

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draïa Adrar



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Thème :

**Valorisation d'un déchet organique, le cas de noyaux
de dattes, dans le traitement des eaux**

Présenté par :

Melle. BELMIR Ikram

Melle. SBAI Aïcha

Membres de jury d'évaluation :

Mr. ABDELAZIZ Nabil	Président	MAA	Univ. Adrar
Melle. YAKOUBI Mimouna	Encadreur	MAA	Univ. Adrar
Mr. BEKACHE Younes	Examineur	MAA	Univ. Adrar

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail tout d'abord à ma très chers maman qui n'a jamais cessé de sacrifier pour mon bien, pour mon bonheur et pour trouvé le chemin de ma vie, que le bon dieu les garde pour moi

A mes chers frères

A mes chères soeurs

A toute ma famille

A toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail de près ou de loin.

Ikram

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans
cette vie, à savoir mon père et ma mère.*

Je le dédie aussi :

*A mes soeurs et frères: Fayza, Khadidja, Amina, , Ahlem et Ikram,
Abderrahmane, Abdelhek à qui je souhaite beaucoup de réussite et de
Bonheur.*

A ma chère linâme JKRAM

*A mon cher frère Ahmed Ballcen qui ne cesse pas de m'encourager et
de veiller pour mon bien*

*A tous ceux que j'aime bien j'adresse mes sentiments les plus
chaleureux*

A tous ceux qui m'ont aidé.

Aicha

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous tenons à remercier M^{ME} YAKOUBI. M pour l'encadrement exemplaire, le suivi sans relâche; malgré nos pensées parfois noyées dans les soucis, les conseils et les encouragements.

Nous remercions les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en jugeant notre travail

Maitre assistant "A" à l'université d'Adrar :

BEKKACHE. Y

ABDELAZIZ. N

Enfin, nous remercions également à travers ce travail, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Résumé

Il existe plusieurs méthodes physiques, chimiques et biologiques pour traiter les effluents pollués tels que la coagulation, la floculation, la biodégradation, la filtration membranaire, l'oxydation chimique et l'adsorption, cette dernière est la technique employée, pour éliminer les polluants chimiques.

La valorisation des noyaux de datte dans le traitement des eaux est une approche importante pour l'exploitation de sous produit, fabrication de nouveaux matériaux adsorbant moins coûteux, concrètement à partir de déchets végétaux.

De nombreux citoyens craignent que l'eau du robinet soit polluée et ne soit pas exempte d'impuretés. Pour ceux qui en ont marre d'acheter des bouteilles d'eau en plastique, mais qui veulent de l'eau pure du robinet sans avoir à installer de filtre sur les robinets, il existe une solution : le charbon actif végétal, son objectif principal est d'utiliser des noyaux de dattes comme adsorbant sous forme de charbon actif végétal. Nous souhaitons que l'eau soit purifiée par des moyens naturels et qu'elle puisse être fabriquée et utilisée dans les maisons. En revanche, nous aimerions pouvoir étudier le charbon actif obtenu et le comparer avec le charbon actif commercial.

Mots clés : Noyaux de dattes, Charbon actif, Valorisation des déchets organiques, traitements des eaux, étude physicochimique.

Abstract

There are several physical, chemical and biological methods for treating polluted effluents such as clotting, flocculation, biodegradation, membrane filtration, chemical oxidation and adsorption, the latter is the technique used to eliminate chemical pollutants.

The enhancement of date nuclei in water treatment is an important approach for the exploitation of by-products, making new materials adsorbant less expensive, concretely from plant waste.

Many citizens fear that tap water will be polluted and not free of impurities. For those who are tired of buying plastic water bottles, but who want pure tap water without having to install a filter on the taps, there is a solution: plant activated charcoal, its main objective is to use date nuclei as adsorbant in the form of vegetable activated charcoal. We want water to be purified by natural means and to be able to be manufactured and used in homes. On the other hand, we would like to be able to study the activated coal obtained and compare it with commercial activated coal.

Keywords: Date cores, Active coal, organic waste valuation, water treatments, physicochemical study.

ملخص

هناك العديد من الطرق الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لعلاج النفايات السائلة الملوثة مثل التخثر ، والتلويح والتحلل الحيوي ، والترشيح الأغشية ، والأكسدة الكيميائية و الامتصاص ، وهذه الأخيرة هي التقنية المستخدمة للقضاء على الملوثات الكيميائية.

تعزير نوى التمر في معالجة المياه هو نهج مهم لاستغلال المنتجات الثانوية، مما يجعل المواد الجديدة أقل تكلفة، من نفايات النبات بشكل ملموس.

ويخشى العديد من المواطنين من تلوث مياه الشرب وعدم خلوها من الشوائب. بالنسبة لأولئك الذين تعبوا من شراء زجاجات المياه البلاستيكية، وكذلك الذين يريدون مياه الصنبور النقي دون الحاجة إلى تثبيت مرشح على الصنابير، وهناك حل: الفحم المنشط النباتي، وهدفنا الرئيسي في هذا العمل هو استخدام نواة التمر في شكل الفحم النباتي المنشط. نريد تنقية المياه بالوسائل الطبيعية مع إمكانية تصنيعها واستخدامها في المنازل. من ناحية أخرى، نود دراسة الفحم المنشط الذي تم الحصول عليه ومقارنته بالفحم التجاري المنشط.

الكلمات المفتاحية: نواة التمر ، الفحم النشط، تقييم النفايات العضوية، معالجة المياه، دراسة فيزيائية كيميائية.

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciement.....	III
Résumé	IV
Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XIII
Liste des abréviations	XIV
Introduction générale.....	01

Premier Partie

Chapitre I: Généralité sur l'eau potable

1. Introduction	05
2. Définition de l'eau.....	06
3. Les indicateurs de qualité des eaux.....	07
3.1. La Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	07
3.2. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5).....	07
3.3. Le Carbone Organique Total (COT).....	07
4. Les différentes utilisations d'eau.....	07
5. Les Différent types des eaux.....	08
6. Eau potable.....	08
7. Caractères physico-chimique.....	09
8. Origine des altérations de la qualité de l'eau potable.....	10
9. Les norms d'eau potable.....	12
10. Description du système d'alimentation en eau potable	13
11. La polution de l'eau.....	15
12. Les classes de polluants.....	15
13. Traitement des eaux potables	15

Chapitre II: Le phénomène d'adsorption

1. Historique.....	17
2. L'adsorption.....	17
3. Principe.....	18
4. Type d'adsorption.....	18
4.1. L'adsorption physique (Physisorption).....	18
4.2. L'adsorption chimique (Chimisorption).....	19
5. Description du mécanisme d'adsorption.....	20
6. Principaux facteurs influant sur l'adsorption	22
7. Les modèles cinétiques d'adsorption	22
7.1. Modèle réversible du premier ordre.....	22
7.2. Modèle de la cinétique du deuxième ordre	23
8. Modélisation des isothermes d'adsorption.....	24
8.1. Modèle de Langmuir.....	24
8.2. Modèle de Freundlich.....	26
8.3. Isotherme de Temkin.....	26
8.4. Modèle d'elovich	27
9. Isotherme d'adsorption.....	27
10. Matériaux adsorbants.....	39
10.1. Charbons actifs.....	30
10.2. Gels de silice.....	30
10.3. Les argiles activées.....	30

Chapitre III : Généralités sur le charbon actif

1. Les charbons actifs	33
2. Utilisations.....	34
3. Préparation et fabrication du charbon	35
3.1. Origine.....	36
3.2. Carbonisation	36
3.3. Procédés d'activation.....	36
3.3.1. Activation physique.....	36
3.3.2. Activation chimique.....	38

4. Les différentes formes du charbon actif.....	38
4.1.Charbon actif extrudé (CAE).....	38
4.2. Charbon actif en granulé (CAG)	39
4.3.Charbon actif en poudre (CAP).....	39
5. Propriétés physico-chimiques.....	40
6. Les propriétés des charbons actifs.....	45

Chapitre IV: Noyaux des dattes

1. Généralités sur les palmiers dattiers.....	49
2. Palmier dattier.....	49
2.1.Systématique du phonix dactylifera L.....	50
2.2.Morphologie.....	50
3. La datte.....	51
3.1.Production de dattes et répartition géographique du palmier dattier.....	52
3.1.1. Dans le monde.....	52
3.1.2. En Algérie	52
3.1.3. Eu niveau d' Adrar(La région d'étude).....	54
3.2.Les variétés de dates.....	55
3.3. Classification.....	55
4. noyaux des dattes:.....	55
4.1.Caractérisation physico-chimique et biochimique des noyaux.....	56
4.1.1. Sucres.....	57
4.1.2. Les fibres.....	57
4.1.3. Composition élémentaire, cendre-humidité.....	57
4.1.4. Composition biochimique de Noyau.....	57
4.2.Valorisation du noyau de date.....	58
4.2.1. Fabrication de charbon actif.....	58
4.2.2. Alimentation humaine	59
4.2.3. Alimentation animale	59
4.2.4. Usages pharmaceutiques	59

Deuxième Partie

Chapitre V: Partie expérimentale

1. Introduction.....	62
2. Préparation des noyaux de dates.....	62
3. Préparation et activation chimique du charbon actif.....	62
4. Caractérisation de charbon actif.....	64
4.1.Le rendement massique du charbon actif.....	64
4.2.Degré d'activation.....	64
4.3. La teneur en humidité.....	65
4.4.La teneur de cendre.....	66
4.5.L'indice d'iode.....	66
5. Analyse de la surface des adsorbants par spectroscopie infrarouge.....	67
6. Résultats et discussions.....	67
Conclusion Générale.....	71
Références	

Liste des figures

Figure	Page
Figure I.1. La formule chimique H ₂ O	6
Figure I. 2. Système d'alimentation en eau potable	13
Figure I.3. Le cycle de vie de l'eau potable.	14
Figure II.1. Le phénomène d'adsorption	19
Figure II.2. Schéma de l'adsorption physique	20
Figure II.3. Domaine d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux	22
Figure II.4. Isotherme et Modélisation de l'adsorption selon Langmuir	26
Figure II.5. Modèle d'adsorption en multicouche selon Freundlich	27
Figure II.6. Classification des isothermes d'adsorption	29
Figure III.1. La structure d'un charbon actif	34
Figure III.2. Formation du charbon	36
Figure III.3. Diagramme schématique du processus de préparation classique du charbon actif	38
Figure III.4. Charbon actif extrudé	39
Figure III.5. Charbon actif en granulé	40
Figure III.6. Charbon actif en poudre	41
Figure III.7. Représentation de la microstructure d'un charbon actif.	42

Figure III.8. Vue de la structure du charbon actif au microscope électronique	43
Figure III.9. Structures possibles des fonctions de surface dans le charbon actif	44
Figure III.10. Influence des groupements fonctionnels présents en surface du charbon sur sa charge électrique	45
Figure IV.1. Palmier dattier; les dattes et les noyaux des dattes	50
Figure IV.2. Schéma du palmier dattier	52
Figure IV. 3. Répartition de la culture du palmier dattier en Algérie	54
Figure IV.4. Répartition de la production de dattes dans la Wilaya d'Adrar	55
Figure IV.5. Datte et noyau du palmier dattier	57
Figure V.1. Noyaux de datte Degla Beida (A) et (B) leur broyat	63
Figure V.2. Mode opératoire pour la préparation de charbon actif	64
Figure V.3. Matériel utilisé pour la détermination du taux d'humidité	66
Figure V.4. Utilisation du charbon actif comme filtre de l'eau de robinet	69
Figure V.5. La réutilisation du charbon actif après une longue durée de filtration	70

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau I.1. Origines des altérations de la qualité de l'eau potable dans les réseaux et conséquences	12
Tableau I. 2. Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS	13
Tableau II .1. Différence entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique	21
Tableau II.2 . Caractéristiques des principaux adsorbants industriels	32
Tableau IV.1. Composition biochimique des noyaux des dattes Irakiennes	57
Tableau IV.2. Analyse élémentaire ; taux de cendres et d'humidité des noyaux de dattes	58
Tableau IV.3. Composition minérale des noyaux (mg/100g de cendres)	59

Liste des abréviations

BET	Théorie Brunauer, Emmett et Teller
PH	Le potentiel hydrogène
CA	Charbon Actif
ND	Noyau de datte
q_t	La quantité adsorbé
CAG	Charbon actif en grain
CAP	Charbon actif en poudre
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
COT	Le Carbone Organique Total

Introduction Générale

Avec l'essor et le développement du secteur industriel, le problème de la pollution reste le sujet d'intérêt de nombreux scientifiques puisqu'il touche plusieurs secteurs vitaux. La pollution des eaux et des sols, accidentellement ou volontairement, par certains produits chimiques d'origine industrielles (métaux lourds, colorants, phénols, etc.), ou agricole (pesticides, engrais) touche les eaux de surfaces (océans, rivières, lacs) et les eaux souterraines, ce qui entraîne une dégradation de la qualité de l'eau (ADRAR, 2016).

