UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Préparation du charbon actif à base des produits locaux en vue dun traitement des eaux usées urbaines : Cas des rafles de maïs

Ndayikeza, Belyse; Sous la direction de : Dr Pierre Ntakiyiruta

2025-04
UB, EANSI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2125

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

MASTER EN SCIENCES CHIMIQUES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

PREPARATION DU CHARBON ACTIF A BASE DES PRODUITS LOCAUX EN VUE D'UN TRAITEMENT DES EAUX USEES URBAINES : CAS DES RAFLES DE MAIS

Par :

Belyse NDAYIKEZA

Mémoire

présenté et défendu en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Chimiques

Spécialité : Contrôle et Analyses Chimiques

Sous la direction de :

Dr Pierre NTAKIYIRUTA

Bujumbura, Avril 2025

MEMBRES DU JURY

Président du jury : Prof. David NAHIMANA

Secrétaire du jury : Dr. Daniel RUCAKUMUGUFI

Directeur de mémoire : Dr. Pierre NTAKIYIRUTA

Membre : Prof. Samuel BUNANI

DEDICACE

A mes regrettés parents,

A mes tantes,

A mes frères et sœurs,

A mes cousins et cousines.

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu, notre créateur, pour m'avoir donné la volonté, la force, le courage et les moyens d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à témoigner mes sincères remerciements à tous les professeurs de l'Université du Burundi, plus particulièrement ceux qui enseignent dans les programmes de Master de la Faculté des Sciences, pour la formation tant morale qu'intellectuelle qu'ils m'ont fait bénéficier.

Mes vifs et sincères remerciements sont adressés aussi à mon promoteur Dr. Pierre NTAKIYIRUTA. Je lui exprime mon profond respect et toute ma reconnaissance du fait qu'il a eu confiance en moi en acceptant de diriger et de suivre mes travaux malgré ses multiples obligations. Ses conseils méthodologiques, sa rigueur scientifique et surtout ses orientations ont contribué largement à la réalisation de ce travail de mémoire.

Mes remerciements vont ensuite au Prof.Vestine NTAKARUTIMANA, Responsable du Master en Sciences chimiques, pour ses contributions tant administratives que techniques et ses conseils qu'elle m'a fournis. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude. Je remercie encore tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, du primaire à l'Université, et tout particulièrement ceux de la Faculté des Sciences, qui m'ont permis de découvrir et de m'intégrer dans le monde scientifique. Mes gratitudes sont également adressées aux préparateurs des laboratoires du Département de chimie, e la Faculté des Sciences, Université du Burundi qui ont mis à notre disposition du matériel et des réactifs lors de nos travaux d'analyse au laboratoire.

Enfin, un grand merci, est adressé à tous ceux qui ont contribué matériellement, d'une façon ou d'une autre afin d'aboutir à la réussite de ce mémoire.

RESUME

La gestion des déchets agricoles solides nécessite une attention particulière. Ces derniers peuvent être valorisés par des méthodes contribuant à une gestion durable et à la réduction des déchets, telles que : le compostage, la biodigestion, l'énergie biomasse, les engrais organiques et le charbon actif. Cependant, le manque d'infrastructures adéquates et de sensibilisation aux pratiques de gestion durable limite leur traitement efficace.

L'objectif de cette présente étude, est de contribuer à la valorisation des déchets végétaux, notamment les rafles de maïs en charbons actifs par carbonisation à 450°C précédé d'une imprégnation chimique à l'aide l'acide phosphorique 40%. Le charbon ainsi préparé a été utilisé pour traiter les eaux usées du Collecteur R_3 de la ville de Bujumbura situé au quartier asiatique. Les rafles de maïs, le charbon actif ainsi préparé que les eaux usées à traiter ont été caractérisés en utilisant les méthodes standards. L'influence de la dose l'adsorbant et du temps d'agitation sur l'efficacité du charbon actif dans le traitement des eaux usées du collecteur R_3 a été également suivie.

Les résultats trouvés lors de la caractérisation physico-chimique des rafles de maïs utilisés pour préparer le charbon actif sont les suivants : taux d'humidité =13,57%, matières sèches =86,3%, taux de cendres =6,505%, matières organiques volatiles=79,63%, carbone fixe =13,865%.Les caractéristiques physico-chimiques du charbon actif ainsi préparés sont : taux de cendre : 3%, taux d'humidité : 7,94%, pH =6, indice d'iode : 1070,58 mg/g. L'ensemble des résultats obtenus lors du traitement des eaux usées du collecteur R_3 montrent de meilleurs taux d'élimination des polluants notamment les NO_3^- à 96,6 %, les NH_4^+ à 75,75%, les phosphates à 70,49% et la turbidité à 94,4 %. Ces résultats ont étés obtenus en opérant dans les conditions suivantes : une masse de 1g d'adsorbant pour 100 ml d'eau et un temps d'agitation de 3 heures.

Mots clés : eaux usées, charbon actif, rafles de maïs, activation chimique, adsorption.

ABSTRACT

Solid agricultural waste management requires special attention. Solid agricultural waste can be recovered through methods that contribute to sustainable management and waste reduction, such as composting, biodigestion, biomass energy, organic fertilizers, and activated carbon. However, the lack of adequate infrastructure and awareness of sustainable management practices limits its effective treatment. The objective of this study is to contribute to the valorization of vegetable waste, specifically corn cobs, into activated carbon through carbonization at 450°C, preceded by chemical impregnation using 40% phosphoric acid. The prepared activated carbon was used to treat wastewater from the R_3 collector in the city of Bujumbura, located in the Asian district. The corn cobs, the prepared activated carbon, and the wastewater to be treated were characterized using standard methods. The influence of the adsorbent dose and agitation time on the effectiveness of the activated carbon in treating wastewater from the R_3 collector was also monitored.

The results obtained from the physico-chemical characterization of the corn cobs used to prepare the activated carbon are as follows: moisture content = 13.57%, dry matter = 86.3%, ash content = 6.505%, volatile organic matter = 79.63%, fixed carbon = 13.865%. The physico-chemical characteristics of the prepared activated carbon are: ash content = 3%, moisture content = 7.94%, pH = 6, iodine number = 1070.58 mg/g.

The overall results obtained from the treatment of wastewater from the R_3 collector show improved pollutant removal rates, notably for NO_3^- at 96.6%, NH_4^+ at 75.75%, phosphates at 70.49%, and turbidity at 94.4%. These results were achieved under the following conditions: a mass of 1g of adsorbent for 100 ml of water and an agitation time of 3 hours.

Key words: wastewater, activated carbon, corn husk, chemical activation, adsorption.

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY ..... **i**
DEDICACE ..... **ii**
REMERCIEMENTS ..... **iii**
RESUME ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TABLE DES MATIERES ..... **vi**
LISTE DES FIGURES ..... **viii**
LISTE DES TABLEAUX ..... **ix**
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **x**
AVANT-PROPOS ..... **xi**
INTRODUCTION GENERALE **1**
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES, LE PROCEDE D'ADSORPTION ET LE CHARBON ACTIF. **3**
I.1. Generalites sur les eaux usées 3
I.1.1. Définition 3
I.1.2. Nature et origine des eaux usées : 3
I.1.2.1. Eaux usées domestiques : 3
I.1.2.2. Eaux usées industrielles : 3
I.1.2.3. Eaux usées pluviales 4
I.1.2.4. Eaux usées agricoles 4
I.1.3. Pollution des eaux 4
I.1.3.1. Pollution minérale 5
I.1.3.2. Pollution microbiologique 5
I.1.4. Généralités sur quelques paramètres étudiés 5
I.1.5. Influence des eaux usées de la ville de Bujumbura sur le lac Tanganyika 6
I.2. Generalités sur le procede d'adsorption 8
I.2.1. Définition de l'adsorption 8
I.2.2. Mécanisme de l'adsorption 8
I.2.3. Types d'adsorption 9
I.2.3.1. Adsorption physique 9
I.2.3.2. Adsorption chimique 9
I.2.4. Principaux facteurs influençant l'adsorption 10
I.2.5. Cinétique : adsorption/désorption 10
I.2.5.1. Approche cinétique : 10
I.2.6. Domaine d'application de l'adsorption 11

I.3. Generalités sur le charbon actif 12
I.3.1. Introduction 12
I.3.2. Charbon actif 12
I.3.2.1. Généralités 12
I.3.2.2. Définition 12
I.3.2.3. Description et propriétés des charbons actifs 13
I.3.2.3.1. Charbon actif en poudre (CAP) 13
I.3.2.3.2. Charbon actif en grains (CAG) 13
I.3.2.3.3. Charbon actif extrude (CAE) 13
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES 15
II.1. Préparation du charbon à base de rafles de maïs 15
II.1.1. Collecte des rafles de maïs 15
II.1.2. Préparation du Charbon Actif 15
II.1.3. Activation Chimique du charbon actif 15
II.2. Caractérisation de charbon actif : 16
II.2.1. Le pH 16
II. 2.2. La teneur d'humidité : 17
II.2.3. La teneur en cendres 17
II.2.4. Indice d'iode (Id) 18
II.2.4.1. Définition 18
II.2.4.2. Principe de détermination d'indice d'iode 18
II.3. Traitement des eaux par le charbon actif 19
II.3.1. Influence de la masse de l'adsorbant sur le rendement d'adsorption 19
II.3.2. Influence du temps de contact sur le rendement d'adsorption 19
II.3.3. Calcul des quantités adsorbées 20
CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 21
III.1. Caractéristiques physico-chimiques de substrat utilisé. 21
III.2. Caractérisation de charbon actif 21
III.3. Adsorption des polluants par le charbon actif préparé 22
III.3.1. Qualité des eaux urbaines à traiter 22
III.3.2. Influence de la masse de l'adsorbant sur le rendement d'adsorption 23
III.3.3. Influence du temps de contact sur le rendement d'adsorption 26
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 28
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 29
ANNEXES 33

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Etapes de transfert de matière et de fixation d'un adsorbat sur un adsorbant dans le cas d'adsorption solide-liquide. 11
Figure 2: Différentes formes de charbon actif 13
Figure 3: Représentation schématique des différents types de pores 14
Figure 4: Les étapes de préparation du charbon actif 16
Figure 5 : Montage expérimental utilisé pour l'étude de l'adsorption des polluants sur le charbon actif 19
Figure 6: Système de filtration utilisé 19
Figure 7: Taux d'élimination des nitrates en fonction de la masse du charbon actif. 23
Figure 8: Taux d'élimination d'ammonium en fonction de la masse du charbon actif 24
Figure 9:Evolution des teneurs des phosphates en fonction de la masse du charbon actif. 25
Figure 10: Evolution de la turbidité en fonction de la masse du charbon actif utilisé. 25
Figure 11: Taux d'abattement en % des phosphates, des nitrates, d'ammonium et la turbidité en fonction du temps d'agitation. 26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classification de la taille des différents pores selon l'IUPAC 14
Tableau 2: Caractéristiques Physico-chimique de substrat utilisé 21
Tableau 3: Caractéristiques texturales de l'adsorbant obtenu 21
Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées du collecteur R_3 22

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

CA : Charbon actif

DBO_5 : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

IUPAC : International Union of Pure and Applied Chemistry

KJ/mol : kilojoule par mole

MES : Matières en suspension

MOV : Matière organique volatile

MS : Matière sèche

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

TH : Taux d'humidité

µm : Micromètre

AVANT-PROPOS

Ce mémoire rentre dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master en Sciences chimiques, Spécialité Contrôle et analyses chimiques. Il s'inscrit dans une démarche visant à contribuer à la dépollution des eaux usées de la ville de Bujumbura, au Burundi. L'objectif principal de cette recherche est de préparer le charbon actif à partir des rafles de maïs, un sous-produit agricole souvent négligé.

