérieure à 5 g/cm³, ont un numéro atomique élevé et présentent des risques potentiels pour l'environnement ainsi que pour la santé humaine [7]. Il y a des éléments, tels que le zinc, qui sont indispensables à l'existence, alors que d'autres peuvent être dangereux en cas de concentration élevée [8]. Il est essentiel d'évaluer ces aspects pour se conformer aux standards et, si requis, de recourir à des techniques de dépollution pour les éradiquer [9].

1.1.3.2 Composés phénoliques :

Certaines espèces dépendent biologiquement de certains phénols [10], cependant, ces derniers sont nocifs pour l'homme et d'autres espèces [11].

1.1.3.3 Les colorants :

On compte une dizaine de teintures naturelles telles que le safran, le pastel et la garance, ainsi que des milliers de colorants artificiels. Ils sont organisés en fonction de leur structure chimique et de leur utilisation sur divers substrats (produits alimentaires, textiles, papier, cuir, etc.) [12].

I.2 Les méthodes de traitement des rejets industriels :

I.2.1 Le prétraitement :

Le prétraitement est un processus initial qui vise à enlever des débris lourds de l'eau, comme le sable et les huiles, pour faciliter les traitements suivants. Cela évite des problèmes comme des odeurs et des obstructions. Les principales méthodes sont le dégrillage, le dessablage et le déshuilage [13,14].

I.2.2 Le traitement primaire :

Permet d'éliminer plus de la moitié des substances en suspension, transformant ces matériaux en boues primaires. Il utilise des méthodes telles que la flottation, la décantation et la filtration pour séparer les solides des liquides [13,14].

I.2.3 Le traitement secondaire :

L'objectif principal est d'éliminer les particules et les éléments solubles dans l'eau, comme les matières organiques et les minéraux [13,14].

Des méthodes biotechnologiques purifient 90 % des eaux usées contenant des substances organiques, avec des traitements physico-chimiques pour les polluants restants.

1.2.4 Le traitement tertiaire :

Il s'agit d'un processus d'affinage pour réutiliser les eaux purifiées en agriculture ou en industrie, préserver l'environnement récepteur ou protéger les points de prélèvement. Le traitement des boues vise à gérer et réduire leur volume par déshydratation.

1.2.5 L'adsorption :

1.2.5.1 Définition de l'adsorption :

L'adsorption est une méthode efficace pour éliminer divers composés nocifs de l'eau et de l'air [15]. Ce processus se produit lorsque des molécules d'un liquide ou d'un gaz s'accrochent à la surface d'un solide. Il dépend des caractéristiques de l'adsorbât et peut être de deux types : chimisorption et physisorption [16]. L'adsorption est aussi considérée comme une opération de séparation physique [17].

1.2.5.2 Type d'adsorption :

On identifie deux formes d'adsorption :

- Adsorption physique (physisorption) [18].
- Adsorption chimique (chimisorption) [19].

Adsorption physique ou physisorption :

La physisorption, aussi appelée adsorption de Van der Waals (figure I.1), découle de l'existence de forces d'attraction et de répulsion intermoléculaires qui interviennent entre deux molécules. Elle implique des interactions de faible intensité, comme les forces d'attraction de type Van der Waals et les forces d'interaction électrostatiques résultant de la polarité de la surface de l'adsorbant et de la polarisabilité des molécules d'adsorbat. Ces interactions sont peu spécifiques et réversibles, avec une possibilité de désorption totale. L'adsorption physique se produit rapidement et la surface capable d'adsorber peut-être tapissée d'une ou plusieurs strates de produit adsorbé. Ce genre d'adsorption implique une chaleur d'adsorption qui est inférieure à 50 kJ/mole [18].

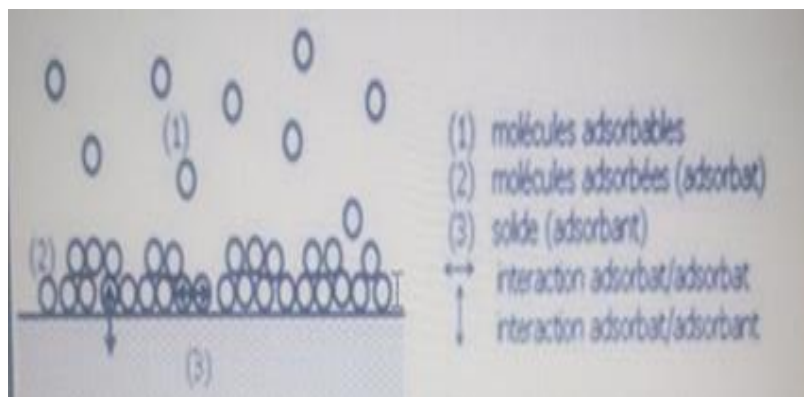


FIGURE I.1 : Schéma de l'adsorption physique [19].

Adsorption chimique (chimisorption) :

La chimisorption est un processus d'adsorption impliquant une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant. Elle engendre habituellement une transformation irréversible des molécules adsorbées. Il n'est pas possible d'accumuler ces dernières sur plus d'une seule couche. Avec ce processus d'adsorption, les molécules se fixent directement sur le solide [19].

1.2.5.3 Mode d'adsorption :

Adsorption statique :

un contact fondamental dans une cuve en agitation diminue la concentration du composé adsorbé jusqu'à atteindre un état d'équilibre. La rapidité de l'adsorption est influencée par les conditions de transfert, la densité du soluté, l'espace disponible et les conditions expérimentales.

Adsorption dynamique : La technique d'adsorption sur colonne est une approche à la fois efficace et économique qui permet d'adsorber des composés organiques tout en filtrant des particules. Le procédé emploie un adsorbant en vrac dans des colonnes contenant des particules de tailles différentes [20,21].

1.2.5.4 Mécanisme de l'adsorption :

L'adsorption se déroule essentiellement en trois phases (figure I.2), indiquant les divers domaines où les molécules organiques ou inorganiques pourraient être en interaction avec le solide [22].

Diffusion à l'extérieur : cela fait référence au déplacement du soluté depuis le cœur de la solution vers la surface externe de l'adsorbant. Ce transfert de matière externe est soumis aux conditions hydrodynamiques du flux d'un fluide à travers un lit d'adsorbant. Cette phase est rapide.

Diffusion interne : Les particules du fluide se propagent à travers la structure poreuse de la surface externe des grains vers les sites réactifs, guidées par le gradient de concentration du soluté. Ce processus prend du temps.

Diffusion de surface : Elle se réfère à l'attachement des molécules à la surface des pores. Une fois qu'elles sont adsorbées, les molécules sont considérées comme étant immobiles. Cette phase est très rapide [23].

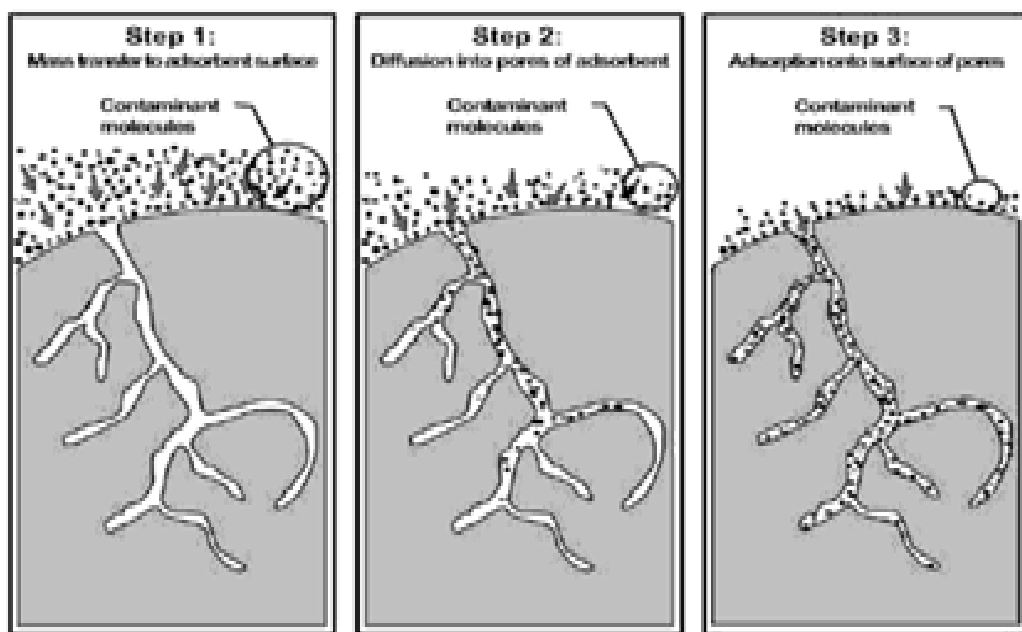


Figure I.2 : Mécanisme d'adsorption [23].

1.2.5.5 Facteur influençant l'adsorption :

Divers éléments peuvent affecter l'adsorption, notamment le type d'adsorbat et d'adsorbant, la température, la dimension des pores, la surface spécifique et la concentration ou encore le pH.

Nature de l'adsorbat et de l'adsorbant : L'adsorption est fortement influencée par les caractéristiques chimiques et physiques de l'adsorbat (la substance à être adsorbée) et de l'adsorbant (la surface sur laquelle s'effectue l'adsorption). Par exemple, des facteurs tels que la polarité, la dimension des molécules et la charge électrique sont susceptibles d'affecter l'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant [24].

Température : L'adsorption est influencée par la température car elle modifie l'énergie cinétique des molécules, ce qui peut perturber leur adhésion à la surface de l'adsorbant [25].

Taille des pores et surface spécifique : Si les pores de l'adsorbant sont plus petits que les diamètres des molécules de l'adsorbât, l'adsorption de ce dernier ne peut pas se réaliser, même si la surface de l'adsorbant présente une forte affinité pour ce composé [26].

pH : Selon la règle de Traube, l'ajustement des paramètres analytiques, et en particulier du pH, améliore l'efficacité de l'adsorption des contaminants présents dans les solutions aqueuses [27].

La taille de la particule de l'adsorbant : C'est un facteur crucial qui affecte la capacité et la vitesse de l'adsorption. Effectivement, une diminution de la taille des particules accroît l'accès à la surface spécifique et minimise la diffusion à l'intérieur des grains, améliorant ainsi le potentiel d'adsorption [28].

La vitesse d'agitation : Favorise un meilleur contact entre l'adsorbant et l'adsorbat en encourageant la dispersion des particules et le transfert de masse. Un mouvement insuffisant restreint l'adsorption, alors qu'un mouvement idéal (par exemple, environ 400 tours par minute) optimise la quantité d'adsorption. Un mouvement excessif au-delà de ce point génère des vortex qui diminuent le contact [29].

La masse de l'adsorbant : Généralement, une augmentation de la quantité d'adsorbant accroît la capacité globale d'adsorption. Cependant, la quantité d'adsorption par unité de masse peut se réduire à cause de la saturation des sites actifs ou de l'agglutination des particules, entravant ainsi l'accessibilité des sites. Un seuil d'efficacité peut se manifester au-delà d'une certaine concentration (par exemple, 4 g/L pour la bentonite) [29].