La pollution de l'eau correspond à la présence dans l'eau de minuscules organismes, de produits chimiques ou de déchets industriels. Cette pollution touche les eaux de surface (océans, rivières, lacs) et les eaux souterraines qui circulent dans le sol. Elle entraîne une dégradation de la qualité de l'eau, ce qui rend son utilisation dangereuse et perturbe beaucoup le milieu aquatique.

Différentes techniques ont été utilisées pour l'élimination de certains polluants solubles dans les effluents industriels ou domestiques. Elles sont différentes les unes par rapport aux autres et peuvent être citées à titre d'illustration l'adsorption, l'électrolyse, la flottation, la précipitation, etc...

L'adsorption est l'une des techniques les plus adoptées pour cette élimination de polluants, à cause de sa grande capacité d'épurer les eaux contaminées. Les charbons actifs, principaux adsorbants utilisés en traitement des eaux, présentent de nombreux avantages, ils permettent l'élimination d'une large gamme de polluants dans différents types de colorants, mais aussi d'autres polluants organiques et inorganiques.

Les propriétés d'adsorption des charbons actifs liées à leurs porosités et à leurs surfaces spécifiques sont exploitées dans de nombreuses applications en phase liquide ou gazeuse. Les applications en phase liquide comptent le traitement de l'eau potable.

La préparation de charbons actifs à partir des déchets végétaux est pourtant très intéressante du point de vue économique car nous profitons à partir de transformations simples, d'une application directe de ces matériaux de départ.

Introduction Générale

L'objectif de cette étude, est la valorisation d'un résidu naturel en charbon actif préparé à base de déchets végétaux 'noyaux de dattes' efficaces et moins coûteux.

Pour atteindre cet objectif, ce travail se compose de deux volets. Le premier volet est la partie théorique, avec quatre chapitres, Le deuxième volet est la partie expérimentale :

Le premier chapitre, il fournit des informations générales sur les différents types des eaux en mettant en évidence l'eau potable et ses propriétés chimiques et physicochimiques, les facteurs affectant la modification de sa qualité, et finalement les normes proposées par l'Organisation mondiale de la santé relatives à sa potabilité.

Dans **Le deuxième Chapitre**, nous avons décrit le processus d'adsorption, ces différents types, son mécanisme et sa cinétique. Nous avons consacré une partie aux isothermes d'adsorption et leur modélisation, comme nous avons expliqué les paramètres thermodynamiques et les divers adsorbants utilisés industriellement à savoir les zéolithes, les gels de silice, les alumines activés, les argiles et les charbons actifs qui représentent l'objet de ce travail de recherche.

Le troisième chapitre, rapporte des données générales sur le charbon actif, ses caractérisations, ses formes, ses utilisations, et son mode de préparation.

Le quatrième Chapitre, consacré à la description des palmiers dattiers et les noyaux des dates.

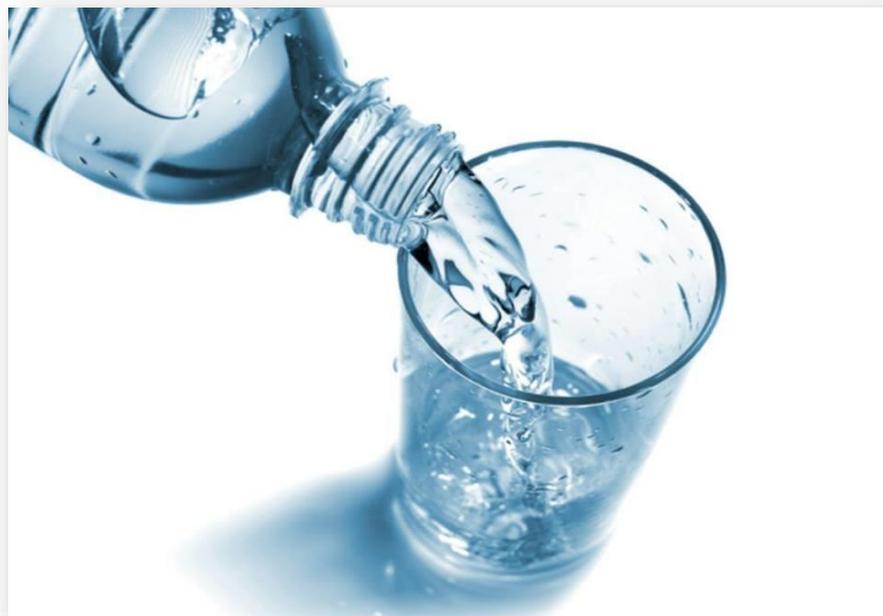
Le chapitre cinq (partie expérimentale), explique en détail les expériences et les moyens utilisés pour atteindre la fabrication du charbon actif, et il décrit les méthodes utilisées pour garantir l'efficacité du produit final en tenant sa comparaison avec le produit industriel.

En fin une conclusion générale suivie par des perspectives.

Premier Partie

Chapitre I

Généralité sur l'eau potable



1. Introduction

Les hommes ont besoin d'eau salubre et de systèmes d'assainissement pour rester en bonne santé et préserver leur dignité. L'eau n'est plus considérée comme un don, comme une ressource abondante et toujours disponible. De nombreux pays souffrent encore aujourd'hui de pénurie en eau potable. La croissance démographique et la dégradation de certaines ressources en eau douce en raison de l'activité humaine ou de changements climatiques ne favorisent pas la résolution de ce problème et tendent même à l'accroître. Un rapport récent du Fonds des Nations Unies pour L'Enfance (UNICEF) et de l'Organisation Mondiale de la Santé indique que 13 % de la population mondiale n'a pas accès à une source d'eau de qualité (NASRI, 2018)

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. L'eau peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou tout simplement d'une qualité médiocre à d'autres endroits (CHADEN, 2014).

L'eau revêt une grande importance dans l'Islam. Elle est considérée comme un bienfait de Dieu, qui donne et entretient la vie, purifie l'humanité et la planète. Le mot arabe désignant l'eau, ma', est cité soixante-trois fois dans le Coran. Le trône d'Allah est décrit comme flottant sur l'eau, le paradis est présenté comme des « jardins sous lesquels coulent les ruisseaux »

Selon le Coran, la création la plus précieuse après l'humanité serait l'eau. Le verset suivant reflète bien que l'eau est source de vie : « Allah a fait descendre du ciel une eau par laquelle il fait revivre la terre après sa mort ». Non seulement l'eau est source de vie, mais toute vie est faite d'eau : « [...] nous avons créé, à partir de l'eau, toute chose vivante » (NASER, 2001)

L'eau est la vie sur la terre. Donc, l'eau est quelque chose de spécial. Chaque chose vivante sur terre (micro-organismes, plantes, animaux, êtres humains et même notre cerveau) consiste principalement en eau. Le monde contient aussi beaucoup d'eau. Plus que 70% de la totalité de l'eau contenue sur terre, seulement une petite partie qui est convenable pour la consommation humaine ou l'usage agricole (approximativement 0.5% de toute l'eau dans le monde). Cette petite fraction d'eau douce doit pourtant satisfaire l'ensemble des besoins de l'humanité. Pour cela, la nécessité d'un traitement adéquat des

eaux usées par lequel de contribuer à l'amélioration des performances du traitement (BAKIRI, 2007).

L'eau appartient à une catégorie particulière de biens, les biens d'environnement, qui sont à la fois support de vie, support d'activités et matière première. Les pratiques socio-économiques d'utilisation de l'eau sont profondément influencées par l'image sociale de cette ressource. Nous partons de l'hypothèse que la société propage l'idée de l'abondance des ressources en eau à travers les croyances, le droit, le prix de l'eau, et l'évocation physique de l'eau naturelle (MASMOUDI, 2009).

2. Définition de l'eau

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Pratiquement tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau, La présence de l'eau sur terre est la principale caractéristique de cette planète, qui la différencie des autres planètes et explique la notion de vie et de croissance (OUBAGHA, 2011)

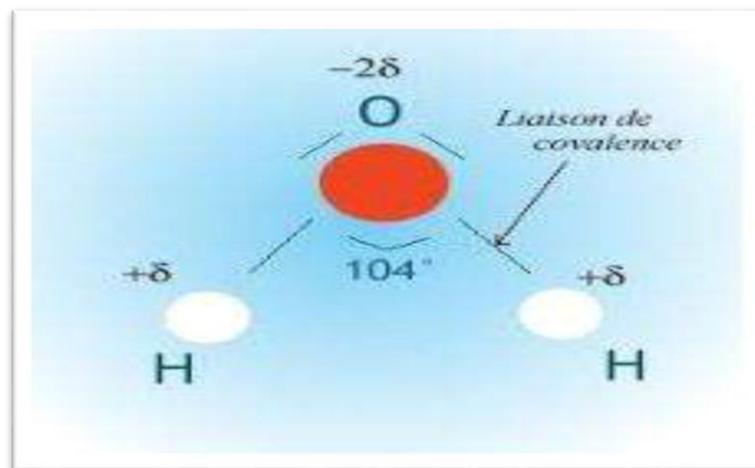


Figure I.1. La formule chimique H₂O (BECHKI, 2008).

3. Les indicateurs de qualité des eaux

Dans le domaine du traitement des eaux, divers paramètres sont utilisés pour mesurer la qualité d'une eau tel que le DCO, DBO et COT (ABOUZLAM, 2014).

3.1.La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Il s'agit de la quantité d'oxygène (en mg/l, g/l ou autres) qui est nécessaire pour oxyder principalement les composés organiques présentes dans l'eau.

3.2.La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

Il est la quantité, exprimée en mg/L, d'oxygène consommée par l'activité bactérienne pour dégrader les matières organiques biodégradables en 5 jours (à 20 °C et dans l'obscurité). La DBO5 constitue une fraction de la DCO (ABOUZLAM, 2014).

Les mesures de DBO et DCO permettent de déterminer la fraction de matière organique biodégradable par rapport à la quantité totale de matière organique présente dans une eau polluée (PASQUINI, 2013).

3.3.Le Carbone Organique Total (COT)

Le COT représente la teneur en carbone lié à la matière organique, et repose sur une mesure, par sonde à capteur infrarouge non dispersif, du CO₂ émis après oxydation complète des matières organiques (généralement oxydation thermique à haute température) (PASQUINI, 2013).

4. Les différentes utilisations d'eau

L'eau qu'elle soit douce saumâtre ou saline, constitue l'élément le plus important nécessaire au développement économique et sociale d'une région donnée. En effet les activités humaines utilisant de l'eau pour une multitude de fins en passant par l'usage résidentiel (boisson, cuisine, buanderie...) jusqu'au développement des ressources aquatiques (pisciculture.....). La quantité d'eau et sa qualité sont fonction des besoins de l'utilisateur et des moyens disponibles pour obtenir la quantité désirée. Plusieurs facteurs interviennent, parmi lesquels la population, le développement industriel et agricole, le climat et la capacité financière des institutions gouvernementales et autres (GUERGOUR, 2014).

5. Les Différents types des eaux

Sans rentrer dans les détails de l'origine des eaux et les relations entre leur composition, nous pouvons envisager selon le mode de gisement, deux sources principales d'eau :

- Les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers ;
- Les eaux souterraines accumulées dans les nappes.

Et sans empiéter encore sur les études particulières portant sur les types d'eau, lesquelles établissent précisément une certaine corrélation entre composition et origine, nous pouvons distinguer :

- Les eaux naturelles
- Les eaux potables
- Les eaux douces
- Les eaux dures
- Les eaux de marais
- Les eaux saumâtres
- Les eaux salées.

6. Eau potable

L'eau potable est une eau consommable sans risques pour la santé. Pour encadrer cette définition de l'eau potable, des normes strictes existent. Elles fixent les teneurs limites qu'une eau potable ne doit pas dépasser ces limites concernent des substances considérées comme nocives pour la santé à certaines doses. Attention, une eau potable ne veut pas dire totalement exempte de matières polluantes. Cela signifie que leur concentration est assez faible pour préserver la santé des consommateurs ([CULLIGAN](#)).