Les eaux usées, chargées de contaminants divers, affectent non seulement l'environnement, mais aussi la santé publique. À Bujumbura, la gestion des eaux usées est un défi croissant, nécessitant des solutions innovantes et durables. Dans ce cadre, le charbon actif se présente comme un adsorbant capable d'éliminer une large gamme de polluants.

Le choix de matière première, les rafles de maïs, repose sur plusieurs considérations. Premièrement, elles sont abondantes dans la région et représentent un déchet agricole qui pourrait être valorisé. Deuxièmement, leur transformation en charbon actif pourrait non seulement aider à résoudre le problème de la pollution, mais aussi favoriser l'économie locale en créant des opportunités d'emploi dans le secteur de la valorisation des déchets.

En explorant les différentes méthodes de carbonisation et d'activation, on vise à optimiser les propriétés adsorbants du charbon actif produit. Ce mémoire analyse l'intégration de la recherche scientifique aux enjeux socio-économiques locaux.

INTRODUCTION GENERALE

Une gestion intégrée des déchets solides agricoles et des déchets organiques ménagers est essentielle pour promouvoir la durabilité et l'efficacité des systèmes de gestion des déchets. Si ces déchets sont mal gérés, ils peuvent contaminer le sol et l'eau [3]. Or un environnement de vie sain et une eau potable sûre sont les conditions de base pour une vie saine. L'eau propre est un élément essentiel pour les usages domestiques et, est nécessaire pour les applications industrielles et agricoles. L'augmentation de la consommation d'eau entraînerait à terme une augmentation des effluents d'eaux usées[4]. La gestion des eaux usées dans les milieux urbains est un enjeu crucial pour la santé publique et l'environnement, en particulier dans les villes côtières comme Bujumbura, situées sur les rives du lac Tanganyika. Ce lac qui est le deuxième lac le plus profond du monde et un écosystème vital pour de nombreuses espèces endémiques, fait face à des pressions croissantes dues à l'urbanisation rapide et aux déversements d'eaux usées non traitées[5]. Les eaux usées urbaines de Bujumbura représentent une ménace significative pour la qualité de l'eau du lac Tanganyika. Des études ont montré que ces effluents contiennent des polluants organiques et inorganiques qui peuvent avoir des répercussions négatives sur la biodiversité aquatique et la santé des communautés vivant autour du lac Tanganyika[6]. Dans cette optique, le présent mémoire se concentre sur l'étude du traitement des eaux de la ville de Bujumbura avant leurs déversements dans le lac Tanganyika, en mettant particulièrement l'accent sur l'utilisation du charbon actif préparé à base de déchets locaux[7].

Ce charbon actif est spécifiquement fabriqué chimiquement à partir des rafles de maïs cultivé dans la région Imbo offrant ainsi une approche durable et locale pour améliorer la qualité des eaux rejetées [8].

L'objectif général de cette étude est la synthèse de charbon actif à base des rafles de maïs dans le but de l'utiliser dans le traitement des eaux usées. Les objectifs spécifiques sont les suivants:

- Caractériser les substrats précurseurs de charbon actif ;
- Préparer et caractériser le charbon actif obtenu ;
- Utiliser le charbon actif dans le traitement des eaux usées.

Hormis l'introduction générale, la conclusion générale et les recommandations, cette étude est axée sur 3 chapitres :

- Le premier chapitre donne un aperçu sur les sur les généralités sur les procédés de traitement des eaux usées ainsi que le charbon actif.
- Le deuxième décrit le matériel et les méthodes utilisés ;
- Le troisième et dernier chapitre se rapporte à la présentation et discussion des résultats

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES, LE PROCEDE D'ADSORPTION ET LE CHARBON ACTIF.

I.1. Generalites sur les eaux usées

Les eaux usées sont des milieux très complexes qui sont altérés par les activités humaines à des fins domestiques, industrielles, agricoles ou autres. Cependant, elles sont considérées comme polluantes, c'est pourquoi elles doivent être traitées pour répondre à certaines normes avant d'être réutilisées ou injectées dans l'environnement [9].

I.1.1. Définition

Une eau usée est une eau qui a subi des modifications défavorables de ses propriétés physicochimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établie[9]. Les eaux usées sont toutes les eaux provenant des activités domestiques, agricoles et industrielles qui contiennent des substances toxiques et qui pénètrent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux de pluies et leur charge polluante font partie des eaux usées, qui causent diverses pollutions et nuisances dans les milieux récepteurs[9].

I.1.2. Nature et origine des eaux usées :

On distingue quatre catégories d'eaux usées en fonction de l'origine et de la qualité des substances polluantes.

I.1.2.1. Eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages de l'eau dans les maisons. Elles sont principalement composées d'excréments humains, d'eaux ménagères de vaisselle contenant des détergents et des graisses, connues sous le nom d'eaux grises, et d'eaux de toilette contenant des matières organiques azotées, phosphatées et des germes fécaux, connues sous le nom d'eaux noires[10]

I.1.2.2. Eaux usées industrielles :

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie, le reste est rejeté.

On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils engendrent :

Pollution due aux matières en suspension minérales (lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés…) ;

- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation…);
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier…) ;
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques…) ;
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs

des industries nucléaires….)[11].

I.1.2.3. Eaux usées pluviales

Lorsqu'il pleut, les eaux s'écoulent, causant des accumulations de polluants, de poussières, de détritus, de suies de combustion et d'hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, qui sont généralement recueillies avec les eaux usées et déversées dans les canalisations d'assainissement avant d'être acheminées vers une station d'épuration, sont fréquemment drainées dans les rivières, ce qui provoque une pollution importante du milieu aquatique[12].

I.1.2.4. Eaux usées agricoles

Les eaux contaminées par des produits agricoles tels que les engrais et les pesticides ont une origine agricole[11].

I.1.3. Pollution des eaux

La pollution ou la contamination de l'eau est la dégradation de l'eau en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques par des déversements rejets de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels, etc. …. .

I.1.3.1. Pollution minérale

Ces polluants peuvent provenir de diverses sources : la zone urbaine comprend les activités domestiques, les eaux d'égout et les eaux de cuisine, ainsi que les produits agricoles et les industries de la chimie-pharmacie, de la pétrochimie et du raffinage. La contamination des eaux usées peut être microbiologique ou minérale.

I.1.3.2. Pollution microbiologique

En général, le rejet urbain favorise la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. Les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons sont quelques exemples. Les différents composants garantissent une masse constante de germes nécessaires à l'épuration par biodégradation.

I.1.4. Généralités sur quelques paramètres étudiés

✓ Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH d'une eau représente son acidité ou alcalinité. Les eaux usées domestiques sont généralement neutres ou basiques, de (6 à 9), donc elle n'influe pas le pH de milieu récepteur mais les affluents industriels constituent un facteur très important dans la modification de la valeur de pH.

✓ La demande chimique en Oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène exprimée en mg O_2/l consommée par les matières oxydables dans les conditions d'essai fixées par les normes. La DCO sert à mesurer la quantité de matière organique susceptible d'être oxydée par un oxydant chimique fort[13].

✓ La demande biochimique en Oxygène (DBO_5)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation de l'ensemble des matières organiques biodégradables (assimilables) en 5 jours à l'obscurité et à *20°C*

✓ Azote

Dans les eaux usées domestiques, l'azote est sous forme organique et ammoniacale, il est dosé en mesurant le N-NTK (azote total de Kjeldahl) et en mesurant le $N\text{-}NH_4$. Azote Kjeldahl = Azote ammoniacal + Azote organique. L'azote organique, composant important des protéines, est recyclé en permanence par les plantes et les animaux.

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniaque et l'ammonium NH_4^+, dont les proportions relatives dépendent du pH et de la température. L'ammonium est généralement dominant; c'est souvent pourquoi ce terme est employé pour désigner l'azote ammoniacal; en milieu oxydant, l'ammonium est transformé en nitrites puis en nitrates; qui induit une consommation d'oxygène.[13]

✓ Nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrite (NO_2^-) sont une étape intermédiaire entre les ions ammonium (NH_4^+) et nitrate (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitration. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Les nitrites sont un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température[13].

✓ Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont l'étape ultime de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitrate (nitrobactéries) transforment les nitrites en nitrates.

Les nitrates ne sont pas toxiques, mais des niveaux élevés de nitrates provoquent une prolifération d'algues qui contribue à l'eutrophisation de l'environnement. Leur danger potentiel reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates[9]**.**

✓ Phosphore

Les eaux usées contiennent du phosphore sous forme de sels minéraux (ortho phosphate et poly phosphate) provenant principalement des lessives, métabolisme de l'individu ainsi que sous forme organique d'origine industrielle ou biologique. Ces composés sont soit dissous, soit fixés sur les matières colloïdales et en suspension. L'apport journalier de phosphore est d'environ 4g par habitant. Les rejets varient d'ailleurs suivant les jours de la semaine[14].

