



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université Larbi Ben M'hidi
Oum El Bouaghi



Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Matière

N° d'ordre : M...../ 2023

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master en Chimie

Option : Chimie des matériaux

PRÉPARATION DU CHARBON ACTIF À PARTIR DES DÉCHETS ORGANIQUES

Présenté par :

Makhloufi Islam.

Medjeralli Younes.

Devant le jury composé de :

Pr Bouchemma Ahcène	Professeur	Université OEB	Président
Pr Bouhenguel Mustapha	Professeur	Université OEB	Rapporteur
Doctorante Mohammed Cherif Ouiza	Doctorante	Université OEB	CO-Encadreur
Dr. Chebbah Mahmoud	MCA	Université OEB	Examineur
Dr. Bousaid Khair Eddine	Représentant ADE Oum El Bouaghi		Partenaire Économique
Dr. Toufik Mazouz	Directeur d'incubateur Université OEB		

2022-2023.

Dédicaces

Aux êtres les plus chers

A nos parents

A nos frères et sœurs

A nos familles

Spécialement à nos amis

Makhloufi Islam

Dédicaces :

Je dédie ce mémoire à :

- *Grace à **Dieu** le tout puissant, j'ai achevé la réalisation de ce modeste travail que je tiens très chaleureusement à le dédier à :*

- *Ma mère chérie **Chebouki Zohra** et Mon père **Hamoudi** qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes études et pour leurs patiences qui **Dieu** les protègent et les gardes pour moi.*

- *A mes adorables frères et sœurs.*

Medjeralli Younes

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier le bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions infiniment nos parents, qui nous ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de notre formation.

Nous tenons aussi à remercier tous ceux et celles qui ont contribué à finaliser ce modeste travail.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés et soutenus tout au long de nos études, et exprimons notre gratitude envers notre Encadreur

Pr. Bouhenguel Mustapha , et Co-Encadreur Doctorante Mohammed Cherif Ouiza , qui ont partagé leur temps et leurs idées avec nous .Nous

adressons également nos remerciements aux

les membres du jury de s'etre intéressés à notre étude, Nous remercions également l'ingénieure du laboratoire LCATM M^{me} Bouchia Safia Université

Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi.

Sommaire

Liste des tableaux	E
Liste des figures	E
Introduction Générale	1
Chapitre I: Les déchets organiques.	3
I.1. Introduction	5
I.2. Aperçu historique	5
I.2.1. Déchets et santé publique	5
I.2.2. Déchets et économie	6
I.3. Traitement et gestion des déchets	7
I.4. Déchets en Algérie	7
I.5. Les déchets	8
I.5.1. Définition d'un déchet	8
I.5.2. Des déchets industriels banals.	10
I.5.3. Des déchets industriels spéciaux.	10
I.5.4. Des déchets organiques	10
I.6. Le recyclage	11
I.6.1. Le recyclage aujourd'hui	12
I.6.2. L'histoire du recyclage moderne	13
I.6.3. Le recyclage en Afrique	13
I.7. Les bénéfices pour l'environnement	14
I.8. Généralités sur les produits organiques utilisés	14
I.8.1. Poudre de coquilles d'amandes	14
I.8.2. La poudre de noyaux de datte.....	15
I.8.3. Poudre de noyaux d'olives	18
I.8.4. Le marc du café	20
I.9. Conclusion	22
Chapitre II :Charbon actif.	23
II.1. Introduction.....	25
II.2. Historique du charbon actif	25
II.3. Le charbon actif	26
II.4. Description du charbon actif.....	26
II.5. Les différentes formes du charbon actif	26
II.5.1. Charbon Actif Granulaire.....	27

II.5.2. Le Charbon Actif en Poudre	27
II.5.3. Le Charbon Actif Extrudé.....	27
II.6. Le charbon végétal.....	28
II.6.1. Poudre	28
II.6.2. Solide ou bâton.....	28
II.6.3. Granulé.....	28
II.7. Avantages	28
II.8. Inconvénients	29
II.9. Applications	29
II.10. Les molécules adsorbées sur le charbon actif.....	31
II.10.1. Adsorption en phase gazeuse	31
II.10.2. Adsorption en phase liquide.....	31
II.10.3. Les composés adsorbés	31
II.11. Méthodes de préparation de charbon actif.....	31
II.11.1.Élaboration par voie physique.....	32
II.11.2. Élaboration par voie chimique	32
II.11.3. Élaboration par chauffage aux micro-ondes	33
II.12. Modification des propriétés de surface des charbons actifs	34
II.13. Propriétés des charbons actifs.....	34
II.13.1. Propriétés physiques	34
II.13.2. Les propriétés chimiques.....	37
II.14. Structure interne du charbon actif.....	37
II.15. Le rôle des charbons actifs dans le traitement des eaux	38
II.16. Le phénomène d'adsorption	38
II.16.1. Définition	38
II.16.2. Les facteurs influençant l'adsorption	39
II.17. Régénération des charbons actifs.....	39
II.17.1. Régénération thermique	41
II.17.2. Régénération chimique.....	41
II.17.3. Régénération biologique ou biorégénération	41
II.17. Conclusion	42
Chapitre III: Partie expérimentale.....	43
1. Matériels et méthodes.	43

III.1.1. Introduction	44
III.1.2. Matériels	44
III.1.2.1. Four à moufle	44
III.1.2.2. Les creusets	44
III.1.3. Méthodes	45
III.1.3.1. Caractérisation des produits initiaux	45
III.1.3.2. Méthode de préparation du charbon actif	49
III.1.3.3. Caractérisations des charbons actifs	51
III.1.4. Généralités sur l'adsorption	52
III.1.4.1. Mécanisme d'adsorption	53
III.1.5. Techniques de caractérisation utilisées.	54
III.1.5.1. La Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier.	54
III.1.5.2. Microscopie optique	54
Chapitre III: Partie expérimentale.....	57
2. Résultats et discussion.	57
III.2.1. Les propriétés physico-chimiques des produits initiaux (les déchets organiques)	58
III.2.1.1. Détermination du pH	58
III.2.1.2. Détermination de la teneur en humidité.....	59
III.2.1.3. Détermination de la teneur en cendre	60
III.2.1.4. Détermination de la densité apparente	61
III.2.1.5. Détermination de la porosité.....	61
III.2.2. Caractérisation des charbons actifs	61
III.2.2.1. Détermination du rendement	62
III.2.3. Résultats de caractérisation par spectroscopie	63
III.2.3.1. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) des produits initiaux	63
III.2.4. Caractérisation physico-chimique des charbons actifs utilisés	67
III.2.4.1. Analyse par spectrométrie Infrarouge.....	67
III.2.5. Comparaison entre le charbon actif commerciale et le charbon actif traité	70
III.2.5.1. Etude par spectroscopie IRTF avant adsorption	70
III.2.5.2. Etude par spectroscopie IRTF après adsorption.....	73
III.2.6. Analyse morphologique	75
Conclusion.....	77

Références bibliographiques	78
ANNEXE01.....	82
ملحق 02.....	91
Résumé	107

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
II.1	Surfaces spécifiques de quelques matériaux adsorbants.	35
III.2.1	Mesure du pH des produits initiaux.	59
III.2.2	Mesure de la teneur en humidité des produits initiaux.	60
III.2.3	Teneur en cendre des produits initiaux.	61
III.2.4	Détermination de la densité apparente.	62
III.2.5	Détermination de la porosité.	62
III.2.6	Détermination du rendement de charbon actif préparé.	63

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
II.1	Charbon Actif Granulaire (CAG).	27
II.2	Charbon Actif Poudre (CAP).	27
II.3	Charbon Actif Extrudé (CAE).	28
II.4	Représentations schématisées d'un grain poreux.	35
II.5	Représentation de la surface externe et interne d'un matériau poreux.	36
II.6	Représentation schématique des microstructures du charbon actif.	36
II.7	Une feuille de graphène.	38
II.8	Phénomène d'adsorption.	39
III.1.1	Les creusets en alumine.	46
III.1.2	Préparation le poudre de marc de café.	46
III.1.3	Préparation le Poudre de coque d'amande.	47
III.1.4	Préparation le Poudre de noyaux des dattes.	47
III.1.5	Préparation le Poudre des noyaux d'olive.	47
III.1.6	Poudre marc de café.	49
III.1.7	Poudre de noyaux des dattes.	49
III.1.8	Poudre Poudres de d'amande.	49
III.1.9	Poudre de noyaux d'olive.	49
III.1.10	Activation chimique de poudres initiales.	51
III.1.11	Fours à moufle.	51
III.1.12	Carbonisation le poudre d'amande et le poudre d'olive.	52
III.1.13	Charbon actif de la poudre d'amande activé par (H_2SO_4), (H_3PO_4) et (HCl).	52
III.1.14	Opération de lavage, séchage du charbon actif.	53
III.1.15	Les étapes de préparation du charbon actif.	53
III.1.16	Configuration spatiale des différentes interfaces.	55
III.1.17	Photographie du microscope optique à lumière polarisée utilisé.	57
III.2.1	L'effet des réactifs sur le rendement du charbon actif.	63
III.2.2	Spectre infrarouge arrangé de coque d'amande (a) et coque d'amande calcinée (b)	65
III.2.3	Spectres IR de la poudre des noyaux d'olive PO (ligne noire) et poudre de noyaux d'olive calcinée POC à 1000°C (ligne rouge).	66
III.2.4	Spectre IR poudre des dattes natif PD (ligne noire) et calciné PDC (ligne rouge) à 1000°C.	67
III.2.5	Spectre IR poudre du marc MC (ligne noir) et marc calciné MCC (ligne rouge) à 1000°C.	68

III.2.6	Spectre IR du charbon actif voie acide (H_3PO_4).	69
III.2.7	Spectre IR du charbon actif voie Basique ($NaOH$).	70
III.2.8	Spectre IR du charbon actif activé par H_3PO_4 , HCl , $NaOH$ et H_2SO_4 .	70
III.2.9	Spectre IR du charbon actif commercial.	71
III.2.10	Spectre IR du charbon actif traité par H_3PO_4 (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire).	72
III.2.11	Spectre IR du charbon actif traité par HCl (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire).	72
III.2.12	Spectre IR du charbon actif traité par $NaOH$ (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire).	73
III.2.13	Spectre IR du charbon actif traité par H_2SO_4 (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire).	73
III.2.14	Spectre IR du charbon actif (réactif H_3PO_4) traité par C_{14} .	74
III.2.15	Spectre IR du charbon actif (réactif H_3PO_4) traité par $ZnCl_2$.	75
III.2.16	Spectre IR du charbon actif (réactif H_3PO_4) traité par $PbCl_2$.	75
III.2.17	Image du charbon actif.	76
III.2.18	Comment calcule le diamètre du pore.	76

Introduction Générale

La croissance de la population mondiale augmente chaque année, cette augmentation nécessite plus d'énergie et de développement, ce qui résulte de l'intensité industrielle qui se produit à la suite de nouvelles méthodes et techniques de production de produits chimiques à usage quotidien.

Les chercheurs dans le domaine de la chimie, notamment du côté environnemental, tentent de trouver les meilleurs matériaux d'adsorption et les meilleures méthodes d'adsorption pour le traitement et la protection de l'environnement. La poursuite des recherches sur la production de charbon actif à partir de matériaux non conventionnels, notamment à partir de déchets végétaux et la biomasse est d'une originalité incontestable.

Les matières premières servant de précurseurs pour la fabrication du charbon actif ou de carbone actif provenant de la biomasse sont : les coquilles d'amande, les noyaux de datte, les noyaux d'olive ainsi que le marc de café. Le but de notre travail est de fabriquer du charbon actif à partir de ces déchets organiques et d'étudier les paramètres physico-chimiques tels que : la température d'activation, la morphologie et l'état de surface des différents grains de charbon activés par différents acides et bases. Les produits sont obtenus (les charbons) avec différents rendements et peuvent suggérés à être utilisés en qualité d'adsorbants pour le traitement des eaux.

L'objectif de cette étude est la synthèse de charbon actif à partir de matières organiques par la méthode "d'activation chimique". Le charbon actif préparé est de haute qualité avec une structure poreuse et une grande surface spécifique, préparé à partir de déchets organiques en utilisant H_2SO_4 , H_3PO_4 , HCl et $NaOH$ comme agents activateurs chimiques.

La bonne morphologie et une porosité développée des charbons actifs, nécessite la maîtrise des étapes du procédé de synthèse de charbon actif par activation chimique.

Le choix de la méthode d'activation chimique est basé sur le fait que la préparation du charbon actif est réalisée à basse température. De plus, ce procédé permet d'obtenir de grandes surfaces spécifiques. Plusieurs facteurs (temps, température, rapport de matière organique) interviennent dans la préparation du charbon actif par le processus d'activation chimique.

Le travail présenté dans ce mémoire se divise :

Introduction générale, le mémoire comporte deux parties:

La première partie sera consacrée à une étude bibliographique des déchets organiques et du charbon actif.

Dans la deuxième partie, nous traitons de la procédure expérimentale qui a formé la préparation et la caractérisation de nos charbons avec divers agents d'activation.

Nous terminons par une conclusion générale ^[1].

Chapitre I: Les déchets organiques.

Abréviations

ICPE :Installations classées protection de l'environnement.

DIB : Déchets industriels banals .

DIS : Déchets industriels spéciaux .

STEP:Station d'épuration des eaux usées.

TMB :Tri mécano-biologique.

PME : Petites et moyennes entreprises.

OGM : Organismes génétiquement modifiés.

I.1. Introduction

Depuis longtemps, les êtres humains ont laissé à la nature la tâche de traiter leurs déchets. Ils sont utilisés comme engrais; soit enterrés, brûlés, ou transformés en compost. Cependant, avec l'avènement de l'urbanisation, ce cycle naturel a été rompu. Pendant près de 1000 ans, les gens ont vécu dans des villes où la propreté et l'hygiène étaient presque inexistantes. Les déchets de chacun étaient simplement jetés ou entassés dans les rues.

Il a fallu attendre le siècle dernier pour que l'hygiène publique devienne une véritable préoccupation. Les réseaux d'eau potable et de tout-à-l'égout ont progressivement commencé à se développer. En même temps, la quantité de déchets difficilement biodégradables a augmenté en raison de la fabrication de produits qui utilisent des matières premières d'origine chimique.

Les grandes agglomérations se sont organisées pour lutter contre la prolifération des détritiques. On peut trouver des traces de cette préoccupation dès le Moyen Âge, avec la publication de décrets royaux exigeant des habitants des villes qu'ils transportent les ordures en dehors des limites de la cité^[2].

I.2. Aperçu historique

I.2.1. Déchets et santé publique

Les déchets existent depuis l'antiquité. D'ailleurs lorsque l'on visite une galerie de vases grecs au Musée du Louvre, on constate des vases qui ont été reconstitués et que l'on a retrouvés dans d'anciens sites qu'on appellerait aujourd'hui des décharges.

Ces déchets de l'antiquité jusqu'à un passé récent sont considérés comme des choses abandonnées. Il convient cependant de préciser que la question des déchets au niveau historique se pose dans des termes autrement moins importants qu'aujourd'hui.

Le déchet historiquement a sa place dans le déclenchement des épidémies et plus particulièrement dans le déclenchement de ce que l'on appelle sous un terme générique « des pestes ». La réglementation, pour l'essentiel, qui s'est constituée au cours des siècles a pour origine les règlements de peste ou les polices de santé.

Ces déchets sont en général uniquement organiques. Il n'y a pas d'emballages et donc on jette peu. Cependant un certain nombre de ces déchets organiques posent des problèmes aux autorités et cela dès l'antiquité. Par exemple les villes de Teotihuacan ou de Rome à l'époque d'Auguste, comptent 1 million d'habitants. Cela représente une

quantité imposante de déchets organiques issus des fosses d'aisance ; l'absence d'égout rend le problème du traitement des déchets difficile à résoudre.

La ville antique et la ville de l'Ancienne France et du XIX^{ème} siècle sont des villes où beaucoup d'animaux sont accueillis. Il y a les chevaux bien sûr, les écuries, et tous les animaux que l'on amène vers les étals des bouchers car il n'y a pas d'abattoirs. Cela pose des problèmes très concrets de gestion des déchets dans les villes antiques et qui nécessitaient toute une série de réglementations visant à assurer un minimum de salubrité dans les rues. C'est là l'origine des services de voirie.

Se pose également le problème du traitement des déchets industriels annexes aux bouchers, d'autant plus que ces industries sont extrêmement polluantes. C'est une des questions sur lesquelles s'attardent les autorités qui ont en charge les problèmes d'hygiène jusqu'au XIX^{ème} siècle.

Dès le XVII^{ème} siècle les autorités municipales se préoccupent de la pollution de l'eau et de l'air, on parle d'ailleurs plutôt de « corruption » à cette époque. Par exemple un traité de Police de la fin du XVII^{ème} siècle consacre un livre entier à la police de santé^[3].

I.2.2. Déchets et économie

On a mis donc au point tout un système assez efficace de gestion et de ramassage des déchets aussi bien pour les déchets ménagers que pour les déchets issus de l'artisanat. On constate que la cité médiévale, maîtrise relativement bien la question de la récupération et du recyclage des déchets. C'est un problème permanent qui se pose aujourd'hui : faut-il abandonner les déchets c'est-à-dire respecter la définition originelle de ce qu'est cette chose abandonnée, ou faut-il lui reconnaître une valeur économique ?

Il est un fait que depuis l'Antiquité certains types de déchets avaient une valeur économique, par exemple, il est impensable de jeter le fumier. Jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle il est systématiquement récupéré. Dans les villes traditionnelles il faut rappeler qu'il y a énormément d'animaux et par conséquent de déjections animales dont la récupération ne présente pas de difficultés. Le problème essentiel réside dans la modification de la composition des matières récupérées. Cette modification est perceptible à partir de la fin du XVIII^{ème} siècle. Le résultat est que cela pose un problème de tri sélectif complexe aux autorités^[4].

I.3. Traitement et gestion des déchets

Peu à peu on a essayé d'organiser la gestion des déchets en milieu urbain. Cependant un certain nombre de problèmes peuvent être évoqués et qui sont éminemment contemporains comme celui de l'éloignement des centres de traitement. Plus une ville s'agrandit, plus les problèmes de transport sont considérables et plus les difficultés de trouver des sites de traitement ou d'entrepôts ou de décharges sont difficiles à résoudre. La gestion des déchets relève de l'administration municipale qui impose aux industriels de ne pas faire n'importe quoi, et les décharges sont soumises à une réglementation en vigueur. Tout au long du XIX^{ème} siècle, les municipalités seront confrontées au grand problème de gestion des déchets ménagers et industriels. Il est vrai que du fait de l'expansion économique, la réglementation, lorsqu'elle existe, est ineffective pour un certain nombre de raisons et plus particulièrement pour des raisons de coûts. La récupération, historiquement et c'est encore vrai aujourd'hui, est une affaire de coût. Chaque époque récupère un certain type de déchets qui deviendra un déchet inerte sans valeur économique à une autre époque. Cet élément est très important et il ne faut pas le perdre de vue.

Ce n'est pas qu'à partir des années 60-70 que l'on prend conscience de l'ampleur du problème. Il faut dire qu'il existe un climat tout à fait intéressant au début de la décennie 1970 avec la conférence de Stockholm. Le problème d'environnement devient un problème mondial, en particulier en matière de déchets.

Au lendemain de la 2^{ème} guerre mondiale c'est un peu la même chose, les déchets les plus dangereux sont directement produits dans les pays en voie de développement et on les y envoie dans les pays non-développés. C'est une manière schématique de présenter la question, mais c'est l'une des raisons qui incite les pays développés à changer d'attitude. Sur le plan juridique on va alors essayer de donner une définition du déchet, différente de la définition traditionnelle : le déchet étant une chose abandonnée volontairement, le propriétaire ne voulant pas le récupérer [5].

I.4. Déchets en Algérie

D'après Le Salon international de la valorisation des déchets industriels et dans le souci de préserver l'environnement, la chambre algérienne de commerce (CACI) organise la première édition du Salon International de la Récupération et de la valorisation des déchets Industriels. Prévu du 05 au 08 octobre au palais des expositions

(SAFEX) à Alger. L'événement est parrainé par le ministère du commerce, le ministère des ressources en eau et environnement, et celui de l'Industrie et des Mines, placé sous la thématique « Les enjeux économiques du recyclage des déchets industriels ».

Le « Revade » réunira des spécialistes qui auront à aborder différents sujets liés à la protection de notre terre. Entre autres, « la collecte des déchets, le transport et la transformation, les centres d'enfouissement technique, de l'incinération, ou ceux en charge du traitement des eaux industrielles usées ». Par sa thématique, l'événement vise, comme indiqué par les organisateurs, à « encourager l'investissement dans les nouvelles activités et la création de nouvelles entreprises dans ce domaine ».

Parmi les activités du salon, un programme d'animation sera organisé, en partenariat avec l'Agence Nationale des Déchets (AND) et l'Agence de Coopération Internationale allemande pour le développement (GIZ). D'ailleurs dans son rapport du mois d'avril 2014, la GIZ a fait savoir que « la quantité annuelle des déchets industriels en Algérie est estimée à 2 547 000 tonnes ».

Les déchets répartis en quatre catégories :

- ❖ Les déchets d'emballages et de plastique dont la quantité est estimée à environ 1.2 million de tonnes/an.
- ❖ Les pneus usagés dont la quantité est estimée à plus de 1 million d'unités/ an
- ❖ Les déchets des huiles et des huiles lubrifiantes, dont la quantité est estimée à 110.000 tonnes/an.
- ❖ Les déchets électroniques, électriques et électroménagers, dont la quantité est estimée à 18 000 tonnes/an. ^[6]

I.5. Les déchets

I.5.1. Définition d'un déchet

Un déchet est défini comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défait ». En fonction de leurs types et de leurs origines, les déchets ont un niveau de dangerosité variable qui, dans certains cas, peut être préjudiciable à l'homme et à l'environnement^[7].

I.5.1.1. Les déchets dangereux

Un déchet dangereux, aussi appelé déchet toxique. Ces déchets contiennent en quantité variable des éléments présentant un danger pour la santé ou l'environnement, est doivent donc faire l'objet d'une collecte et d'un traitement séparé. Il existe 15 propriétés de danger numérotées de **HP1** à **HP15** (explosif, inflammable, cancérigène, corrosif, infectieux, nocif...). Si le déchet possède au moins une de ces propriétés il est classifié comme dangereux. Selon le dernier bilan dressé par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, 11 millions de tonnes de déchets dangereux ont été produits en France en 2016, soit 3,4% du volume total des déchets.

I.5.1.2. Les déchets non dangereux

Ces déchets ne sont pas toxiques et ils ne constituent pas de risque pour la santé ou l'environnement. Les déchets non dangereux (valorisables et non-valorisables) sont principalement générés par les entreprises et les industriels, mais aussi par les collectivités et les ménages.

Les principaux déchets non dangereux sont :

- ❖ Les métaux ferreux et non ferreux.
- ❖ Les matières plastiques : **PVC**, **PE**, polystyrène.
- ❖ Le bois non traité.
- ❖ Les films plastiques.
- ❖ Les palettes.
- ❖ Papiers, cartons.
- ❖ Emballages non souillés.
- ❖ Déchets verts.

Les déchets non dangereux doivent ainsi être éliminés dans des installations d'élimination autorisées au titre des **ICPE**.

Les déchets d'emballages industriels et commerciaux, rendent obligatoire la récupération des emballages en papier et carton en vue de leur valorisation (réemploi, valorisation matière ou énergétique).

I.5.1.3. Les déchets inertes

Selon le code de l'environnement, un déchet inerte :

- ❖ "Ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante".
- ❖ "Ne se décompose pas".
- ❖ "Ne brûle pas".
- ❖ "Ne produit aucune réaction physique ou chimique".
- ❖ "N'est pas biodégradable".
- ❖ "Ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine".

I.5.2. Des déchets industriels banals.

Il s'agit des déchets d'entreprises commerciales, artisanales et industrielles qui par leur nature et leur composition s'apparentent aux déchets ménagers. La loi considère qu'ils sont assimilables aux déchets ménagers et peuvent donc subir les mêmes opérations de valorisation et d'élimination. [7]

I.5.3. Des déchets industriels spéciaux.

Ces déchets contiennent des éléments toxiques et représentent un danger pour la santé et l'environnement. Ils font l'objet d'une réglementation particulière et suivent des filières de collecte et de traitement spécifiques. Il est temps que dans le cadre de la réglementation européenne **REACH (Registration, Evaluation, Autorisation of Chemicals)**, et nationale, des efforts débutent pour trouver des produits de substitution sans danger pour les êtres vivants. Ces recherches peuvent aboutir à des solutions qui seraient sur le plan économique, intéressantes pour les entreprises. [7]

I.5.4. Des déchets organiques

Les déchets organiques, d'origine agricole, forestière, municipale ou domestique, peuvent constituer un amendement organique (compost) de qualité pour les sols, plutôt que d'être stockés en décharge où leur décomposition émet des gaz à effet de serre. [7]

I.5.4.1. Les déchets verts

Issus de l'entretien des espaces verts, des zones récréatives, des jardins privés, des serres, des terrains de sports (feuilles mortes, tontes de gazon, tailles de haies et d'arbustes, des résidus d'élagage, etc.).

I.5.4.2. Les boues de STEP

Produites dans les stations d'épuration des eaux urbaines avant que celles-ci ne soient rejetées en rivière. Les boues sont riches en matières organiques, mais également en phosphore et en azote.

I.5.4.3. Les ordures ménagères résiduelles et le TMB (tri mécano-biologique).

Les ordures ménagères résiduelles sont constituées d'un pourcentage important de matières fermentescibles (de l'ordre de 50%), qui peuvent être valorisés par compostage.

I.5.4.4. Les biodéchets des ménages

Essentiellement issus de la préparation des repas (épluchures) ou des restes de repas non consommés ainsi que leurs déchets de jardin.

I.5.4.5. Les biodéchets des gros producteurs

Depuis le 1er janvier 2012, les producteurs et détenteurs de plus de 120 tonnes/an de biodéchets doivent mettre en place un tri à la source et une collecte sélective des biodéchets, en vue de leur valorisation par compostage ou méthanisation.

I.5.4.6. Les effluents d'élevage

Sont soit compostés sur quelques plates-formes industrielles, pour la fabrication d'amendements organiques, soit la plupart du temps chez les éleveurs, de bovins en général.

I.5.4.7. Autres déchets organiques d'origine agricole ou industrielle

Les boues de papeterie, les déchets de l'industrie agroalimentaire (boues, restes de préparations, etc.), les déchets de l'industrie pharmaceutique, les fruits et légumes de retraits, etc.

I.6. Le recyclage

C'est un moyen de transformer des substances et des matières en de nouvelles, afin de limiter les pollutions et la consommation de ressources liées à la fabrication de produits neufs.

On distingue généralement le recyclage en circuit fermé, grâce auquel on fabrique des produits de qualité similaire, et le recyclage en circuit ouvert où la matière produite est intégrée à des biens différents du produit original. Le problème, c'est que notre consommation continue de progresser dans des proportions toujours plus importantes et que la quantité de déchets dans le monde a atteint désormais des sommets.

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets permettant de réintroduire de nouveaux produits dans le cycle de consommation. Il permet ainsi de donner une deuxième vie à un objet. Le recyclage comprend différentes étapes : depuis la collecte et la transformation des déchets en matières premières de recyclage jusqu'à l'incorporation de ces matériaux dans la fabrication de nouveaux produits.

Pour promouvoir un mode de vie plus responsable.

La notion des "3R" du recyclage permet de servir de guide dans une démarche de réduction des déchets :

Réduire : le déchet le plus facile à recycler est celui qu'on ne produit pas !

Réutiliser : réemployer les objets au lieu de les jeter est un réflexe d'un mode de consommation plus sain permettant ainsi d'allonger la durée de vie de vos produits.

Recycler : si les deux premières options sont épuisées, n'hésitez pas à recycler votre déchet. Pour cela, il est important de respecter les consignes de tri des déchets pour qu'ils puissent être correctement recyclés^[8].

I.6.1. Le recyclage aujourd'hui

Chaque année à travers le monde, près de 2 milliards de tonnes de déchets solides sont produits, et l'on estime que ce chiffre devrait grimper à 3,4 milliards d'ici à 2050.

On constate d'ailleurs que la masse de déchets varie largement d'un pays à l'autre, notamment en fonction du revenu moyen par habitant. Un Nord-Américain jettera par exemple en moyenne 2,21 kg de déchets chaque jour tandis qu'un Africain subsaharien n'en produira que 460 grammes.

En revanche, seuls 2 % des déchets seront jetés dans la nature dans les pays riches, contre 93 % dans les régions aux revenus plus faibles, faute de systèmes de collecte suffisants. Malgré de nombreuses innovations à l'échelle locale, les décharges publiques

ou illégales progressent et représentent aujourd'hui plus de 4 % des émissions de CO₂ de la planète.

Quant aux pays plus riches, les déchets y sont mieux collectés mais les systèmes de recyclage sont encore loin d'être uniformes. Les États-Unis par exemple, premiers producteurs de déchets au monde, n'en recyclent pour l'heure que 35 % ce qui les place au dix-huitième rang du classement des meilleurs recycleurs internationaux. En France, avec plus de 500 kg de déchets ménagers générés par an et par habitant, et 30 millions de tonnes annuelles sont atteintes auxquels il faut encore ajouter les déchets de construction et les déchets industriels dont la proportion est 2 à 8 fois plus importante.^[8]

I.6.2. L'histoire du recyclage moderne

La situation change avec le développement progressif puis massif de l'industrie et de la consommation. La gestion des matières premières et des déchets devient de plus en plus difficile, les premières devenant trop rares et les seconds trop envahissants. Le recyclage prend alors de l'importance et devient progressivement un enjeu dans la sauvegarde de l'environnement.

