

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie de l'environnement.

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER

FILIÈRE : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement.

Par

- **Bendjeddou Fatima**
- **Ghalem Fahima**

Intitulé

***Optimisation de la capacité d'adsorption des résidus de coquilles
d'œufs pour la purification des eaux usées.***

Soutenu le : 22/06/2024

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Établissement</i>
<i>Mr S. Bahah</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme S. Bekri</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadratrice</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme Y. Abdoune</i>	<i>MAB</i>	<i>Examinatrice</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout Puissant et Miséricordieux,
qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce
Modeste travail.

Un remerciement spécial à notre Encadrante, Mme. BEKRI Sarra pour
Ses précieux conseils et aides durant toute
La période de notre travaille.

Nous remercier aussi les membres du jury qui nous feront
L'honneur de juger ce travail et tous les enseignants
De la filière du Génie des procédés.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé
directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Avant tout, c'est grâce à Dieu que nous sommes arrivées là. On a le grand plaisir de dédier ce modeste travail:

❖ A nos **Chers parents**, pour leurs soutiens durant toutes nos années d'études.

❖ A nos frères ;

Aymen, El hadj, Mokhtar, Mohammed, Lemnaouar

❖ A tous nos chers (s) amis (es) pour leur soutien moral

Khaoula, Maroua

❖ A l'ensemble de nos professeurs, pour leur soutien durant ces longues années d'études universitaires.

❖ A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant les moments difficiles.

Fahima et Fatima

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des déchets naturels. Dans un premier temps, nous avons préparé et déterminé les propriétés du charbon actif à travers des coquilles d'œufs par traitement chimique et thermique.

Certains facteurs sur la capacité d'adsorption ont été étudiés et les paramètres étudiés sont : une masse de 1 g, un temps de contact de 2 heures, une température de 23 °C et un pH de milieu basique.

Deuxièmement, les eaux usées ont été étudiées par adsorption sur le charbon préparé et une comparaison des résultats avant et après l'adsorption.

les résultats ont prouvé que le charbon préparé avec des coquilles d'œufs a une grande capacité à améliorer la qualité de l'eau et à piéger les polluants.

Mots clés: Charbon actif, coquilles d'œufs, adsorption, eaux usées.

Abstract

This study falls within the framework of valorization of natural waste. First, we prepared and determined the properties of activated charcoal through egg shells by chemical and thermal treatment.

Some factors affecting adsorption capacity have been studied, and the parameters examined are: a mass of 1 g, a contact time of 2 hours, a temperature of 23 °C, and a pH of basic medium.

Secondly, the used water was studied By adsorption to the prepared carbon and comparing the results before and after adsorption.

The results proved that the charcoal prepared with eggshells has a great ability to improve water quality and trap pollutants.

Keywords: Activated charcoal, egg shells, adsorption, waste water, phosphoric acid.

ملخص:

تدخل هذه الدراسة في إطار تثمين النفايات الطبيعية. اولاً قمنا بتحضير تحديد خصائص الفحم المنشط من خلال قشور البيض بالمعالجة الكيميائية والحرارية.

تمت دراسة بعض العوامل على قدرة الامتزاز، والمعايير التي تمت دراستها هي: كتلة قدرها 1 جرام، وقت تلامس لمدة ساعتين، درجة حرارة 23 درجة، ودرجة حموضة قاعدية.

ثانياً تمت دراسة المياه المستعملة عن طريق الامتزاز بالكربون المحضر ومقارنة النتائج قبل وبعد الامتزاز. حيث أثبتت النتائج أن الفحم المحضر بقشر البيض له قدرة كبيرة على تحسين نوعية المياه واحتجاز الملوثات

الكلمات المفتاحية: الفحم المنشط، قشور البيض، الامتزاز، المياه المستعملة.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1: GENERALITE SUR LES EAUX USEES

INTRODUCTION	1
1 Introduction	3
2 Définition des eaux usées	3
3 L'origine des eaux usées	3
3.1 Les eaux usées domestiques	3
3.2 Les eaux usées industrielles	4
3.3 Les eaux usées urbaines	4
4 Composition des eaux usées	4
4.1 Les matières en suspension	5
4.2 Les micropolluants organiques et non organiques	5
4.3 Éléments traces	5
4.4 Les substances nutritives	6
5 Les caractéristiques des eaux usées	6
5.1 Paramètres organoleptiques	6
5.1.1 La couleur	6
5.1.2 L'odeur	6
5.2 Paramètres physiques	7
5.2.1 La température	7
5.2.2 Le potentiel d'Hydrogène (pH)	7
5.2.3 La conductivité électrique (EC)	7
5.2.4 La turbidité	8

5.2.5	Les matières en suspension (MES).....	8
5.3	Paramètres chimiques.....	9
5.3.1	Le carbone organique total (COT).....	9
5.3.2	La demande chimique en oxygène (DCO).....	9
5.3.3	La demande biochimique en oxygène (DBO).....	9
6	Conclusion.....	9
1	Introduction.....	10
2	Définition de l'adsorption.....	10
3	Types d'adsorption.....	10
3.1	Adsorption physique.....	10
3.2	Adsorption chimique.....	11
4	Modélisation de la cinétique d'adsorption (formes non linéaires).....	11
5	Mécanisme de l'adsorption.....	12
6	Paramètres influant sur l'adsorption.....	12
7	L'isotherme d'adsorption.....	12
8	Les adsorbants.....	13
9	Critères de choix d'adsorbant.....	14
10	Fabrication du charbon actif.....	14
10.1	Carbonisation.....	14
10.2	Activation.....	15
10.2.1	Activation physique.....	15
10.2.2	Activation chimique.....	15
11	Caractérisation du charbon actif.....	16
11.1	Caractérisation chimique.....	16
11.1.1	pH de point de charge nulle (pH_{pzc}).....	16
11.1.2	Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF).....	16
11.2	Caractérisations texturales.....	17
11.2.1	Diffraction des rayons X (DRX).....	17
11.2.2	Thermogravimétrie (ATG).....	17
11.2.3	L'Indice d'Iode.....	17
11.2.4	Indice de bleu de méthylène.....	17
12	Conclusion.....	18
1	Préparations de charbon actif.....	19
1.1	La matière première (la coquille d'œuf).....	19
1.2	Préparation du matière première.....	19
1.3	Mode de préparation.....	20
1.4	Rendement.....	21

2	<i>Caractérisation des charbons actifs</i>	22
2.1	Caractérisation physicochimique.....	22
2.1.1	Le pH du point de charge nulle (pH _{PZC}).....	22
12.1	Diffraction des rayons X (DRX).....	23
12.2	Thermogravimétrie (ATG)	24
2.1.2	Études par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (IRTF)	26
2.2	Caractéristique texturale.....	27
2.2.1	La détermination de l'indice de l'iode.....	27
2.2.2	La détermination de l'indice de Bleu de Méthylène BM	27
1	<i>Présentation de l'ONA</i>	29
2	<i>étude des effets (condition opératoire)</i>	30
2.1	Effet de masse	30
2.2	Effet de temps	31
2.3	Effet de température	32
2.4	Effet de pH	33
2.5	Analyse physique.....	34
12.3	Mesure du pH	34
12.4	Mesure de la température (T)	35
12.5	Mesure de la conductivité électrique	35
12.6	Mesure de la turbidité.....	36
2.6	Analyse chimique.....	37
12.7	La Demande biochimique en oxygène (DBO5).....	37
12.8	La demande chimique en oxygène DCO	38
2.6.4	Dosage des chlorures (Méthode de Mohr).....	42
2.6.5	Dosage des nitrates (méthode au salicylate de sodium)	44
2.6.6	Dosage des ions nitrites par (Méthode au réactif de Zambelli).....	45
	<i>CONCLUSION</i>	48

LISTE DES ABREVIATIONS

ATG: Analyse Thermogravimétrique.

BM: bleu de méthylène.

CAA: charbon actif activé par acide.

CAB: charbon actif bio.

DBO5: Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO: Demande chimique en oxygène.

DRX: diffraction des rayons X.

E.D: Eau distillée.

EDTA: Ethylène Diamine Tétra Acétique.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IRTF: Infrarouge à transformée de Fourier.

M: masse.

MES: matières en suspension

NaCl: Chlorure de Sodium.

NTU: Unité Néphélométrie de turbidité.

pH: Potentiel hydrogène.

pH_{PZC}: pH de point de charge nulle.

T: température.

t: temps.

TH: Titre hydrotimétrique.

UV-visible: ultra-violet visible.

LISTE DES FIGURES

Figure. 1. Mécanisme de transport d'un adsorbant au sein d'un grain.	12
Figure. 2. Composition de coquille d'œuf.....	19
Figure. 3. Les coquilles d'œufs après le séchage et broyage	20
Figure. 4. Courbe représente le pH_{pzc} du charbon activé par acide CAA	22
Figure. 5. Courbe représente le pH_{pzc} du charbon bio CAB	23
Figure. 6. Schéma de diffraction des rayons X (DRX).	24
Figure. 7. La perte de masse (%) en fonction de la température (T °C) obtenues par ATG pour le charbon actif CAA.....	25
Figure. 8. La perte de masse (%) en fonction de la température (T °C) obtenues par ATG pour le charbon actif CAB.....	25
Figure. 9. Spectres d'IRTF de charbons actifs préparés.	26
Figure. 10. Localisation de la station de traitement de BBA.	29
Figure. 11. La variation de l'effet de masse de CA.....	30
Figure. 12. La variation de l'effet de temps de CA	31
Figure. 13. La variation de l'effet de température de CA.	32
Figure. 14. La variation de l'effet de pH de CA.....	33
Figure. 15. PH mètre.	34
Figure. 16. Conductimètre	36
Figure. 17. Turbidimètre.....	37
Figure. 18. DBO mètre.	38
Figure. 19. Spectrophotomètre.....	39
Figure. 20. Virage de couleur du rose au bleu pour détermination du TH. Erreur ! Signet non défini.	
Figure. 21. Virage de couleur au violet pour la détermination du TH ca.....	41
Figure. 22. Virage de la couleur de jaune à la brune pour détermination du Cl^-	43
Figure. 23. Image représente le dosage des nitrates NO_3^-	45
Figure. 24. Image représente le dosage des nitrites NO_2^- Erreur ! Signet non défini.	

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau. 1. Classification des eaux d'après leurs conductivités</i>	8
<i>Tableau. 2. Les différentes classes de turbidité fonction de la qualité visuelle de l'eau</i>	8
<i>Tableau. 3. Les modèles appliqués de la cinétique d'adsorption</i>	11
<i>Tableau. 4. Présente les caractéristiques texturales principales des matériaux</i>	14
<i>Tableau. 5. Le rendement des charbons actifs</i>	21
<i>Tableau. 6. L'indice de bleu de méthylène ainsi que l'indice d'iode des charbons actifs</i>	28
<i>Tableau. 7. Les résultats d'effet de masse</i>	30
<i>Tableau. 8. Les résultats d'effet de temps</i>	31
<i>Tableau. 9. les résultats de l'effet de température</i>	32
<i>Tableau. 10. Les résultats d'effet de pH</i>	33
<i>Tableau. 11. Les résultats de pH</i>	35
<i>Tableau. 12. Les résultats de température</i>	35
<i>Tableau. 13. Les résultats de conductivité</i>	36
<i>Tableau. 14. Les résultats de turbidité</i>	37
<i>Tableau. 15. Les résultats de DBO5</i>	38
<i>Tableau. 16. Les résultats de DCO</i>	39
<i>Tableau. 17. Les résultats de la dureté</i>	42
<i>Tableau. 18. Les résultats des chlorures</i>	43
<i>Tableau. 19. Les résultats de nitrate et nitrite</i>	47

INTRODUCTION

L'eau est l'un des éléments essentiels pour les êtres vivants. Sans eau aucun organisme ne peut vivre. Après avoir été utilisée, la plus grande partie de cette eau usée est retournée à l'environnement. La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs est le résultat des rejets des eaux usées sans traitement ou avec des traitements insuffisants, cela provoque la dégradation de l'écosystème. [1]

Le charbon activé est peut-être l'un des adsorbants les plus utilisés. Les systèmes d'adsorption impliquant charbon actif ont gagné une importance au cours des dernières décennies [2], c'est un matériau carboné poreux qui possède une capacité d'adsorption élevée, et qui est largement utilisé comme adsorbant dans la purification des liquides, des gaz et également comme catalyseur et support du catalyseur.

Les capacités d'adsorption des carbones activés dépendent fortement de leur porosité et de leur surface 300 à 2500 m².g⁻¹. [3, 4]

Les propriétés texturales des charbons activés dépendent du matériau de départ et de la méthode de préparation. La production de charbon actif peut être réalisée par activation physique ou chimique. Dans l'activation physique, le matériau est carbonisé sous atmosphère inerte puis à haute température en utilisant de la vapeur ou du dioxyde de carbone. L'activation chimique peut être réalisée en une seule étape en effectuant la décomposition thermique de la matière première avec des agents activant comme ZnCl₂ [5] , KOH [6] , H₃PO₄ [7] et NHO₃ [8]. ..etc. L'activation chimique est privilégiée par rapport à l'activation physique en raison de son rendement supérieur, de sa simplicité, de la réduction de la température et du temps d'activation, ainsi que de l'excellent développement de la structure poreuse. Les carbones activés peuvent être produits à partir de différentes ressources [3], tels que les déchets de thé [9], Coquille de gland et de noix de coco [10]. ..etc.

En 2012, la production d'oeufs au niveau mondial a été estimée par la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) à plus de 66,4 millions de tonnes, soit environ 1000 milliards d'oeufs. Les principaux producteurs sont la Chine (24,5 millions de tonnes, soit près de 37% de la production mondiale), l'Union Européenne (6,7 millions), les Etats-Unis (5,4 millions) , l'Inde (3,6 millions), le Japon (2,5 millions). Au vu de cette

production importante, donc produire des quantités très élevés des déchets pour l'environnement [11].