La concentration initiale de l'adsorbat : L'équilibre d'adsorption qui se met en place entre la phase solide et la phase liquide est fonction de la concentration initiale des substances à adsorber, étant donné que plus cette dernière est élevée, plus l'adsorption est importante [30].

Le temps de contact adsorbant et adsorbat : C'est un facteur crucial à considérer. L'optimal de contact est obtenu lorsque tous les sites d'adsorption sont comblés par l'élément à sorber [31].

Le débit d'écoulement (dans le cas de l'adsorption en mode dynamique) : Le débit du fluide à travers un lit d'adsorbant influence l'efficacité de l'adsorption. Un débit élevé réduit le temps de résidence et l'adsorption, alors qu'un débit faible favorise l'adsorption mais allonge le processus. On ajuste la vitesse entre 0,05 m/s et 0,5 m/s selon les besoins [32].

La hauteur du lit (dans le cas de l'adsorption en mode dynamique) : Le facteur crucial pour garantir une séparation efficace est la hauteur fixe du lit d'adsorbant. Une plus grande hauteur amplifie la durée de contact et la capacité d'adsorption, retardant ainsi l'avancement du soluté. En général, la hauteur des colonnes d'adsorption varie entre 0,5 et 3 mètres, sélectionnée selon l'efficacité recherchée et les restrictions hydrauliques (perte de charge) [32].

1.2.5.6 Les différents adsorbants :

Théoriquement, tous les solides ont des propriétés d'adsorption. Dans le domaine industriel, on distingue cinq catégories majeures d'adsorbants « physiques » : les charbons actifs, les zéolithes, les argiles activées, les gels de silice et les alumines. L'adsorption particulièrement importante de ces matériaux est en partie due à leurs structures très poreuses et à leurs surfaces spécifiques étendues [33].

Les charbons actifs : La pyrolyse de substances riches en carbone produit du charbon de bois, oxydé par la vapeur d'eau pour une structure microporeuse. Il existe différents types de charbons actifs selon le matériau et le traitement. Les charbons actifs sont des adsorbants amorphes, préférant les composés organiques [34].

Les zéolithes : Les zéolithes sont des aluminosilicates microporeux avec une structure cristalline. Il en existe plus de 100 variétés, ayant une forte capacité d'adsorption polaire [34].

Les alumines : Les alumines activées résultent de la thermolyse flash du trihydroxyde d'aluminium, formant un produit d'environ Al_2O_3 et $0,5 \text{ H}_2\text{O}$ avec une structure poreuse. Ce sont des adsorbants non cristallins [34].

Les gels de silice : Les gels de silice sont fabriqués à partir de $\text{Si}(\text{OH})_4$ en utilisant diverses méthodes comme l'acidification d'un silicate de sodium. Ils se polymérisent rapidement pour former un gel stable. Il existe des gels microporeux, hydrophiles, et des gels macroporeux, polyvalents [34].

Les argiles activées : Les argiles activées sont des aluminosilicates qui ont une formule chimique semblable à celle des zéolithes, cependant leur structure cristalline diffère. Il s'agit de produits naturels, principalement employés pour le processus de séchage [34].

I.3 Charbon Actif :

I.3.1 Définition Le charbon actif (CA) :

Le charbon actif (CA), également connu sous le nom de charbon activé, est une substance noire couramment associée aux matériaux hautement carbonés, produits dérivés du bois, des coques de noix de coco, du charbon, des cônes, etc. [35]. Le charbon actif est caractérisé par une porosité élevée et une importante capacité d'adsorption. En effet, un gramme de charbon actif peut avoir une surface interne dépassant les $1500 \text{ m}^2/\text{g}$, et cette caractéristique singulière est à l'origine de ses étonnantes capacités d'adsorption (figure I.3) [36].



FIGURE I.3 : Charbon actif.

I.3.2 Type du charbon actif :

On distingue deux types de charbons actifs : le charbon actif en poudre (PAC) et le charbon actif granulaire (GAC). Le GAC est fréquemment utilisé dans le traitement de l'eau. Le PAC demeure l'un des charbons les plus couramment utilisés dans les usines d'eau potable, l'épuration des eaux usées et le traitement des eaux industrielles. Il affiche une bonne performance par rapport aux autres types. Dans certaines applications spécifiques, les charbons actifs peuvent être soumis à des traitements supplémentaires : imprégnation avec divers substituts pour des objectifs catalytiques [37], revêtement par un polymère biocompatible pour obtenir un revêtement lisse et perméable sans obstruction des pores [38], ou utilisation sous forme de tissus [39].

I.3.3 Propriétés d'un charbon actif :

Il y a deux propriétés différentes (physique et chimique) :

1.3.3.1 Propriétés physiques :

Le charbon actif est une substance carbonée poreuse qui renferme une vaste variété de matériaux poreux (figure I.4). La porosité est habituellement caractérisée en suivant les critères de l'I'TUPAC par trois catégories principales : la macroporosité (macropore, diamètre supérieur à 50 nm), la méso porosité (miso pore, diamètre entre 2 et 50 nm) et la microporosité (micropore, diamètre inférieur à 2 nm) [40]. La taille des pores et la surface spécifique sont principalement influencées par le matériau de départ et la méthode d'activation [41].

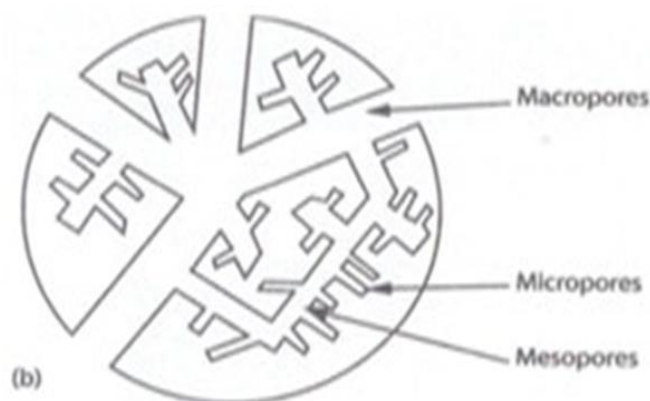


FIGURE I.4 : Représentation schématique de la structure des pores d'un charbon actif, d'après Rodriguez Reinoso et Linares-Solano [42].

1.3.3.2 Propriétés chimiques :

On rencontre le plus souvent les groupements suivants : carboxyle, anhydride de carboxyle, phénol, carbonyle et lactone. C'est grâce à ces agglomérations de surface que le charbon actif présente des propriétés hydrophiles et un potentiel électrocinétique. On attribue au charbon actif des propriétés acido-basiques (figure I.5) [43].

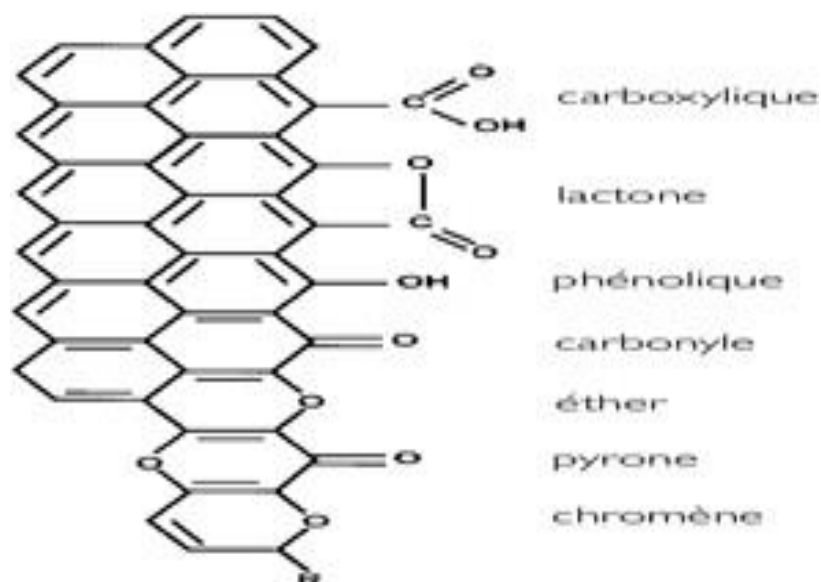


FIGURE I.5: Caractérisation compositionnelle et chimique des carbonates microporeux [44]

I.3.4 Structure de charbon actif :

L'équipe de Harris P.J.F. [45] a été la première à établir les images de la structure atomique du charbon actif grâce à l'utilisation de la microscopie électronique à haute résolution. Par conséquent, ces images ont montré une structure basée sur des cycles de carbone. La constitution des charbons actifs rappelle une collection désordonnée de feuilles comportant des cycles aromatiques hexagonaux et pentagonaux, ressemblant à du papier froissé (figure I.6). C'est grâce à cette structure que les charbons actifs possèdent d'importantes surfaces.

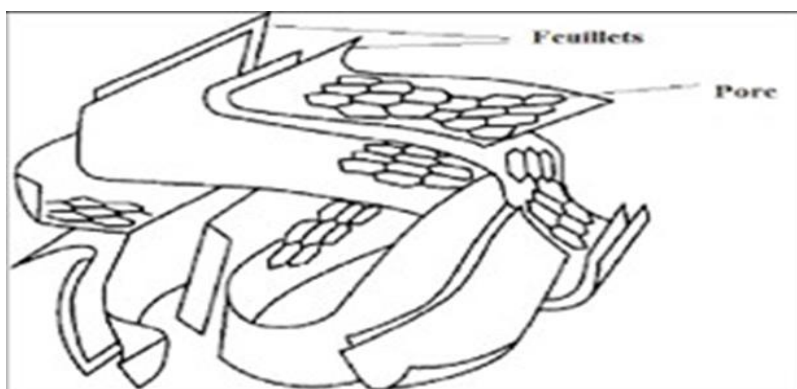


Figure I.6 : Représentation schématique des microstructures du charbon actif [38].

I.3.5 Porosité du charbon actif :

La structure du charbon est définie par ses pores, leur dimension et leur forme, qui ont un impact sur sa surface spécifique, c'est-à-dire le volume de surface disponible par unité de poids de charbon. Ces propriétés se manifestent essentiellement lors de l'activation du charbon actif. Par conséquent, les charbons actifs employés en tant qu'adsorbants sont connus pour leur grande surface spécifique et leur diversité de pores (figure I.7) [46]. Habituellement, les micropores sont les endroits privilégiés pour l'adsorption, tandis que les macropores favorisent le mouvement des molécules à travers le charbon [47].