La notion de potabilité est liée directement à l'alimentation humaine. Une eau naturelle est dite potable si elle présente les qualités suivantes ([DEGREMONT, 2005](#)):

- Fraîcheur et limpidité
- Absence d'odeur et de couleur
- Goût agréable

- Suffisamment douce, aérée
- Minéralisation raisonnable
- Absence de matières organiques et de germes pathogènes

Une eau potable ne contient pas d'organismes pathogènes (pouvant causer des maladies), de composés chimiques dangereux ni de substances radioactives. Elle a un bon goût et une belle apparence. Elle ne dégage pas d'odeur et ne présente pas une couleur désagréable. Dans ce cas, l'eau potable est exempte de contaminants physicochimiques et bactériologiques pouvant nuire à la santé de l'homme (LEOCADIE, 2009).

7. Caractères physico-chimiques

7.1. Température

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Quand les eaux naturelles sont au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles (DUPONT, 1981).

7.2. Conductivité électrique

La conductivité des eaux potables est souvent liée à la concentration en sels minéraux dissous. Son unité est exprimée en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) (DUPONT, 1981).

7.3. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC) (TARDATH, 1984).

7.4. Chlorure

Les teneurs en chlorures (Cl^-) des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes non polluées ont souvent une teneur en chlorures. Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé (OUAHRANI, 2012).

7.5. Autres principaux éléments présents dans l'eau

En plus du chlorure présent dans l'eau, elle contient aussi d'autres éléments chimiques, cation et anion (RANSOM, 1990).

8. Origine des altérations de la qualité de l'eau potable

Le Tableau I.1 ci-après décrit de façon récapitulative les différentes origines des altérations de la qualité de l'eau en cours de distribution.

L'eau potable produite dans l'usine doit en effet conserver sa qualité depuis la sortie de l'usine jusqu'au robinet de l'utilisateur. Une bonne distribution résulte donc d'un transit de l'eau sans aléas tout le long du réseau. Cette énumération ne traite pas de cas liés à la contamination de l'eau brute ou de défauts de fonctionnement dans l'unité de production. Les causes d'altération situées dans les installations privées sont citées à titre d'information puisque ne faisant pas partie intégrante de cette étude.

Origines	Causes	Conséquences	Dangers
Réservoirs	Mauvaise étanchéité de l'ouvrage	Infiltration de l'eau de pluie	Contamination microbiologique
	Orifices de ventilation ou voies d'accès mal protégées	Pénétration d'insectes ou autres animalcules	Altération de l'eau sur le plan organique organoleptique ou microbiologique
	Mauvais entretien (nettoyage notamment)	Apports nutritifs du fait de l'encrassement, ou des sédiments organiques	Développement de germes (clostridium, ...)
	Surdimensionnement, points bas courts circuits de l'eau entrée-sortie, ...	Stagnation de l'eau	Altération des qualités initiales pour divers paramètres
	Réservoir exposé à la lumière du jour	Croissance d'algues	Apports de matières organiques
	Interventions effectuées en dehors des règles de l'art (désinfection,	Eau potable souillée	Contamination microbiologique

	prélèvements, accès au plan d'eau, ...)		
Retours d'eau	Dépression (pompage intensif sur réseau, rupture de canalisation,...) ou contrepression (mise en pression dans une installation privée, ...)	Siphonage ou refoulement de substances indésirable sou polluantes	Pollutions toxiques, microbiologiques, ou organoleptique
Environnement extérieur de la conduite	Fuites, usures au joint et dépression Permutation	Intrusion d'eaux terreuses Introduction dépolluants	Pollution microbiologique essentiellement Pollution toxique ou organoleptique
Défauts du réseau	Matériau inadéquat pour l'alimentation en eau potable	Relargage de polluants Apports nutritifs Adhérence trop importante des germes Corrosion	Pollution toxique Favorise le bio film Contamination microbiologique Altération des paramètres métaux (Fe, Zn, Pb Cu, Cd, ...)
Interventions sur le réseau	Désinfection insuffisante à la suite d'une réparation ou d'un renouvellement Manœuvre de réseau, coups de bélier Erreurs de branchement (ex : sur réseau d'eau non potable)	Développement de germes Mise en suspension de dépôts	Contamination microbiologique Pollution organoleptique voire microbiologique Contamination microbiologique entre autres
Intrusion dépolluants au niveau d'une ventouse (rare)	Ventouse mal située	Eau potable souillée	Contamination microbiologique
	Matériau inadéquate Juxtaposition de matériaux inadéquate Dysfonctionnement des dispositifs de traitement domestiques (sur dosage,	Corrosion ou Relargage	Pollution toxique ou organoleptique Altération des paramètres métaux Relargage de bactéries ou

Installation intérieure	cartouches saturées ou colonisées par des bactéries, Colonisation des zones stagnantes par circuit d'eau chaude Surdimensionnement (faible consommation, longueur, ...)	Corrosion Stagnation de l'eau	d'éléments minéraux Contamination microbiologique (Legionella) Pollution microbiologique, chimique (NH ₃), organoleptique
--------------------------------	---	----------------------------------	---

Tableau I.1. Origines des altérations de la qualité de l'eau potable dans les réseaux et conséquences (CELERIER, 2002)

9. Les normes d'eau potable

Des normes sont imposées pour une eau de bonne qualité. Selon l'OMS, les normes pour une eau potable sont d'assez large gamme, afin de s'adapter aux nombreux pays sous-développés, qui ont une eau de très mauvaise qualité et qui n'ont pas de moyens technologiques afin de suivre les traitements conformes et nécessaires pour rendre une eau potable. Dans le tableau suivant, des normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS sont données :

Paramètre	Unité	Norme algérienne	Norme de l'OMS
PH	/	6.5-8.5	6.5-9.2
Température	C°	25	/
Conductivité	µs/cm	2800	/
Résidus secs à 180°C	mg/l	2000	1500
Turbidité	NTU	2	5
Dureté total (TH)	mg/l	500	500
Calcium	mg/l	200	/
Magnésium	mg/l	150	150
Sodium	mg/l	200	/

Potassium	mg/l	20	/
Sulfate	mg/l	400	250
Chlorure	mg/l	500	250
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.1	0.1
Aluminium	mg/l	0.2	0.2
Phosphate	mg/l	0.5	0.5
Ammonium	mg/l	0.5	/
Matières organique	mg/l	3	/
Métaux lourds	mg/l	0.3	/
Fer	mg/l	0.3	0.3
Manganèse	mg/l	0.5	0.1

Tableau I. 1. Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS.

10. Description du système d'alimentation en eau potable

La description de ce système est fournie par la figure suivante :

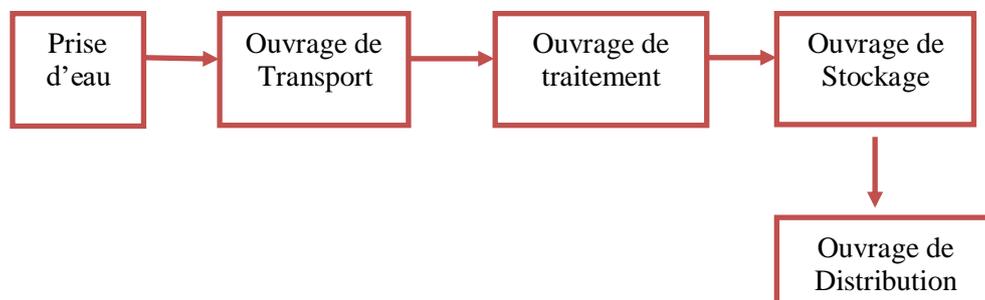


Figure I. 2. Système d'alimentation en eau potable

L'examen de **la figure I.2** montre que :

- Cette chaîne est complexe et dont le fonctionnement n'est pas toujours connu ni bien maîtrisé,
- La configuration des ouvrages montre bien qu'il s'agit de la configuration la plus fragile (configuration série) où la défaillance d'un seul bloc (d'autant plus qu'il se situera en amont) risque d'entraîner l'arrêt de la distribution d'eau.

Ces deux remarques nous incitent à étudier la vulnérabilité de ce type de systèmes qui est présentée ci-après (BAHMED, 2004).

Les schémas suivants explicitent les raisons de cet écart en présentant les différents postes d'émissions de gaz à effet de serre pour les deux filières (CHOCAT, 2015).

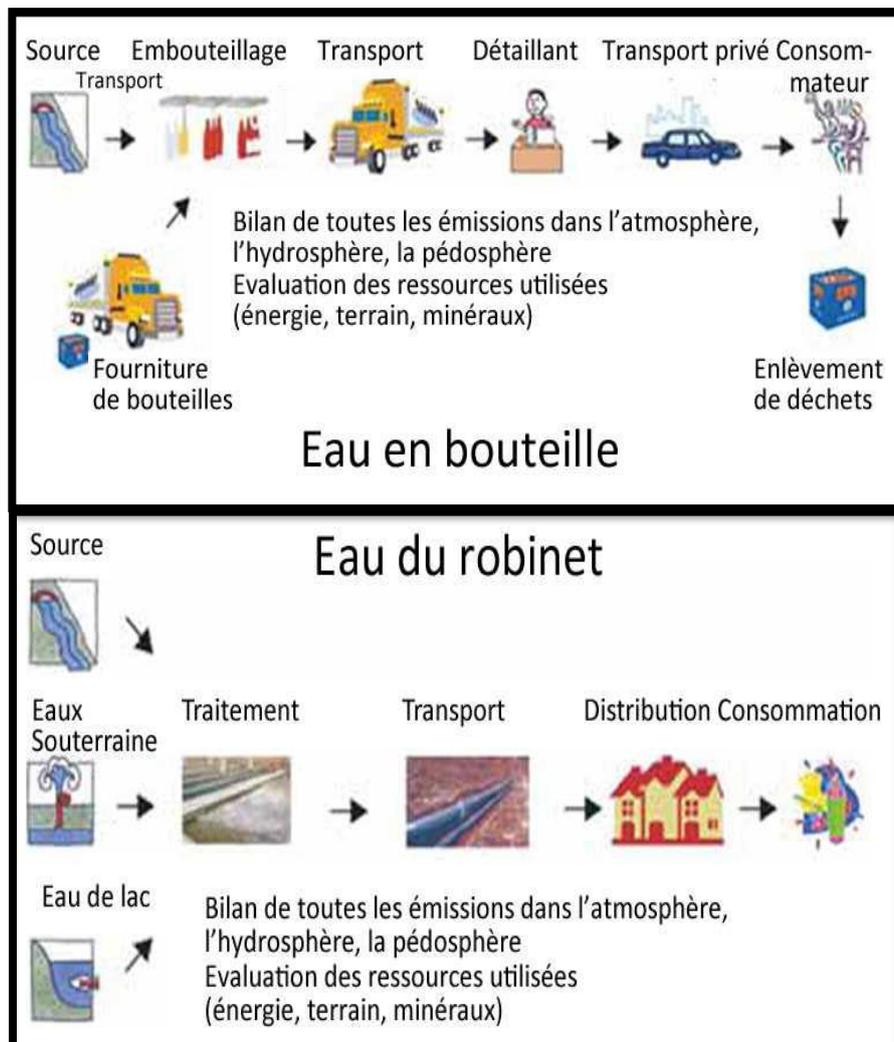


Figure I.3. Le cycle de vie de l'eau potable.

11. La Pollution de l'eau

Est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques, ainsi que la flore et la faune terrestre (Larousse, défini) (OUBAGHA, 2011).