Au XIX^{ème} siècle, les activités de recyclage prennent un nouvel essor avec la révolution industrielle. En l'espace de quelques décennies, les usines bourgeonnent en périphérie des villes, les produits manufacturés se multiplient et les populations urbaines augmentent encore. La découverte des bactéries sensibilise les peuples aux problèmes sanitaires, et des mesures sont prises pour les enrayer. ^[8]

I.6.3. Le recyclage en Afrique

En 2050, un quart de la population mondiale sera africaine. Conséquence directe de cette croissance démographique fulgurante : une augmentation tout aussi effrénée des volumes de déchets produits.

Mais faute de budgets gouvernementaux permettant la mise en place de systèmes de collecte et de recyclage efficaces, la grande majorité des pays du continent est contrainte de déposer ces matières dans des décharges publiques ou illégales, qui représentent aujourd'hui plus de 4% des émissions de CO₂ de la planète.

Pour lutter contre ce fléau, diverses entreprises de recyclage innovent au quotidien. Ainsi, au Burkina Faso, au Niger ou au Mali, les sacs plastiques sont collectés par des chiffonniers, puis transformés en meubles, en vêtements ou encore en matériaux routiers par des **PME** toujours plus inventives. Du côté du Nigeria, on collecte les déchets

ménagers à la source pour produire de l'électricité ou du bio-engrais et du côté du Cameroun, on collecte et on recycle les bouteilles en plastique pour en faire des pavés qui serviront à l'entretien des routes. ^[8]

I.7. Les bénéfices pour l'environnement

- Plus globalement, au-delà des objectifs réglementaires fixés, le compostage et le retour au sol des matières organiques présente de nombreux avantages pour la gestion des sols et pour l'environnement. C'est un processus naturel et économique.
- Dans le contexte actuel d'appauvrissement des sols en matières organiques, il existe un réel besoin d'amendements organiques naturels que les composts et digestats de biodéchets peuvent en partie combler. De plus, ils présentent l'avantage d'être produits localement, à partir d'un matériau renouvelable contrairement aux engrais de synthèse qui utilisent des ressources minières non renouvelables et non disponibles (phosphore et potasse), et pèse considérablement sur le bilan énergétique global.
- Le compostage et la méthanisation permettent aussi de diminuer la quantité de déchets ménagers produits et limitent ainsi les coûts liés à l'élimination des déchets^[9].

I.8. Généralités sur les produits organiques utilisés

I.8.1. Poudre de coquilles d'amandes

Les coquilles d'amandes micronisées sont avant tout un ingrédient apprécié pour les recettes naturelles de soin de la peau. Elles constituent une alternative durable au micro plastique. En raison de leur consistance relativement douce, elles sont appréciées par les fabricants de peelings naturels. Les gels douches, nettoyants du visage, savons et autres produits cosmétiques nettoyants contiennent souvent 5 à 10 % de granulés de coquilles d'amandes pour un effet abrasif doux. De tels peelings garantissent non seulement un nettoyage soigneux de la peau, mais favorisent aussi la circulation sanguine pour garantir une apparence saine^[10].

I.8.1.1. Les propriétés bienfaitantes pour la santé de la poudre de coquilles d'amandes

D'autre part, les coquilles d'amandes fraîchement moulues constituent un composant biologique précieux pour les aliments comme les produits céréaliers, les mélanges de pâtisserie, les confiseries ainsi que les produits à base de viande et les succédanés de viande. Elles constituent une source de fibres facile à digérer afin de diminuer la teneur en calories et font office d'excipient pour les arômes en tant que liant naturel ainsi que structurant aux propriétés appréciées : sans gluten, sans céréales, vegan (mode excluant la consommation de produits d'origine animale) ^[11].

I.8.2. La poudre de noyaux de datte

Apporte d'énormes bienfaits à l'organisme. En effet les noyaux de dattes sont riches en protéines, sels minéraux, vitamines et acides aminés. Les noyaux de dattes sont riches en fibre soluble qui intervient dans la réduction du taux de cholestérol et du taux de sucre dans le sang limitant ainsi les risques cardio-vasculaires, mais aussi en fibres insolubles jouant un rôle important dans la régularité intestinale limitant ainsi le risque de constipation.

I.8.2.1. Préparation des noyaux de dattes

Dans premier temps les noyaux de dattes sont lavés puis séchés. Ensuite ils sont torréfiés et moulu pour obtenir une fine poudre marronne comme du café ^[12].

I.8.2.2. Utilisation des noyaux de dattes

La poudre de noyaux de dattes s'apparente à du café et se prépare comme du café (café turc). La poudre de noyaux de dattes peut être utilisée seule ou en ajoutant des épices comme de l'anis en poudre, de la cannelle, de la cardamome, etc. Au choix. Il sera préférable de sucrer votre café de noyaux de dattes avec du miel et non du sucre pour une meilleure santé. Le café de noyaux de dattes sera votre allié si vous souhaitez arrêter le café tout en gardant ce petit moment autour d'une tasse de café chaud. Le café de noyaux de dattes ne contient pas de caféine et peut se boire à tout moment de la journée.

Grâce à sa richesse en micronutriments, le café de noyaux de dattes aide le corps à réguler sa température, régénère les cellules du sang et les renforcent, détruit bactéries et microbes, aide à la dissolution des calculs rénaux. Le café de noyaux de dattes est bénéfique pour les diabétiques et joue un rôle important contre la goutte et la gonorrhée (maladie sexuellement transmissible très contagieuse causée par la bactérie gonocoque). En plus de son utilisation interne, la poudre de noyaux de dattes est aussi utilisée dans le

monde arabe en cosmétique. En effet grâce à ces micronutriments la poudre de noyaux de dattes est utilisée en soin capillaire et en soin de la peau.

Mélanger la poudre de noyaux de dattes à de ou des huiles végétales stimule la pousse des cheveux tout en renforçant le bulbe engendrant ainsi des cheveux plus épais et plus fort. En soin de la peau il peut être mélangé avec une eau florale ou du miel et à appliquer sur votre visage, laisser sécher et masser légèrement en mouvement circulaire afin d'effectuer un gommage puis rincer à l'eau claire [13].

I.8.2.3. Les composants des noyaux des dattes :

Très riche en minéraux et en fibres solubles et insolubles ; sélénium, magnésium, potassium, phosphore, fer, calcium, zinc, cuivre. Contient également des acides gras insaturés (acide palmitoleique, acide linoléique, acide linoléique, acide oléique). Caroténoïdes, phénoliques, protéine, acide nicotique [14].

I.8.2.4. Les vertus des noyaux des dattes :

- ❖ Vasodilatation.
- ❖ Antiseptique.
- ❖ Anti hypertensif.
- ❖ Antiathérogène.
- ❖ Protection contre l'intoxication hépatique et rénale.
- ❖ Activités anti-oxydantes et anti-radicaux libres.
- ❖ Traitement des problèmes liés au sucre dans le sang, du diabète et de ses complications.
- ❖ Antiviraux contre divers virus humains pathogènes.
- ❖ Aide à protéger le corps contre les dommages dus au stress oxydatif ;
- ❖ Riches en pro anthocyanidines qui aident à protéger le foie et les reins contre les dommages.
- ❖ Stimulant pour la mémoire.
- ❖ Réduisant le niveau de cholestérol dans le sang.
- ❖ Favorisant le lait maternel après la naissance.
- ❖ Réduit les symptômes des maladies inflammatoire.
- ❖ Diminution de la pression artérielle.
- ❖ Entrave aux dépôts graisseux (athéromes) sur les parois artérielles.

- ❖ Activité anti-thrombotique.
- ❖ Prévention des risques cardiovasculaires.
- ❖ Apaise les douleurs dentaires en bridant le noyau et le mettre dans la bouche ;
- ❖ Aide à la croissance des cheveux.
- ❖ Renforce le corps.
- ❖ Renouvelle le sang.
- ❖ Traite les maladies de la peau.
- ❖ Contribue au traitement de l'asthme.
- ❖ Aide à briser les calculs.
- ❖ Prévention de la constipation.
- ❖ Réduction du cholestérol.
- ❖ Régulation du taux de glucose.
- ❖ Idéal pour la personne souffrant d'insomnie.
- ❖ Utilisé comme khôl pour améliorer la vue des personnes âgées.
- ❖ Aide à traiter le durcissement des artères.
- ❖ Traitement de la goutte.
- ❖ Traite l'anémie. ^[14]

I.8.2.5. Utilisation des noyaux des dattes:

- ❖ La poudre des dattes est fabriquée au Sud-est Algérien (**Oued Righ**).
- ❖ En Tunisie : L'entreprise "Vita Café" implantée à Fouchana dans le gouvernorat de **Ben Arous**, utilise actuellement entre 10 et 15 tonnes de noyaux de dattes par an, fournies par une société qui travaille les dattes dénoyautées.
- ❖ Impliqué dans la fabrication du savon.
- ❖ Agent de conservation de l'huile d'olive, ajoutez quelques noyaux entier ou concassés à votre huile d'olive.
- ❖ Pour attendrir la viande, ajouter quelques noyaux dans votre cocotte-minute ;
- ❖ Utilisé dans l'alimentation humaine et animale, en cosmétiques, industrie agro-alimentaire et pharmaceutiques.
- ❖ Bsissa, un met tunisien, à base de noyau de datte et d'avoine (Gossiba) produite en Tunisie, recommandée pour les personnes qui suivent un régime alimentaire^[15].

I.8.3. Poudre de noyaux d'olives

Le granulé, la farine pure et propre de noyaux d'olives est le résultat d'un traitement complexe des résidus de la fabrication de l'huile d'olive. Pour produire l'huile d'olive, l'olive est toujours pressée entièrement, c'est-à-dire avec le noyau. Les résidus dégraissés (grignons d'olives) encore humides sont ensuite traités à l'aide de machines spéciales. Durant une étape de centrifugation, les noyaux d'olives broyés sont séparés de la pulpe et des restes de pelures avant d'être mécaniquement nettoyés, séchés et filtrés.

Les résultats : des granulés beige clair, quasiment sans odeur, sans résidus de poussière et de fruits. Ensuite, il est possible de procéder à la micronisation pour produire des granulés de haute qualité et de la poudre. L'olive, une source d'alimentation polyvalente.

Depuis des siècles, les olives sont un riche aliment de base dans la zone de la Méditerranée. De nos jours, les effets bénéfiques pour la santé de l'huile d'olive et des feuilles d'olivier sont également connus dans d'autres parties du monde. Les extraits (de noyaux) d'olives sont donc devenus des ingrédients éprouvés pour de nombreux produits, en particulier des médicaments, des compléments alimentaires et des produits cosmétiques. ^[16]

I.8.3.1. Propriétés générales du granulé de noyaux d'olives

En raison de leurs propriétés variées suivantes, les granulés de noyaux d'olives peuvent être utilisés de façon polyvalente :

- ❖ **Couleur claire.**
- ❖ **Absence de contamination par la poussière.**
- ❖ **Les résidus de pulpe, de peau d'olives et de graines :** On utilise exclusivement des noyaux d'olives broyés de qualité maximale. Juste après le pressage, encore humides, ceux-ci sont séparés des grignons. Ce type de matière première spéciale est principalement disponible durant la saison de récolte des olives (octobre-février), et traitée en continu. La pureté élevée constitue une condition pour une longue conservation des poudres et granulées ;
- ❖ **Forme relativement homogène des particules.**
- ❖ **Stabilité élevée des particules :** les particules ne se brisent et ne se désintègrent quasiment pas. Ainsi, la micronisation avec des graines variées, de tailles clairement définies, est possible. De plus, la technologie de mouture et de filtrage permet une répartition très homogène au sein de fractions de graines définies.

- ❖ **Absence d'allergènes** : La meilleure sélection pour les personnes allergiques aux noix ou intolérantes (p. ex. aux céréales au gluten). Par conséquent, la farine de noyaux d'olives est parfaite pour les fabricants de produits cosmétiques antiallergiques, d'aliments et de nourriture pour animaux ainsi que de matériaux innovants de biomatériaux.
- ❖ **Produit sans OGM** : En Europe, les oliviers ne sont pas génétiquement modifiés. Le maïs, le soja, la canne à sucre et le colza sont des variétés de plantes génétiquement modifiées.
- ❖ **Vegan / halal / cacher** : Il n'y a aucun contact avec des substances animales ou alcoolisées, que ce soit lors de la production d'huile d'olive ou du traitement des poudres et granulés. Ainsi, la compatibilité avec les produits certifiés halal et cacher est garantie.
- ❖ **Approvisionnement durable** : On utilise exclusivement des produits dérivés, pas de plantes cultivées ^[16].

I.8.3.2. Utilisation des noyaux d'olives

Dans les produits cosmétiques et ménagers, les poudres de noyaux d'olives constituent une alternative durable au micro plastique. Les avantages susmentionnés ont une utilité essentielle par rapport aux autres granulés naturels en bois, maïs, cellulose, silicone, pierres ponce et autres. La stabilité et la dureté des particules permet une efficacité améliorée : en particulier pour les applications avec effet d'usure (abrasif)(peelings , pâtes pour le lavage des mains ,produits nettoyants), et le granulé de noyaux d'olives peut atteindre l'effet souhaité avec en moyenne 5 % de matériaux en moins.

En ce qui concerne les applications alimentaires, les farines de noyaux d'olives fournissent beaucoup de glucides (saccharose, glucose, fructose, pectine, xylose, mannitol et myo-inositol) ainsi que des fibres faciles à digérer (cellulose, hémicellulose et lignine). Même si d'un point de vue visuel, il existe une grande similarité avec les farines usuelles, la farine de noyaux d'olives est un ingrédient biologique sans gluten et sans céréales pour les « superfoods » innovants ainsi que de nombreux mélanges de pâtisserie, viandes et charcuteries, les aliments diététiques et les produits de confiserie. D'autre part, la poudre de noyaux d'olives constitue une alternative végétale et sans substance nocive à la farine de poisson, à la farine d'os et aux autres ingrédients animaux dans la nourriture pour animaux végétarienne ou vegan.

Les avantages alimentaires des olives sont une contribution précieuse à la santé des animaux et des humains [16].

I.8.3.3. Poudre de noyaux d'olives pour différentes applications industrielles

Dans le cadre des applications en science des matériaux, le granulé de noyaux d'olives constitue une matière de remplissage appréciée pour la céramique, les revêtements, les matériaux composites, le polymère, l'asphalte et le bitume. Les avantages résultent non seulement de l'augmentation de la part de biomatériaux mais aussi des propriétés réactives et de la fonction de la poudre/du granulé en tant qu'agent liant et structurant. La poudre de noyaux d'olives peut être facilement colorée et il a été démontré qu'elle améliore la résistance à la traction et à la flexion ainsi que la durée de vie de matériaux variés [16].

I.8.4. Le marc du café

C'est le reste du café après infusion dans de l'eau, généralement chaude. Il est composé de beaucoup d'éléments d'intérêts dont la valorisation permet l'obtention de différents produits [17].

I.8.4.1. Historique de café

Le nom de café désigne à la fois les graines du caféier, un arbuste des régions tropicales, la boisson obtenue à partir de ces graines et le lieu de consommation de cette boisson.

Depuis des siècles, le café est l'une des principales denrées alimentaires d'origine agricole échangée sur les marchés internationaux, et le deuxième bien de consommation échangée dans le monde, derrière le pétrole et avant le charbon, la viande, le blé et même le sucre. La légende veut qu'un berger éthiopien, ayant observé une certaine suractivité de son troupeau de chèvres, les animaux restant éveillés la nuit, ait découvert qu'ils consommaient un fruit particulier venant d'un arbre : le caféier.

Les deux espèces de caféier les plus cultivées sont l'Arabica et le Robusta. Le Robusta, moins coûteux et plus facile à cultiver, est Originaire d'Afrique Tropicale, Centrale et Occidentale ; il a été largement introduit en Amérique et en Asie Tropicale. L'Arabica, quant à lui, est originaire d'Afrique de l'Est ; il est très répandu dans les régions tropicales d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud. Les deux espèces présentent des différences

au niveau du goût, du taux de caféine et du prix. L'Arabica, dont le prix peut être 50% plus cher que le Robusta, a par contre un goût plus savoureux, avec un taux de caféine moindre [17].

I.8.4.2. Propriétés du marc de café

Le marc de café possède plusieurs propriétés, soit physiques, chimiques et également bioactives. Celles-ci sont exposées ci-après :

I.8.4.2.a. Propriétés physiques du marc de café

Le marc de café possède un haut taux d'humidité. Plus l'humidité est grande plus la croissance microbienne est favorisée, donc des stratégies de conservations optimales sont nécessaires afin de récupérer une matière de qualité.

En ce qui concerne la morphologie des grains de marc de café, illustre un grain de marc de café issu des commerces et prise par microscopie électronique à balayage.

I.8.4.2.b. Propriétés chimiques du marc de café

Le carbone est l'élément majoritaire du marc de café.

I.8.4.2.c. La composition élémentaire du marc café

- ❖ Carbone : 49,7%.
- ❖ Hydrogène.
- ❖ Azote 2,3%.
- ❖ Oxygène.

I.8.4.2.d. Les principaux composés du marc café

- ❖ Glucides : 45,3%.
- ❖ Lipides : 9,3_16,2%.
- ❖ Protéines : 14%.
- ❖ Minéraux. [17]

I.8.4.3. Utilisation de marc de café

De multiples voies de valorisation et d'utilisations sont possibles avec le marc de café. Parmi celles-ci se retrouvent les productions d'éthanol, de biodiesel, de combustibles pour les fours industriels et de granules de combustion pour les fours résidentiels. Le marc de café peut être utilisé dans l'industrie alimentaire, dans la production de biomatériaux, dans la production de charbon actif, dans le traitement des eaux usées des industries et de l'eau potable, etc. Pour toutes les voies de valorisation qui sont discutées,

l'utilisation du marc de café arabica ou robusta est possible, aucune distinction n'a été faite par les études.

La composition chimique du marc de café ouvre la porte de beaucoup d'industries. Par exemple, les antioxydants sont des composés très prisés dans l'industrie du cosmétique et de la pharmaceutique et la cellulose est un produit utilisé dans la fabrication du papier. Aussi, la capacité actuelle de transformer la cellulose en glucose permet la synthèse de nombreux autres composés chimiques d'intérêts ^[17].

I.9. Conclusion

Aujourd'hui, le recyclage et les différents maillons de l'économie circulaire progressent et on commence à entrevoir l'image d'un autre mode de vie qui serait à nouveau connecté à la nature. Dans ces nouveaux enjeux, tout le monde a un rôle à jouer, du gouvernement qui définit les réglementations aux entreprises qui doivent faciliter la transition et jusqu'au consommateur à l'extrémité de la chaîne qui doit apprendre à revoir ses comportements d'achat. Autant de petits efforts simples qui deviendront des réflexes et qui permettront aux changements de se faire non pas sous la contrainte mais au contraire de manière volontaire et tout en douceur.

Chapitre II : Charbon actif.

Abréviations

COV : Composés organiques volatils.

MON : Matières organiques naturelles.

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques.

CAs : Charbons actifs.

CAG : Charbon Actif Granulaire.

CAP : Le Charbon Actif en Poudre.

CAE : Le Charbon Actif Extrudé.

BET : Méthode de Brunauer, Emmett et Teller. C'est une méthode d'analyse, utilisée pour la caractérisation de la texture des poudres.

UV : Le rayonnement ultraviolet. Est un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde inférieure à celle de la lumière visible, mais supérieure à celle des rayons X.

II.1. Introduction

Les premiers adsorbants utilisés depuis des siècles furent les argiles et les terres décolorantes, puis à la fin du XIX siècle furent développés les charbons actifs. C'est en 1945 que furent reconnues les propriétés exceptionnelles d'adsorption du charbon actif. Actuellement, le charbon actif est le plus couramment utilisé. Les charbons actifs sont définis comme étant des matériaux carbonés très poreux qui présentent une grande surface spécifique d'une grande porosité, d'où les propriétés d'adsorption exceptionnelles. Ils sont des adsorbants ayant un très grand nombre d'applications, surtout dans le traitement des eaux et celles des eaux usées ils sont utilisés pour purifier l'eau du goût et de l'odeur (élimination des colorants). Le charbon actif présente une meilleure technologie par son adsorption et ceci pour éliminer une variété considérable de contaminants organiques et inorganiques comme les métaux lourds, Zinc, plomb, etc. [18].

II.2. Historique du charbon actif

Le charbon actif est utilisé depuis longtemps pour ses propriétés épuratoires dans le traitement de l'eau ou des gaz.

- ❖ 2000 ans avant JC : Utilisation par les médecins égyptiens.
- ❖ 1773 : Utilisation pour la purification des gaz.
- ❖ 1785 : Utilisation pour la décoloration des liquides.
- ❖ 1914 : Utilisation pour les masques à gaz.
- ❖ 1924 : Utilisation pour l'élimination des goûts et des odeurs.
- ❖ 1960 : Utilisation pour l'élimination du chlore.
- ❖ 1970 : Utilisation comme adsorbant.
- ❖ 1976 : Utilisation comme support biologique.
- ❖ Pendant les guerres, le charbon actif a été développé pour le traitement des gaz toxiques.
- ❖ Après la seconde guerre mondiale, le milieu industriel s'est intéressé à ce matériau.
- ❖ Plus tard, l'apparition des micropolluants dans les eaux a nécessité de nouvelles techniques de traitements. La capacité du charbon actif à retenir des molécules à faible concentration convenait parfaitement. La banalisation de son utilisation est due à l'augmentation de la quantité de pesticides présents dans les eaux et à

la législation de plus en plus stricte. Néanmoins la connaissance de ce matériau reste partielle^[19].

II.3. Le charbon actif

Le charbon actif (ou charbon activé) est une forme brute de graphite. Pour le grand public, ce composé est utilisé généralement pour les mines de crayons. Il reste néanmoins différent dans la mesure où la disposition des plaques de graphite est entièrement aléatoire contrairement aux mines de crayons où les plaques de graphite sont parfaitement disposées de manière parallèle. Cette structure imparfaite est de fait très poreuse. Le charbon actif est donc composé de pores de tailles différentes : d'imperfections du domaine du visible jusqu'aux pores aux dimensions moléculaires^[20].

II.4. Description du charbon actif

Le charbon actif est constitué d'adsorbants carbonés qui ont été traités et présentent un degré élevé de cristallisation et de porosité. C'est un matériau qui présente une surface interne élevée en raison de la taille nanométrique de ses abondants micropores, ce qui lui confère une grande capacité d'adsorption d'autres éléments chimiques.

Ce produit est fabriqué en activant du carbone provenant de différentes sources. Le processus d'activation peut être physique, dans le cas où le matériau carbonisé est traité avec des gaz de combustion et de la vapeur d'eau à des températures élevées (environ 1000 ° C), ou chimique, dans le cas où le matériau carbonisé est traité à des températures moins élevées (500- 700 ° C) avec des réactifs chimiques acides tels que l'acide phosphorique ou l'hydroxyde de potassium. Lorsque le charbon actif est saturé, il peut être réactivé et réutilisé au moyen d'un processus thermique dans lequel des températures élevées (environ 900 ° C) sont appliquées pour éliminer les éléments retenus à l'intérieur du charbon actif.

C'est un produit très polyvalent qui peut être utilisé pour diverses applications, du traitement de l'eau ou des gaz aux secteurs alimentaire, industriel ou pharmaceutique, dans différentes formes d'application (granulaire, poudre ou granulé)^[21].

II.5. Les différentes formes du charbon actif

Il existe trois formes principales de charbon actif.

II.5.1. Charbon Actif Granulaire

Ce type de charbon est utilisé pour des applications en phase liquide et gazeuse.

Ce sont des particules de formes irrégulières parmi une gamme de tailles allant de 0.2 mm à 5 mm. [22]



Figure II.1 : Charbon Actif Granulaire (CAG)^[22].

II.5.2. Le Charbon Actif en Poudre

Ce charbon est principalement employé dans des applications en phase liquide et pour le traitement des flux gazeux avec une taille de moins de 0.18 mm. [23]



Figure II.2: Charbon Actif Poudre (CAP)^[23].

II.5.3. Le Charbon Actif Extrudé

De formes cylindriques avec des diamètres allant de 0.8 mm à 5 mm. Le charbon Actif extrudé est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussières^[24].



Figure II.3: Charbon Actif Extrudé(CAE) [24].

II.6. Le charbon végétal

Est un matériau naturel aux nombreuses vertus. Il est le plus efficace des désintoxiquants naturels connus. Les prémices de son utilisation remontent à l'Antiquité où les Egyptiens s'en servaient pour purifier l'eau et Hippocrate en faisait déjà une utilisation médicinale [24].

On retrouve le charbon végétal actif sous différentes formes galéniques :

II.6.1. Poudre

Cette forme de charbon est principalement utilisée en cosmétique et en pharmacie sous formes de gélules, pastilles et comprimés.

II.6.2. Solide ou bâton

C'est la forme naturelle du charbon activé principalement utilisée pour l'usage domestique dans le traitement de l'eau et de l'air : déshumidificateur, purificateur d'eau et d'air.

II.6.3. Granulé

Le charbon actif en granulé est utilisé dans le traitement de l'air où il joue un rôle de purificateur (adsorption des gaz nocifs) et d'adsorbeur d'humidité. Au Japon, les habitants tapissent le sol de leur cave afin d'éviter le rancissement et la prolifération bactérienne dans leur maison. C'est un actif courant dans l'assainissement des eaux industrielles[24].

II.7. Avantages

- ❖ Les charbons actifs en poudre sont environ 2 à 3 fois moins chers que les charbons en grains.
- ❖ Leur dosage en quantité réglable peut suivre la concentration des polluants si celle-ci est connue.

- ❖ Leur emploi ne nécessite qu'un investissement réduit quand le traitement ne comporte qu'une étape de floculation-décantation (il suffit de prévoir un simple poste de dosage de charbon actif).
- ❖ Leur cinétique d'adsorption est rapide, une grande surface étant directement accessible.

II.8. Inconvénients

- ❖ Il est impossible de régénérer le charbon actif lorsqu'il est récupéré en mélange avec des boues.
- ❖ Il est difficile d'éliminer les dernières traces d'impuretés sans addition d'un excès de charbon actif.
- ❖ Pour pouvoir utiliser le charbon lors des pointes de pollution, il est indispensable d'avoir les moyens de détecter ces pointes.
- ❖ On utilise donc essentiellement le charbon en poudre à l'occasion de dosages discontinus ou de faible importance (inférieurs à 10 à 25 g · m⁻³ suivant les cas), sinon l'économie pousse à utiliser des charbons en grains régénérables.

II.9. Applications

Le charbon actif peut être appliqué dans les processus et secteurs suivants :

- ❖ **Traitement de l'air et des gaz.** La rétention d'éléments polluants dans les gaz émis dans les procédés industriels est l'une des principales applications. En utilisant du charbon actif standard, vous pouvez éliminer les composés organiques volatils (COV), les odeurs et récupérer les solvants. De même, grâce à l'utilisation de charbons imprégnés, tous les éléments qui ne peuvent pas être retenus avec du charbon actif standard peuvent être éliminés, tels que l'élimination du sulfure d'hydrogène (dans les usines de biogaz), des mercaptans, du formaldéhyde, de l'éthylène, etc., les alcools, l'ammoniac, ou vapeurs de mercure. En d'autres termes, grâce à la grande surface interne et / ou à un agent d'imprégnation spécifique pour chaque composé, le charbon actif peut éliminer ou retenir une grande variété de gaz et de vapeurs.
- ❖ **Traitement et potabilisation de l'eau.** Le charbon actif agit comme un adsorbant, éliminant les éléments polluants et indésirables de l'eau tels que les pesticides, les herbicides, l'ozone et les composés organiques qui causent une mauvaise odeur ou un mauvais goût. Le charbon actif d'origine végétale du bois

- de pin possède des macropores et est appliqué à l'élimination du chlore, des huiles, des graisses et des matières organiques naturelles (**MON**) des déchets et des eaux de surface. De la même manière, le carbone issu de la coque de la noix de coco qui possède des micropores est utilisé pour la purification de l'eau de puits, l'élimination des odeurs et des saveurs et la rétention des composés volatils. Enfin, le charbon d'origine minérale à base de bitumine, qui possède des mésopores, est utilisé dans l'épuration des eaux usées avec des polluants de poids moléculaire intermédiaire.
- ❖ **Industrie alimentaire.** L'ensemble de la gamme de charbons actifs pour le secteur alimentaire est conforme aux certificats de conformité Food Chemical Codex de conformité alimentaire. Il est utilisé dans les huiles végétales pour éliminer les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**), dans les vins et les boissons alcoolisées pour le raffinement de la saveur et des odeurs, dans les jus de fruits pour éliminer les oxydes et autres impuretés, dans les boissons non alcoolisées pour éliminer le chlore de l'eau traitée, dans les bonbons et des bonbons pour les procédés de blanchiment et pour la purification d'additifs tels que le glutamate monosodique, la glycérine, le glucose, les huiles essentielles ou les édulcorants.
 - ❖ **Industrie pharmaceutique.** En fonction du processus d'activation et de la forme du carbone, il peut être développé spécifiquement pour le secteur pharmaceutique. Le charbon actif est appliqué pour faciliter la fabrication et la purification de vitamines ou d'antibiotiques et pour purifier les fluides hématiques ou pour être utilisé comme charbon de bois médicinal.
 - ❖ **Industrie chimique.** Les charbons actifs peuvent également être adaptés à l'industrie chimique. Par exemple pour la récupération de solvants, pour les colorants textiles, pour l'élimination du mercure ou pour les acides organiques.
 - ❖ **Autres applications industrielles.** Comme on l'a déjà vu, le charbon actif possède une capacité d'adsorption élevée et une grande polyvalence qui lui permettent d'éliminer les impuretés, de retenir les éléments polluants ou de récupérer les vapeurs de solvants. Cette diversité de fonctions lui permet d'être appliquée dans une multitude de secteurs industriels, de l'exploitation minière au nucléaire. D'autres exemples d'utilisations dans l'industrie sont la récupération de métaux, leur application dans les fibres synthétiques, dans le biodiesel ou dans la purification d'acides aminés [26].