I.1.5. Influence des eaux usées de la ville de Bujumbura sur le lac Tanganyika

Comme le lac Tanganyika est le récepteur principal de tout le bassin versant (territoire du Burundi), on cite beaucoup des rivières et des collecteurs municipaux qui se jettent dans ce dernier. Il s'agit donc principalement de source de pollution du lac, donnant ainsi une idée de la menace qui pèse sur lui.

- ✓ **Quelques Rivières ou collecteurs municipaux qui se déversent dans le lac et types de pollution.**

1. Rivière Kinyankonge

La rivière Kinyankonge prend son origine dans la rivière Gikoma au niveau de la traversée de la route nationale (RN9) au nord de la ville de Bujumbura, coule d'est à l'ouest, puis contourne les rizières du côté ouest et change de direction pour continuer du nord-est en sud-ouest. Elle passe entre les zones Ngagara et Buterere tout près de la STEP de Bujumbura et de l'industrie SAVONOR[15].

2. Collecteur « KUMASE»

Le collecteur «Kumase» passe tout près de l'usine AFRITAN qui traite des peaux d'animaux en vue de la fabrication des chaussures, ceintures et autres produits en cuir. En analysant les eaux usées qui passent dans ce collecteur, rien qu'à la vue, on constate qu'elles sont un peu particulières (noirâtres et présentent une odeur insupportable).

3. Collecteur R_3 d'eaux pluviales situé en bas du cercle nautique (REGIDESO)

Cette zone reçoit les eaux de deux déversoirs d'eaux usées de la ville. Ce site est situé à quelques mètres de la route dans l'avenue qui mène au port de Bujumbura, dans le quartier Industriel et reçoit les eaux usées en provenance de la ville, l'eau du canal est verdâtre, témoignant d'une eutrophisation probablement due à une grande charge en nutriments et en matières organiques apportés par les eaux. Cette station est plus riche en végétation de macrophytes aquatiques

4. Collecteurs «R_1», «R_2», «R_4» et «R_5»

En vue de faciliter l'évacuation des eaux pluviales et éviter l'inondation dans le centre-ville de Bujumbura, il avait été mis en place des collecteurs municipaux (R_1, R_2, R_3, R_4 et R_5) qui débouchent vers le lac Tanganyika. Tous ces collecteurs sont concentrés dans la zone située entre le cercle nautique de Bujumbura (CNB) et le port de Bujumbura [6]. Rien qu'en saison sèche, on voit des eaux qui traversent ces collecteurs. Selon Mpawenayo (2008), les collecteurs R_1 et R_2 séparent les quartiers Asiatique et Kabondo, et atteignent le lac Tanganyika tout en passant respectivement de part et d'autre du CNB. Le collecteur R_3 traverse le quartier Asiatique. Les collecteurs R_4 et R_5 longent le quartier industriel dans sa partie sud-ouest et aboutissent au lac Tanganyika tout près du port de Bujumbura.

Les principaux polluants sont : eaux usées, hydrocarbures des stations d'essence, les eaux de lessive, de douches et des éviers de cuisine

5. Rivière MUHA

La rivière Muha prend source dans les Mirwa et traverse les zones Rohero, Musaga et Kinindo. Ses principaux polluants sont : eaux usées, hydrocarbures des stations d'essence, etc. Les travaux d'extraction des matériaux de construction ainsi que les dépôts des déchets s'observent aux alentours de cette rivière.

I.2. Generalités sur le procede d'adsorption

I.2.1. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un processus physico-chimique de transfert de matière dans lequel une ou plusieurs composantes d'un fluide désignée(s) par adsorbat(s) se fixent sur la surface d'un solide nommé adsorbant d'une manière plus ou moins réversible par des interactions physiques et/ou chimiques. Selon qu'il s'agit d'un liquide ou d'un gaz à contact avec l'adsorbant, on distingue : l'adsorption solide-liquide (cas de notre étude) et l'adsorption solide-gaz [16]**,**[17].

I.2.2. Mécanisme de l'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface dans lequel les particules de l'adsorbat interagissent avec la surface de l'adsorbant. Aux interfaces, il est admis que les interactions interatomiques ou intermoléculaires ne sont pas compensées dans toutes les directions et ils subsistent des forces résiduelles dirigées vers l'extérieur. Ces forces sont neutralisées lorsque les particules mobiles de l'adsorbat se fixent à la surface de l'adsorbant, on dit qu'elles s'adsorbent[16].

L'adsorption se traduit par une modification de la concentration de(s) adsorbat(s) à l'interface des deux phases non miscibles. Elle se poursuit jusqu'à l'obtention d'un équilibre auquel correspond une concentration résiduelle de(s) adsorbat(s) dans la phase fluide dite concentration d'équilibre. Le temps nécessaire à cette opération est désigné par temps de contact. Il donne une idée sur le type d'adsorption et sa cinétique. Sur le plan énergétique, ce processus peut être exothermique ou endothermique [16].

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est conditionnée par ses propriétés texturales et structurales, de la nature des interactions adsorbant-adsorbat conditionnées par le mode et les conditions de contact [18].

I.2.3. Types d'adsorption

Les interactions entre l'adsorbat et l'adsorbant permettent de définir deux types d'adsorption, à savoir, l'adsorption physique (physisorption) et l'adsorption chimique (chimisorption) qui se distinguent par la chaleur d'adsorption, la vitesse, la réversibilité et la spécificité du processus [19].

I.2.3.1. Adsorption physique

Dans ce type d'adsorption, les liaisons adsorbat-adsorbant sont de type attractif de faibles intensités tel que : les liaisons de Vander Waals ou pont hydrogène. Les énergies associées à ces liaisons sont faibles et souvent inférieures à 10 Kcal/mole.

Le processus dans ce cas est exclusivement exothermique et se déroule généralement à basse température ou la réversibilité est facilement réalisée.

Elle est non spécifique et n'exige pas d'activation. Elle s'établit rapidement tout en permettent l'adsorption de 3 à 4 couches superposées sur la surface de l'adsorbant[20].

I.2.3.2. Adsorption chimique

Ce type d'adsorption est caractérisé par des liaisons adsorbat-adsorbant de type covalentes ou ioniques de fortes intensités impliquant un transfert d'électrons entre l'adsorbat et l'adsorbant semblable aux liaisons chimiques. En conséquence, les particules adsorbées se trouvent dans un état nettement différent de leur état initial. Les énergies associées à ces liaisons peuvent être importantes (10 à 100 Kcal /mole). Ce processus nécessitant obligatoirement une activation appréciable est favorisé par l'accroissement de température à plus de 100 °C. Elle est spécifique, irréversible et usuellement exothermique bien qu'il soit possible de rencontrer des cas endothermiques. La cinétique dans ce cas est lente en particulier en dessous de la température d'activation. Dans le cas idéal, il se forme une monocouche saturant toutes les valences libres de la surface de l'adsorbant[14].

I.2.4. Principaux facteurs influençant l'adsorption

L'équilibre d'adsorption, entre un adsorbant et un adsorbat dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont [16]:

- Les caractéristiques d'adsorbant : polarité, volume poreux, surface spécifique et fonctions superficielles;
- Les caractéristiques d'adsorbat : polarité, solubilité, poids et saturation moléculaire.
- Les paramètres physiques température et pH.

I.2.5. Cinétique : adsorption/désorption

I.2.5.1. Approche cinétique :

La cinétique sert également à la description du phénomène d'adsorption. Elle constitue un aspect important dans l'évaluation de l'adsorption en tant qu'opération unitaire. Généralement, la cinétique d'adsorption est d'autant plus grande que :

- ✓ La taille des molécules adsorbables est faible et leurs masses molaires sont élevées
- ✓ La concentration de l'adsorbat est élevée et sa solubilité est faible ;
- ✓ La surface spécifique de l'adsorbant est importante [21].

En solution aqueuse, plusieurs processus physiques et/ou chimiques sont susceptibles de déterminer la cinétique ainsi que l'adsorption limite d'un adsorbant à savoir :

- ✓ Une adsorption spécifique sur les parois des pores ;
- ✓ Des interactions plus ou moins fortes dues aux fonctions chimiques superficielles des adsorbants ;
- ✓ La diffusion de l'adsorbat dans le volume poreux d'un adsorbant [22].

La sorption à l'interface liquide-solide, avec une réaction localisée dans des pores, comprend cinétiquement trois étapes importantes [22] (**Figure1)**, si on exclut le transport du soluté au sein de la solution notamment quand le système est agité :

- ❖ **Une diffusion extra-granulaire** : les adsorbats se déplacent à travers la solution vers la surface externe de l'adsorbant et se localisent dans la couche limite. Cette étape est influencée par l'agitation

- **Une diffusion inter-granulaire** : les adsorbats se déplacent de la couche limite vers les sites actifs de l'adsorbant par pénétration à travers ses pores. Ce transfert de matière est particulièrement influencé par la taille des particules de l'adsorbant et par la température. Cette étape est la plus lente, elle ne peut être accélérée artificiellement.
- **La fixation des particules de l'adsorbat sur les sites actifs** : cette étape extrêmement rapide représente la réaction d'adsorption (et de désorption) proprement dite « réaction de surface ». Elle est également influencée par la température

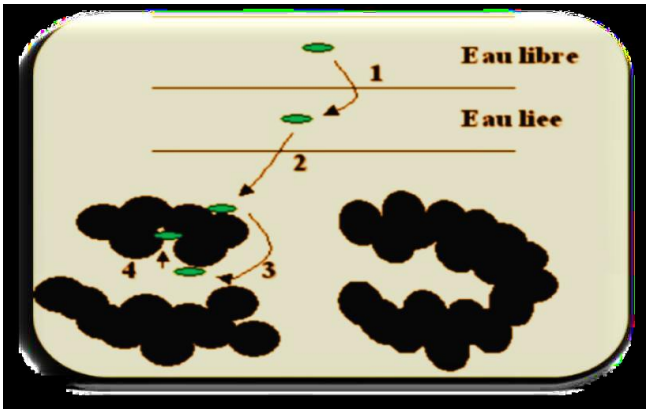


Figure 1: Etapes de transfert de matière et de fixation d'un adsorbat sur un adsorbant dans le cas d'adsorption solide-liquide.

I.2.6. Domaine d'application de l'adsorption

L'adsorption est utilisée dans de nombreuses applications techniques en raison de trois caractéristiques qui la distinguent des autres méthodes de séparation.