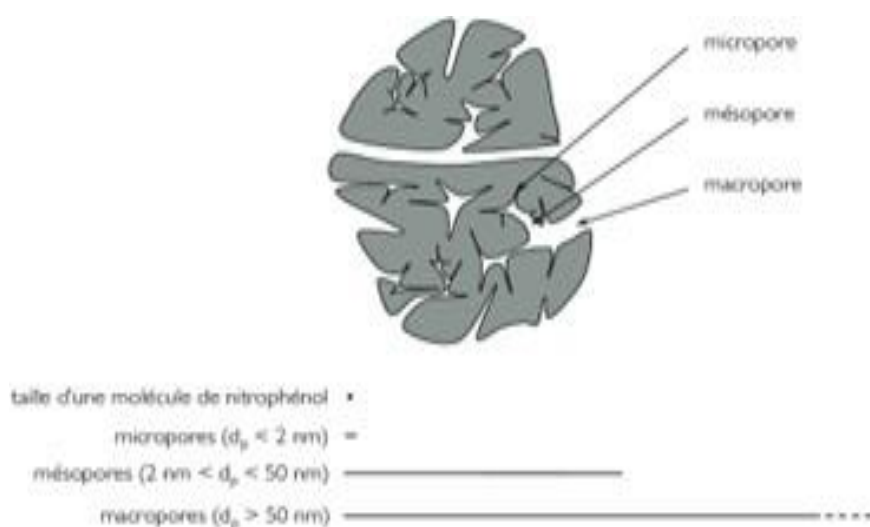


FIGURE I.7 : Représentation à l'échelle de la porosité d'un adsorbant [46].

I.3.6 Utilisation des charbons actifs :

Le charbon actif est employé dans une multitude de procédés ou traitements tels que la fabrication de produits alimentaires, la production de médicaments, en chimie, ainsi que pour la purification des gaz et de l'air. On peut mentionner plusieurs domaines d'application significatifs, tels que : le traitement des eaux potables, usées et industrielles, ou encore l'élimination des odeurs et des goûts indésirables ainsi que celle des micropolluants [34].

1.3.7 Méthodes de préparation du charbon actif :

1.3.7.1 Carbonisation :

La carbonisation est le processus de décomposition thermique des substances contenant du carbone : les éléments autres que le carbone sont supprimés. Ce processus se réalise à des températures variant entre 600 et 800°C, en présence de sels métalliques et sous un flux continu de gaz inerte (sans oxygène). Le processus de carbonisation est habituellement réalisé à un rythme de montée en température suffisamment élevé pour réduire au minimum l'interaction entre les produits carbonisés et les produits volatils. Elle offre des substances dotées d'une structure poreuse restreinte (surface spécifique approximativement de $10 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) et qui, par conséquent, n'ont pas une grande capacité d'adsorption. Durant le processus d'activation, la structure poreuse est par la suite élargie [47].

1.3.7.2 Activation :

L'activation implique l'élaboration de la structure poreuse en supprimant les résines qui bouchent les pores, et l'établissement de fonctions de surface (souvent oxydées) qui sont responsables des échanges entre le matériau solide et les molécules adsorbées. Cela peut être de nature physique ou chimique [47].

Activation physique : L'activation physique peut faciliter l'expansion des pores déjà présents et en favoriser la formation de nouveaux. Elle s'effectue à une température variant de 800°C à 1000°C, en présence d'un gaz légèrement oxydant (air), de vapeur d'eau, de CO_2 , ou même d'un mélange de ces différents gaz [47].

Activation chimique : On utilise généralement l'activation chimique en association avec le bois. Il s'agit d'imbiber le matériau de base avec une solution concentrée d'un agent hautement oxydant et/ou déshydratant (comme l'acide phosphorique ou le chlorure de zinc. . .). Le matériau est par la suite soumis à une pyrolyse dans une fourchette de température allant de 400°C à 800°C en absence d'air, avant d'être lavé et séché. On obtient le charbon actif en une unique phase. La structure poreuse finale est déterminée par le niveau d'implication du matériau dans la substance oxydante. [47] Après activation, une structure poreuse polydispersé se forme sur le charbon actif : les pores présentent diverses formes et tailles. La distribution poreuse est influencée à la fois par la nature du matériau initial et les conditions d'activation. Ainsi, les caractéristiques physico-chimiques d'un charbon peuvent fluctuer même pour un précurseur identique. [33]

I.4 Valorisation du marc de café :

I.4.1 Définition Le marc de café :

Le marc de café est le résidu obtenu après la torréfaction et la mouture des grains de café, suivi de son extraction à l'eau bouillante ou à la vapeur d'eau [48]. Le diamètre des particules de marc de café séché peut aller de 50 à 100 μm [49], et environ 1,2 kg de marc est obtenu pour chaque kilogramme de café torréfié (figure I.8).



FIGURE I.8 : Marc de café.

I.4.2 Composition chimique du marc de café :

Le marc de café est principalement constitué de polysaccharides (tableaux I.1 – I.4). Il regorge de cellulose, d'hémicellulose et de lignine [50,51], sans oublier les lipides, les protéines, les minéraux et les polyphénols [52]. Les tableaux suivants présentent en détail la composition complète du marc de café.

Tableau I.1 : Composition élémentaire du marc de café [53].

Éléments	Quantités
Carbone (C)	47,7%
Hydrogène (H)	s.d.
Azote (N)	2,3%
Oxygène (O)	s.d.
Ratio H/C	s.d.
C/N	22

Tableau I.2 : Les principaux composés du marc de café [53].

Éléments	Quantités
Glucides	45,3%
Lipides	9,3-16,2%
Protéines	14%
Minéraux	6800 mg/kg de matière sèche
Polyphénols	13-18 mg acide gallique

Tableau I.3 : Composition des principaux minéraux du marc de café [54].

Minéraux	Quantités(mg/kg)
Potassium	8824 ± 4662
Phosphore	1534 ± 503
Magnésium	2201 ± 1341
Calcium	349 ± 122
Fer	46 ± 21
Manganèse	27 ±10
Cuivre	25 ±12

Tableau I.4 : Composition moyenne en fibres du marc de café [55].

Eléments	Quantités
Cellulose	18
Lignine	2
Hémicellulose	15
Pectine	4
Cires	2

I.4.3 Substances bioactives :

Plusieurs tanins sont présents dans le marc de café, parmi lesquels la catéchine, la gallo catéchine, la gallo catéchine galate et l'acide chérubique [56]. Il contient également d'autres antioxydants tels que différents polyphénols (de 13 à 18 mg d'équivalent en acide gallique par gramme de marc) et de la caféine [57]. Les polyphénols majeurs identifiés incluent les flavonoïdes, l'acide chérubique et principalement l'acide chlorogénique, qui est plus présent dans le marc d'Arabica que dans celui de Robusta. Le résidu d'Arabica provenant de filtres contient également un plus grand taux d'acide chlorogénique comparativement à celui extrait de machines à expresso ou à piston. La quantité de caféine résiduelle présente dans le marc dépend de la provenance du café et de la technique utilisée pour l'extraction. Après la préparation d'un expresso, il demeure 15 à 25 % de la caféine d'origine. Généralement, le marc de Robusta a une teneur en caféine plus élevée (753 mg/100g) que celui de l'Arabica (520 mg/100g) [53].

I.4.4 Écotoxicité :

La présence de caféine, de polyphénols et de tanins dans le marc de café lui confère un certain degré d'écotoxicité. En outre, cette substance a une grande demande biologique en oxygène et ne peut être libérée dans l'environnement sans traitement préalable [53].

I.4.5 Les différentes utilisations de marc de café :

Le marc de café offre diverses options pour sa valorisation et son utilisation. Cela inclut la production d'éthanol, de biodiesel, de carburants pour fours industriels et de granulés combustibles pour chaudières domestiques. Le marc de café peut également servir de substrat pour la culture de micro-organismes, comme engrais, dans l'industrie agroalimentaire, pour la fabrication de biomatériaux, pour produire du charbon actif, et dans le traitement des eaux usées industrielles et de l'eau potable, entre autres. Concernant toutes les options de valorisation évoquées, l'emploi du marc de café arabica ou robusta est envisageable, les recherches n'ont pas établi de différence entre les deux [53].

Chapitre II :
Matériels Et Méthodes

Introduction :

Cette étude a été effectuée au sein du Laboratoire de Chimie Inorganique, Faculté des sciences, Université Abou Bakr Belkaïd, Tlemcen.

Dans ce chapitre, nous commencerons par décrire les matériels et les équipements utilisés, ainsi que les méthodes pour la préparation de charbon actif à partir de marc de café, et les différentes techniques pour la détermination des caractérisations (masse volumique, taux d'humidité, taux de cendre, pH, spectroscopie UV-visible, spectroscopie infrarouge).

II.1 Matériels :

Les matériels et les appareils utilisés dans notre étude sont présentés dans le tableau II.1 :

TABLE II.1 – Appareillages et matériels utilisés.

Verreries et Autre matériel	Appareillage
Bécher, verre de montre Tube à essai en verre, fioles jaugées Pipettes, éprouvette graduée Entonnoirs, burette graduée Erlenmeyer, Cristallisoir Entonnoir en verre, Buchner Boîte pétrie en verre, porte tube, support Pissette, spatule Creuset, Boîte pétri en plastique Compte-gouttes, Barreau magnétique Tamis ($\leq 0,2$ mm), papier filtre	Balance électronique Agitateur plaque chauffant (agitateur magnétique) Etuve de laboratoire de chimie inorganique Four (BEGO) à moufle de laboratoire de chimie inorganique PH-mètre Spectrophotomètre UV-Vis (max= 620nm) Centrifugeuse Turbidimètre Conductimètre Thermomètre
<i>Matériel utilisé au Laboratoire de Chimie Inorganique et Environnement, Université Abou Bakr Belkaïd</i>	

II.2 Présentation de la matière première :

Dans notre étude, le marc de café a été utilisé comme matières premières pour la fabrication de charbon actif. Notre choix s'explique par ses propriétés bénéfiques, notamment sa composition chimique favorable, ainsi que sa large disponibilité liée à sa forte consommation en Algérie (figure II.1).



FIGURE II.1 : Marc de café.

II.2.1 Séchage du marc de café :

Nous mettons le marc de café à l'air libre dans un lieu sec à une température oscillant entre ambiante (20°C - 25°C) et éloigné du soleil pour éviter toute influence des rayons, pendant une durée d'un mois. Ensuite, nous avons procédé à un séchage à l'étuve à 60°C pour une durée de 30 minutes, juste avant la préparation du charbon.

II.2.2 Préparation d'une solution d'acide phosphorique :

Nous avons préparé une solution de l'acide phosphorique (H_3PO_4) 65% à partir d'une solution plus concentrée 85% en utilisant une fiole jaugée de 100 mL et de l'eau distillée.

II.2.3 Les activations physiques et chimiques :

Activation chimique :

Nous avons imprégné 100 grammes de marc de café séché dans 100 mL d'une solution d'acide phosphorique méticuleusement élaborée (65%). Nous avons mis le mélange dans un cristalliseur, puis laissé pendant 48 heures pour que la matière s'active chimiquement (figure II.2).