II.10. Les molécules adsorbées sur le charbon actif

L'adsorption est provoquée par les Forces de Dispersion de London, un des nombreux types de liaison de Van der Waals. Par analogie, ces forces agissent d'une manière similaire à celles qui régissent notre univers : les forces gravitationnelles entre planètes.

Les forces de dispersion de London sont des interactions de faible intensité, sensibles à la distance. Elles sont donc limitées dans l'espace et plus la distance entre la molécule à adsorber et la surface du charbon actif est importante et moins cette attraction est forte. Ces forces sont additives, la force d'adsorption est la somme de toutes les interactions entre les atomes. Ces deux propriétés conduisent à obtenir un produit aux forces d'adsorption physiques les plus importantes de tous les matériaux connus. [27]

II.10.1. Adsorption en phase gazeuse

C'est un phénomène de condensation où les forces d'adsorption concentrent les molécules du fluide au sein des pores du charbon actif. La force d'adsorption est fonction du rapport entre la pression partielle et la pression de vapeur d'un composé donné.

II.10.2. Adsorption en phase liquide

Les molécules s'adsorbent dans les pores dans un état semi-liquide. La force d'adsorption est fonction du rapport entre la concentration et la solubilité d'un composé donné.

II.10.3. Les composés adsorbés

En théorie, tous les composés sont adsorbables. En pratique, le charbon actif est utilisé pour l'adsorption des principaux composés organiques et des composés inorganiques de haut poids moléculaire tels que l'iode et le mercure. En général, la capacité d'adsorption d'un composé augmente avec :

- ✚ Les poids moléculaires croissants.
- ✚ Le nombre plus élevé de groupes fonctionnels tels que des doubles liaisons ou des composés halogènes.
- ✚ La polarité croissante des molécules [27].

II.11. Méthodes de préparation de charbon actif

Une fois le précurseur sélectionné, celui-ci est séché, soit au soleil, soit dans une enceinte maintenue à environ 105 °C afin d'ôter l'humidité. Le matériau est ensuite broyé et réduit plus finement selon une taille de grains définie à l'aide d'un tamis (obtention d'une gamme de taille de particules homogènes). En général, la taille courante la plus utilisée pour les grains se situe entre 0,4 et 1 mm. C'est la phase de préparation.

On distingue deux principales méthodes d'élaboration des charbons :

Le procédé chimique et le procédé physique. Ce sont des procédés standards même si afin d'améliorer le processus de préparation et surtout les propriétés des produits, certaines variantes ont été étudiées. Ils ont pour objectif de produire des **CAs** possédant une grande surface et un grand volume des poreux. C'est le type d'activation qui distingue ces deux modes d'élaboration des **CAs**.

Dans le cas d'une activation chimique, on imprègne le précurseur avec un agent chimique, puis on effectue un chauffage pendant quelques heures en présence d'un gaz inerte. L'activation physique nécessite deux chauffages en présence de gaz inerte et gaz oxydant. Cependant, depuis les années 2000, un troisième mode de préparation, plus rapide, a été proposé : le chauffage par micro-ondes. ^[34]

II.11.1.Élaboration par voie physique

L'activation physique est réalisée en deux étapes de chauffage : la pyrolyse et l'activation. La matière broyée et tamisée (une quantité M_0) est disposée dans un four électrique dont la température varie entre 600 °C et 1 000 °C, sous un flux de gaz inerte (argon ou azote, ce dernier étant le plus utilisé), pendant un temps défini (de 30 minutes à 3 heures).

À la fin de la réaction, le matériau carboné initial est transformé en charbon. Les meilleurs résultats sont souvent obtenus pour une température de (700 - 800 °C). Le rendement peut être calculé par l'une des relations décrites dans les équations 1a ou 1b où M_0 et M_1 sont respectivement la masse de précurseur sec et charbon (en g).

II.11.2. Élaboration par voie chimique

L'autre procédé habituellement utilisé pour la préparation de CA est l'activation chimique. On distingue deux types de procédés, l'imprégnation et l'activation par chauffage. Habituellement, le matériau carboné est broyé, lavé, séché et imprégné pendant un temps défini (de quelques heures à plusieurs jours) en présence d'agents chimiques d'activation.

Ces agents peuvent être des bases (**KOH, NaOH...**), des acides (**KBr, H₂SO₄, H₃PO₄, HNO₃, HCl...**), des oxydants (**H₂O₂...**) ou des sels (**ZnCl₂, MgCl₂, ...**).

II.11.3. Élaboration par chauffage aux micro-ondes

Depuis un peu plus de 15 ans, certains auteurs ont proposé d'utiliser un chauffage par micro-ondes au lieu d'un chauffage électrique. Le four (commercial) à micro-ondes est modifié ou adapté pour le dispositif. Ont répertorié les récents développements concernant la préparation et la régénération des **CAs** en utilisant les micro-ondes.

Ce traitement est plus rapide que le chauffage classique (durée de traitement de 2 à 30 minutes), ce qui permet une moindre consommation de gaz inerte et de l'énergie.

Avant un chauffage au four à micro-ondes (sous une puissance variable de 300 à 800 W), le précurseur est :

- ❖ Soit imprégné dans un agent chimique.
- ❖ Soit directement chauffé aux radiations micro-ondes pendant quelques minutes ; lors de l'activation, le gaz oxydant peut être de la vapeur d'eau ou du dioxyde de carbone.
- ❖ Soit carbonisé de manière conventionnelle par chauffage électrique puis l'activation est réalisée au four à micro-ondes.
- ❖ Soit encore carbonisé de manière conventionnelle (chauffage électrique) suivi d'une imprégnation par un agent chimique avant le chauffage au four à micro-ondes.
- ❖ La revue de peut être consultée sur ce sujet. Ces auteurs ont comparé spécifiquement les effets de la durée d'irradiation, de la puissance des radiations, du taux de l'agent chimique utilisé et la nature de l'agent chimique, sur les propriétés physiques des **CAs** et aussi l'effet de l'usage de cette méthode sur le rendement. La durée d'irradiation optimale lors de l'activation aurait comme effet d'augmenter la capacité d'adsorption par un développement de la porosité.
- ❖ Plusieurs études comparant les différents modes de préparation ont conclu que le temps de préparation et l'activation sont plus courts, sans modification importante des. La surface **BET** et le volume poreux sont très souvent supérieurs dans le cas du chauffage aux micro-ondes.
- ❖ Enfin, ont étendu cette comparaison entre 2005 et 2012 pour les sous-produits agricoles, en concluant d'une part, que les conditions optimales sont en général une durée d'irradiation de 5-15 minutes et une puissance de 350-700 W, et

d'autre part, que le chauffage aux micro-ondes a tendance à augmenter ou développer les aires de surface des **Cas**.^[28].

II.12. Modification des propriétés de surface des charbons actifs

Les capacités d'un **CA** à piéger des molécules ont longtemps été attribuées à sa texture : les pores de la surface avaient en effet les dimensions adéquates pour capturer la particule à éliminer. Depuis une vingtaine d'années, des études ont montré l'importance des groupements chimiques de surface sur la rétention d'espèces. Il peut s'agir de groupements acides ou basiques.

C'est ainsi que, plus récemment, est venue l'idée de greffer sur la surface des groupements aux propriétés particulières, suivant la nature des molécules toxiques que l'on désire éliminer d'un milieu donné par exemple. Si le pesticide a des groupements acides de Lewis, il pourra être capté par une terminaison de surface de type base de Lewis. Il faut bien sûr une force d'interaction suffisante pour que la capture soit pérenne.

Les charbons fluorés et les charbons hydrogénés permettent d'orienter les propriétés du matériau pour augmenter l'hydrophobicité de la surface. En effet, la teneur en eau adsorbée par un **CA** est directement liée à la teneur en groupes fonctionnels oxygénés de surface. Opérer leur réduction par le dihydrogène est alors une voie possible.

L'exposition d'un **CA** à un flux de dihydrogène à haute température (500 à 900 °C) pendant une heure est une méthode permettant de réduire la teneur en groupes fonctionnels oxygénés à la surface du matériau, et donc d'augmenter son hydrophobicité.

La modification de surface réalisée par réaction du dihydrogène sur un **CA** brut, a été étudiée à l'aide de mesures d'adsorption d'eau^[29].

II.13. Propriétés des charbons actifs

II.13.1. Propriétés physiques

La structure d'un solide est définie par deux principaux paramètres : la porosité et la surface spécifique qui dépend directement du volume poreux.

Selon la définition de l'IUPAC.

II.13.1.1. La porosité

Est divisée en trois domaines :

- ❖ Macropores.
- ❖ Mésopores.
- ❖ Micropores.

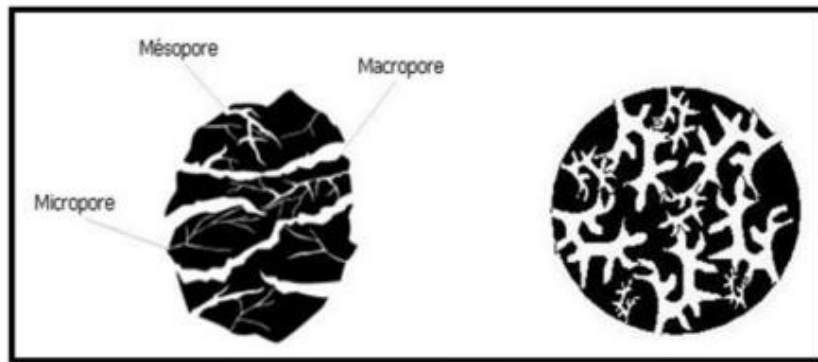


Figure II.4 : Représentations schématisées d'un grain poreux ^[30].

II.13.1.2. Surface spécifique

La surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse. Elle est généralement exprimée en $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$. Son estimation est conventionnellement fondée sur des mesures de la capacité d'adsorption de l'adsorbant en question, correspondant à un adsorbant donné ^[30].

Le tableau ci-dessous résume quelques surfaces spécifiques de certains adsorbants.

Tableau II.1 : Surfaces spécifiques de quelques matériaux adsorbants^[31].

Matériaux adsorbants	Surfaces spécifique ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)
Alumine activée	200-400
Tamis moléculaires carbonés	300-600
Adsorbants à base de polymère	100-700
Zéolites	500-800
Gel de silice	600-800
Charbons actifs	400-2000

Il est nécessaire de distinguer la surface interne de la surface externe d'un adsorbant. La première est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores ; elle peut atteindre plusieurs mètres carrés par gramme. La deuxième est la surface non microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface des feuillet aromatiques, elle est représentée sur la (Figure II.5).

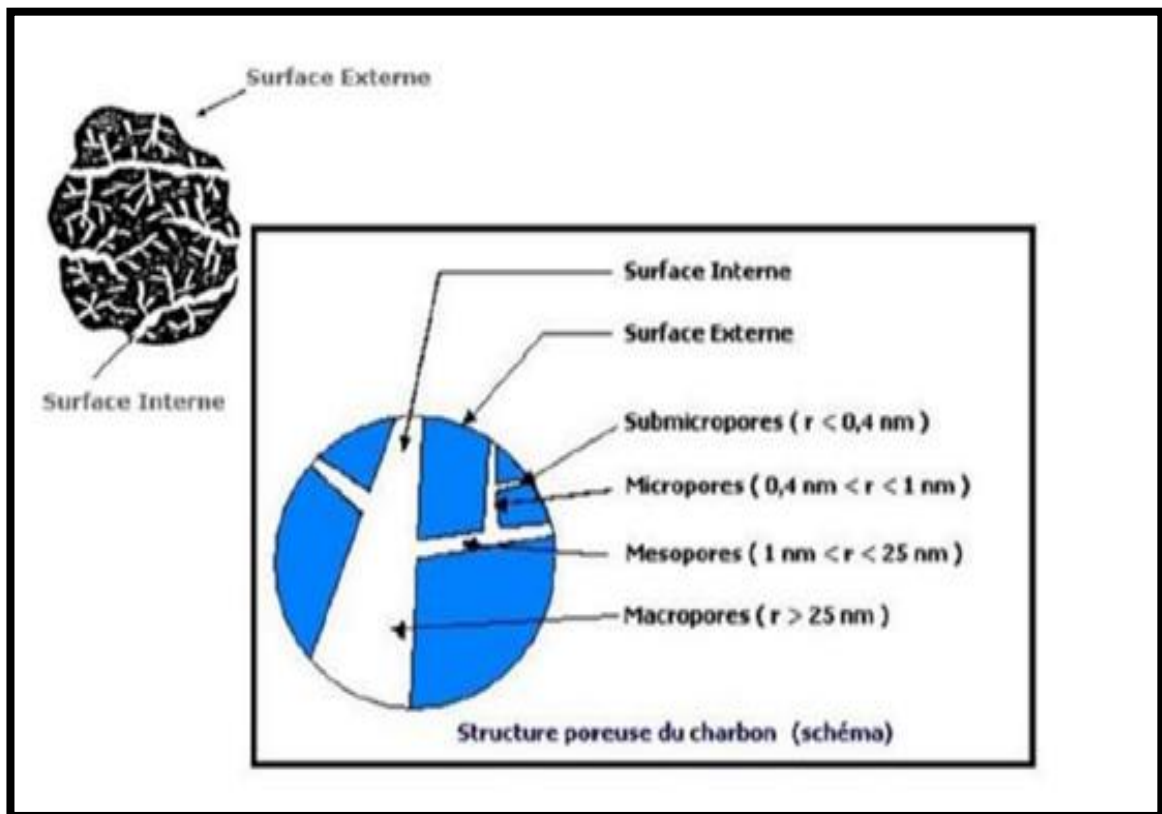


Figure II.5: Représentation de la surface externe et interne d'un matériau poreux^[31].

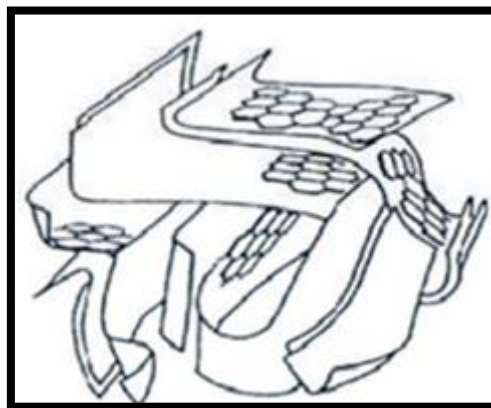


Figure II.6 : Représentation schématique des microstructures du charbon actif.

II.13.1.3. Granulométrie

Elle conditionne la vitesse d'adsorption, plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide .

II.13.1.4. Humidité et teneur en cendres

Ces deux paramètres sont également importants lorsqu'il s'agit de sélectionner un charbon actif. À la livraison, l'humidité doit être inférieure à 5% tandis que la teneur en cendres ne doit pas dépasser 10% sinon le pH risque d'atteindre des valeurs élevées et de causer la précipitation des carbonates de l'eau sur le charbon. Ceci entraîne évidemment une baisse de la capacité d'adsorption.

II.13.1.5. Densité apparente

Elle rend compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel. Une valeur élevée de densité apparente indique une meilleure qualité de charbon actif. Elle est exprimée en kg. m^{-3} [32].

II.13.2. Les propriétés chimiques

Les propriétés chimiques superficielles d'un charbon actif dépendent fortement de la présence et de la nature des complexes oxygénés. Ceux-ci sont responsables en grande partie de ses propriétés acido-basiques superficielles lesquelles jouent un rôle important dans le phénomène d'adsorption.

Les charbons sont classés en deux types, selon leur caractère acido-basique :

- ❖ Les charbons de type L qui présentent un caractère acide, et qui possèdent des caractéristiques de nature hydrophile.
- ❖ Les charbons de type H au caractère basique possédant une surface de nature hydrophobe.

II.14. Structure interne du charbon actif

La structure des charbons actifs est constituée d'une association aléatoire de plans d'atomes de carbone. Ces atomes sont organisés sous forme de cycles aromatiques qui forment des feuillets de carbone appelés graphène. Le graphène a une structure bidimensionnelle d'atomes de carbone rappelant celle d'un nid d'abeille (**Figure II.7**).

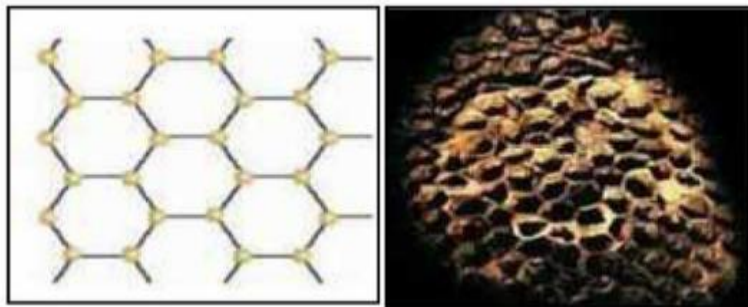


Figure II.7: Un feuillet de graphène ^[33].

II.15. Le rôle des charbons actifs dans le traitement des eaux

Comme indiqué précédemment, grâce à leur grande capacité d'adsorption et leur faible coût de préparation, les **CAs** sont particulièrement efficaces pour l'élimination d'une large gamme de polluants minéraux et organiques (métaux, colorants, hydrocarbures, huiles, solvants chlorés, etc.). L'adsorption est possible en partie grâce à des sites, localisés à l'intérieur des pores qui ont la faculté de retenir les polluants. L'efficacité du matériau est liée au nombre de sites de fixation.

Puisqu'à l'ensemble des pores peuvent correspondre une surface spécifique allant jusqu'à 1 000 voire 2000 m² par gramme de matériau, les **CAs** sont donc des matériaux particulièrement adaptés pour le traitement des eaux. Le tableau 1 compare des surfaces spécifiques de plusieurs types de matériaux.

II.16. Le phénomène d'adsorption

II.16.1. Définition

L'adsorption correspond à la fixation de molécules à la surface d'un matériau de manière réversible. C'est donc un phénomène de surface par lequel des atomes ou des molécules de gaz ou de liquides (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) selon divers processus. Ce phénomène peut être représenté à l'aide du schéma de la **figure (II.8)**. On distingue l'adsorption physique (physisorption) et l'adsorption chimique (chimisorption).

Lors de la chimisorption, une liaison chimique s'établit entre la substance adsorbée et l'adsorbant avec des modifications de la structure moléculaire. Dans l'adsorption physique, des liaisons de Van der Waals s'établissent entre le composé adsorbé et l'adsorbant. Ce processus dégage généralement une chaleur comprise entre 8 et 21 kJ mol⁻¹. Le phénomène inverse, par lequel les molécules adsorbées sur une surface s'en détachent, notamment sous l'action de l'élévation de la température, ou de la baisse de pression, se nomme la désorption^[33].

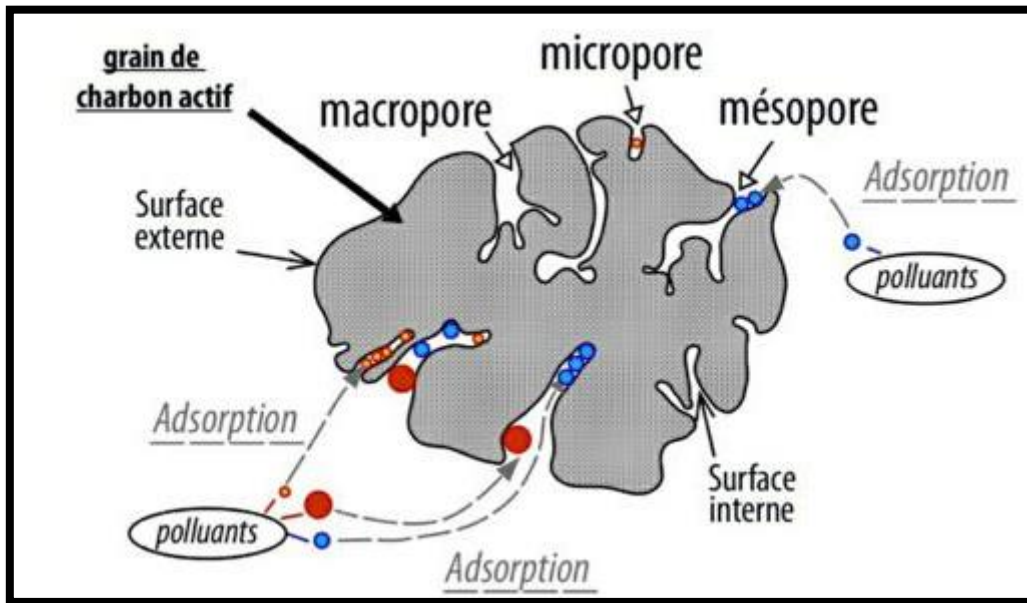


Figure II.8 : Phénomène d'adsorption^[34].

II.16.2. Les facteurs influençant l'adsorption

Les facteurs influençant l'adsorption d'un composé sont assez divers : parmi les plus importants, on peut citer :

- ❖ La température (elle influence à la fois la vitesse d'adsorption et la concentration).
- ❖ Le pH de la solution (il peut influencer les caractéristiques de surface de l'adsorbant ainsi que la structure moléculaire de l'adsorbé ; cas de substances acides).
- ❖ La nature du solvant.
- ❖ La nature du soluté (adsorbé).
- ❖ La surface **BET**.
- ❖ La structure.
- ❖ La distribution de taille des pores (il existe différents types de pores, cylindrique le plus courant et conique pour les charbons minéraux).
- ❖ À volume de pore égal, le type conique est plus avantageux car il permet l'adsorption simultanée de grandes et petites molécules. Le type cylindrique est souvent inefficace lorsqu'une grosse molécule ou une particule colloïdale vient obstruer l'entrée du pore. Les isothermes d'adsorption à température donnée sont utilisées afin de déterminer la quantité n_a adsorbée à l'équilibre pour un système adsorbé-adsorbant ^[34].

II.17. Régénération des charbons actifs

L'élimination des composés organiques et de certains métaux par adsorption sur charbon actif est largement utilisée pour la purification de l'eau. Cependant, si ce procédé permet d'éliminer le composé de l'eau, il ne permet pas de le dégrader. Après saturation, les adsorbants ayant servi au traitement doivent être traités ou stockés, afin d'éviter une pollution additionnelle de l'environnement.

De ce fait, ils doivent être entreposés dans un endroit conçu à cet effet, brûlés dans une installation spécifique avec purification des gaz obtenus, ou bien régénérés pour une réutilisation comme adsorbants. La synthèse de CA ayant un coût élevé, d'un point de vue économique et environnemental, il est préférable d'avoir recours à la régénération.

La régénération peut se définir comme un procédé permettant l'élimination des molécules de la structure poreuse du CA. Le but de ce procédé est de supprimer au maximum les molécules adsorbées sur le charbon sans altérer ses propriétés physiques ou chimiques qui conduiraient à une perte de masse, une modification de texture ou des groupements chimiques de surface, etc. Idéalement, la régénération doit permettre de réaliser un maximum de cycles adsorption-régénération tout en préservant une capacité d'adsorption maximale du CA.

Trois procédés peuvent être utilisés pour éliminer les contaminants fixés à la surface des charbons actifs contaminés. La régénération peut être thermique. Le processus le plus communément appliqué est la régénération thermique, mais cette méthode est coûteuse et consommatrice de carbone. Le procédé chimique est très utilisé également mais il nécessite plusieurs étapes d'extraction et est consommateur de solvant.

En outre, il est, par la suite, parfois très difficile d'extraire du solvant la molécule adsorbée, donc il faut la soumettre à une éventuelle dégradation, ce qui constitue une source de pollution additionnelle. La biorégénération semble être le traitement le plus écologique puisqu'elle utilise des micro-organismes. Cependant, elle reste un traitement de longue durée.

Récemment, d'autres méthodes ont été exploitées afin de diminuer les inconvénients liés aux voies de régénérations classiques telles que la régénération par ultrasons, par micro-ondes ou encore par catalyse.

Les prochains paragraphes décrivent les différentes méthodes de régénération du CA saturé par des molécules organiques (phénol, chlorophénol, etc.) et en indiquent les performances ^[34].

II.17.1. Régénération thermique

La régénération par voie thermique est la plus fréquemment utilisée en raison de la simplicité dans la réalisation du protocole et le taux élevé de régénération obtenu. Son principe repose, comme son nom l'indique, sur le chauffage du **CA** dans un réacteur afin que la désorption des molécules se fasse sans brûler de carbone.

Le matériau est chauffé sous un flux contrôlé de vapeur d'eau ou de gaz inerte à des températures **élevées**. Le gaz inerte sert de vecteur pour le transport des molécules désorbées. La température utilisée est fonction de la force de la liaison adsorbant/adsorbat. En effet, plus ces forces sont importantes et plus il faudra augmenter la température de désorption.

La régénération thermique se fait en trois étapes différentes :

- ❖ La déshydratation du matériau à 105 °C.
- ❖ La pyrolyse sous atmosphère inerte (argon, hélium, azote) qui permet la désorption des composés à environ 1 000 °C.
- ❖ La gazéification des résidus à températures élevées.

II.17.2. Régénération chimique

La régénération chimique ou régénération par extraction liquide/solide par solvant correspond à l'élution de la molécule, de l'adsorbant (**CA**) vers la phase liquide (solvant d'extraction). Les méthodes de régénération chimique dépendent très souvent du type de solvant utilisé et des molécules à désorber. La quantité de molécules désorbées dépend de la facilité du solvant à pénétrer à l'intérieur de la structure poreuse, ainsi que de la solubilité du composé dans le solvant.

Les interactions se produisant entre la molécule et le **CA** sont également des éléments qui influencent l'efficacité de la désorption pendant le traitement chimique. Les solvants les plus communément utilisés sont l'acétone, le benzène, le dichlorométhane, etc. Le rendement de la régénération chimique peut atteindre plus de 70 % de désorption ^[35].

II.17.3. Régénération biologique ou biorégénération

Après saturation des adsorbants, les **CAs** peuvent être traités par la méthode décrites précédemment ou régénérés par des micro-organismes. La régénération biologique ou biorégénération correspond au renouvellement du **CA** par des micro-organismes capables d'utiliser les molécules organiques adsorbées, comme source de carbone et

d'énergie. Les **CA** sont alors utilisés en association avec une population microbienne pour améliorer la décontamination de l'eau.

Il existe deux types de procédés pour la biorégénération des **CA**s. Le premier consiste à ajouter du **CA** en poudre à des boues activées. Le second, le plus utilisé, consiste à déposer un biofilm bactérien sur un charbon en grains.

Le mécanisme intervenant au cours de la régénération biologique est encore mal connu. Un des processus serait basé sur un gradient de concentration qui s'établit entre la surface du **CA** et la solution liquide comprenant un mélange de bactéries, de nutriments et d'oxygène dissous, dans un réacteur fermé [36].

II.17. Conclusion

Compte tenu de l'activité industrielle croissante, les risques de pollution font partie intégrante de notre quotidien. Afin de respecter la qualité des milieux, les normes environnementales et de sécurité, il est nécessaire que des procédés efficaces permettant de prévenir ces pollutions soient mis au point et appliqués. Ce chapitre met en lumière les champs d'application des charbons actifs dans le domaine du traitement des eaux usées.

Nous avons abordé les différents procédés de leur élaboration et leur caractérisation et nous avons comparé leurs propriétés d'adsorption. Les charbons actifs apparaissent comme étant une solution de choix pour le traitement des eaux usées. L'un de leurs avantages réside dans le fait qu'ils peuvent être réutilisés, compte tenu des différentes possibilités de régénération (thermique, chimique, biorégénération ou encore ultrasons ou micro-ondes).

De plus, l'utilisation de charbons actifs issus de la valorisation de déchets agricoles ou industriels couplée à un procédé physico-chimique tel que l'utilisation de rayonnements **UV** ou d'ozone, semble être une alternative efficace de dépollution des eaux usées chargées en matières organiques [2].

Chapitre III: Partie expérimentale

1. Matériels et méthodes.

III.1.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation du matériel et méthodes utilisées dans notre partie expérimentale. L'étude expérimentale de notre travail a été réalisée dans le laboratoire Chimie Appliquée et Technologie des Matériaux de l'Université Oum El Bouaghi (LCATM).

III.1.2. Matériels

III.1.2.1. Four à moufle

Les fours à moufle sont utilisés quotidiennement en laboratoire. Les fours à moufle de laboratoire sont des appareils utilisés pour les traitements thermiques sur les métaux, céramiques, verres, l'incinération et les processus de revenu de brasage, de soudure, de fusion, de frittage à haute température. Les températures des fours à moufle utilisé peut atteindre une température maximale 1200 °C [37].

III.1.2.2. Les creusets

Un creuset est un conteneur employé lors de manipulations à haute température. Le choix de qualité du matériau utilisé est très important de manière à éviter des interactions, réactions ou contaminations avec le produit fondu. L'alumine (ou oxyde d'aluminium) est inerte chimiquement vis à vis de la plupart des produits à fondre. Différents types de creusets en alumine sont utiles dans de nombreux domaines d'application, tels que l'industrie verrière, la métallurgie, la recherche et le développement.

