

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département de chimie



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie

Spécialité : Chimie Organique

Thème

*Préparation et caractérisation spectroscopique
d'un charbon activé par H_3PO_4*

Réalisé par :

- BOUCHALTA ZINE DDINE
- ZOUAGHI ADEM

Membres du jury :

- | | | |
|--------------|-------|-----------|
| ➤ -Dr AMIRAT | (MCB) | Encadreur |
| ➤ -Dr YAHIA | (MCA) | Examineur |
| ➤ -Dr MELAIS | (MCB) | président |

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous voudrions exprimer, en quelques lignes, notre gratitude de nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à mener à bien le projet de fin d'étude.

Tout d'abord, nous remercions **Dieu** de nous avoir donné la force de réfléchir et de la patience pour le faire.

Nous remercions vivement **Nos familles** pour nous soutenir à adversités et surmonter tous les obstacles.

Nous souhaiterions manifester nos reconnaissances particulièrement à **M /s. AMIRAT SAMIA** . D'une part pour nous avoir donné l'opportunité de participer à ce projet, qui a développé en nous une capacité de recherche et d'adaptation. D'autre part d'avoir accepté d'être notre encadreur, avec un suivi constant et un intérêt démontré tout le long de notre travail.

Nous remercie aussi **Pr. GHEID ABDELHAK** chercheur au laboratoire sciences et techniques de l'eau et environnement Univ –Souk-Ahras Algérie pour son aide précieux conseils.

Nous voudrions exprimer tous nos remerciements à tous les **Membres du jury** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

Merci à tous et à toutes.

DEDICACE

A TOUS QUI NOUS SONT CHERS...

Sommaire

Introduction générale.....	P1
Chapitre I : Généralités sur le charbon actif	
I .1 Définition.....	P4
I .2 Matières premières	P4
I .3 Propriétés de charbon actif.....	P5
I .3.1Propriétés texturales	P5
I .3.2Propriétés chimiques	P7
I .4 Préparation du charbon actif	P8
I .4.1Phase de carbonisation.....	P9
I.4.2 Phase d'activation	P9
I .4.2.1Une activation physique.....	P9
I .4.2.2L'activation chimique	P10
I.5 Caractérisation des adsorbants	P11
I .6Les différentes formes du charbon actif	P13
I .6.1Le Charbon Actif en Poudre(CAP)	P13
I .6.1.Utilisation du charbon actif en poudre CAP	P13
I .6.1.1Les Avantages et les inconvénients du charbon actif en poudre CAP.....	P14
I .6.1.2Charbon actif granulé(CAG).....	P14

I .6.2.1	Utilisation du charbon actif granulé	P15
I .6.2.2	Les Avantages et les inconvénients du charbon actif granulé.....	P16
I .7	Régénération de charbon actif.....	P17
I .7.1	Régénération à la vapeur	P17
I .7.2	Régénération thermique.....	P17
I .7.3	Régénération chimique	P17
I.7.4	Régénération biologique	P17
I.8	Charbon actif à partir de noyaux dattier.....	P18
I.9	Charbon actif à partir des écorces d'orange.....	P20

Chapitre II : Généralités sur les colorants

II .1	INTRODUCTION.....	P23
II .2	Définition.....	P23
II .3	Classification des colorants.....	P25
II .3.1	Classification des colorants selon leurs natures	P25
II .3.1.1	Colorants naturels	P25
II .3.1.2	Colorants synthétiques.....	P26
II .3.2	Classification chimique	P26
II .3.3	Classification tinctoriale	P28
II .3.3.1	Les colorants acide ou anionique	P28
II .3.3.2	Les colorants basique ou cationique.....	P28
II .3.3.3	Les colorants développés ou azoïques insolubles	P28
II.3.3.4	les colorants de cuve.....	P28

II.3.3.5 Les colorants réactifs.....	P29
II.3.3.6 Les colorants a mordants	P29
II.4 aspect toxicologique et impact envinnemental	P29
II .4.1Toxicité sur la humaine	P29
II .4.2Toxicité des milieux aquatiques par les rejets industriels.....	P29
II.4.3 Impacts sur l'environnement	P29
II .5Domaines d'utilisation de colorant.....	P30

Chapitre III : Spectroscopie infrarouge FT-IR

III .1Introduction	P30
III .2Historique	P30
III .3Définition.....	P30
III .4Base et Théorie	P33
III .4.1Phénomène d'absorption.....	P33
III .4.1.1Modèle simplifié des interactions vibrationnelles.....	P34
III.4.1.2 Modèle harmonique.....	P34
III .5Généralités sur la spectroscopie FT-IR	P36
III .5.1Description d'un spectromètre FT-IR	P36
III .5.2Principe de fonctionnement du spectromètre FT-IR.....	P37
III .6Les applications industrielles.....	P39

Chapitre IV : Matériaux et Méthodes d'études Expérimentales

IV .1Introduction.....	P41
IV .2Méthodologie Expérimentales	P41
IV .2.1Matériels, produits et appareillage	P41
IV .2.1.1Matériels	P41
IV .2.1.2Produits Utilisés	P41
IV .2.1.3Appareillages	P41
IV .2.2Adsorbants	P42
IV .2.2.1Principe	P42
IV .2.2.2Préparation des adsorbants (écorces d'orange – noyaux de dattes)	P42
IV .2.2.2.1Préparation d'un produit brut (rinçage séchage)	P42
IV.2.2.2.2 Le broyage.....	P43
IV.2.2.2.3 Le lavage.....	P43
IV.2.2.2.4 Le séchage.....	P44
IV.2.2.2.5 Le Tamisage	P45
IV .2.2.3Activation des adsorbants	P45
IV .2.2.3.1première méthode	P45
IV.2.2.3.2 deuxième méthode.....	P46
IV .2.3Adsorbat.....	P48
IV .2.3.1Préparation de la solution mère de bleu de méthylène (BM)	P48
IV .2.3.2Préparation de la solution mère de méthylorange (MO).....	P48
IV.2.3.3 Les effets de certain paramètre sur l'adsorption du BM et MO.	P50
IV.3 Méthodologie.....	P50

Chapitre V : Résultats Et Discussions

V .1Introduction	P53
V.2 Résultats et discussion	P53
V.3 Interprétation des spectres	P57
V.4 Etude de l'effet d'activation chimique et pyrolyse.....	P57
Conclusion générale.....	P66
Référence bibliographique	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Annexes	

Abréviations

C: Concentration des colorants dans la phase liquide (mg/l)

Co: Concentration initial des colorants (mg/l)

Ce : Concentration à l'équilibre, exprimé en (mg/l).

Qe : Quantité du produit adsorbé par unité de masse d'adsorbant exprimé en (mg/g).

CAP : Charbon actif en poudre

CAG : charbon actif en grains

CAC : charbon actif commercial

ND : noyaux de dattes

ECO : écorces d'orange

MO : méthyle orange

BM : bleu de méthylène

IUPAC: International Union Pure and Applied Chemist

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement afin d'augmenter sa surface interne. Cela lui permet d'avoir une grande capacité d'adsorption et de faciliter les réactions chimiques.

Le charbon actif est un composé complexe hétérogène. La partie combustible, est constituée de molécules organiques à base de carbone, d'hydrogène et d'oxygène auxquels s'ajoutent en proportion moindre du soufre et de l'azote. La caractéristique essentielle des charbons actifs est l'existence d'un réseau très développé de micropores et de mésopores qui sont à l'origine de leur pouvoir adsorbant, alors que les Macropores constituent des voies d'accès pour les fluides vers la surface interne.

Les applications principales du charbon activé ont entre autres la purification, décoloration, désodorisation et en général la désintoxication des eaux potables ainsi que la purification de l'air et des produits chimiques...etc [1].

Dans le présent travail, nous sommes principalement intéressés à l'étude de l'adsorption du colorant bleu de méthylène et méthyle orange sur les noyaux des dattes, les écorces d'orange et le charbon actif commercial qui sont des adsorbants naturel de grande disponibilité.

L'intérêt d'élaboration d'un charbon actif à partir des déchets végétaux est la teneur de carbone dans ces déchets et à cause de leur efficacité à de faibles concentrations, leur simplicité, ainsi que leur coût modique.

L'efficacité du charbon actif dépend de la méthode d'activation, selon la plupart des études ont montré que l'activation chimique apparait une méthode plus avantageuse que l'activation physique. L'agent activant aussi joue un rôle important dans ce procédé. L'acide phosphorique, le chlorure de zinc et l'acide sulfurique comptent par miles agents d'activation chimiques les plus utilisés.

Activation de l'acide phosphorique de précurseurs carbonés est utilisée de puis long temps pour la fabrication de charbons actifs dans l'industrie. Au cours des dernières décennies, de nombreux travaux ont été réalisés sur l'activation de l'acide phosphorique des déchets cellulosiques agricoles en raison de leur faible coût et haute disponibilité [2].

Pour l'évaluation et la caractérisation d'un charbon actif en utilisent plusieurs techniques telle que la spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR), la spectrophotomètre UV. Dans cette expérience on a utilisé (FTIR) qui est une technique

d'analyse physico-chimique, qualitative et quantitative, Elle permet d'accéder directement à l'information moléculaire et à la nature chimique du matériau analysé. Pour cela nous avons divisé ce mémoire en cinq chapitres.

- **Le premier chapitre** «Généralités sur le charbon actif », contenant des recherches bibliographiques sur le charbon actif et les méthodes de transformation d'un matériel végétal en charbon actif.
- **Le deuxième chapitre** « Généralités sur les colorants »
- **Le troisième chapitre**« spectroscopie infra rouge à transformée de fourrier (FTIR)», contenant des informations générales sur la méthode FTIR et leur principe.
- **Le quatrième chapitre**« procédure expérimentale », dans laquelle on étudie les méthodes de préparation et de caractérisation d'un charbon actif.
- **Le cinquième chapitre** «résultats et discussions », contenant les résultats des expériences effectuées.

Finalement, nous dressons une conclusion qui résume notre travail et présente des perspectives.

CHAPITRE I : Généralités sur le charbon actif

1. Définition

Les charbons actifs sont des adsorbants spécifiques utilisés pour éliminer les impuretés qui accumulent à la surface, ont un caractère essentiel qui est l'existence d'un réseau très développée de micropores, lesquels sont à l'origine de leur pouvoir adsorbant [3].

La capacité des charbons actifs à dépolluer est de leur faculté d'adsorption. Le charbon actif est le plus ancien adsorbant fabriqué industriellement [4]. Il est obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées (dégagement des cavités remplies de goudron lors de la carbonisation) . Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre avec des pores de quelques μm de dimension, soit sous forme égrain.

Il peut être régénéré selon trois procédés de désorption : la vapeur, traitement thermique et chimique et biologique.



Figure I.1: charbon actif.

2. Matières premières

La fabrication du charbon actif passe nécessairement par l'identification et le choix de la matière première. Les matières premières peuvent être obtenues à partir d'un grand nombre de matériaux contenant le carbone d'origine végétale, animale.

Origine végétale : Il existe une multitude de produits d'origine végétale qui peuvent intervenir dans la synthèse des charbons actifs et sous différentes formes variées:

- Déchets agricoles non utilisables exemple : Noyaux de fruit, noyaux de dattes, coque de noix de coco, Bagasse de canne à sucre, écorces d'orange.
- Paille et enveloppes de céréales exemple: blé et riz.

Chapitre I : Généralités sur le charbon actif

- Arbre sous forme de copeaux ou de sciure de bois exemple : Bouleau, chêne, eucalyptus, Lignite.

Origine animale : Les charbons activés sont essentiellement obtenus à partir d'ossements d'animaux, mais aussi à partir de leur sang voire de leur chair.

3. Propriétés de charbon actif

De par ses origines variées et ses procédés de fabrication, le charbon actif est connu pour être un matériau de structure et composition hétérogènes. Afin de mieux définir ses propriétés, différentes techniques analytiques ont été développées pour caractériser le charbon actif [5].

Les caractéristiques physiques sont regroupées dans le tableau I.

Tableau I.1: Principales caractéristiques du charbon activé

Caractéristique	Description
Diamètre Effectif	Poudre : 8-9 ; granules : 0,55 -1,05. Augmentation du taux d'adsorption et des pertes de charge lorsque la grosseur des grains diminue.
Surface d'adsorption	De 850 à 1500 m ² /g. Plus cette surface est grande plus le charbon Activé est efficace
Nombre de mélasse	Il est associé à la capacité du charbon activé d'absorber Les impuretés de masses moléculaires élevées
Densité brute	Evolution du volume de charbon activé utilisé.

Propriétés texturales

La structure du charbon peut être vue comme un assemblage aléatoire de feuillets plans constitués par des poly cycles aromatiques (encore appelés feuillets de graphène). L'espace libre entre ces feuillets constitue la porosité du charbon [6].



Figure I.2 : Structure chimique du charbon actif et représentation schématique de sa structure

La structure du charbon actif est semblable à celle du graphite. En effet la structure cristalline de ce dernier consiste en un ensemble de couches planes d'atomes de carbone graphique micro cristallin hexagonal (Ø d'environ 30Å) les grains s'entrecroisent ensemble que

Par quelques rares points de contact, ce qui confère au charbon une porosité extraordinaire [7].

La structure d'un charbon est donc caractérisée par son volume poreux, la taille et la forme de ses pores. C'est ce qui est à l'origine de sa surface spécifique. Ces propriétés sont principalement développées lors de l'étape d'activation du charbon actif. La distribution de taille de pores très variée, incluant à la fois des micropores (de diamètre $\text{Ø}_p < 2\text{ nm}$), des mesopores ($2 < \text{Ø}_p < 50\text{ nm}$) et des macropores ($\text{Ø}_p > 50\text{ nm}$), Selon la définition de l'IUPAC [8].

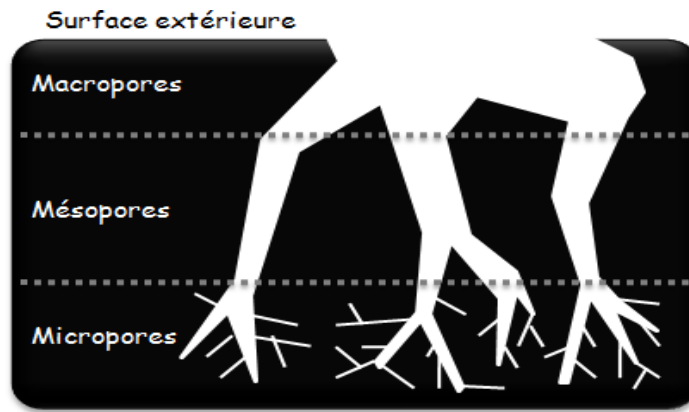


Figure.I.3 : Représentation schématique de la structure des pores d'un charbon actif

Propriétés chimiques

- **Composition global du charbon actif** : bien que le carbone soit l'élément majoritaire du charbon actif, d'autres composés (oxygène, hydrogène, soufre, azote, minéraux, ...) sont aussi présents et influent fortement sur les propriétés d'adsorption du charbon actif.

- Fonctions de surface du charbon actif :

- L'hétérogénéité chimique du charbon actif est donc principalement associée aux différentes fonctions de surface, surtout les groupements oxygénés, qui lui confèrent son caractère acido-basique et déterminent, selon l'environnement (PH de la solution) sa charge électrique [9].

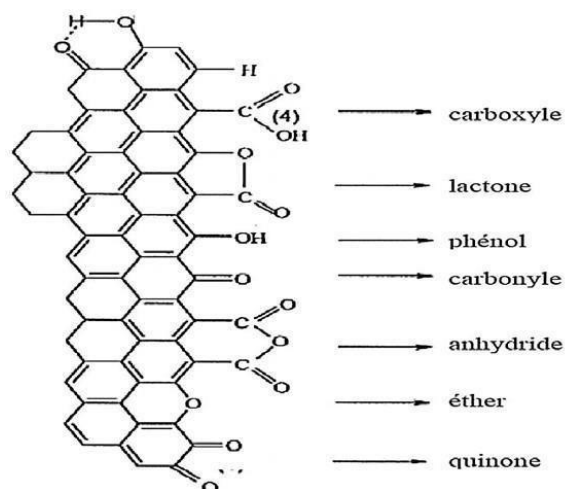


Figure I.4 : Groupes de surface du charbon actif

Les propriétés de charbon actif obtenu dépend de :

- La matière première de départ;
- Les conditions de pyrolyse et d'activation.