A. La rétention de particules très petites, telles que les colloïdes ;

B. La rétention des composants à très faible concentration, tels que les impuretés ou les molécules et ions métalliques, qui donnent au produit des couleurs, des odeurs ou des saveurs désagréables, voire une toxicité ;

C. L'adsorbant présente une sélectivité par rapport à certains éléments du mélange.

On peut citer parmi les applications :

- La catalyse de contact ;
- La récupération des solvants volatils et de l'alcool dans le processus de fermentation ;
- La déshumidification et la désodorisation de l'air ;

- Le séchage, purification et désodorisation des gaz ;
- Le raffinage des produits pétroliers ;
- La décoloration des liquides ;
- La chromatographie gazeuse [14]

I.3. Generalités sur le charbon actif

I.3.1. Introduction

Le charbon actif (CA) historiquement est le premier adsorbant utilisé. De par ses propriétés médicinales, il était déjà employé en Égypte antique [23]. Il est utilisé dans l'industrie pour les applications environnementales. Les CA sont des carbones de structure hautement microporeuse avec à la fois une surface interne et porosité élevées. Il fait partie des adsorbants les plus couramment utilisés pour l'élimination des matières organiques et inorganiques polluants provenant des cours d'air et d'eau [22]**.** Le charbon actif peut être obtenu à partir d'un grand nombre de matériaux contenant du carbone organique d'origine animale, végétale ou minérale [23].

I.3.2. Charbon actif

I.3.2.1. Généralités

De nos jours, les innovations dans la fabrication et l'utilisation du CA sont conduites par la nécessité de réutiliser des ressources naturelles et d'empêcher la pollution environnementale. Ainsi, de nombreux progrès ont été obtenus sur l'optimisation de ces matériaux carbonés, aussi bien au niveau de leur fabrication (origine, contrôle de la taille des pores et mise en forme) que de leur régénération[24].

C'est un composé obtenu par calcination de bois, noix de coco, charbon, lignite, tourbe, et en général tout composé organique. Il est souvent caractérisé par une surface quasi non polaire, qui lui permet d'adsorber préférentiellement les composés organiques ou non polaires par rapport aux composés polaires tels que l'eau [24].

I.3.2.2. Définition

Le charbon actif est un matériau solide noir carboné, sans goût, est un produit adsorbant obtenu à partir de matières premières riches en carbone (le bois, la tourbe, le charbon, le lignite, l'écorce de noix de coco, noyaux de fruits, etc.) [25].

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement pour augmenter sa surface. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 100 à 2000 m^2.g-1, d'où sa grande capacité d'adsorption.

I.3.2.3. Description et propriétés des charbons actifs

Ils se présentent sous plusieurs formes selon les applications :

I.3.2.3.1. Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif est pulvérisé en fines particules de taille comprise entre 10 et 50 μm. Il est généralement issu du procédé de fabrication chimique et est fréquemment utilisé pour le traitement d'effluents liquides

I.3.2.3.2. Charbon actif en grains (CAG)

Le charbon actif en grain ou en granulé CAG est formé de particules de 0,5 à 10 mm Les caractéristiques physiques des granulés de charbon actifs varient considérablement selon les produits. Les granulés utilisés pour le traitement des gaz proviennent essentiellement d'une activation physique[26].

I.3.2.3.3. Charbon actif extrude (CAE)

Il existe un troisième type de CA appelé charbon actif extrudé. Il prend la forme de cylindre et sa taille est comprise entre 0.8 et 5 mm. Le CAE est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussiers[24].



Figure 2: Différentes formes de charbon actif

Selon la classification de l'IUPAC (International Union of Pure and Chemistry Applied) les tailles de pores sont réparties en 3 groupes :

Tableau 1: Classification de la taille des différents pores selon l'IUPAC[26]

Type de pores	Rayon (nm)	Volume poreux (mL/g)	Surface spécifique (m^2 /g)
Micropores	< 2	0 ,2 – 0,6	600 – 1500
Mésopores	2 – 50	0,02 – 0,1	20 – 70
Macropores	>50	0,2 – 0,8	0,5 – 2

Les macropores agissent comme couloir de passage permettant aux molécules adsorbées d'atteindre les pores de plus petite taille situées à l'intérieur de la particule carbonée. Si les macropores ne sont pas importants quant à leur capacité à adsorber en grande quantité, ils interviennent de façon très importante sur la vitesse de diffusion vers les mésopores et les macrospores.

Les micropores constituent la plus grande part de la surface intérieure et, de ce fait, la plupart de l'adsorption y est réalisée. On considère qu'au moins 90% de la surface active d'un charbon est microporeuse.

Les mésopores (les pores de transition) représentent environ 5 % de l'aire massique totale du charbon. Ils sont le siège de tous les phénomènes de condensation capillaire.

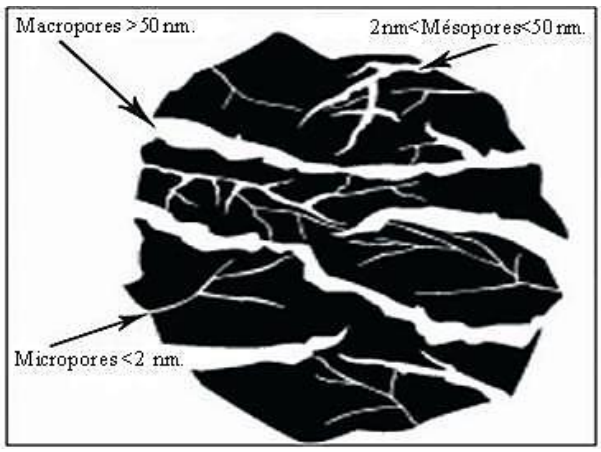


Figure 3: Représentation schématique des différents types de pores[27]

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Préparation du charbon à base de rafles de maïs

II.1.1. Collecte des rafles de maïs

Dans le but de valoriser les matériaux locaux en charbon actif, nous avons utilisé comme référence des rafles de maïs provenant de la province CIBITOKE. La région DE CIBITOKE se distingue par ses conditions climatiques favorables à la culture du maïs, ce qui en fait un lieu idéal pour la récolte des Rafles, souvent négligées comme sous-produit. La période de récolte de ces rafles correspond entre le mois de mai et d'août 2024.

II.1.2. Préparation du Charbon Actif

Le précurseur est lavé, avec de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'une eau de rinçage claire. Puis, il a été séché pendant 24 heures à une température de 105 °C dans une étuve. Ensuite, il a été broyé et tamisé pour obtenir une poudre passant à travers un tamis compris entre 0-1 mm de diamètre.

II.1.3. Activation Chimique du charbon actif

L'activation chimique est souvent utilisée pour préparer des charbons actifs à partir de déchets de la biomasse. Les agents activant utilisés sont principalement H_3PO_4, $ZnCl_2$, KOH …etc. Parmi ces agents activant, H_3PO_4 a été très largement utilisé pour l'activation des charbons [28] ,[24]. Aussi, il est considéré comme l'un des meilleurs oxydants [29]. De plus, l'utilisation d'acide phosphorique donne la possibilité de développer des charbons microporeux et/ou mésoporeux dont la surface spécifique dépend de la température d'activation [24].

❖ **Protocole de préparation des CA par l'activation chimique**

Le charbon a été préparé au laboratoire de chimie analytique de l'Université du Burundi en utilisant la poudre de rafles de maïs de 1 mm de diamètre, ce charbon est activé chimiquement, selon les étapes suivantes :

1. 60g de l'échantillon sont mélangé avec 120 ml de la solution H_3PO_4

(40%) et maintenu sous agitation pendant 6 h ;

2. Le mélange est mis à l'étuve pendant 24 heures à 105°C ;

3. L'échantillon est introduit dans des creusets en porcelaine et puis calciné pendant 1 heure à 450 °C dans un four réglée une heure avant de mettre l'échantillon
4. Après la sortie du four de calcination, le charbon activé obtenu est lavé avec de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'une poudre à un pH égal 6 ;
5. Le charbon actif obtenu est ensuite séché dans une étuve pendant 24 heures à 105°C.

La figure 4 présente les étapes de préparation du charbon actif.

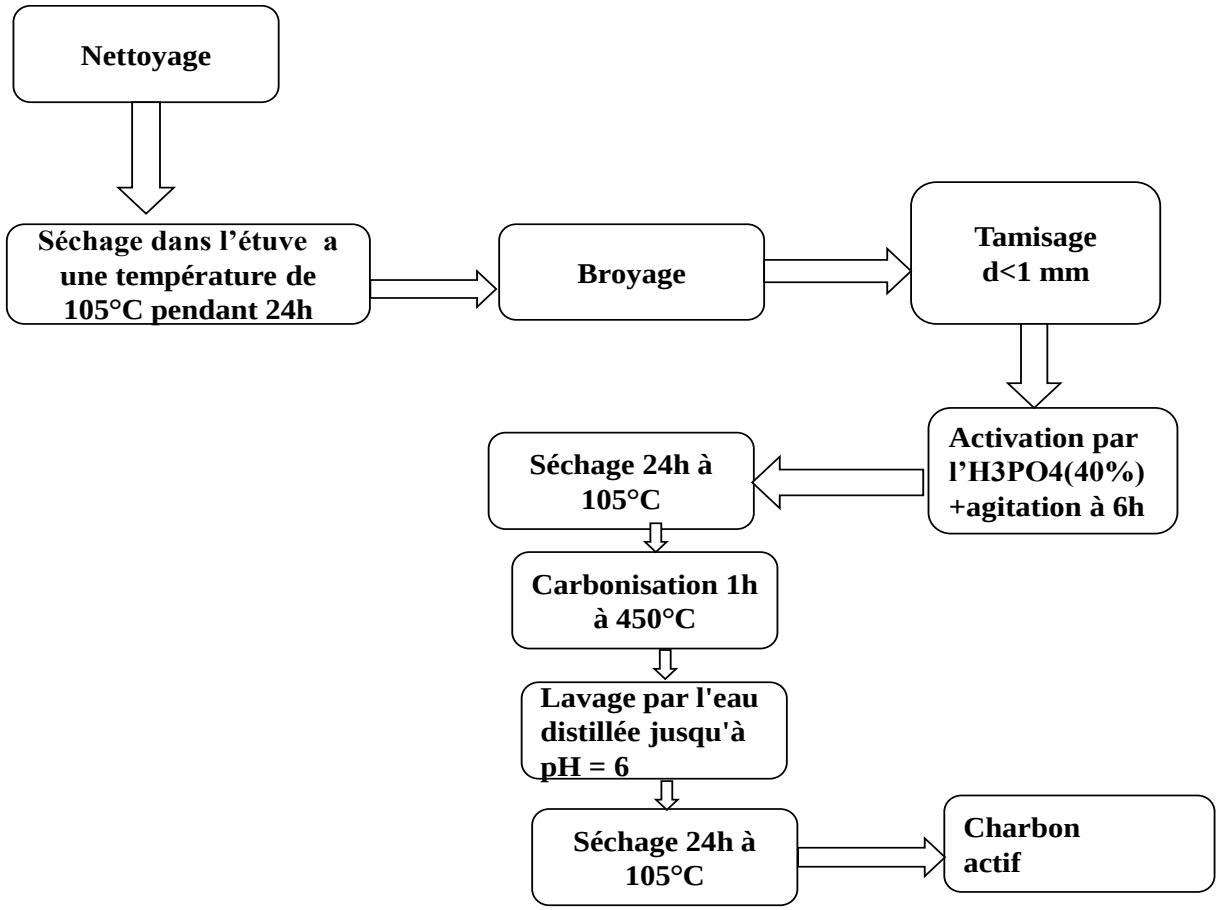


Figure 4: Les étapes de préparation du charbon actif

II.2. Caractérisation de charbon actif :