III.1.2.2.1. Le choix des creusets en alumine

De par son utilisation, un **creuset** doit pouvoir résister à des températures particulièrement élevées. En effet il sert à contenir des matériaux extrêmement chauds que l'on cherche à faire fondre, à calciner ou bien à analyser. C'est pourquoi un matériau réfractaire et inerte tel que l'alumine est nécessaire.

En effet, l'oxyde d'aluminium est une céramique technique ayant de nombreuses **propriétés thermiques**, cela en fait un matériau de choix pour les applications à hautes températures. Sous sa forme d'alumine Kyocera DEGUSSIT Al_2O_3 (pure à 99,7%), l'alumine résiste aux chocs thermiques et supporte des températures allant jusqu'à 1950°C. Il présente aussi une très bonne stabilité dimensionnelle, même à haute température, permettant au creuset de ne pas se déformer sous l'action de la

chaleur. L'alumine offre également une excellente résistance à la corrosion et à l'usure. Ces propriétés exceptionnelles en font une céramique à hautes performances idéale [38].



Figure III.1.1 : Les creusets en alumine utilisés.

III.1.3. Méthodes

III.1.3.1. Caractérisation des produits initiaux

III.1.3.1.1. Préparation des poudres

- ❖ Lavage abondamment à l'eau distillée.
- ❖ Séchage à l'air libre.
- ❖ Séchage dans l'étuve à température 110 °C pendant 24 heures ;
- ❖ Broyage ;
- ❖ Tamisage à 125 μ m ;
- ❖ Conserver à l'abri de l'air et de l'humidité dans des flacons hermétiquement.

III.1.3.1.1.a. Poudre de marc de café

La figure III.1.2 montre la poudre de marc utilisée pour l'obtention de charbon.

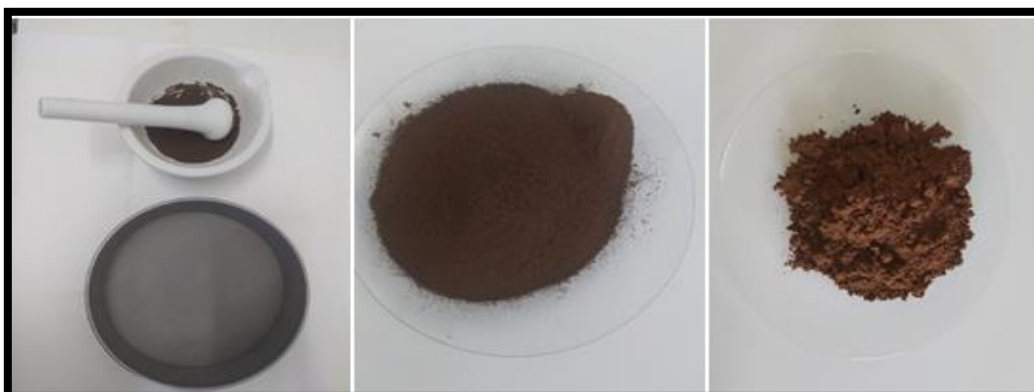


Figure III.1.2: Images de poudre de marc de café.

III.1.3.1.1.b. Poudre de coque d'amande

La figure III.1.3 montre la poudre obtenue à partir de coquilles d'amandes préalablement lavées et séchées avant broyage.



Figure III.1.3 : Préparation de poudre de coquilles d'amande.

III.1.3.1.1.c. Poudre de noyaux des dattes

La figure III.1.4 montre la poudre obtenue à partir de noyaux de dattes préalablement sélectionnées, lavées et séchées avant broyage.



Figure III.1.4 : Préparation de Poudre de noyaux des dattes.

III.1.3.1.1.d. Poudres des noyaux d'olive

La figure III.1.5 présente la poudre obtenue à partir de noyaux d'olives préalablement sélectionnées, lavées et séchées avant broyage.



Figure III.1.5 : Préparation de poudre des noyaux d'olive.

III.1.3.1.2. Les propriétés physico-chimiques

III.1.3.1.2.a. Détermination du pH

La détermination du pouvoir adsorbant est obtenue en mettant des solutions aqueuses en contact avec le matériau à pH fixe ; d'où la nécessité de quantifier l'apport en acidité lorsque le solide est en contact avec la solution.

Mode opératoire

- ✓ Dans un litre d'eau distillée, on introduit 1g de chaque poudre des noyaux d'olives, poudre des noyaux des dattes, poudre des coquilles d'amande et marc du café de façon à les mouiller séparément.
- ✓ Laisser reposer pendant 24 heures, puis on mesure le pH à l'aide d'un pH mètre à la température ambiante. L'opération est répétée trois fois afin d'avoir un pH moyen.

III.1.3.1.2.b. Détermination de la teneur en humidité

En pratique, tous les solides par leur contact permanent avec l'air ou par leur stockage, se charge d'une certaine humidité. En effet, les molécules d'eau diffusent dans le corps de la substance, se font piéger dans la structure, même à la surface du corps. La quantité d'eau retenue par un solide diffère d'un corps à un autre et dépend d'un certain nombre de paramètres [39].

Mode opératoire

- ✓ Dans un creuset on met 1 g de poudre organique et on le pèse. Ensuite on le met dans une étuve à 110°C pendant une heure. A sa sortie de l'étuve, on le met pendant 30 minutes dans un dessiccateur puis on le pèse une deuxième fois.
- ✓ La formule suivante permet le calcul du taux d'humidité relatif de poudre organique.

$$H\% = \frac{(p_1 - p_2)}{p_1} \times 100$$

III.1.3.1.2.c. Détermination de la teneur en cendres

Les cendres sont le critère utilisé pour la détermination de la contamination en produits inorganiques dans les matériaux de départ [39].

Mode opératoire

- ✓ Un échantillon de 1g de noyau végétal est séché à l'étuve pendant 12 heures puis placé dans un creuset en porcelaine. Ce creuset est introduit dans le four et on chauffe pendant une heure jusqu'à 1000°C. Une fois que la carbonisation est terminée on laisse refroidir le four et on pèse le creuset.

- ✓ Le taux de cendre est calculé par la formule suivante :

$$\%cendre = \frac{p_1 - p_2}{p_1} \times 100$$

Après calcination à température 1000°C, les poudres obtenues montrent une certaine homogénéité qui fait d'elles des matières premières aptes à l'obtention de charbon de qualité meilleure.

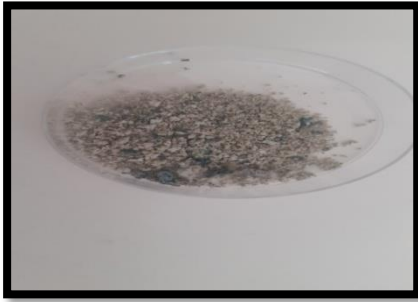


Figure III.1.6: Poudre de marc de café.



Figure III.1.7: Poudre de noyaux de datte.

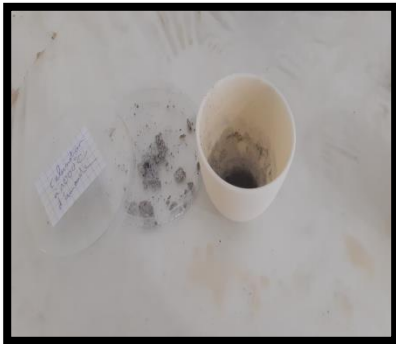


Figure III.1.8: Poudre de coquilles d'amande.



Figure III.1.9: Poudre de noyaux d'olive.

III.1.3.1.2.d. Détermination de la densité apparente

La densité apparente est la densité du solide sec, concernant l'ensemble fraction solide et pores. Elle est déterminée par la méthode suivante.

Mode opératoire

- ✓ L'opération consiste à peser une éprouvette de 100 ml vide, la remplir avec les noyaux d'olives broyés en poudre jusqu'à 100 ml et ensuite la peser en second lieu ;
- ✓ La formule suivante permet le calcul de la densité apparente des noyaux :

$$D = \frac{p_1 - p_0}{100}$$

III.1.3.1.2.e. Détermination de la porosité

La porosité est une des propriétés essentielles des adsorbants. Elle est due à la présence de pores, de canaux et de cavités de différentes dimensions dans la structure des solides. La porosité influence la diffusion des molécules à l'intérieur du solide [40].

Mode opératoire

- ✓ Dans une éprouvette de 10ml, on met un volume du solide de masse M_1 , on ajoute du méthanol M_2 jusqu'à atteindre le volume de 2ml dans l'éprouvette.
- ✓ La porosité (ϵ) est déterminée par la formule suivante :

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_t} = \frac{\left\{ \left[\frac{M_2 - M_1}{\rho_{m\acute{e}th}} \right] - V_2 \right\}}{V_t}$$

Où :

- ✚ M_2 : la masse de l'éprouvette remplie de solide (g).
- ✚ M_1 : la masse de l'éprouvette remplie de solide et de méthanol (g).
- ✚ V_2 : volume du méthanol absorbé par le solide.
- ✚ V_t : volume total dans l'éprouvette.
- ✚ $\rho_{m\acute{e}th}$: densité du méthanol .

III.1.3.2. Méthode de préparation du charbon actif

Dans cette partie nous avons préparé un charbon actif en deux étapes : l'activation par des acides forts et une base forte et carbonisation à température **450°C** et un temps de séjour dans le four de 1 heure [41].

III.1.3.2.1. L'activation chimique

L'activation chimique repose sur la mise en contact du carbone obtenu avec soit une base, soit un acide (H_3PO_4 , H_2SO_4 , HCl , $NaOH$). Les poudres sont ensuite séchées et caractérisées par spectroscopie infrarouge, et après carbonisation, examinées au microscope.

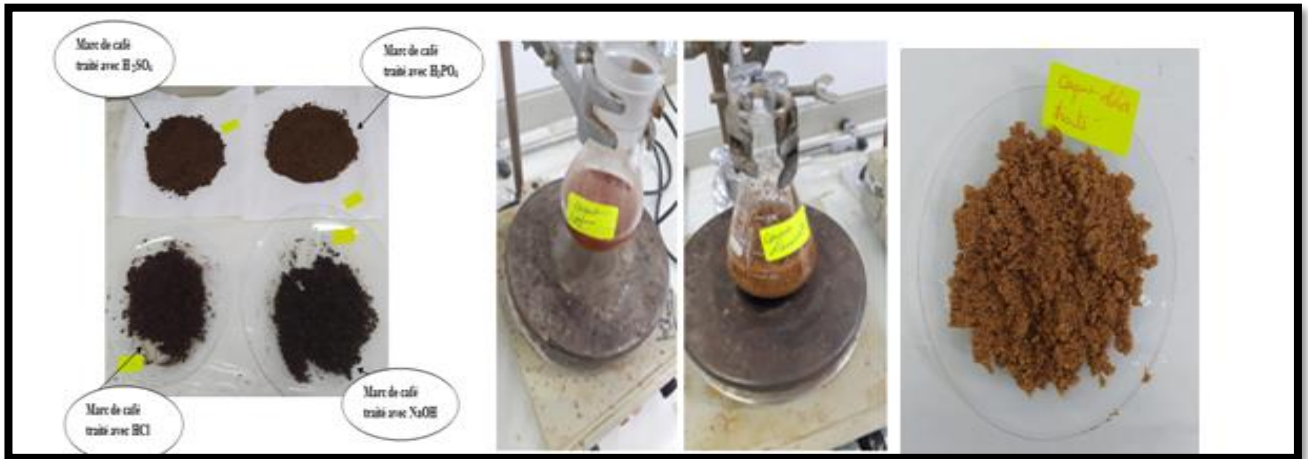


Figure III.1.10: Activation chimique des poudres initiales.

III.1.3.2.2. Carbonisation

L'étape de carbonisation est réalisée dans un four à moufle de marque **LINN HIGH THERM** (Figure III.1.11). La température de carbonisation est de l'ordre de 450°C et le temps de maintien de la température constante est une heure.



Figure III.1.11: Fours à moufle.

La carbonisation des poudres d'amande et d'olive a permis l'obtention de deux poudres homogènes de granulométrie différente et fine nécessitant un tamisage et fractionnement afin d'obtenir des différentes dimensions et à usages multiples (Figure III.1.12).



Figure III.1.12: Carbonisation de la poudre d'amande et le poudre d'olive.

III.1.3.3. Caractérisations des charbons actifs

III.1.3.3.1. Détermination du rendement

Le rendement est une caractéristique qualitative importante pour les charbons actifs. Elle traduit la perte de masse du produit initial.

L'expression du rendement massique est donnée par la formule suivante^[42].

$$\text{rendement}(\%) = \frac{\text{masse}_{\text{initiale}} - \text{masse}_{\text{finale}}}{\text{masse}_{\text{initiale}}} \times 100$$

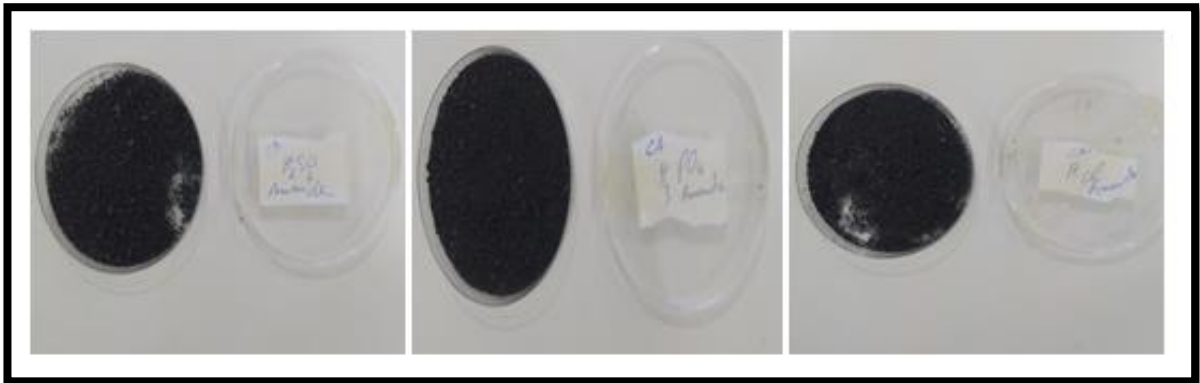


Figure III.1.13: Charbon actif de la poudre d'amande activée par (H_2SO_4), (H_3PO_4) et (HCl)



Figure III.1.14: Opérations de lavage et séchage du charbon actif.

III.1.3.3.2. Les étapes de préparation du charbon actif

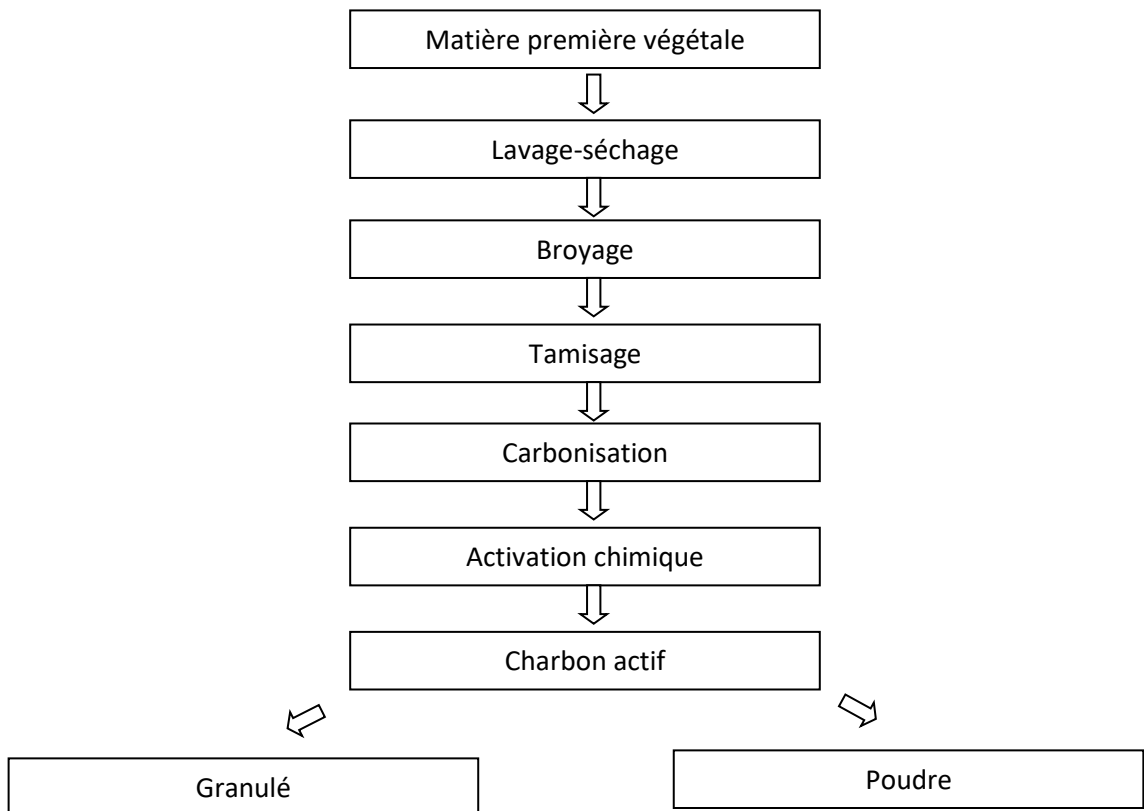


Figure III.1.15: Les étapes de préparation du charbon actif.

III.1.4. Généralités sur l'adsorption

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques.

Dans ce chapitre nous allons donner quelques généralités sur l'adsorption pour mieux définir l'importance de ce processus, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les facteurs influant l'adsorption.

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par KAYSER, en 1881, pour différencier entre une condensation de gaz à la surface, et une absorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse^[43].

L'adsorption est la fixation des molécules dissoutes par la phase solide. Cette fixation est due à l'établissement de liaisons secondaires de surface entre l'adsorbant et la molécule adsorbée : liaison dipôle-ion, ou dipôle-dipôle ou liaison de Van der Waals^[44].

Dans le domaine de traitement des eaux, l'adsorption constitue une technique de choix pour l'élimination d'éléments dissous, le plus souvent à l'état de traces^[44]. Les composés adsorbables sont donc en très faible concentration lorsque l'équilibre d'adsorption est atteint^[46]. L'adsorption est parfois physique ou chimique.

Dans l'adsorption physique, les forces de Van Der Waals agissent entre le composé adsorbé et l'adsorbant. Ce processus dégage une chaleur entre 8 et 21 kJ/mole. En chimisorption, un lien chimique s'établit entre la substance adsorbée et l'adsorbant ; des modifications ont lieu dans les structures moléculaires, libérant une énergie comprise entre 40 et 200 kJ/mole.

L'équilibre d'adsorption, entre adsorbant et adsorbât, dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont le pH, la porosité, la température, la concentration, la nature de l'adsorbant (composition, structure, porosité et état granulométrique) et la nature de l'adsorbât^[47].

III.1.4.1. Mécanisme d'adsorption

Aux interfaces, les attractions intermoléculaires ne sont pas compensées dans toutes les directions, et il subsiste des forces résiduelles dirigées vers l'extérieur. Ces forces représentent une énergie superficielle des liquides et elles sont neutralisées lorsque des particules mobiles (un gaz ou un soluté) se fixent en surface : on dit qu'elles s'adsorbent. La force qui retient une molécule adsorbée dépend de la configuration spatiale de l'interface^[48]. Différents types d'adsorption peuvent exister comme le montre **la figure III.1.16** (dans un pore, sur une surface, dans une alvéole, au fond d'un pore et dans un orifice).

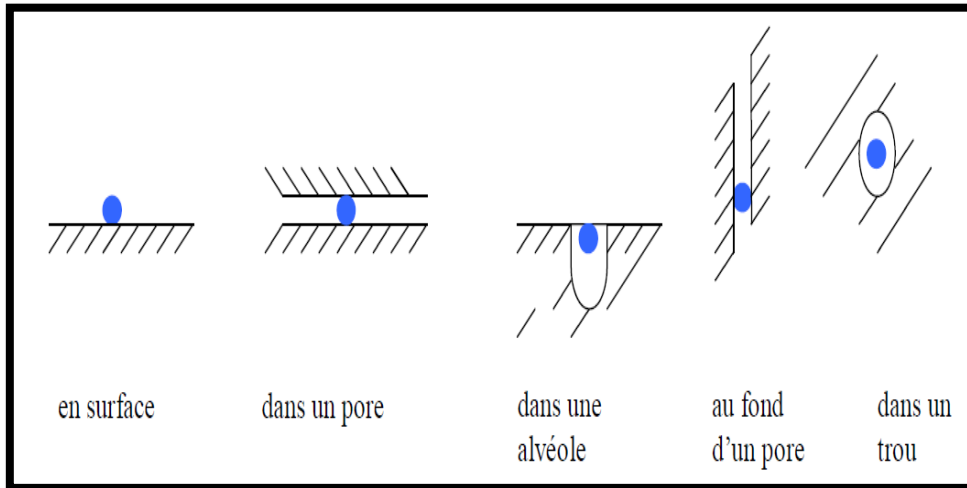


Figure III.1.16: Configuration spatiale des différentes interfaces.

III.1.5. Techniques de caractérisation utilisées.

III.1.5.1. La Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier.

Est une technique analytique simple et rapide permettant de déterminer la présence de divers groupes fonctionnels. Elle est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau. Dans cette étude, les caractérisations par spectroscopie Infrarouge ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier (FTIR) piloté par ordinateur, installé au laboratoire de chimie appliquée de l'université Oum El Bouaghi. Le domaine infrarouge entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} ($2.5 - 25\ \mu\text{m}$) correspond au domaine d'énergie de vibration des molécules [49].

III.1.5.2. Microscopie optique

L'utilisation de la microscopie optique pour la caractérisation des minéraux est indispensable pour la compréhension des propriétés des minéraux en lumière naturelle et polarisée. Dans un milieu isotrope, la lumière se propage à la même vitesse dans toutes directions. Les minéraux appartenant au système cubique, ainsi que les gaz, les liquides et les solides non cristallisés (amorphes ou vitreux) sont isotropes.

Par contre, dans les minéraux anisotropes ou biréfringents, la vitesse de la lumière est fonction de sa direction de propagation. Sachant que l'indice de réfraction n d'un milieu est lié à la vitesse de propagation V de la lumière par la relation $n = 1/V$, on voit que si V varie suivant la direction, n varie.

Dans un système cubique, l'indice de réfraction est le même dans toutes les directions et les cristaux sont donc isotropes.

L'observation des grains permet de connaître :

- ✓ **La couleur** : est un élément important de détermination pour les minéraux engrains. De nombreux cristaux, incolores en lames minces, sous une épaisseur de 3/100 de mm sont nettement colorés lorsqu'ils sont en grains. La couleur des cristaux dépend de leurs caractères physiques et chimiques ainsi que des impuretés qu'ils contiennent. Les variations de couleur dans les minéraux peuvent provenir aussi de différence dans l'agencement des atomes. Le meilleur exemple réside dans le contraste entre le graphite, opaque et noir et le diamant, incolore et transparent, tous deux composés des mêmes atomes de carbone.
- ✓ **La Forme**: la forme des minéraux en grains est un caractère non négligeable de détermination. Chaque espèce minérale appartient à un système cristallin bien déterminé qui conditionne sa forme. Tous les cristaux ne sont pas originellement limités par des forces planes, et leur forme ne peut être un critère de reconnaissance.

Il semble donc indispensable de connaître, les sept systèmes cristallins, ainsi qu'un certain nombre de définitions.
- ✓ **Le clivage** : représente la tendance d'un minéral à se séparer suivant certains plans de discontinuité du réseau cristallin où les forces de liaisons sont plus faibles. On décrit habituellement le clivage en fonction de sa perfection (clivage parfait, assez bon, difficile), la direction du clivage peut être indiquée par les indices des plans suivant la notation de Miller.

Préparation des lames

C'est la technique la plus utilisée pour conserver les frottis. Le baume de Canada (indice de réfraction $n = 1,54$) est le plus couramment employé. Le montage des minéraux en grains dans le baume de Canada est d'une pratique aussi délicate que le montage des lames minces nécessite beaucoup de soins pour obtenir des plaques sans bulles et des minéraux uniformément répartis. La fraction de minéraux montée doit être représentative. Lorsque la teneur en minéraux lourds de l'échantillon est suffisamment faible (100 à 500 grains) la totalité doit être montée sur une ou deux lames. Par contre, quand la quantité de minéraux lourds recueillie est importante, il faut effectuer un "micro quartage" suivant les mêmes principes que ceux utilisés lors de l'échantillonnage.

La technique consiste à isoler environ 500 grains que l'on fait glisser sur une lame de verre porte objet. Le baume de Canada est disposé en anneau autour des minéraux.

lame placée sur une platine à malassez chaude. Il faut éviter que la platine soit trop chaude pour ne pas trop cuire ou brûler le baume. Lors du chauffage le baume s'étale sur les minéraux sans les disperser. Avec une aiguille montée et chauffée on remue l'ensemble pour obtenir une répartition homogène surtout la plaque et éliminer les bulles d'air qui auraient pu rester collées aux grains. Quand le baume est trop cuit il jaunit, ce qui gêne l'observation de la teinte des minéraux. Le baume étant bien cuit, il s'agit de recouvrir la préparation par une lamelle^[50].

Le microscope optique utilisé est de marque (OPTTECH) OPTICAL TECHNOLOGY, c'est un microscope à lumière polarisée travaillant en réflexion et en transmission (**Figure III.1.17**).



Figure III.1.17: Photographie du microscope optique à lumière polarisée utilisé.

Chapitre III: Partie expérimentale

2. Résultats et discussion.

III.2.1. Les propriétés physico-chimiques des produits initiaux (les déchets organiques)

III.2.1.1. Détermination du pH

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.2.1: mesure du pH des produits initiaux

N ° d'essai	Masse des noyaux d'olives (g)	pH de l'eau distillée	pH de la solution	pH moyen
1	1	6,89	6,46	6,43
2	1		6,50	
3	1		6,66	
N ° d'essai	Masse des noyaux dattes (g)	pH de l'eau distillée	pH de la solution	pH moyen
1	1	6,89	6,71	6,59
2	1		6,44	
3	1		6,63	
N ° d'essai	Masse des Coques d'amande (g)	pH de l'eau distillée	pH de la solution	pH moyen
1	1	6,89	6,45	6,436
2	1		6,43	
3	1		6,43	
N ° d'essai	Masse du marc de café (g)	pH de l'eau distillée	pH de la solution	pH moyen
1	1	6,89	6,72	6,74
2	1		6,76	
3	1		6,74	

- ❖ D'après la présente étude, la valeur du pH varie de **(6,43 à 6,74)**, dont la valeur la plus faible est retrouvée dans la poudre des noyaux d'olive et la poudre des coquilles d'amande, suivie respectivement par la poudre des noyaux des dattes(**6,59**), tandis que le marc du café a le pH le plus élevé avec une valeur de **(6,74)**.
- ❖ Le pH joue un rôle important dans le processus d'adsorption. Plusieurs études ont montré que le pH est un facteur important pour la détermination du potentiel d'adsorption des composés organiques cationiques et anioniques [51].
- ❖ En général, les espèces acides s'adsorbent mieux à pH faibles tandis que les espèces basiques le font mieux à pH plus élevé. Les études électrostatiques ont montré que les charbons actifs avec une prédominance de groupement

fonctionnels basiques présentant un groupement fonctionnel positif par opposition à un potentiel de surface négatif pour les charbons actifs avec une prédominance en groupes fonctionnels acides [52].

III.2.1.2. Détermination de la teneur en humidité

Tableau III.2.2: mesure de la teneur en humidité des produits initiaux

Les produits organiques	H%
Noyaux d'olives	3,86
Noyaux dattes	6,17
Coques d'amande	2,26
Marc de café	3,68

- ❖ Après séchage pendant 24 h à 110 °C dans l'étuve de 1 g de grains de coquilles d'Amande, la masse mesurée était de **0,9774 g**. Le taux d'humidité obtenu après calcul représentait seulement **2,26%** du poids total des grains de coquilles d'Amande. Ce qui montre que **97,74%** du poids est composé de la matière organique et minérale.
- ❖ Après séchage pendant 24 h à 110 °C dans l'étuve de 1 g de grains de coquilles d'olive, la masse mesurée était de **0,9614 g**. Le taux d'humidité obtenu après calcul représentait seulement **3,86%** du poids total des grains de coquilles d'olive. Ce qui montre que **96,14%** du poids est composé de la matière organique et minérale.
- ❖ Après séchage pendant 24 h à 110 °C dans l'étuve de 1 g de grains des noyaux des dattes, la masse mesurée était de **0,9383 g**. Le taux d'humidité obtenu après calcul représentait seulement **6,17%** du poids total des grains du noyaux des dattes. Ce qui montre que **93,83%** du poids est composé de la matière organique et minérale.
- ❖ Après séchage pendant 24 h à 110 °C dans l'étuve de 1 g de grains du marc de café, la masse mesurée était de **0,9632 g**. Le taux d'humidité obtenu après calcul représentait seulement **6,17%** du poids total des grains des noyaux des dattes. Ce qui montre que **96,32%** du poids est composé de la matière organique et minérale.

En vue résultats obtenus des teneurs d'humidité qui sont tous entre 2% et ne dépasse pas le 7% montre bien qu'ils sont dans la norme des taux d'humidité.

III.2.1.3. Détermination de la teneur en cendre

On remarque que les teneurs en cendres des noyaux d'olive sont largement supérieurs aux taux de cendres dans les noyaux de datte, coquilles d'amande et marc de café (Tableau III.2.3).