Ce travail est structuré en deux parties principales, une étude bibliographique et une étude expérimentale, chacun se décompose alors en deux chapitres.

- ✚ Le premier chapitre présente un rappel bibliographie des généralités sur les eaux usées.
- ✚ Le chapitre II décrit les phénomènes d'adsorption et les adsorbants.
- ✚ Le chapitre III émet les différents méthodes de préparation et de caractérisations physico- chimiques à savoir: Diffractions des rayons X (DRX), analyse par infrarouges (FTIR), UV-visible et pH.
- ✚ Le chapitre IV est consacré à l'étude des traitement des eaux usées par les charbons préparées.

Références

- 1) Oubagha, N. "Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique." Mémoire de magister. chimie de l'environnement. Université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Algérie (2011).
- 2) Girgis, Badie S., and Abdel-Nasser A. El-Hendawy. "Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid." *Microporous and mesoporous materials* 52.2 (2002): 105-117.
- 3) Angın, Dilek, T. Ennil Köse, and Uğur S. "Production and characterization of activated carbon prepared from safflower seed cake biochar and its ability to absorb reactive dyestuff." *Applied Surface Science* 280 (2013): 705-710.
- 4) Othman, A. M. "Preparation of sulfurized granular activated carbon from Beji asphalt using concentrated H₂SO₄." *Tikrit Journal of Pure Science* 13.3 (2008).
- 5) Alhamed, Yahia A., and Hisham S. Bamufleh. "Sulfur removal from model diesel fuel using granular activated carbon from dates' stones activated by ZnCl₂." *Fuel* 88.1 (2009): 87-94.
- 6) Vargas, Alexandro MM. "Preparation and characterization of activated carboe from a new raw lignocellulosic material: Flamboyant (*Delonix regia*) pods. " *Journal of environmental management* 92.1 (2011): p. 178-184.
- 7) Bouchenafa-Saib, N., et al. "Effect of oxidant treatment of date pit active carbons used as Pd supports in catalytic hydrogenation of nitrobenzene. " *Applied Catalysis A: General* 286.2 (2005): p. 167-174.
- 8) Nait - Merzoug , et al. " Préparation Et Caractérisation D'un Charbon Actif A Base D'un Déchet Agricole. " *Third International Conference on Energy , Materials , Applied Energetics and Pollution ,* (2016): p. 36-41.
- 9) Gokce , y.et al. " Nitric acid modification of activated carbon produced from waste tea and adsorption of methylene blue and phenol. " *Applied Surface Science* 313 (2014): p 352-359
- 10) Şahin , Ö. et Cafer, S. " Preparation and characterization of activated carbon from acorn shell by physical activation with H₂O - CO , in two - step pretreatment. " *Bioresource technology* 136 (2013): p. 163-168.
- 11) Marie, P. " Biominéralisation de la coquille d'oeuf de poule caractérisation des protéines de la matrice organique impliquées dans l'initiation de la minéralisation Thèse de doctoral Université François Rabelais De Tours , (2015) , p. 3 , 11 ,

PREMIERE PARTIE:
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

1 Introduction

Les eaux de surface sont un écosystème où vit une communauté d'organismes vivants qui entretiennent des liens et des interactions avec leur environnement. Un seul élément de l'écosystème est altéré dans ce fragile équilibre, et c'est l'équilibre qui est endommagé. Ainsi, la présence ou la surabondance d'un élément dans un écosystème dont il est habituellement absent est considérée comme une pollution. Les eaux usées renferment de multiples substances polluantes. S'ils sont présents directement dans les milieux naturels, ces polluants perturbent les écosystèmes. Avant d'être évacuées dans le milieu récepteur, il est essentiel de traiter les eaux usées afin de préserver l'environnement. [1]

2 Définition des eaux usées

La pollution se définit comme l'introduction dans un milieu naturel de substances provoquant sa dégradation. La pollution des ressources en eau au niveau des stations d'épuration provient de diverses sources, notamment les formes relatives aux activités humaines. [2,3]

3 L'origine des eaux usées

Les eaux usées doivent être traitées par une chaîne de traitement, tandis que l'effluent à traiter doit être caractérisé quantitativement, qualitativement, et provient de trois principales sources:

3.1 Les eaux usées domestiques

Dans le système dit « tout à l'égout », les eaux usées domestiques incluent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) ainsi que les eaux vannes (urines et matières fécales). Elles renferment des substances minérales et organiques. Les composés ternaires, tels que les sucres, les graisses, les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques (composés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, ainsi que d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que le soufre, le phosphore, le fer, etc.). [4,5]

3.2 Les eaux usées industrielles

Toutes les émissions provenant d'une utilisation autre que domestique de l'eau sont considérées comme des émissions industrielles. Les rejets des usines sont inclus dans cette définition, ainsi que les rejets d'activités artisanales ou commerciales telles que la blanchisserie, le restaurant, le laboratoire d'analyses médicales, etc. Les eaux usées industrielles sont extrêmement diversifiées. Une partie de ces eaux est nocive pour la flore et la faune aquatique, ou pour l'être humain. Il est essentiel de bien différencier les eaux résiduaires et les liquides résiduaires provenant de certaines industries. Les eaux résiduaires désignent celles utilisées dans des systèmes de réfrigération, qui ont été utilisées pour nettoyer ou laver des appareils, des machines, des installations, des matières premières ou des produits d'une usine, ou qui ont été utilisées pour retenir des poussières de fumées. Elles peuvent inclure des substances dangereuses.

- Ils sont directement rejetés dans le réseau domestique
- Ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique
- Ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel. [5,6]

3.3 Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines englobent les eaux de consommation domestique et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux ruisselles sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés produisent divers déchets minéraux et organiques: terre, limons, boues, silts, sables, déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) et micropolluants (hydrocarbures, pesticides provenant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopiques de caoutchouc provenant de l'usure des pneumatiques des véhicules). [7]

4 Composition des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine. Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de

nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes: les matières en suspension, les micro-organismes, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives. [4]

4.1 Les matières en suspension

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des micro-organismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les matières en suspension (MES). Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures. [8]

4.2 Les micropolluants organiques et non organiques

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante. Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes. [4]

4.3 Éléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/L}$); les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc....), sont présents à l'état de traces. [9]

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux, tels que le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments. [8]

4.4 Les substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre sont Indispensable à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare:

- de 16 à 62 kg d'azote,
- de 2 à 69 kg de potassium,
- de 4 à 24 kg de phosphore,
- de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium. [8]

5 Les caractéristiques des eaux usées

5.1 Paramètres organoleptiques

5.1.1 La couleur

Une eau est considérée comme vraie ou réelle lorsque sa coloration est causée par les seules substances dissoutes, c'est-à-dire lorsqu'elle traverse un filtre avec une porosité de 0,45 µm. La notion d'apparente est utilisée lorsque les substances en suspension y ajoutent leur propre teinte. Les teintes réelles et apparentes sont à peu près les mêmes dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. [10]

5.1.2 L'odeur

Effectivement, toute odeur peut indiquer la présence de pollution ou de matières organiques en décomposition. Ces substances sont généralement en quantité si faible qu'elles ne peuvent pas être détectées par les méthodes d'analyse habituelles. L'examen doit être effectué le plus rapidement possible après le prélèvement. Il est possible de conserver l'échantillon à une température de 4 ou 2 °C, en évitant tout contact avec des odeurs étrangères. Le temps de stockage ne doit pas dépasser 72 heures. [10]

5.2 Paramètres physiques

5.2.1 La température

La température de l'eau a un impact significatif sur la solubilité des sels et des gaz (notamment l'oxygène indispensable à l'équilibre de la vie aquatique). De plus, la température varie. Effectue une augmentation de 2 à 3 fois les vitesses des réactions chimiques et biochimiques pour une augmentation de température de 10 °C. La température de l'eau augmente donc également l'activité métabolique des organismes aquatiques augmente. La température ambiante et les éventuels rejets d'eaux résiduaire chaudes ont une influence sur la valeur de ce paramètre. Les fluctuations brusques de température de plus de 3 °C sont souvent préjudiciables. [11]

5.2.2 Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH permet de mesurer l'acidité de l'eau, c'est-à-dire la quantité d'ions d'hydrogène (H^+). En général, on utilise une échelle de pH allant de 0 (très acide) à 14 (très alcalin); la valeur médiane est de 7 qui correspondent à une solution neutre à 25°C. Selon la nature acide ou basique des terrains traversés, le pH d'une eau naturelle peut fluctuer entre 4 et 10. Les eaux acides faibles augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme plus toxique, notamment en raison de leur faible pH. Les niveaux élevés de pH augmentent les niveaux d'ammoniac, ce qui est nocif pour les poissons. [11]

5.2.3 La conductivité électrique (EC)

La conductivité électrique d'un liquide (γ) correspond à la capacité d'une colonne d'eau située entre deux électrodes métalliques ayant une surface de 1 cm² et séparées l'une de l'autre de 1cm. Selon Rodier et al. Elle est contraire à la résistivité électrique (ρ). On peut estimer la totalité des matières dissoutes en multipliant la valeur de la conductivité par un facteur empirique qui varie en fonction de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. IL est crucial de comprendre le contenu en sels dissous car chaque organisme aquatique à des besoins spécifiques en ce qui concerne ce paramètre. En général, les espèces aquatiques ne peuvent pas supporter des fluctuations significatives en sels dissous, comme cela peut être observé par exemple lors de déversements d'eaux usées (**Tableau.1**). [11]

Tableau. 1. Classification des eaux d'après leurs conductivités. [12]

50 à400	Qualité excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Qualité médiocre mais eau utilisable
>1500	Minéralisation excessive

5.2.4 La turbidité

C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La turbidité d'eau est due à la particule en suspension, notamment colloïdales ; argiles, limons, grains de silice, matières organiques, l'appréciation de l'abondance de ces particules mesure sont degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (**Tableau.2**). [13]

Tableau. 2. Les différentes classes de turbidité fonction de la qualité visuelle de l'eau. [14]

Turbidité NTU	Qualité de l'eau
NTU < 5	Eau incolore
5< NTU <30	Eau incolore
NTU > 50	Eau incolore

5.2.5 Les matières en suspension (MES)

Les substances en suspension comprennent des substances non solubles, qu'elles soient organiques ou minérales. Les premières sont généralement volatiles et peuvent être traitées par dégradation biologique. En revanche, les dernières, qui sont principalement minérales, peuvent être éliminées principalement par sédimentation. La quantité de substances suspendues fluctue principalement en fonction des saisons et du mode d'écoulement des eaux. Ces substances ont un impact sur la fluidité de l'eau et réduisent la pénétration de la lumière, ce qui entraîne une diminution de la photosynthèse. Elles ont aussi la capacité de perturber la respiration des poissons. De plus, les substances en suspension ont la capacité d'accumuler de grandes quantités de substances toxiques (comme les métaux, les pesticides, les huiles

minérales, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc.).[15]

5.3 Paramètres chimiques

5.3.1 Le carbone organique total (COT)

La composition du carbone organique est composée d'une variété de composés organiques présentant différents états d'oxydation, dont certains peuvent être oxydés par des méthodes chimiques ou biologiques. La demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO) sont les caractéristiques de ces fractions. [13]

5.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder principalement les composés organiques présents dans l'eau. Les substances présentes dans l'eau sont soumises à des processus chimiques d'oxydation extrêmement intenses. De manière à évaluer également les substances qui sont difficilement dégradables biologiquement, telles que les composés organiques chlorés. [16]

5.3.3 La demande biochimique en oxygène (DBO)

D'après Bliefert et Perraud, c'est la quantité d'oxygène nécessaire (exprimée en mg/l ou autre) pour la dégradation biologique des matières organiques présentes dans l'eau sur une période de cinq jours. Le traitement chimique des substances présentes dans l'eau implique des conditions d'oxydation extrêmement strictes. Afin de prendre en compte également celles qui sont difficilement dégradables biologiquement, telles que les composés organiques chlorés. [15]

6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé plusieurs points concernant les eaux usées à savoir:

- Leur origine et leurs sources.
- Leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

L'adsorption est l'une des techniques les plus utilisées dans le domaine de traitement des eaux usées. Il fera l'objet du second chapitre qui suit.

Références

- 1) Rahou, K. B. Evaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'El-kerma ORAN, mémoire de master, département de génie chimie, université d'Oran, 2012.
- 2) HADJ-SADOK, Z., K., Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise En compte des incertitudes: application au traitement de l'eau. Thèse de Doctorat de l'Université de Nice – Sophia Antipolis, Nice, France, 1999.
- 3) STEYER, J.P. Modélisation, Commande et Diagnostic des Procédés Biologiques de Dépollution. Habilitation à Diriger des Recherches, Laboratoire De Biotechnologie – INRA, Narbonne, France, 1998.
- 4) Baumont, S., et al. Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. *Rapport ORS*, (2004): 220p
- 5) Vaillant, Jean R. *Perfectionnements et nouveautes pour l'épuration des eaux résiduaires: eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles*, par JR Vaillant. Editions Eyrolles, 1974.
- 6) Edline, F. "L'épuration biologique des eaux résiduaires." *Ed. CEBEDOC, Paris*, (1979): 306p
- 7) Desjardins, R. "Le traitement des eaux, 2eme édition revue et corrigée." *Raymon. P302-304* (1997).
- 8) Faby, J. A., and F. B. "L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation." *Office International de l'eau* 76 (1997).
- 9) Cauchi, H. et al. "Dossier: la réutilisation des eaux usées après épuration." *TSM 2* (1996): 81-118.
- 10) Rodier, J., Legube, et al. *Analyse de l'eau*. Dunod, 9^{ème} édition, Paris France, (2009): 1579 p
- 11) De Villers, J., Squilbin, M., et al, *Qualité physico-chimique et Chimique des eaux de surface: cadre général. Fiche.2*, (2005): pp.158-162
- 12) AFNOR. , *Qualité des sols. Environnement Recueil des normes françaises*. AFNOR. Paris, 154p, (1994)
- 13) Rodier, Jean, C. Geoffray, and L. R. *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer: chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie*. Dunod., (1996) ,1384p.
- 14) IANOR. *Qualité de l'eau: détermination de la turbidité NA 746*. Alger IANOR, 2006.
- 15) Gaïd, A. *Epuration biologique des eaux usées urbaines*. OPU Algérie, Edition N° 012472 05-84, tome 1, 261 p, (1984)
- 16) Bliefert C., and Perraud R. *Chimie de l'environnement Déchets. Air, eau, sols, déchets*, Édition de Boeck,(2001): pp.317-477.