II.2.1. Le pH

Le pH du charbon actif est déterminé par immersion d'1g de l'échantillon *dans 100 ml* d'eau distillée et en agitant pendant *1 heure*. La mesure a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre [30].

II. 2.2. La teneur d'humidité :

Le taux d'humidité est un rapport exprimé en pourcentage, il est déterminé par le séchage de l'adsorbant dans une étuve. On a introduit 0,5 g de charbon actif dans un creuset en céramique et on l'a pesé. Ensuite on l'a séché dans une étuve à 110°C jusqu'à ce que son poids reste constant.

A sa sortie de l'étuve, on l'a refroidi à température ambiante puis on l'a repesé.
Le taux d'humidité (% H) a été calculé par la formule suivante[28] :

$$\% \text{ H} = \frac{(M3 - M2)}{M1} \times 100$$

Où :

M1 : la masse initiale du CA utilisée en (g).

M2 : La masse du creuset rempli après séchage en (g).

M3 : La masse du creuset rempli avant séchage en (g).

II.2.3. La teneur en cendres

Il s'agit de la partie inorganique, inerte, amorphe et inutilisable, présente dans le charbon actif, le taux de cendre a été déterminé par la méthode décrite en littérature [31]. Un morceau de *0,5g* de charbon actif est séché pendant *24 heures* dans une étuve à une température de *80◦C,* puis placé dans un creuset en céramique. Ce creuset est ensuite placé dans un four réglé à *650 ◦C* et maintenu à cette température pendant 3 heures. Une fois refroidi à température ambiante, le creuset est à nouveau pesé. Le taux de cendre *C (%)* est calculé comme suit :

$$C\ (\%) = (P_3 - P_2) * 100 / P_1$$

Avec :

P₁ : la masse initiale du charbon actif utilisée en *(g).*

P₂ : la masse du creuset vide avant carbonisation en *(g).*

P₃ : la masse du creuset rempli le cendre après carbonisation en *(g)*[31].

II.2.4. Indice d'iode (Id)

II.2.4.1. Définition

L'indice d'iode est un paramètre fondamental pour caractériser la performance des charbons

Actifs. Il donne une bonne idée sur la surface totale disponible pour l'adsorption des composés à faible poids moléculaire[24].

II.2.4.2. Principe de détermination d'indice d'iode

L'indice d'iode permet de mesurer la capacité d'adsorption des micropores d'un adsorbant.

Pour déterminer l'indice d'iode de charbon actif, on a utilisé la méthode de Dosage par Thiosulfate de Sodium [31]. Nous avons préparé les solutions suivantes :

1- Une solution d'empois d'amidon.

2- Une solution d'iode 0,1 N.

3- Une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0,1N.

Nous avons introduit 10 ml d'une solution d'iode 0,1N dans un erlenmeyer et nous avons dosé cette dernière par une solution de thiosulfate de sodium 0,1N, en présence de quelques gouttes d'une solution d'empois d'amidon comme indicateur jusqu'à la disparition de la couleur. Ensuite, nous avons ajouté 0,05g de l'échantillon dans un erlenmeyer qui contient 15 ml d'une solution d'iode 0,1N avec agitation pendant 30 min. Après, nous avons filtré et dosé l'iode de 10 ml de filtrat par la solution de thiosulfate de sodium 0,1N en présence des quelques gouttes d'une solution d'empois d'amidon comme indicateur jusqu'à la disparition de la couleur**.**

L'indice d'iode a été calculé par la formule suivante :

$$Id = \frac{(\mathrm{Vb} - \mathrm{Vs}).\,\mathrm{N}.\,(126.9).\,(15/10)}{\mathrm{M}}$$

(Vb-Vs) : Différence des résultats du titrage à l'essai à blanc et à l'essai avec adsorbant en (ml de thiosulfate de sodium 0.1N).

N : Normalité de la solution de thiosulfate de sodium en (mol/l).

126,9 : Masse atomique d'iode.

M : Masse de l'adsorbant en (g).

II.3. Traitement des eaux par le charbon actif

II.3.1. Influence de la masse de l'adsorbant sur le rendement d'adsorption

La méthode consiste à introduire dans 4 erlenmeyers des masses variables de charbon actif, un même volume (100 ml) d'eau usée du Collecteur R_3. L'ensemble est agité dans les mêmes conditions pendant une durée de 3h, après ces 3h les solutions sont filtrées et la concentration résiduelle des polluants a été déterminée par les méthodes standards [32].

II.3.2. Influence du temps de contact sur le rendement d'adsorption

1g du charbon actif a été introduit dans une série de 5 fioles identiques contenant chacune 100 ml d'eaux usées du collecteur R3 à une concentration initiale en nitrates de 21mg /L, en ammonium=13,2 mg/l, en phosphates 6.1 mg/l et une turbidité de 30.2NTU. L'ensemble est maintenu en agitation constante à température ambiante. A intervalles de temps réguliers, le contenu de l'une des fioles est vidé, filtré et la solution analysée, et ainsi de suite jusqu'à la dernière fiole.



Figure 6 : Montage expérimental utilisé pour l'étude de l'adsorption des polluants sur le charbon actif



Figure 5: Système de filtration utilisé

II.3.3. Calcul des quantités adsorbées

Un calcul relativement simple permet d'obtenir les quantités de produit fixé. La quantité de produit adsorbé exprimée en mg de soluté par gramme de solide adsorbant est donnée par la relation suivante [33]: $\mathbf{q_e = (C_i - C_e)\frac{v}{m}}$

qe : La quantité de polluant adsorbé exprimée en mg/g ;

Ce : La concentration de polluant à l'équilibre exprimée en mg/l ;

Ci : La concentration initiale de polluant exprimée en mg/l ;

v : Le volume de solution exprimé en l ;

M : La masse d'adsorbant exprimée en g.

Les taux de rétention sont calculés par :

$$\mathbf{R\% = \left(\frac{C_i - C_e}{C_i}\right) \times 100}$$

Ci: Concentration initiale de polluant exprimée en mg/l ;

Ce: Concentration de polluant à l'équilibre exprimée en mg/l ;

CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Caractéristiques physico-chimiques de substrat utilisé.

Le tableau 2 présente les caractéristiques physicochimiques des substrats des rafles de maïs utilisés

Tableau 2: Caractéristiques Physico-chimique de substrat utilisé

TH (%)	MS (%)	Taux de cendres (%)	MOV (%)	CF (%)
13,57	86,3	6,505	79,63	13,865

Plusieurs facteurs peuvent être pris en compte dans le choix de la matière première pour la fabrication du charbon actif, notamment une faible teneur en matières inorganiques (cendres), une teneur suffisante en matières organiques volatiles, une matière sèche élevée, une forte disponibilité locale, un faible coût et de grandes quantités. Par conséquent, les rafles de maïs peuvent être considérés comme une alternative intéressante pour la production du charbon actif, compte tenu des propriétés mentionnées ci-dessus (Tableau 2).

III.2. Caractérisation de charbon actif

Le tableau 3 présente les caractéristiques du charbon actif préparé à base des rafles de maïs.

Tableau 3: Caractéristiques texturales de l'adsorbant obtenu

Taux de cendre (%)	TH (%)	pH	Id mg/g
3	7,94	6	1070,58

Les résultats obtenus pour le charbon actif préparé à partir des rafles de maïs (tableau 3) montrent que ce matériau possède des caractéristiques intéressantes pour être utilisé dans le traitement des eaux usées. D'abord la valeur de 1070.58 mg/g pour l'indice d'iode montre que nous avons obtenu un matériau de grande microporosité et par conséquent, une surface spécifique importante s'est développée [31]. Cela indique une bonne capacité d'adsorption pour notre charbon actif, ce qui est essentiel pour l'élimination de polluants dans les eaux usées. Ensuite, le pH du charbon actif légèrement acide est compatible avec de nombreuses applications de purification de l'eau. Enfin, les résultats du taux de cendres et du taux d'humidité sont en accord avec celle rapportée par A. NAIT-MERZOUG [34] qui a montré que les valeurs du TC et TH, du charbon actif préparé à partir des de grignons d'olive par activation chimique sont respectivement 2.17%,6.4% proches de celles obtenus dans cette

étude. Ces propriétés mettent en évidences le potentiel des rafles de maïs comme source alternative pour la production de charbon actif, avec des applications intéressantes dans divers domaines [35],[36]. De ce fait nos résultats montrent que les rafles de maïs présentent une alternative viable et durable aux matières premières traditionnelles (comme le bois de chauffage) pour la production de charbon actif destiné au traitement des eaux usée[37],[38]. Cette valorisation des rafles de maïs pourrait non seulement répondre à des besoins industriels, mais également contribuer à des pratiques de cuisson plus durables, favorisant une gestion responsable des ressources naturelles.