Tableau III.2.3: Teneur en cendre des produits initiaux.

Les produits organiques	Cendre %
Noyaux d'olive	1,69
Noyaux datte	1,05
Coquilles d'amande	1,057
Marc de café	1,30

- ❖ La masse de résidu solide restante la après calcination d'une masse de 30 g de grains de coquilles d'amande dans le four à moufle était de **0,38g**. Le taux de cendre en pourcentage calculé après calcination a donné une valeur de **1,057%** en masse. Ce qui montre les grains de coquilles calcinés sont composés d'environ de **98,943%** de matière organique en masse ce qui est bénéfique pour la valorisation de ce type de déchets.
- ❖ La masse de résidu solide restante après la calcination d'une masse de **36 g** de grains de coquilles d'olive dans le four à moufle était de **0,6084g**. Le taux de cendre en pourcentage calculé après calcination a donné une valeur de **1,69%** en masse. Ce qui montre les gains de coquilles calcinés sont composé d'environ de **98,31%** de matière organique en masse ce qui est bénéfique pour la valorisation de ce type de déchets.
- ❖ La masse de résidu solide restante après la calcination d'une masse de 36 g de grains des noyaux des dattes dans le four à moufle était de **0,38 g**. Le taux de cendre en pourcentage calculé après calcination a donné une valeur de **1,05 %** en masse. Ce qui montre les grains des noyaux des dattes calcinés sont composé d'environ de **98,95%** de matière organique en masse ce qui est bénéfique pour la valorisation de ce type de déchets.
- ❖ La masse de résidu solide restante après la calcination d'une masse de 36g de grains du marc de café dans le four à moufle était de **0,47g**. Le taux de cendre en pourcentage calculé après calcination a donné une valeur de **1,30%** en masse. Ce qui montre les grains du marc de café calcinés sont composé d'environ de

98,70% de matière organique en masse ce qui est bénéfique pour la valorisation de ce type de déchets.

III.2.1.4. Détermination de la densité apparente

Pour la détermination de masse volumique des grains de coquilles d'amande, les grains des noyaux d'olive, les grains des noyaux des dattes et les grains du marc de café on a utilisé la méthode de l'éprouvette. Le calcul à donner des masses volumiques suivantes.

Tableau III.2.4: Détermination de la densité apparente.

Les produits organiques	Densité apparente g/ml.
Noyaux d'olives	0,4983
Noyaux dattes	0,4066
Coquilles d'amande	0,5858
Marc de café	0,3772

III.2.1.5. Détermination de la porosité

Les résultats de détermination de la porosité des différents charbons préparés montrent que les noyaux d'olive ont une porosité supérieur comparativement aux ceux de dattes, coquilles d'amande et autres (Tableau III.2.5).

Tableau III.2.5: Détermination de la porosité.

Les produits organiques	Porosité(£)
Noyaux d'olives	0,912
Noyaux dattes	0,863
Coquilles d'amande	0,984
Marc de café	0,885

La porosité est aussi une grandeur physique définie comme le rapport entre le volume des vides et le volume total d'un milieu poreux, sa valeur est comprise entre 0 et 1 (ou, en pourcentage, entre 0 et 100 %).

La valeur du **Porosité(£)** varie entre (**0,984 et 0,863**), dont la valeur la plus faible est retrouvée dans le marc du café, tandis que la poudre des coquilles d'amande renferment la porosité plus élevé avec une valeur de (**0,984**).

III.2.2. Caractérisation des charbons actifs

III.2.2.1. Détermination du rendement

Les rendements obtenus de charbon actif illustrent la bonne activation du produit obtenu avec utilisation de l'acide phosphorique et l'acide sulfurique, donc l'attaque acide est favorable à une bonne activation du charbon actif obtenu à partir de tous les produits initiaux étudiés- noyaux d'olive ; noyaux de datte ; coquilles d'amande et marc de café (Tableau III.2.6, Figure III.2.1).

Tableau III.2.6: Détermination du rendement de charbon actif préparé.

Réactifs/Produits initiaux	Rendement %			
	HCl	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	NaOH
Les réactifs				
Les produits organiques				
Noyaux d'olives	39,248	38,782	40,162	62,467
Noyaux dattes	25,510	54,545	33,671	34,185
Coquilles d'amande	14,891	49,453	32,494	20,461
Marc de café	34,407	33,169	24,452	44,51

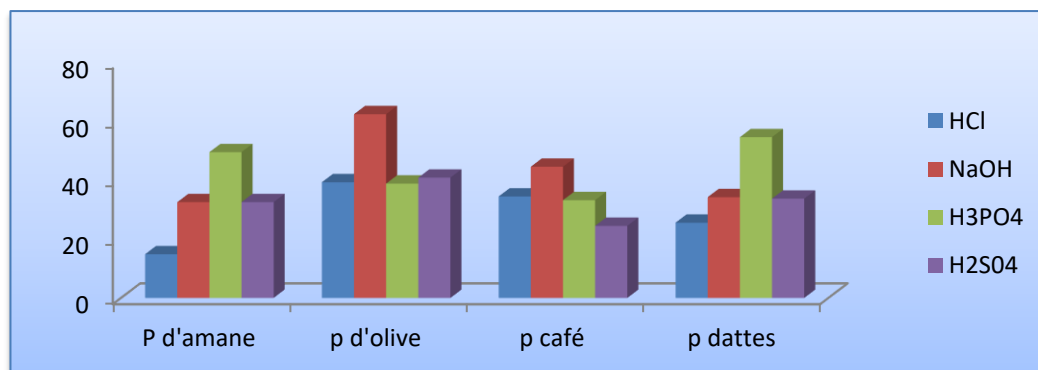


Figure III.2.1: L'effet des réactifs sur le rendement du charbon actif.

- ❖ Les résultats de rendement de la synthèse du charbon actif préparé par la poudre du coques d'amandes avec l'activation chimique par les réactifs H₃PO₄, HCl, NaOH et H₂SO₄ ont été déterminés dans la gamme (49,453% et 14,891%).
- ❖ Les résultats de rendement de la synthèse du charbon actif préparé par la poudre des noyaux d'olive avec l'activation chimique par les réactifs H₃PO₄, HCl, NaOH et H₂SO₄ ont été déterminés dans la gamme (62,467% et 38,782 %).
- ❖ Les résultats de rendement de la synthèse du charbon actif préparé par la poudre des du noyaux des dattes avec l'activation chimique par les réactifs H₃PO₄, HCl, NaOH et H₂SO₄ ont été déterminés dans la gamme (54,545% et 25,510%).

- ❖ Les résultats de rendement de la synthèse du charbon actif préparé par le marc du café avec l'activation chimique par les réactifs H_3PO_4 , HCl , $NaOH$ et H_2SO_4 ont été déterminés dans la gamme (**44,51%** et **24,452%**).

On a observé que le rendement diminue avec l'augmentation de la température. On conclut donc que la décomposition des poudres diminue avec l'élévation de la température.

III.2.3. Résultats de caractérisation par spectroscopie

III.2.3.1. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) des produits initiaux

III.2.3.1.a. La poudre d'amande

L'analyse du spectre montre la présence de nombreux groupements fonctionnels à la surface des coques d'amande (**Figure III.2.2**). Les pics et les bandes observés sont :

- ❖ moyennement intense et large comprise à **3700 cm^{-1}** correspondant aux vibrations d'élongation des groupements hydroxyles **OH** de l'eau adsorbée.
- ❖ Les spectres montrent des bandes d'absorption comprises entre **2926,45 et 2857,02 cm^{-1}** résultant principalement des vibrations d'élongation de **C-H** des molécules aliphatiques.
- ❖ Les bandes comprises entre **1000 et 1374 cm^{-1}** sont assignées aux vibrations des liaisons **C-O** (polysaccharides).
- ❖ Un pic à **1748 cm^{-1}** pourrait être attribué aux vibrations d'élongations des groupes **C=O** (des cétones, aldéhydes, ou des groupes carboxyliques).
- ❖ Les bandes obtenues résulteraient, peut-être, de la présence de la cellulose, des hémicelluloses (polysaccharides), constituants majeurs des coques.
- ❖ Une large bande entre **1034 cm^{-1}** correspondrait à la déformation dans le plan des **C-O** (polysaccharides).



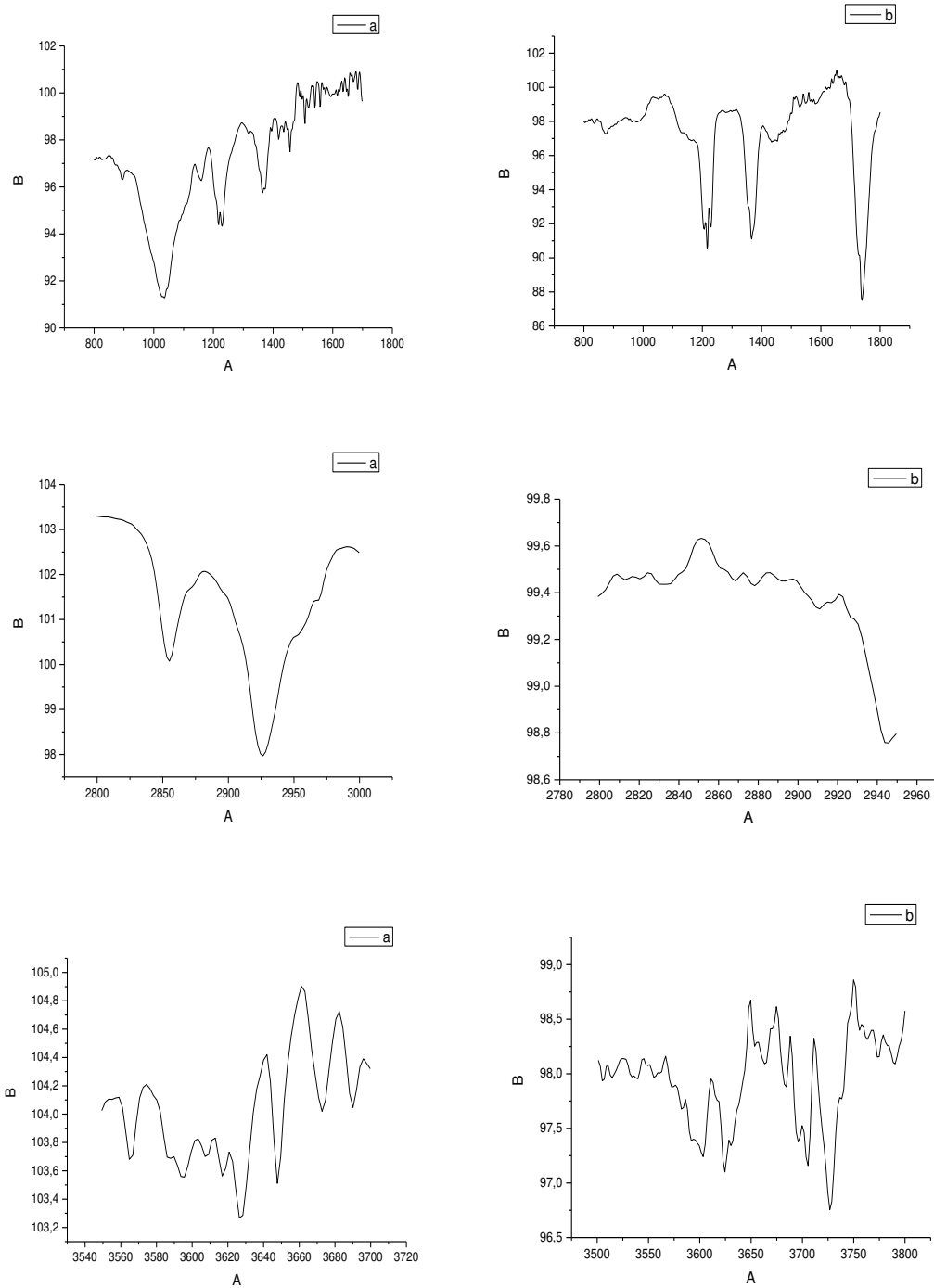


Figure III.2.2: Spectre infrarouge arrangé de coque d'amande (a) et coque d'amande calcinée (b)

III.2.3.1.b. Poudre des noyaux d'olive

L'analyse par IR confirme le spectre obtenu du poudre des noyaux d'olive à l'état natif (**Figure III.2.3 ligne noire**) montre la présence de différentes bandes de vibrations :

- ❖ Les pics de faible intensité dans l'intervalle $3500-3750\text{ cm}^{-1}$ caractéristiques de la liaison hydrogène.
- ❖ On trouve dans la zone $2926,45\text{ cm}^{-1}$ à $2853,17\text{ cm}^{-1}$ des bandes d'absorption forte, correspondent aux modes d'élongation du lie $-C-H$, cela confirme l'existence de $-CH_2$, (à $2926,45\text{ cm}^{-1}$ élongation asymétrique et à $2853,17\text{ cm}^{-1}$ élongation symétrique).
- ❖ Les bandes vers 2923 et 2853 cm^{-1} déformation CH , CH_2 .
- ❖ A $1746,23\text{ cm}^{-1}$ bande intense (forte absorption) correspondant au mode d'élongation de vibration de $-C=O$ (carbonyle (ester)).
- ❖ Le pic $1024,34\text{ cm}^{-1}$ Vibration d'élongation $Si-O$.

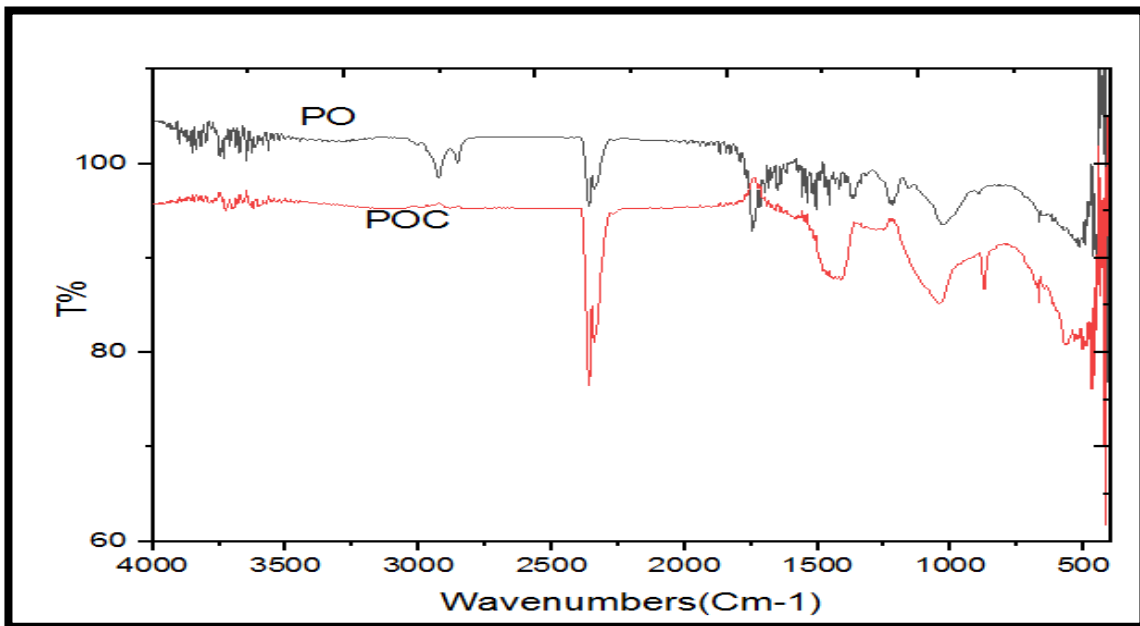


Figure III.2.3: Spectres IR de la poudre des noyaux d'olive PO (ligne noire) et poudre de noyaux d'olive calcinée POC à 1000°C (ligne rouge).

III.2.3.1.c. Poudre des noyaux des dattes

La poudre des noyaux des dattes montrent les bandes et pics caractéristiques du spectre IRTF dans (**la figure III.2.4 ligne noire**):

- ❖ Les bandes d'adsorption, à forte intensité, situées aux environs de 2930 et 2864 cm^{-1} sont assignées respectivement aux vibrations symétriques et asymétriques de la liaison C-H, présentes des groupes fonctionnels alkyles.
- ❖ Le pic **1746,23 cm^{-1}** vibration d'élongation C=O.
- ❖ Le pic **1455 cm^{-1}** déformation CH_2 et CH
- ❖ Le pic **867 cm^{-1}** vibrations de déformation =C-H et =CH.
- ❖ Le groupe autour **1223,76 cm^{-1}** a été attribué à C – O – C asymétrique déformation axiale des éthers ou C – C (= O) – C axiale et déformation angulaire des cétones.
- ❖ Le pic **792 cm^{-1}** Alcènes (vibrations de déformation)^{[53], [54]}.

Par contre les noyaux de dattes calcinés présentent des pics différents prouvant l'apparition d'une nouvelle structure d'atomes arrangés parallèlement ressemblant à celle de graphite, et le pic dominant à **1080 cm^{-1}** qui reste inchangé probablement dû à la liaison Si-O. On remarque la disparition des **CH** après calcination (**Figure III.2.4 ligne rouge**).

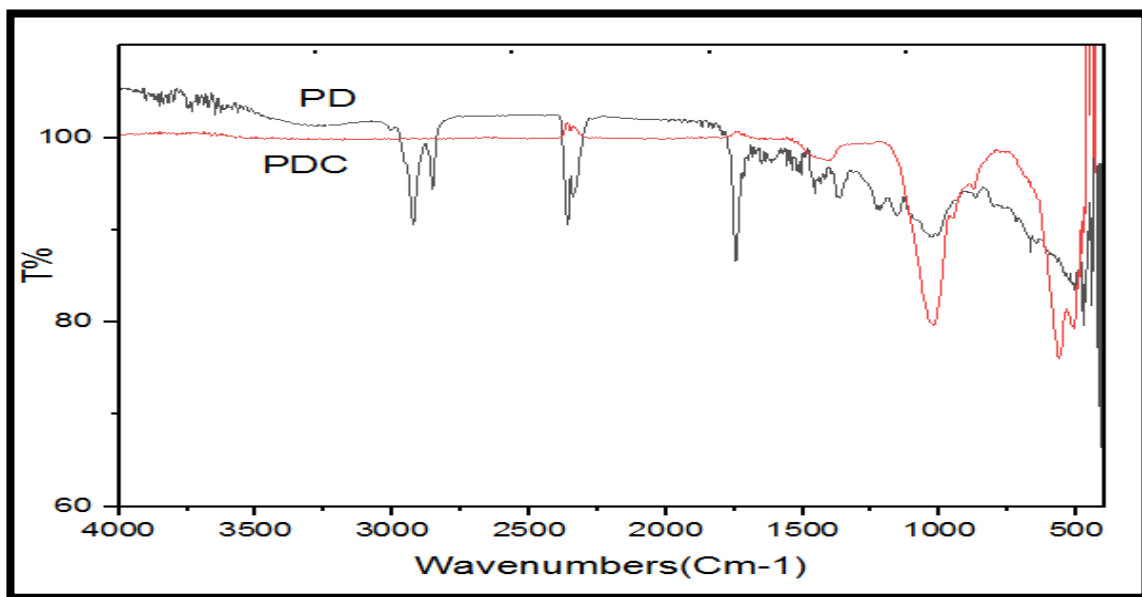


Figure III.2.4: Spectre IR poudre des dattes natif PD (ligne noire) et calciné PDC (ligne rouge) à 1000°C.

III.2.3.1.d. Marc du café

Le spectre d'absorption infrarouge a été enregistré entre 4000 et 400 cm^{-1} à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier type.

- ❖ La bande d'absorption à **2928,38 cm^{-1}** est due à la contribution de l'étirement de la liaison C-H.

- ❖ En plus de cela, le spectre IR montre la bande d'absorption à 1507 cm^{-1} indiquant la présence d'un cycle aromatique.
- ❖ La présence de liaison Si=O est confirmée par le pic à $1017,34\text{ cm}^{-1}$ [55].

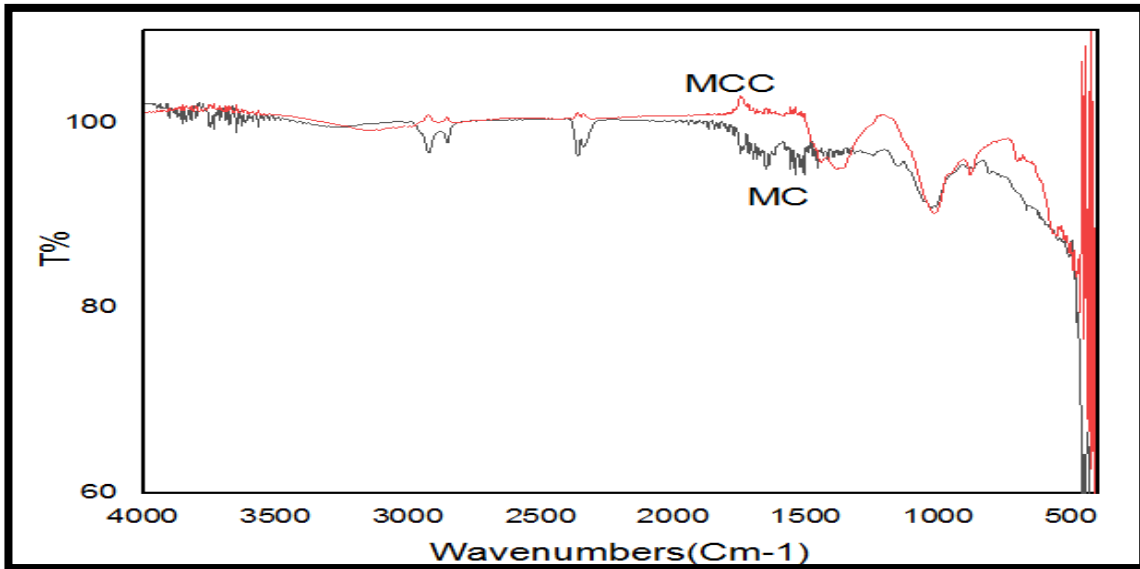


Figure III.2.5: Spectre IR poudre du marc MC (ligne noire) et marc calciné MCC (ligne rouge) à 1000°C .

III.2.4. Caractérisation physico-chimique des charbons actifs utilisés

III.2.4.1. Analyse par spectrométrie Infrarouge

Les spectres IRTF des grains de coquilles d'Amande activés avec des divers réactifs (H_3PO_4 , H_2SO_4 , NaOH et HCl) ont été analysés en utilisant le spectromètre à transformé de Fourier, sur une gamme de 400 à 4000 cm^{-1} et une résolution de 4 cm^{-1} . Les résultats d'analyse sont présentés ci-dessous :

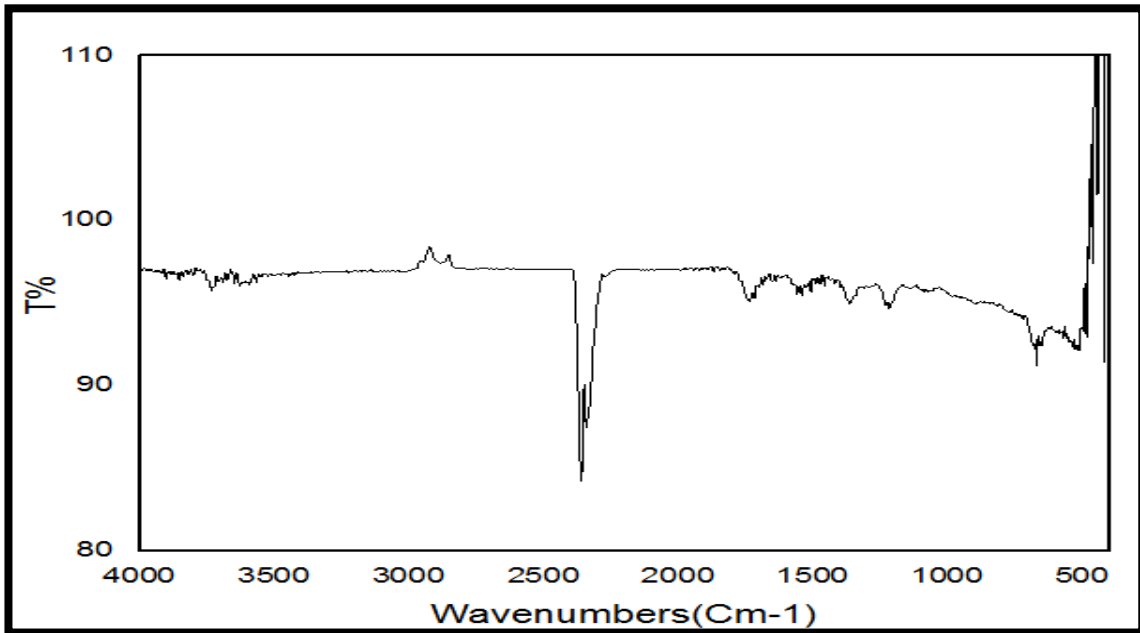


Figure III.2.6: Spectre IR du charbon actif voie acide (H_3PO_4).

Les bandes d'adsorption IR-TF de coquille d'amande charbons actifs activé par voie acide (H_3PO_4) analysés par IR-TF. (**Figure II.2.6**).

- ❖ La bande d'absorption à 3736 cm^{-1} est due à la contribution d'élongation de la liaison N-H.
- ❖ La vibration d'élongation à 3441 cm^{-1} est attribuée à la présence d'élongation du groupe OH.
- ❖ En plus de cela, le spectre IR montre la bande d'absorption à $2936,09\text{ cm}^{-1}$ indiquant la présence des C-H.
- ❖ La présence de liaison C=O est confirmée par le pic à $1732,73\text{ cm}^{-1}$.
- ❖ La bande d'absorption à $1559,17\text{ cm}^{-1}$ est due à la contribution de déformation de C-H(CH_3).
- ❖ La bande d'absorption à 1228 cm^{-1} est due à la contribution D'élongation de la liaison C-O.

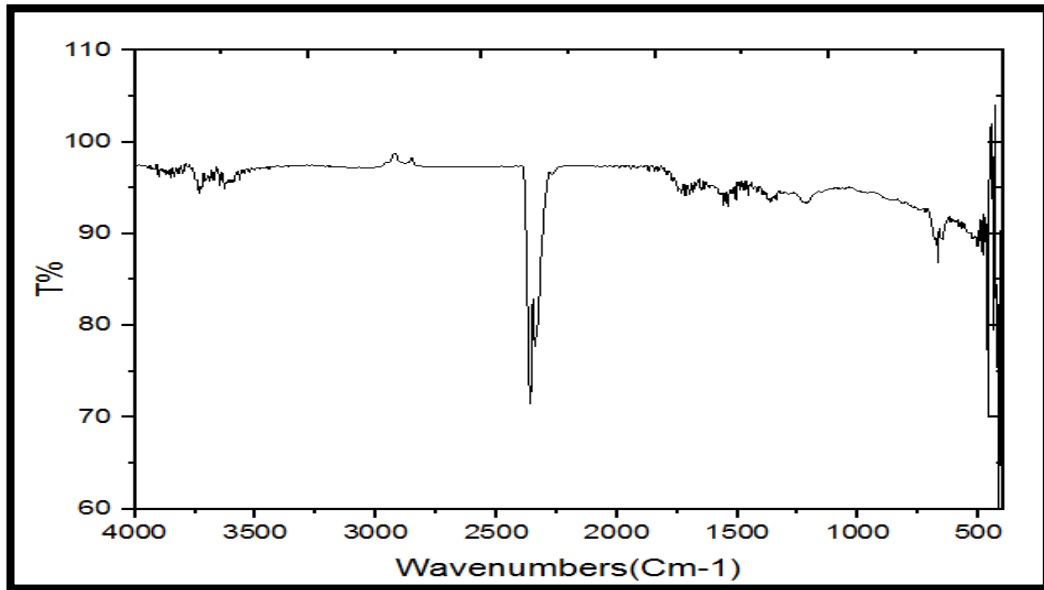


Figure III.2.7: Spectre IR du charbon actif voie Basique (NaOH).

Globalement dans l'ensemble des spectres obtenus dans la figure (III.II.8) on constate toujours la présence d'une bande à environ 3700 Cm^{-1} correspondant à l'élongation des groupements O-H, une autre bande à environ $2963,09 \text{ Cm}^{-1}$ relative à l'élongation du groupement C-H qui a été constaté dans les grains après activation acide mais absente après activation basique. Aussi une bande à $1612,79 \text{ Cm}^{-1}$ correspondant au groupement C=O et une bande à environ 1913.45 Cm^{-1} qui est probablement caractéristiques aux élongations des liaisons C=C des oléfines et des aromatiques. Ces bandes résulteraient de la présence de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine constituants majeurs de la coquille d'amande.