FIGURE II.2: Le mélange (marc de café + acide phosphorique)

Activation physique :

Après 48 heures, nous avons placé le mélange (marc de café + acide phosphorique) dans un creuset et l'avons chauffé dans un four (BEGO) à moufle à 500°C pendant 1h. Par la suite, une fois que le solide obtenu a légèrement refroidi, nous l'avons versé dans une bouteille en verre (figure II.3).



FIGURE II.3: Activation physique.

II.2.4 Lavage :

Le charbon actif (CA) obtenu est lavé avec de l'eau distillée chaude jusqu'à neutralisation de l'eau de rinçage par vérification du pH de cette dernière. Puis il est séché dans l'étuve à une température modérée 105°C pendant 12h (figure II.4).



FIGURE II.4 : Lavage par l'eau distillée chaude.

II.2.5 Tamisage :

A la fin, l'échantillon obtenu passe par un tamis de 0.2 mm. Après qu'il soit pesé, le CA est stocké dans un flacon hermétiquement fermé pour réaliser les tests d'adsorption (Figure II.5).



FIGURE II.5 : Tamis (0,2 mm de diamètre).

II.2.6 Le rendement :

Il s'agit du rapport entre la masse d'un produit issu de pyrolyse et la masse de départ du matériau brut, Le rendement de pyrolyse pour le charbon actif est calculé par la relation suivante :

$$R_{carb} = \frac{m_f}{m_i} \times 100$$

Avec :

- R_{carb} : le rendement de la carbonisation (%)
- m_i : masse initiale du marc de café en g
- m_f : masse finale du charbon actif après séchage en g

II.3 Caractérisations des charbons actifs :

II.3.1 Détermination de La masse volumique :

La masse volumique (ou densité de masse) est une grandeur physique qui exprime la masse d'une substance par unité de volume.

Mode opératoire :

La densité apparente ou la masse volumique apparente est la densité du solide sec qui concerne la fraction solide et les pores du matériau traité. Elle est facile à déterminer : L'opération consiste à peser une éprouvette de 10 mL vide, la remplir avec le charbon actif en poudre (diamètre ≤ 0.2 mm) jusqu'à 10 mL, puis la repeser. La formule suivante permet de calculer la densité apparente du produit :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

- ρ : est la masse volumique en g/mL
- m : est la masse en gramme
- v : est le volume en mL

II.3.2 Détermination de taux d'humidité :

Lorsqu'un solide est mis en contact avec l'air, il se charge d'une certaine humidité. Pour déduire le taux de cette humidité ; la procédure consiste à mettre 1g de charbon actif dans une étuve à 100°C, et la repeser plusieurs fois à différents temps jusqu'à obtenir une masse non variable. La quantité d'eau piégée dans l'intérieur du matériau est calculée par la relation suivante : C'est le rapport, exprimé en pourcentage du poids de l'eau contenue dans le charbon, au poids du même matériau à sec.

Mode opératoire :

On place l'adsorbant pesant 1g dans un cristalliseur, le sèche à l'étuve à une température de 105°C et on le pèse à nouveau plusieurs fois à différents intervalles jusqu'à obtenir un poids stable. Le taux d'humidité est exprimé par la relation :

$$H\% = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Avec : $H\%$: La teneur en humidité

m_i : La masse initiale (1g de charbon actif)

m_f : La masse finale (poids constant après séchage) en g.

II.3.3 Détermination de taux de cendre :

Cela permet d'identifier la proportion de substances inorganiques présente dans le charbon actif, et il est préférable qu'elle soit aussi faible que possible.

Mode opératoire :

On pèse un (1g) de charbon actif et on l'introduit dans un creuset à calcination, On place ensuite le creuset dans un four à 900°C pendant 2h. On exprime le taux de cendres par l'équation :

$$C \% = \frac{m_r}{m_0} \times 100$$

— $C\%$: Teneur en cendre

— m_0 : Masse du produit (g)

— m_r : Masse du produit après calcination (g).

II.3.4 Détermination de pH :

Le pH est un concept qui offre une manière pratique et exacte d'identifier si une solution est acide, basique ou neutre.

Mode opératoire :

Afin de mesurer le pH de notre adsorbant, nous avons introduit une masse de charbon actif (1g) dans un erlenmeyer rempli de 50 mL d'eau distillée et avons secoué le mélange pendant une heure. Par la suite, le pH final est mesuré, ce qui correspond au pH de notre adsorbant.

II.3.5 Spectrophotomètre UV visible :

L'analyse par spectrophotométrie repose sur l'examen de la variation de l'absorption de la lumière UV-visible d'un milieu en fonction de la concentration d'un composé chimique [58].



FIGURE II.6 : Spectrophotomètre UV visible.

Loi de Beer-Lambert :

La loi de Beer-Lambert établit un lien entre l'absorbance « A » d'une solution et la concentration « C » d'un composant. Par conséquent, l'évaluation de la quantité de lumière transmise après avoir traversée d'une certaine épaisseur d'une cuve non absorbante sera aisée en s'appuyant sur la loi de Beer Lambert ci-après [58] :

$$A = \epsilon l C$$

- A : L'absorbance, sans unité
- ϵ : Le coefficient d'extinction molaire (L/ mol.cm)
- l : L'épaisseur de la cuve (cm)
- C : La concentration de la solution (mol/L)

II.4 Traitement de l'eau

Introduction :

Dans cette partie de notre travail, nous allons traiter l'eau de rejet d'une industrie de boissons par adsorption sur le charbon actif préparé.

II.4.1 Etude de l'adsorption :

Afin d'améliorer les conditions pour favoriser une adsorption optimale du charbon actif, plusieurs tests ont été effectués pour étudier l'effet de certains paramètres sur le rendement de l'élimination tel que : l'effet de la masse d'adsorbant, l'effet de la vitesse d'agitation, l'effet du pH, l'effet du temps, l'effet de la température. Les conditions opératoires sont les suivantes : ($m=0,6g$, $V=50\text{ mL}$, Temps d'agitation= $3h$, $V_{agit}=150rpm$). Ces paramètres ont été étudiées en variant : la masse d'adsorbant, les vitesses d'agitation, le temps, la température, et en ajustant le pH des solutions avec HCl ($0,1N$) et NaOH ($0,1N$). Tout en mesurant la turbidité, le pH et la masse volumique après chaque traitement.

Le rendement de l'élimination des particules en suspension $R(\%)$ est exprimé en fonction de la turbidité par la relation suivante :

$$R(\%) = (\text{Turb}_{\text{initiale}} - \text{Turb}_{\text{finale}}) \times 100 / \text{Turb}_{\text{initiale}}$$

Avec :

$\text{Turb}_{\text{initiale}}$: turbidité de l'eau de rejet (contaminée)

$\text{Turb}_{\text{finale}}$: turbidité de l'eau traitée.

II.4.2 Analyse physicochimique :

L'analyse physico-chimique comprend les paramètres suivants : la température, le pH, la conductivité, la turbidité et la masse volumique.

Détermination de la température :

La température constitue un paramètre essentiel dans l'analyse des eaux, car elle influence la dissociation des sels dissous, la mesure du pH, la conductivité électrique ainsi que la vitesse des réactions chimiques dans l'eau.

Mode opératoire :

Le thermomètre est inséré dans un bécher contenant de l'eau contaminée, conçu pour limiter les variations de température au moment de la mesure.

Détermination de la conductivité :

La conductivité électrique de l'eau correspond à la capacité d'une colonne d'eau, située entre deux électrodes métalliques, à conduire le courant électrique. Elle s'exprime en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou milli siemens par centimètre (mS/cm).

Mode opératoire :

Avant de procéder à la mesure, il est nécessaire de rincer l'électrode de l'appareil avec de l'eau distillée. Ensuite, immerger entièrement l'électrode dans le bécher contenant l'eau contaminée à analyser, en veillant à ce qu'elle soit complètement plongée dans l'eau.



FIGURE II.7 : Conductivité électrique.

Détermination de la turbidité :

La turbidité indique la présence de particules en suspension dans l'eau, telles que l'argile, le limon, des matières organiques provenant du plancton ainsi que divers micro-organismes.

Mode opératoire :

Les mesures ont été effectuées le plus rapidement possible après le prélèvement. Les échantillons ont été introduits un par un dans la cellule optique de l'appareil. Les valeurs de turbidité obtenues sont exprimées en unités NTU.



FIGURE II.8 – Turbidimètre.

Chapitre III :
Résultats Et Discussions

Introduction :

Dans ce chapitre, nous exposerons l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus suite à l'application du protocole de l'étude sur l'adsorption de l'eau contaminée sur le charbon actif dérivé du marc de café, ainsi que l'impact de divers paramètres sur le processus d'adsorption

III.1 Caractérisation de l'adsorbant et l'adsorbat :

Caractérisation de l'adsorbant par les propriétés physicochimiques:

Les résultats de la caractérisation du matériau adsorbant sont donnés dans le tableau suivant est :

TABLEAU III.1 – Caractérisation de l'adsorbant.

Paramètres	Valeur	Valeur pour charbon actif (grignon Nord-Africain)
Rendement de la préparation du charbon actif	Rcarb = 39.68%	-
Détermination de la masse volumique	0,4225 g/mL	0,6400g/mL
Détermination du taux d'humidité	H%=4,70%	H%=8,40%
Détermination de taux de cendre	C%=3,12%	C%=12,10%
Mesure de PH	pH =6 ,31	pH=5,5

- La valeur de la masse volumique 0,4225 g/mL indique que le charbon actif est relativement léger. Cela témoigne d'une bonne capacité d'adsorption grâce à sa structure poreuse due à sa faible densité.
- Un niveau d'humidité de 4,70 % est considéré comme assez bas, ce qui est adéquat. L'humidité peut diminuer sa capacité d'absorption en remplissant des espaces où les impuretés pourraient être absorbées.
- Un taux de cendre (3,12%) inférieur signale une pureté supérieure et moins d'impuretés susceptibles de nuire aux performances d'adsorption.
- Un pH neutre de 6,31 indique que le matériau adsorbant ne génère pas de réactions non souhaitées dans les milieux aquatiques.

- Le charbon actif issu de marc de café est plus performant que le charbon à base de grignon Nord-Africain pour les applications de traitement de l'eau, grâce à sa porosité plus élevée, sa faible teneur en humidité et en cendres, et son pH proche de la neutralité [60].

Caractérisation d'adsorbant par la détermination de deux indices : bleu de méthylène et d'iode

Les valeurs de ces deux indices pour le CA et le charbon actif commercial sont donnés sur le tableau III.2. Pour le calcul de l'indice de bleu de méthylène, nous avons utilisé une courbe d'étalonnage représentée sur la figure III.1.