4. Préparation du charbon actif

Le charbon actif ou charbon activé, c'est tout charbon ayant subi une préparation particulière et qui, de ce fait, possède à un haut degré la propriété d'adsorber des fluides amenés à son contact. Il s'agit d'une structure amorphe composée principalement d'atomes de carbone, généralement obtenue après une étape de carbonisation à haute température et présentant une très grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant . Il se caractérise aussi par sa thermo stabilité [10].

La différence entre charbons actifs en grain et en poudre est établie sous la base de critères granulométriques : la taille moyenne des particules est inférieure à 0,18 mm pour le charbon actif en poudre et inférieure à 0,6 mm pour le charbon actif en grain [11].

De nos jours, le charbon actif occupe une place importante dans l'industrie, avec des utilisations diverses par exemple dans l'extraction de l'or, la filtration de l'air et des polluants organiques, le stockage de l'hydrogène, comme super condensateurs, dans le traitement des eaux, etc .

De nombreux procédés de fabrication furent mis au point pour permettre une plus grande production de charbon actif à partir de nombreuses matières végétales riches.

Carbone tels que: bois, écorce, pâte de bois, coques de noix de coco, coques de cacahuètes, noyaux d'olives, ou bien de houille, tourbe, lignite, résidus pétroliers etc. [12].

Le processus de fabrication de ces adsorbants comporte deux grandes étapes : la carbonisation et l'activation Il existe deux procédés d'activation qui sont l'activation physique et l'activation chimique. Cette dernière, notent permet d'obtenir un meilleur rendement, une plus grande surface spécifique et un meilleur développement de la structure poreuse du charbon [13].

Phase de carbonisation

La carbonisation est la décomposition thermique des matières carbonées elle consiste à éliminer les matières volatiles par voie thermique. Cette étape s'effectue à des températures inférieures (500-700°C) et sous un courant continu d'un gaz inerte (absence d'oxygène) [14] en présence de catalyseurs d'oxydation : acide phosphorique, acide sulfurique, sulfure de potassium, chlorure de zinc (interdit pour les applications agroalimentaires), sels de cuivre, potasse... Ces agents chimiques favorisent la déshydratation pendant 5 à 6 heures .

Phase d'activation

L'activation consiste à développer la structure poreuse en éliminant les goudrons qui obstruent les pores, et à créer des fonctions de surface (généralement oxydées) qui sont à l'origine des interactions entre le solide et les molécules adsorbées. Elle peut être physique ou chimique [15].

Une activation physique :

Permet d'augmenter sa surface spécifique faible (de 5 à 6 m²/g initialement à 600-2000 m²/g). C'est une oxydation, à température élevée (800- 1000°C), pendant 24 à 72 heures, en présence de vapeur d'eau, de CO₂ ou d'oxygène Dans ce processus, les matières désorganisées carbonées obstruant les pores sont éliminées par la réaction suivante

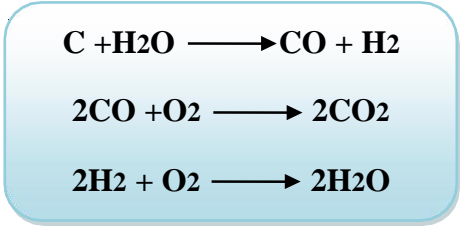


Figure I.5: Réactions types rencontrées lors l'activation physique .

4.2.2. L'activation chimique :

on utilise directement sur le matériau brut, des agents déshydratants et des oxydants minéraux (H_3PO_4 , H_2SO_4 , Zn, Cl_2) [26]. Le matériau subit en suite une pyrolyse entre $400^\circ C$ et $600^\circ C$ à l'abri de l'air pendant 5 à 24 heures, puis est lavé et séché. Le charbonactif est ainsi obtenu en une seule étape. C'est le degré d'imprégnation du matériau en matière oxydante qui définit la structure poreuse final [16].

Généralement, les charbons actifs produits par cette activation chimique présentent une structure poreuse ouverte (les pores débouchent à la surface du grain), idéale pour l'adsorption de grosses molécules [17].

Les différentes étapes de fabrication de charbon actif se résument dans le tableau qui suit :

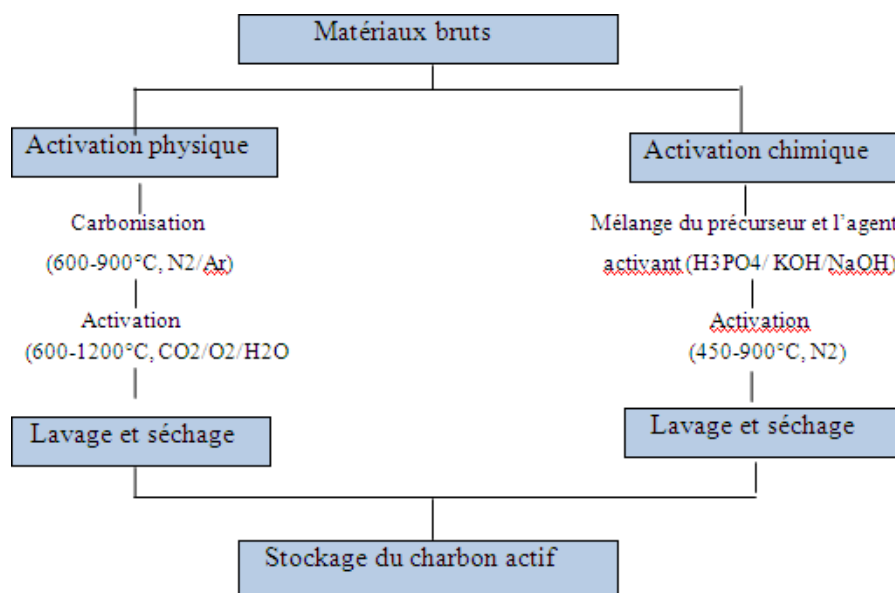


Figure I.6:diagramme schématisé de processus de la production du charbon actif

5. Caractérisation des adsorbants

Les caractéristiques physiques des particules de charbon actif permettent de déterminer les conditions d'utilisation du charbon actif.[18].l'emploi de ces supports adsorbants dans le domaine de traitement des eaux, nécessite la connaissance de leurs propriétés physico-chimiques. La connaissance de ces paramètres de caractérisation aide à l'explication des phénomènes qui régissent l'efficacité et la capacité d'adsorption du charbon utilisé [19].

Granulométrie

La granulométrie conditionne la vitesse d'adsorption (plus le grain est petit, plus le transfert de diffusion vers le centre est rapide car le chemin à parcourir pour les molécules est plus faible).

La porosité

Elle représente la fraction de volume vide d'un adsorbat. Elle est liée à la densité réelle et à la densité apparente.

La densité apparente étant le poids d'adsorbant nécessaire pour remplir un filtre de volume déterminé tandis que la densité réelle est le rapport du poids d'adsorbant (matière solide) au volume occupé par la matière solide, en tenant donc compte du volume vide entre les particules dans les pros.

Structure poreuse d'un charbon activé

Les CA sont des matériaux très poreux pouvant posséder trois types de pores selon leur dimension. La gamme de porosité est usuellement décrite selon les définitions de l'IUPAC par trois domaines distincts selon la largeur des pores [20]. Chaque type de pore joue un rôle particulier dans le phénomène d'adsorption. Les micropores déterminent pratiquement à eux seuls la capacité d'adsorption d'un charbon actif : ils représentent presque la totalité de la surface et du volume offerts à l'adsorption Les macropores et les méso pores constituent les voies de passage vers les micropores [29].

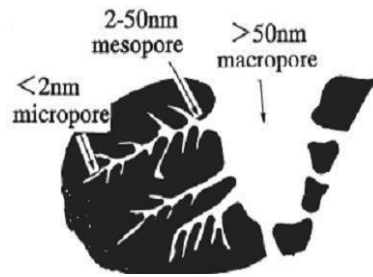


Figure I.7: structure poreuse du charbon actif.

Densité apparente

C'est un paramètre utilisé surtout pour les charbons actifs en grains, c'est le poids de charbon par unité de volume exprimé en Kg/m^3 ou d'un certain cas Eng/cm .

La densité détermine également l'expansion du lite charbon pendant le lavage à l'eau.

Il préférable de choisir des charbons peut denses.

Taux de cendre

Il s'agit de la partie inorganique, inerte, amorphe et inutilisable, présente dans le charbon actif [21] La présence de cendre dans le charbon actif n'est pas désirable pour sa qualité et est considérée comme une impureté. Le taux de cendre est obtenu par combustion à des températures allant de 650°C à 1000°C , correspondant à l'oxydation totale de la matière organique en CO_2 et H_2O (jusqu'à ce que la masse n'évolue plus) il ne reste donc plus que des composés inorganiques [22].

La teneur en humidité

Le taux d'humidité est un rapport exprimé en pourcentage, du poids de l'eau contenue dans le charbon actif, au poids du même matériau sec [23].

Détermination de pH

Le pH est une notion qui permet de façon commode et précise de désigner le caractère acide, basique ou neutre d'une solution. Il est mesuré à l'aide d'un pH-mètre à la température ambiante (18°C).

Indice d'iode

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].

6. Les différentes formes du charbon actif:

Selon leurs applications, les charbons actifs sont disponibles soit en poudre, soit en grains, soit sous forme extrudée.

Le Charbon Actif en Poudre(CAP):

Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100 μm avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25 μm . Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion : la vitesse d'adsorption est très rapide[25].



Figure I.8 : Charbon actif en poudre.

Utilisation du charbon actif en poudre CAP:

De tels charbons sont donc utilisés préférentiellement pour l'adsorption de solutions en batch.

- Les poudres fines sont utilisées en pharmacie et servent aussi à décolorer les huiles, les graisses, les vins, les sucres et de nombreux autres liquides organiques [26].

Le charbon actif en poudre est utilisé en combinaison avec un traitement de clarification.

Le charbon actif en poudre est ajouté continuellement avec l'eau à traiter avec des agents flocculants. Il est recommandé d'utiliser des clarificateurs pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau. La dose d'ozonation nécessaire dans le cadre d'une inter-oxydation est alors réduite. La principale conséquence est que le nombre de sous-produits d'ozonation diminue [27].

Avantages et les inconvénients du charbon actif en poudre CAP

Tableau I.2 : les avantages et les inconvénients de CAP

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Le charbon actif en poudre est 2 à 3 fois moins cher que le charbon actif en granulé. ● Leur dosage en quantité réglable peut suivre la concentration des polluants si celle-ci est connue. ● Leur cinétique d'adsorption est rapide. ● Favorise la décantation ● Leur emploi ne nécessite qu'un investissement réduit quand le traitement ne comporte qu'une étape de floculation-décantation 	<ul style="list-style-type: none"> ● ne peut pas être régénéré quand il est mélangé avec des boues d'hydroxyde. ● Il est difficile d'enlever les dernières traces d'impuretés sans ajouter une quantité très importante de charbon actif en poudre. ● La détection des pointes de pollution est problématique et sa concentration applicable est limitée. ● La concentration applicable est limitée à 80mg/l ● Il est utilisé essentiellement à l'occasion de dosage discontinu ou de faible importance.

Charbon actif granulé(CAG):

La forme granulaire du charbon actif est caractérisée par une taille de particule supérieure à 1 mm, un faible diamètre de pores, une grande surface interne et une surface externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans les processus d'adsorption.

Ces charbons sont préférentiellement utilisés en lit fixe pour l'adsorption des gaz et des vapeurs. Ils sont couramment utilisés prétraitement de l'eau [28].

C'est le procédé logique d'extraction par adsorption, au fur et à mesure que la concentration de l'eau en produits adsorbables diminue est mise en contact avec des couches de charbon de plus en plus pur. En conservant une vitesse suffisamment importante, il est possible d'extraire les corps adsorbables.

On peut considérer le procédé d'adsorption sur charbon granuleux comme un procédé de finition particulièrement bien adapté à l'élimination d'un apport continu et mode des matières polluantes adsorbables. Il faut cependant tenir compte du fait que le lit fixe constitue une barrière efficace contre une vague de pollution [29].



Figure I.9: Charbon actif granulé.

Utilisation du charbon actif granulé:

Ces charbons sont préférentiellement utilisés en lit fixe pour l'adsorption des gaz et des vapeurs. Ils sont couramment utilisés pour le traitement de l'eau [30].

- Pour la réduction des oxydants chlorés résiduels et une très faible élimination de certains sous-produits de désinfection tels que les bromates et les chlorates,
- Et aussi utilisé pour enlever la turbidité et pour dissoudre des composés organiques, l'odeur, les taches, les colorants.
- Il est utilisé pour l'élimination des micropolluants organiques et de la matière organique sous forme de carbone dissous.
- Il est utilisé en filtration pour des traitements de finition, car il permet l'amélioration de nombreux paramètres liés à la matière organique naturelle (MON) : couleur, goût, odeur, demande en désinfectant
- Il est utilisé en filtration biologique [31].

Avantages et les inconvénients du charbon actif granulé

Tableau I.3: les avantages et les inconvénients de CAG

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Le charbon actif granulé utilise sous forme de lit filtrant • La durée de vie du charbon actif granulé dépend de l'abattement de la matière organique et du lissage des points de pesticide. Le choix du type de charbon actif est également déterminant sur le rendement de l'élimination. • Le charbon actif granulé a une capacité d'adsorber une partie de presque toutes les vapeurs. • Il a une grande capacité d'adsorption pour les substances organiques en particulier les solvants. • Il retient un grand nombre de substances chimiques en même temps. • Il fonctionne bien dans un domaine large de température et d'humidité. • Il est inerte et on peut l'utiliser en toute sécurité. • Il est facilement disponible et de bon marché • Il est facile à manipuler Sa régénération est possible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie limitée • Pré filtration: Les carburants dissous et matières en particules peuvent rapidement encrasser le charbon, nécessitant un prétraitement dans la plupart des cas. • Il est plus couteux que le charbon actif en Poudre • La cinétique d'adsorption est lente Déchets dangereux : tout le charbon doit être finalement jeté, il peut être jeté comme déchet dangereux, ce qui augmenterait le coût et responsabilité

7. Régénération de charbon actif

Le charbon actif est un produit relativement coûteux, c'est pourquoi il est très souvent régénéré il existe quatre méthode de régénération

7.1.Régénération à la vapeur

Cette méthode est réservé à la régénération des charbons actifs qui simplement adsorbé des produit très volatils cependant, le traitement à la vapeur peut être utile pour débouché la surface des grains de charbons et désinfecté le charbon

Régénération thermique

Cette opération est réalisé par pyrolyse ou en brulant les matières organiques adsorbées par les charbons actifs dan le but d'éviter d'enflammer les charbons, ils sont chauffés aux alentours de 800°C au sein d'une atmosphère contrôlée

C'est la méthode de régénération la plus largement utilisée et régénère parfaitement les charbons actifs. Cependant de quelques avantages:

Très coûteuse avec l'achat de plusieurs fours, il y a une perte de charbon de l'ordre de 7 à 10%. l'utilisation de fours électriques réduit ces perte [32].

Régénération chimique

Procédé utilisant un solvant utilisé à une température de 100° Cet avec un Ph important.

L'utilisation de cette méthode réside dans la minimisation des pertes de charbons (environ 1%). les polluants son ensuite détruit par incinération .

Régénération biologique

Bien que le procédé de la régénération biologique soit remis en question, le fait expérimental demeure : en conditions aérobies les bactéries les bactéries son capable minéraliser la matière organique du charbon [33].

8. Charbon actif à partir de noyaux dattier :

La propriété principale des charbons actifs semble liée à la présence de micropores responsables de leur pouvoir adsorbant les macro pores et les méso pores s'apparentent à des conducteurs de fluides vers la surface interne (Addounetal.2000).