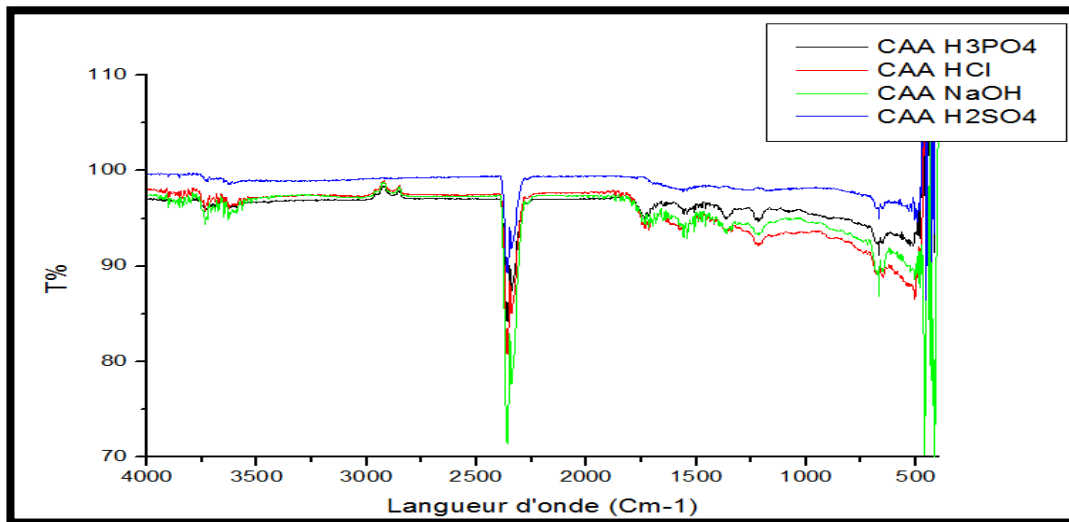


Figure III.2.8: Spectre IR du charbon actif activé par H_3PO_4 , HCl , $NaOH$ et H_2SO_4

III.2.5. Comparaison entre le charbon actif commerciale et le charbon actif traité

III.2.5.1. Etude par spectroscopie IRTF avant adsorption

La spectroscopie IRTF est utilisée pour étudier les phénomènes d'adsorption. À cette fin, nous avons mesuré le spectre IRTF du charbon actif commercial et l'avons comparé avec le spectre IFTR du charbon actif préparé avec différents agents d'activation pour les déchets de cosses d'amandes.

Interprétation des spectres rédige que les groupements fonctionnels disparu à partir plusieurs effet, mais les résultats générale montre que le charbon qui activé chimiquement par H_3PO_4 et avec température est le plus adsorbants parce que on trouve les groupements de phosphorique, la liaison CH_2 , la liaison $C=C$ avec une bonne intensité^[56].

Remarque

Dans tous les spectres sélectionnés, les bandes d'absorption du dioxyde de carbone (CO_2) étaient comprises entre 2386 et 2284 cm^{-1} .

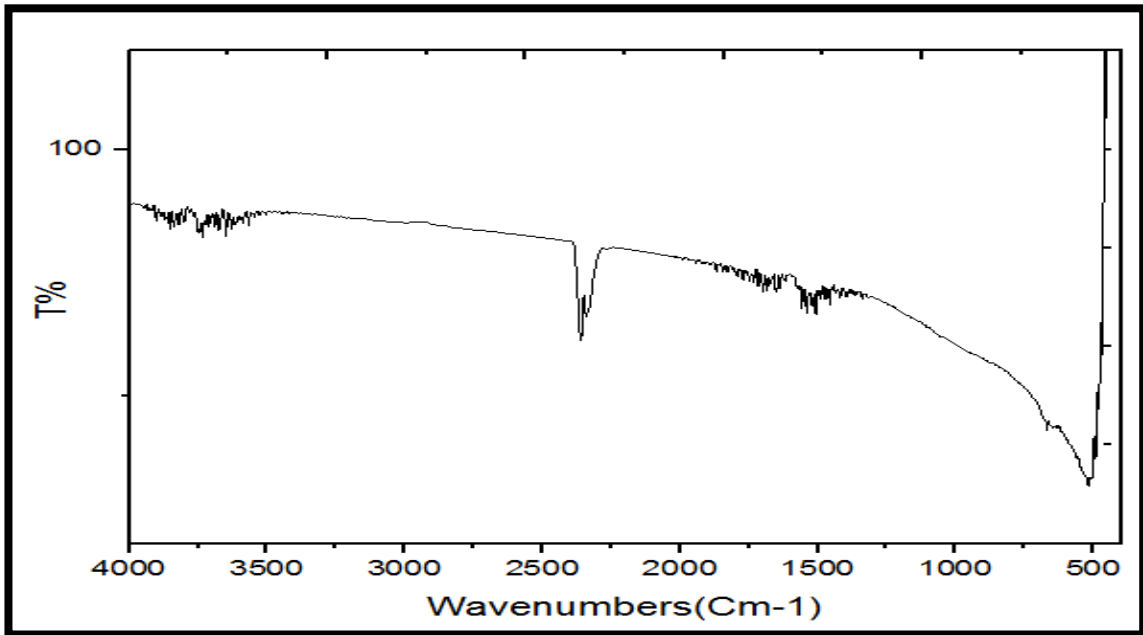


Figure III.2.9: Spectre IR du charbon actif commercial.

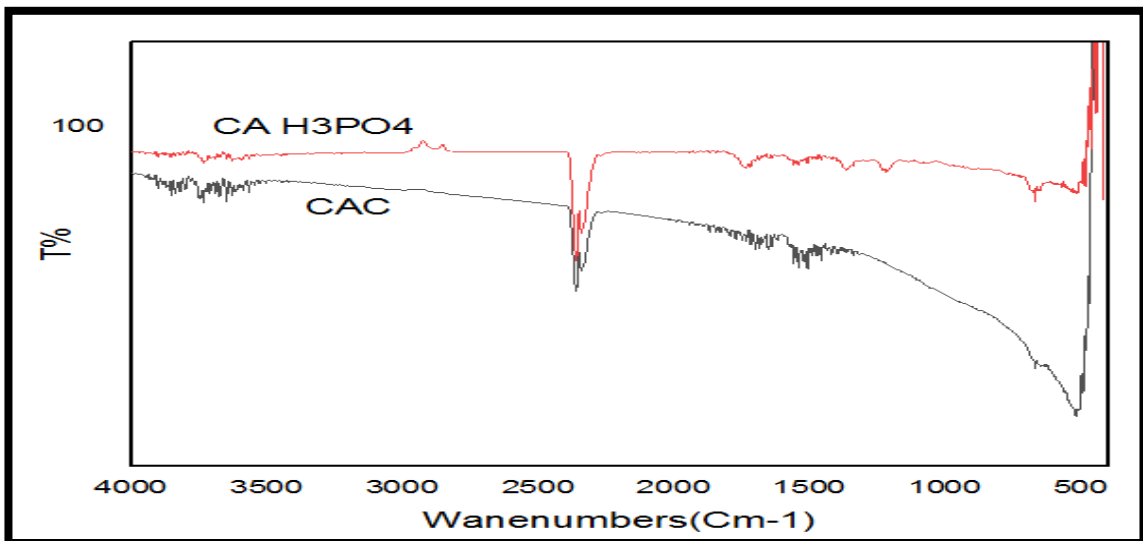


Figure III.2.10: Spectre IR du charbon actif traité par H_3PO_4 (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire)

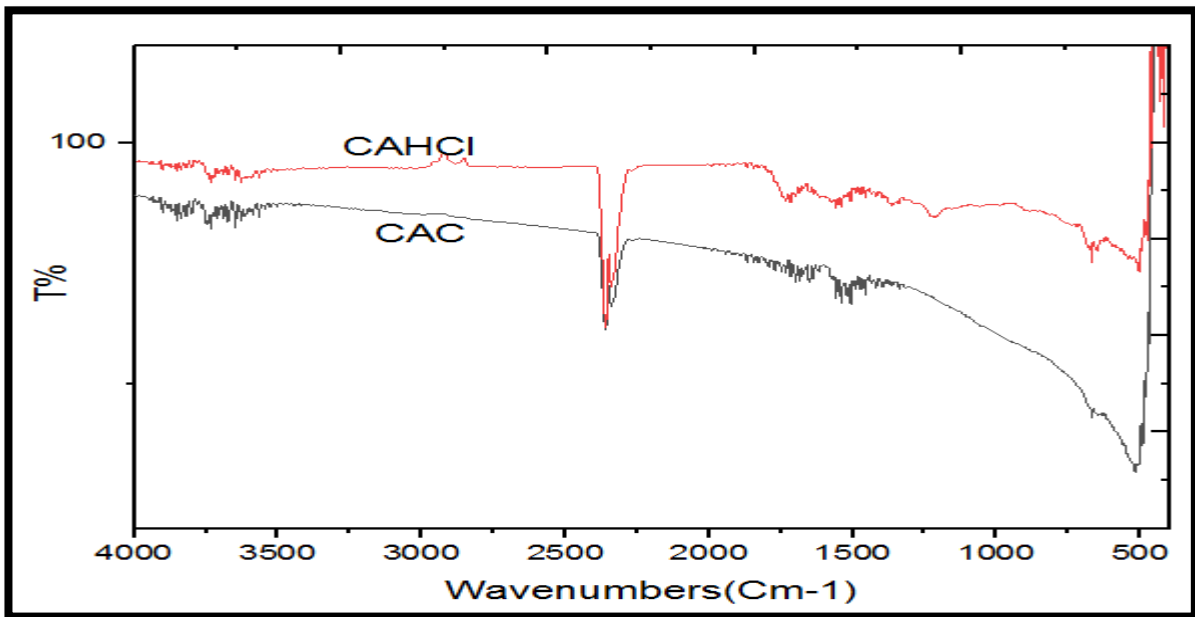


Figure III.2.11: Spectre IR du charbon actif traité par HCl (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire).

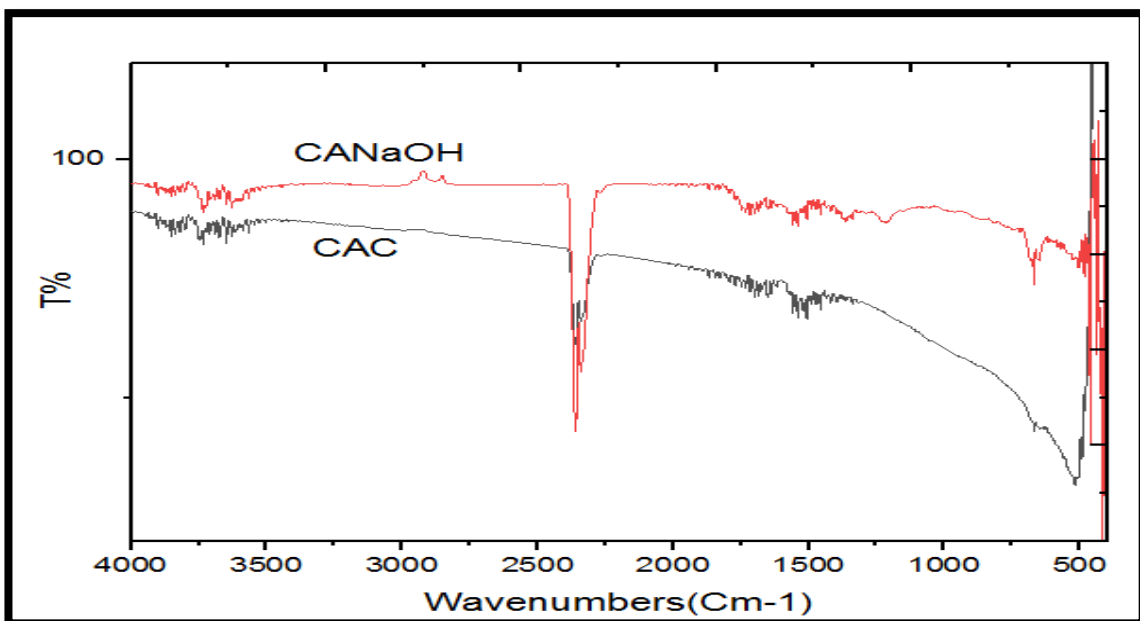


Figure III.2.12: Spectre IR du charbon actif traité par NaOH (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire).

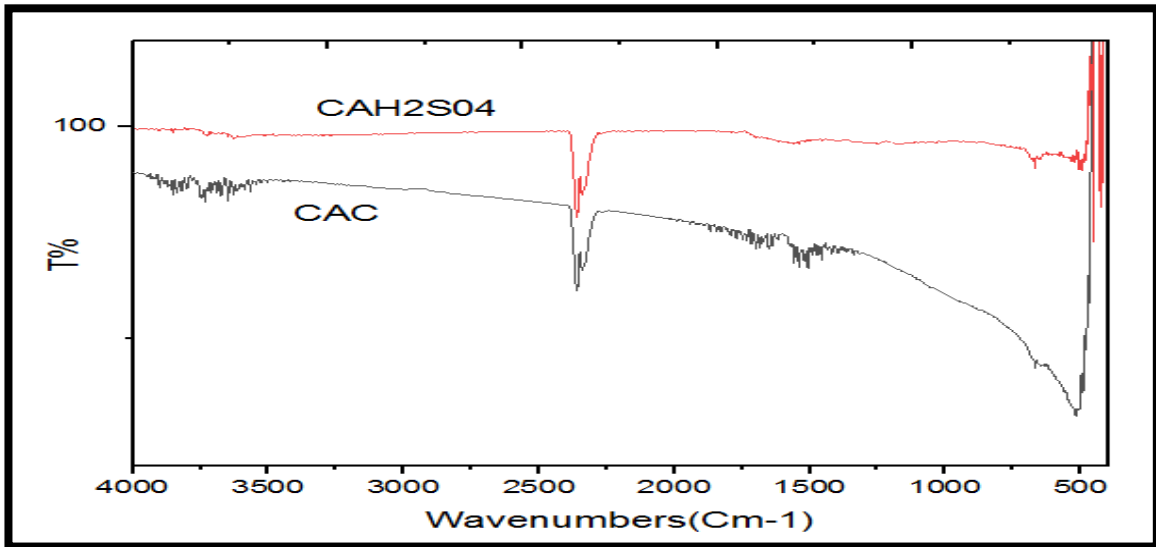


Figure III.2.13: Spectre IR du charbon actif traité par H_2SO_4 (ligne rouge) et charbon actif commerciale (ligne noire)

III.II.5.2. Etude par spectroscopie IRTF après adsorption

L'objet de la présente étude, était de déterminer la capacité des charbons actifs fabriqués à partir de la coque d'amande à l'adsorption des solutions d'amine C_{14} , $ZnCl_2$ et $PbCl_2$ avec des différentes concentrations (10, 20 et 30 mol/L).

L'analyse du spectre IR du charbon actif après adsorption montre des variations du spectre IR par l'apparition de nouvelles bandes et la disparition de certaines et le décalage de bandes dans le spectre, ce qui indique l'apparition de nouvelles liaisons qui ont provoqué une variation directe des liaisons associées aux bandes spectrales.

Kannan et al. et Jain et al. Suggère que l'atome d'azote du groupe amine C_{14} et le groupe hydroxyle des adsorbants participent à l'adsorption. L'analyse de l'intensité de la bande des groupements OH mesure le nombre de groupements OH qui n'ont pas réagi avec les molécules du collecteur adsorbé [57], [58].

La disparition de cette bande indique que tous les OH sont liés à au moins une molécule adsorbée et pourrait indiquer la formation d'une couche mono moléculaire complète [59].

Les bandes d'absorption de carbone après adsorption sont analysées en fonction de la position et de la surface des bandes.

On conclure que le décalage de la bande de variation du charbon actif après adsorption et du collecteur pur on choisit les bandes associées aux vibrations des groupements C-H et N-H^{[60],[61]}.

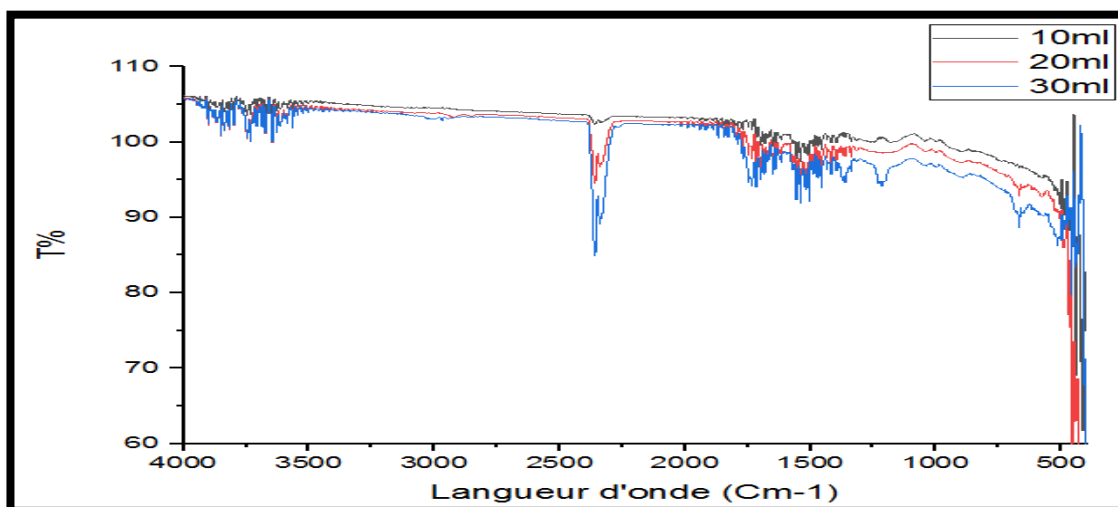


Figure III.2.14: Spectre IR du charbon actif (réactif H_3PO_4) traité par C_{14}

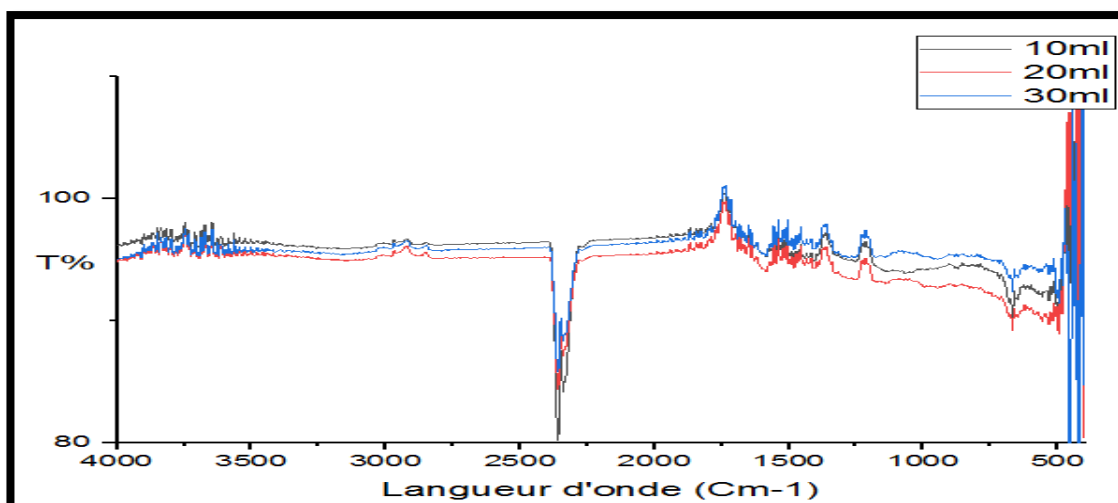


Figure III.2.15: Spectre IR du charbon actif (réactif H_3PO_4) traité par $ZnCl_2$

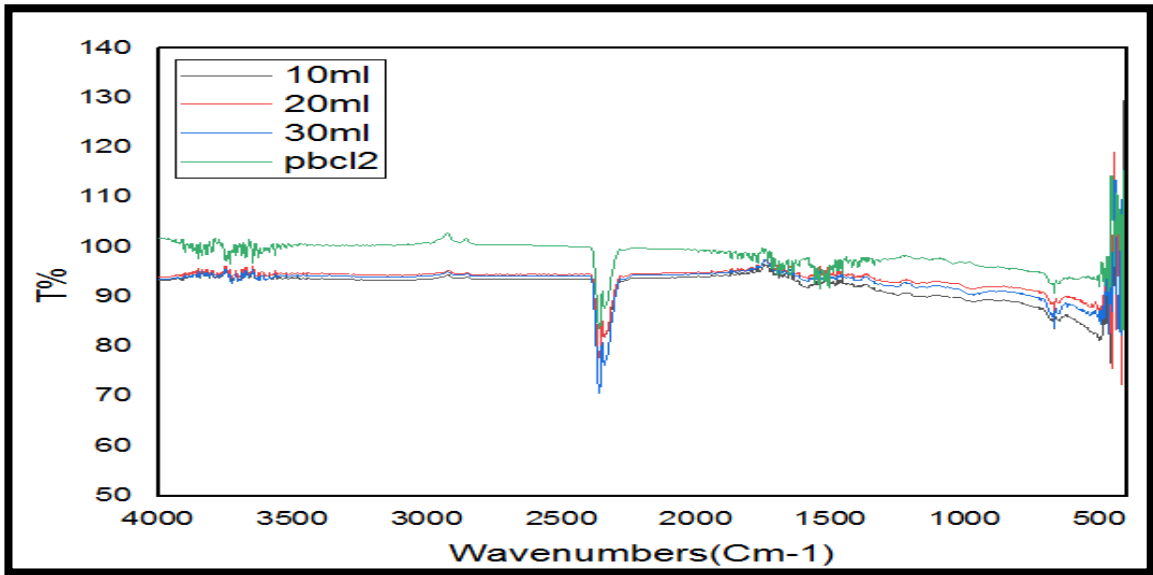


Figure III.2.16: Spectre IR du charbon actif (réactif H_3PO_4) traité par $PbCl_2$.

III.II.6. Analyse morphologique

L'analyse morphologique a été réalisée à l'aide d'un Microscope Optique Polarisant, et les images enregistrées avec un agrandissement X600, ont montré l'existence des pores ellipse dans la structure du charbon actif (préparer à partir la poudre d'amande).

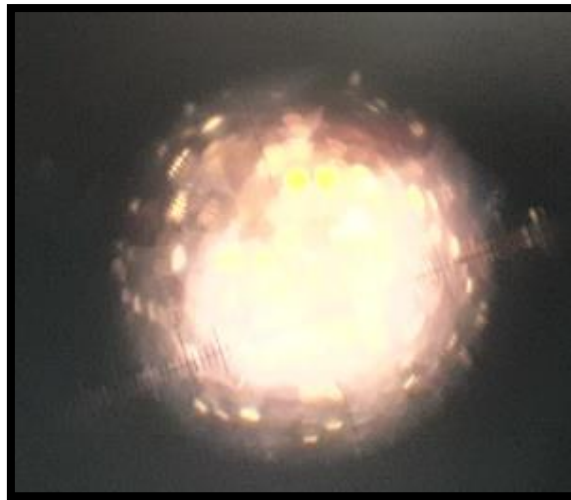


Figure III.2.17: Image du charbon actif

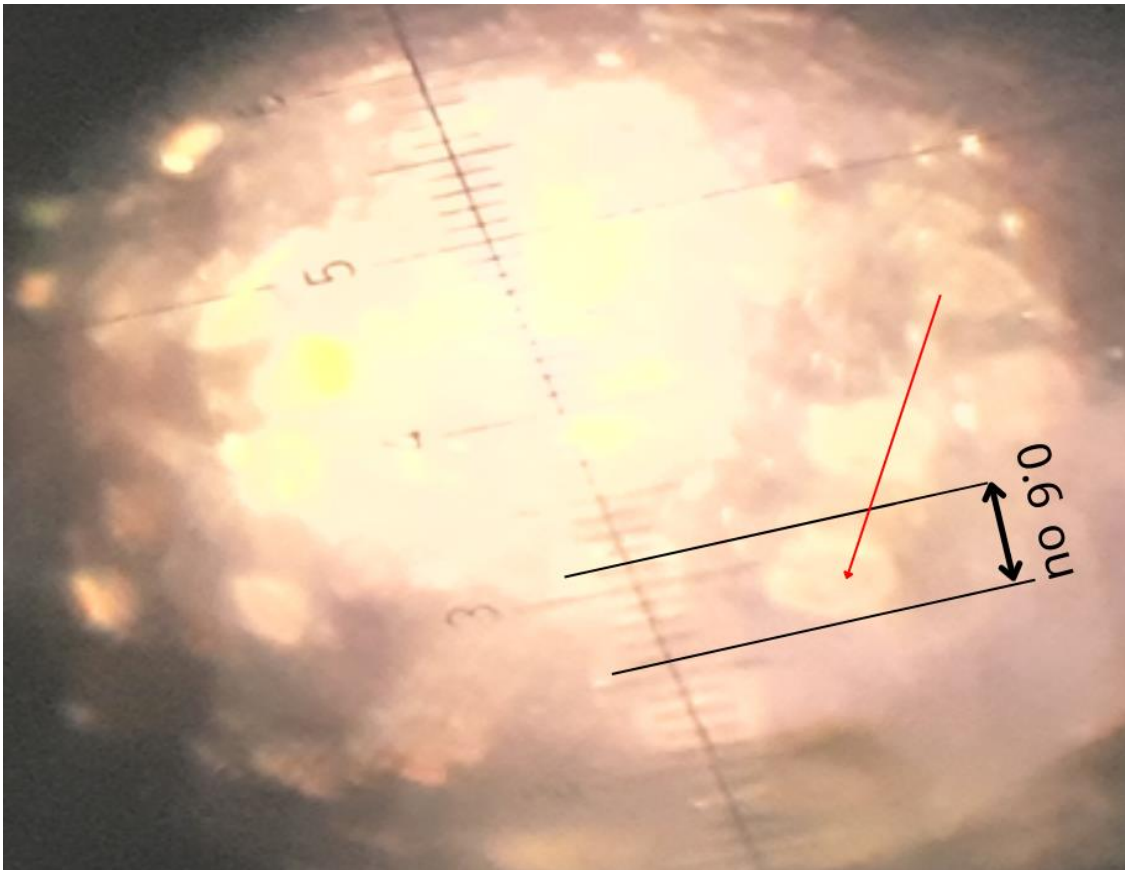


Figure III.2.18: Estimation du diamètre de pore du charbon obtenu

- ❖ Ou=micromètre oculaire.
- ❖ Eye peice (Oculaire)= 0.6 Cm, Avec un agrandissement X600.
- ❖ Le diamètre d'un pore est 10 μm .

Conclusion

Le but de cette étude est la préparation de charbon actif à partir de déchets organiques afin d'obtenir un produit utilisable dans le traitement des eaux et notamment pour la décoloration des eaux usées utilisées dans l'industrie textile (élimination des colorants cationiques). Les agents d'activation utilisés sont des acides (**H₃PO₄**, **HCl**, **H₂SO₄**) et une base (**NaOH**). Les matières premières utilisées pour la préparation du charbon actif sont les noyaux d'olives, les noyaux de dattes, les coquilles d'amandes et le marc de café.

La préparation de charbon actif à partir de résidus agricoles influencée par une température modérée, suivie d'une activation chimique a fait l'objet de nombreuses études. La calcination à température modérée permet de réduire le coût d'obtention du charbon. De plus, ce procédé permet d'obtenir de bons charbons actifs de qualité meilleure avec une structure poreuse développée et importante ayant une grande surface spécifique.

Les matériaux ont été caractérisés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (**IRTF**) et microscopie optique, et les propriétés physico-chimiques (les taux d'humidité, les taux de cendre, le pH, la densité apparente et la porosité) ont été également déterminés.

La caractérisation des matériaux adsorbants a permis de déterminer l'effet des agents activants sur la structure poreuse du matériau, de sorte que les processus d'activation et la transformation des résidus agricoles ont été bien réalisés. La distribution de la taille des pores montre que les surfaces de charbon activées par **H₃PO₄**, **HCl**, **H₂SO₄** et **NaOH** sont principalement méso poreuses et peuvent être d'excellents adsorbants pour les grosses molécules organiques et certains métaux lourds.

Les matériaux synthétisés par activation chimique se sont révélés d'excellents adsorbants ayant propriétés de surface ayant plusieurs applications dans différents domaines (médical, cosmétique, etc.).

Références bibliographiques

- [1] L. Lassonde in Les défis de la démographie, in Hors Collection. Paris: La Découverte, 1996, p. 77-109, **2023**.
- [2] A. Boutaleb and H. Touaher in Etat des lieux du Centre d'Enfouissement Technique Bamendil (Commune de Ouargla), UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [3] A. Cicoletta 1, Santé publique **2010**, 343-351.[.doi: 10.3917/spub.103.0343](https://doi.org/10.3917/spub.103.0343).
- [4] G. Bertolini, Économie des déchets: des préoccupations croissantes, de nouvelles règles, de nouveaux marchés, Editions Technip, **2005**.
- [5] A. Damien, Guide du traitement des déchets-7e éd.: Réglementation et choix des procédés, Dunod, **2016**.
- [6] C. A. Wiam and G. Fatiha in Etude de la valorisation des déchets végétaux et ménagers dans l'amélioration des sols pauvres de la région de Djelfa, Université Ziane Achour/Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, **2022**.
- [7] R. Nadif, C. Paris, B. Jacquemin, J. Lepeule and M. Redaelli, **2021**.
- [8] D. Schrijvers in Evaluation environnementale des options de recyclage selon la méthodologie d'analyse de cycle de vie: établissement d'une approche cohérente appliquée aux études de cas de l'industrie chimique, Université de Bordeaux, **2017**.
- [9] C. Francou in Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-Recherche d'indicateurs pertinents, INAPG (AgroParisTech), **2003**.
- [10] P. Martínez-Gómez, R. Sánchez-Pérez, F. Dicenta, W. Howad, P. Arús and T. M. Gradziel, Fruits and nuts **2007**, 229-242.[.doi: 10.1007/978-3-540-34533-6_11](https://doi.org/10.1007/978-3-540-34533-6_11).
- [11] S. Fortin, Cosmétiques non toxiques: les nouvelles recettes, Éditions LaPresse, **2017**.
- [12] M. B. H. Najafi, International conference on food engineering and biotechnology **2011**, p. 326.
- [13] W. Al-Shahib and R. J. Marshall, International journal of food sciences and nutrition **2003**, 54, 247-259.[.doi: 10.1080/09637480120091982](https://doi.org/10.1080/09637480120091982).
- [14] M. A. Al-Farsi* and C. Y. Lee, Critical reviews in food science and nutrition **2008**, 48, 877-887.[.doi: 10.1080/10408390701724264](https://doi.org/10.1080/10408390701724264).
- [15] B. I. ABBES Sabah in Effet d'incorporation de la poudre des noyaux de datte «Mech-Degla» dans la farine de blé tendre, **2022**.
- [16] I. BENREKIA, A. E. BOULDOUM and D. BOUKHELKHAL, **2022**.
- [17] D. Benmeddour and R. Arhab, **2020**.
- [18] V. I. Águeda, B. D. Crittenden, J. A. Delgado and S. R. Tennison, Separation and purification technology **2011**, 78, 154-163.