III.3. Adsorption des polluants par le charbon actif préparé

III.3.1. Qualité des eaux urbaines à traiter

Avant de commencer le traitement, les paramètres physico-chimiques des eaux usées du

Collecteur R_3 ont été analysés au laboratoire d'analyse des eaux africaines S.A.et au laboratoire de chimie analytique de l'université du Burundi. Les caractérisations physico-chimiques de ces eaux usées sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées du collecteur R_3

Paramètres	Valeurs (décembre, 2024)	Valeurs limites[39]
Ph	7,76	6-9
Conductivité (µS/cm)	1100	2800
Turbidité (*NTU)*	30,2	5
Nitrates *(mg/l)*	21	50
Nitrites *(mg/l)*	2,13	2
Ammonium *(mg/l)*	13,2	10
Phosphates *(mg/l)*	6.1	2
DBO_5 *(mg/l)*	55,1	30
DCO *(mg/l)*	82	150
TDS *(mg/l)*	550	-
Chlorures *(mg/l)*	106,5	250
Matières en suspension *(mg/l)*	0,03	25
Matières décantables *(mg/l)*	1	-
Température (^oC)	29,9	35

A partir des résultats du tableau 4 qui montre les caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon, on peut dire que l'eau présente une pollution et qu'un traitement préalable est nécessaire avant son rejet dans l'environnement.

Au cours de test d'adsorption des polluants, l'influence de masse d'adsorbant et l'influence du temps d'agitation sur adsorption de NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-} ,Turbidité ont été étudiées.

III.3.2. Influence de la masse de l'adsorbant sur le rendement d'adsorption

❖ **L'adsorption de nitrates**

Dans le but d'étudier l'influence de la masse du charbon actif sur l'adsorption des nitrates, les masses de charbon actif comprises entre 0, 25 à 1 g ont été introduites dans *100 ml* d'eau usée. La solution est maintenue sous l'agitation, pendant 3heures [32].

La concentration initiale en nitrates de l'eau usée à traiter C_0 était de 21 mg/L. (annexe : Tableau1).

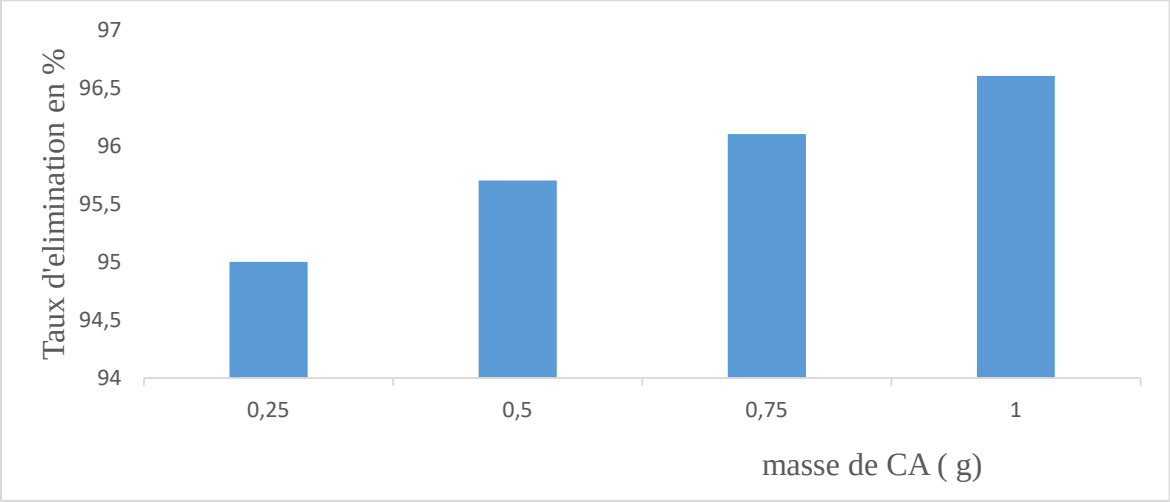


Figure 8: Taux d'élimination des nitrates en fonction de la masse du charbon actif.

La figure 7 montre que la masse optimale d'adsorbat vaut 1 g avec un taux d'abattement égal à 96,6%.

❖ **L'adsorption d'ammonium**

L'adsorption d'ammonium est soumise aux mêmes conditions opératoires que celles utilisées pour déterminer le rendement d'élimination des nitrates. La concentration de NH_4^+ au point de prélèvement était de 13,2 mg/L.

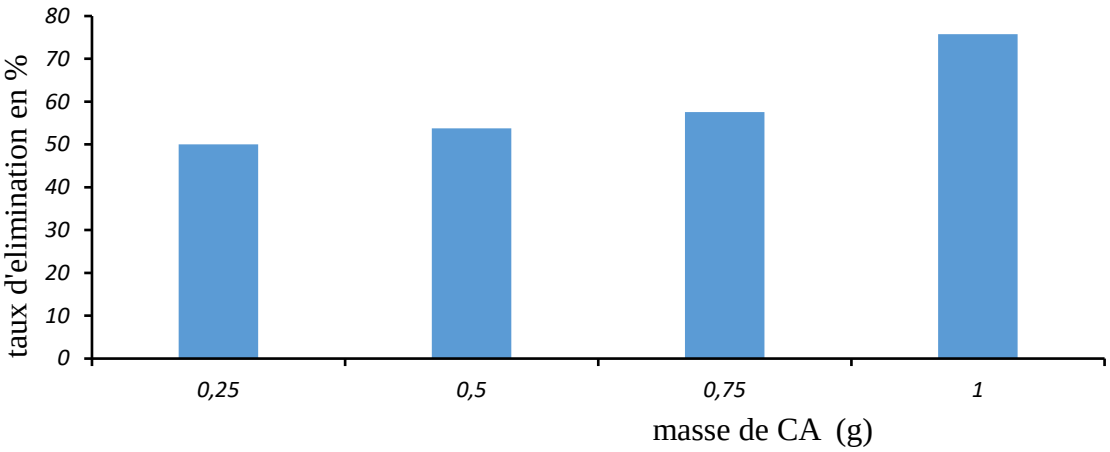


Figure 9: Taux d'élimination d'ammonium en fonction de la masse du charbon actif

D'après la figure 8, on peut conclure que le taux d'élimination maximal est de 75,75% pour le charbon préparé celle-ci représente la meilleure quantité adsorbée avec une dose de 1g de charbon.

La concentration de NH_4^+ a été éliminée jusqu'à 3,2mg/l lorsqu'une masse de 1g du charbon actif est utilisée

❖ L'adsorption des phosphates

L'adsorption des phosphates est soumise aux mêmes conditions opératoires que celles utilisées pour déterminer le rendement d'élimination des nitrates. La concentration des PO_4^{3-} au point de prélèvement était de 6.1 mg/L.

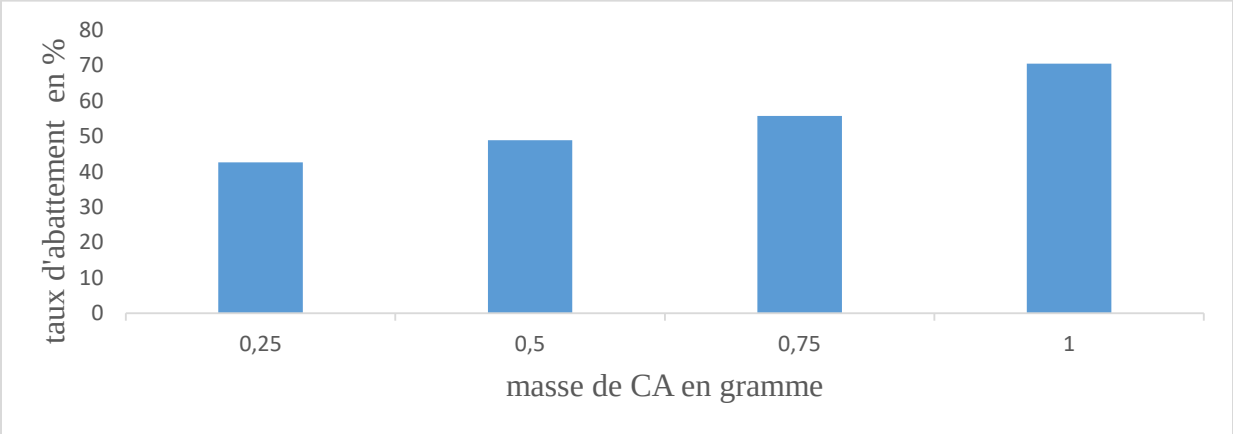


Figure 10:Evolution des teneurs des phosphates en fonction de la masse du charbon actif.

La figure 9 montre que la masse optimale d'adsorbat vaut 1 g avec un rendement d'adsorption égale à 70,49%.

❖ La correction de la turbidité

La figure montre 9 le rendement d'élimination de la turbidité en fonction de la masse du charbon actif.

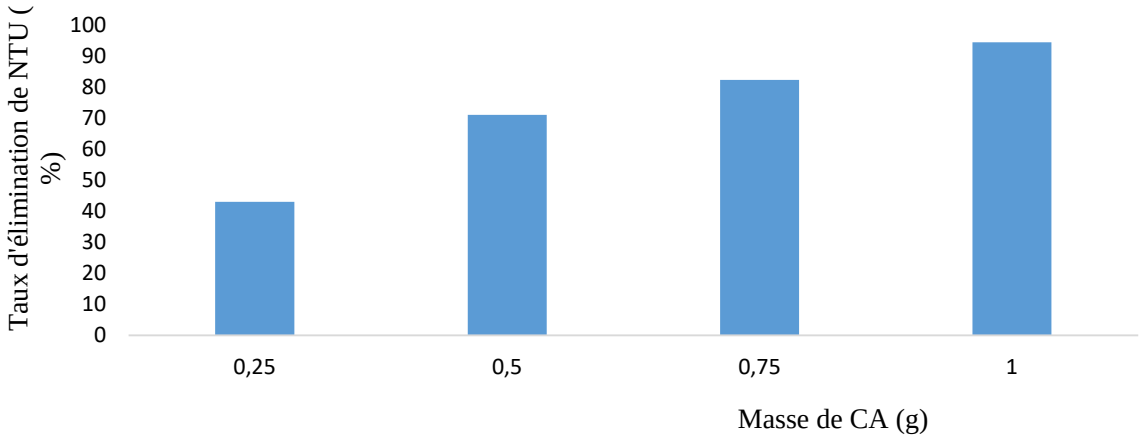


Figure 11: Evolution de la turbidité en fonction de la masse du charbon actif utilisé.