Les précurseurs du charbon peuvent être d'origine botanique (les noyaux de fruits entre autres), minérale (charbon par exemple) ou issus de matériaux polymères tel que le caoutchouc. Les déchets agricoles lignocellulosiques (substances organiques et inorganiques) contiennent des valeurs élevées en carbone environ 50% (Banat et al. 2003) sont considérés comme une bonne source de production du charbon actif, les résultats obtenus, montrent que la carbonisation de noyaux de dattes, peuvent conduire à l'obtention de charbon actif, qui pourra avoir des applications diverses : purification des gaz, élimination des phénols, traitement des eaux polluées et dans la pharmacologie .

Les noyaux de dattes :

Le noyau représente 7 à 30% de la datte entière. Il a longtemps été utilisé comme alimente bétails des dromadaires et chameaux dans les déserts. La connaissance approfondie de sa composition lui ouvra d'autres perspectives industrielles notamment en cosmétique, en alimentation, en médecine et dans la production de charbon actif.

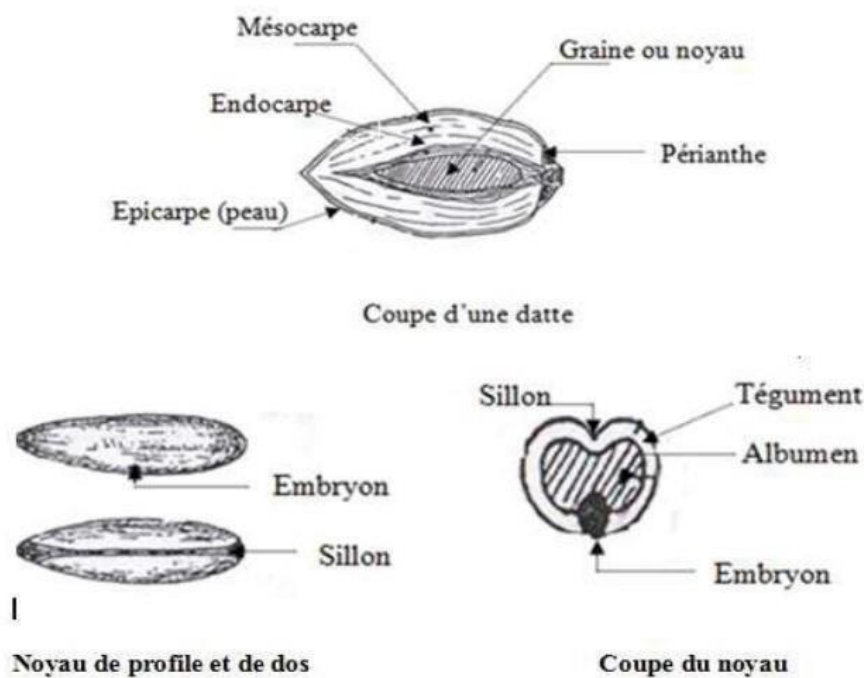


Figure I.10 : Morphologie et anatomie du fruit de la graine du dattier.

Caractéristiques physico-chimiques et minérales des ND:

La caractérisation physico-chimique et structurale nous semble nécessaire pour une meilleure compréhension des aptitudes technologiques des noyaux de dattes, n'oublions pas que notre intérêt pour le noyau est dicté par la recherche d'une formulation cosmétologique naturelle.

Caractéristiques physiques du ND:

Selon Acourene et Tama (1997), une différence significative entre arbres a été relevée sur le diamètre, le poids, la longueur du noyau même si les palmiers pris en compte proviennent d'une même exploitation. De plus, ces différences peuvent être induites par les types de pollen utilisés par les phoeniculteurs (Khalifa, 1980). Ce dernier auteur a démontré l'effet significatif des pollens sur les caractères morphologiques du noyau. Les études effectuées par Acourene et Tama, (1997), ont montré que le poids du noyau de dattes algériennes (Ziban) peut varier d'un cultivar à un autre selon différents paramètres : Poids: 0,6 – 1,69 g, diamètre: 0,58 – 1 cm et longueur: 2,9 – 3,15cm.

Composition chimique du noyau de datte:

Plusieurs auteurs ont étudié la composition chimique des noyaux de dattes [35-38].

Tableau I.4 : Composition chimique des noyaux de dattes.

Constituants	Munier,1973	Besbesetal,2004
Eau	6.46	8.6-9.4
Glucides	62.51	81-83.1
Protides	5.22	5.17-5.56
Lipides	8.49	10.19-12.67
Cellulose	16.20	-
Cendre	1.12	1.12-1.15

Les noyaux constituent un sous-produit intéressant. En effet, de ces derniers, il est possible d'obtenir une farine dont la valeur fourragère est équivalente à celle de l'orge. Le noyau de datte contient jusqu'à 13.2% de matière grasse. Cette dernière contient 14 types d'acides gras alors que seulement 8 sont présents dans la pulpe à des teneurs très faibles [34].

Composition en éléments minéraux:

L'analyse des éléments minéraux, montre que le potassium est le plus abondant dans le noyau de dattes suivi par le phosphore, le magnésium puis le calcium et enfin le sodium.

Alors que parmi les micros éléments, le fer a la teneur la plus élevée. [35]

Tableau I.5 : Composition en éléments minéraux des noyaux de dattes.

Eléments	mg/100g de matière sèche
Potassium	230-290
Magnésium	50-60
Calcium	30-40
Phosphore	60-70
Sodium	10-11
Fer	2-2.5

9. Charbon actif à partir des écorces d'orange

Dans le monde, les oranges comptent pour 75% de tous les agrumes, et l'Algérie peut être considérée comme un pays producteur, d'où les grandes quantités de peaux d'orange qui en résultent. Ceci a encouragé le test de cette biomasse en tant qu'adsorbant pour l'élimination de différents polluants dans la présente étude. L'écorce d'orange se compose principalement de la cellulose, de l'hémicellulose, des substances de pectine, des colorants de chlorophylle et d'autres composés à faible poids moléculaire comme le limonène, etc [36]

La structure morphologique de l'orange est constituée de l'extérieur vers l'intérieur de l'écorce: constituée de deux parties:

1. L'épicarpe: c'est la partie colorée appelée « flavedo » elle représente 8 à 10 % du fruit, contient des glandes à huiles essentielles, des pigments caroténoïdes, des vitamines etc.
2. Le mésocarpe: le mésocarpe interne est appelé « albédo ». il représente 12 à 30 % du fruit, de couleur blanchâtre, il contient de la cellulose, des sucres solubles, des acides aminés, des vitamines et de la pectine.
3. La pulpe : c'est la partie comestible représentant 50 à 80% du fruit.

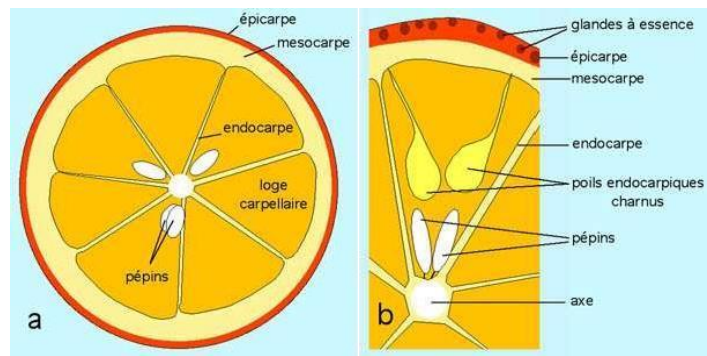


Figure I.11: Schéma détaillant la structure anatomique de l'orange.

CHAPITRE II : Généralités sur les colorants

1. Introduction

La couleur et le colorant ont toujours joué un rôle important dans la vie de l'homme depuis des époques préhistoriques. Nous devons seulement ouvrir nos yeux et regarder au tour pour observer l'importance de la couleur dans nos vies quotidiennes. Et rendre compte qu'elle a de l'influence sur nos modes et sur nos émotions. Elle augmente généralement la manière dont nous apprécions notre environnement [37]. En outre, il ya une infinité d'exemples de couleurs synthétiques, produits de l'industrie chimique. Ces couleurs ont généralement un but purement décoratif ou esthétique, mais les couleurs dans certains cas spécifiques peuvent être employées pour donner l'information essentielle, par exemple en feux de signalisation et câbles électriques de code à couleur [38].

2. Définitions

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. En générale, il consiste en un assemblage de groupes chromophores (qui lui confèrent la couleur), autochromes (qui permettent sa fixation) et de structures aromatiques [39].

Le chromophore désigne le groupement d'atomes au sein de la molécule responsable de sa faculté d'absorption dans l'UV/visible. Il est constitué en général d'un groupement d'atomes présentant des doubles liaisons chimiques. Les électrons des liaisons moléculaires sont capables d'absorber certaines radiations visibles. L'œil perçoit le mélange des radiations qui n'ont pas été absorbées [40].

Les colorants sont caractérisés par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans spectre visible (380 à 750 nm) [41].

Chapitre II : Généralités sur les colorants

Tableau II.1: Principe aux groupements chromophores et autochromes, classés par intensité croissante .

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo(-N=N-)	Amine tertiaire (-NR ₂)
Azométhine(-CH=N-)	Amine secondaire (-NHR)
Azoxy(-N=N=O)	Amine primaire (-NH ₂)
Nitro(-NO ₂ ou=NO-OH)	Hydroxyl(-OH)
Nitroso(-N=Oou-N-OH)	Metoxy(-OCH ₃)
Carbonyl (=C=O)	Iode(-I)
Thio (>C=S)	Brome(-Br)
Ethényl(-C=C-)	Chlore(-Cl)

3. Classification des colorants

D'une façon générale, et d'un point de vue atomistique, les colorants peuvent être soit inorganiques (les atomes de carbone ne sont pas majoritaires dans la composition chimique de la molécule) soit organiques (abondance de carbone dans la formule chimique), d'origine naturelle ou Synthétique. La classification des colorants peut être faite selon leur structure chimique, ou selon le domaine d'application [42].

Classification des colorants selon leurs natures

3.1.1. Colorants naturels

Ils sont très répandus, surtout dans les plantes (bois, racines, graines, fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux. On les trouve à l'état libre ou liés à des glucides ou des protéines, exemple : cochenille, indigo, pourpre.

Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup diminué. Du fait de leur cherté, on ne les utilise dans l'industrie textile, du cuir et du papier que pour des traitements spéciaux. Ils restent, en revanche très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques soumis à des réglementaires plus stricte[43].

3.1.2. Colorants synthétiques

Ce sont des composés ayant comme matières premières des molécules telles que le benzène, issu de la distillation de la houille. A partir des matières premières, et grâce à une série de procédés chimique, qui correspondent en général au remplacement d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux particuliers on peut avoir ce qu'on appelle les intermédiaires qui serviront à la fabrication du colorant final[44].

Classification chimique

Le classement d'après la structure chimiques appuie principalement sur la nature du chromophore, qui constitue les que lette nécessaire à la coloration de la molécule[45].

Tableau II.2 : Classification chimique des colorants .

Colorants	Caractéristiques et propriétés générales	Utilisations
Azoïques	<p>-Présence du groupe fonctionnel azoïque (-N=N-) qui peut être répété plusieurs fois dans la molécule pour former les monoazoïque, diazoïque, triazoïques, ... etc</p> <p>-Toxiques, cancérogènes et Récalcitrant au traitement biologique.</p>	-Teinture des Fibres cellulosiques
	-Constituent 50% de la production Mondiale des colorants.	
Anthraquinoniques	<p>-Les plus importants après les colorants azoïques.</p> <p>-Forme générale dérive de l'anthracène.</p> <p>-Leur chromophore est un noyau qui no nique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles et amino.</p>	-Teinture de textile
Indigoïdes	<p>-Forme générale dérivée de l'indigo.</p> <p>-Résistance remarquable aux traitements de lavage.</p> <p>-</p>	<p>- Appliqués sur la fibre (Nylon, soie, laine et le coton)</p> <p>- Textile</p> <p>- médecine</p>
Thiazines	Présence d'un anneau de quatre carbones, un azote et un atome de soufre.	<p>- pharmacie</p> <p>- peinture</p>
Xanthènes	<p>-Intense fluorescence. -Marqueurs lors d'accident maritime ou traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines</p>	-Teinture de textile-fongicide

Nitrés et nitrosés	-Présence d'un groupe nitro (NO ₂) en position ortho par rapport à un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupes aminés)	-Coloration de papier
---------------------------	--	-----------------------

Classification tinctoriale

Ce type de classification nous renseigne sur le domaine d'application des colorants.

Ils 'intéresse essentiellement à la solubilité des colorants dans le bain de teinture et deson affinité pour les différentes fibres textiles[46].

Les colorants acide ou anionique

Ces composés sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonâtes ou carboxylates. Ils sont appliqués sur des fibres animal est elles que la laine et la soie et sur quelques fibres acryliques modifiées .Leurs interactions avec la fibres ont basées principalement sur des liaisons ioniques entre les anions sulfonâtes et les groupes d'ammonium de la fibre.

Les colorants basique ou cationique

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques. Ils sont solubles dans l'eau et ils établissent des liaisons solides avec les fibres. De nombreux colorants basiques présentent un impact dangereux sur l'environnement.

Les colorants développé sou azoïques in solubles

Ce type de colorants est insoluble. Il se développe directement sur la fibre grâce à une réaction de couplage qui se produit entre une base diazotée et un agent de couplage. Cette classe de colorant permet d'obtenir des teintures très solides de manières générales sur les fibres cellulosiques.

Colorants décuve

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau et ils sont utilisés pour l'application de l'indigo qui nécessite la préparation d'une cuve de bonne résistance aux agents de dégradations [47].

Colorants réactifs

Les colorants réactifs sont caractérisés par la présence de groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines par la présence d'une fonction chimique réactive de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Ces colorants sont solubles dans l'eau[48].

Les colorants mordants

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile [49].

4. Aspect toxicologique et impact environnemental

Les colorants sont des composés difficilement biodégradables par les micro organismes, ils sont toxiques ou nocifs pour l'homme et les animaux.

- **4.1. Toxicité sur la santé humaine**

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. En effet, des chercheurs ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane. Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes [50].

- **4.2. Toxicité des milieux aquatiques par les rejets industriels**

Un certain nombre de colorants présente un caractère toxique sur le milieu aquatique provoquant la destruction directe des communautés aquatiques. Les rejets des usines de teinturerie et de textile sont à l'origine de diverses pollutions telles que : l'augmentation de la DBO5 et la DCO, diminuant la capacité de ré-aération des cours d'eau et retardant l'activité de photosynthèse [51].

- **4.3. Impacts sur l'environnement**

Beaucoup de colorants sont visibles dans l'eau même à de très faibles concentrations (< 1mg/l). Ainsi, ils contribuent aux problèmes de pollution liés à la génération d'une quantité considérable d'eau usée contenant des colorants résiduels. Le rejet de ces eaux résiduaires dans l'éco système est une source dramatique de pollution, d'eutrophisation et de perturbation

Chapitre II : Généralités sur les colorants

non esthétique dans la vie aquatique et par conséquent présente un danger potentiel de bioaccumulation qui peut affecter l'homme par transport à travers la chaîne alimentaire [52].

5. Domaines d'utilisation des colorants

L'industrie des colorants constitue un marché économique très considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés. Les colorants sont utilisés principalement

- Dans l'industrie textile, fourrure, cuir (textile à usage vestimentaire).
- Dans l'industrie de la matière plastique (pigments)
- Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigments), matériaux de construction, céramique.
- Dans l'industrie du cosmétique (dont les colorations capillaires).
- Dans l'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires)

Chapitre III : Spectroscopie infrarouge FT-IR

1. Introduction

Les spectromètres FT-IR ont été développés pour apporter une réponse aux limitations des spectromètres dispersifs. L'introduction de l'interféromètre de Michelson en spectroscopie IR à élargie considérablement les domaines d'application.

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) est une technique de mesure qui utilise l'interaction de lumière IR avec les vibrations moléculaires et permet l'acquisition de spectres infrarouges. Le signal mesuré est un interféro gramme. Le spectre IR est calculé en utilisant la transformée de fourrier [53].

2. Historique

Le rayonnement infrarouge (IR) fut découvert en 1800 par Frédéric Wilhelm Hershel. Ces radiations localisées au-delà des longueurs d'onde dans le rouge, sont situées entre la région du spectre visible et des ondes hertziennes.

Les techniques d'analyses par Infrarouge à Transformée de Fourier ont fait leurs premiers pas au début des années 70[54].