TABLE III.2 – Caractérisation de l'adsorbant par les indices de bleu de méthylène et d'iode

Adsorbats	C A	Charbon actif commercial
Indice d'iode I_{I_2}	190.5	101.6
Indice de Bleu de méthylène I_{BM}	1049.4	1259.6

- Le CA a un indice d'iode plus élevé (190,5 mg/g) que le charbon actif commercial (101,6 mg/g). CA possède plus de micropores, donc mieux adapté pour adsorber des petites molécules (ex. : iode, composés organiques volatils, etc.). Cela pourrait indiquer une meilleure efficacité pour des applications impliquant des polluants de petite taille (gaz, petites molécules dissoutes).
- Le charbon actif commercial a un I_{BM} plus élevé (1259,6 mg/g) que le CA (1049,4 mg/g). Le charbon actif commercial est plus mésoporeux, donc plus efficace pour adsorber de grosses molécules comme les colorants, protéines, etc. Cela le rend potentiellement meilleur pour traiter des eaux colorées ou riches en macromolécules. En conclusion, le CA est plus microporeux → adapté pour les petits polluants. Le charbon actif commercial est plus mésoporeux → mieux pour grosses molécules.

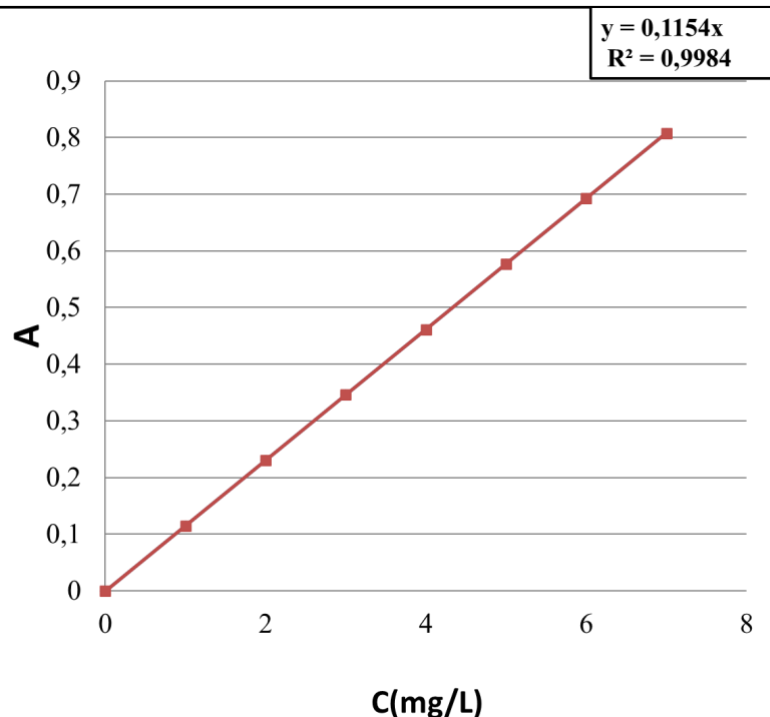


FIGURE III.1: Courbe d'étalonnage du bleu de méthylène.

Cette courbe d'étalonnage est une ligne droite qui traverse l'origine et a un coefficient de corrélation de 0,9984, garantissant ainsi que la loi de Beer-Lambert est respectée.

III.2 Caractéristiques de l'eau de rejet de l'industrie des boissons

Dans le cadre d'un stage au sein de l'entreprise, nous avons effectué des prélèvements des eaux de source et de de rejet de cette industrie. Les résultats de l'analyse de ces eaux sont donnés dans le tableau III.3.

TABLE III.3: Résultats des analyses physicochimiques de l'eau de rejet.

Paramètres	L'eau contaminée	L'eau de source
Turbidité	29	2
PH	7,93	7,38
Conductivité	1,08	1,08
Masse volumique	0,88725	0,88699

La turbidité mesure la clarté de l'eau, c'est-à-dire la présence de particules en suspension. Une turbidité de 29 indique une eau très trouble, ce qui est typique pour une eau de rejet contenant des matières en suspension (argiles, matières organiques, micro-organismes...). En revanche, une eau de source avec une turbidité de 2 est considérée comme assez claire,

voire potable selon certaines normes. L'eau contaminée (pH 7,93) est légèrement plus alcaline que l'eau de source (pH 7,38). Cela peut être dû à la présence de détergents, de produits chimiques ou d'eaux usées industrielles qui augmentent l'alcalinité. La conductivité mesure la concentration en ions dissous (sels minéraux, polluants ioniques). Ici, les deux eaux ont une conductivité identique. Cela signifie que malgré la turbidité élevée et le pH plus alcalin, la concentration en sels dissous est similaire dans les deux types d'eau. Cela peut indiquer que les rejets ne contiennent pas nécessairement beaucoup d'ions dissous, mais plutôt des particules en suspension non ioniques. La masse volumique est très proche entre les deux échantillons. Cela suggère que la densité de l'eau contaminée n'est pas significativement affectée, bien que la légère différence puisse refléter la présence de matières dissoutes ou en suspension.

III.3 Traitement de l'eau de rejet de l'industrie des boissons par adsorption sur le charbon actif : étude de l'effet de certains paramètres :

Nous avons étudié l'influence de certains paramètres opératoires (la masse d'adsorbant, la vitesse d'agitation, le pH, le temps de contact et la température) sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées et le rendement d'élimination des matières en suspension. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux et les figures ci-dessous:

a) Effet de la masse de l'adsorbant :

Les résultats de cette étude sont illustrés sur le tableau III.4 et la figure III.2.

TABLEAU III.4 : Effet de la masse du charbon actif sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.

Masse	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
Turbidité	10	8	8	4	4	0
R (%)	65,52	72,41	72,41	86,21	86,21	100
pH	8,50	8,37	6,07	5,55	4,34	3,45
Masse volumique (g/mL)	0,94592	0,9474	0,9485	0,94582	0,95052	0,95204

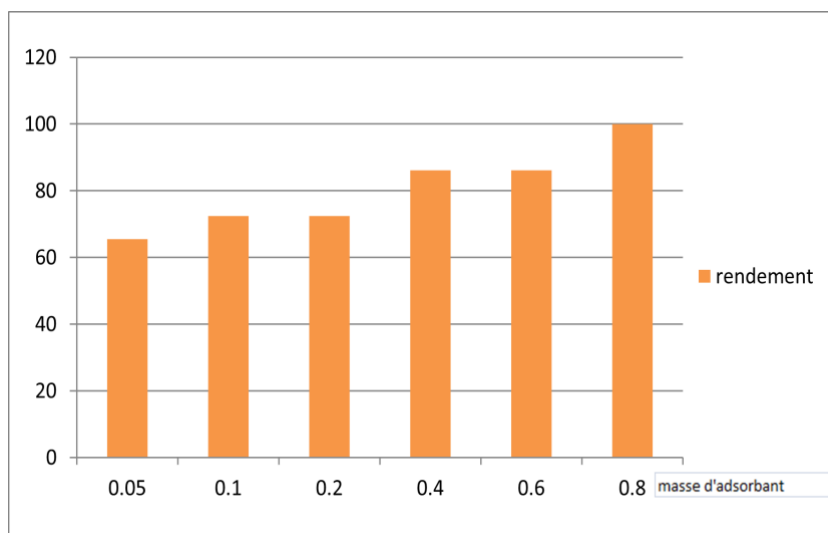


FIGURE III.2 : Résultat de l'effet de la masse du charbon sur le rendement d'élimination de la matière polluante.

- La turbidité diminue clairement avec l'augmentation de la masse. Elle chute fortement à partir de 0,4 g et devient nulle à 0,8 g, ce qui indique une élimination complète des particules en suspension à cette dose. Cela suggère que la substance ajoutée joue efficacement le rôle de clarifiant.
- Le pH diminue nettement avec l'ajout de masse. Cela suggère que le matériau ajouté est acide ou qu'il libère des ions H^+ en solution. Cette acidification progressive pourrait poser problème pour l'usage de l'eau traitée, selon les normes (e.g. un $pH < 6,5$ est généralement hors des limites de potabilité).
- La masse volumique reste relativement stable mais tend légèrement à augmenter avec la masse ajoutée. Cela peut s'expliquer par une concentration accrue de substances dissoutes ou en suspension fine à cause du traitement, même si visuellement l'eau devient plus claire.

b) Effet de la vitesse d'agitation :

Les résultats de cette étude sont illustrés sur le tableau III.5 et la figure III.3.

TABLEAU III.5: Effet de la vitesse d'agitation sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.

V_{agitation} (rpm)	50	100	200	300	400	500
Turbidité	4	2	2	2	2	2
R (%)	86,21	93,10	93,10	93,10	93,10	93,10
pH	6,16	6,11	6,10	6,05	5,80	5,77
Masse volumique (g/mL)	0,88453	0,88694	0,88682	0,89056	0,88923	0,88736

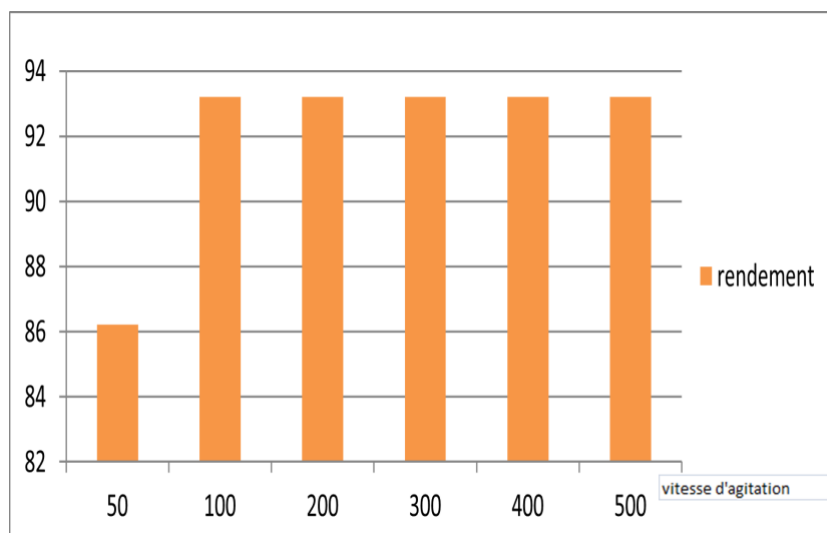


FIGURE III.3 : Résultat de l'effet de la vitesse d'agitation sur le rendement d'élimination de la matière polluante.

- La turbidité diminue fortement dès que la vitesse d'agitation passe de 50 à 100 rpm, puis reste constante à 2. Cela suggère qu'une agitation minimale (100 rpm) est suffisante pour homogénéiser le mélange ou permettre la clarification efficace.
- Le rendement augmente à 100 rpm et reste ensuite stable. Une vitesse d'agitation de 100 rpm est suffisante pour maximiser le rendement.
- Le pH diminue progressivement avec l'augmentation de la vitesse d'agitation. Cela peut indiquer une libération d'ions H^+ (acidité croissante) à mesure que l'agitation augmente, peut-être à cause d'une réaction chimique ou d'un contact accru entre phases.
- La masse volumique augmente légèrement avec la vitesse, atteignant un pic à 300 rpm, puis redescend un peu. Cela peut refléter une meilleure homogénéisation à 300 rpm, mais aussi une possible incorporation d'air ou de particules en suspension selon le type de fluide.

c) Effet du pH :

Les résultats de cette étude sont illustrés sur le tableau III.6 et la figure III.4.