1 Introduction

En 1881, KAYZER a introduit le concept d'adsorption pour décrire le processus de condensation d'un gaz sur une surface, contrairement à l'absorption qui désigne une molécule de gaz qui pénètre dans le solide sans interagir.

L'attraction d'un atome ou d'une molécule à une surface peut entraîner la formation d'une liaison entre la particule et la surface. Il s'agit de l'adsorption, où le solide est désigné comme adsorbant et la substance comme adsorbat. [1,2]

2 Définition de l'adsorption

L'adsorption correspond au processus où des molécules provenant d'un fluide (gaz ou liquide) se fixent sur la surface d'un solide. La phase composée de molécules adsorbées est connue sous le nom de "soluté" ou "adsorbat", tandis que le solide est désigné comme "adsorbant". La surface du matériau englobe le réseau des pores et des cavités à l'intérieur de l'adsorbant crée des surfaces externes et internes. [3]

L'interprétation de l'adsorption repose sur trois ensembles de données expérimentales:

- Les quantités adsorbées à l'équilibre, formalisées par les isothermes d'adsorption,
- Les vitesses d'adsorption obtenues par l'étude cinétique,
- Les propriétés des molécules adsorbées en relation avec leur structure chimique et leur aptitude à repasser en solution. [4]

3 Types d'adsorption

Les forces responsables des phénomènes d'adsorption peuvent être physiques ou chimiques, en fonction de l'importance des énergies impliquées entre l'adsorbant et l'adsorbat. Cela entraîne deux types d'adsorption: l'adsorption physique appelée "physisorption" et l'adsorption chimique appelée "chimisorption".

3.1 Adsorption physique

La physisorption, également connue sous le nom d'adsorption physique, consiste en des

interactions très faibles entre les molécules, comme les forces d'attraction de Van der Waal et les forces causées par les interactions électrostatiques de polarisation. Elle est réversible et peu spécifique. La rapidité de l'adsorption physique est généralement entravée par des phénomènes de diffusion.

3.2 Adsorption chimique

Le phénomène d’adsorption chimique, également appelé chimisorption, est irréversible en raison d'un lien chimique covalent puissant entre les atomes de surface du solide et les molécules adsorbées. Ce genre d'adsorption nécessite des attractions à haute énergie, ce qui entraîne une adsorption chimique importante. [5]

4 Modélisation de la cinétique d'adsorption (formes non linéaires)

La cinétique d'adsorption décrit le taux d'adsorption des solutés en fonction du temps de contact d’adsorption, l'une des propriétés clés définissant l'efficacité d’adsorption. La cinétique d'adsorption fournit des informations importantes pour la conception des systèmes d’adsorption. Des modèles de pseudo-premier ordre, de pseudo-second ordre, d'Elovich et de diffusion intra particulaire ont été utilisés pour étudier le mécanisme d’adsorption. Ces modèles sont formulés dans le **Tableau.3**. [3]

Tableau. 3. Les modèles appliqués de la cinétique d’adsorption. [6]

Modèles	équations	Les paramètres
Pseudo première ordre	$Q_t = q_e(1 - e^{-kt})$	K₁ : constante de vitesse pour une cinétique du pseudo-première ordre (min ⁻¹) Q_e : la capacité d’adsorption à l’équilibre (mg/g) Q_t : la capacité d’adsorption à l’instant t (mg/g)
Pseudo second ordre	$Q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t}$	K₂ : constante cinétique du pseudo seconde-ordre (g/mg.min)
Elovich	$Q_t = \frac{\ln(1 * \alpha * \beta * t)}{\beta}$	α est le taux de sorption initial (m/g. min) β est la constante de désorption (g/mg), liée dans l’étendue de la couverture de surface et énergie d’activation pour la chimisorption.
Diffusion intra-particulaire	$Q_t = k_p t^{1/2} + c$	K_p : la constante de vitesse intra-particulaire en (mg/g.min ^{1/2}). Q_t : la quantité adsorbée à l’instant t en (mg/g).

5 Mécanisme de l'adsorption

La sorption est un processus de surface qui implique l'interaction entre les particules de l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. Il est généralement reconnu que les interactions entre atomes ou molécules ne sont pas compensées dans toutes les directions et qu'il y a des forces résiduelles qui sont dirigées vers l'extérieur aux interfaces. Lorsque les particules mobiles de l'adsorbat se fixent à la surface de l'adsorbant, ces forces sont neutralisées, ce qui est appelé adsorption. (**Figure.1**) [7,8]

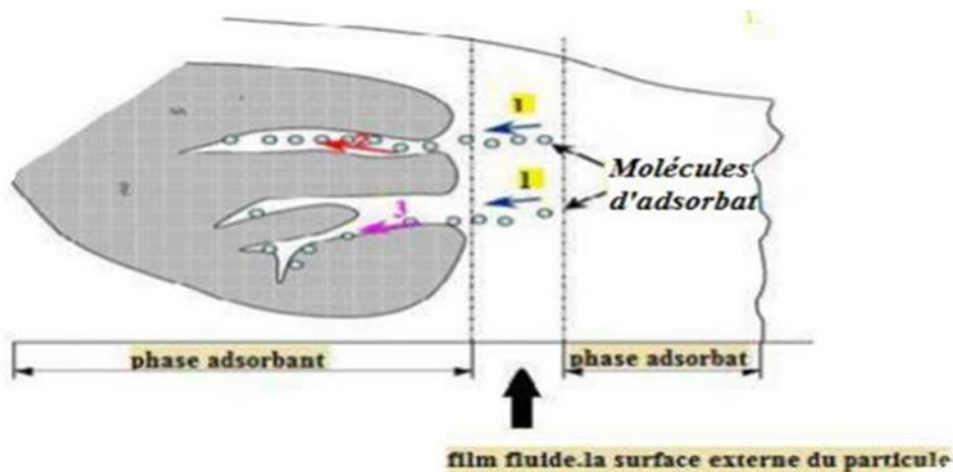


Figure. 1. Mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain. [7]

6 Paramètres influant sur l'adsorption

L'adsorption d'un soluté sur une surface solide dépend des différentes interactions adsorbat adsorbants. La capacité et la cinétique d'adsorption sont fonction des propriétés de l'adsorbat (taille, solubilité), des caractéristiques physicochimiques de l'adsorbant (origine, aire spécifique, granulométrie, polarité et acidité de la surface) et des caractéristiques du milieu réactionnel (agitation, pH et température).

7 L'isotherme d'adsorption

On peut décrire un processus d'adsorption à l'aide d'une isotherme d'adsorption. Une telle isotherme est une courbe qui représente la relation entre la quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant Q_e ou X/m et la concentration de soluté en solution C_e . On obtient une telle courbe à partir des résultats des essais réalisés au laboratoire à une température

constante. Pour ce faire, on introduit des quantités connues d'adsorbant dans des volumes d'eau à traiter, après un temps de contact donné, on mesure la concentration résiduelle de soluté en solution. [9]

La quantité de soluté adsorbé est calculée à l'aide de l'équation:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e).V}{m} = \frac{X}{m} \quad (1)$$

Où: C_0 : concentration initiale de soluté (mg/L)

C_e : concentration de soluté à l'équilibre (mg/L)

Q_e : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g)

X : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg); $X = (C_0 - C_e).V$

m : masse d'adsorbant (g)

V : volume de la solution (L)

Certains auteurs ont compilé de nombreuses isothermes de Langmuir et ont constaté qu'elles présentaient 4 types, qui ont été reliés assez précisément à divers modes de fixation. [9]

8 Les adsorbants

La sélection d'un adsorbant dépend de sa capacité d'adsorption, généralement exprimée en mg de polluant par g d'adsorbant, qui est liée à la taille de la surface spécifique et au volume total de pores. Effectivement, à mesure que la surface spécifique et le volume poreux augmentent, il y aura davantage de sites spécifiques capables d'adsorber. Ainsi, la capacité d'adsorption serait accrue et l'adsorbant envisagé est plus efficace.

Les adsorbants peuvent être divisés en cinq grandes catégories: les charbons actifs, les alumines activées, les zéolites, les gels de silice et les bio-adsorbants ou adsorbants naturels. Ces derniers on les produit à partir de résidus naturels tels que le chitosane, la mousse de tourbe, les algues, les noix, le coco, etc (**Tableau. 4**). [10]

Tableau. 5. Présente des caractéristiques texturales principales des matériaux.

Adsorbant	Surfaces spécifiques (m ² .g ⁻¹)	La taille des pores (Nm)	Porosité interne
Charbon actifs	400-2000	1.0-4.0	0.4-0.8
Alumines activées	200-400	1.0-6.0	0.3-0.6
Zeolites	500-800	0.3-0.8	0.3-0.4
Gèles de silice	600-800	2.0-5.0	0.4-0.5
Bioadsorbants	<200	----	----
Coquilles d'oeufs	115	0.12	

9 Critères de choix d'adsorbant

Les adsorbants utilisés pour les différents traitements doivent avoir les qualités suivantes:

- Haute capacité d'adsorption.
- Haute efficacité d'adsorption pour les substances à faible concentration.
- Haute sélectivité.
- Capable d'être facilement régénéré et réutilisé.
- Peu coûteux.
- Longue durée de cycle.

10 Fabrication du charbon actif

Après carbonisation et activation, les déchets solides (composés organiques) sont utilisés comme matière première pour la production de charbon actif.

10.1 Carbonisation

La décomposition thermique d'un matériau organique sous vide ou dans une atmosphère inerte à des températures allant de 400 à 1000 °C pendant une période de 5 à 6 heures est observée. L'objectif est de faire disparaître les substances organiques volatiles qui se trouvent dans le squelette carboné. En général, la carbonisation a lieu à une vitesse qui réduit au minimum le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. La capacité d'adsorption des produits obtenus après carbonisation est limitée en raison de leur structure poreuse limitée (surface spécifique de 10 m²/g). [11]

10.2 Activation

L'objectif du processus d'activation consiste à augmenter le volume, dans une certaine mesure, à élargir les pores formées lors de la pyrolyse. La structure et la longueur des pores sont déterminées par la nature du matériau de départ et les conditions de pyrolyse préalable. Les structures carbonées désorganisées sont surprimées par l'activation, ce qui expose les feuillets aromatiques aux agents d'activation. Deux méthodes d'activation existent, l'activation physique et l'activation chimique. [12]

10.2.1 Activation physique

Il s'agit d'une oxydation du carbonate à une température élevée (750 à 1000°C) par un agent oxydant gazeux. Les gaz les plus couramment employés, soit individuellement, soit en combinaison, dans cette méthode sont l'air, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone. L'importance du niveau de température dans le processus d'activation est cruciale. Effectivement, à des températures basses, la cinétique d'oxydation est faible et l'activation entraîne une distribution homogène de la taille des pores au sein de l'ensemble du matériau. Avec l'augmentation de la température, la vitesse de réaction augmente plus rapidement que la diffusion du gaz oxydant. Ainsi, le processus est restreint par le transport du gaz oxydant à l'intérieur du matériau, ce qui entraîne une diminution de la porosité homogène. [12]

10.2.2 Activation chimique

S'agit d'une méthode alternative qui implique l'utilisation d'un agent chimique comme H_3PO_4 qui favorise la déshydratation, puis une réorganisation structurale à des températures inférieures à celles utilisées dans le procédé précédent. On concentre la carbonisation et l'activation en une seule étape. Le degré d'imprégnation influence la taille des pores dans le charbon actif final. Plus celui-ci est élevé, plus le diamètre des pores est élevé [12]. Le taux d'imprégnation, c'est-à-dire le rapport de la masse de l'agent activant à celle de la matière première sèche, est l'une des variables qui influence considérablement les caractéristiques du charbon actif produit lors du processus d'activation chimique.

Les agents déshydratants utilisés sont des substances chimiques qui pénètrent dans la structure du charbon afin de créer de petits pores en parallèle. [13]

11 Caractérisation du charbon actif

11.1 Caractérisation chimique

11.1.1 pH de point de charge nulle (pH_{pzc})

Le pH de point de charge nulle ou zéro (pH_{pzc}) est un paramètre important pour adsorbants et adsorption, en particulier lorsque des forces électrostatiques sont impliquées. Il indique la neutralité de la surface de l'adsorbant et détermine l'acidité ou la basicité d'un charbon actif et sa charge de surface en fonction du pH de la solution.

Il s'agit de mettre en flacons fermés 50 cm³ de solution de NaCl 0,01 M, puis d'ajuster le pH de chaque solution (le pH varie de 2 à 12) en ajoutant une solution de NaOH (0,1 M) ou HCl (0,1 M) en fonction du cas. Par la suite, on ajoute 0,15 g d'échantillon de charbon actif à analyser à chaque flacon.

Il est nécessaire d'agiter les suspensions et de les maintenir à température ambiante pendant 48 heures, puis de réaliser une nouvelle mesure du pH (pH_{final}).