3. Définition

Infrarouge

Le nom infra signifie (du latin: «plus bas»),car l'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière rouge [55]. Les radiations infrarouges(IR) se situent dans la partie du spectre électromagnétique comprise entre la région visible et celle des micro-ondes. La région limites entre4000et400cm⁻¹est la plus utile d'un point de vue pratique pour le chimiste [56].

Spectrométrie infrarouge

C'est une méthode d'analyse non destructive, basée sur l'étude de l'absorption par l'échantillon des radiations électromagnétiques dans la région infrarouge. La partie la plus riche en informations et la plus accessible du point de vue expérimental est celle du moyen infrarouge (λ comprise entre 2.5 et 25 μm soit ν compris entre 0.04 et 0.4 cm^{-1}). Les absorptions dans ce domaine forment une sorte d'empreinte digitale des composés caractéristiques des liaisons inter atomiques qui le composent, l'absorption de la lumière a pour origine l'interaction entre les radiations de la source lumineuse et les liaisons chimiques.

Ces absorptions provoquent des vibrations et des rotations moléculaires. Les vibrations sont essentiellement localisées dans les groupements fonctionnels qui peuvent ainsi être identifiés par leur bande d'absorption [57].

4. Base et Théorie

Phénomène d'absorption

Un atome peut absorber ou émettre un rayonnement comme résultat d'une transition entre différents états correspondant à des fonctions électroniques différentes ; ainsi son énergie électronique E_{el} peut être modifiée. Il en est de même pour les molécules. Mais pour celles-ci, des degrés de liberté supplémentaires doivent être considérés (de vibration et de rotation) et leur énergie peut varier suivant deux modes qui ne sont pas envisageables pour l'atome seul, à savoir :

- Par accroissement ou diminution de leur énergie de vibration E_{vib}
- Par accroissement ou diminution de leur énergie de rotation E_{rot}

En première approximation, l'énergie quantifiée E_{qu} d'une molécule est la somme de ces trois énergies quantifiées, soit :

$$E_{qu} = E_{el} + E_{vib} + E_{rot}$$

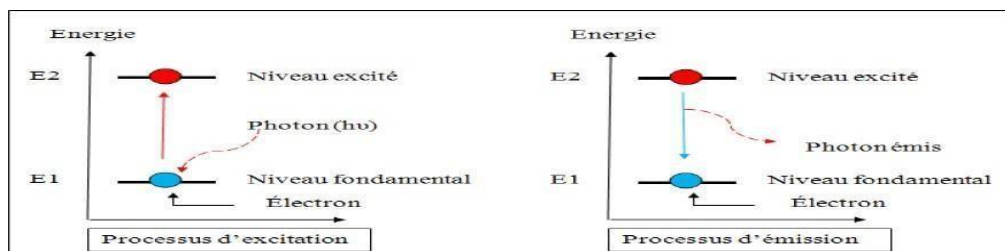


Figure III.1 : Phénomène d'absorption.

Chapitre III : Spectroscopie infrarouge FT-IR

Ces énergies sont quantifiées, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent prendre que des valeurs discrètes, et la lumière émise par l'équipement ne sera absorbée par l'échantillon que si elle permet à la molécule constituant cet échantillon de passer de son état énergétique initial **E1** à un état énergétique supérieur **E2**, l'énergie apportée par le quantum de lumière **hν** étant exactement égale à la différence d'énergie (**E2-E1**) entre les deux états. Ilya aura alors, à cette fréquence **ν**, affaiblissement du rayonnement continué mis par l'appareil, et donc apparition d'une bande d'absorption [59]

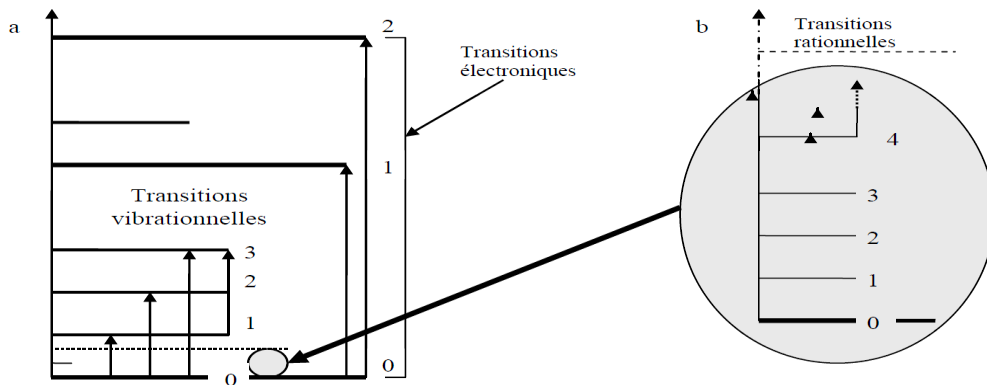


Figure III.2 : États stationnaires des énergies électronique et vibrationnelle(a)et rotationnelle (a et b) et transitions entre les niveaux correspondants.[60]

Modèle simplifié des interactions vibrationnelles

L'absorption infrarouge par la molécule met enjeu deux types de vibration:

- Vibration d'élongation correspondant à l'étirement d'une liaison A-B, notée N_{ab}
- Vibration de déformation (ou flexion) correspondant à la variation d'un angle de valence, notée δ_{AB} [61].

Modèle harmonique

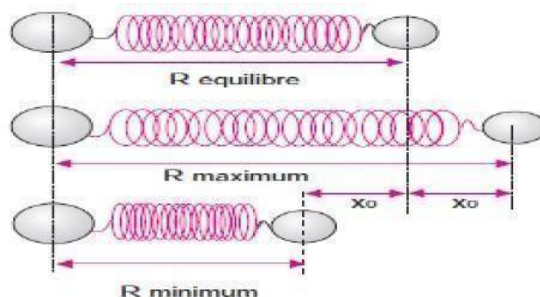


Figure III.3 : Une molécule diatomique représente l'oscillateur.

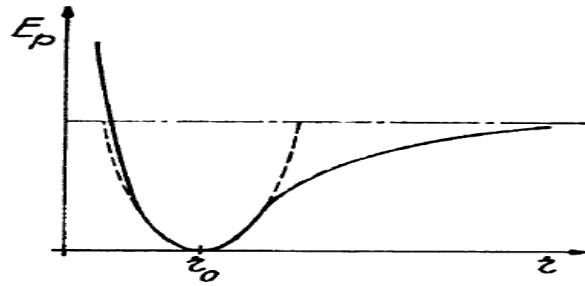


Figure III.4 : Courbe de Morse l'oscillateur sous la forme d'un oscillateur harmonique.

Pour modéliser les vibrations des liaisons, on se réfère à l'oscillateur harmonique, ensemble formé par deux masses pouvant glisser sans frottement sur un plan et réunies par un ressort. Si on écarte les deux masses d'une valeur x_0 par rapport à la distance d'équilibre Re , et qu'on relâche le système, celui-ci se met à osciller avec une période qui dépend de la constante de raideur du ressort k et des masses en présence. La fréquence approchée est donnée par la **loi de Hooke** (formule a.1) dans laquelle μ représente la masse réduite du système.

$$\nu_{\text{Vib.}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

Avec

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

L'énergie mécanique de vibration de ce modèle simple E_{vib} , peut varier de manière continue. Après une élongation Δx_0 faible (mais quelconque), par rapport à la distance d'équilibre Re , elle vaut :

$$E_{\text{vib.}} = \frac{1}{2} k \Delta x_0^2$$

Pour une liaison :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

Avec:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$$

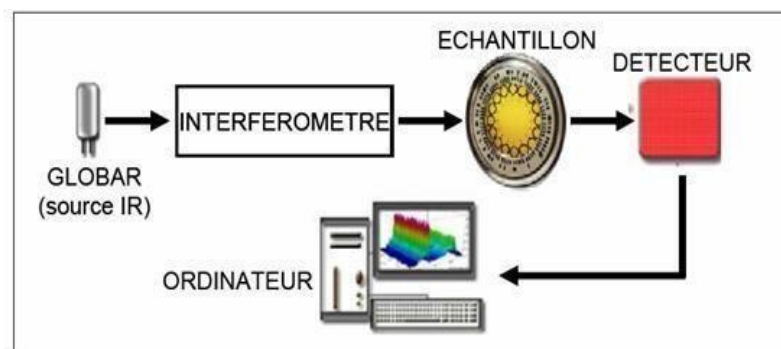
Une liaison, dont la fréquence de vibration est ν , pour absorber une radiation

$$E = h\nu (V + 1/2)$$

lumineuse à condition que sa fréquence soit identique. Son énergie s'accroîtra du quantum $\Delta E = h\nu$. Selon cette théorie, l'expression simplifiée donne les valeurs possibles de E_{Vib} :

$V = 0, 1, 2, \dots$, est appelé nombre quantique de vibration. Il ne peut varier que d'une unité ($\Delta V = +1$, transition dite de « simple quantum »). Les différentes valeurs de l'expression a.3 sont séparées par un même intervalle $\Delta E_{Vib} = h\nu$ [62].

5. Généralités sur la spectroscopie FT-IR



Description d'un spectromètre FT-IR

Figure III.5 : Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR.

Un spectromètre à transformée de Fourier comporte essentiellement cinq parties(**Figure5**):

- Une source lumineuse,
- Un dispositif permettant de générales interférences(l'interféromètre).
- Un compartiment d'échantillon qui permet d'accueillir plusieurs types d'accessoires dépendant du mode des mesures et de la nature de l'échantillon.
- Un détecteur ou capteur photo sensible :les détecteurs les plus utiliséssont :les détecteurs (DTGS) et les détecteurs (MCT) à l'azote liquide.
- Le convertisseur qui transforme le signal analogique en un signal numérique [**63**].

Principe de fonctionnement du spectromètre FT-IR

Les spectromètres infrarouges à transformée de Fourier correspondent à un montage optique à simple faisceau qui comporte comme pièce essentielle un interféromètre- souvent de type Michelson- placé entre la source et l'échantillon. Les radiations issues de la source poly chromatique viennent frapper une séparatrice, constituée d'un film semi- transparent de germanium déposé sur une lame de KBr.Ce dispositif permet de générer deux faisceaux dont l'un se dirige vers un miroir fixe et l'autre vers un miroir mobile dont on fait varier la distance à la séparatrice. Ces deux faisceaux, recombines en suite sur le même trajet, traversent l'échantillon avant de venir frapper le détecteur qui reçoit l'intensité lumineuse globale. Le cœur de l'interféromètre de Michelson est le miroir mobile, seule pièce en mouvement, qui oscille au cours du temps entre deux positions extrêmes.

Lorsque sa position est telle que les chemins empruntés par les deux faisceaux ont même longueur, la composition de la lumière sortant de l'interféromètre est identique à la lumière qui y entre. Par contre, lorsque le miroir mobile quitte cette position particulière, la lumière sortant une composition spectrale qui dépend du déphasage entre les deux voies: le signal transmis au cours du temps parle détecteur est traduit sous forme d'un interférogramme, $(Int. totale) = f(\delta)$, δ représentant la différence de trajet optique entre les deux voies. La gestion du banc optique et l'acquisition des données est réalisée par une interface électronique spécifique.

Chapitre III : Spectroscopie infrarouge FT-IR

Pendant le déplacement du miroir, un convertisseur ADC échantillonne l'interférogramme sous forme de milliers de points. Chacune de ces valeurs correspond à une position du miroir et représente l'intensité globale qui a traversé l'échantillon. Il s'agit formellement du second membre d'une formidable équation linéaire dont les termes correspondent aux intensités des n différentes longueurs d'onde (choisies en nombre fini) pour la position considérée du miroir et après absorption par l'échantillon. À partir de ces milliers de valeurs, un microprocesseur spécialisé exécute, en moins de temps qu'il ne faut pour le dire, le calcul d'une matrice géante en suivant un algorithme particulier de transformée de Fourier rapide, dû à Cooley, pour conduire aux amplitudes de chaque longueur d'onde de la bande spectrale étudiée. Compte tenu d'un facteur de résolution imposé par la méthode de calcul, on obtient la représentation classique du spectre $I = f(\lambda)$ ou $I = f(\nu)$. Selon le théorème de Nyquist, il faut au moins deux points par période pour retrouver, par calcul, une longueur d'onde donnée du spectre. Pour obtenir le spectre d'un échantillon, équivalent à celui obtenu avec un appareil double faisceau, on enregistre deux spectres des intensités transmises : le premier, sans échantillon (fond d'absorption, background en anglais) et le second, avec l'échantillon. Le spectre traditionnel, en % de T , est issu de la comparaison des deux spectres précédents [64].

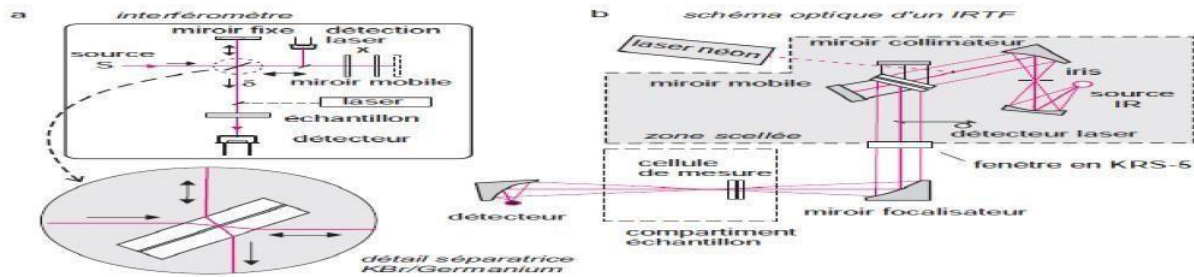


Figure III.6 : Montage optique d'un appareil à transformée de Fourier .

L'information striée des spectres sont de deux sortes:

Informations qualitatives : Les longueurs d'onde auxquelles l'échantillon absorbe, sont caractéristiques des groupes chimiques présents dans le matériau analysé. Des tables permettent d'attribuer les absorptions aux différents groupes chimiques présents[65].

Informations quantitatives : L'intensité de l'absorption à la longueur d'onde caractéristique est reliée à la concentration du groupe chimique responsable de l'absorption. En mesurant l'aire du signal caractéristique on peut, si on connaît l'épaisseur de la couche, comparer la proportion d'un groupement chimique donné dans plusieurs échantillons à une composition constante avoir une idée de l'épaisseur des films les uns par rapport aux autres.

6. Les applications industrielles

La Spectroscopie FT-IR est largement utilisée en raison de sa fiabilité et sa polyvalence d'analyser de nombreux types des échantillons. Le spectromètre FT-IR est souvent le premier instrument utilisé pour identifier un polymère ou un composé organique inconnu.

Dans les industries de raffinages et pétro chimiques, la spectroscopie FT-IR permet d'identifier les résines, les résidus, les aromatiques etc. [66].

CHAPITRE IV : Matériaux et Méthodes d'études Expérimentales

1. Introduction :

Ce chapitre présente les matériaux et les méthodes employés pour l'étude de l'adsorption de la bleu méthyle et méthyle orange sur un charbon actif commercial et charbon actif préparé à partir des noyaux de dattes et Écorces d'orange.

Des tests physico-chimiques ont été réalisés sur cette formulation et également décrites.

2. Méthodologie Expérimentales :

Matériels, produits et appareillage :

Matériels:

- Bêchers (1000 ml, 250 ml).
- Fioles (1000 ml, 250 ml, 100ml, 50 ml).
- Erlenmeyers.
- Verre de montre.
- Eprouvette graduée.
- Entonnoirs.
- Tubes à essai.
- Agitateur magnétique
- Thermomètre.

Produits Utilisés :

- Le bleu de méthylène (BM)
- Le méthyle orange (MO)
- Acide phosphorique (H₃PO₄)
- H₂O

Appareillages :

- Etuve.

- Une balance analytique.
- Plaque chauffante magnétique.
- Spectroscopie infrarouge FT-IR
- Broyeur
- Four

Adsorbants :

Pour la réalisation des essais de l'élimination des colorants, nous avons utilisé deux types de charbon actifs, un charbon actif commercial et un autre déjà préparé à base de noyaux de dattes et écorces d'orange.