12. Les classes de polluants

- Il existe plusieurs classes de polluants de l'eau (MAALEJ, 2010):
- La première concerne les agents provoquant des maladies. Ce sont les bactéries, les virus, les protozoaires et les vers parasites qui se développent dans les égouts et les eaux usées non traitées.
- Une deuxième catégorie de polluants concerne les déchets susceptibles de s'oxyder, les déchets qui peuvent être décomposés par des bactéries ayant besoin d'oxygène.
- Une troisième classe de polluants de l'eau est celle des polluants inorganiques hydrosolubles, tels que les acides, les sels et les métaux toxiques. De grandes quantités de ce type de composé rendent l'eau inapte à la consommation et entraînent la mort de la vie aquatique.
- Une autre classe des polluants de l'eau est celle des nutriments ; ce sont des nitrates et des phosphates hydrosolubles qui entraînent une croissance excessive des algues et des plantes aquatiques, ce qui diminue la quantité d'oxygène dans l'eau.
- L'eau peut également être polluée par un certain nombre de composés organiques tels que les produits pétroliers, les plastiques, les pesticides et les colorants qui sont nocifs pour l'homme ainsi que pour toutes les plantes et tous les animaux vivant dans l'eau

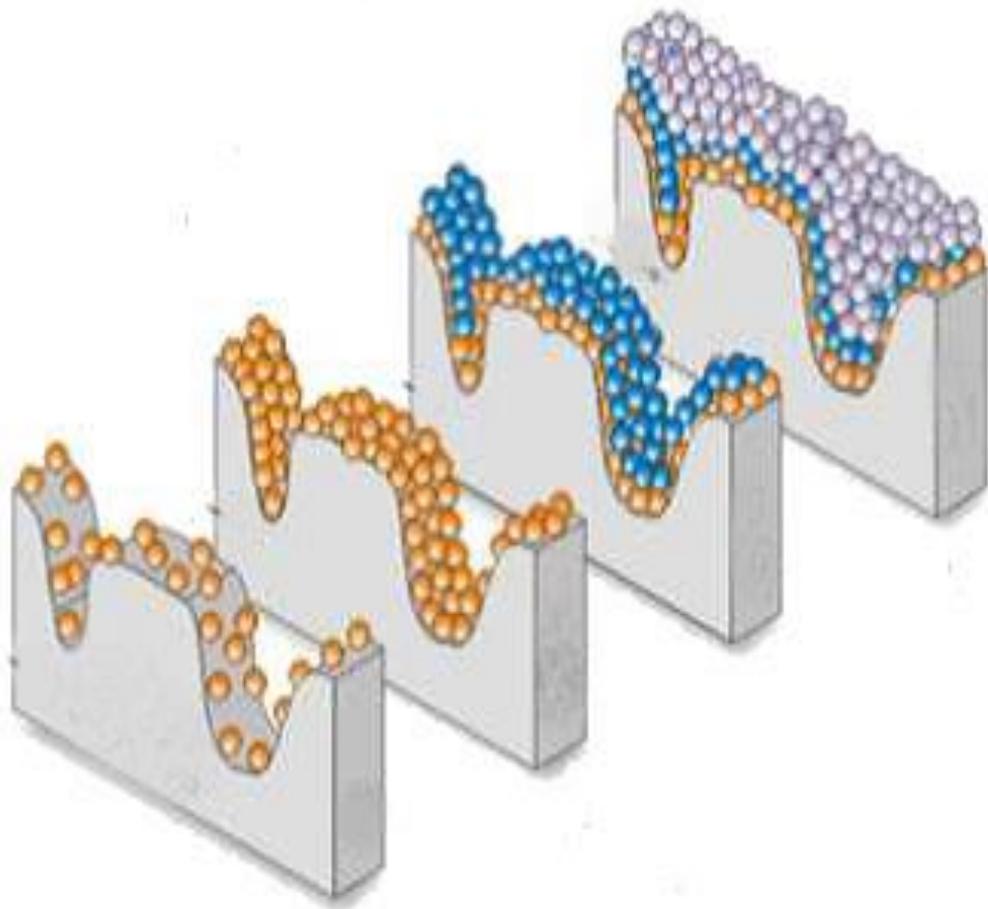
13. Traitement des eaux potables

La chaux constitue une matière indispensable dans le traitement des eaux potables et usées. Elle surtout est utilisée (AYECHE, 2013) :

- Pour corriger le pH des eaux trop acides et faire que les métaux dissous s'insolubilisent et précipitent sous forme d'hydroxyde de métal,
- Pour précipiter les phosphates, les sulfates et les fluors sous forme de sels calciques insolubles facilement récupérables,
- Reminéraliser une eau trop douce (agressive vis-à-vis des conduites),
- Décarbonater une eau trop dure (entartrant).

Chapitre II

Phénomène d'adsorption



1. Historique

Depuis très longtemps, les solides poreux sont connus pour leur capacité à retenir des quantités plus ou moins importantes de gaz condensable. En 1777, Fontana avait remarqué que du charbon fraîchement calciné puis refroidi était capable d'absorber plusieurs fois son propre volume de différents gaz. La même année, Scheele a noté que l'air qui se dégage du même charbon, lorsqu'on le chauffe, pouvait être piégé à nouveau en refroidissant le solide. Saussure en 1814 puis Mitscherlich (1843) introduisirent respectivement les notions de surface spécifique exposée et de volume poreux, qui sont de nos jours couramment employées. Le terme d'adsorption est apparu en 1881, utilisé par Kayser pour décrire le phénomène de condensation d'un gaz sur une surface, par opposition au terme « absorption » qui fait référence à une molécule de gaz qui pénètre dans le solide sans interagir. (JOHN, 2001).

2. L'adsorption

La technologie de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies de séparation les plus importantes. Elle est largement utilisée pour la séparation et la purification des gaz et des liquides dans des domaines très variés, allant des industries pétrolières pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques.

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé un adsorbant. Par la surface du solide, on sous-entend les surfaces externes et internes engendrées par le réseau de pores et cavités à l'intérieur de l'adsorbant.

Il existe deux types de processus d'adsorption : adsorption physique (ou physisorption) et adsorption chimique (ou chimisorption) (MARZOUK, 2012).

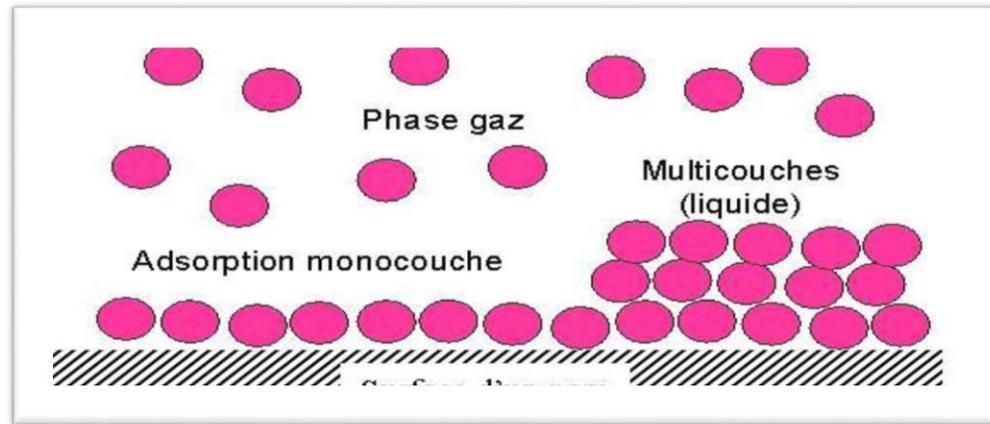


Figure II.1. Le phénomène d'adsorption (SEKIRIFA, 2013).

3. Principe

L'adsorption est un phénomène de surface, qui résulte de l'existence de forces attractives non compensées dans la surface, où une substance (soluté ou adsorbat) présente dans une solution extraite de phase liquide et concentrée dans la surface d'un matériau solide (ou adsorbant) (GREGORIO, 2007).

4. Types d'adsorption

Une distinction entre deux catégories de forces attractives doit cependant être faite, ce qui permet de définir deux types d'adsorption :

4.1. L'adsorption physique (Physisorption)

L'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte de l'attraction entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules du soluté de la phase fluide, ces forces attractives sont de nature physique, comprenant les forces dites de Vander Waals ne détruisant pas l'individualité des molécules et lorsqu'elles opèrent, correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de quelques Kilocalories par mole. Ce phénomène consiste essentiellement dans la condensation de molécules sur la surface du solide et il est favorisé en conséquence par un abaissement de la température (ARRIS, 2008 ; GREGORIO, 2007).

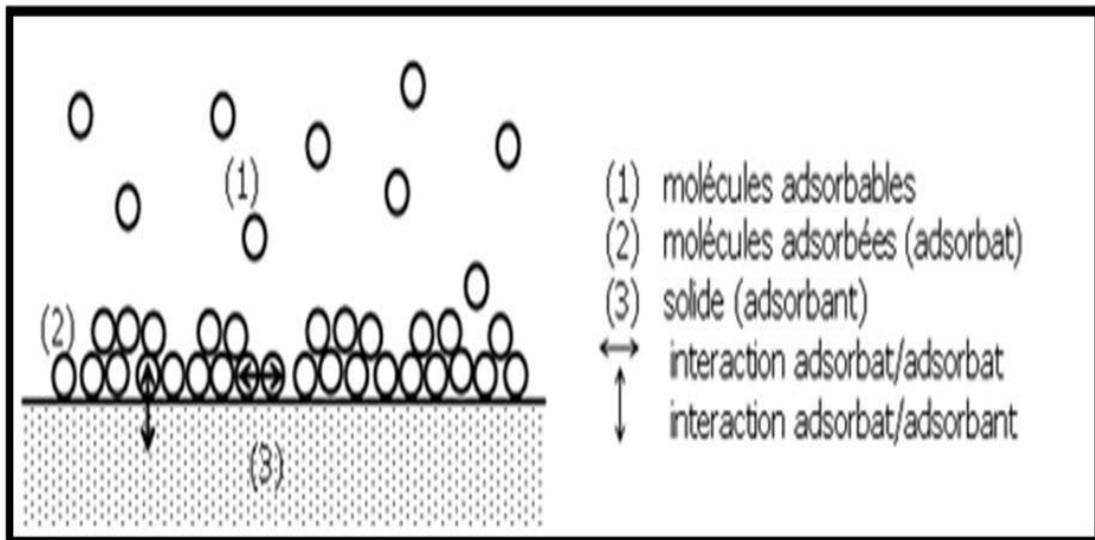


Figure II.2.Schéma de l'adsorption physique) (SEDIRA, 2013).

4.2. L'adsorption chimique (Chimisorption)

Elle résulte d'une interaction chimique entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules de soluté. Ces forces attractives de nature chimique provoquent un transfert ou mise en commun d'électrons et en conséquence, destruction de l'individualité des molécules et formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant (GREGORIO, 2007; ARRIS, 2008).

Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie de transformation élevée.

A titre d'exemple, nous donnons les enthalpies de transformation accompagnant la condensation d'azote sur du fer divisé (ARRIS, 2008):

- Liquéfaction normale. $\Delta H = -1361 \text{ Kcal} / \text{K mole}$
- Adsorption physique $\Delta H = -2000 \text{ Kcal} / \text{K mole}$
- Adsorption chimique $\Delta H = -35000 \text{ Kcal} / \text{K mole}$

Le tableau ci-dessous montre, ainsi qu'on l'a observé jusqu'ici, la différence entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique :

	Adsorption chimique	Adsorption physique
Nature des interactions	Liaison forte (grande affinité Adsorbat/adsorbant)	Liaisons faibles force de Vander Waals
Quantité adsorbée	Déterminée par le nombre de sites de la surface (Monocouche au minimum)	Possibilité de superposition de plusieurs couches d'atomes adsorbés
Caractère de la surface	Homogène : les sites ne sont pas équivalents de point de vu énergétique	Plus ou moins homogène
Caractéristique de phénomène	Spécifique	Non spécifique
Chaleur d'adsorption	Ne passe pas 50KJ/mol	De100à1000KJ/mol
Vitesse d'adsorption	Limitée	Très marquée
Mobilité des espèces adsorbées	Limitée	Très grande
Influence de l'élévation de la température	Faible et parfois favorable suite à l'activation de la surface	Diminue avec l'augmentation de la température

Tableau II .1. Différence entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique

5. Description du mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure **II.2** représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les

molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.