- [19] A. Abdenouri and A. Fouchel in Valorisation du lactosérum: étude de l'état des lieux et impact environnemental, Vol. Université Mouloud Mammeri, **2021**.
- [20] B. El-Eswed, Desalination and Water Treatment **2016**, 57, 19227-19238.
- [21] W. Goutas, A. Hammoud and N. E. Djamaa in Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir du bois, Université de Jijel, **2015**.
- [22] N. Bouchelkia and L. Mouni in Etude de l'élimination du plomb, du zinc et du cadmium par adsorption sur un charbone actif préparé à base des noyaux de jujuba, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, **2015**.
- [23] C. Amarouche and F. Iglouli in Synthèse d'un solide mésoporeux application en adsorption, **2021**.
- [24] M. Mazouz and L. Khelaifia, **2018**.
- [25] T. Xavier in Use of eco-designed reagents: bio-based dienes by coumalates valorisation & Bio-inspired nucleophiles-SMAHOs, Vol. Université Paris-Est, **2021**.
- [26] S. Chiba in Comportement à la corrosion de l'acier inoxydable AISI 316, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, **2022**.
- [27] K. Brou Guillaume, N. Serpokrylov, A. Smolyanichenko, E. Cheblakova, Gorina and D. V. Yoboué, Environnement, Ingénierie & Développement **2019**.
- [28] S. D. Maazou, H. I. Hima, M. M. M. Alma, Z. Adamou and I. Natatou, International Journal of Biological and Chemical Sciences **2017**, 11, 3050-3065.
- [29] K. N. Aboua, D. B. Soro, M. Diarra, K. DIBI, K. R. N'GUETTIA and K. S. TRAORE, Afrique science **2018**, 14, 322-331. doi: [10.1351/pac198557040603](https://doi.org/10.1351/pac198557040603).
- [30] J. Silvestre-Albero, M. Martinez-Escandell, J. Narciso, A. Sepúlveda-Escribano and M. Molina-Sabio, Carbon **2021**, 179, 275-287. doi: [10.1080/01932699008943255](https://doi.org/10.1080/01932699008943255).
- [31] A. Gupta, V. Sharma, K. Sharma, V. Kumar, S. Choudhary, P. Mankotia, B. Kumar, H. Mishra, A. Moulick and A. Ekielski, Materials **2021**, 14, 4702.
- [32] S. Ounoki and S. Achour, LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782 **2014**.
- [33] N. Bouziane and A. Zertal, **2017**.
- [34] N. Morin-Crini, S. Fourmentin, É. Fenyvesi, E. Lichtfouse, G. Torri, M. Fourmentin and G. Crini, The history of cyclodextrins **2020**, 1-93.
- [35] M. Miguet in Adsorption de COV issus d'eaux souterraines et régénération des charbons actifs par voie solaire, Université de Perpignan, **2015**.
- [36] N. Choualeb, K. Bouaziz and K. E. Rida in Etude de la régénération de charbon actif préparé à partir de la biomasse, Université de Jijel, **2021**.

- [37] M. P. Chevenard, *Revue de Métallurgie* **1931**, 28, 453-468.
- [38] E. Bellin, *Detailing worlds: a history of architectural particulars, 1755-1899*, University of Pennsylvania, **2018**.
- [39] G. Sharma, S. Sharma, A. Kumar, C. W. Lai, M. Naushad, J. Iqbal and F. J. Stadler, *Adsorption Science & Technology* **2022**, 2022.
- [40] S. R. Shirsath, A. P. Patil, R. Patil, J. B. Naik, P. R. Gogate and S. H. Sonawane, *Ultrasonics Sonochemistry* **2013**, 20, 914-923. doi: [10.1016/j.ultsonch.2012.11.010](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.11.010).
- [41] V. G. Georgieva, L. Gonsalvesh and M. P. Tavlieva, *Journal of Molecular Liquids* **2020**, 312, 112788. doi: [10.1016/j.jcis.2013.07.052](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.07.052).
- [42] R. Kumar and M. Barakat, *Chemical engineering journal* **2013**, 226, 377-383. doi: [10.1016/j.cej.2013.04.063](https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.063).
- [43] A. E. Ofomaja, *Biochemical Engineering Journal* **2008**, 40, 8-18. doi: [10.1016/j.bej.2007.11.028](https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.11.028).
- [44] H. Xu, K. Phothong, D. Do and D. Nicholson, *Chemical Engineering Journal* **2021**, 419, 129502.
- [45] C. Tiffreau, **1996**.
- [46] C. Tiffreau, J. Lützenkirchen and P. Behra, *Journal of Colloid and Interface Science* **1995**, 172, 82-93.
- [47] R. d. Gregorio, *Bulletin de la Société entomologique de France* **1989**, 94, 3-14.
- [48] A. Lovell, M. Nancy, N. ShaKayla and M. Kayla, *Journal of Environmental Protection* **2013**, 2013.
- [49] J. P. Beauchaine, J. W. Peterman and R. J. Rosenthal, *Microchimica Acta* **1988**, 94, 133-138. doi: [10.1007/BF01205855](https://doi.org/10.1007/BF01205855).
- [50] J. W. Goodman, C. Durou and J.-P. Pérez, (No Title) **1972**.
- [51] S. Elbariji, M. Elamine, H. Eljazouli, H. Kabli, A. Lacherai and A. Albourine, *Comptes Rendus Chimie* **2006**, 9, 1314-1321. doi: [10.1016/j.crci.2006.05.006](https://doi.org/10.1016/j.crci.2006.05.006).
- [52] D. Tadjia in *Étude de la préparation d'un charbon actif a partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels*, Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologi, **2011**.
- [53] R. L. Plackett and J. P. Burman, *Biometrika* **1946**, 33, 305-325. doi: [10.2307/2332195](https://doi.org/10.2307/2332195).
- [54] E. P. Rose and R. Shameela, *Advances in Applied Science Research* **2012**, 3, 1889-1894.
- [55] R. Irinislimane Ep Chergui in *Synthèse de nouveaux polymères dérivés de l'huile de tournesol et étude de leur biodégradabilité*, **2013**.

- [56] H. Yang, R. Yan, T. Chin, D. T. Liang, H. Chen and C. Zheng, *Energy & fuels* **2004**, 18, 1814-1821.[doi: 10.1021/ef030193m](https://doi.org/10.1021/ef030193m).
- [57] C. Kannan, N. Buvanewari and T. Palvannan, *Desalination* **2009**, 249, 1132-1138.[doi: 10.1016/j.desal.2009.06.042](https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.06.042).
- [58] S. Jain and R. V. Jayaram, *Desalination* **2010**, 250, 921-927.[doi: 10.1016/j.desal.2009.04.005](https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.04.005).
- [59] T.-H. Liou, *Chemical Engineering Journal* **2010**, 158, 129-142.[doi: 10.1016/j.cej.2009.12.016](https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.12.016).
- [60] L. Christner and P. Walker Jr, *Carbon* **1993**, 31, 1149-1158.[doi: 10.1016/0008-6223\(93\)90068-L](https://doi.org/10.1016/0008-6223(93)90068-L).
- [61] C. Djilani, R. Zaghdoudi, A. Modarressi, M. Rogalski, F. Djazi and A. Lallam, *Chemical Engineering Journal* **2012**, 189, 203-212.[doi: 10.1016/j.cej.2012.02.059](https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.02.059).

ANNEXE 01

Entreprise en démarrage

Introduction

Une entreprise en démarrage est une entreprise dans les premiers stades de développement. Elles peuvent rester à ce stade jusqu'à trois ans.

Définition

Les entreprises en démarrage prennent de nombreuses formes. Elles peuvent:

- ❖ Être des entreprises individuelles, des sociétés de personnes, des sociétés en commandites ou des sociétés par actions.
- ❖ Vendre un produit ou un service existant, ou un nouveau produit ou service.
- ❖ Vendre à un marché établi ou à un nouveau marché.
- ❖ Être exploitée à l'échelle nationale ou internationale.
- ❖ Répondre à de nouveaux besoins du marché.
- ❖ Répondre à un besoin existant du marché auquel répondait une entreprise qui a quitté ce marché.
- ❖ S'établir dans un secteur d'activité existant ou un nouveau secteur.
- ❖ Être lancée par quelqu'un avec ou sans expérience professionnelle préalable.
- ❖ Être entièrement financée ou requérir les fonds d'investisseuses ou investisseurs.
- ❖ Si une entrepreneure ou une entrepreneure novice achète une entreprise existante, l'entreprise n'est pas considérée comme une entreprise en démarrage.

Évaluation de marché

Renseignez-vous sur les besoins du marché et sur la mesure dans laquelle ils sont comblés. Quelles personnes ou entreprises jouent un rôle important? Quels produits et services offrent-elles? À quels prix? Si vous prévoyez lancer sur le marché un nouveau produit ou service, faites d'abord une étude de marché pour connaître la taille du marché et les chances de succès du produit ou service. En d'autres termes, vous devez savoir le plus de choses possible sur votre future clientèle.

Plan d'affaires

Vous devez absolument établir un plan d'affaires qui décrit votre projet d'entreprise et indique comment vous le réaliserez. Le plan d'affaires doit contenir les éléments suivants: un résumé, évaluation du marché, description du produit ou service, ventes et marketing, analyse de la concurrence, exploitation/fabrication, forme de l'entreprise,

ressources humaines, financement, capital, prévisions, résumé des risques, investissements, sources d'information consultées et recherches effectuées. Votre plan d'affaires doit être clair et complet. Il n'a pas besoin d'être long mais doit aborder tous les aspects importants de votre entreprise.

Votre équipe

Entourez-vous d'une équipe de gens compétents (partenaires, membres du personnel, conseillers indépendants et conseillères indépendantes, etc.). Vous ne pourrez pas tout faire sans aide. Une bonne équipe et une bonne gestion de votre équipe sont essentielles à la réussite de votre entreprise.

Ressources financières

Assurez-vous de disposer d'un financement suffisant. Vous pouvez financer le démarrage de votre entreprise au moyen de votre propre argent ou d'un prêt (une combinaison des deux est normalement utilisée).

Formalités

N'oubliez pas de tenir compte de certaines questions de base: forme juridique de votre entreprise (entreprise individuelle, société de personnes, société de capitaux), convention des actionnaires, brevets et droits d'auteur, obtention de numéros d'inscription de votre entreprise, protection de votre raison sociale, réglementation locale, etc. Vous aurez également besoin d'un avocat ou d'avocate, d'un ou une comptable et de quelqu'un qui pourra vous guider dans le démarrage de votre entreprise.

Auto-évaluation

Même s'il est très important, ce dernier point est rarement pris en considération. Demandez-vous si vous avez l'étoffe d'une entrepreneure ou d'un entrepreneur, car traverserez des moments difficiles. Vous ne connaîtrez pas le sentiment de sécurité que procure un chèque de paie et vos rentrées de fonds fluctueront. Vous pourriez aussi vivre un sentiment d'isolement. Ces points sont très importants. Réfléchissez à ces éléments avant de vous lancer en affaires. Demandez à deux ou trois propriétaires d'entreprise de vous parler de leur expérience. La section du site web de BDC qui traite du démarrage d'une entreprise fournit des renseignements complémentaires ainsi que des articles et des liens utiles.

Conditions de succès des entreprises en démarrage

Ce bulletin aborde quelques principes de base qui sont les vecteurs à la réussite des entreprises en démarrage:

- ❖ L'importance de l'équipe.
- ❖ L'importance d'une vision approfondie du « client ».
- ❖ L'importance d'un état de veille et d'agilité.

Règle générale, les entreprises en démarrage ont des actifs limités, pas de vente et peu de ressources à l'interne. Or, il est capital que les dirigeants de ces sociétés puissent, de façon éclairée, prendre aujourd'hui les meilleures décisions pour augmenter leurs chances de succès.

Aussi, notre rôle consiste souvent à rappeler aux entrepreneurs quelques grands principes qui pourront présider à la réussite de leur entreprise. Sans prétendre à une liste exhaustive, nous les avons ici regroupés sous trois thèmes:

- ❖ L'importance de l'équipe.
- ❖ L'importance d'une vision approfondie du « client ».
- ❖ L'importance d'un état de veille et d'agilité.

L'équipe

Rares sont les entreprises qui ont eu du succès avec une seule personne à bord. À la source, il y a bien sûr le porteur de l'idée et de la vision. Il s'agit habituellement du CEO de l'entreprise. Si l'entrepreneuriat peut en soi n'impliquer qu'un seul individu, le succès requiert une équipe. En fait, les entrepreneurs qui ont réussi vous admettront qu'ils faisaient généralement partie d'une équipe.

La capacité d'exécution demeurera importante à toutes les étapes de l'existence d'une entreprise. Au stade de l'envol commercial, celle-ci est capitale. Tout investisseur sérieux sait très bien qu'il doit confier son argent à des personnes qui ont ce talent d'exécution ou dont la feuille de route en témoigne. Nous savons tous que les fenêtres d'opportunités sont de plus en plus courtes dans de nombreux secteurs et qu'une vraie discipline d'exécution est de rigueur dans les toutes premières initiatives de positionnement commercial et de création de valeur. Malheureusement, cette

discipline rebute parfois à certains entrepreneurs plus animés par la technologie elle-même et son développement que par la gestion ou l'exécution. Chez ceux-là, il y aura fort à faire pour mettre en place un tel cadre ou un système de suivi de la performance. Un comité consultatif constitué de professionnels aguerris peut s'avérer généralement efficace pour instaurer une certaine discipline sur ce plan.

La vision « client »

La construction de valeur d'une entreprise est un processus structuré qui implique de recruter des clients rentables, fidèles et stratégiques. Il est connu que les premiers clients de référence demeurent critiques pour l'entreprise en démarrage qui cherche à générer une traction commerciale. Il est important que ces clients initiaux traduisent le positionnement projeté et n'engendrent pas un risque pour la réputation, la performance d'une marque ou la rentabilité à plus long terme de l'entreprise.

Chacun de ces premiers clients potentiels représente un « levier stratégique » pour la jeune entreprise et doit être évalué en tenant compte des moments de vérité qui pourraient jalonner le parcours à venir de l'entreprise (fusion, alliance, refinancement ou autre).

Les innovations radicales sont de plus en plus rares. En fait, les nouveautés sont généralement incrémentales et s'imposent en remplacement à des produits ou services qui existent déjà. La vision « client » est souvent occultée par l'excitation découlant du lancement d'un nouveau produit, et plusieurs entrepreneurs oublient trop souvent de sonder leurs clients ou acheteurs potentiels.

Aussi, sans trop savoir quelles sont leurs motivations, ni la proposition (de valeur) qu'ils peuvent leur faire, ils dépenseront des sommes relativement importantes pour apprendre ce qu'il ne faut pas faire.

Comme en toute chose, il y a une courbe d'apprentissage dans les efforts commerciaux et il arrive parfois qu'une entreprise déploie une force de vente trop rapidement, souvent même avant que le produit ne soit tout à fait complet et prêt. En plus d'épuiser inefficacement leur précieux fonds de roulement – et de semer l'inquiétude chez leurs actionnaires -, ces entrepreneurs minent leur crédibilité commerciale et la valeur perçue de ce qu'elles ont à offrir.

L'agilité

Force est d'admettre que nous entrons dans une ère de turbulence sans précédent et, par conséquent, d'incertitude grandissante. Or, les entrepreneurs qui ont du succès sont généralement capables de naviguer dans une mer agitée. La capacité de mitiger les risques et de réagir rapidement constitue, dans un tel contexte, un atout indéniable. Nous croyons que certains facteurs peuvent favoriser une telle vitesse de réaction organisationnelle, tel que :

- ✚ L'exercice d'un leadership fort et ouvert qui favorise la prise d'initiatives.
- ✚ L'usage de pratique de veille concurrentielle et commerciale.
- ✚ Le recours, à l'échelle de l'organisation, d'outils efficaces de suivi de performance.
- ✚ La formation en continu du personnel clé.
- ✚ Une planification rigoureuse des ressources financières et humaines.
- ✚ Une culture d'ouverture avec les partenaires (i.e. approche de collaboration ouverte).

Nous observons que les entreprises qui se démarquent tôt sont celles qui instaurent une culture propice à une collaboration ouverte et à la prise de risque. En fait, un système figé dans des procédures lentes ne peut pas conduire à l'agilité désirée.

Les modèles de développement technologique et commercial reposent de plus en plus sur une collaboration ouverte avec des partenaires extérieurs qui contribuent, par leurs moyens (financiers, commerciaux ou stratégiques) et leurs connaissances, à réduire le cycle de valorisation (« time-to-value »). Ces pratiques d'ouverture sont d'ailleurs devenues la norme dans la quasi totalité des secteurs industriels.

De nombreux outils (méthodologiques et logiciels) permettent, depuis quelques années déjà, de mesurer les progrès d'une entreprise selon des indicateurs présélectionnés. Qu'on les appelle tableaux de bord ou rapport de gestion, ces outils visent à mieux aligner les décisions de gestion à prendre avec les objectifs et la performance de l'entreprise. Bien qu'il soit tout à fait pertinent de les implanter, il faut d'abord, quant à nous, se poser la question suivante : Mesure-t-on ce que l'on doit ?

Les entreprises en démarrage se doivent de penser en termes de valeur et, cela étant, les progrès ne peuvent pas être mesurés uniquement sur la base des indicateurs les plus courants. La valeur stratégique des gains peut, dans certains cas, subordonner d'autres

résultats jugés plus intéressants à court terme. Les outils doivent incorporer ces indicateurs de « valeur ».

Afin d'être agile lorsque les circonstances le commandent et de mitiger certains risques, le chef d'entreprise doit pouvoir compter sur les ressources financières et humaines appropriées. Pour ce faire, il lui faut planifier ! L'expérience nous démontre qu'une interaction étroite et itérative entre la finance et la stratégie commerciale est capitale pour produire un plan d'affaires utile, efficace et favorisant un plus court « time-to-value ».

Une bonne planification doit permettre à l'entrepreneur de bien évaluer la nature et l'ampleur des ressources nécessaires à l'atteinte de ses objectifs ou ambitions. Un tel exercice lui permettra généralement de mieux prendre conscience des zones sensibles de son modèle d'affaires et, très souvent, d'en réviser certains aspects tels que le schéma de prix ou la structure de financement de l'entreprise. Cela fera également ressortir la base de revenus nécessaire et pourra, en corollaire, mieux orienter la stratégie commerciale « go-to-market » à mettre en œuvre. Pour notre part, les entreprises en démarrage chez qui l'on a pas observé une courbe d'apprentissage aux ventes (« Sales Learning Curve ») sont plutôt rares et c'est pourquoi nous préconisons d'emblée un biais plutôt conservateur en ce qui concerne leurs prévisions de revenus. Contempler le futur de façon réaliste nous apparaît toujours souhaitable. La création de valeur requiert de la planification, nous l'avons dit, mais aussi de la discipline.

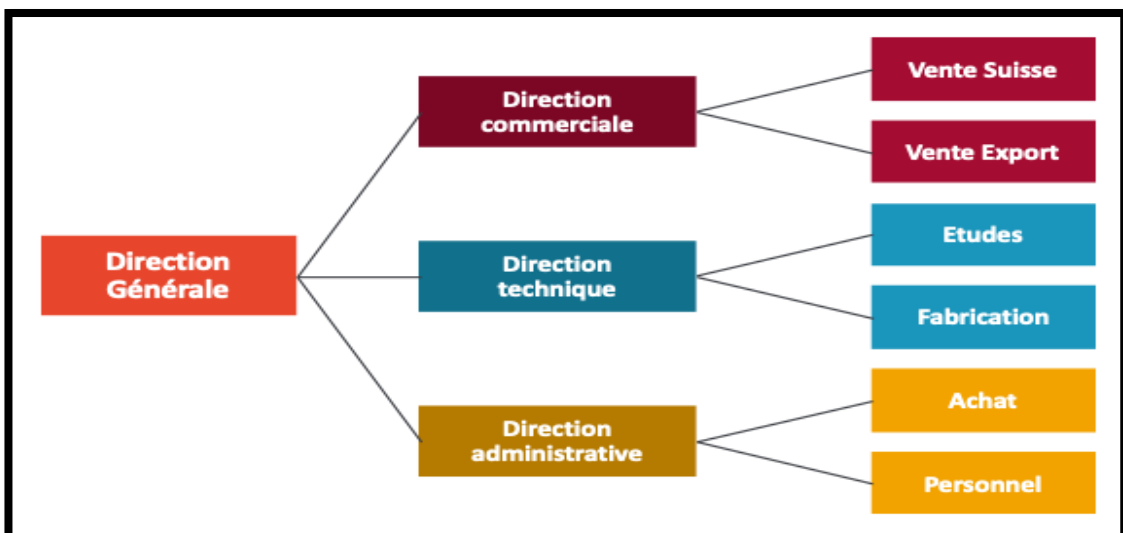


Figure : Organisme d'entreprise.

Ces organigrammes ont l'avantage de leur simplicité et de leur clarté : chaque collaborateur, en tant que membre d'une équipe sait « sur le papier » auprès de qui il doit rapporter. Ils peuvent cependant refléter des faiblesses de l'organisation, telles que le manque de coordination et de circulation de l'information entre les branches de la structure, ou encore le poids de la hiérarchie sur le personnel dont la prise d'initiative peut se retrouver freinée.

Plusieurs variantes de cet organigramme existent : ils conservent le principe de l'alignement des différentes unités de commandement. On retrouve ainsi l'organigramme en « arbre » (les agents d'un même niveau hiérarchique sont sur une ligne verticale), ou encore l'organigramme « replié » qui associe la présentation en « pyramide » avec la présentation en « arbre » :

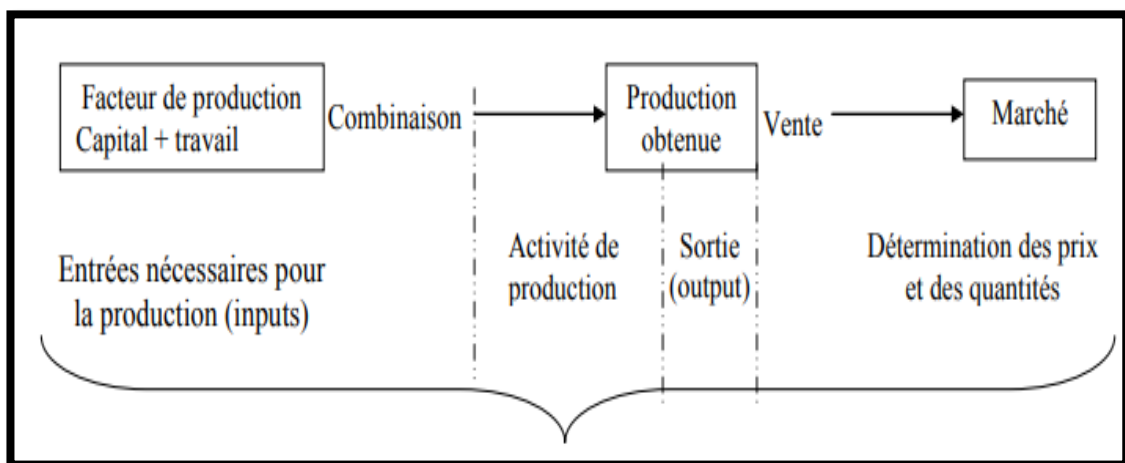


Figure : Présentation de l'entreprise.

Les fonctions de l'entreprise

L'entreprise est un peu comme un organisme vivant, dont la "survie" nécessite une bonne coordination des organes qui le composent.

En effet, l'entreprise ne peut fonctionner que si les tâches à accomplir sont réparties de façon précise et si le rôle de chacun dans l'entreprise est clairement déterminé. Plus l'entreprise est importante, plus son organisation, pour être efficace, doit être structurée. Traditionnellement, on recense plusieurs grandes fonctions dans l'entreprise.

- ❖ **Direction et administration générale** : Elle consiste à définir, à prévoir et choisir les actions à accomplir, contrôler leur réalisation.

- ❖ **Production** : Elle englobe l'ensemble des activités qui transforment des matières premières et composants en produits vendus au client.
- ❖ **Ressources Humaines (RH)** : Gère le personnel et ses missions, fait en sorte que le personnel s'épanouisse pour être performant.
- ❖ **Marketing et ventes** : Permet de comprendre les attentes des consommateurs, essaie d'influencer le comportement des consommateurs, et de vendre ses produits.
- ❖ **Achat** : Est chargée de se procurer les matières premières et composantes nécessaires à la production.
- ❖ **Recherche et développement** : Regroupe l'ensemble des étapes permettant de passer du laboratoire de recherche à la production industrielle en usine.
- ❖ **Comptabilité et finances** : A pour objectif de gérer la situation financière de l'entreprise, d'aider à la décision, d'utiliser au mieux les ressources financières pour développer l'entreprise.
- ❖ **Logistique** : S'occupe de rendre efficace à moindre coût la chaîne qui va de la réception des commandes passées par le service Achats à la livraison aux clients en passant par l'approvisionnement et la gestion des stocks.

ملحق 02

مؤسسة ناشئة لإنتاج الكربون النشط

الإشكالية

المياه النظيفة والصالحة للشرب هي أحد الاحتياجات الأساسية في حياة المواطن الجزائري . ومع ذلك، تواجه الجزائر اليوم تحديات كبيرة فيما يتعلق بتوفير المياه النظيفة للسكان.

تؤثر مشكلة المياه النظيفة على الصحة العامة بشكل كبير، حيث يتعرض الكثير من الأشخاص للأمراض المنقولة عن طريق الماء الملوث.

يزداد الطلب على المياه بمرور الوقت وتزايد الضغوط على الموارد المائية الطبيعية. بالإضافة إلى ذلك، تتعرض المياه للتلوث بزيادة مستمرة، سواء من المصادر الصناعية والزراعية أو التلوث البيئي والمنزلي.

لضمان سلامة وجودة الماء الصالح للشرب:

- يجب أن يكون اللون واضحًا وخاليًا من الشوائب العالقة.
- يجب أن يكون خاليًا من الروائح والطعوم الغريبة.
- يجب أن تكون نسبة الأملاح المذابة، مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، في الحدود المقبولة.
- يجب أن يكون خاليًا من المعادن الثقيلة والمركبات العضوية الضارة.
- يجب أن يكون خاليًا من الميكروبات الضارة مثل البكتيريا والفيروسات والطفيليات.

الحلول المقترحة

استعمال الكربون النشط في محطات تصفية.

حيث يُستخدم الكربون النشط على نطاق واسع في محطات تصفية المياه لتحسين جودة المياه وإزالة الملوثات المختلفة وذلك بفضل خصائصه الممتازة في امتصاص المواد العضوية والكيميائية و الروائح غير المرغوب فيها .

استخدام الكربون النشط في محطات تصفية المياه:

- إزالة المواد العضوية و امتصاص العفن والروائح والطعوم غير المرغوب فيها .
- إزالة الكلور والمركبات الكيميائية، حيث يتمتع الكربون النشط بقدرة عالية على امتصاص الكلور ومركباته، وبالتالي يُستخدم لإزالة الكلور من الماء.
- معالجة مياه الصرف الصحي: يُستخدم الكربون النشط في محطات معالجة مياه الصرف الصحي لإزالة المواد العضوية والرواسب والملوثات العضوية الأخرى.

فكرة المشروع و الجانب الإبتكاري

إنتاج كربون نشط بطريقة صديقة للبيئة من خلال استغلال مخلفات عصر زيت الزيتون و نواة التمر وقشور اللوز و مخلفات القهوة.

تعتبر عملية تدوير النفايات وسيلة لتقليل استنزاف الموارد الطبيعية و كذلك تقليل التلوث البيئي. حيث وبدلا من إرسال بقايا مخلفات عصر الزيتون و مخلفات القهوة و قشور اللوز و نواة التمر الى مكب النفايات يتم تثمينها كمادة أولية لصنع الكربون النشط.

المخلفات العضوية في الجزائر

- يوجد في الجزائر 1788 معصرة زيتون تخلف كل معصرة أزيد من 3 طن من المخلفات المهمة يوميا ترسل إلى مكبات النفايات.
- تخلف المقاهي في الجزائر كمية كبيرة من بقايا القهوة لا يتم استغلالها بمعدل 3 كغ في اليوم.
- ينتج عن نشاط مؤسسات تحويل التمر وتصنيع منتجاته مخلفات عضوية تتمثل في نواة التمر.
- ينتج اللوز مخلفات تتمثل في القشور التي يتم التخلص منها عند عملية التعليب و خلال عملية استخلاص الزيت من اللوز .

كل هذه المواد الغير مستغلة والمهمة تعد مصدر قليل التكلفة لصناعة الكربون النشط الذي يعتبر مادة اساسية في تصفية ومعالجة المياه.

دراسة للسوق المحلي

تعالج محطة معالجة المياه في ولاية ام البواقي يوميا 100 ألف متر مكعب من المياه.