Principe :

Dans le but de la valorisation des déchets agricoles, des supports abondants, moins coûteux et efficaces pour la rétention d'une espèce métallique, des colorants ainsi qu'un charbon actif ont été testés. Cette étude repose sur la proposition de deux supports naturels qui sont un charbon actif commercial (CAC) et un charbon actif préparé (ND, ECO) à base de noyaux de dattes et écorces d'orange. Ces derniers ont été utilisés dans l'adsorption des différents polluants. Ceci a aussi permis d'examiner l'effet de ces traitements sur la performance de ce procédé d'adsorption dans la dépollution de milieux aqueux. Toutes les méthodes de traitement seront présentées dans par la suite.

Préparation des adsorbants (écorces d'orange – noyaux de dattes) :

Préparation d'un produit brut (rinçage séchage)

On commencer par le rinçage du écorces d'orange et noyaux de dattes avec l'eau, en suite a été lavé avec de l'eau distillée à la température ambiante, et complètement séché à 110°C pendant 24 h, avec une perte de poids d'environ (10%-15%).Après en doit écraser notre produit et faire le tamisage.



Figure IV.1 : séchage des écorces d'oranges.



Figure IV.2 : séchage des noyaux de dattes.

Le broyage :

Le broyage a été réalisé afin d'obtenir des grains homogènes de taille généralement inférieure à 2 mm pour les besoins des expériences.



Les écorces d'oranges

Les noyaux de dattes

Figure IV.3 : les supports après broyage.

Le lavage

Les supports broyés sont lavés plusieurs fois à l'eau distillée afin d'éliminer toute sorte de poussières ou d'impuretés adhérentes jusqu'à l'obtention des eaux de lavage claires.



Figure IV.4 : Lavage des écorces d'orange.



Figure IV.5 : Lavage des noyaux.

Une fois le lavage terminé, on procède à la filtration pour éliminer le maximum d'eau mécaniquement.

Le séchage:

Après l'étape de la filtration, un deuxième séchage dans l'étuve s'impose à fin d'éliminer le maximum d'humidité résiduelle, en vue de prévenir d'éventuelles altérations des propriétés physicochimiques des supports. Comme pour le premier séchage, celui-ci s'effectue dans une étuve à :

- Une température de 110 °C pendant 24 heures pour les écorces d'oranges
- Une température de 110 °C pendant 24 heures pour les noyaux de dattes

Le Tamisage:

Les tailles des particules utilisées pour les essais d'adsorption ont été isolées mécaniquement au moyen d'un tamiseur dont les dimensions des mailles correspondes à des diamètres de :

- Pour les écorces d'oranges : compris entre 0.5 et 0.22 mm.
- Pour les noyaux de dattes : compris entre 0.5 et 1 mm.

Les échantillons sont conservés dans des flacons pour les expériences ultérieures

Activation des adsorbants :

Des méthodes d'activation multiples sont disponibles dans la littérature, parmi les quelles on a choisi deux méthodes :

2.2.3. A. Première méthode : on a utilisé la pyrolyse après l'activation chimique (ND) :

a. Carbonisation (ou pyrolyse):

Pour transformer la matière première en charbon carbonisé on utilise un four à moufle à une température de 700°C pendant une durée de carbonisation qui dépend éventuellement de la quantité de matière employée (10 g) qui est de l'ordre de 90 secondes par gramme de matière première (15 min).



Figure IV.6 : ND après pyrolyse.

b. Activation chimique du charbon(après pyrolyse) :

la quantité de noyaux de dattes carbonisés sont imprégnés à température ambiante avec la solution de l'agent d'activation (H_3PO_4 40 %) durant 3 heures. Une fois filtrés le charbon activé est lavé à l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un pH neutre, puis séché à l'étuve à une température de 110 °C pendant 24 heures. Le charbon actif obtenu est conservé dans un flacon fermé hermétiquement jusqu'au moment de l'emploi.

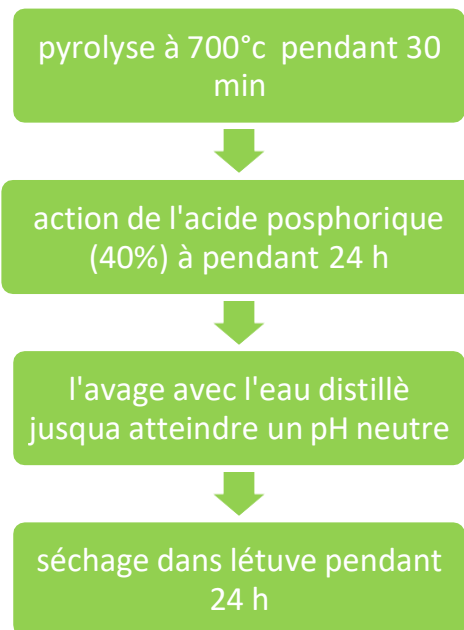


Figure IV.7 : Schéma sur les étapes de préparation d'un charbon actif (ND).

B. deuxième méthode : on a utilisé l'activation chimique après la pyrolyse (ECO) :

a. Activation chimique du charbon :

20 g des écorces d'orange sont imprégnés à température ambiante avec la solution de l'agent d'activation (H_3PO_4 40 %) durant 3 heures. Une fois filtrés le charbon activé est lavé à l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un pH neutre, puis séché à l'étuve à une température de 110 °C pendant 24 heures.

b. Traitement thermique (Pyrolyse) :

Ce traitement repose sur l'activation thermique de support préparé au laboratoire à partir de la calcination des sous-produits qui sont les écorces d'orange. Après un lavage préliminaire, ces déchets ont été calcinés à 700°C, avec exclusion d'air dans un four à moufle pendant 30 min, ensuite ils sont prêts à être utilisés. Le charbon actif obtenu est conservé dans un flacon fermé hermétiquement jusqu'au moment de l'emploi.

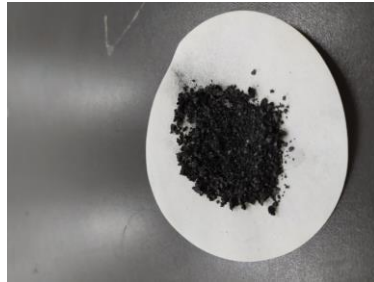


Figure IV.8 : ECO après pyrolyse.

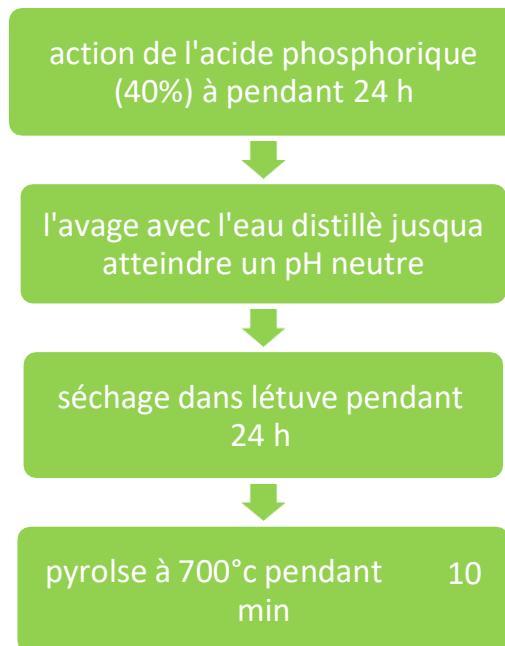


Figure IV.9 : Schéma sur les étapes de préparation d'un charbon actif (ECO).

Adsorbat :

Préparation de la solution mère de bleu de méthylène (BM) :

Pour préparer la solution mère, nous avons pris 100 mg du bleu de méthylène (BM) et nous l'avons dilué avec l'eau distillée jusqu'à 1 litre dans une fiole jaugée. Après agitation, à l'aide d'une plaque d'agitation magnétique, nous avons obtenu une solution homogène de couleur bleue foncé.

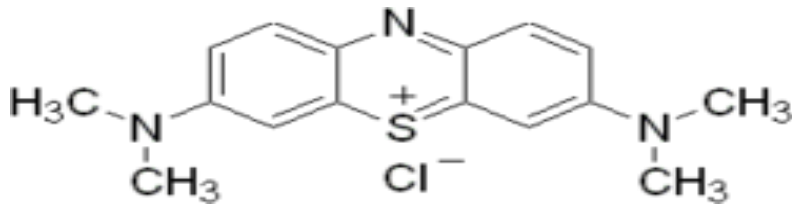


Figure IV.10 : Structure du bleu de méthylène.

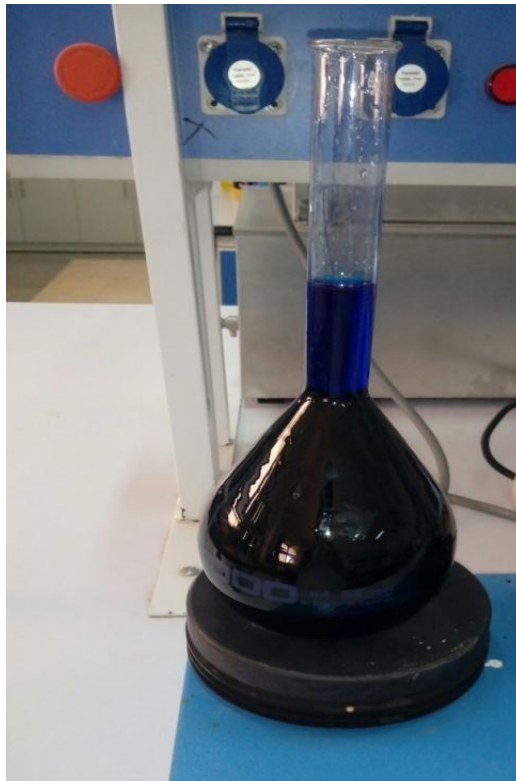


Figure IV.11 : La solution de BM.

Préparation de la solution mère de méthylorange (MO):

Pour préparer la solution mère, nous avons pris 100 mg du de méthylorange (MO) et nous l'avons dilué avec l'eau distillée jusqu'à 1 litre dans une fiole jaugée. Après agitation, à l'aide d'une plaque d'agitation magnétique, nous avons obtenu une solution homogène de couleur orange.

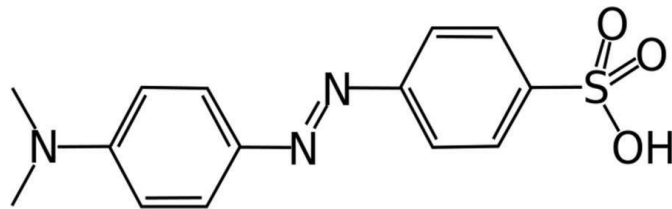


Figure IV.12 : Structure du méthyle orange.



Figure IV.12 : La solution de MO.

Les effets de certain paramètre sur l'adsorption du BM et MO :

- **Effet de la masse d'adsorbant:**

Pour étudier l'effet de la masse d'adsorbant sur l'adsorption suivant les étapes suivantes:

- On prépare 7 échantillons d'une solution de BM de concentration 100 mg/l et un volume de 50 ml, avec différentes masses de charbon actif (10 mg ; 20 mg ; 30 mg ; 40 mg ; 50 mg ; 60 mg ; 70 mg), sous une agitation magnétique 350 tr/min et la température ambiante pendant 45 min, le pH des solutions mesuré égal à 7.

3.Méthodologie :

- **La capacité d'adsorption** du colorants bleu de méthylène et méthyle orange sont calculés sous la formule suivante :

$$q_t = (c_0 - c_e) * \frac{v}{m} \dots \dots \dots \text{(IV.2)}$$

- q_t : La quantité adsorbée à l'instant t (mg/g).
- c_0 : La concentration initiale en colorant (mg/l).
- c_e : La concentration en colorant à l'instant t (mg/l).
- v : Le volume de la solution (ml).
- m : La quantité de l'adsorbant en solution (g).

- **Le rendement d'élimination du bleu de méthylène et méthyle orange :**

Ou encore par la détermination du taux d'élimination du colorant, noté **R** et exprimé en pourcentage(%), il est défini par :

$$R = \frac{(c_0 - c_e)}{c_0} * 100 \dots \dots \dots (IV.3)$$

Où :

- C₀: Concentration initiale du colorant (mg/l).
- C_e: Concentration du colorant à l'instant t (mg/l).

CHAPITRE V : Résultats Et Discussions

1. Introduction :

Dans ce chapitre, tous les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés. En effet, comme mentionné auparavant, le programme expérimental réalisé a considéré l'étude de l'adsorption du bleu de méthyle et méthyle orange (colorants) comme polluants organiques, et du charbon actif commercial et à base de noyaux de dattes et écorces d'orange comme adsorbants. Pour chaque polluant, une étude expérimentale a été menée considérant l'influence de quelques paramètres physicochimiques sur la capacité d'adsorption des matériaux utilisés.

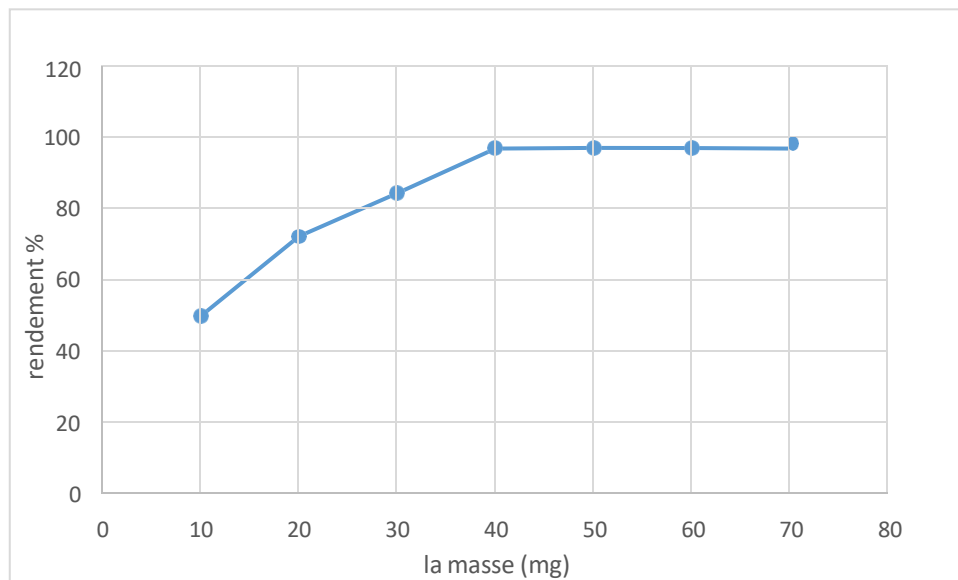
2. Résultats et discussion:

- 2.1.Effet de la masse :

Le tableau (IV. 4) et la figure (IV. 8) représentent les résultats sur l'effet de la masse sur l'adsorption du bleu de méthylène.

Tableau V.1 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur ND.

m (mg)	10	20	30	40	50	60	70
Ce	50.230	27.919	15.772	3.229	3.179	3.130	3.229
R (%)	49.77	72.081	84.228	96.771	96.821	96.87	96.771



Chapitre V : Résultats Et Discussions

Tableau V.2 : Influence de la masse sur l'adsorption du MO sur ND.