TABLEAU III.6: Effet du pH sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.

PH	2	4	6	8	12
Turbidité	4	4	4	6	8
R (%)	86,21	86,21	86,21	79,31	72,41
pH	2,60	3,72	4,30	4,84	7,43
Masse volumique (g/mL)	0,88407	0,88424	0,88383	0,88434	0,88167

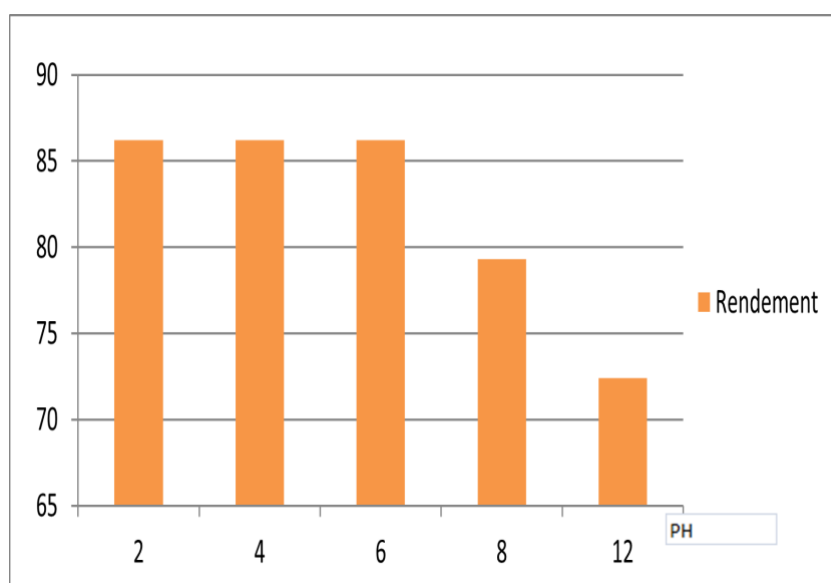


FIGURE III.4 : Résultat de l'effet du pH sur le rendement d'élimination de la matière polluante.

- En milieu acide, la solution reste plus claire (peu de particules en suspension). L'alcalinité favorise probablement l'adsorption de certaines particules, augmentant la turbidité.
- Le processus étudié est plus efficace en milieu acide. En milieu basique, l'efficacité diminue, possiblement à cause de la solubilisation ou de la dégradation du composé cible.
- Le pH final est systématiquement inférieur au pH initial pour les deux premiers points, indiquant une acidification du milieu. Cela peut être dû à une libération d'ions H^+ durant le procédé d'adsorption. À pH 12, le pH final reste élevé (7,43), mais montre une importante neutralisation.

- La masse volumique est assez stable entre pH 2 et 8, entre 0,8838 et 0,8843 g/mL. Elle diminue légèrement à pH 12 (0,88167 g/mL). Cela peut indiquer des changements dans la composition du mélange (moins de matière dissoute ou modification de la structure moléculaire) en milieu fortement basique.

d) Effet du temps de contact:

Les résultats de cette étude sont illustrés sur le tableau III.7 et la figure III.5.

TABLEAU III.7: Effet du temps de contact sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.

Temps	0	30 min	1H	2H	3H	4H
Turbidité	29	6	6	2	2	2
R (%)	0	79,31	79,31	93,10	93,10	93,10
pH	7,93	4,36	4,29	4,26	4,17	4,01
Masse volumique (g/mL)	0,88725	0,88048	0,88218	0,88362	0,87777	0,87809

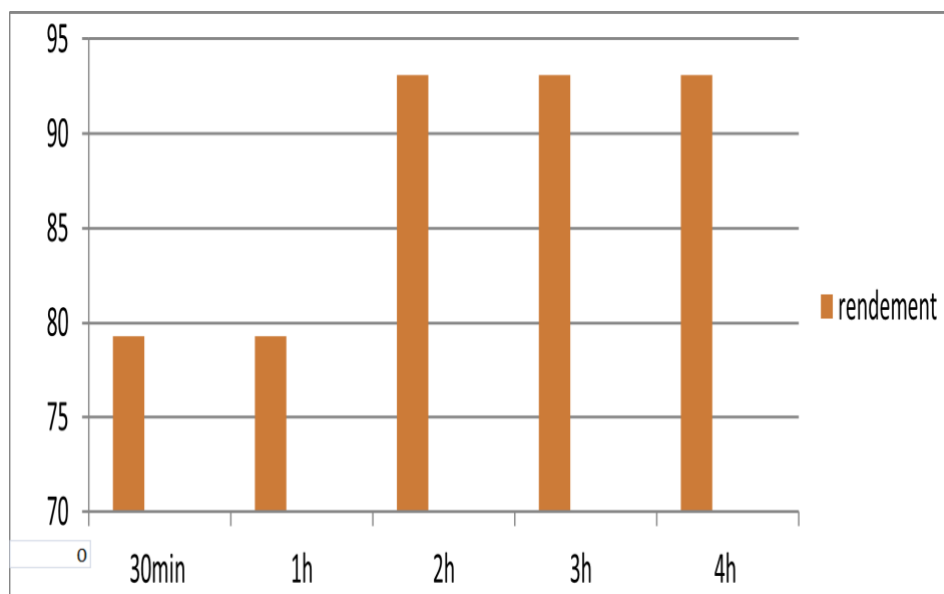


FIGURE III.5 : Résultat de l'effet du temps de contact sur le rendement d'élimination de la matière polluante.

- Turbidité : diminution très rapide dès 30 min (de 29 à 6), puis encore jusqu'à 2 (à partir de 2h). L'adsorption des particules est rapide : 80% de la turbidité disparaît en 30 min. À partir de 2h, la solution devient stable et limpide (turbidité constante à 2). Cela reflète une bonne efficacité de l'adsorption.
- Rendement (R %) : atteint 79,31 % dès 30 min, puis monte à 93,10 % après 2h. Le

processus d'adsorption est rapide au départ, mais nécessite 2h pour atteindre son rendement optimal. Après 2h, le rendement se stabilise : pas d'intérêt à prolonger davantage si l'objectif est l'efficacité.

- pH : baisse importante du pH dès 30 min : de 7,93 à 4,36, puis diminution progressive jusqu'à 4,01. Le système s'acidifie avec le temps, ce qui peut indiquer : Une réaction chimique libérant des protons (H^+), L'acidification stabilise à partir de 2h.
- Masse volumique : diminue à 30 min, remonte légèrement à 1-2h, puis redescend légèrement après. Variations entre 0,87777 et 0,88725 g/mL. Reflète des changements de composition du mélange : élimination de composants solides/liquides. Une certaine stabilisation après 2h, ce qui soutient l'idée que le système atteint un équilibre à ce moment-là.

e) Effet de la température:

Les résultats de cette étude sont illustrés sur le tableau III. 8 et la figure III.6.

TABLEAU III.8: Effet de la température sur les propriétés physicochimiques des eaux traitées.

Température (°C)	10	20	30	40
Turbidité	0	2	2	2
R (%)	100	93,10	93,10	93,10
pH	6,34	6,32	6,30	6,27
Masse volumique (g/mL)	0,99009	0,99082	0,98999	0,992334

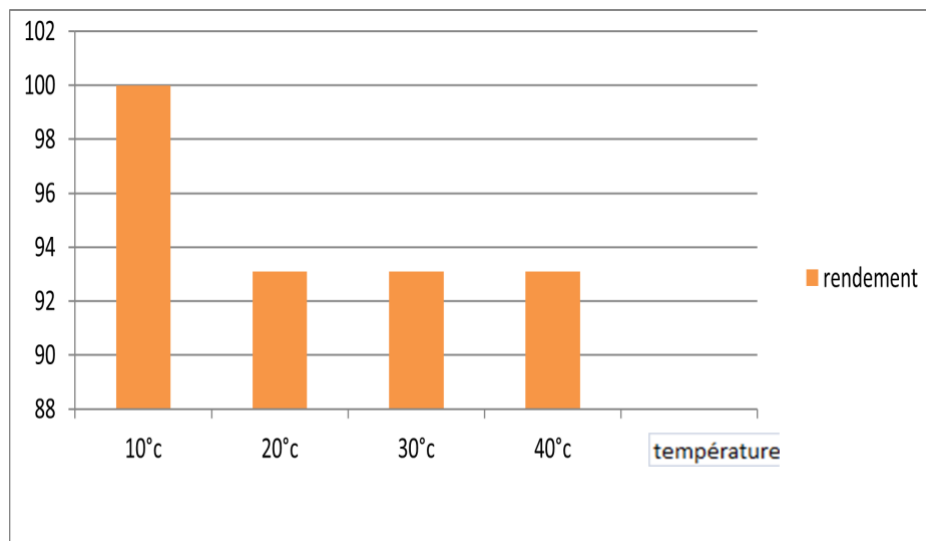


FIGURE III.6 : Résultat de l'effet de la température sur le rendement d'élimination de la matière polluante.

- Turbidité : 0 à 10°C, puis 2 à partir de 20°C. À basse température (10°C), la solution est plus limpide. Dès que la température augmente, une légère turbidité apparaît.
- Rendement (R %) : 100 % à 10°C, puis 93,10 % entre 20–40°C. Le rendement maximal est obtenu à basse température. Une augmentation de température entraîne une légère baisse d'efficacité, peut-être en lien au fait que l'adsorption dans ce cas-là est exothermique.
- pH : légère diminution du pH avec la température : de 6,34 à 6,27. Processus légèrement acidifiant avec la montée en température. Peut indiquer une libération d'ions H^+ , typique de certains équilibres thermodépendants.
- Masse volumique : fluctuations légères. Elle augmente légèrement à 20°C, diminue à 30°C, puis remonte à 40°C. Ces variations sont très faibles, donc peu significatives, mais pourraient être liées à des changements dans la composition du fluide.

CONCLUSION GENERALE

L'eau est essentielle à la vie et est nécessaire à l'existence des organismes vivants.

Cependant, certains polluants majeurs posent un problème de pollution.

L'objectif de notre présent travail est la purification des eaux grâce à l'adsorption du polluant sur un matériau dérivé du marc de café. Les contaminants utilisés sont ceux que l'on retrouve dans le rejet d'eau dans l'entreprise des boissons.

Dans ce mémoire, tout d'abord, nous avons préparé du charbon actif à partir de marc de café. Par plusieurs étapes : séchage, traitement par l'acide phosphorique (H_3PO_4), carbonisation, lavage et tamisage.

Par la suite, nous avons procédé à des essais d'adsorption du bleu de méthylène et de l'iode dans le but de définir deux indices relatifs au bleu de méthylène et à l'iode, qui sont associés à la porosité de l'adsorbant. Puis, certaines caractérisations du charbon actif ont été identifiés, tels que :

- La masse volumique : $\rho=0,4225 \text{ g/mL}$.
- Le taux d'humidité : $H\% = 4,70 \%$.
- La teneur en cendre : $C\% = 3,12 \%$.
- Mesure de PH neutre : $pH=6,13$.