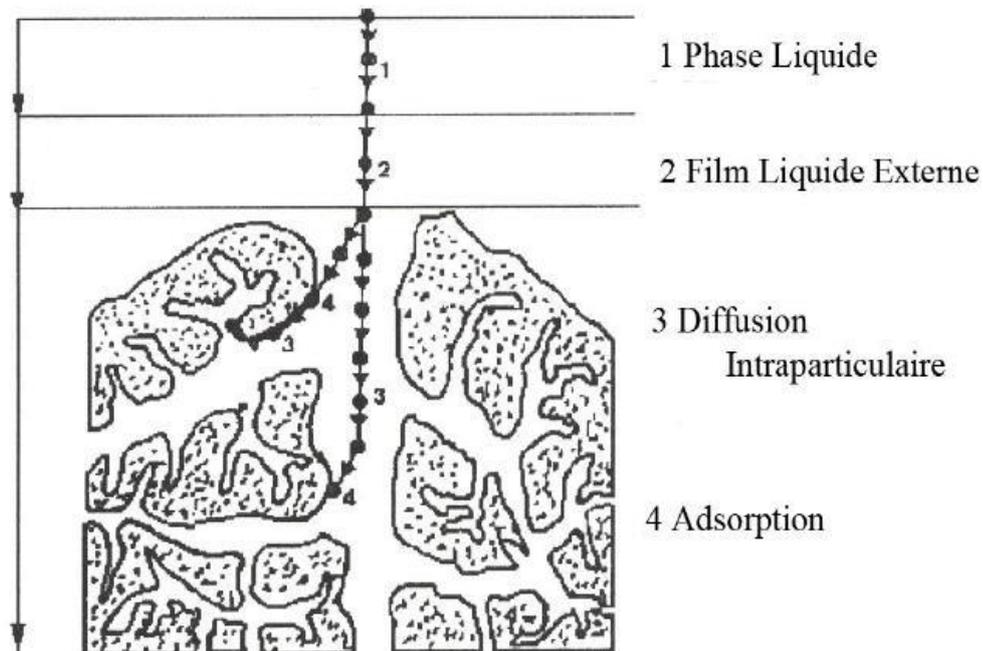


Figure II.3. Domaine d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux (CHOUFA, 2013)

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes (NAITMERZOUG, 2014) :

- 1)- Diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- 2)- Diffusion extra-granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).
- 3)- Transfert intra-granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).
- 4)- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

6. Principaux facteurs influant sur l'adsorption

L'équilibre de l'adsorption dépend de plusieurs paramètres, notamment :

6.1. La surface spécifique de l'adsorption: La surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux. Il est clair que l'on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique, cette grandeur désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant.

6.2. La température : L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées (BOUACHERINE, 2013) .

6.3. La nature de l'adsorbat : moins une substance est soluble dans un solvant, mieux elle est adsorbée.

6.4. Le potentiel hydrogène (pH): ce paramètre détermine la solubilité d'un constituant dans l'eau et par conséquent sa mobilité qui influe sur son adsorption (CHIKHI ,2013).

7. Les modèles cinétiques d'adsorption

De nombreux modèles ont été utilisés pour décrire les données expérimentales de l'adsorption au cours du temps mais une grande majorité se base traditionnellement sur des schémas réactionnels de premier ordre ou de second ordre par rapport à la quantité de soluté fixée. Ces modèles sont particulièrement utiles pour leur facilité d'emploi et leur bonne capacité à décrire l'expérience (ABDELLAHI, 2010)

7.1. Modèle réversible du premier ordre

Il a été supposé que dans ce modèle la vitesse de sorption à l'instant t est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre q_e , et la quantité q_t adsorbée à cet instant, et que l'adsorption est réversible. Autrement dit, la sorption est d'autant plus rapide que le système est loin de l'équilibre. La loi de vitesse s'écrit :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \dots\dots\dots (1)$$

q_e et q_t capacité d'adsorption (en mg/g) à l'équilibre et au temps t respectivement.

k_1 est la constance de vitesse d'adsorption (min^{-1}).

L'intégration de l'équation (1) donne :

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \dots\dots\dots (2)$$

7.2. Modèle de la cinétique du deuxième ordre

Ce modèle suggère l'existence d'une chimisorption, il permet de caractériser les cinétiques d'adsorption en prenant en compte à la fois le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible

Il est représenté par la formule suivante :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots (3)$$

L'intégration de l'équation (3) donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_e q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots\dots\dots (4)$$

k_2 : constante de vitesse d'adsorption ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{mn}^{-1}$).

q_e : quantité d'adsorbant à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg/g)

La quantité d'adsorption à l'équilibre (q_e) et k_2 peuvent être déterminées expérimentalement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de t/q_t en fonction de t (FERHAT, 2012)

8. Modélisation des isothermes d'adsorption

8.1. Modèle de Langmuir

Le modèle de Langmuir a été proposé en 1916, il est basé sur les hypothèses suivantes (KHELIFI, 2018) :

- La surface du solide est homogène.
- Les molécules adsorbées ne présentent pas d'interaction entre eux.
- Les molécules adsorbées ne peuvent former qu'une couche mon moléculaire.
- L'énergie d'adsorption est constant

Cette isotherme est représentée par la relation :

$$Q_e = q_m \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (5)$$

Avec :

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

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

q_m : capacité maximale d'adsorption théorique exprimée en (mg/g).

K_L : constante de l'équilibre thermodynamique d'adsorption.

Dans le cas d'une faible adsorption, le terme $K_L C_e$ tend vers 0 car il est très inférieur à 1 et peut être donc négligé, dans ce cas la relation de Langmuir deviendra :

$$q_e = q_m \cdot K_L \cdot C_e \dots\dots\dots(6)$$

Dans le cas d'une forte quantité de soluté adsorbée, $K_L C_e$ devient largement supérieur à 1 ce qui implique que q tend vers q_m . La linéarisation de l'équation (2) donne :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m \cdot K_L} \dots\dots\dots(7)$$

On obtient l'équation d'une droite de pente $1/q_m$ et d'ordonnée à l'origine $1/(K_L \cdot q_m)$, ce qui nous permet de déduire la constante de Langmuir K_L et la capacité d'adsorption q_m

(NORDINE,2018).

$1/Q_e=f(1/c_e)$ qui est une droite de pente $1/b \cdot Q_0$ d'ordonné à l'origine $1/Q_0$.

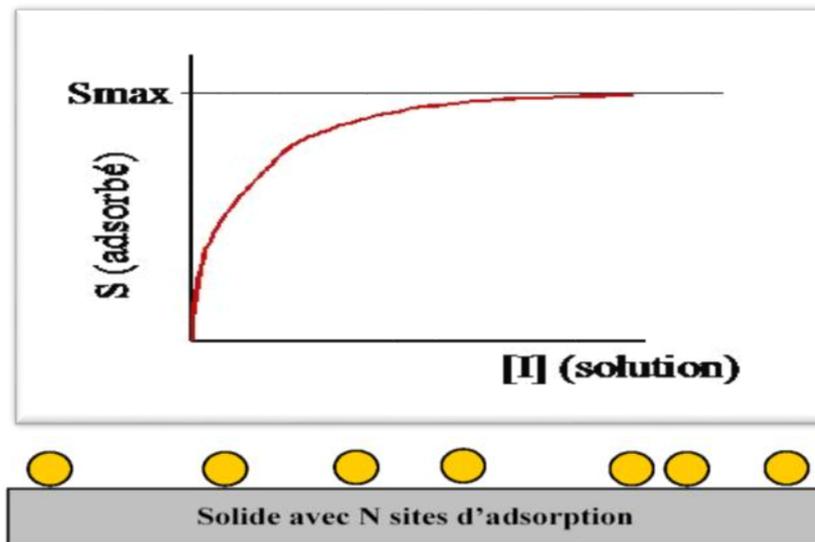


Figure II.4. Isotherme et Modélisation de l'adsorption selon Langmuir

(NAITMERZOUG ,2014)

8.2. Modèle de Freundlich

Dans ce cas, l'adsorption se fait d'abord en monocouche puis en multicouche. Ce type d'isotherme est observé dans le cas d'adsorbants ayant un volume macroporeux ou mésoporeux important. Dans le cas d'un adsorbant avec des surfaces hétérogènes, on peut utiliser le modèle de Freundlich

$$q_e = kC_e^{1/n} \dots\dots\dots(8)$$

Où k et n sont des constantes à déterminer pour chaque couple adsorbant/adsorbat à chaque température (N'GUESSAN, 2010).

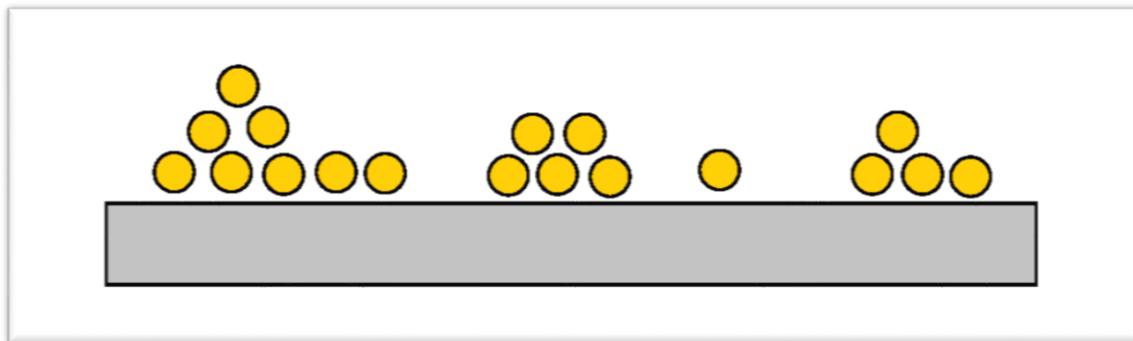


Figure II.5. Modèle d'adsorption en multicouche selon Freundlich

8.3. Isotherme de Temkin

La dérivation de l'isotherme de Temkin suppose que l'abaissement de la chaleur d'adsorption est linéaire plutôt que logarithmique, comme appliqué dans l'équation de Freundlich. L'isotherme de Temkin a été généralement présentée par l'équation suivante :

$$Q_e = (RT / bT) \cdot \ln (A_T C_e) \dots\dots\dots (9)$$

Où

bT et A_T sont des constantes d'isotherme de Temkin,

R : constante de gaz l'universel (8.314 K J/ mol),

C_e : la concentration à l'équilibre des ions métallique (mg/l)

T : la température absolue (GHERBI,2008).

8.4. Modèle d'Elovich

Le modèle d'Elovich est basé sur un développement cinétique faisant l'hypothèse que les sites d'adsorption augmentent exponentiellement avec l'adsorption, ce qui implique une adsorption multi-couches. Quand il est utilisé, il est exprimé par la relation (AGA ,2015) :

$$\frac{Q_e}{Q_m} = \theta = KE \cdot C_e \exp\left(-\frac{Q_e}{Q_m}\right) \dots\dots\dots(10)$$

KE, constant d'Elovich (en L.mg-1)

Le tracé de ln (Q_e / C_e) vs Q_e permet d'atteindre Q_m et KE

$$\ln\left(\frac{Q_e}{C_e}\right) = -\frac{Q_e}{Q_m} + \ln(KE \cdot Q_m) \dots\dots\dots (11)$$

9. Isotherme d'adsorption

Gilles et coll. (1774) ont proposé les modèles d'adsorption, dont quatre types particuliers sont maintenant considérées comme les quatre formes principales d'isothermes généralement observées (LIMOUSIN, 2007).

Le type d'isotherme obtenu permet de tirer des conclusions qualitatives sur les interactions, entre l'adsorbat et l'adsorbant, dont les plus importantes sont les suivantes :

- la forme de l'isotherme ;
- l'existence de paliers sur les isothermes ;

- le type d'adsorption (mono ou polymoléculaire) ;
- l'orientation des molécules adsorbées (ERRAIS, 2011).