	10	20	30	40	50	60	70
Ce	52.340	28.817	16.645	4.267	4.188	3.180	4.264
R (%)	47.66	71.183	83.355	95.733	95.812	96.82	95.736

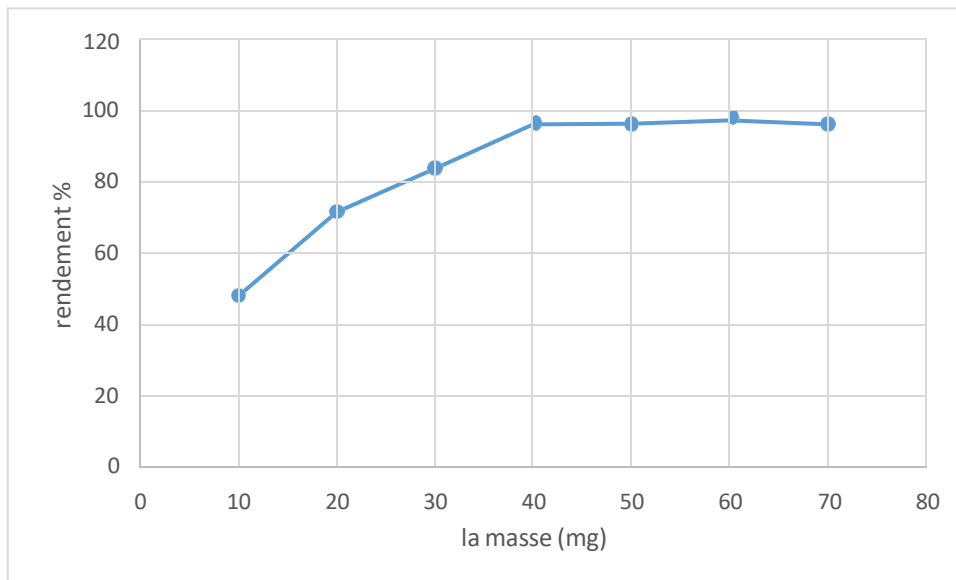
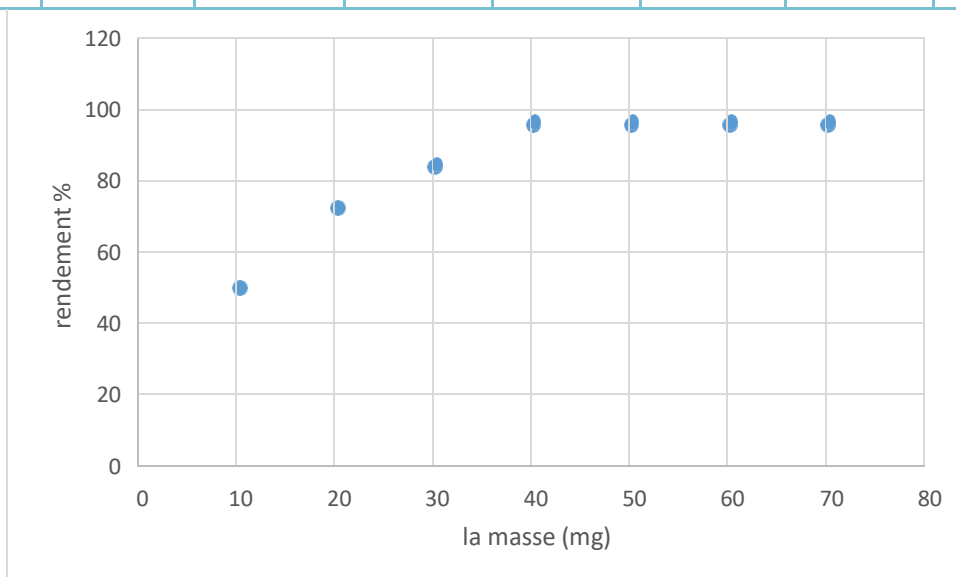


Tableau V.3 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur ECO.

m (mg)	10	20	30	40	50	60	70
Ce	50.260	27.777	15.551	3.887	3.799	3.780	3.886
R (%)	49.74	72.223	84.449	96.113	96.201	96.22	96.114



Chapitre V : Résultats Et Discussions

Tableau V.4 : Influence de la masse sur l'adsorption du MO sur ECO

m (mg)	10	20	30	40	50	60	70
Ce	49.550	29.761	14.588	2.887	3.322	3.304	2.887
R (%)	50.45	70.239	85.412	97.126	96.678	96.696	97.113

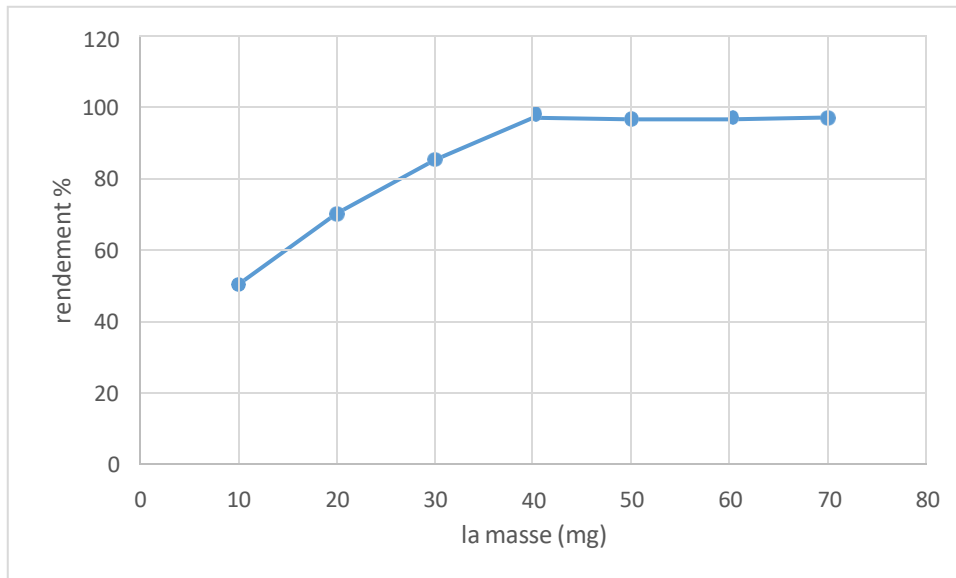


Tableau V.5 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur CAC.

m (mg)	10	20	30	40	50	60	70
Ce	41.454	24.361	2.867	2.674	2.790	3.964	2.675
R (%)	58.546	75.636	97.533	97.326	97.210	96.046	97.325

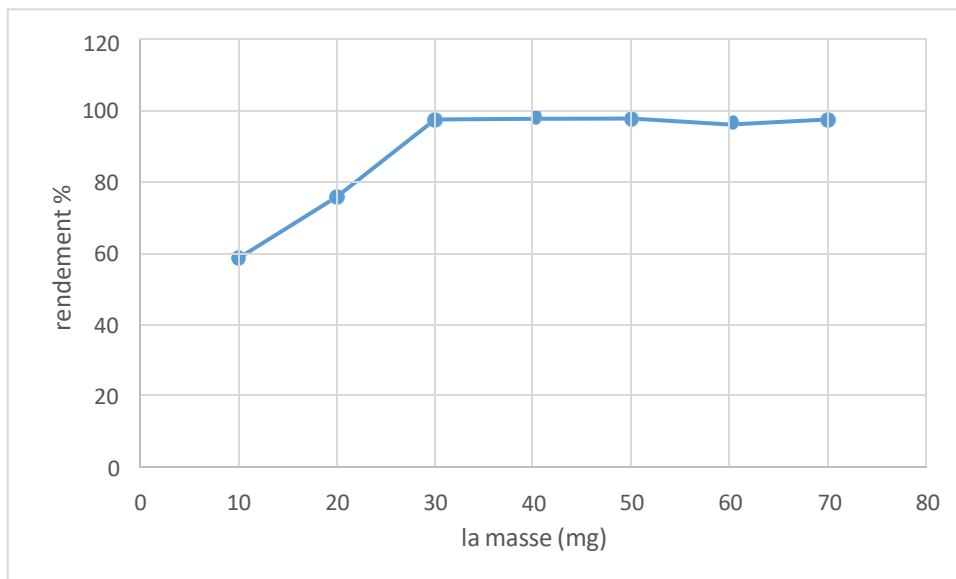
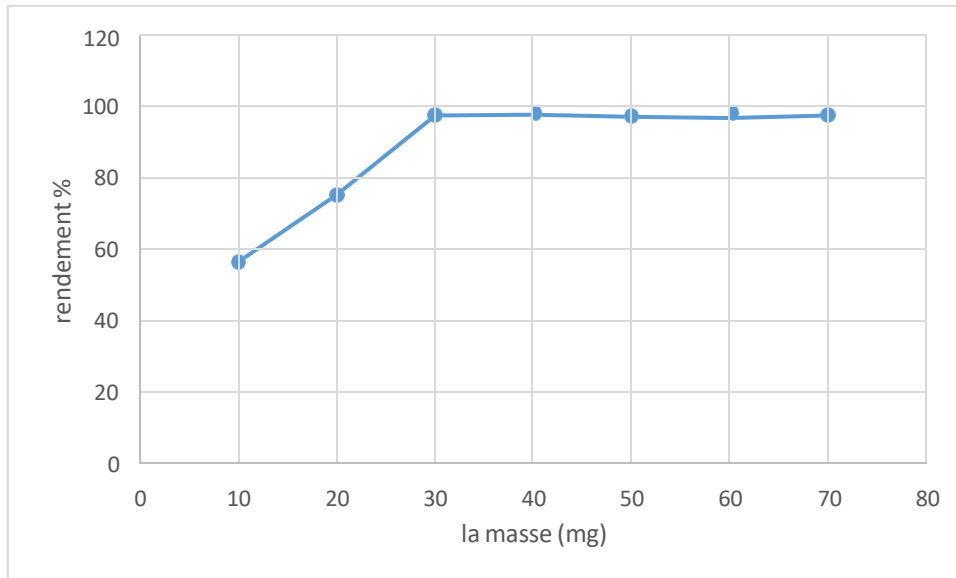


Tableau V.6 : Influence de la masse sur l'adsorption du MO sur CAC.

m (mg)	10	20	30	40	50	60	70
Ce	43.414	24.741	2.624	2.444	2.769	3.112	2.441
R (%)	56.586	75.259	97.746	97.556	97.231	96.888	97.559



Les tableaux nous donnent les quantités du BM et MO adsorbées à l'équilibre en fonction de la masse de l'adsorbant (ND , ECO ,CAC) . Ces tableaux montrent que dans tous les cas, le pourcentage d'élimination des BM et MO augmente lorsque la masse de l'adsorbant augmente. L'augmentation de la masse de l'adsorbant augmente la surface spécifique et donc le nombre des sites disponibles d'adsorption pour conséquence l'augmentation de la quantité de colorant adsorbé. Bien que le pourcentage d'adsorption augmente avec l'augmentation de la dose d'adsorbant, la masse de charbon actif qui sera prise en compte dans les études ultérieures sera 40 mg sur les adsorbants ND et ECO et 30 mg sur l'adsorbant CAC.

Les courbes montrent que les pourcentage d'élimination de BM sont pratiquement (96.77 %) , (96.11%) ,(97.533%) et les pourcentage d'élimination de MO sont pratiquement(95.73%) , (97.12%) ,(97.746 %) pour les charbons actifs de ND ,ECO et CAC respectivement .

1. Interprétation des spectres

L'analyse par infrarouge est utilisée afin d'identifier les principales fonctions chimiques présentes à la surface du charbon.

Notre but est d'étudier de plusieurs effets sur le charbon actif

1. Etude de l'effet d'activation chimique, cette étude confère la différence de groupement fonctionnel à la surface de charbon actif à partir d'utilisation d'un agent active ou non.
2. Etude de l'effet de pyrolyse, leur utilisation ou pas dans mécanisme d'activation donne une différence toujours dans les groupements fonctionnels.

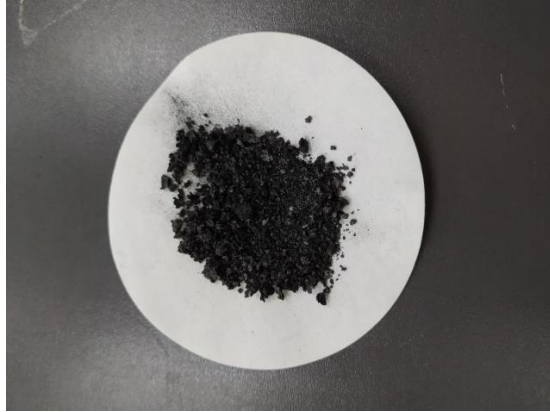
2. Etude de l'effet d'activation chimique et pyrolyse :

Le spectre infrarouge des charbons actifs sont reportés sur les figures 27, on fait une comparaison entre les 3 adsorbants qui sont :

- Charbon pyrolyse après activé chimiquement par H_3PO_4 (ND)



- Charbon activé chimiquement par H_3PO_4 après pyrolyse (ECO)



- Charbon active commercial

Nom de médicament : Carbo – Calm.



Les spectres IR montrent une distribution des pics presque similaire pour les trois types de matériaux :

Les groupes fonctionnels sont des unités structurales au sein de composés organiques définis par des arrangements spécifiques d'atomes et de liaisons. L'infrarouge est un outil d'identification puissant pour les groupes fonctionnels en raison des fréquences d'absorption similaires pour ces groupes dans différentes molécules. La fréquence réelle est affectée par l'environnement, de sorte que le tableau de référence montre des bandes larges plutôt que des fréquences spécifiques. L'identification des groupes fonctionnels est une pierre angulaire de la spectroscopie IR et de la chimie organique.

Liaison Nombre d'onde (Cm-1) noyaux de datte:

Vibration d'élongation du groupe des hydroxyles symétrique $\nu_s(\text{O-H})$ (liée) (Alcool et phénol) 3185-3617 3435 Vibration d'élongation asymétrique du groupe des méthyles et méthylènes $\nu_{as}(\text{C-H})$ 2922 2930 Vibration d'élongation symétrique du groupe des méthyles et méthylènes $\nu_s(\text{C-H})$ 2851 2860 Vibration du groupe des alcynes $\nu(\text{C}\equiv\text{C})$ 2064-2206 2123 Vibration d'élongation du groupe des carbonyles (C=O) 1746, 1310 1736, 1332 Vibration d'élongation oléfinique $\nu(\text{C}=\text{C})$ 1622 1643 Vibration d'élongation squelettique dans les cycles aromatiques (C=C) 1506 1505 Vibration $\delta(\text{C-H})$: (-CH₂=) 1457 1465 Vibration $\delta(\text{C-H})$: (-CH₃-) 1374 1380 Groupe des esters, éthers ou phénols 1243 1252 Groupe d'alcools 1108 1113 Vibration d'élongation (C-O) 1067 1046 Vibrations dérivées du benzène $\delta(\text{C-H})$ 867 897 Vibration d'élongation du groupe des hydroxyles $\delta(\text{O-H})$ 452-767 660 Généralement, les traitements thermiques, effectués sur les matériaux, affectent directement les liaisons chimiques.

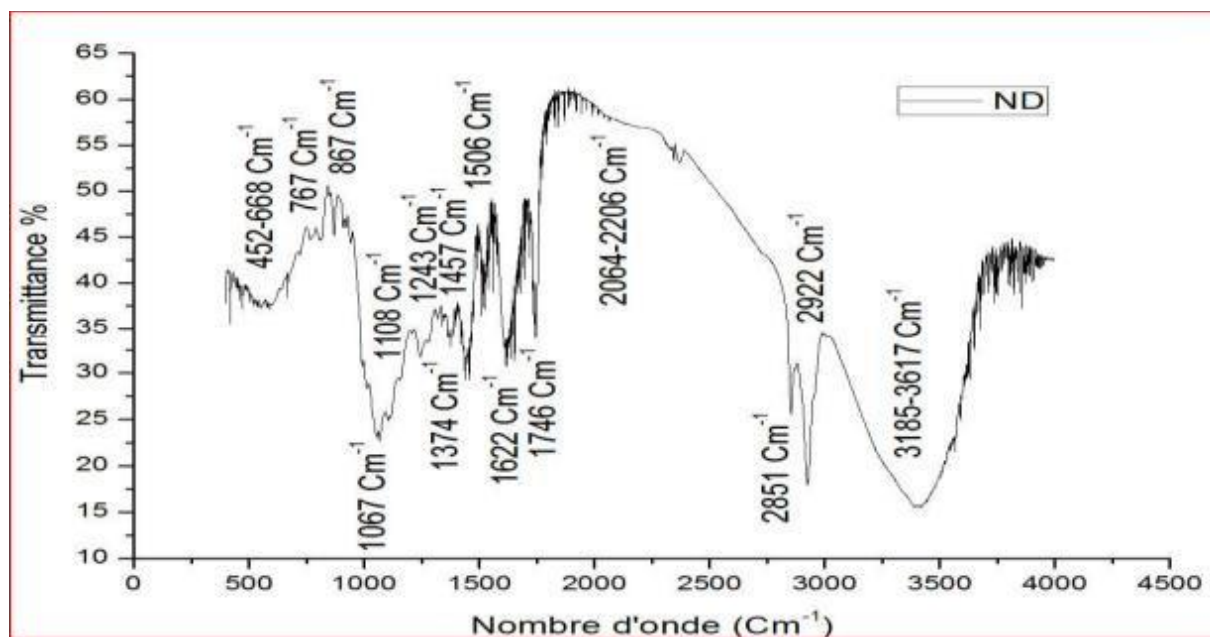


Figure V.1 : Spectre FT-IR ATR des charbons actifs préparés (datte) par H₃PO₄ à 40%.