D'après la figure 10, on peut dire que le rendement maximal d'élimination de la turbidité vaut *94,47%*. La dose optimale de l'adsorbant est de 1g de charbon actif.

Les figures précédentes (Figure 7, Figure 8 et figure10) montrent que dans tous les cas, le pourcentage d'élimination des polluants augmente lorsque la masse de l'adsorbant augmente.

Cette observation est cohérente avec les principes de base de l'adsorption, où la quantité de charbon actif disponible pour capturer les contaminants (les nitrates, ammonium, phosphates) joue un rôle clé dans l'efficacité du processus. Plus de charbon actif signifie plus de sites d'adsorption, ce qui permet une meilleure élimination des polluants dans l'eau[40][41]. Cela est attendu, car l'adsorption est généralement influencée par la surface spécifique du charbon actif et la quantité de matière disponible. En augmentant la masse de charbon actif, on augmente la surface disponible pour interagir avec les polluants présents dans la solution aqueuse. Par conséquent, l'efficacité de l'élimination des nutriments augmente avec la quantité de charbon actif utilisé[42]. Un comportement similaire a été rapporté pour l'adsorption du bleu de méthylène sur la coque d'arachide [43] et les algues marines invasives[44].

III.3.3. Influence du temps de contact sur le rendement d'adsorption

L'évolution du processus d'adsorption en fonction du temps est représentée dans les tableaux 2,4.6.8 en annexe. La procédure expérimentale suivie consiste à mettre en contact une masse connue du charbon actif en poudre avec l'eau usée du Collecter R_3 à traiter [32].

La figure 11 donne les taux d'abattement des paramètres étudiés en fonction du temps

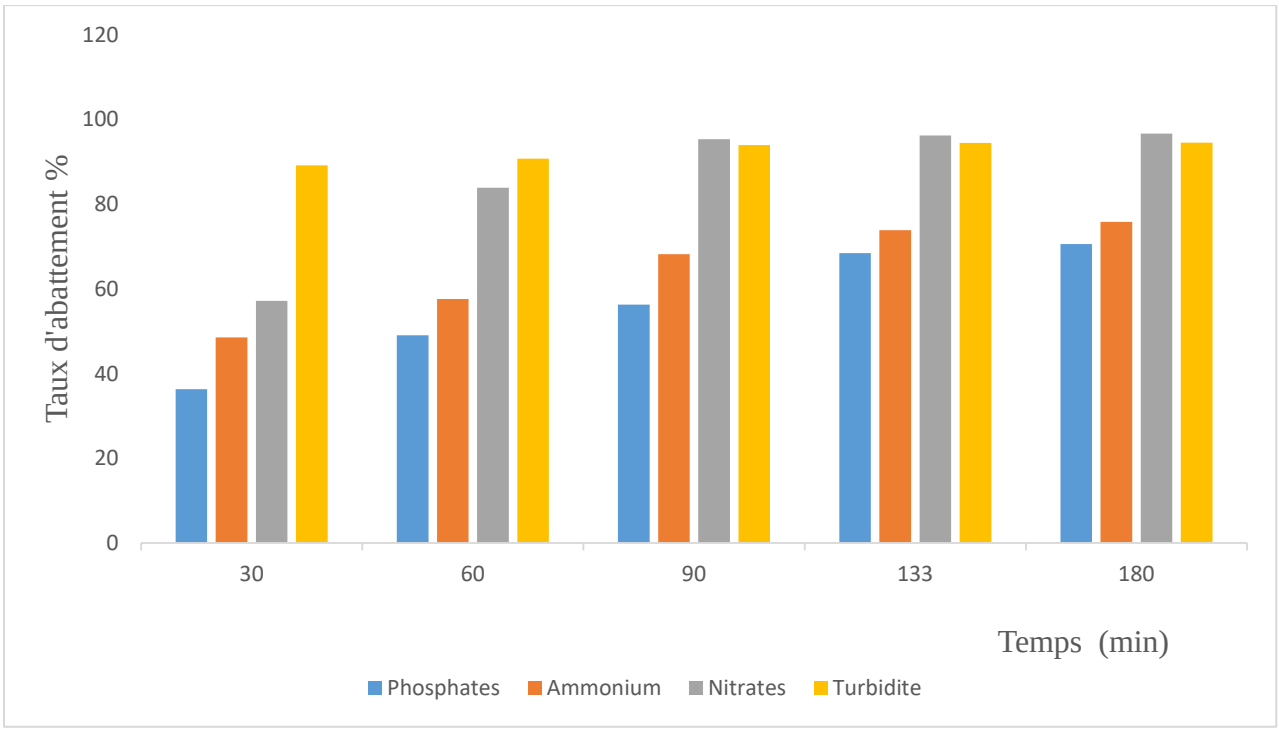


Figure 12: Taux d'abattement en % des phosphates, des nitrates, d'ammonium et la turbidité en fonction du temps d'agitation.

Les résultats de la figure 11 montrent que l'adsorption est rapide pour tous les paramètres, et le pourcentage augmente rapidement avec le temps, ce qui confirme la présence d'interactions fortes entre les polluants et le Charbon actif présent dans les solutions. Nous observons également que, bien que le taux d'abattement général augmente avec le temps d'agitation, l'adsorption n'est pas uniforme pour tous les polluants. Les résultats montrent une forte affinité entre les nitrates et les particules turbides avec les surfaces de l'adsorbant, ce qui est crucial pour les applications de purification de l'eau. En revanche, bien que l'ammonium ait une capacité d'adsorption inférieure, il s'adsorbe mieux que les phosphates. À cet effet, le pourcentage maximal d'élimination atteint respectivement 96,6 % pour les nitrates, 75,75 % pour l'ammonium, 70,49 % pour les phosphates et 94,47 % pour les particules influentes sur la turbidité.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

L'objectif de la présente étude était de valoriser les déchets issus des rafles de maïs en produisant un charbon actif destiné au traitement des eaux usées, afin de réduire la pollution environnementale. La capacité d'adsorption du charbon préparé a été testée par des essais d'élimination des polluants des eaux usées urbaines au niveau du laboratoire de recherche. Les essais réalisés ont permis de démontrer que le charbon actif préparé à partir des rafles de maïs présente une capacité d'adsorption remarquable pour l'élimination des polluants dans les eaux usées urbaines.

Ces performances soulignent non seulement l'efficacité du charbon actif dérivé des rafles de maïs, mais elles témoignent également de son potentiel en tant qu'alternative durable et économique aux méthodes de traitement traditionnelles. En réduisant les coûts de traitement, ce matériau pourrait faciliter l'accès à une eau de meilleure qualité, en particulier dans les zones urbaines où les ressources peuvent être limitées.

De plus, l'utilisation de rafles de maïs, souvent considérées comme des déchets agricoles, ouvre la voie à une réduction de la dépendance au bois de chauffage pour la production de charbon actif. Cela pourrait contribuer à atténuer les problèmes de déforestation et les impacts environnementaux négatifs associés, tout en offrant une solution de gestion des déchets agricoles.

Recommandations

Aux chercheurs :

- à poursuivre ce travail en prouvant l'efficacité de ce charbon actif à adsorber d'autres polluants.
- à faire des études sur la valorisation énergétique des rafles de maïs notamment dans la production

Aux pouvoirs publics

À sensibiliser la population sur l'importance de la valorisation des déchets.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] L. Citeretse, "Les dechets menagers solides de la ville de bujumbura (Burundi): Quelles perspectives pour une gestion durable ?," Mémoire de master, Université libre de Bruxelles, 2008.

[2] Z. He, Z. Chu, M. Zhao, J. Zhuang, and F. Liu, "Policy-making coordination of municipal solid waste policies in China: a content analysis," *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 20, no. 2, pp. 1073–1084, 2018, doi: 10.1007/s10163-017-0668-3.

[3] M. Farley, K. S. Banerjee, and V. Cooper, "Perception of middle and low income communities on separation of household waste in the Caribbean region: A case study from Trinidad," *J. Environ. Manage.*, vol. 233, no. June 2018, pp. 63–68, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.12.020.

[4] R. Rashid, I. Shafiq, P. Akhter, M. J. Iqbal, and M. Hussain, "A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 8, pp. 9050–9066, 2021, doi: 10.1007/s11356-021-12395-x.

[5] C. Yu, S. S. Chen, L. Zhang, Q. Gao, Z. Wang, and Q. Shen, "Changes in water quality of the rivers discharging into Lake Tanganyika in Bujumbura, Burundi," *Aquat. Ecosyst. Heal. Manag.*, vol. 21, no. 2, pp. 201–212, 2018, doi: 10.1080/14634988.2017.1394772.

[6] J. Ndayishimiye *et al.*, "La dégradation du littoral du lac Tanganyika au Burundi : approche multidisciplinaire," Bull. Sci. sur l'Environnement la Biodiversité, p. 15, 2023.

[7] A. EL Kader Ouakouak, L. Youcef, and S. Achour, "Removal of Nitrates By Adsorption on Powdered Activated Carbon," *C*ourr. du Savoir – N°17, Décembre 2013, pp.93-97, no. Université de Biskra, Algérie, pp. 93–97, 2013.

[8] A. Kumar and H. M. Jena, "Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (Euryale ferox) shell by chemical activation with H3PO4," *Results Phys.*, vol. 6, pp. 651–658, 2016, doi: 10.1016/j.rinp.2016.09.012.

[9] M. S. Metahri, "Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes," These de doctorat ,Université mouloud mammeri de tizi-ouzou,p. 172 , 2012.

[10] A. Bendida, M. A. Kendouci, and A. El-bari tidjani, "Characterization of Algerian Sahara groundwater for irrigation and water supply: Adrar region study case," *J. Water L. Dev.*, vol. 49, pp. 235–243, 2021, doi: 10.24425/jwld.2021.137117.

[11] D. Mohammed and M. Abderrahmane, "Etude de l'adsorption d'une eau polluée par des hydrocarbures sur charbon actif,Mémoire de Master,Universite kasdi merbah ouargla.," *Univ. Kasdi Merbah Ouargla*, 2017.

[12] Y. Mokhbi, "Étude de la photocatalyse hétérogène couplée à un procédé de dépollution pour le traitement des eaux huileuses," Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019.

[13] M. N. et coll RODIER Jean, LEGUBE Bernard, "Rodier," *l'analyse d'eau*. 2022. doi: 10.5040/9781501365072.13617.