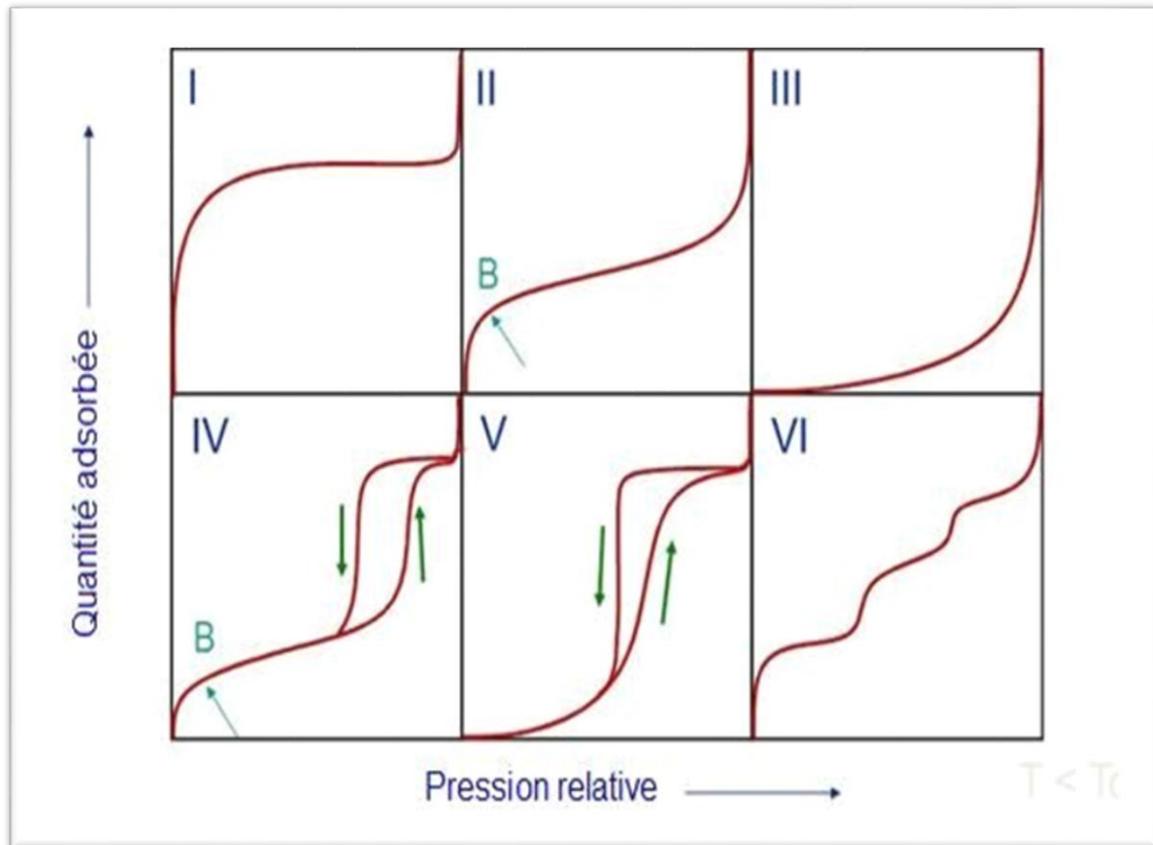


Figure II.6.Classification des isothermes d'adsorption

(LOWELL, 2004)

9.1. L'isotherme de type I

L'isotherme de type I est typique d'une adsorption en monocouche, correspondant au remplissage de micropores avec saturation, lorsque le volume à disposition est totalement rempli. Cette isotherme est souvent appelée isotherme de Langmuir. (ZIATI, 2012).

9.2. L'isotherme de type II

Correspondent en général à l'adsorption multicouche sur des surfaces non microporeuses. Ou d'une combinaison d'un type I et une isotherme de type II (remplissage

de micropores suivi d'une adsorption multicouche sur une surface externe)([MASMOUDI, 2014](#))

9.3. L'isotherme de type III

Le type III est typique d'un adsorbant non poreux ou macroporeux. Cette isotherme implique des interactions faibles entre adsorbat et adsorbant. C'est le cas de l'adsorption de l'eau sur des surfaces hydrophobes comme le graphite([CHOUFA, 2013](#))

9.4. L'isotherme de type IV

Les isothermes de type IV sont associées aux adsorbants plutôt mésoporeux. La présence de deux paliers peut résulter de la formation de deux couches successives d'adsorbat à la surface du solide. Quand les interactions entre les molécules et la surface sont plus fortes que celles des molécules entre elles, les sites d'adsorption de la seconde couche ne commencent à être occupés que lorsque la première couche est totalement saturée ([REUNGOAT, 2007](#))

9.5. L'isotherme de type V

Les isothermes de type V sont caractéristiques d'adsorbants microporeux avec formation de multicouches dès les faibles concentrations. Comme pour l'isotherme de type III, ce comportement est représentatif d'interactions plus fortes entre les molécules qu'entre molécules et adsorbant ([REUNGOAT, 2007](#)).

9.6. L'isotherme de Type VI

Cette isotherme correspond à un milieu poreux dans lequel les couches adsorbées se forment les unes après les autres ([BAKOUAN, 2018](#))

10. Matériaux adsorbants

Selon la classification de l'IUPAC les adsorbants industriels les plus courants sont les suivants : les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice, les argiles activées (ou terres décolorantes) et les alumines activées ([NOUACER, 2015](#)) .

10.1. Charbons actifs

Les charbons actifs sont des produits carbonés poreux, constitués principalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et de petites quantités de soufre et d'azote. Ils se présentent sous forme d'une poudre noire plus ou moins fine et inodore (CHAOUCH, 2014).

10.2. Gels de silice

Les gels de Silice ($\text{SiO}_2, n\text{H}_2\text{O}$) se présentent sous la forme de grains durs et poreux avec une surface spécifique de 600 à 800 m^2/g , dont la taille des pores varie de 20 à 50 Å. Ils s'obtiennent par action de l'acide chlorhydrique sur une solution de silicate de sodium. Ils sont utilisés pour ôter l'eau de divers gaz, mais aussi, parfois, pour la séparation d'hydrocarbures (BOUCHELKIA, 2015).

10.3. Les argiles activées

Les argiles activées sont des alumino-silicates de formule brute proche des zéolites, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage. La production mondiale annuelle d'argile activée s'élève à 400000 t.an- (LAURE, 2004).

Les adsorbants industriels doivent répondre à un certain nombre de critères :

- Haute capacité d'adsorption
- Grande efficacité
- Sélectivité élevée
- Résistance physique
- Inertie chimique
- Facilement régénérable
- Bas prix

Le tableau suivant regroupe quelques caractéristiques des principaux adsorbants industriels :

Adsorbants	Surface Spécifique m ² /g	Dimensions des Pores (nm)	Porosité Interne
Alumines activées	200 à 400	1.0 à 6.0	0.3 à 0.6
Gels de silice	600 à 800	2.0 à 5.0	0.4 à 0.5
Zéolithes	500 à 800	0.3 à 0.8	0.3 à 0.4
Charbon actif	400 à 2000	1.0 à 4.0	0.4 à 0.8

Tableau II.2. Caractéristiques des principaux adsorbants industriels

(MASMOUDI, 2014)

Les charbons actifs sont des adsorbants polyvalents. Leurs propriétés d'adsorption sont dues à leur grande surface, à leur structure microporeuse et à leur grande réactivité de surface. Ils sont donc utilisés pour purifier, décolorer, désodoriser, séparer et concentrer pour permettre la récupération et pour filtrer, éliminer ou modifier les constituants nocifs des gaz et des solutions liquides. Le chapitre suivant traite des généralités sur le charbon actif et aussi la proposition de quelques processus de carbonisation.

Chapitre III

Généralité sur Charbon actif



1. Les charbons actifs

Le conseil Européen des fédérations de l'industrie chimique (C.E.F.I.C) les définit comme suit : « Les charbons actifs sont des produits carbonés dotés d'une structure poreuse présentant une très grande surface de contact interne. Ces matériaux issus des procédés industriels peuvent adsorber une large variété de substances qui se fixent sur leurs surfaces internes, ils sont par conséquence appelés adsorbants » (CHAOUCH, 2014).

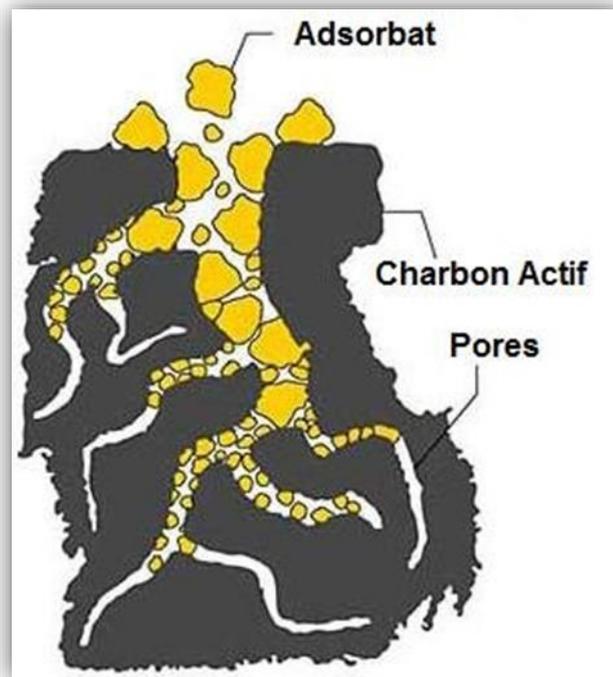


Figure III.1. La structure d'un charbon actif

Le Charbon Actif (CA) peut être fabriqué à partir de tout matériau contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage en matière inorganique. Ces matières premières peuvent être le bois, le charbon de bois, la noix de coco, le lignite, la tourbe ainsi que des polymères synthétiques ou résidus de procédés pétroliers. On peut également citer comme exemples de précurseurs, encore à l'étude, les résidus de la fabrication du café ou les boues activées. Le CA est donc un matériau peu coûteux (AYRAL, 2009).

2. Utilisations

Le charbon actif est utilisé pour (BELKOCÉIR, 2019):

- La décoloration des jus sucrés et des graisses végétales,
- La production d'eau potable, pour ses propriétés de catalyseur dans le traitement de l'eau (désodorisation par décoloration et détoxification de l'eau ozonée),
- La récupération des solvants,
- Le conditionnement de l'air.
- **Médecine:** est aussi utilisé dans le domaine médical. Il peut diminuer l'efficacité de certaines médications prescrites par ailleurs. L'adsorption la substance ingérée diminuant ainsi son absorption gastro-intestinale. Le charbon actif le plus utilisé dans ce domaine est le charbon actif à base végétale, habituellement utilisé en forme poudre (en boîte ou en gélule), comprimés et granulés. Il peut aussi être utilisé pour la filtration de la fumée de tabac. Le charbon actif a aussi de nombreuses autres applications pour fixer les pesticides, dans les masques à gaz, dans les dispositifs de contrôle de pollutions tels que les convertisseurs catalytiques et la désulfuration de gaz de cheminée. Le charbon actif peut être utilisé comme adsorbant pour l'extraction des matières toxiques de l'eau (ions métalliques, substances organiques, etc.), et de l'air (SO₂, NO, Cl₂ etc.) (DJIDEL, 2011).
- **CHIMIE, PETROCHIMIE :** Le charbon actif est utilisé pour la purification de produits (chimiques, organiques et minéraux...), la désulfuration du gaz naturel et des hydrocarbures. Le charbon actif utilisé comme support de catalyseur devient de plus en plus répandu dans ce domaine. Pour ce type d'application, le charbon actif doit avoir une forte résistance mécanique (LU, 2015)

Enfin, Il est à noter que les traitements avec le charbon actif en poudre ou en grains sont d'un intérêt croissant car ils se caractérisent essentiellement par : un faible coût dynamique et une mise en œuvre simple.

3. Préparation et fabrication du charbon

3.1. Origine

Le charbon actif d'origine organique ou minérale, il provient de diverses matières animales ou végétales (coques de noix de coco, tourbe, houille, etc..) ; les charbons actifs issus de ces derniers produits sont le plus souvent employés pour le traitement de l'eau naturelle ou résiduaire (ZIATI, 2012).