Le pH_{pzc} , également connu sous le nom de point charge nulle, est défini lorsque la courbe pH_{final} en fonction du $\text{pH}_{\text{initial}}$ intercepte la ligne droite de $\text{pH}_{\text{final}} = 0$. [14,15]

11.1.2 Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Les principaux groupes fonctionnels de surface et la structure chimique du charbon actif peuvent être identifiés grâce à la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF). En utilisant des mouvements vibratoires, des atomes et des groupes fonctionnels sont déplacés dans le matériau. La résonance se produit lorsque l'un de ces éléments est exposé à un rayonnement électromagnétique d'une fréquence proche de l'une de leurs propres vibrations, en utilisant l'énergie du faisceau incident. Ensuite, il y a l'absorption d'énergie, quand il y a du rayonnement électromagnétique infrarouge, les liaisons moléculaires absorbent une partie de cette énergie et transmettent des vibrations distinctes (vibrations d'élongation ou de déformation).

Toutefois, cette technique présente un certain nombre d'inconvénients:

- Le charbon est une substance sombre qui absorbe l'énergie.

- Tout le spectre visible à une bande d'absorption complète qui se termine dans le spectre infrarouge.
- En raison du chevauchement des bandes d'absorption et de la faible intensité du signal induite par les caractéristiques du corps noir du charbon, l'interprétation spectrale reste difficile. [16]

11.2 Caractérisations texturales

11.2.1 Diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X permet d'identifier la nature des phases cristalline et amorphe présentes dans un solide. Cependant, plusieurs mailles cristallines doivent se succéder pour former des raies de diffraction visibles. Si le nombre de mailles constituant les cristallites est faible, les raies de diffraction apparaitront larges. Cette propriété permet dans certains cas de déterminer la taille des cristallites. [17]

11.2.2 Thermogravimétrie (ATG)

L'ATG permet de déterminer les pertes de manse que subit un échantillon au cours d'un chauffage dans laquelle on enregistre les variations de la masse d'un échantillon d'une substance en fonction de la température ou du temps sous atmosphère contrôlée. Cette variation de musse peut être une perte de masse (émission de vapeurs) ou gain de masse (fixation de gaz).

11.2.3 L'Indice d'Iode

L'indice d'iode est une mesure de volume pour les diamètres de 10 à 28 Å, se référant à la quantité d'iode adsorbée par un gramme de charbon actif lorsque la concentration à l'équilibre est de 0,02 N. Les composés à indice d'iode élevé sont adaptés à l'adsorption à partir de solutions contenant des substances de faible poids moléculaire, avec une surface de 4,4 Å² correspondant à la surface dans les pores d'un diamètre inférieur à 10 Å². [18]

11.2.4 Indice de bleu de méthylène

Le pourcentage de milligrammes de bleu de méthylène adsorbés par un gramme de charbon actif est connu sous le nom d'indice du bleu de méthylène.

Mesurant 1 mg/L, la surface disponible pour les adsorbants micro et mésoporeux est représentée par l'indice du bleu de méthylène. Une molécule de bleu de méthylène occupe une surface de 119 \AA^2 . [19,18]

12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de fournir un aperçu complet des connaissances actuelles sur le phénomène d'adsorption, une technique largement étudiée à l'aide de divers outils, notamment ceux permettant l'analyse cinétique et isotherme de manière précise.

Références

- 1) Tazerouti, N. Traitement des effluents liquides de l'industrie du cuir par adsorbant produit de la lignine sulfa-tée. Diss. Université de Boumerdès-M'hamed Bougara, 2012.
- 2) Chaouch, N. Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées. Diss. UB1, 2014.
- 3) Adsorption-définitions et explications ;
<https://www.technoscience.net/definition/5450.html#:~:text=L'adsorption%2C%20%C3%A0%20ne%20pas,%C3%A9volution%20de%20nombreuses%20r%C3%A9actions%20chimiques.>
- 4) Aziri, S. Etude de l'adsorption du Nickel par des biosorbants. Diss. UMMTO, 2012.
- 5) Bouziane, N, and A. Z. "Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre." (2007).
- 6) Benammar, H. S. Effets synergiques et pouvoir adsorbant du charbon actif dans l'élimination de deux colorants azoïques. Diss. Université Mohamed Khider Biskra, 2023.
- 7) Hamdaoui, O. and E. Naffrechoux. "Modeling of adsorption isotherme of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon: Part II. Models with more than two parameters." *Journal of hazardous materials* 147.1-2 (2007): 401-411.
- 8) Eddiline, F, L'épuration Physico Chimique Des Eaux ,1998.
- 9) Oumelkheir S, Fatma K. Modélisation de l'adsorption: Application à la dépollution des eaux, MÉMOIRE DE MASTER, 2019.
- 10) DJELAB.L.traitement des eaux des cales par adsorption. Mémoire de master, 2015.
- 11) Yahaoui, N. Etude de l'adsorption des composés phénologiques des margines D'olives sur carbonate de calcium, hydroxyapatite, et charbon actif. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2012.
- 12) Hatem, R. Élimination de la matière organique par adsorption sur charbon Magnétique. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2007.
- 13) Mohamed, L. Adsorption de métaux lourds dans des eaux usées par des Charbons actifs préparés à partir de biomasse locales. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur de l'équipement rural. Institut International D'ingénierie de L'eau et de L'environnement, 2008.
- 14) Benzekri, M. Benallou, et al. "Valorization of olive stones into a granular activated carbon for the removal of Methylene blue in batch and fixed bed modes." *J. Mater. Environ. Sci* 9 (2018): 272-284.
- 15) Reymond, J. P., and F. Kolenda. "Estimation of the point of zero charge of simple and mixed oxides by mass titration." *Powder Technology* 103.1 (1999): 30-36.
- 16) Zawadzki, J. "Infrared spectroscopy in surface chemistry of carbons." *Chemistry and physics of carbon* 21 (1989): 147-380.

- 17) Benamraoui.F, « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture », Mémoire magister, université farhatabbas setif-1 UFAS algérie, (2014).
- 18) BAHNES, Z. Activation des noyaux des jujubes pour l'obtention d'un charbon actif. Diss. Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis, 2018.
- 19) Tsechansky, L., and E. R. Graber. "Methodological limitations to determining acidic groups at biochar surfaces via the Boehm titration." Carbon 66 (2014): 730-733.

DEUXIEME PARTIE

Etude expérimentale

Cette partie de notre étude implique la préparation d'un adsorbant (charbon actif) par des méthodes chimiques et à partir de matières premières de coquille d'œuf, nous utilisons l'acide phosphorique comme agent activateur.

Nous présentons ensuite les résultats d'analyses des eaux usées avant et après traitement avec l'adsorbant préparé.

1 Préparations de charbon actif

1.1 La matière première (la coquille d'œuf)

La coquille d'œuf, qui est le compartiment le plus externe, protège l'embryon des agressions extérieures. Elle pèse environ 6g et est principalement composée de cristaux de carbonates de calcium (CaCO_3) recouverts d'une cuticule organique. La coquille est composée de 1,6 % d'eau et de 3,3 % de protéines (**Figure 2**). Les carbonates de calcium (93,6% de l'ensemble) sont principalement présents dans la partie minérale (95,1%), sous forme de calcite. Les autres sels sont du carbonate de magnésium et du phosphate tricalcique. [1,2]

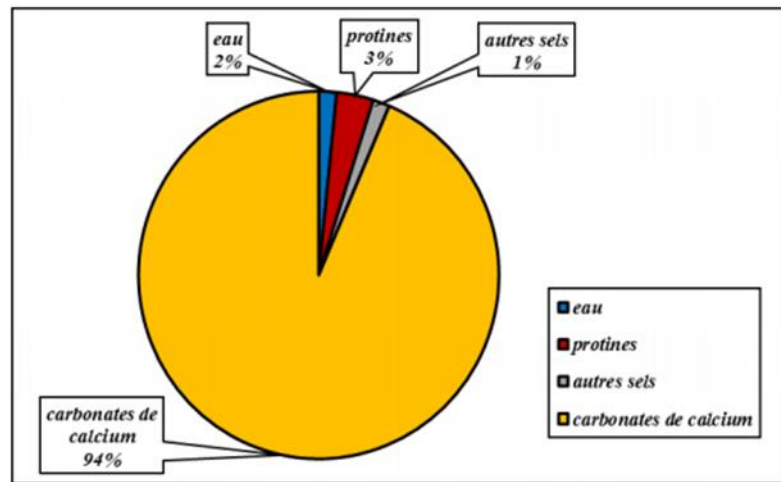


Figure. 2. Composition de coquille d'œuf.

1.2 Préparation du matière première

La matière première utilisée dans cette étude est les coquilles d'œufs. Utilisé comme matière première pour la production de charbon actif. Elles ont été broyées à l'aide d'un broyeur à disques pour obtenir des particules de moins de 800 μm de diamètre.

Ces particules ont ensuite été lavées à plusieurs reprises avec de l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée, ce procédé permettant de supprimer les impuretés comme la poussière et les substances hydrosolubles. Par la suite, les particules ont subi un séchage à 90°C pendant 24 heures pour diminuer leur humidité. Elles ont été à nouveau tamisées manuellement après le séchage afin d'obtenir un diamètre homogène (**Figure. 3**).



Figure. 3. Les coquilles d'œufs après le séchage et broyage

1.3 Mode de préparation

Les coquilles d'œufs ont été divisées en deux parties, la première partie était une carbonisation par bioactivation (CAB) et la deuxième partie était constituée de produit chimique d'activation acide (CAA), qui ont été imprégnées d'une quantité calculée du poids à la densité multipliée par le volume et le pourcentage de solution aqueuse de H_3PO_4 , pendant 72 heures, avec un taux d'imprégnation de 30%, où X_p est défini comme le pourcentage résultant d'un 100 fois le rapport pondérale de H_3PO_4 (g) au poids de précurseur pour (les coquille d'œufs) obtenir du charbon actif à porosité variable.

$$X_p\% = [\text{masse du } H_3PO_4 \text{ (g)} / \text{masse du précurseur (g)}] * 100 \quad (2)$$

Ensuite, ce dernier a été séché dans une étuve à 110 °C pendant 24 heures et l'acide phosphorique résiduel a été éliminé de l'échantillon par lavage à l'eau distillée bouillante jusqu'à ce qu'aucun ion phosphate ne soit pas détecté dans l'eau.

L'eau de lavage d'échantillon est analysée à l'aide d'un pH-mètre pour confirmer

l'absence de particules de phosphate résiduelles. La confirmation a été obtenue lorsque le pH s'est stabilisé à 6.

Après un séchage d'échantillon sur 110 °C pendant 5 h dans l'étuve, l'échantillon a été calciné pendant 1h30 à 500 °C. Les matériaux finaux ont été broyés et tamisés pour obtenir des particules de diamètre inférieur à 90 µm.

1.4 Rendement

Le rendement de la préparation du charbon actif, défini comme le rapport du poids de charbon actif après thermoactivation, lavage et séchage (w_1) sur le poids des coquilles d'œufs secs (w_0), est donné par l'équation (3):

$$\mathbf{rendement\ (\%) = (W_1 / W_0) * 100} \quad (3)$$

W_1 La masse après thermoactivation.

W_0 La masse du précurseur.

Le terme « burn-off » désigne le pourcentage de perte de poids résultant du processus de thermoactivation, comme exprimé dans l'équation (4):

$$\mathbf{burn-off\ (\%) = 100 - rendement\ \%} \quad (4)$$

La perte de masse est étudiée pour les coquilles d'œufs non imprégnées et imprégnées à l'acide phosphorique. Les résultats sont présentés dans le **Tableau. 5**.

Tableau. 6. Le rendement des charbons actifs.

Les charbons actifs	CAB	CAA
Le rendement de production de charbon actif (%)	86,25	89
La perte de masse (<i>Burn-off</i>) %	13,75	11

Le rendement de CAA est légèrement supérieur au CAB, car il n'y a pas de différence remarquable, ce qui signifie que le traitement avec l'acide phosphorique n'a pas d'effet sur le rendement de la préparation des charbons actifs.

2 Caractérisation des charbons actifs

2.1 Caractérisation physicochimique

2.1.1 Le pH du point de charge nulle (pH_{PZC})

La détermination du pH_{PZC} a été effectuée en utilisant la méthode de dériver du pH. Pour se faire, une suspension de charbon actif (0,15 mg) a été préparée dans une solution aqueuse de NaCl (50 ml à $0,01 \text{ mol L}^{-1}$). Le pH de cette suspension a été ajusté à différentes valeurs initiales d'affilée, entre les valeurs 2 et 12. Cette suspension a ensuite été agitée pendant 72 h consécutives, et à l'issue de cette durée, le pH_{final} a été mesuré et enregistré en fonction du pH initial. Où le pH_{PZC} correspond à la valeur pour laquelle le pH_{final} est égal au $\text{pH}_{\text{initial}}$ (c'est-à-dire le point où la courbe du pH_{final} en fonction du $\text{pH}_{\text{initial}}$ croise la droite où le ($\text{pH}_{\text{final}} = \text{pH}_{\text{initial}}$). [3,4]

Les **Figure. 4** et **5** illustre le graphique de la variation du pH_{final} en fonction du $\text{pH}_{\text{initial}}$ intercepte la ligne droite $\text{pH}_{\text{final}} = \text{pH}_{\text{initial}}$ pour chaque échantillon de charbon actif, à partir duquel les pH_{PZC} sont déduits.