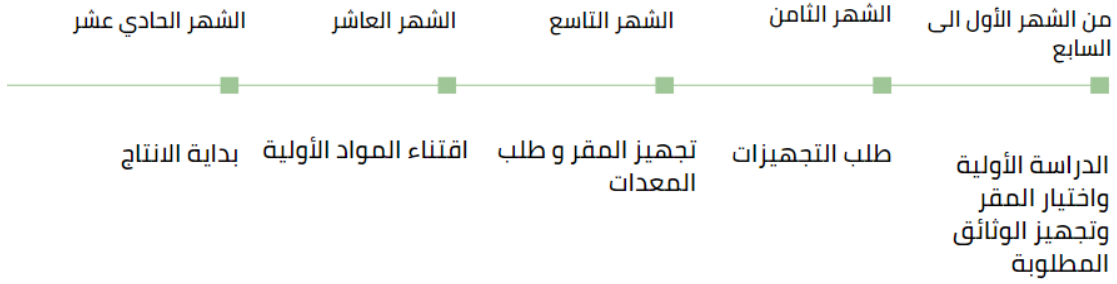
تستهلك عملية المعالجة 500 كغ من الكربون النشط يوميا.

تمتلك الجزائر:

- 80 سد في حالة نشاط.
- 177 محطة تطهير.
- 14 محطة تحليه مياه البحر.

يبلغ سعر الكيلو غرام في السوق الوطني حوالي 600دج.

الجدول الزمني للمشروع



عملية الإنتاج

1. تجميع مخلفات: يتم تجميع المواد الأولية ثم تنظيفها وفرزها.
2. مرحلة الكربنة: يتم وضع المواد الأولية في فرن مخصص وتسخينها حتى تصل درجة حرارتها إلى حوالي 600 درجة مئوية في غياب الهواء.
3. المعالجة: يتم معالجة المادة الأولية بواسطة أحماض في خزانات مخصصة لذلك.
4. الغسل: يتم غسل الكربون النشط بواسطة آلة خلط مخصصة لإزالة أي مواد متبقية أو شوائب.
5. مرحلة التجفيف: يتم تجفيف الكربون النشط بعد الغسل حتى يصل إلى درجة رطوبة مناسبة بواسطة فرن تجفيف.
6. مرحلة الطحن: يتم طحن الكربون النشط إلى بودرة أقل من $5\mu\text{m}$.
7. التعبئة والتغليف: يتم تعبئة الكربون النشط في أكياس جاهزة للتسويق بواسطة آلة تعبأه.

المعدات



الشكل 2. وحدة معالجة المياه 2000000 دج



الشكل 1. فرن كربنة 600000 دج



الشكل 4. معدات الأمن والسلامة 150000 دج



الشكل 3. ماكينة تعبئة وتغليف 800000 دج



الشكل 6. آلة تجفيف 700000 دج



الشكل 5. خزان 10 الف ل 200000 دج



الشكل 8. خزان المزج 200000 دج



الشكل 7. مطحنة فحم 600000 دج



الشكل 10. خلاط أفقي 700000 دج



الشكل 9. آلة غسل 600000 دج

اليد العاملة

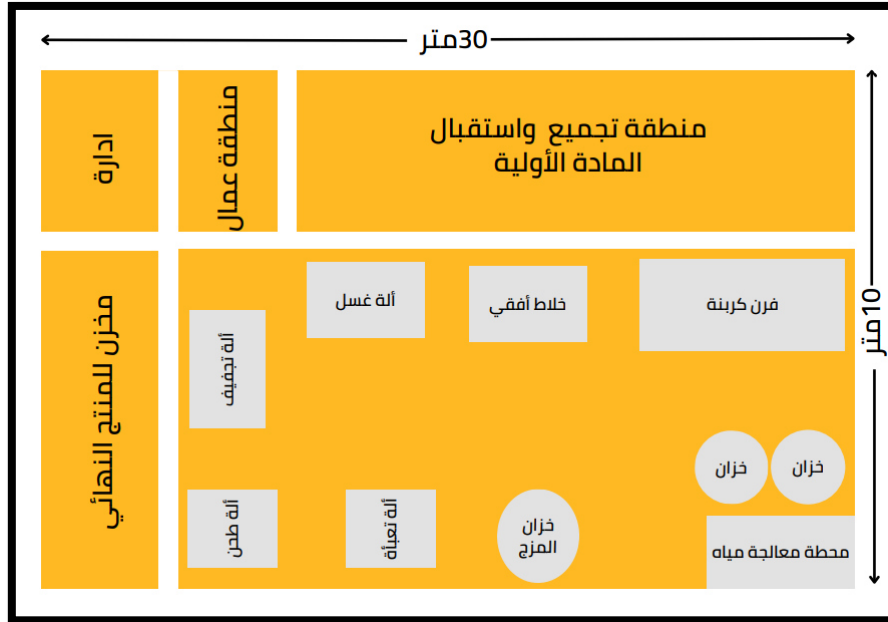
الجدول 1. عدد المناصب التي يحتاجها المصنع.

عدد المناصب	المنصب
1	مسؤول الانتاج
1	مسؤول الجودة
2	عامل على الآلة
1	تقني صيانة صناعية
4	عون متعدد المهمات
1	عون أمن
1	محاسب

المصنع

موقع المصنع في ولاية أم البواقي.

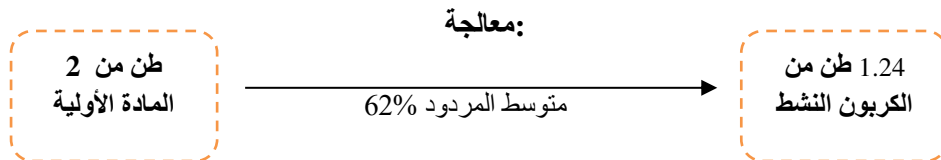
يستلزم المصنع مستودع بمساحة 300 متر مربع بتكلفة كراء سنوية تقدر بـ 900000 دج.



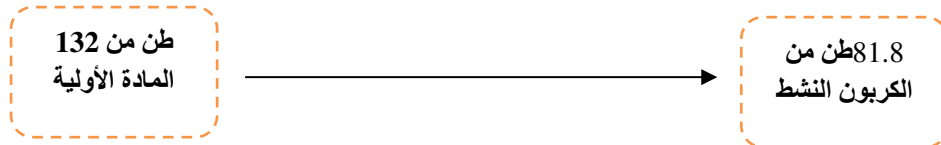
الشكل 11. مخطط المصنع

معدل الإنتاج

في اليوم



في 3 أشهر:



عائد البيع: 49104000.00 دج → تكلفة الإنتاج: 20900000.00 دج

الربح الصافي: 47000000.00 دج.

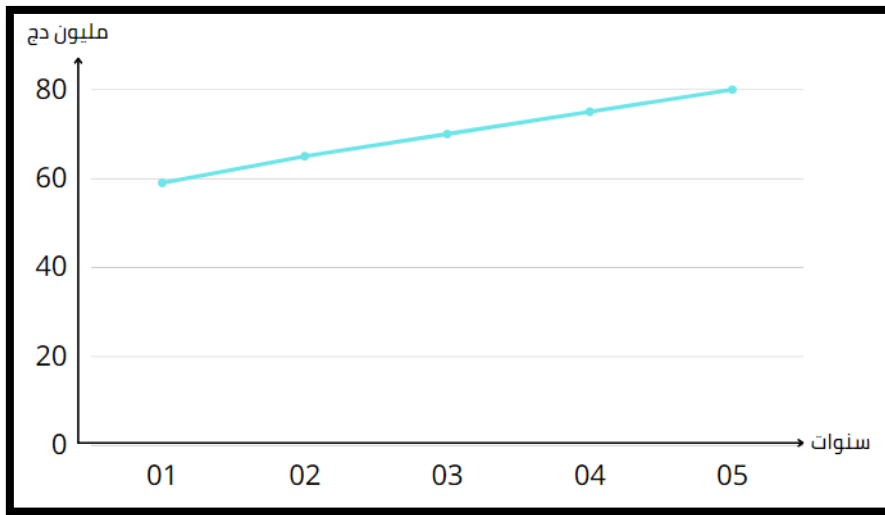
تكاليف الإنتاج

مصاريف الإنتاج المنفقة في مدة 3 أشهر:

- مصاريف الكراء=225000دج.
- أجور العمال +مصاريف وجبة الغداء=1240000دج.
- مصاريف تأمين العمال=32000دج.
- مصاريف المياه والغاز والكهرباء=300000دج.
- مصاريف نقل المادة الأولية=150000دج.
- مصاريف شراء المادة الأولية=100000دج.
- مصاريف المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة=50000دج.

الإجمالي : 2097000دج

الإيرادات



الشكل 12. الإيرادات على مدى 5 سنوات

نموذج العمل التجاري BMC:

1. شرائح العملاء:

محطات معالجة المياه والسدود

يستخدم الكربون النشط منذ زمن طويل وحتى الآن في معالجة مياه الشرب ومعالجة المياه المستعملة، جاء في تقرير وكالة حماية البيئة الأمريكية (USEPA) وهي وكالة تابعة للحكومة الاتحادية للولايات المتحدة والمكلفة بحماية صحة الإنسان والبيئة، عن طريق كتابة وإنفاذ الأنظمة القائمة على القوانين التي يقرها الكونغرس، في عام 1991 أن الامتزاز على سطح الكربون النشط يعد أفضل تكنولوجيا متاحة لمعالجة كل من المياه الجوفية

والمياه السطحية من المذيبات العضوية والهيدروكربونات عديدة الحلقات (المسببة للسرطان) وكلوريدات الفينولات والمواد الملوثة الذائبة والمعادن الثقيلة.



الشكل 13. سد اوركيس بلدية عين فكرون التابعة لولاية ام البواقي

الشركات المصنعة للأغذية والمشروبات

المزايا الفريدة التي يتمتع بها الكربون النشط جعلته يدخل في صناعات عديدة؛ حيث يدخل في الصناعات الغذائية وصناعة المشروبات الغازية؛ كما يستخدم في تنقية المياه الخاصة بالإنتاج، وذلك بتنقية المواد في كافة مراحل الإنتاج بدءاً من تنقية المواد الأولية وانتهاءً بتحسين جودة المنتج النهائي.

شركات الأدوية

بدخل الكربون النشط في العديد من الصناعات الصيدلانية وذلك لفوائده العلاجية المختلفة نذكر منها:

- **يخفف من الغازات والانتفاخ:** إذا كنت تعاني من الانتفاخ والغازات، فإن العلاج الأمثل لمشكلتك هو الفحم النشط. الكربون له قدره على استيعاب معظم السموم، ويمكن للكربون النشط حتى امتصاص الأحماض والغازات الغير مريحة التي تتراكم في أمعائك، وهذا بدوره يوفر الإغاثة من عسر الهضم، وحمض المعدة. وجدت دراسة عام 1985 نشرت في المجلة الأمريكية لأمراض الجهاز الهضمي أن الكربون النشط يمنع الانتفاخ والمغص بعد وجبة تسبب الغازات.
- **يعالج التسمم:** سواء كان التسمم الغذائي، أو في حال أخذ جرعة زائدة من المخدرات أو تناول المواد الكيميائية، فإنه يمكن للفحم النشط أن يكون المنقذ. كترياق فإن الكربون النشط يعمل على تنقية وتطهير الجسم بسبب قدرة المذهلة على جذب السموم، والفحم النشط داخل القناة الهضمية يعمل على امتصاص السموم حتى يمر عبر حركة الأمعاء للتخلص من جميع المواد الضارة وإخراجها خارج الجسم. الجرعة المناسبة من الفحم النشط لعلاج حالة التسمم 25-100 غرام من الفحم النشط للبالغين و25 و51 غراماً للأطفال ويستند عادة الجرعة على وزن الجسم، 1-5 جرام لكل كيلوجرام من وزن الجسم، وتذكر أنه من

الضروري شرب كميات كافية من المياه عند اخذ الفحم النشط. تفيد دراسة أجريت عام 2008 نشرت في مجلة لانسيت أن إعطاء الفحم في وقت مبكر قد يكون مفيد، ولكن يوصي بالاستخدام الروتيني لجرعات متعددة من الفحم النشط في حالات التسمم الذاتي المتعمدة، ولمثل هذه الحالات، هناك حاجة ماسة إلى علاجات فعالة.

➤ **يخفض الكوليسترول السيئ:** ارتفاع الكوليسترول السيئ في الجسم ليست علامة جيدة لأنه يسبب ضيق الشرايين، مما يجعل من الصعب على الدم بالتدفق من خلالهم، وهذا بدوره يمكن أن يؤدي إلى تجلط الدم والنوبات القلبية والسكتات الدماغية. الفحم النشط يمكن أن يساعد في خفض مستوى البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة LDL (أو الكوليسترول السيئ) في الجسم، وهذا يؤدي إلى زيادة انهيار الكوليسترول في الكبد، والذي بدوره يخفض الكوليسترول السيئ. في دراسة 1986 نشرت في مجلة لانسيت، أعطى الباحثون المرضى الذين لديهم ارتفاع في الكوليسترول 8 جرام من الفحم النشط، 3 مرات يوميا لمدة 4 أسابيع. ووجد الباحثون أن الكوليسترول انخفض بنسبة 25 في المئة، وانخفض الكوليسترول الضار بنسبة 41 في المئة وارتفع الكثافة البروتينات الدهنية HDL (أو "الكوليسترول الجيد") بنسبة 8 في المئة، بالإضافة إلى ذلك دون أي آثار جانبية تذكر. عند علاج الكوليسترول السيئ، تذكر ان لا تأخذ الفحم النشط في غضون 90 دقيقة الى 2 ساعة من أخذ أي دواء طبي أو مكملات غذائية، لأنه يمكن أن يمنع امتصاصها بشكل سليم.

➤ **يطهر الجهاز الهضمي:** معظمنا يستهلك العديد من الأطعمة والمشروبات التي تحمل السموم والمواد الكيميائية التي لها تأثير سلبي على صحة الجهاز الهضمي، وبالتالي فمن المهم تطهير الجهاز الهضمي من وقت لآخر. يمكنك أيضا استخدام الفحم النشط للتخلص من السموم المتراكمة في الجهاز الهضمي، والفحم يعمل كعامل تطهير كبير نظرا لقوتها على الامتصاص بشكل ممتاز. لاستكمال تطهير الجهاز الهضمي مع الفحم النشط، يتم إعطاء 10 غراما من الفحم النشط قبل 90 دقيقة على كل وجبة، لمدة يومان، و عليك التأكد من شرب الكثير من الماء لمنع الإمساك.

➤ **مفيد للكلية:** استخدام الفحم النشط يمكن أن يساعد على منع تلف خاليا الكلية، وتقديم الدعم الصحي لعمل الكلية، وهذا هو السبب الرئيسي الذي يجعل الفحم النشط يساعد على تطهير السموم والمواد الكيميائية من الجسم. أظهرت دراسة في عام 2010 نشرت في المجلة السعودية لأمراض الكلية، أن تناول الفحم النشط عن طريق الفم بالإضافة إلى إتباع نظام غذائي منخفض البروتين قد يساعد بشكل فعال للسيطرة على أعراض حصوات الكلية لدى كبار السن الذين يعانون من أمراض الكلية في مرحلة الشيخوخة، واستخدام الفحم يؤدي إلى انخفاض كبير في اليوريا في الدم ومستويات الكرياتينين، ومفيد للمرضى الذين يريدون غسيل للكلية في حالات الطوارئ خلال هذه الفترة. أظهرت دراسة أخرى عام 2009 في الفئران من قبل الجمعية الأمريكية لأمراض الكلية نتائج واعدة فيما يتعلق باستخدام الفحم النشط في مرضى الكلية، ووجد أن الفحم قد يساعد في التحكم في ارتفاع معدل الإصابة بأمراض القلب في المرضى الذين يعانون من أمراض الكلية المتقدمة، ومع ذلك هناك حاجة إلى مزيد من الأبحاث في هذا المجال للتوصل إلى نتيجة دقيقة.

➤ **علاج النقرس:** الفحم النشط هو فعال أيضا في علاج النقرس لأنه يمكن أن يساعد على امتصاص حمض اليوريك، حيث أن وجود مستوى عال من حمض اليوريك وهو من الأسباب الشائعة لمرض النقرس الذي يسبب الكثير من الألم في المفاصل.

- **يخفف لدغ الحشرات:** الكربون النشط فعال في التخفيف من لدغات الحشرات، ولسعات النحل وحتى الطفح الجلدي من اللبلاّب السام أو البلوط السام، ويساعد على إزالة المواد السامة من الجسم . عند استخدامه على الفور، فإنه يمكن أن يمنع التورم وكذلك الألم.



الشكل 14. دواء محضر من الكربون النشط (شاربونال بلوس)

مصانع مواد التجميل:

- **يعمل على محاربة حب الشباب:** مسام الجلد هي واحدة من الأسباب الرئيسية لظهور حب الشباب، والفحم يعالج حب الشباب ويرجع ذلك إلى خاصية امتصاص الكربون النشط، ويمكن أن يساعد على استخلاص الشوائب والسموم من مسام الجلد. وهذا بدوره يقلل من حالات حب الشباب، والبثور وغيرها من عيوب البشرة.
- **تبييض الأسنان:** لمكافحة البقع غير المرغوب فيها والبلاك على الأسنان، فإن فحم النشط مفيد للغاية. الكربون يسهل اختراقها ويمكن أن يمتص المواد التي تخلق البقع، وبالإضافة إلى ذلك فإنه يحسن من توازن درجة الحموضة في فمك. يمكن للفحم النشط أن يمنع تسوس الأسنان، وأمراض اللثة ورائحة الفم الكريهة.



الشكل 15. صابون محضر من الكربون النشط

الشركات المصنعة للمواد الكيميائية

يُستخدم الكربون النشط بشكل واسع في صناعة المواد الكيميائية لعدة أغراض. إليك بعض الاستخدامات الشائعة للكربون النشط في هذه الصناعة:

- **عملية التنقية:** يستخدم الكربون النشط في عملية التنقية وإزالة الشوائب والملوثات من المواد الكيميائية. يمتلك الكربون النشط قدرة فائقة على الامتصاص والتقاط الشوائب والمركبات الغازية والسوائل الضارة، مما يساهم في تحسين جودة المنتج النهائي.
- **تنقية وتنظيف الغازات:** يُستخدم الكربون النشط في عمليات تنقية وتنظيف الغازات المستخدمة في صناعة المواد الكيميائية. يمكن استخدام الكربون النشط لامتصاص وإزالة الملوثات العضوية وغير عضوية من الغازات، مما يساهم في تحسين نقاء وجودة الغازات المستخدمة في العمليات الصناعية.
- **استرجاع واسترداد المذيبات:** يُستخدم الكربون النشط في صناعة المواد الكيميائية لاسترجاع واسترداد المذيبات. فعندما يتم استخدام مذيبات في عمليات الإنتاج، يمكن استخدام الكربون النشط لامتصاص واسترجاع تلك المذيبات، وبالتالي تقليل النفايات وتحقيق توفير في التكاليف.

شركات المعالجة البيئية

يستخدم الكربون النشط في تنظيف وإعادة تأهيل المواقع الملوثة ومعالجة التسرب الكيميائي وتنظيف المياه الجوفية وفي معالجة المياه العادمة الصناعية والتحكم في تلوث الهواء عن طريق إزالة الغازات والأبخرة الضارة وإزالة بعض الملوثات المعقدة مثل المبيدات والفينول والزيوت المعدنية والمركبات العضوية المهجنة ومركبات الكبريت العضوية من المياه والمياه العادمة.

شركات تصنيع السيارات

يتم استخدام الكربون النشط في صناعة السيارات بعدة طرق ولأغراض متعددة. وهذه بعض الاستخدامات الشائعة للكربون النشط في صناعة السيارات:

- **أنظمة تنقية الهواء:** يستخدم الكربون النشط في أنظمة تنقية الهواء داخل المركبات. يتم وضع الكربون النشط في فلاتر الهواء لامتصاص وتحييد المواد الضارة والروائح الكريهة والغازات السامة قبل دخول الهواء إلى مقصورة السيارة. هذا يساعد في تحسين جودة الهواء وراحة الركاب.
- **أنظمة تنقية الوقود:** قد يستخدم الكربون النشط في تصفية وتنقية الوقود داخل السيارات. يمكن استخدامه في وحدات تنقية الوقود لامتصاص وتحييد الشوائب والملوثات العضوية والماء المتواجدة في خزانات الوقود، وبالتالي تحسين كفاءة عملية الاحتراق وحماية المحرك.

الشركات الزراعية

من بين الدراسات العلمية التي يجريها الباحثون حول فوائد الكربون النشط للتربة الرملية الزراعية، نشر موقع الأبحاث المفتوح وايلي أون لاين لايبيراري Wiley Online Library، دراسة مكثفة قام بها فريق علمي من جامعة رايس الأمريكية، على التربة الرملية الزراعية في عدد من المناطق في الولايات المتحدة، والتي أظهرت أن إضافة الفحم الحيوي يفيد التربة في الاحتفاظ بالمياه وبالتالي التقليل من احتياجات الري. ووفقاً للبيان الصحفي الصادر من جامعة رايس حول هذه الدراسة العلمية فإن الاستخدام المكثف للفحم الحيوي يمكن أن يوفر ما يزيد قليلاً عن 50% من المياه التي يستخدمونها الآن في زراعة المحاصيل، كما سيؤدي الاستخدام المكثف للفحم الحيوي في التربة إلى توفير المال بالإضافة إلى فوائد بيئية أخرى. كما يمكن إعادة استخدام الكربون النشط المستعمل في محطات تصفية المياه كسماد للتربة.

مخابر البحث العلمي

- **تنقية المحاليل والمواد الكيميائية:** يستخدم الكربون النشط في تنقية المحاليل والمواد الكيميائية المستخدمة في التجارب والتحليلات العلمية. يتم استخدامه لامتصاص الملوثات والشوائب والمواد الضارة، مما يساعد على الحصول على محاليل نقية ومواد كيميائية خالية من التلوث.
- **تنقية الهواء والغازات:** يمتلك الكربون النشط قدرة على امتصاص الروائح والغازات الضارة في الهواء. يستخدم في أنظمة تنقية الهواء في المخابر لتحسين جودة الهواء وتوفير بيئة صحية وأمنة للعاملين في المختبر.
- **دراسة التفاعلات السطحية:** يستخدم الكربون النشط في دراسة التفاعلات السطحية والتفاعلات الكيميائية على سطح المواد. يعتبر الكربون النشط سطحاً مسامياً فعالاً للتفاعلات الكيميائية ويتم استخدامه في البحوث المتعلقة بعلوم السطوح والكيمياء السطحية.

محطات تكرير البترول

- **تنقية الوقود:** يستخدم الكربون النشط في تنقية الوقود من الملوثات والشوائب. يتم تمرير الوقود عبر طبقات من الكربون النشط لامتصاص المواد الغير مرغوب فيها مثل الشوائب العضوية والمعدنية والمركبات الكيميائية غير المرغوب فيها. هذا يساهم في تحسين جودة الوقود والحفاظ على أداء المحركات.

- **إزالة الرائحة والملوثات العضوية:** يستخدم الكربون النشط في إزالة الرائحة والملوثات العضوية من المنتجات المكررة. يمتلك الكربون النشط قدرة على امتصاص المركبات العضوية غير المرغوب فيها والروائح غير المرغوبة، مما يساعد في تحسين نقاء وجودة المنتجات النهائية.
- **تنقية الغازات العادمة:** في عمليات تكرير البترول، يستخدم الكربون النشط لتنقية الغازات العادمة وإزالة الملوثات العضوية والغازات الضارة. يتم تمرير الغازات العادمة عبر طبقات من الكربون النشط لامتصاص الملوثات والمواد الضارة، مما يساهم في تقليل التأثيرات البيئية السلبية.
- **تنقية وإزالة الشوائب من الزيوت المكررة:** يستخدم الكربون النشط في تنقية وتكرير الزيوت المكررة من الشوائب والملوثات. يمتص الكربون النشط المواد العضوية والمعدنية غير المرغوب فيها في الزيوت، مما يحسن نقاء الزيوت ويساهم في تحسين أداءها.

محطات تربية المائيات

يستخدم الكربون النشط كذلك في المحطات التجريبية لتربية المائيات الصحراوية لتنقية ماء أحواض الأسماك.



الشكل 16. محطة تربية المائيات بولاية تقرت

2.القيم المقترحة

• طرق الإنتاج المستدامة

إنتاج كربون نشط بطريقة صديقة للبيئة من خلال استغلال مخلفات عصر زيت الزيتون و نواة التمر وقشور اللوز و مخلفات القهوة.

تعتبر عملية تدوير النفايات وسيلة لتقليل استنزاف الموارد الطبيعية و كذلك تقليل التلوث البيئي. حيث وبدلا من ارسال بقايا مخلفات عصر الزيتون و مخلفات القهوة و قشور اللوز و نواة التمر الى مكب النفايات يتم تجميعها كمادة اولية لصنع الكربون النشط.

• تصنيع حسب طلب العميل

3.العلاقات مع العملاء

المرافقة والمساعدة الشخصية للعميل.

4.القنوات

- البيع المباشر.
- التجارة الإلكترونية.
- المعارض التجارية.

5.الأنشطة الرئيسية

- تجميع المواد الخام ومعالجتها.
- التصنيع (الكربنة والتنشيط والتجفيف).
- المبيعات والتسويق.
- المسؤولية البيئية.

6.الموارد الرئيسية

- المواد الخام.
- معدات التصنيع.
- العمالة.
- العقار.

7.الشركاء الرئيسيين

- وزارة البيئة.
- صندوق دعم المؤسسات الناشئة ASF .

8. هيكل التكلفة

إجمالي نشاء مصنع 9150000 دج متمثلة في:

- تكاليف معدات التصنيع = 6550000 دج.
- تكاليف كراء العقار = 960000 دج.
- تكاليف المواد الخام ومعالجتها = 200000 دج.
- تكاليف العمالة لمدة 3 أشهر = 1240000 دج.
- نفقات التسويق والإعلان = 200000 دج.

9. مصادر الدخل

- سعر الكيلو غرام في من الكربون النشط 600 دج.
- استهداف انتاج يومي 1240 كغ من الكربون النشط .
- الوصول الى هدف 310 طن سنويا بعائد ربح صافي 180 مليون دج سنويا .

الأثر الاجتماعي والاقتصادي للمشروع

- الحد من التلوث: يعمل المشروع على تحويل المخلفات العضوية إلى كربون نشط. بدال من أن تنتهي هذه المخلفات في المكبات أو تحترق وتسبب انبعاثات ضارة للبيئة.
- توفير فرص العمل: يحتاج المشروع إلى عمالة مؤهلة لتشغيل المعدات وإدارة العمليات. بالتالي يخلق فرص عمل جديدة وهذا يعزز التنمية المستدامة ويحسن الظروف الاقتصادية والاجتماعية في المنطقة المحلية.

Résumé

L'objectif de cette étude la valorisation des déchets agricoles (coques d'amandes, marc de café, noix d'olive et les noix des dattes) en préparant du charbon actif à partir de ces déchets par calcination à température modérée. Ensuite le charbon est activé par HCl, H₃PO₄, H₂SO₄ et NaOH. La caractérisation des produits de départ et le charbon actif est réalisée par spectroscopie infrarouge et microscopie optique.

Les propriétés du charbon actif dépendent du processus d'activation et de la nature des matières premières. De plus, dans le processus d'activation chimique, la connaissance de diverses variables est très importante pour le développement de la porosité des charbons. La capacité d'adsorption élevée du charbon actif est liée à des propriétés telles que la morphologie de la surface, la nature et dimensions des pores.

Mots-clés : Coquilles d'amande ; Marc de café ; Noyaux d'olive ; Noyaux de datte ; Charbon actif; Adsorption; Caractérisation.

Summary

The aim of this study was to recover agricultural waste (almond shells, coffee grounds, olive nuts and date nuts) by preparing activated carbon from this waste by calcination at moderate temperature. The carbon is then activated with HCl, H₃PO₄, H₂SO₄ and NaOH. The starting products and the activated carbon are characterized using infrared spectroscopy and optical microscopy. The properties of the activated carbon depend on the activation process and the nature of the raw materials. In addition, in the chemical activation process, knowledge of various variables is very important for the development of the porosity of the carbons. The high adsorption capacity of activated carbon is linked to properties such as surface morphology and the nature and dimensions of the pores.

Keywords: Almond shells; Coffee grounds; Olive kernels; Date kernels; Activated charcoal; Adsorption; Characterization.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو استرجاع المخلفات الزراعية (قشور اللوز ، القهوة المطحونة ، جوز الزيتون والتمر) من خلال تحضير الكربون المنشط من هذه المخلفات عن طريق التكليل عند درجة حرارة معتدلة. ثم يتم تنشيط الكربون . يتم توصيف المواد الأولية والكربون المنشط عن طريق التحليل الطيفي NaOH و H₂SO₄ و H₃PO₄ و HCl بواسطة بالأشعة تحت الحمراء والفحص المجهرى البصري.

تعتمد خصائص الكربون المنشط على عملية التنشيط وطبيعة المواد الخام. علاوة على ذلك، في عملية التنشيط الكيميائي ، تعتبر معرفة المتغيرات المختلفة مهمة جدًا لتطوير مسامية الفحم. ترتبط قدرة الامتصاص العالية للكربون المنشط بخصائص مثل مورفولوجيا السطح وطبيعة المسام والحجم.

الكلمات المفتاحية: قشور اللوز ، حبوب البن ، نواة الزيتون، نواة تمر، فحم نشط ، الامتزاز ، التوصيف.