Par ailleurs, nous avons fait un prélèvement des rejets de l'eau d'entreprise des boissons. La qualité physicochimique de cette eau est donnée par :

- La turbidité = 29.
- $PH = 7,93$.
- Conductivité = 1,08.
- Masse volumique = 0,88725.

Enfin, l'influence de divers paramètres physico-chimiques opérationnels a également été prise en compte, notamment la masse de l'adsorbant, la vitesse d'agitation, le pH, le temps et la température. Les résultats montrent que :

- L'augmentation de la masse de l'adsorbant entraîne une augmentation du rendement et de la capacité d'adsorption.
- Le rendement d'élimination des polluants augmente avec la vitesse d'agitation (100 rpm).
- Les pH excessivement basiques affectent la performance en altérant la charge de surface, la capacité de dissolution des polluants et les réactions chimiques.
- L'adsorption est rapide, atteignant son efficacité maximale après 2 heures.
- Une diminution du rendement est observée avec l'augmentation de la température.

Le marc de café est le reste du café moulu après avoir été immergé dans l'eau. Beaucoup de gens le mettent à la poubelle, méconnaissant sa véritable valeur. On peut donc affirmer que cette matière carbonée a une importance considérable dans différents secteurs, en particulier pour la lutte contre la pollution aquatique par le phénomène d'adsorption.

Références Bibliographiques

- [1] **Yasmin, S., Nabila, B.** Proposition d'un procédé de traitement des eaux de purge au niveau du Terminal Marin de BEJAIA. Mémoire de fin d'étude, IAP, 2008.
- [2] **Bengouga, K.** Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra, 2010.
- [3] **Gherara, N.** Étude des performances de la station d'épuration des eaux usées de la région HAOUD BERKAOUI. Thèse de doctorat, 2019.
- [4] **Metahri, M.S.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [5] **Krid, L. et Bouldjedi, M.** Évaluation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique des eaux du lac El-Kennar. Thèse de doctorat, Université de Jijel, 2006.
- [6] **Dehbi, F.Z.** Etude comparative des performances d'un lit bactérien à garnissage en pouzzo- lane de Beni Saf et d'un lit bactérien à garnissage plastique. Thèse de doctorat, 2015.
- [7] **Chitour, C.E.** Chimie des surfaces, introduction à la catalyse. 2ème Édition, O.P.U., Alger, 1981.
- [8] **Masschelein, W.J.** Processus unitaires du traitement de l'eau potable. Edition CEBEDOC, Liège, 1996.
- [9] **Tiffreau, C. et Zilliox, L.** Sorption du mercure (II) à l'interface eau/solide : étude expérimentale et modélisation. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1996.
- [10] **Messaoudi, A.** Contribution à l'étude de l'effet des extraits phénoliques des plantes et microorganismes antagonistes sur la croissance de deux champignons : *Verticillium dahliae* et *Fusarium oxysporum*. Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2014.
- [11] **Houria, M., Youcef, T., et Mahfoud, H.M.** Analyse quantitative des composés phénoliques dans les effluents industriels de la ville de Ouargla. *Annals of Science and Technology*, 2012, 4, P 7-7.
- [12] **Chawki, D.** Expérimentation, modélisation et optimisation de l'adsorption des effluents textiles. Thèse de doctorat, Université de Biskra-Mohamed Khider, 2014.

- [13] Technique de l'ingénieur, Analyse de cycle de vie-Epuration des eaux usées.
- [14] **Desjardins, R.** Le traitement des eaux. 2ème édition, Éd. École polytechnique de Montréal, Canada, 1997.
- [15] **El Azzouzi.** Préparation des composites bentonite-dérivés de P4VP : application à la rétention des colorants textiles, 1999.
- [16] **Crini, G., Badot, P.-M., et Morin-Crini, N.** Traitement des eaux par du chitosane : intérêts, méthodes et perspectives. Technologies de l'eau, RE 126, 2009, p. 1-13.
- [17] **Daoud, T.** Biosorption simultanée du plomb et du fer sur une biomasse morte « La Streptomyces Rimosus ». École nationale polytechnique, ENP, 10 avenue Hassan Badi, El-Harrach, Alger, 2007.

- [18] **Kaustubha, M., Das, D., Biswasou, M.N.** Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from *Tectona grandis* sawdust by $ZnCl_2$ activation. *Chemical Engineering Journal*, vol. 115, 2005, p. 121–131.
- [19] **Calvet, R., Terce, M., Arvieu, J.C.** *Ann. Agron*, 31, 1980, p. 385-427.
- [20] **Boudries, N.** Biosorption des métaux lourds sur une biomasse mycélienne. Thèse de magistère, ENP, 1997.
- [21] **Mikaels, A.S.** Simplified Method of Interpreting Kinetic Data in Fixed-Bed Ion Exchange. *Industrial Engineering Chemical*, 44, 1952, p. 1922-1952.
- [22] **Oubagha, N.** Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétiques. Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 2011, P37.
- [23] **Weber, W.J., Vanvliet, B.M.** Activated carbon adsorption of organic from the aqueous phase. Ed. I.H. Suffet, M.J. McGuire, 55, 1998, p. 80-115.
- [24] **Atkins, P., et de Paula, J.** *Physical Chemistry*. 8th ed., Oxford University Press, 2006, p. 23, 51-62.
- [25] **Helfferich, F.G.** Principles of adsorption and adsorption processes. *AIChE Journal*, 31, 1985, p. 523–524.
- [26] **Mekhalif, F.** Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Mémoire de Magister : Chimie, Skikda, Université de 20 Août 1955, 2009.
- [27] **Abbas, M.** Valorisation du noyau d'abricot dans la dépollution des eaux. Thèse de Doctorat : Chimie des Matériaux, Boumerdes, Université M'hamed Bougara, 2015.
- [28] **Adjaoud, S.** Étude bibliographique sur l'adsorption de quelques colorants par des bio-adsorbants. Mémoire de Master Chimie Physique, Université de Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou, Algérie, 2018, pp. 15.
- [29] **Bellache, D.** Étude des paramètres influençant l'adsorption du naphthalène sur bentonite. Université de Ouargla, 2019, pp. 2-3.
- [30] **Lecloirec, C., Lecloirec, P., Elmaghari, M., Morvan, J., Martin, G.** *Journal Envi. Anal. Chem.* V.14, 1983, p. 127.

- [31] **Lima, É.C., Dehghani, M.H., Guleria, A., Sher, F., Rao Karri, R., Dotto, G.L., Tran, H.N.** Adsorption: Fundamental Aspects and Applications of Adsorption for Effluent Treatment. Journal of Green Technologies for the De fluoridation of Water, 2021, p. 41-88.
- [32] **Clausse, M.** Étude d'un procédé d'adsorption TSA (température swing adsorption) à chauffage et refroidissements indirects. Thèse de doctorat, INSA-Lyon, 2013.
- [33] **Creanga, M.G.** Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables, par adsorption puis oxydation catalytique. Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, 2009.
- [34] **Bouchelt, A.P., et Jersale, C.** Élimination des fluorures par adsorption sur alumina active. TC. A.S.M, p. 87-93, 1984.

- [35] **Gaurav, S., Shweta, S., Amit, K., Chin, W.L., Mu, Naushad, Shehnaz, Jibran, I., Stad-ler, F.J.** Activated Carbon as Superadsorbent and Sustainable Material for Diverse Applications. *Adsorption Science & Technology*, 2022, p. 1-21.
- [36] **Rodríguez-Reinoso, F.** The role of carbon materials in heterogeneous catalysis. *Carbon*, 36, 1998, p. 159–175.
- [37] **Piccione, S., Urbanic, J.E.** Impregnation of carbon with silver. U.S. Patent, 3 (294), 1966, p. 572.
- [38] **Fennimore, J., Ruder, G., Simmonite, D.** Patent, 4, 076, 892, Frb. 28, 1978.
- [39] **Suzuki, M.** Adsorption engineering. New York, NY : Elsevier Science Publishing Company, 1991.
- [40] **Gregg, S.J., Sing, K.S.W.** Adsorption, surface area and porosity. London, Academic Press, 1982.
- [41] **Bansal, R.C., Donnet, J.B., Stoeckli, F.** Active carbon. New York, Marcel Decker, 1988.
- [42] **Rodríguez-Reinoso, F., Linares-Solano, A.** Microporous structures of activated carbons as revealed by adsorption techniques. In *Chemistry and Physics of Carbon*, Thrower PA, ed. Marcel Dekker, New York, 1988, p. 21, 1.
- [43] **Benarima Abd El Hakim, Kouadri Moulay Rachid.** Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de coquilles d'œufs. Mémoire Master, 07/06/2017, Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- [44] **Rodríguez-Reinoso, F., Molina-Sabio, M.** Textural and chemical characterization of microporous carbons. 1 July 1998, Pages 271-294.
- [45] **Harris, P.J.F., Liu, Z., Suenaga, K.** Imaging the atomic structure of activated carbon. *Journal of Physics : Condensed Matter*, 20, 2008, p. 362201-362207.
- [46] **Ayral, C.** Élimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif. L'Université de Toulouse, Thèse pour obtenir le grade de DOCTORAT, Ch.3, p. 9, avril 2009. Thèse de doctorat, 2009.
- [47] **Hall, C.R., Sing, K.S.W.** Protection-The Black Art. *Chemistry in Britain*, 24, 1988, p. 670- 695.

-
- [48] **Mansour-Benamar, M.** Valorisation de résidus agricoles par la culture de deux souches de champignons comestibles du genre *Pleurotus*. Thèse de doctorat en Sciences Biologiques, option Biologie Végétale, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.
- [49] **Carassou, F.** Une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté? Cas de l'île de Montréal. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, Université de Sherbrooke, 2015.
- [50] **Kondamudi, N., Mohapatra, S.K., Misra, M.** Spent Coffee grounds as a versatile source of green energy. *Food Chemistry*, Vol. 56, 2008, p. 11757311760.
- [51] **Ballesteros, L.F., Teixeira, J.A., Mussatto, S.I.** Chemical, functional and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food Bioprocess Technol*, vol. 7, 2010, p. 3493-3503.
- [52] **Zamora, A.J., Pastoriza, S., Henares, J.A.R.** Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 61, 2015, p. 12-18.
- [53] **Limousy, L., Jeguirim, M., Dutournié, P., Kraiem, N., Lajili, M., Said, R.** Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets. *Fuel*, vol. 107, 2013, p. 323-329.
- [54] **Mussatto, S.I., Machado, E.M.S., Martins, S., Teixeira, J.A.** Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *LWT - Food Bioprocess Technol*, vol. 4, 2011, p. 661-672.
- [55] **Rabouhi, A.** Effet du taux de la farine de bois d'olivier sur la morphologie et les propriétés chimiques, mécaniques et thermiques du polychlorure de vinyle. Mémoire de magister, Université A. Mira de Bejaia, 2010.
- [56] **Low, J.H., Rahman, W.A.W.A., Jamaluddin, J.** Structural elucidation of tannins of spent coffee grounds by CP-MAS ¹³C NMR and MALDI-TOF MS. *Industrial Crops and Products*, vol. 69, 2015, p. 456-461.
- [57] **Bravo, J., Juaniz, I., Monente, C., Caemmerer, C., Kroh De Pena, L.W., M.P., Cid, C.** Evaluation of Spent Coffee Obtained from the Most Common Coffeemakers as a Source of Hydrophilic Bioactive Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 60, 2012, p. 12565-12573.
- [58] **Mokedemi, K.** Etude spectroscopique d'un charbon actif par H₃PO₄, Activation.