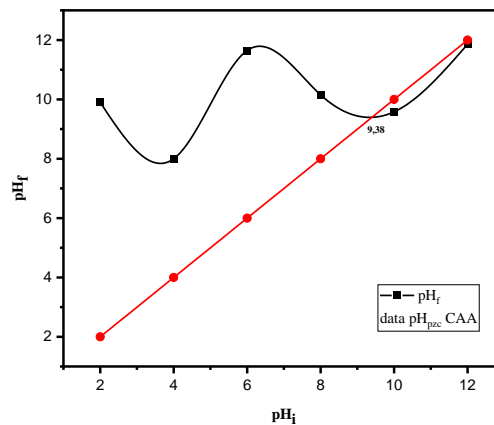


Figure. 4. Le pH_{PZC} du charbon activé par acide CAA

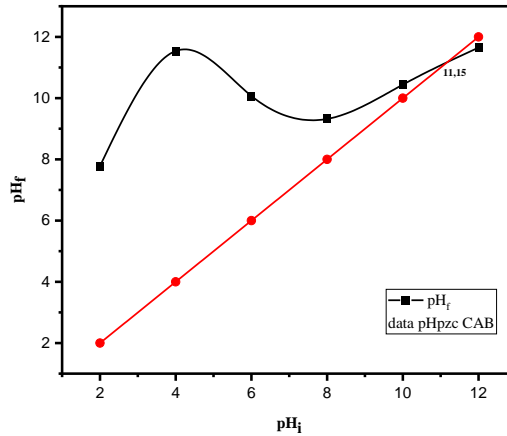


Figure. 5. Le pH_{pzc} du charbon bio CAB

La surface du charbon actif peut acquérir une charge positive ou négative selon le pH du milieu. Lorsque le pH de la solution est inférieur au pH_{pzc} du charbon ($pH < pH_{pzc}$), celui-ci a un comportement basique qui favorise l'adsorption des espèces anioniques. Par contre, si le pH du milieu est supérieur au pH_{pzc} du charbon ($pH > pH_{pzc}$), la surface de charbon actif présente une charge négative, qui favorise l'adsorption des espèces cationiques. Les résultats montrent que les deux charbons ont un comportement basique, avec des valeurs de pH_{pzc} respectives de 9,38 et à 11,15 pour le CAA et CAB. La diminution du pH_{pzc} après traitement des coquilles d'œufs par l'acide pourrait être expliquée par une augmentation du nombre de groupements acides après modification de la coquille favorisant ainsi l'adsorption des composants organiques anioniques.

12.1 Diffraction des rayons X (DRX)

Les charbons actifs ont été analysés par diffraction des rayons X (DRX), qui est une méthode fondamentale pour évaluer la structure d'empilement du charbon, la **Figure.6.** montre les diffractogrammes obtenus. Nous avons remarqué que les spectres de DRX des charbons actifs CAA et CAB présentent des pics étroits et nets d'intensité élevée, qui révèlent une structure cristalline, une caractéristique précieuse pour un matériau hautement poreux.

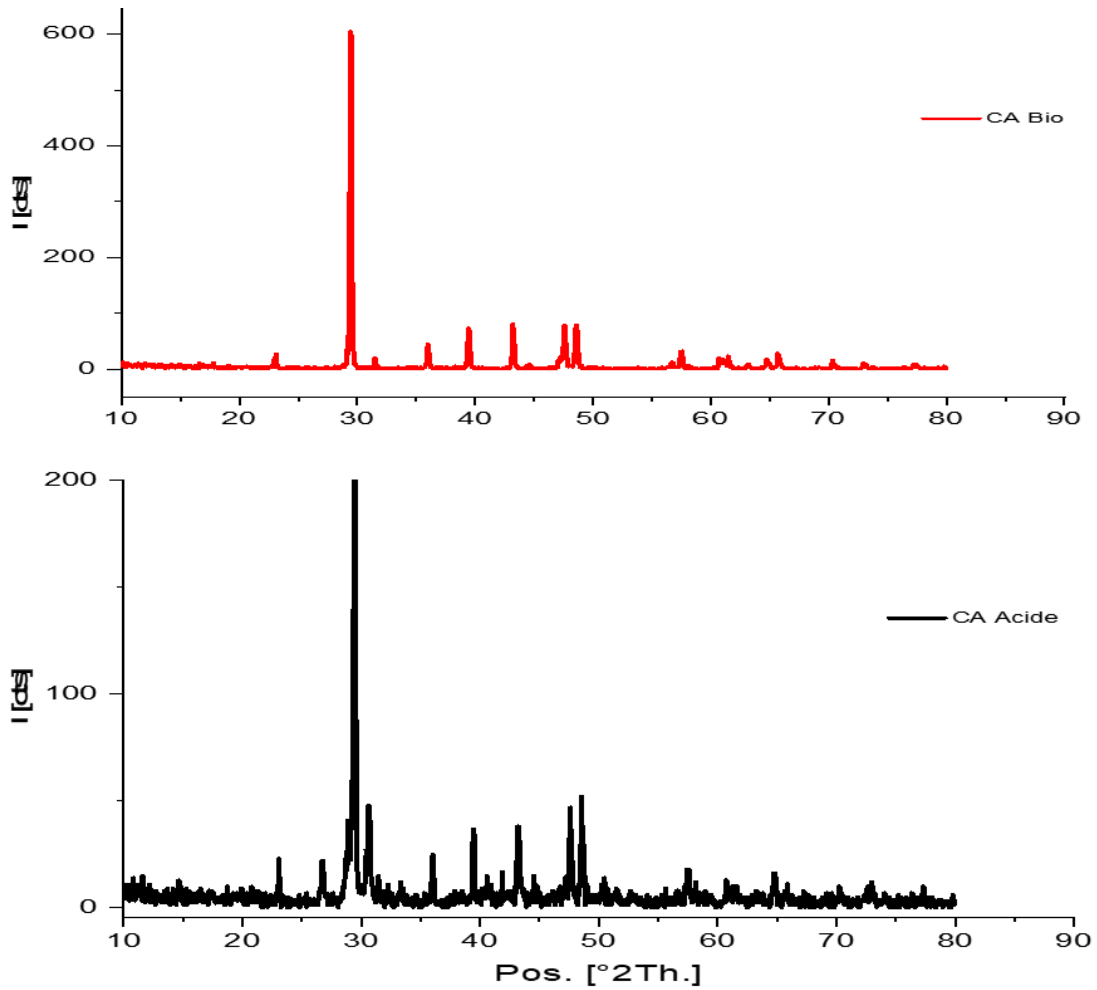


Figure. 6. Schéma de diffraction des rayons X (DRX).

Nous avons observé que pour les deux échantillons présentent un large pic d'intensité à 2θ élevé, s'étendant de 28° à 30° et des pics moyens s'étendant de 32° à 49° . Ces pics correspondent aux réflexions caractéristiques dans le cas des matériaux carbonés graphitisés et du carbonate de calcium CaCO_3 , de tri-carbonate de calcium, de fer et de magnésium $(\text{Ca, Fe, Mg})(\text{CO}_3)_3$, de di-carbonate de calcium, et de magnésium $(\text{Ca, Mg})(\text{CO}_3)_2$, aussi du Quartz et SiO_2 en trace.

12.2 Thermogravimétrie (ATG)

Afin d'étudier la perte de masse, les échantillons de charbon actif à base de la biomasse des coquilles des œufs CAA et CAB avant et après le traitement des eaux, ont été caractérisés par analyse thermogravimétrie (ATG).

L'ATG a été réalisée sur un travail TA-60WS analyseur de station (Shimadzu Corp ;

Kyoto, Japon) à une vitesse de chauffage de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$. Les échantillons étaient examinés sous flux d'azote ($80\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) sur une plage de température de 30 à $700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

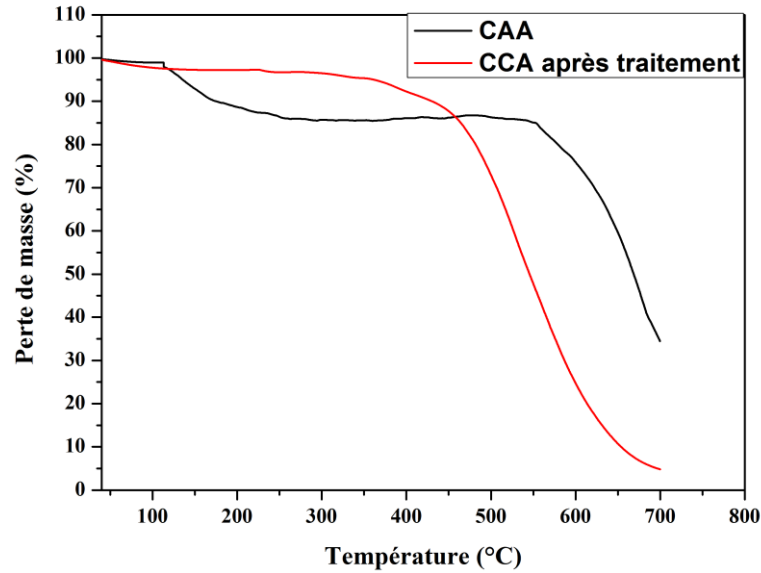


Figure. 7. La perte de masse (%) en fonction de la température ($T\text{ }^{\circ}\text{C}$) obtenues par ATG pour le charbon actif CAA.

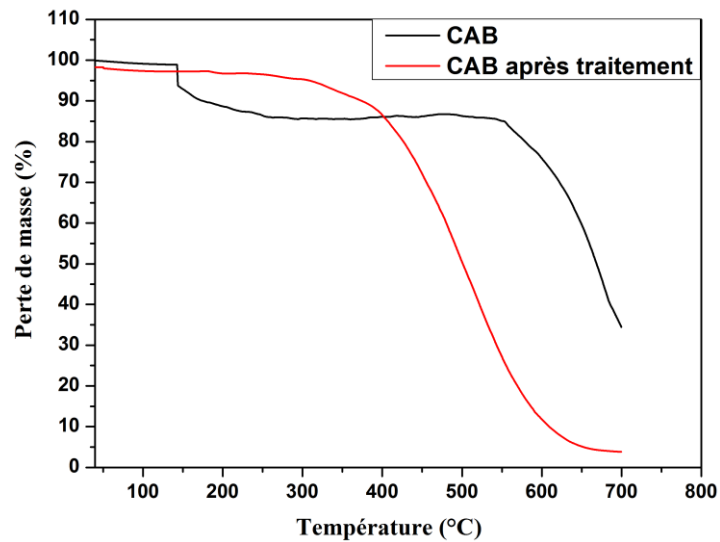


Figure. 8. La perte de masse (%) en fonction de la température ($T\text{ }^{\circ}\text{C}$) obtenues par ATG pour le charbon actif CAB.

A partir de la figure. 7 pour le CAA, on remarque dans la courbe de prétraitement trois phases, la perte de masse commence progressivement à environ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, Cela indique une perte d'humidité et de matière organique légère. Une perte de masse significative se

produit vers 550 °C, indiquant une décomposition des matières carbonées basiques dans l'échantillon. La courbe de perte de masse après traitement montre deux phases seulement par rapport à l'échantillon non traité. Cela peut être attribué à l'effet du traitement de l'eau sur la composition chimique et structurelle du charbon actif.

La figure. 8 montre le comportement des courbes pour le carbone CAB. La perte de masse commence progressivement à environ 100°C, avec une perte de masse significative se produisant vers 500°C. Après traitement, la courbe montre de nettes différences dans le schéma de perte de masse, qui indique que le traitement a modifié la stabilité thermique et les propriétés structurelles de l'échantillon.

2.1.2 Études par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (IRTF)

L'étude infrarouge a été réalisée à l'aide d'un spectromètre FTIR Cary 630 avec une plage de fréquences allant de 400 à 4500 cm^{-1} pour étudier les types de zones de surface. Les spectres, illustrés dans la **Figure. 9**, montrent que des bandes intenses de groupes fonctionnels existent à la surface des charbons actifs. L'interprétation de bande d'absorption dans l'intervalle [1490-1370 cm^{-1}] indique une apparition CO_3^{2-} . Et l'interprétation de bande d'absorption dans l'intervalle [874- 711 cm^{-1}] indique une apparition C-O de la calcite CaCO_3 pour les deux charbons CAB et CAA.

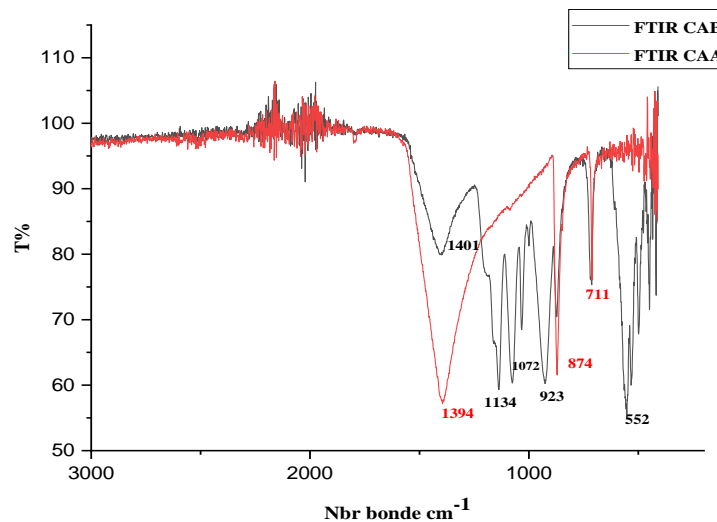


Figure. 9. Spectres d'IRTF de charbons actifs préparés.

2.2 Caractéristique texturale

2.2.1 La détermination de l'indice de l'iode

Le nombre d'iode est un paramètre largement utilisé dans les essais du charbon actif pour donner une estimation de sa surface et de sa porosité (surface interne) accessible aux petites molécules et aux métaux. Nous avons 0,15g de carbone actif sec mis en contact avec 10 ml d'une solution d'acide chlorhydrique à 5 % dans un erlenmeyer de 100 mL, le mélange est agité puis bouilli pendant environ 60 s. Ensuite, 25mL d'une solution d'iode à 0,1N ont été introduits dans la dispersion. Ils sont agités pendant environ 60 s et filtrés sur papier filtre. Nous avons prélevé 12,5 ml du filtrat obtenu après filtration du mélange et titré par une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0,1N. L'amidon agit comme un indicateur visuel pour indiquer le changement dans la réaction.

Les échantillons de charbons actifs ont été caractérisés en mesurant leur indice d'iode ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) à l'aide de la solution d'iode 0,1N. Le nombre d'iode a été défini:

$$\text{Le nombre d'iode (mg g}^{-1}\text{)} = ((V_1 - V_2) * N * 126,93) / m \quad (4)$$

Ou,

V_1 Le volume de thiosulfate de sodium pour le titrage à blanc (témoin)

V_2 Le volume de thiosulfate de sodium pour le titrage d'équivalence.