Tableau V.7 : Identification du spectre infrarouge des noyaux de datte :

Bande d'absorption (cm ⁻¹)	Vibration de liaison	L'intensité de liaison	Identification probable du groupement
3279,59 – 3600	O-H	Forte	Acide carboxylique (cellulose, lignine)
2918,35	C-H (asymétrique)	Moyenne	Aliphatique
2849,92	C-H (symétrique)	Faible	Aliphatique
2250-2300	C=N		
1734,63 -1750	C=O	Faible	Acide carboxylique, Cétone
1603,53	C=C	Moyenne	Cycles aromatiques, Alcènes
1420,91-1241,85	CH ₂ , CH ₃ (déformation angulaire)	Moyenne	Radicaux libres
1030,23	C-O	Très forte	Alcools
900 – 1000	C=C	Faible	Aliphatique
600-650	C-H(déformation angulaire)	Forte	Aliphatique

Tableau V.8 : Identification du spectre infrarouge charbons actifs préparés (orange)
par H₃PO₄ à 40% . :

Bande d'absorption (cm ⁻¹)	Vibration de liaison	L'intensité de liaison	Identification probable du groupement
2918,35-3000	C-H (asymétrique)	Moyenne	Aliphatique
2849,92	C-H (symétrique)	Faible	Aliphatique
2250-2300	CN	Faible	Triple liaison du nitrile
1734,63-1750	C=O	Faible	Acide carboxylique, Cétone
1603,53	C=C	Moyenne	Cycles aromatiques, Alcènes
1420,91-1241,85	CH ₂ , CH ₃ (déformation angulaire)	Moyenne	Radicaux libres
1030,23	C-O	Très faible	Alcools
850 – 880	O-H	Faible	Eléments phosphoriques
817,66 – 707,07	C-C	Faible	Aliphatique
594,65-600	C-H(déformation angulaire)	Très forte	Aliphatique

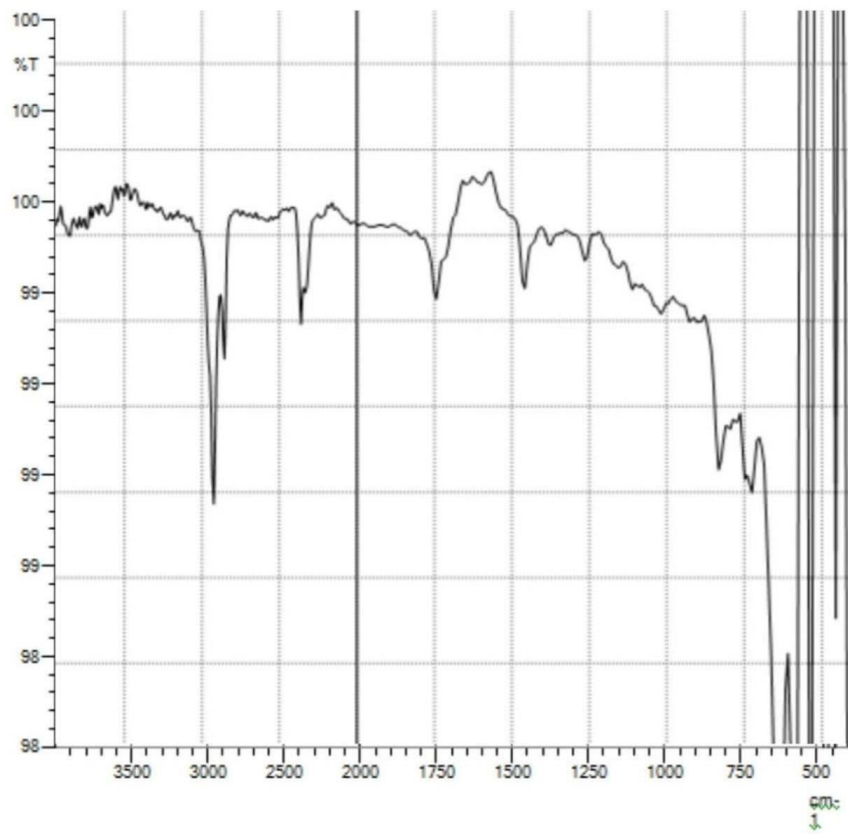


Figure V.2 : Spectre FT-IR ATR des charbons actifs préparés (orange) par H_3PO_4 à 40%.

Tableau V.9 Identification du spectre infrarouge Spectre FT-IR ATR des charbons actifs
(médicament) :

Bande d'absorption (cm ⁻¹)	Vibration de liaison	L'intensité de liaison	Identification probable du groupement
3279,59-3600	O-H	Forte	Acide carboxylique (cellulose, lignine)
1734,63-1750	C=O	Faible	Acide carboxylique, Cétone
2250-2300	CN	Moyenne	Triple liaison du nitrile
1603,53	C=C	Faible	Cycles aromatiques, Alcènes
1420,91-1241,85	CH ₂ , CH ₃ (déformation angulaire)	Moyenne	Radicaux libres
1030,23	C-O	Très faible	Alcools
850-880	C-P	Très faible	Eléments phosphoriques
700 – 600	C-C	Faible	Aliphatique
594,65	C-H(déformation angulaire)	Moyenne	Aliphatique

Chapitre V : Résultats Et Discussions

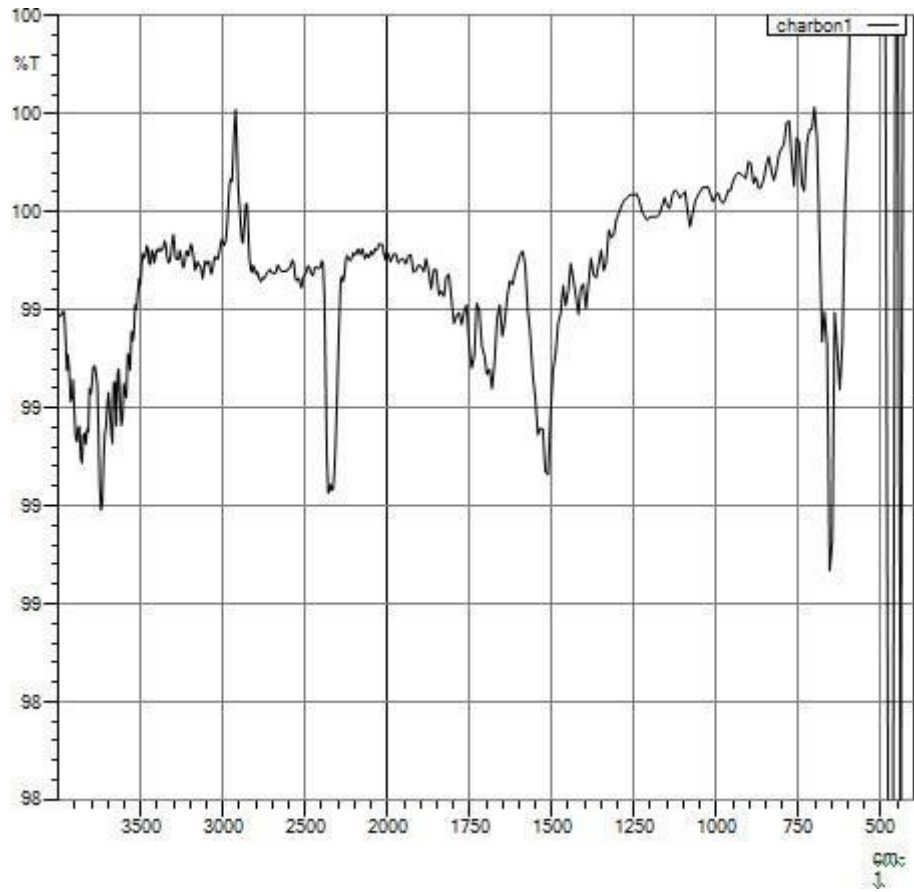


Figure V.3 : Spectre FT-IR ATR des charbons actifs (médicament).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce mémoire était d'étudier l'utilisation des déchets agricoles.

Naturels largement disponibles en Algérie, les noyaux de datte et les écorces d'orange, comme adsorbant afin de purifier l'eau d'une éventuelle contamination par un polluant organique. Pour réaliser ce but nous avons choisi de travailler avec deux colorants qui sont le bleu de méthylène et le méthyle orange. dans cette étude on est arrivés à démontrer les paramètres optimaux favorisant l'adsorption qui sont :

- Un temps d'équilibre égal à 30 min donc c'est un procédé applicable facilement à l'échelle industrielle ;
- Une masse d'adsorbant égale à 0,5 g/l donc il a une capacité de rétention très importante ce qui est très économique ;
- Une masse d'adsorbat égale à 100 mg/l donc c'est un adsorbant très efficace
- Un pH optimal égal à 7 ce qui induit qu'il adsorbe dans intervalle neutre
- Une température égale à 25°C donc l'adsorbat est exothermique

L'analyse par spectroscopie d'absorption infrarouge montre une distribution des pics presque similaire pour les trois types de matériaux (ND, ECO, CAC), ce qui implique une composition rapprochée de ces matériaux, ajouté a cela des surfaces spécifiques calculées très proches, explique le grand rapprochement des résultats de l'adsorption des ces supports solides.

On est arrivé à avoir un rendement qui dépasse les 90% de l'élimination de l'adsorbat, ce qui est très important sur le plan écologique, par donner une autre vie a un produit organique abandonné, aussi c'est un point très important qui démontre la réussite de l'économie circulaire on favorisant le concept de la revalorisation on boucle fermée des déchets organique comme dans notre cas des noyaux de dettes et l'écorces d'orange .

La revalorisation et l'économie circulaire sont des démarches très importantes sur le plan écologique autant sur le plan économique, les dattes et l'écorces d'orange représentes des produits nationale, de consommation large et de production énorme, leurs déchets transformer en charbon actif sont efficace pour la synthèse d'un médicament par des produit chimique ,les industrie alors sont invité a adopté cette synthèse avec une matière première gratuite et un rendement très proche de 100% ,sur le plan écologique cette démarche empêche la perte d'une biomasse, conserve une ressource ,dépollue les eaux et favorise la production des dattes et orange .

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : charbon actif.....	p4
Figure I.2 : Structure chimique du charbon actif et représentation schématique de sa structure.....	p6
Figure I.3 : Représentation schématique de la structure des pores d'un charbon actif.	P7
Figure I.4 : Groupes de surface du charbon actif	p7
Figure I.5 : Réactions types rencontrées lors l'activation physique	p9
Figure I.6 : diagramme schématique de processus de la production du charbon actif	p10
Figure I.7 : structure poreuse du charbon actif.....	p12
Figure I.8 : Charbon actif en poudre.....	p13
Figure I.9 : Charbon actif granulé	p15
Figure I.10: Morphologie et anatomie du fruit de la graine du dattier.....	p18
Figure I.11: Schéma détaillant la structure anatomique de l'orange	p21

Chapitre III :

Figure III.1 : Phénomène d'absorption.....	p33
Figure III.2 : États stationnaires des énergies électronique et vibrationnelle(a) et rotationnelle (a et b) et transitions entre les niveaux correspondants.....	p34
Figure III.3 : Une molécule diatomique représente l'oscillateur.....	p34
Figure III.4 : Courbe de Morse l'oscillateur sous la forme d'un oscillateur harmonique.	p35
Figure III.5 : Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR.....	p36
Figure III.6 : Montage optique d'un appareil à transformée de Fourier	p38

Chapitre IV :

Figure IV.1 : séchage des écorces d'oranges	p42
Figure IV.2 : séchage des noyaux de dattes	p43
Figure IV.3 : les supports après broyage.....	p43
Figure IV.4 : Lavage des écorces d'orange	p44
Figure IV.5 : Lavage des noyaux	p44
Figure IV.6 : ND après pyrolyse	p45
Figure IV.7 : Schéma sur les étapes de préparation d'un charbon actif (ND)	p46
Figure IV.8 : ECO après pyrolyse	p47
Figure IV.9 : Schéma sur les étapes de préparation d'un charbon actif (ECO)	p47
Figure IV.10 : Structure du bleu de méthylène	p48
Figure IV.11: La solution de BM	p48
Figure IV.12: Structure du méthyle orange.....	p49
Figure IV.13: La solution de MO.	P49

Chapitre V :

Figure V.1 : Spectre FT-IR ATR des charbons actifs préparés (datte) par H ₃ PO ₄ à 40%	p60
Figure V.2 : Spectre FT-IR ATR des charbons actifs préparés (orange) par H ₃ PO ₄ à 40%	p62
Figure V.3 : Spectre FT-IR ATR des charbons actifs préparés (médicament) par H ₃ PO ₄	P64

Liste Des Tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : Principales caractéristiques du charbon activé.....	p5
Tableau I.2 : les avantages et les inconvénients de CAP	p14
Tableau I.3 : les avantages et les inconvénients de CAG	p16
Tableau I.4 : Composition chimique des noyaux de dattes	p19
Tableau I.5 : Composition en éléments minéraux des noyaux de dattes	p20

Chapitre II :

Tableau II.1: Principe aux groupements chromophores et autochromes, classés par intensité croissante.....	p25
Tableau II.2 : Classification chimique des colorants.....	p27

Chapitre V :

Tableau V.1 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur ND.....	p53
Tableau V.2 : Influence de la masse sur l'adsorption du MO sur ND.....	p54
Tableau V.3 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur ECO.	P55
Tableau V.4 : Influence de la masse sur l'adsorption du MO sur ECO.	P55
Tableau V.5 : Influence de la masse sur l'adsorption du BM sur CAC	p56
Tableau V.6 : Influence de la masse sur l'adsorption du MO sur CAC	p56
Tableau V.7 : Identification du spectre infrarouge des noyaux de datte	p60
Tableau V.8 : Identification du spectre infrarouge charbons actifs préparés (orange) par H ₃ PO ₄ à 40%	p61
Tableau V.9 Identification du spectre infrarouge Spectre FT-IR ATR des charbons actifs (médicament)	p63

Référence
Bibliographique

Référence

- [1] N'guessan Joachim Krou, «Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques», thèse doctorat, de l'université de Toulouse. (2010)
- [2] Benamraoui Fouzia, « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture», Thèse Magister, Université Ferhat Abbas Sétif-1. (2014)
- [3] Naib N.« étude du procédé d'adsorption du phénol sur du charbon actif à base de grignon d'olive, modélisation par les plans d'expérience » ,mémoire de Magister, Université M'hamed Bougara , Boumardes ,(2006)
- [4] El M'rabet M, « Contribution à l'étude de l'adsorption du carbofuran et du phénamiphospar les complexes argilo-humiques et par les sols et de la biodégradation du carbofuran ».Thèse d'état, agadir, (2002).
- [5] Avom J, Ketcha Mbadcam J, Matip M.R.L, Germain P., J. African journal of science and technology, 2, 1-7, (2001).
- [6] Giles C.H, MC Evant M, Nakhawas S.W. and Smith D .J., J.Chem. Soc., 3973, (1960).
- [7] Manuel-adsorption Fiva, «Absorption Gaz-Liquide», In Enciactet A7, (2015)
- [8] Yahiaoui N, « Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, Hydroxyapatite et Charbon actif ».Thèse de Magister. Université de Mouloud MAMMERI. 2012.
- [9] Pascal Mays, «Charbon actif et dépollution, » Environnement et technique, N°1893 ,p.87 à 89. September (1999).
- [10] Benefield L.D, Judkins J.F., Weand B.L., Prendice Hall Inc, Englewood Cliff (N.J) 07632, p510, (1982)
- [11] E. Fernandez Ibañez, «Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux du remous», Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, p.12-16. (2002)
- [12] M. Gueye, J. Blin., C. Brunshwig, « Etude de synthèse des charbons actifs à partir de biomasse locales par activation chimique avec H₃PO₄ », journées scientifiques du 2i EOuagadougou, 6^{ème} édition, 4-8 avril, 2011.