[14] B. Meriem, "Traitement des eaux usées utilisant un charbon actif préparé a base des noyaux des dattes," *Mem. Master*, Université de Ghardaïa, p. 102, 2024.

[15] A. Asbl, "Projet d'urgence pour la resilience des infrastructures « puri »plan resume de reinstallation (prr) des personnes affectees par le sous- projetde travaux de canalisation de la riviere kinyankonge," 2017.

[16] M. K. Bechki, "Préparation et caracterisation du charbon actif à partir des noyaux du palmier dattier et des coquilles des noix," *these Dr.*, Universite kasdi merbah – ouargla, pp. 1–134, 2018.

[17] T. A. Kurniawan, G. Y. S. Chan, W. H. Lo, and S. Babel, "Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals," *Chem. Eng. J.*, vol. 118, no. 1–2, pp. 83–98, 2006, doi: 10.1016/j.cej.2006.01.015.

[18] B. Ihaddaden and M. L. Sekirifa, "Caracterisation d'une argile kaolin de la region de annaba pour l'adsorption de phenol," p. 107, 2005, doi: 10.1016/b978-2-810-10093-4.00009-5.

[19] B. Meroufel-zenasni, "Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin , racines de Calotropis procera et noyaux de dattes.," *Univ. Lorraine*, Thèse de doctorat, p. 74, 2018.

[20] S. E. Elmeki and B. M. Amine, "Traitement des eaux huileuses industrielles de la région Haoud berkaouI par adsorption sur charbon actif à base de boues d'épuration.," *Mem. master*, Université Kasdi-Merbah Ouargla, p. 71, 2022.

[21] A. K. Meena, G. K. Mishra, P. K. Rai, C. Rajagopal, and P. N. Nagar, "Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent," *J. Hazard. Mater.*, vol. 122, no. 1–2, pp. 161–170, 2005, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.03.024.

[22] N. Chaouch, "Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées," *Thèse Dr.*, Universite de batna, p. 169, 2014.

[23] S. Zineb, "Etude d'effet des paramètres physico-chimique sur fabrication du charbon actif à partir des coquilles des Noix.,"Mémoire de master, pp. 2019–2020, 2020.

[24] T. Bouthaina and M. Sara, "Valorisation des grains du café vert et transformation en charbon actif.," Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra , pp. 49–56, 2021.

[25] C. Activé, A. P. Des, and N. Des, "Fabrication et application du charbon actif (carbone activé) a partir des noyaux des dattes",mémoire de master,universite de biskra.

[26] B. Khadidja and B. A. Lwiza, "Valorisation des déchets ligno-cellulosiques, issus du palmier dattier, en Charbon actif," Mem. master, Universite d'adrar, p. 92, 2017.

[27] F. AL MARDINI, "Etude de l'adsorption du pesticide Bromacil sur charbon actif en poudre en milieu aqueux Effet compétiteur des matières organiques naturelles.," these Dr.,Universite de poitiers, p. 245, 2006.

[28] B. Faouzia, "Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture,"Mémoire de Master , Universite ferhat abbas setif-1 ufas, p. 103, 2014.

[29] L. Zohra and B. Nesrine, "Elimination des ions Fluorures en utilisant un charbon Actif élaboré à partir des noyaux d'olives," Mémoire de Master, Universite kasdi merbah ouargla, 2022.

[30] P. A. Egwaikhide, E. E. Akporhonor, and F. E. Okieimen, "Utilization of coconut fibre carbon in the removal of soluble petroleum fraction polluted water," Int. J. Phys. Sci., vol. 2, no. 2, pp. 47–49, 2007.

[31] M. J. Ahmed and S. K. Dhedan, "Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons," vol. 317, pp. 9–14, 2012, doi: 10.1016/j.fluid.2011.12.026.

[32] I. Tchakala, T. Kodom, M. S.-L. Alfa-Sika, M. Bawa, and G. Djaneye-Boundjou, "Traitement d'une eau naturelle polluée par adsorption sur du charbon actif (CAK) préparé à partir de tourteaux de karité," *Environnement, Ingénierie & Développement*, vol. N°72-N°, pp. 1–6, 2016, doi: 10.4267/dechets-sciences-techniques.3497.

[33] Z. Yousra, "Etude D'adsorption de la matière organique de l'eau brute d'Ain zada sur charbon actif commercial et bio-charbon," *U*niv. Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2022.

[34] O. G. A. Nait-Merzoug, A. Benjaballah, "Preparation et caracterisation d ' un charbon actif a Base d'un dechet agricole," *Icemaep*, pp. 36–41, 2016.

[35] S. Hazourli, M. Ziati, "Valorisation d'un résidu naturel ligno-cellulosique en charbon actif-exemple des noyaux de dattes,"Revue des energies renouvelables ICRESD-07 Tlemcen(2007) pp187-192.

[36] C. B. M. Gueye, J. Blin, "Etude de la synthèse des charbons actifs à partir de biomasses locales par activation chimique avec H_3PO_4 .," *campus 2iEOuagadougou*, p. 6, 2011.

[37] M. Hicham, MOUD, and M. M. I. E. Sous, "Adsor ption de bleu de méthylène par la sciure de bois brute et activée .," *Mem. master*, p. 107, 2017.

[38] A. Meullemiestre, "Valorisation des déchets de la filière ' bois ' en deux étapes: isolation des molécules extractibles puis fabrication de charbon actif: cas du pin maritime. Génie des procédés. Université de La Rochelle, p. 244, 2014.

[39] Ordonance ministerielle portant fixation des normes de rejet des eaux usees domestiques et industrielles au Burundi. 2014.

[40] B. H. Hameed, "Evaluation of papaya seeds as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue," *J. Hazard. Mater.*, vol. 162, no. 2–3, pp. 939–944, 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.05.120.

[41] A. Ouakouak, D. Boulanouar, and S. Achour, "Etude du pouvoir adsorbant du charbon actif en poudre pour l ' elimination des phosphates des eaux naturelles," Larhyss Journal,ISSN 1112-3680,n°17, pp. 35–46, 2014.

[42] B. H. Setti, "Effets synergiques et pouvoir adsorbant du charbon actif dans l ' élimination de deux colorants azoiques," *these Dr.*, Université Mohamed Khider – Biskra Faculté, 2023.

[43] R. Gong, M. Li, C. Yang, Y. Sun, and J. Chen, "Removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption on peanut hull," *J. Hazard. Mater.*, vol. 121, no. 1–3, pp. 247–250, 2005, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.01.029.

[44] S. Cengiz and L. Cavas, "Removal of methylene blue by invasive marine seaweed: Caulerpa racemosa var. cylindracea," *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 7, pp. 2357–2363, 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.05.011.

ANNEXES

Annexe 1. Adsorption de nitrates

❖ Influence de la masse de l'adsorbant

Masse de charbon (g)	Quantité initiale (mg/l) en nitrates	Résultats (mg/l) en nitrates	Qe (mg/g)	Taux d'abattement en %	Temps d'agitation en heures.
0.25	21	1	8	95	3
0.5	21	0.9	4.02	95.7	3
0.75	21	0.8	2.69	96.1	3
1	21	0.7	2.03	96.6	3

❖ Effet du temps de contact

Masse de charbon en g	Temps d'agitation en min	Quantité initiale mg/l	Résultats en mg/l à chaque instant	Qe en mg/g	Taux d'abattement en%
1	30	21	9	1,2	57,14
1	60	21	3,4	1,76	83,8
1	90	21	1	2	95,23
1	133	21	0,81	2,09	96,14
1	180	21	0,7	2,03	96,6

Annexe 2. Adsorption de l'ammonium

❖ Influence de la masse de l'adsorbant

Masse (g)	Quantité initiale	Résultats (mg/l)	Qe (mg/g)	Taux d'abattement (%)
0.25	13.2	6.6	2.64	50
0.5	13.2	6.1	1.42	53.78
0.75	13.2	5.6	1.01	57.57
1	13.2	3.2	1	75.75

Tableau 4 : Effet du temps de contact

Masse de charbon en g	Temps d'agitation en min	Quantité initiale	Résultats en mg/l à chaque instant	Qe en mg/g	Taux d'abattement %
1	30	13.2	6,8	0,64	48,48
1	60	13.2	5,6	0,76	57,57
1	90	13.2	4,21	0,89	68,10
1	133	13.2	3,46	0,974	73,78
1	180	13.2	3,2	1	75,75

Annexe 3 : Adsorption des phosphates

❖ Influence de la masse de l'adsorbant

Masse (g)	Quantité initiale	Résultats (mg/l)	Qe (mg/g)	Taux d'abattement (%)
0.25	6.1	3.5	1.04	42.62
0.5	6.1	3.12	0.596	48.85
0.75	6.1	2.7	0.45	55.73
1	6.1	1.8	0.43	70.49

❖ Effet du temps de contact

Masse de charbon en g	Temps d'agitation en min	Quantité initiale	Résultats en mg/l à chaque instant	Qe en mg/g	Taux d'abattement en%
1	30	6.1	3.8	0.23	36.3
1	60	6.1	3.11	0.29	49
1	90	6.1	2.67	0.34	56.20
1	133	6.1	1.92	0.41	68.4
1	180	6.1	1.8	0.43	70.49

Annexe 4. La correction de la turbidité avec l'adsorbant préparé

❖ Influence de la masse de l'adsorbant

Masse (g)	Quantité initiale (NTU)	Résultats (NTU)	Taux d'abattement en (%)
0.25	30.2	17.2	43.04
0.5	30.2	8.73	71.09
0.75	30.2	5.33	82.09
1	30.2	1.67	94.47

❖ Effet du temps de contact

Masse de charbon en g	Temps en min	Quantité initiale (NTU)	Résultats en NTU à chaque instant	Qe en NTU à chaque instant	Taux d'abattement en %
1	30	30.2	3,29	2,691	89,1
1	60	30.2	2,81	2,739	90,69
1	90	30.2	1,84	2,836	93,9
1	133	30.2	1,69	2,851	94,4
1	180	30.2	1,67	2,853	94,47

Annexe 5. Quelques étapes d'obtention du charbon actif et du traitement de l'eau



❖ **Photographie du matériel utilisé pour cette étude**

A= Lavage des Raffles de maïs, B= Séchage à l'étuve, C= Broyage avec mortier, D= Traitement au charbon actif, E= Filtration