N La normalité de la solution de thiosulfate de sodium utilisée.

m La masse des charbons actifs.

Les résultats pour la détermination du nombre d'iode sont dans le **Tableau.6**.

2.2.2 La détermination de l'indice de Bleu de Méthylène BM

L'adsorption a été étudiée dans des erlenmeyers. Un volume de 25 ml de solution de BM à concentration 1200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ avec 1.2 mg de charbon actif sont introduits dans ces erlenmeyers et agités à 300 $\text{t}\cdot\text{min}^{-1}$ à température ambiante (25 °C) et au pH du milieu réactionnel égal à 6 pendant 24 h. Après la séparation de la phase liquide et de l'adsorbant par filtration à l'aide de centrifugeuse, l'évolution de la concentration des filtrats a été suivie à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à la longueur d'onde 665 nm. Le calcul de la quantité adsorbée est donné par l'équation (5):

$$q_e = (C_0 - C_e) V / m \quad (5)$$

Où C_0 et C_e Les concentrations initiales et à l'équilibre en mg L^{-1} respectivement.

m La masse de charbon actif en gramme.

V Le volume de soluté (de colorant) en litre.

Les résultats pour la détermination de l'indice de BM et d'iode sont regroupés dans le **Tableau.6.**

Tableau. 7. L'indice de bleu de méthylène ainsi que l'indice d'iode des charbons actifs.

Charbons actifs	CAB	CAA
L'indice d'iode (mg.g^{-1})	271,3945	284,0175
l'indice bleu de méthylène (mg.g^{-1})	726,6924	731,7686

D'après le **tableau.6.** Nous remarquons une légère augmentation de l'indice de bleu de méthylène ainsi que de l'indice d'iode du charbon activé par acide CAA comparés au charbon non activé par acide CAB.

La taille d'un pore peut être décrite par sa largeur (pour les pores en forme de fente), c'est-à-dire la distance moyenne leurs tailles en trois catégories principales : les micropores (taille $< 20 \text{ \AA}$), les mésopores (taille comprise entre 20 \AA et 500 \AA), les macropores, (taille $> 500 \text{ \AA}$).

L'indice du bleu de méthylène et l'indice d'iode des charbons actifs étudiés révèlent que les charbons activés par le H_3PO_4 et thermoactivation possèdent une porosité mésopores.

Références

- 1) Bonhomme, B. " Étude De La Contamination Des Milieux Internes De L'œuf Par Salmonella Sérotype Enteritidis." Thèse de Doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, France, (2003), p. 65, 68.
- 2) Marie, P." Biominéralisation de la coquille d'œuf de poule: caractérisation des protéines de la matrice organique impliquées dans l'initiation de la minéralisation." Thèse de doctorat Université François – Rabelais De Tours, (2015), p. 3, 11.
- 3) Gómez-Avilés, A, et al. "Equilibrium, kinetics and breakthrough curves of acetaminophen adsorption onto activated carbons from microwave-assisted FeCl₃-activation of lignin." *Separation and Purification Technology* 278 (2021): 119654.
- 4) Abbasi, N. Suhail, A. K. and Tabrez Alam Khan. "Response surface methodology mediated process optimization of Celestine blue B uptake by novel custard apple seeds activated carbon/FeMoO₄ nanocomposite." *Journal of Water Process Engineering* 43 (2021): 102267.

1 Présentation de l'ONA

La station de traitement des eaux usées de BBA est localisée au sud de la ville sur une surface de 42750 m², elle a été mise en service en mai 2002 et inaugurée par le président de la république Algérienne le 17 Octobre 2003 (**Figure.10**). Elle est spécialisée dans le traitement des eaux domestiques et pluviales déversées par la ville de BBA dont elle utilise le procédé d'épuration par boues activées à faible charge. Elle traite un débit journalier de 30.000 m³ / j. Les eaux épurées de la station sont déversées dans l'OUED K'SOB qui est situé à environ 200 m de la station qui alimente le barrage K'SOB dans la wilaya de M'sila, utilisé pour l'irrigation des terres. Aussi ces eaux épurées sont recyclées pour l'agriculture et les boues d'épuration sont utilisées comme fertilisant.



Figure. 10. localisation de la station de la traitement de BBA.

2 étude des effets (condition opératoire)

Dans notre étude, nous nous appuyerons sur la mesure de la turbidité de l'eau, selon les appareils et matériels disponible en laboratoire. Nous notons que la turbidité de l'eau avant traitement était de 139 NTU, et sur la base de cette valeur, nous essaierons de suivre les changements survenus après le changement des conditions de traitement.

2.1 Effet de masse

Nous avons effectué le test en utilisant du charbon actif en différentes quantités (0,1; 0.25; 0.5; 1 ; 1.5 et 2g) dans un échantillon d'eaux usées de 25ml.

L'histogramme dans la **Figure. 11.** montre l'évolution de la turbidité en fonction de masse.

Tableau. 8. Les résultats d'effet de masse.

M (g)	0,1	0,25	0,5	1	1,5	2
Turbidité CAA (NTU)	36	35,2	29,2	21,1	29,7	30
Turbidité CAB (NTU)	43,4	38,8	32,8	23,2	56,2	74,1

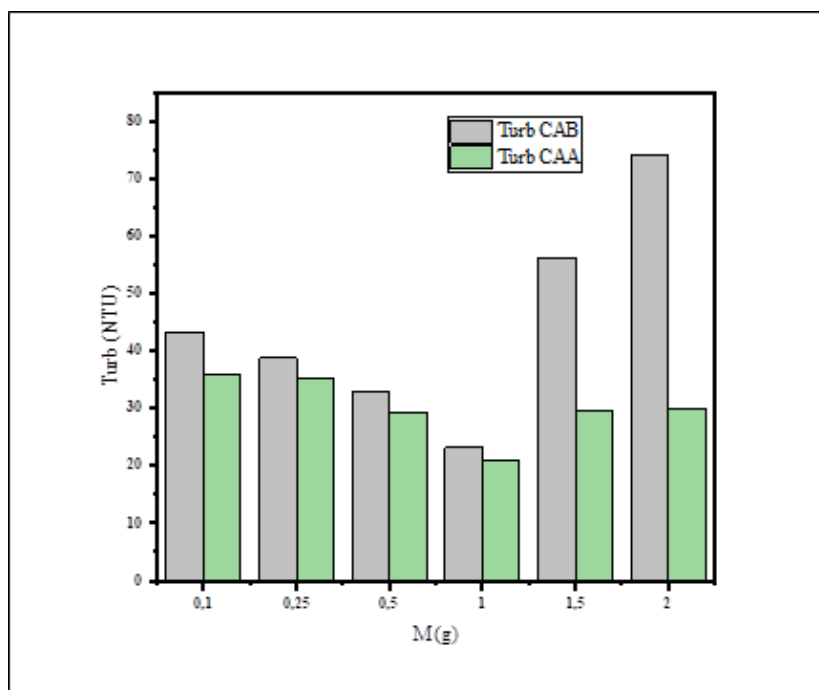


Figure. 11. La variation de turbidité en fonction de masse.

En représentant la turbidité en fonction de la masse pour différentes masses des deux charbons (CAA et CAB) **Figure. 11.** nous avons remarqué que l'augmentation de la masse de l'adsorbant diminue de manière significative la capacité d'adsorption.

L'allure du histogramme montre que pour des doses allant de 0,5 à 1g, la turbidité diminue de 36 à 23,2 NTU, contrairement aux masses 1,5 et 2 g.

Nous concluons que lorsque la masse augmente au-dessus de 1g, le taux d'adsorption diminue et la turbidité augmente.

Cette variation pourrait être expliquée par le fait que les faibles quantités d'adsorbant peuvent se disperser aisément dans la phase aqueuse facilitant ainsi l'accessibilité du polluant à un grand nombre de sites libres de l'adsorbant.

2.2 Effet de temps

La détermination du temps d'équilibre permettra de fixer le temps minimum nécessaire au contact du charbon actif avec l'eau usée afin d'avoir l'abattement maximum par adsorption des polluants existants dans cette eau.

Nous avons effectué le test de temps dans un échantillon d'eaux usées de 25ml et de masse de 1g du charbon actif dans un intervalle de temps allant de 10 à 1440 min.

Tableau. 9. Les résultats d'effet de temps

T (min)	10	20	40	60	120	180	1440
Turbidité CAA (NTU)	30,3	25,8	22,7	22,1	21,8	21,6	20,9
Turbidité CAB (NTU)	33,6	28,1	26,4	24,8	23,6	22,1	21,8

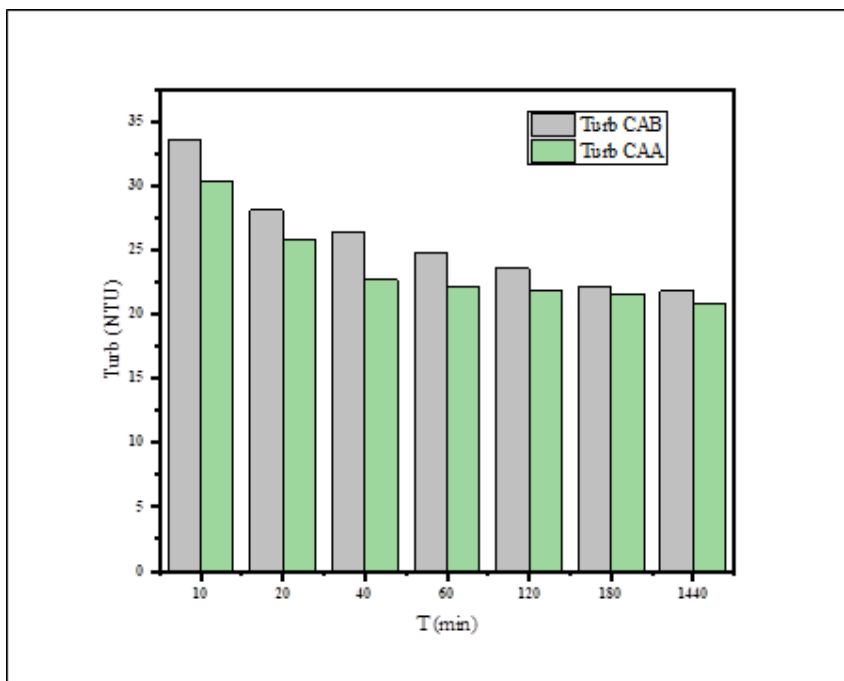


Figure. 12. La variation de turbidité en fonction de temps.

Le graphique montre une diminution progressive de la turbidité avec le temps, car nous remarquons que la plus grande diminution de la turbidité se produit entre 10 et 40

minutes. Après 60 minutes, les changements de turbidité deviennent stables pour les deux types de CAA et CAB, car cela indique que le système atteint pour un état d'équilibre en 120 minutes.

Nous concluons que le temps idéal pour l'absorption peut être déterminé comme 120 minutes.

2.3 Effet de température

Les effet de la température est un indicateur de la nature du processus d'adsorption (endothermique ou exothermique).

Afin d'étudier ce dernier, nous disposons d'adsorption pour des températures (10, 23, 35 et 50 °C) dans les conditions opératoires suivantes: le volume d'eau est de 25 ml, la masse est de 1 g et le temps spécifié est de 2h.

Tableau. 10. les résultats de l'effet de température

T °C	10	23	35	50
Turbidité CAA (NTU)	23.4	21.6	22.8	23.7
Turbidité CAB (NTU)	23.5	22.1	23.1	42.7

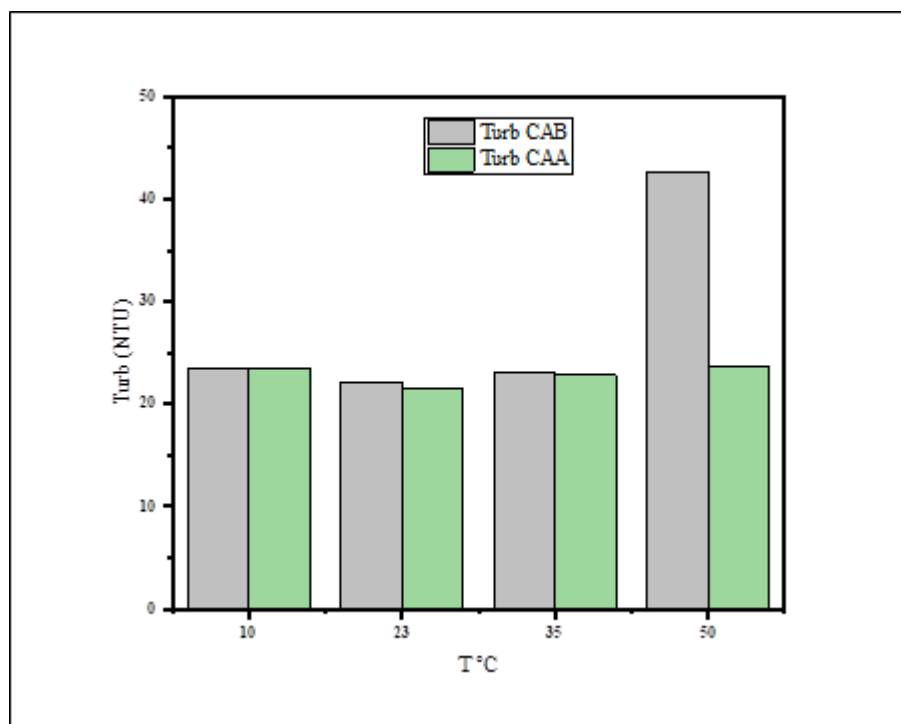


Figure. 13. La variation de turbidité en fonction de température.

Les résultats représentés par la **figure. 13.** démontrent que la turbidite ne se change pas presque avec l'augmentation de la température de 10 °C à 23 °C. À une température de 50 °C, on remarque une augmentation significative de la turbidité en utilisant CAB (2,7) NTU par rapport à la turbidité en utilisant CAA (23) NTU, cela indique que la CAB ne fonctionne pas à

haute température.