- [13] Masschelein W.J., Denis M. et Ledent R., J. Water and Sewage Works, 8, 69-72 (1977).
- [14] H. Le Pape. Etude des propriétés germicides de fibres de carbone active « Application à la décontamination de l'air en cabine d'avion », Thèse de Doctorat, Université de Limoges France, p.200. (2003),
- [15] Soleimani M, Kaghazchi T. "Adsorption of gold ions from industrial wastewater using activated carbon derived from hardshell apricot stones". *Anagri cultural waste. Bioresources techno*(2008)99, 5374-5383.
- [16] Chen Y et al. "Application studies of carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process". *A review Adv. Colloid Interface Sci* (2011) 163, 39-52.
- [17] R. Kumar, M.A. Barakat. "Decolorization of hazardous brilliant green from aqueous solution using binary oxidized cactus fruit peel". *Chemical Engineering Journal* 226 (2013) 377–383.
- [18] Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris. « Traitement de potabilisation des eaux de surface, adsorption sur charbon actif ». *Conférence* (2006).
- [19] O. Joseph. « Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par bio sorption d'effluents pollués ». *École doctorale Chimie de Lyon* (2009).
- [20] M.P. Tavlieva, S. D. Genieva, V.G. Georgieva, L.T. Vlaev, « Kinetic study of brilliant green adsorption from aqueous solution onto white rice husk ash ». *Journal of Colloid and Interface Science* 409 (2013) 112–122.
- [21] I. Bounour, « Modélisation des isothermes d'adsorption dans le cas de : phénol et bleu de méthyle sur le charbon actif en grain, Ingénieur d'Etat », *Ecole Nationale Supérieure Polytechnique*, p.6. (2009)
- [22] A. Ahmadpour, D.D. Do, *Carbon*, 1996, 34, 471.
- [23] R. Malik, D.S. Ramteke, S.R. Wate. « Adsorption of malachite green on ground nutshell waste based powdered activated carbon. *Waste Management* », 27 (2007) 1129-1138.
- [24] A. Demirbas. « Agricultural based activated carbons for their removal of dyes from aqueous solutions: a review », *Journal of Hazardous Materials* 167 (2009) 1–9.

- [25] Arias M., Barral M.T., Mejuto J.C., *J. Chemosphere*, 48, 1081–1088, (2002)
- [26] Avom J., Ketcha Mbadcam J., Matip M.R.L., Germain P., *J. African journal of science and technology*, 2, 1-7, (2001).
- [27] M. J. Ahmed, S. K. Dhedan «Equilibrium isotherms and kinetic modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons». *Fluid Phase Equilibria*. 317(2012)9-14
- [28] Carmen Manole Creangă « Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non bio dégradables (par adsorption puis oxydation catalytique) », Thèse de Doctorat, École doctorale : Transferts, Dynamique des Fluides, Énergétique et Procédés (2007)
- [29] Djidel Tadjia .« Étude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels», Université Med-BOUDIAF d'Oran , Thèse magister ,(2011)
- [30] Degremont, «mémonto. Technique de l'eau». 10^{ème} édition copyright, (2005).
- [31] C. Gomella et HGUERREE. «Les eaux usées dans les agglomérations urbaines et rurales» 2^{ème} édition Eryrolles, paris.
- [32] Deline. F., «l'épuration physico-chimique des eaux.» Éditions Cebedoc, (1988).
- [33] Bouchelta Chafia , « etude de l'adsorption des métaux Hg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{6+} sur charbon actif en grain. modélisation » mémoire magister, Université Badji Mokhtar - Annaba (2003)
- [34] E.F. Ibanez, «Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux durs et mous», Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, (2002).
- [35] Mounir Ziati , Sabir Hazouli, Sana Nouacer, Fatma Zohra Khelaifia, Nesrine Nait «Adoption de l'arsenic (iii) sur un résidu naturel ligno-cellulosique valorisé en charbon actif – exemple des noyaux de dattes» Merzoug Laboratoire de Traitement des eaux et Valorisation des déchets Industriels, Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université Badji - Mokhtar, B.P. 12, 2011.
- [36] Espiard , E., « Introduction à la transformation industrielle des fruits ». Ed. Lavoisier, 2002, pp 147.155.
- [37] Hamada J .S., et al. preliminary analysis and potential uses of date pits in foods, *Food Chemistry*, 76, 2002, 135-137.
- [38] Al.hoodi, et al. Chemical composition of seeds date fruits cultivars of united Arab Emirates. *Journal of food science and technology*, 35, 1998, 44-46,

- [39] Al. Showiman S.S. Chemical composition of date palm seeds (Phoenix Dactylifera L.) in Saudi-Arabia. *J. Chem. Soc.* 12.1990, 15-24.
- [40] Buelguedj M., « Caractéristiques des cultivars de dattiers dans les palmeraies du sud-est Algérien ». *Revue annuelle*, N11, INRAA. El-Harrach, Alger, 2001, 289p.
- [41] Devshony, S., Etechola A. et Shani, A. Characterisation and some potential application of date palm (Phoenix Dactylifera L.) seeds and seeds oil. *JAOCS*, 69, 1992, 595-597.
- [42] KHALFAOUI AMELÉ pousse DERBAL. Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange et de Banane. Thèse de doctorat, Université Mentouri de Constantine, (2012).
- [43] R.M Christie, << Colour Chemistry >>. the Royal Society of Chemistry 2001.
- [44] Iqbal, Textile dyes, Ministry of Science & Technology (Applied Chemistry) (2008).
- [45] H. Ben Mansour, O. Boughzala. D. Dridi. D. Barillier. L. Chekir Ghedira. R. Mosrati. « Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : Criblage de la toxicité et des méthodes de traitement ». *Journal of Water Science* 24, 209-238. (2011).
- [46] Sophie De Reguardati et William Barthe. « Les colorants organiques utilisés en teinturerie ». *Museum National d'Histoire Naturelle* (2012).
- [47] N. Alaounia, Dégradation photo catalytique de polluants organiques « Méthyle orange, Pentachlorophénol et Acide benzoïque » en présence du dioxyde de titane nanocristallin élaboré par la méthode sol-gel. (2009).
- [48] N. BOUKAOUS, Extraction du colorant noir bleu naphthol et du médicament ibuprofène en milieu aqueux par membrane liquide émulsionnée, Mémoire de Master, Université d'ANNABA (2014).
- [49] LACHEHEB MAAMAR, SADOUDI RABAH, Etude d'adsorption de violet de gentiane sur la sciure de bois, Université A.M. OULHADJ – Bouira (24/09/2018)
- [50] J. Shour. Colorants and auxiliaries. Organic chemistry and application properties. Colorant BTTG Shirley. Society of dyers and colourists. Angleterre 1 (1990).
- [51] N. Djebbari, A. Benkerrou, Préparation et caractérisation des microsphères base de PEEK-WC/D2EHPA, appliquées à l'adsorption de la Rhodamine B et de Bleu de Méthylène, Mémoire de Master, Université de Bejaia (2016).

- [52] P.A. Bolotin, S.F. Baranovsky, M.P. Evstigneev, Spectrophotometric investigation of the hereto-association of Caffeine and thiazine dye in aqueous solution, *Spectrochimica Acta Part A* 64, 693–697. (2006).
- [53] Yassine BENTAHAR, Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse, Thèse de doctorat, Université de Nice-Sofia Antipolis, (08/10/2016).
- [54] BOUMEDIENE MAAMAR, Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants et ions métallique lourds en solutions aqueuses synthétique par des matériaux d'origine agricole, thèse de doctorat, université ABUBAKERBELKAID DETLEMCEN (08/12/2015).
- [55] F.A. Batzias, D.K. Sidiras *.Simulation of methylene blue adsorption by salts-treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems. *Journal of Hazardous Materials* 149(2007) 8–17.
- [56] Sbah Elbariji a, Maria Elamine a, Habiba Eljazouli a, Hassan Kabli a, Abdellah Lacheraib, Abdallah Albourine a,. Traitement et valorisation des sous-produits du bois. Application à l'élimination des colorants industriels. *C. R. Chimie* 9(2006)1314–1321.
- [57] Spectroscopie infrarouge, Richard Giasson; CHM1312.
- [58] Etude d'un traitement combiné bio-physico-chimique pour la décontamination des eaux polluées en atrazine. S. Gendrault Derveaux, thèse de doctorat ès science en biochimie.
- [59] The Fundamentals of Rotational-Vibrational Band of CO NO, H.H.Rand. Schoret E.L.Teixeira-J. *Chem.Ed.*
- [60] Spectroscopie infrarouge. exposé de C.A.D.D.O. DOUINET; M.RECHACHE.
- [61] Spectroscopies infrarouges et raman. R.POILBLANC et F.CRASINIER, 18-19-20.
- [62] Méthodes et techniques d'analyse physique. Bagdad BENSTALI.
- [63] P.Pengthamkeerati, T.Satapanajaru, O.Singchan. Sorption of reactive dye from aqueous solution on bio mass flyash. *Journal of Hazardous Materials* 153 (2008) 1149–1156
- [64] Gao, S; Tonada S; Abe I; KITAGAWA. M; Matruba, JTanso 1994, 163, 138.
- [65] <https://www.industrie-techno.com/a-chaque-application-son-charbon-actif.37390>

[66]Valix, M., W.H. Cheung, and G. McKay, Preparation of activated carbon using lowtemperature carbonisation and physical activation of high ashrawbagassef or acid dye adsorption Chemosphere, 2004. 56(5):p. 493-501.

Résumé :

L'objectif du présent travail est de donner une étude comparative entre le charbon actif commercial CAC et le charbon actif préparé à partir de (noyaux de dattes, l'écorce d'orange) dans l'adsorption de bleu de méthylène et le méthyle orange. Le charbon actif déjà a été préparé .Le matériau obtenu a été caractérisé.

Cette étude d'adsorption a été effectuée pour les deux colorants en phase aqueuse avec une température de 25°C sous agitation constante pour les deux sortes de charbon actif. L'équilibre est atteint presque en même temps pour les deux charbons actifs.

Nous avons également analysés par spectroscopie d'absorption infrarouge.

Et pour référence, nous avons réussi à obtenir un rendement très important de l'adsorbant, ce qui est très important du point de vue de l'environnement pour donner vie .

Autre pour des produits biologiques abandonnés.

Abstract :

The objective of this work is to give a comparative study between the commercial activated carbon and activated carbon CAC prepared from (date stones, orange peel) in the adsorption of bleu methyl and methyl orange. Activated carbon has been already prepared .The material obtained was characterized. This study adsorption was performed for two dyes in an aqueous phase with a temperature of 25 ° C with constant stirring for two kinds of activated carbon. Equilibrium is reached at almost the same time for both activated carbons.

We also analyzed them by infrared absorption spectroscopy. And for reference, we succeeded in getting a very large return from adsorbate, which is very important from the point of view of the environment to give life Other for another abandoned organic product .

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو إعطاء دراسة مقارنة بينا لكربون المنشط التجاري و الكربون المنشط المعد من نواة التمر و قشور البرتقال في ادمصاص الأزرق المثلين و برتقال المثل. وقد أجريت هذه الدراسة في الحالة المائية مع درجة حرارة 25 درجة مئوية مع التحريك المستمر لنوعين من الكربون المنشط. يتم التوصل إلى توازن في نفس الوقت تقريبا لكلا الكربون المنشط .
وقمنا كذلك بتحليلهم بواسطة التحليل الطيفي للامتصاص الأشعة تحت الحمراء و للإشارة أننا نجحنا في الحصول على عائد كبير جدا من الادمصاص و هذا أمر مهم جدا من وجهة نظر البيئة لإعطاء حياة أخرى لمنتجات عضوية مهجورة .

ANNEXES

TABLE DE CORRESPONDANCE EN SPECTROSCOPIE INFRAROUGE

Liaison	Type de liaison	Type spécifique de liaison	Pic d'absorption	Apparence
C—H	alkyle	méthyle	1 260 cm ⁻¹ (7 937 nm)	Forte
			1 380 cm ⁻¹ (7 246 nm)	Faible
			2 870 cm ⁻¹ (3 484 nm)	moyenne à forte
			2 960 cm ⁻¹ (3 378 nm)	moyenne à forte
		méthylène	1 470 cm ⁻¹ (6 803 nm)	Forte
			2 850 cm ⁻¹ (3 509 nm)	moyenne à forte
			2 925 cm ⁻¹ (3 419 nm)	moyenne à forte
		méthine	2 890 cm ⁻¹ (3 460 nm)	Faible
		vinylo	C=CH ₂	900 cm ⁻¹ (11 111 nm)
	2 975 cm ⁻¹ (3 361 nm)			Moyenne
	3 080 cm ⁻¹ (3 247 nm)			Moyenne
	C=CH		3 020 cm ⁻¹ (3 311 nm)	Moyenne
	alcènes monosubstitués		900 cm ⁻¹ (11 111 nm)	Forte
			990 cm ⁻¹ (10 101 nm)	Forte
			670–700 cm ⁻¹ (14 286-	Forte
			965 cm ⁻¹ (10 363 nm)	Forte
	alcènes trans-disubstitués	800–840 cm ⁻¹ (11 905-	forte à moyenne	
	composé aromatique	benzène/benzène sub.	3 070 cm ⁻¹ (3 257 nm)	Faible
		benzène monosubstitué	700–750 cm ⁻¹ (13 333-14	Forte
			690–710 cm ⁻¹ (14 085-14	Forte
		benzène ortho-disub.	750 cm ⁻¹ (13 333 nm)	Forte
		benzène méta-disub.	750–800 cm ⁻¹ (12 500-13	Forte
			860–900 cm ⁻¹ (11 111-11	Forte
		benzène para-disub.	800–860 cm ⁻¹ (11 628-12	Forte
	alcynes		3 300 cm ⁻¹ (3 030 nm)	Moyenne
	aldéhydes		2 720 cm ⁻¹ (3 676 nm)	moyenne
			2 820 cm ⁻¹ (3 546 nm)	
C=O	aldéhyde/cétone	aliph. saturé/cycle à 6	1 720 cm ⁻¹ (5 814 nm)	

		α,β -insaturés	1 685 cm^{-1} (5 935 nm)	
		cétones aromatiques	1 685 cm^{-1} (5 935 nm)	
		cycle à 5	1 750 cm^{-1} (5 714 nm)	
		cycle à 4	1 775 cm^{-1} (5 634 nm)	
		aldéhydes	1 725 cm^{-1} (5 797 nm)	influencé par
	acides carboxyliques/dérivés	acides carboxyliques saturés	1 710 cm^{-1} (5 848 nm)	
		acides carboxyliques saturés,	1 680–1 690 cm^{-1} (5	
		esters et lactones	1 735 cm^{-1} (5 764 nm)	influencé par
		anhydrides	1 760 cm^{-1} (5 682 nm)	
			1 820 cm^{-1} (5 495 nm)	
		halogénures d'acyle	1 800 cm^{-1} (5 556 nm)	
		amides	1 650 cm^{-1} (6 061 nm)	amides associés
		carboxylates (sels)	1 550–1 610 cm^{-1} (6	
	zwitterions d'acide aminé	1 550–1 610 cm^{-1} (6		
O–H	alcools, phénols	à faible concentration	3 610–3 670 cm^{-1} (2	
		à haute concentration	3 200–3 400 cm^{-1} (2	Large
	acides carboxyliques	à faible concentration	3 500–3 560 cm^{-1} (2	
		à haute concentration	3 000 cm^{-1} (3 333 nm)	large
C–N	amines aliphatiques		1 020–1 220 cm^{-1} (8	souvent chevauchées
	C=N		1 615–1 700 cm^{-1} (5	effets de conjugaison
	C≡N (nitriles)	non-conjugués	2 250 cm^{-1} (4 444 nm)	moyenne
		conjugués	2 230 cm^{-1} (4 484 nm)	moyenne
	R–N–C (isonitriles)		2 165–2 110 cm^{-1} (4	
R–N=C=S		2 140–1 990 cm^{-1} (5		
N–O	composés nitro	aliphatiques	1 540 cm^{-1} (6 494 nm)	très forte
			1 380 cm^{-1} (7 246 nm)	très faible
		aromatique	1 520, 1 350 cm^{-1} (7	plus basse si conjuguée