Mémoire de master ; Université Abdelhamid ben Badis de Mostaganem, 2017.

[59] **Schrader, B.**, Infrared and Raman Spectroscopy. Method and Applications, VCH, Weinheim. 1995.

[60] Activated Carbon: Recent Progress and Applications, 2024

Annexes

Préparation des solutions de HCl et NaOH (1N ; 0.1N)

- **Concernant une solution de HCl (1N) :** Versez 41,45 mL de HCl (37%) dans une fiole de 500 mL et remplissez-la avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre le trait de jauge.
- **Concernant une solution de NaOH (1N) :** Ajoutez 10g de NaOH dans une fiole de 250 mL et complétez avec de l'eau distillée.
- Pour réaliser une solution de HCl (ou NaOH) (0.1M), on utilise 50 mL des solutions (1N), et on complète le reste avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre un volume total de 500 mL.

Préparation de l'adsorbat :

Bleu de méthylène :

Définition :

L'Indice du bleu de méthylène (IBM) se définit par la quantité d'adsorption de bleu de méthylène en mg par 100 grammes de charbon actif. L'analyse de l'indice de BM nous donne l'opportunité d'évaluer la surface disponible pour les adsorbants mésoporeux et macroporeux, ce qui signifie une capacité d'adsorption élevée pour les molécules de grande taille.

Préparation de bleu méthylène :

Nous avons préparé une solution de bleu de méthylène à 6,5 ppm ($1,944 \times 10^{-5}$ M), pesée 0,0065 g du produit commercial « Bleu de méthylène - 96% - Fluka - CAS : 122965-43-9 ». Dissolvez ce poids dans de l'eau distillée dans une fiole d'un litre, puis complétez jusqu'au trait de jauge.

Courbe d'étalonnage :

Des solutions filles sont préparées en pipetant des volumes de : 2,5 ; 3,34 ; 5 ; 10 ; 15 et 20 mL de la solution de BM (6,5 ppm). On distribue les volumes dans des flacons de 20 mL en ajoutant de l'eau distillée jusqu'à la marque indiquée. On détermine les absorbances en utilisant un spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 620 nm.

Test de l'indice de BM :

On se base sur la méthode du Centre Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique (CEFIC, 1989) pour l'exécution de cette procédure. Mesurer 0.05g de charbon actif qui a déjà été séché et réduit en poudre à travers un tamis de 0.2 mm. On introduit le charbon dans un erlenmeyer de 250 mL contenant 100 mL de la solution BM à une concentration de 6,5 ppm, et on agite le tout pendant 20 minutes. On procède ensuite à un filtrage et on évalue l'absorbance A ($\lambda = 620$ nm). On procède de la même manière avec le charbon actif commercial CAC.

La capacité d'adsorption du charbon actif est mesurée comme suit :

$$I_{BM} = \frac{(C_0 - C) \times V}{m_{CA}} \times 100$$

Avec :

- I_{BM} : Capacité d'adsorption de bleu de méthylène (mg/100g) = indice de bleu de méthylène.
- C_0 : La concentration initiale du BM en mg/L.
- V : Le volume de la solution en L.
- m_{CA} : Masse de charbon activé en g.
- C : Concentration de la solution en mg/L.

Indice d'iode :

Définition :

L'indice d'iode indique la quantité d'iode adsorbée en milligrammes par gramme de charbon actif. Il définit les zones où les particules de taille inférieure à celle de la molécule I_2 peuvent accéder. Cet indicateur facilite l'examen de l'impact de l'activation sur la croissance du diamètre des pores. Le test de l'indice d'iode est une méthode d'évaluation de la performance du charbon actif dans les applications aquatiques.

Préparations des solutions :

Pour préparer une solution d'iode de concentration 0,1 N :

On pèse de 1.6601g d'iodure de potassium KI et faire la dissolution dans approximativement 250 mL d'eau distillée à l'intérieur d'une fiole de 500mL.

On ajoute 1.2691g de diiode I₂ « Riedel-de Haen » à la solution de KI, en mélangeant jusqu'à dissolution complète du diiode, puis on complète avec de l'eau distillée pour obtenir une solution de 500 mL.

Une solution de thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃ (0.1N) :

On place 24.818g de thiosulfate de sodium penta hydraté Na₂S₂O₃ 5H₂O « Panreac » dans une fiole volumétrique d'un litre, puis on les dissout dans une petite quantité d'eau distillée. Nous ajoutons jusqu'au trait de jauge pour obtenir une solution à 0.1N.

Test de l'indice d'iode :

Nous avons pesé 0,4g de charbon actif séché et pulvérisé ($\leq 0,2$ mm). Nous avons ensuite incorporé du charbon actif dans un bécher contenant 40 mL de solution d'iode I₂ (0,01 M), en agitant pendant une durée de 4 à 5 minutes. Suite à un processus de filtration. Nous avons réalisé deux essais pour ajuster 10 mL du filtrat avec une solution de thiosulfate de sodium 0,1N (sans utiliser d'amidon comme indicateur de couleur). A une valeur de 0,5mL on obtient la couleur désirée (transparente).

Même étapes pour le charbon commercial mais la valeur pour obtenir la couleur désirée (transparente) elle est différente (1 mL).

La quantité de I₂ adsorbée (indice d'iode) est donnée par la relation suivante :

$$I_{I_2} = \frac{(C_0 - \frac{C_{thio} V_{eq}}{2 V_{I_2}}) \times M_{I_2} \times V_{ads}}{m_{CA}}$$

Avec :

- I_{I_2} : La capacité d'adsorption d'I₂ en mg/g
- C_0 : La concentration initiale d'I₂ (mol/L)
- V_{ads} : Le volume de la solution (mL)
- M_{I_2} : La masse molaire d'I₂ (g/mol.)
- m_{CA} : Masse de charbon activé en g
- C_{thio} : Concentration de la solution de Na₂S₂O₃ (mol/L)
- V_{eq} : Le volume équivalent dans le dosage (mL)
- V_{I_2} : Le volume d'iode dosé (mL)

Résumé :

L'eau, c'est la vie, on doit la protéger contre les différents polluants. Le but de notre travail est de synthétiser un adsorbant (charbon actif) à partir du marc de café par différentes méthodes (séchage, activation chimique (H_3PO_4), activation thermique (carbonisation), lavage, tamisage) et de tester son efficacité d'éliminer des contaminants trouvés dans les eaux de rejet de une entreprise des boissons.

Le charbon actif est ensuite caractérisé par la détermination de certaines propriétés physicochimiques. La masse volumique de 0.4225 g/mL montre que le charbon actif est léger favorisant l'adsorption grâce à sa structure poreuse. Un taux d'humidité de 4,70 % est bas, préservant le pouvoir d'adsorption. Un taux de cendres de 3,12 % indique une meilleure pureté, et un pH de 6,31 pas loin de 7, évite des réactions indésirables dans l'eau.

Le charbon actif est utilisé pour traiter l'eau de rejet provenant d'une industrie de boissons par adsorption en se basant sur la mesure de la turbidité, la masse volumique et le pH. Pour améliorer les performances et l'efficacité des systèmes de purification de l'eau, nous avons étudié l'effet de certains paramètres sur le rendement d'élimination de la matière polluante à savoir : la masse du charbon actif, la vitesse d'agitation, le pH, le temps de contact et la température

Mots clés : Marc de café, charbon actif, eau de rejet, adsorption, paramètres physicochimiques

Abstract:

Water is life, and it must be protected from various pollutants. The aim of our study is to synthesize an adsorbent (activated carbon) from coffee grounds using different methods (drying, chemical activation with H_3PO_4 , thermal activation/carbonization, washing, and sieving), and to test its effectiveness in removing contaminants found in the wastewater of a beverage company.

The activated carbon is then characterized by determining several physicochemical properties. The bulk density of 0.4225 g/mL indicates that the activated carbon is lightweight, which promotes adsorption due to its porous structure. A moisture content of 4.70% is low, preserving its adsorption capacity. An ash content of 3.12% indicates better purity, and a pH of 6.31, close to neutral (7), prevents undesirable reactions in water.

The activated carbon is used to treat wastewater from a beverage industry through adsorption, based on measurements of turbidity, bulk density, and pH. To improve the performance and efficiency of water purification systems, we investigated the effect of several parameters on the removal efficiency of pollutants, namely: the mass of activated carbon, stirring speed, pH, contact time, and temperature.

Keywords: Coffee grounds, activated carbon, wastewater, adsorption, physicochemical parameters

الملخص:

الماء هو الحياة، ويجب علينا حمايته من مختلف الملوثات. يهدف هذا العمل إلى تحضير مادة مازة (فحم منشط) انطلاقاً من تفل القهوة باستخدام طرق مختلفة تشمل: التجفيف، التنشيط الكيميائي بحمض الفوسفوريك (H_3PO_4)، التنشيط الحراري (الكربنة)، الغسل، والغربلة، ومن ثم اختبار فعاليتها في إزالة الملوثات الموجودة في مياه الصرف الصناعي لشركة مشروبات.

تمت بعد ذلك دراسة خصائص الفحم المنشط من خلال تحديد بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية. حيث أظهرت الكثافة الحجمية البالغة 0.4225 غ/مل أن الفحم المنشط خفيف الوزن، مما يعزز عملية الامتزاز بفضل بنيته المسامية. كما أن نسبة الرطوبة البالغة 4.70% تُعتبر منخفضة، مما يساعد في الحفاظ على قدرته الامتصاصية، في حين تشير نسبة الرماد البالغة 3.12% إلى نقاوة أفضل، ويظهر رقم pH البالغ 6.31 - وهو قريب من القيمة المحايدة - أنه لا يُسبب تفاعلات غير مرغوبة في الماء.

استُخدم الفحم المنشط لمعالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة عن صناعة المشروبات بواسطة تقنية الامتزاز، معتمدين على قياسات العكارة، والكثافة الحجمية، ودرجة الحموضة (pH). ولتحسين أداء وكفاءة أنظمة تنقية المياه، تمت دراسة تأثير بعض العوامل على كفاءة إزالة الملوثات، وهي: كتلة الفحم المنشط، سرعة التحريك، درجة الحموضة، زمن التلامس، ودرجة الحرارة.

الكلمات المفتاحية: تفل القهوة، فحم منشط، مياه صرف، امتزاز، خصائص فيزيوكيميائية