Par conséquent, la température optimale pour obtenir une turbidité plus faible est de 23 °C.

2.4 Effet de pH

Le pH est un paramètre essentiel à prendre en compte dans les processus de l'adsorption. Ce paramètre agit à la fois sur la solubilité et sur l'état d'ionisation de l'adsorbant. Cinq valeurs de pH (2 ; 5 ; 7 ; 9 et 12) sont élaborées, Les paramètres maintenus constants sont: temps de contact = 2 heures, température ambiante (23 °C). Les pH acide et basique sont obtenus, l'un par addition d'une solution d'acide chlorhydrique et l'autre par ajout d'une solution de soude caustique.

Tableau. 11. Les résultats d'effet de pH

pH	2	5	7	9	12
Turbidité CAA (NTU)	7.2	7.27	7.07	4.08	1.21
Turbidité CAB (NTU)	10.67	9.03	8.36	6.27	4.93

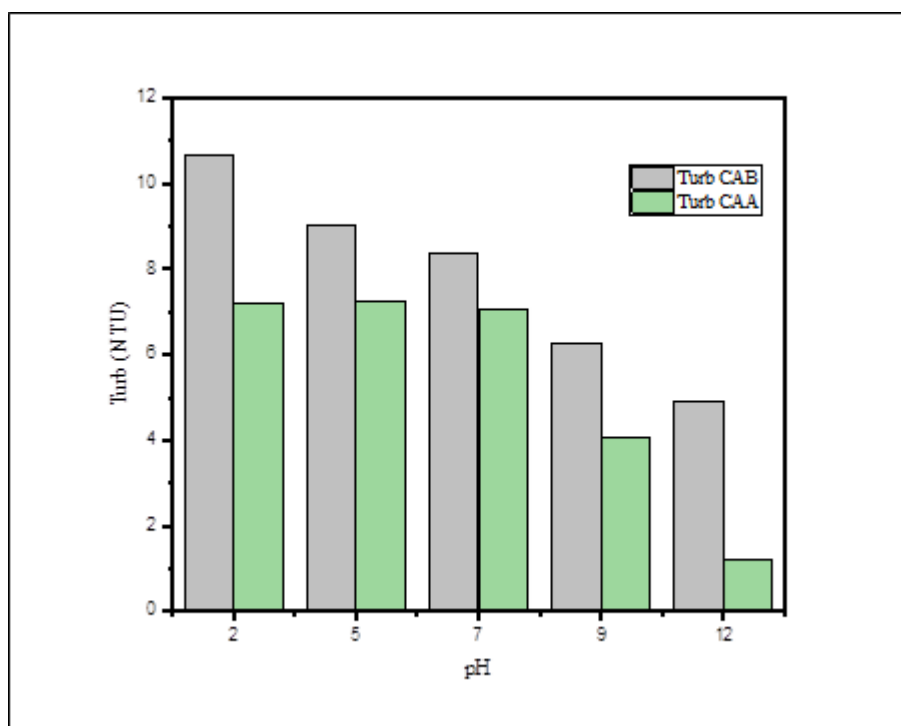


Figure. 14. La variation de turbidité en fonction de pH.

A travert le **figure. 14.** on remarque que pour le charbon actif CAA, la turbidité diminue avec l'augmentation du pH , allant de 7.2 NTU à pH =2 à 1.21 NTU à pH =12. Pour le charbon actif CAB, une tendance similaire est observée, avec la turbidité passant de 10.67 NTU à pH= 2 à 4.93 NTU à pH= 12.

Nous concluons que le milieu basique, pH= 12, semble être le meilleur en termes de réduction de la turbidité, ce qui indique qu'il est plus efficace dans le processus d'adsorption.

Caractéristiques d'eau d'utilisation

2.5 Analyse physique

12.3 Mesure du pH

- **Principe:**

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[H^+]$ présents dans l'eau ou les solutions, il caractérise aussi la notion d'acidité ou de basicité d'une eau.

- Appareil: pH mètre
- Electrode: Electrode de pH combinée

- **Mode opératoire:**

- Allumer le pH mètre.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Régler l'agitation à faible vitesse.
- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bêcher (3cm) contenant l'échantillon de l'eau analyser dont la température doit être 20 °C.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- à chaque détermination de pH retirer l'électrode, rincer avec l'eau distillée et sécher.



Figure. 15. pH mètre.

Tableau. 12. Les résultats de pH.

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
pH	7.16	12	10.8

Les résultats du pH avant adsorption étaient de 7,16 mais après adsorption, nous remarquons une augmentation de la basicité des solutions traités avec les deux charbons, due aux valeurs élevées du pH.

12.4 Mesure de la température (T)

- **Principe:**

Les mesures de la température de l'eau sur le lieu de prélèvement de l'échantillon sont une partie intégrante de l'analyse des eaux, car de cette température dépendent la solubilité du gaz et la vitesse de la réaction de l'eau.

- **Appareillage:**

le pH mètre.

Tableau. 13. Les résultats de température.

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
Température (°C)	23	21.9	21.9

12.5 Mesure de la conductivité électrique

- **Principe:**

La conductivité désigne la capacité d'une solution à conduire le courant électrique en raison de la présence d'ions, laquelle augmente avec la température et la concentration des sels dissous.

- **Appareillage:**

- Conductimètre à électrode.
- Récipient contenant l'eau à analyser.

- **Mode opératoire:**

- Rincer la verrerie avant l'usage avec de l'eau distillée.
- Allumer le conductimètre.

- Rincer la sonde à conductimètre d'abord avec de l'eau distillée.
- Prendre environ 100ml d'eau à analyser, dans un bécher.
- Tremper l'électrode de conductimètre dans le bécher.
- Il faut attendre la stabilisation de la lecture avant de prendre la valeur.



Figure. 16. Conductimètre

Tableau. 14. Les résultats de conductivité.

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1863	5440	2780

La conductivité avant l'adsorption est de 1863 $\mu\text{s}/\text{cm}$ mais après l'adsorption, on constate une augmentation de la conductivité pour les deux charbons, notamment pour le CAB qui est supérieur au CAA, dépassant la valeur maximale recommandée par la base algérienne de $> 2800 \mu\text{s}/\text{cm}$.

12.6 Mesure de la turbidité

- **Principe:**

Un liquide trouble s'éclaire vivement lorsqu'il est traversé par un faisceau lumineux, c'est le phénomène dit Tyndall due aux particules insolubles en suspension diffusant latéralement une partie des rayons lumineux.

- **Appareillage:**

- Turbidimètre
- Cuve stérile.

- **Mode opératoire:**

- Régler le turbidimètre à 0 avant l'utilisation.

- Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique, avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure.
- Placer la cuvette dans le turbidimètre.
- Effectuer rapidement la mesure.



Figure. 17. Turbidimètre.

Tableau. 15. Les résultats de turbidité.

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
Turbidité (NTU)	139	2.93	2.94

L'analyse de la turbidité a montré que la valeur avant adsorption a diminué de 139 NTU à 2,94 NTU pour CAA et 2,93 NTU pour CAB après adsorption. Elle indique également que les deux charbons ont la même capacité d'adsorption.

2.6 Analyse chimique

12.7 La Demande biochimique en oxygène (DBO5)

- **Principe:**

Le dosage de la DBO5 est effectué en incubant un échantillon d'eau dans le flacon de l'appareil manométrique (DBO mètre) à l'abri de la lumière et maintenu pendant 5 jours à 20 °C. Lors de la biodégradation des matières organiques, les micro-organismes consomment l'oxygène de l'air contenu dans le flacon et libèrent le CO₂. Ce dernier est adsorbé par les pastilles de soude. La mesure est effectuée à l'aide d'un appareil manométrique de DBO mètre.

- **Appareillage:**

- DBO mètre avec 6 flacons pour DBO contenant chacun un barreau magnétique et une capsule.

- Incubateur.
- Entonnoir, éprouvette, etc.
- **Mode opératoire:**
 - mesurer le volume correspondant au DBO5 attendu de la bouteille marron (43.5 ml, 97 ml, 252 ml)
 - mettre l'agitation en marche puis ajouter une base de NaOH dans la capsule.
 - Fermer bien les flacons et on place dans l'appareil de la DBO mètre et incube les échantillons à 20 °C pendant 5 jours.
- **Expression et résultat:**

DBO5 (mg/l): **valeur lue * facteur**

Tableau. 16. Les résultats de DBO5

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
DBO5 (mg/l)	1000	15	20



Figure. 18. DBO mètre.

Nous remarquons que la valeur DBO5 après adsorption a diminué de 1000 mg/l pour les deux charbons à 15 mg/l pour le CAB et 20 mg/l pour le CAA. Cela indique l'efficacité du charbon dans l'élimination des polluants organiques.

12.8 La demande chimique en oxygène DCO

- **Principe**

Les matières organiques et minérales (OM et MM) présentes dans l'eau sont oxydées à l'aide de tubes contenant du bichromate de potassium (K_2Cr_2O) en milieu acide (H_2SO_4) en présence d'un catalyseur (Ag_2SO_4) et d'un agent masquant de sulfate de mercure ($HgSO_4$) à 148 °C pendant deux heures.

- **Appareillage:**
 - Pipette jaugée à 2 ml.
 - Adaptateur de tube DCO sur DR/850
 - Portoir pour tube DCO
 - Réacteur à 148 °C et spectrophotomètre
- **Mode opératoire**
 - Etalonnage de l'appareil.
 - Prélever 2 ml de l'eau distillée dans un tube de réactif DCO.
 - Prélever 2 ml d'échantillon dans un tube de réactifs à DCO (à l'aide d'une pipette jaugée).
 - fermer et les mélanger l'échantillon et le blanc et placer dans le réacteur DCO chauffé de 2h à 1548 °C.
 - Puis, laisser refroidir et lire les résultats de la DCO à l'aide d'un photomètre ou spectrophotomètre, les valeurs s'affichent en mg/l.

Tableau. 17. Les résultats de DCO.

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
DCO (mg/l)	2084	194	180



Figure. 19. Spectrophotomètre

Nous remarquons dans les valeurs du tableau une diminution légèrement plus importante de la valeur du DCO après adsorption pour le CCA par rapport au CAB.

2.6.1 Dosage de la dureté totale ou titre hydrométrique (TH)

Méthode par complexométrie (EDTA)

- **Définition:**

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins (Na^+ , K^+),

dans la plupart des cas, la dureté désigne la somme des cations alcalino-terreux (calcium Ca^{2+} , et magnésium Mg^{2+}) dans l'eau

On peut distinguer différents types de dureté:

- Dureté totale
- Dureté calcique
- Dureté magnésienne

- **Principe:**

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra acétique (EDTA).

La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation de magnésium permet de doser la somme des ions calcium et magnésium. (**Figure. 20**)

- **Réactifs:**

- Indicateur noir d'eriochrome T (NET).
- Solution d'EDTA (3,725 g d'EDTA solide dans 1000 ml eau distillée)
- Solution tampon.

- **Mode opératoire:**

- Prélever 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de solution tampon (pH = 9,5 - 10), et 2 à 3 gouttes d'indicateur coloré.
- Verser la solution d'EDTA (0.02N) jusqu'au virage du rouge vineux vers bleu vert.

- **Expression des résultats:**

$$\text{TH total (mg/l): } C_1.V_1=C_2.V_2$$

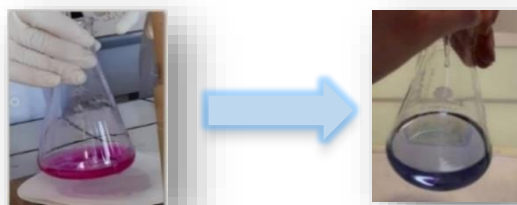


Figure. 21. Virage de couleur du rose au bleu pour détermination du TH.

2.6.2 Détermination de la dureté calcique (TH ca)

- **Principe:**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'EDTA à pH compris entre 12-13, ce dosage se fait en présence de MUREXIDE, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions de calciums libres, puis avec les ions calcium combiné avec indicateur. (Figure. 22)

- **Réactifs:**

- Solution d'EDTA N/50: (3,725 g d'EDTA dans 1000 ml eau distillée).
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH 2N (80 g NaOH dans 1000 ml eau distillée).
- Indicateur coloré MUREXIDE.

- **Mode opératoire:**

- Prélever 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter un volume d'une solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 mol/L a un pH ≥ 12 .
- Ajouter une petite pointe de spatule de MURIXIDE (la solution se colore en rouge).
- Faire le titrage avec l'EDTA jusque au virage (violet).

- **Expression des résultats:**

$$\text{TH ca (mg/l): } C_1.V_1=C_2.V_2$$



Figure. 23. Virage de couleur au violet pour la détermination du TH ca

2.6.3 Détermination de la dureté magnésienne (TH mg)

- **Principe:**

Il reflète la teneur en magnésium de l'eau ; déterminé par la différence entre dureté totale et dureté calcique.

- **Réactifs:**

- Solution d'EDTA N/50 (3,725 g EDTA dans 1000 ml E.D).
- Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) pH=10,1.
- Noire eriochrome T (NET).

- **Mode opératoire:**
 - Prendre 50 ml d'eau à analyser et placer dans un erlenmeyer de 250 ml.
 - Ajouter 2 ml de solution hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) à 2%.
 - Agiter et attendre quelques minutes.
 - Ajouter dans l'erlenmeyer 3ml de tampon a pH=10.
 - Ajouter un petit point de spatule noir eriochrome T.
 - Faire le titrage avec l'EDTA jusque au virage (bleu).
- **Expression des résultats:**

$$\text{TH mg (mg/l): } C_1.V_1=C_2.V_2$$

Tableau. 18. Les résultats de la duresé.