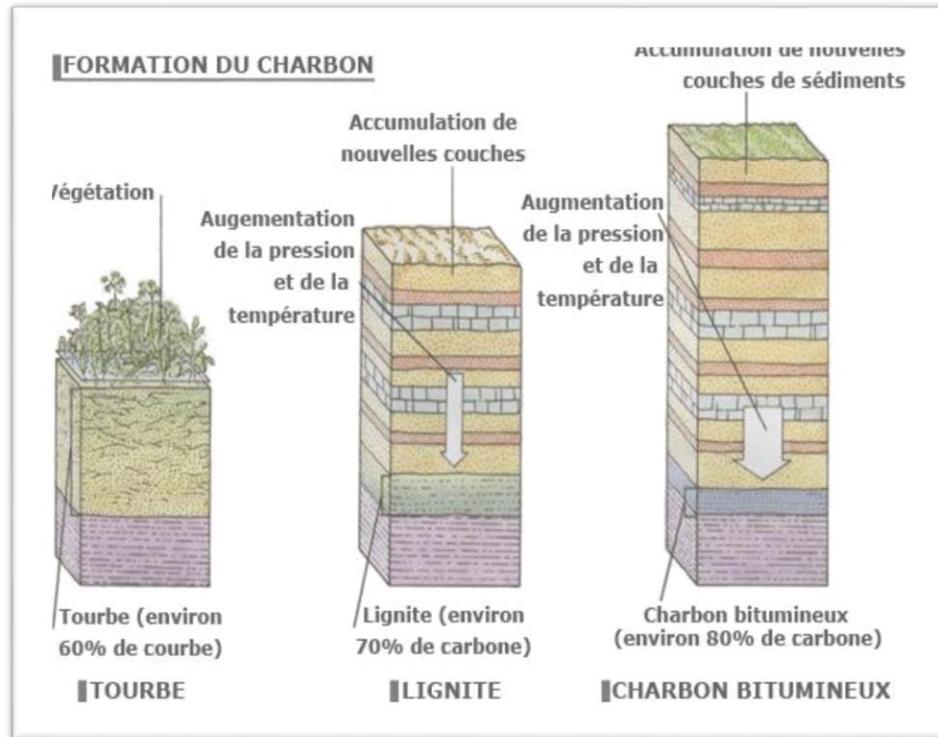


Figure III.2. Formation du charbon (SEDIRA, 2013)

Au cours de plusieurs millions d'années, l'accumulation et la sédimentation de débris végétaux dans un environnement de type tourbière provoque une modification graduelle des conditions de température, de pression et d'oxydoréduction dans la couche de charbon qui conduit, par carbonisation, à la formation de composés de plus en plus riches en carbone : la tourbe (50 à 55 %), le lignite (55 à 75 %), la houille (75 à 90 %) et l'antracite (> 90 %) (Figure III.2). La formation des plus importants gisements de charbon commença au carbonifère, environ de -360 à -295 Ma. Dans son appellation courante, le terme désigne généralement la **houille**. Autrefois, il était appelé **charbon de terre** en opposition au charbon de bois (SEDIRA, 2013).

3.2. Carbonisation

La carbonisation est la décomposition thermique des matières carbonées : les espèces autres que le carbone sont éliminées. Cette étape s'effectue à des températures comprises entre 600 et 800°C en présence de sels métalliques et sous un courant continu de gaz inerte (absence d'oxygène). La carbonisation est généralement effectuée à une vitesse de montée en température suffisamment grande pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. Elle fournit des matériaux ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique d'environ 10 m².g⁻¹) et qui n'ont donc pas une forte capacité d'adsorption. La structure poreuse est ensuite étendue durant le processus d'activation (AYRAL, 2009).

3.3. Procédés d'activation

L'activation est un procédé qui fait intervenir un agent oxydant. L'étape d'activation a pour but de développer et de moduler la structure poreuse du charbon. Elle conduit à une très forte augmentation de sa surface spécifique ainsi qu'une réorganisation structurale du substrat (KHELIFI, 2018).

3.3.1. Activation physique

L'activation physique consiste en une oxydation à haute température (750-1000 °C) du carbonisât par un agent oxydant gazeux. Les gaz utilisés, seuls ou en mélange, faiblement oxydant, sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone. Le niveau de température joue un rôle important dans le processus d'activation. En effet, à basse température, la cinétique d'oxydation est faible et l'activation conduit à une distribution de la taille de pore homogène dans tout le volume du matériau. Quand la température augmente, la vitesse de réaction croît plus rapidement que la diffusion du gaz oxydant. Le procédé est donc limité par le transport du gaz oxydant au sein du matériau, ce qui conduit à une perte d'homogénéité de la porosité (DJIDEL, 2011).

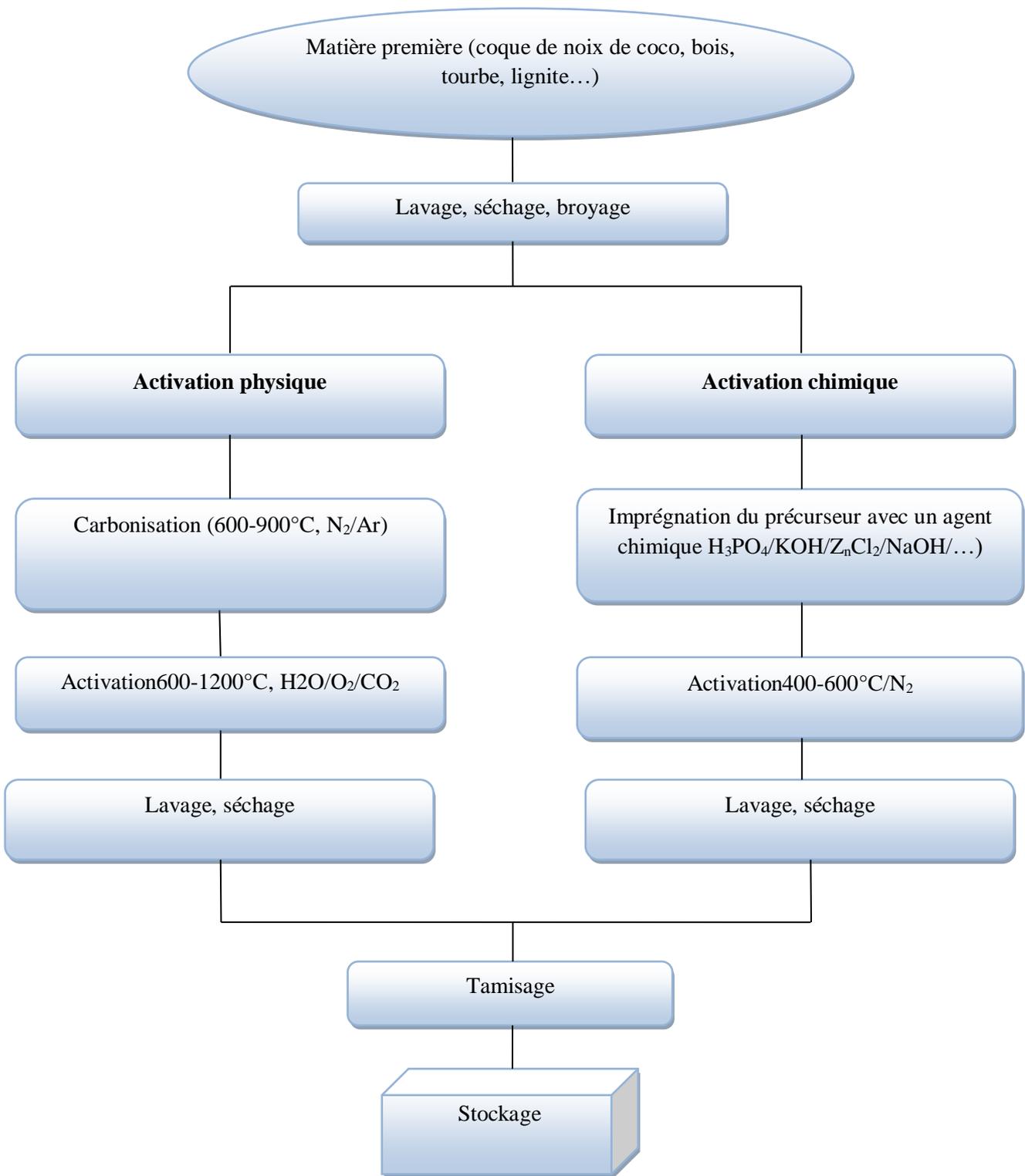


Figure III.3. Diagramme schématique du processus de préparation classique du charbon actif (HADOUN ,2010)

3.3.2. Activation chimique

L'activation chimique est un procédé d'obtention du charbon actif. Elle consiste à imprégner le matériau de départ à partir d'une solution concentrée d'agent très oxydant et/ou hydratant (acide phosphorique, chlorure de zinc). Ces agents interviennent comme catalyseur d'oxydation et permettent à la fois le développement de la microporosité et de la méso-porosité par élargissement du diamètre des pores. Le matériau est ensuite pyrolyse entre 400°C et 800°C, lavé et séché (BOULKRAH, 2008).

4. Les différentes formes du charbon actif

Les formes du charbon actif les plus utilisés sont :

4.1. Charbon actif extrudé (CAE)

Le charbon actif extrudé (Figure III.4) est de forme cylindrique avec des diamètres allant de 0.8 mm à 5 mm, il 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.



Figure III.4. Charbon actif extrudé (DESOTEC CHARBON ACTIF)

4.2. Charbon actif en granulé (CAG)

L'élimination des micropolluants organiques et de la matière organique est l'enjeu majeur de l'emploi du CAG. Les pesticides et les composés sapides sont les principaux micropolluants organiques. L'élimination de la matière organique sous forme de carbone organique dissous biodégradable fait appel aux phénomènes d'adsorption et de biodégradation. Cette bio-élimination est rendue possible par la présence d'une biomasse colonisatrice de la surface du charbon, cette colonisation du filtre demande 1 à 2 mois.

La nitrification de l'ammonium, la réduction des oxydants chlorée résiduelle et une très faible élimination de certains sous-produits de désinfection tels que les bromates et les chlorates, sont les autres potentialités du charbon actifs en grains.

Les caractéristiques physiques des granulés de charbon actifs varient considérablement selon les produits. Il faut tenir compte des paramètres suivants lors du choix du charbon actif ([SEDIRA, 2013](#)).



Figure III.5. Charbon actif en granulé ([DESOTEC CHARBON ACTIF](#))

4.3. Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif en poudre ou CAP prend la forme de grains (**Figure III.5**), 95-100 % de ces particules traverseront un tamis de maille donnée. Par exemple la norme ASTM D5158 classe les particules de diamètre inférieur ou égal à 0.177 mm comme CAP.



Figure III.6. Charbon actif en poudre (DESOTEC CHARBON ACTIF)

5. Propriétés physico-chimiques

Les propriétés physico-chimiques des charbons sont très variables et leurs relations avec la capacité d'adsorption et/ou l'activité catalytique de ces solides ne sont pas toujours bien connues. Tout d'abord, la microstructure des charbons actifs n'est pas régulière. La structure interne est un assemblage de cristallites poly-aromatiques appelées Unités Structurales de Base (USB) et composées d'empilement de graphènes (**Figure III.6.** (a)). L'ordre dans lequel les graphènes sont empilés est moins parfait que dans le cas du graphite créant entre les feuilles des interstices nommés pores qui sont à l'origine de la grande surface spécifique des charbons actifs (**Figure III.6.** (b)). Les micropores, qui se situent entre les plaques de graphite, sur un espace d'environ 1 à 5 diamètres moléculaires, confèrent au charbon ses capacités d'adsorbant de multiples espèces chimiques, tandis que les pores plus gros (méso- et macro-pores) vont influencer la cinétique d'adsorption (**BENHAMED, 2015**).



Figure III.7. Représentation de la microstructure d'un charbon actif. (a) (DESOTEC CHARBON ACTIF; (b) RODRIGUEZ, 1998), (ZIATI, 2012)

5.1. Propriétés texturales

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

La structure d'un charbon est donc caractérisée par son volume poreux, la taille et la forme de ses pores. C'est ce qui est à l'origine de sa surface spécifique, c'est-à-dire de la surface développée accessible aux molécules par unité de masse de charbon. Ces propriétés sont principalement développées lors de l'étape d'activation du CA.

Le charbon actif est connu pour avoir une grande surface spécifique, généralement comprise entre 800 et 2500 m²/g. Il présente également une distribution de taille de pores très variée, incluant à la fois des micropores (de diamètre $f_p < 2$ nm), des mésopores ($2 < f_p < 50$ nm) et des macropores ($f_p > 50$ nm).



Figure III.8. Vue de la structure du charbon actif au microscope électronique

(DESOTEC CHARBON ACTIF)

Ce sont ces propriétés texturales qui confèrent au charbon ses capacités d'adsorbant de multiples espèces chimiques. Généralement ce sont les micropores (voire les mésopores) qui constituent les sites d'adsorption, tandis que les macropores interviennent dans le transport des molécules jusqu'à la structure interne.

Le volume poreux et la taille des pores sont déterminés à partir d'isothermes d'adsorption- désorption d'azote à 77K pour la micro- et méso-porosité et porosimétrie au mercure pour les pores les plus gros (AYRAL,2009).