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
duresé totale TH	363	44.8	69.12
duresé calcique (TH ca)	224	31.36	32.96
duresé magnésienne (TH mg)	139	13.44	36.16

D'après les résultats du **tableau. 17.** on constate généralement une diminution de la duresé après adsorption, Le CAB semble être plus efficace pour réduire à la fois la duresé totale, la duresé calcique et la duresé magnésium par rapport au CAA. Par conséquent, le CAB est le meilleur type de charbon pour l'adsorption dans ce cas.

2.6.4 Dosage des chlorures (Méthode de Mohr)

- **Principe:**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrates d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. (**Figure. 24**)

- **Verreries:**

- Erlenmeyer.
- Pipettes graduée 5,10, et 25 ml.
- Burette 25 ml.

- **Réactifs:**

- Acide nitrique pur HNO₃ (liquide).
- Carbonate de calcium pur CaCO₃ (solide).

- Solution de nitrate d'argent AgNO_3 à 0.01N (1,6987 d' AgNO_3 dans 1000 ml E.D).
- Solution de chromate de potassium à 10% (10g de K_2CrO_4 dans 100 ml E.D).

- **Mode opératoire:**

- Introduire 100 ml d'eau à analyser préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 ml
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur.
- Une pincée de carbonate de calcium (CaCO_3).
- Ajouter 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%.
- Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min.

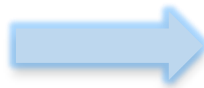


Figure. 25. Virage de la couleur de jaune à la brune pour détermination du Cl^-

- **Expression des résultats:**

La teneur en chlorure exprimé en mg de Cl^- est donnée par la formule:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Tableau. 19. Les résultats des chlorures

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAB	L'eau après l'adsorption avec CAA
Chlorure (mg/l)	497	894	752

D'après les résultats obtenus pour la concentration de chlorure avant l'adsorption 497 mg/l, mais après l'adsorption, nous remarquons une augmentation de la concentration de chlore pour les deux charbons, 894 mg/l pour CAB et 752 mg/l pour CAA, et cela est dû à la libération de chlore dans l'eau.

Ce résultat exprime les résultats trouvés pour la conductivité. Le charbon actif peut contenir des résidus de l'agent activateur ou des impuretés libérées pendant la carbonisation, ces résidus peuvent contenir des chlorures ou d'autres sels solubles qui se dissolvent dans l'eau pendant le traitement, augmentant ainsi la concentration de chlorures.

2.6.5 Dosage des nitrates (méthode au salicylate de sodium)

- **Principe:**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du *p*-nitrosoylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

- **Réactifs:**

- Solution de salicylate de sodium à 0,5% (0.5 g de salicylate de sodium dans 100 ml E.D).
- Solution d'hydroxyde de sodium à 30% (30 g de NaOH dans 100 ml E.D).
- Solution de tartrate double de sodium et de potassium:
 - ✓ 400g hydroxyde de sodium NaOH.
 - ✓ 60g Tartrate de sodium et de potassium.
 - ✓ 1000ml E.D.
- Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré.
- solution mère étalon d'azote nitrique à 0,1 g/l.
 - ✓ 0.722 g Nitrate de potassium anhydre.
 - ✓ 1ml de chloroforme.
 - ✓ 1000 ml eau distillée.

-Solution fille étalon d'azote nitrique à 0.005 g/l.

Amener 50ml de la solution mère a 1000 ml avec E.D.

- **Appareillage et verreries:**

- Balance analytique de laboratoire.
- fioles de 100 ml.
- tube à essai: 15 ml.
- Micropipette.
- Pipettes 10 ml, 5 ml, 2 ml, 1 ml et poires à pipete.
- Etuve ou bain marie pour séchage.
- Spectrophotomètre UV-Visible à longueur d'onde de 420 nm.

- **Mode opératoire:**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.

- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88 °C. (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 2 ml d'H₂SO₄.
- Laisser reposer 10 min.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible.

- **Expression des résultats:**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 420 nm.

Pour détermine les concentrations de notre échantillon on utilise la loi de Beer-Lambert définie par l'équation suivante : $A = K * C$ (6)

A: Absorbance.

K: Coef de proportionnalité (l/mol)

C: Concentration (l/mol)

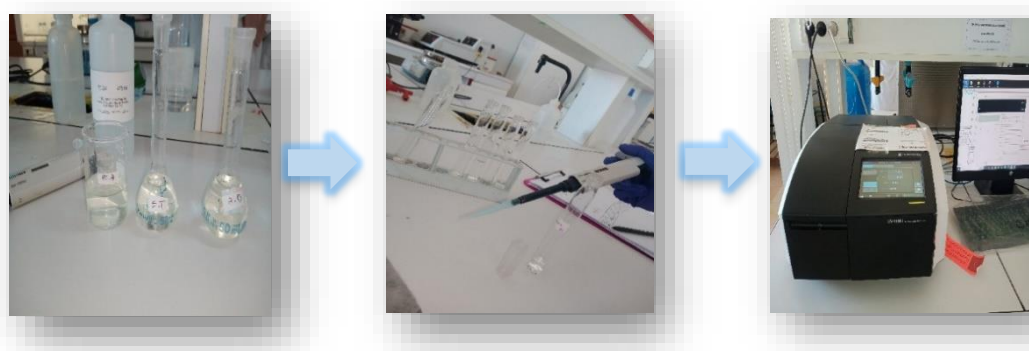


Figure. 26. Image représente le dosage des nitrates NO₃.

2.6.6 Dosage des ions nitrites par (Méthode au réactif de Zambelli)

- **Principe:**

L'acide sulfanilique, en milieu chlorhydrique en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO₂⁻ un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrite. (Figure. 27)

- **Réactif:**

- Ammoniaque pur NH₄OH (d=0.925)
- Réactif de ZAMBELLI
 - 260ml Acide chlorhydrique pur HCl (d= 1,19).
 - 5g Acide sulfanilique.

- 7,5 Phénol cristallisé (C_6H_5OH).
- 135g chlorure d'ammonium (NH_4Cl).
- 625ml E.D.
- Solution mère étalon de NO_2^- à 0.23 g/l
- 0,345g Nitrite de sodium ($NaNO_2$)
- 1000ml E.D.

- Solution fille étalon d'ion NO_2^- à 0.0023 g/l.

- **appareillage et verreries:**

- Fioles jaugées 100 ml.
- Éprouvettes: 500 ml, 1000 ml, 25 ml, et 10 ml.
- Pipettes 10 ml, 5 ml, 2 ml.
- Tube à essai 15 ml.
- Micropipette.
- Bain-marie, balance analytique, agitateur, béchers.

- **Mode opératoire:**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 ml de réactif de ZAMBALLI.
- Attendre 10 minutes.
- Puis ajouter 2 ml d'ammoniaque pur.
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible.

- **Expression des résultats:**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 435 nm.

Pour déterminer les concentrations de notre échantillon on utilise la loi de Beer-Lambert.

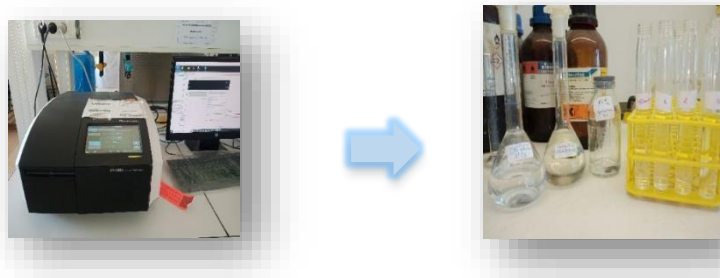


Figure. 28. Image représente le dosage des nitrites NO_2^-

Tableau. 20. Les résultats de nitrate et nitrite.

	L'eau avant l'adsorption	L'eau après l'adsorption avec CAA	L'eau après l'adsorption avec CAB
Nitrate (mg/l)	15.12	10.48	8.90
Nitrite (mg/l)	0.62	0.48	0.39

Les résultats du **tableau. 19.** montrent la concentration en nitrate et nitrite, on remarque une diminution de la quantité de nitrate (avant adsorption était de 15,12 mg/l, et après adsorption de 8,90 mg/l et 10,48 mg/l pour CAB et CAA respectivement), et donc les résultats ne dépassent pas la norme spécifiée à < 50 mg/l.

Les nitrites avant adsorption étaient de 0,62 mg/l et ils ont diminués à 0,39 mg/l et 0,48 pour le CAA et le CAB, malgré qu'ils dépassant ainsi les limites de la norme algérienne fixée à < 0,2 mg/l.

Sur la base de ces résultats, on peut dire que le CAB est la meilleure option.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons mis en lumière le procédé de préparation et d'utilisation du charbon actif issu de coquilles d'œufs comme moyen efficace de traitement des eaux polluées. Grâce à l'utilisation de l'acide phosphorique comme agent activateur d'une part et à l'activation uniquement thermique d'autre part, nous avons pu obtenir la production de charbons actifs aux propriétés physiques et chimiques distinctives.

Les résultats ont montré que le charbon actif issu de la préparation chimique (CAA) a une efficacité légèrement supérieure à celle du charbon actif issu de la préparation biologique (CAB), notamment en termes de pourcentage de charbon actif et d'élimination des impuretés. Diverses analyses, notamment l'analyse aux rayons X (DRX), l'analyse thermique (TGA) et la spectroscopie infrarouge (IRTF), ont montré que le charbon actif préparé possède une structure cristalline et une porosité élevée, ce qui le rend approprié pour une utilisation comme adsorbant efficace dans l'eau.

L'effet de plusieurs facteurs tels que la masse, le temps, la température et le pH sur l'efficacité de l'adsorption des polluants avec le charbon actif a également été étudié. Les résultats ont montré que les meilleures performances d'adsorption des contaminants ont été obtenues en utilisant une masse spécifique de charbon actif (1 g), un temps de contact spécifique de 120 minutes, la température optimale (23 °C) et l'environnement de basique (pH = 12).

Les résultats obtenus en étudiant les propriétés et l'efficacité du charbon actif (CAB et CAA) dans le traitement de l'eau ont montré qu'il y a une amélioration significative de la qualité de l'eau après le processus d'adsorption, De nombreux indicateurs ont été réduits, notamment:

La valeur de turbidité a diminué de (139 NTU à 2,93 NTU et 2,94 NTU) après traitement au CAB et au CAA, respectivement, ce qui indique la capacité des deux charbons à améliorer considérablement la clarté de l'eau.

La valeur DB05 a diminué de 1 000 mg/L à 15 mg/L et 20 mg/L après traitement au CAB et au CAA, indiquant une grande efficacité du charbon dans l'élimination des polluants organiques.

CONCLUSION GENERALE

Les valeurs de DCO ont connu une diminution significative de 2084 mg/L à 194 mg/L et 180 mg/L après traitement, ce qui renforce l'idée de l'efficacité des deux atomes de carbone pour oxyder et éliminer les matières organiques.

Les résultats ont montré une diminution de la dureté totale, de la dureté calcaire et de la dureté magnésium après traitement, et le CAB s'est montré plus efficace que le CAA pour réduire ces valeurs. Bien que l'élimination des nitrates et des nitrites a été efficace, leurs niveaux ont diminué de manière significative après le traitement, ce qui indique la capacité du charbon actif à éliminer efficacement ces polluants, malgré la limitation selon laquelle les valeurs de nitrites restent supérieures à celles autorisées.

L'étude confirme que le charbon actif (soit CAB, soit CAA) représente une option efficace pour améliorer la qualité de l'eau polluée, avec une supériorité notable sur le charbon actif en poudre (CAB) dans certains aspects. Cependant, les effets secondaires doivent être pris en compte et la recherche continue d'améliorer et de développer ces technologies pour garantir de meilleurs résultats possibles dans le traitement de l'eau.

ANNEXES

Annexe 1 :

Les normes des rejets des eaux usées (Normes internationale)

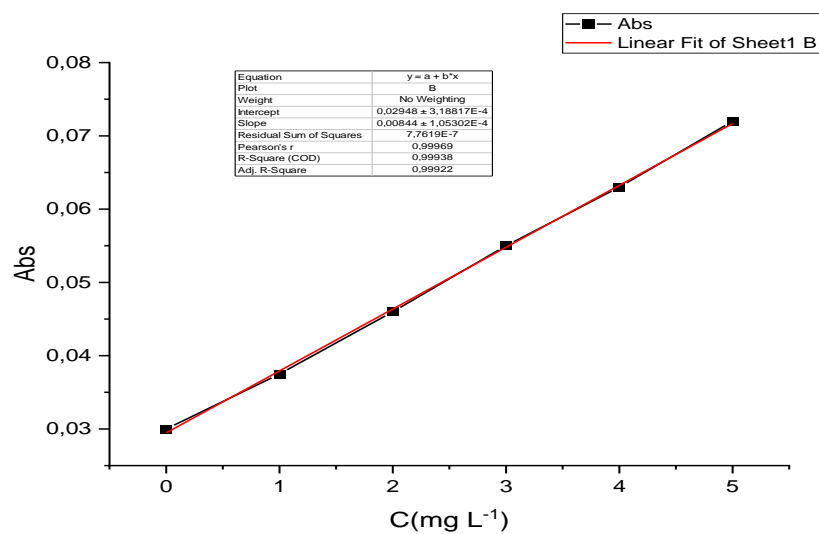
Paramètres	Les normes Algériennes
Température	< 25
pH	>6.5 et < 9
conductivité	< 2800
turbidité	< 5
Chlorure	< 500
La dureté totale (TH)	< 500
Calcium (Ca ²⁺)	< 100
Magnésium (Mg ²⁺)	< 100
Nitrate (NO ₃ ⁻)	< 50
Nitrite (NO ₂ ⁻)	< 0.2
DCO	< 120
DBO5	< 40

Annexe 2 :

Les tableaux des résultats

Courbe d'étalonnage de Nitrate

C mg.L ⁻¹	Abs
0	0,03
1	0,0375
2	0,046
3	0,055
4	0,063
5	0,071



Courbe d'étalonnage de Nitrite

C mg.L ⁻¹	Abs
0	0,055
0,46	0,136
0,69	0,229
0,92	0,26
1,15	0,39