5.2.Caractérisation chimique (Chimie de surface)

La surface d'un charbon peut être soit hydrophobe (on parle de surface « propre »), soit hydrophile quand la quantité de groupes de surface oxygénés augmente, ceci dépend du mode de préparation. Le matériau pourra ainsi présenter un caractère acido-basique. En effet, les CA peuvent avoir des quantités considérables d'oxygène et d'hydrogène, et également des atomes de chlore, de soufre et d'azote, mais en quantités plus petites. Ces éléments sont normalement présents dans le matériau précurseur et deviennent partie

intégrante de la structure chimique des charbons pendant les processus de carbonisation, d'activation ou de traitements postérieurs, sous la forme de fonctions de surface. La chimie de surface va donc jouer un rôle fondamental dans la sélectivité du CA dans les processus d'adsorption et de catalyse. Il est donc indispensable de caractériser les propriétés de surface des charbons, en particulier il faut connaître la nature des liaisons entre les hétéroatomes et les atomes de carbone. L'hétéroatome prédominant en bordure des plans de graphène est, le plus souvent, l'oxygène sous différentes formes (on parle de groupes fonctionnels de surface). Les premiers travaux portant sur l'identification et la quantification des fonctions de surface ont été réalisés par les groupes de Boehm et de Donnet dans les années 60.

Dans des articles plus récents, Boehm a mis en évidence les fonctions acides de surface suivantes (voir **Figure III.9**) : (a) acide carboxylique, (b) anhydride carboxylique, (c) lactone, (d) lactol, (e) hydroxyle, (f) carbonyle, (g) quinone et (h) type éther (xanthène). Les liaisons du carbone à ces groupes présents en surface sont très influencées par la structure du substrat auquel ils sont liés et par la nature des groupes voisins, de telle façon qu'une description des fonctions de surface basée sur des formes mésomériques serait certainement plus réaliste ([REFFAS, 2010](#)).

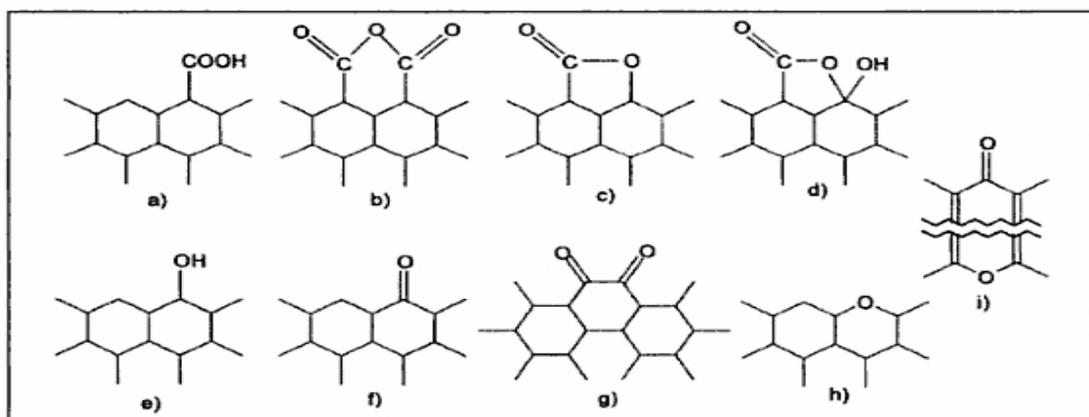


Figure III.9. Structures possibles des fonctions de surface dans le charbon actif
([BENAMRAOUI, 2014](#))

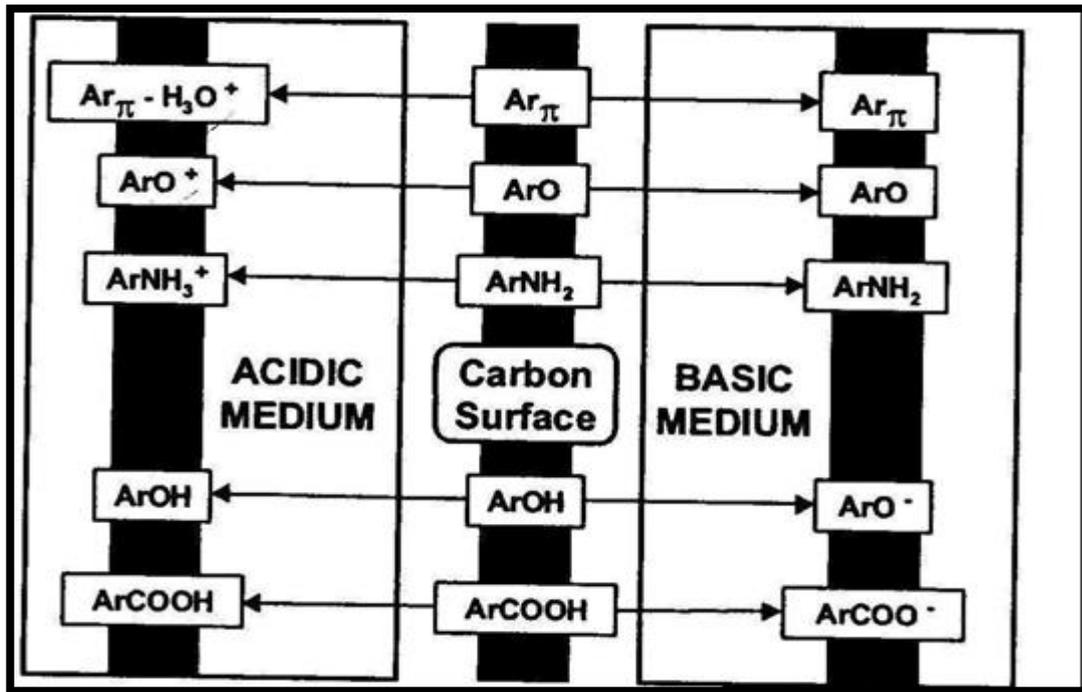


Figure III.10. Influence des groupements fonctionnels présents en surface du charbon sur sa charge électrique (AYRAL, 2009)

Les fonctions de surface, en majorité de caractère acide, sont responsables du caractère amphotère des CA, qui dépend du pH du milieu. La surface d'un charbon peut donc développer soit des charges positives soit des charges négatives, comme on peut l'observer dans la **Figure III.10**. Ces charges sont responsables de la présence des forces électrostatiques d'attraction ou répulsion entre le soluté et l'adsorbant.

La **Figure III.10**. montre également les contributions des fonctions de surface et des électrons π des plans de base ($Ar\pi$) pour la charge développée à la surface des CA en solution aqueuse. Une charge négative en surface du charbon résulte de la présence de groupements carboxyliques ($Ar-COOH$), phénoliques ($Ar-OH$), carbonyles ($Ar-C=O$). Ces fonctions donnent au charbon un caractère acide et des propriétés hydrophiles. Les groupements carboxyliques et lactoniques ont tendance à polariser la surface, diminuant l'adsorption de composés organiques non polaires en solution aqueuse (BENAMRAOUI, 2014).

6. Les propriétés des charbons actifs

Plusieurs caractéristiques sont primordiales pour la définition de la qualité d'un charbon actif et ses performances :

6.1. Le degré d'activation

Le degré d'activation (ou taux d'activation) est un facteur important. Il est souvent appelé « **burn-off** » et caractérise la qualité de la porosité. En effet, la réaction d'activation produit un matériau poreux de masse inférieure à sa masse initiale. Le degré d'activation augmente avec la durée de l'activation. Il est défini selon l'équation suivante :

$$\text{Taux d'activation} = \frac{\text{Masse initiale} - \text{Masse finale}}{\text{Masse initiale}} \times 100$$

Si le taux d'activation est inférieur à 50%, il y a production de micro- et mésopores. Une activation supérieure conduit à la formation de macropores (OMLIN, 2010).

6.2. La surface spécifique (BET)

Par définition, la surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse [m^2 / g]. Pour un charbon actif, elle est comprise entre 500 et 1500 m^2 / g . Cette surface est essentiellement créée par les micro- et mésopores. Plus la surface est grande plus la quantité de matière adsorbée est importante (OMLIN, 2010).

6.3. La granulométrie

Elle conditionne la vitesse d'adsorption, plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide (OMLIN, 2010).

6.4. La dureté

Elle informe sur la résistance du matériau. C'est un facteur important pour le dimensionnement du système de traitement et sa durée de vie. (OMLIN, 2010).

6.5. La 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 normalement une meilleure qualité de CAP. Elle est exprimée en kg/m^3 (OMLIN, 2010).

6.6. Le taux de cendre

Il s'agit de la partie inorganique, inerte, amorphe et inutilisable présente dans le charbon actif. Ces cendres sont généralement constituées de sels de calcium et d'oxydes métalliques. En général dans la gamme comprise entre 2 et 10% (SOME, 2010). Plus le taux de cendre est faible, meilleur est le charbon actif. Si le charbon actif est régénéré, ce taux augmente (OMLIN, 2010).

6.7. Taux d'humidité

Le charbon actif est généralement défini sur une base d'humidité libre certains taux d'humidité sont estimés par exemple à 3, 8 et 10% (SOME, 2010) et une valeur classique de la teneur en eau varie entre 1 à 5 % en masse (OMLIN, 2010). Si le CA est bien conditionné dans des contenants hermétiques. Le taux d'humidité ne porte pas atteinte au pouvoir d'adsorption, mais il dilue le carbone (SOME, 2010).

6.8. L'indice d'iode

L'indice d'iode, permet de mesurer la microporosité d'un charbon actif, grâce à une solution d'iode, mesuré en [mg Iode/g CAP]. Cette valeur est à corrélérer avec la surface spécifique BET. Plus sa valeur est élevée plus l'affinité d'adsorption du matériau pour les petites molécules est grande. Les valeurs varient entre 500 et 1200 mg/g. (OMLIN, 2010 ; SEDIRA, 2013). Ce paramètre permet également de connaître le degré d'épuisement d'un CAP en cours d'utilisation.

6.9. L'indice de bleu de méthylène

Il est mesuré en [mg bleu de méthylène/g CAP]. Il quantifie la capacité d'adsorption pour des molécules de taille moyenne (OMLIN, 2010).

6.10. L'indice de phénol

Permet d'établir si l'adsorbant est approprié aux molécules aromatiques, causant des odeurs et du goût (SEDIRA, 2013).

6.11. L'indice de tannin :

Les charbons possédants une combinaison de méso- et macropores adsorbent bien les tannins qui sont des molécules de taille moyenne à élevée. L'indice de Tannin exprime donc la capacité d'adsorption de grosses molécules. (OMLIN, 2010).

Chapitre IV

Noyaux des dattes



1. Généralités sur les palmiers dattiers

Le dattier est nommé Nakhla ou tamr en arabe, Datte palm en anglais, Datte palme en allemand, Palmera datilera en espagnole et afar en Somalie. Le nom de la variété Ghars objet de notre étude signifie pâteux et collant en arabe (BECHKI, 2018).

Le palmier dattier a été dénommé *Phoenix dactylifera* par Linné en 1753. *Phoenix* dérivé de *Phonix*, nom du dattier chez les grecs de l'antiquité qui le considéraient comme arbre des phéniciens ; *dactylifera* vient du latin *dactylus*, dérivant du grec *dactylos*, signifiant doigt (en raison de la forme du fruit), associé au mot latin *fero*, porté, en référence aux fruits.

La plante *Phoenix dactylifera* L. fait partie de la classe des Monocotylédones, d'une famille de plantes tropicales (*Palmoeou Areaceae*), la mieux connue sur le plan systématique. Elle est représentée par 200 genres et 2700 espèces réparties en six sous familles. La sous famille des *Coryphoidées* est elle-même subdivisée en trois tribus (BEN ABBES, 2011).



Figure IV. 3. Palmier dattier; les dattes et les noyaux des dattes (BECHKI, 2018)

2. Palmier dattier

Le palmier dattier appelé " arbre de vie ", est l'arbre des Oasis sahariennes, il est considéré comme le premier arbre fruitier (BOULKOUR, 2012)

Le palmier dattier est une plante dioïque. Il comporte des pieds males (dokkar) et des pieds femelles (nakhla). Il se multiplie aussi bien par semis de graines (noyau) que par plantation de rejets (SEDIRA, 2013).

2.1. Systématique du phonix dactylifera L

La place du palmier dattier dans le règne végétal est rappelée ci-dessous (DJERBI, 1994)

- **Groupe** : Spadiciflores
- **Ordre** : Palmales
- **Famille** : Palmacées
- **Sous famille** : Coryfoïdées
- **Tribu**: Phoenicées
- **Genre**: Phonix
- **Espèce** : Phonix dactylifera L

2.2. Morphologie

Le palmier dattier est un arbre à croissance lente dont le diamètre varie de 0.4 à 1 m et la hauteur de 30 à 40m avec une moyenne de 10 à 20m. Sur le plan morphologique, le palmier dattier et plus spécialement la variété *Ghars* est caractérisé par : Un système racinaire fasciculé et sans pivot (CHAOUCH, 2014).

Un système végétatif composé des organes suivants :

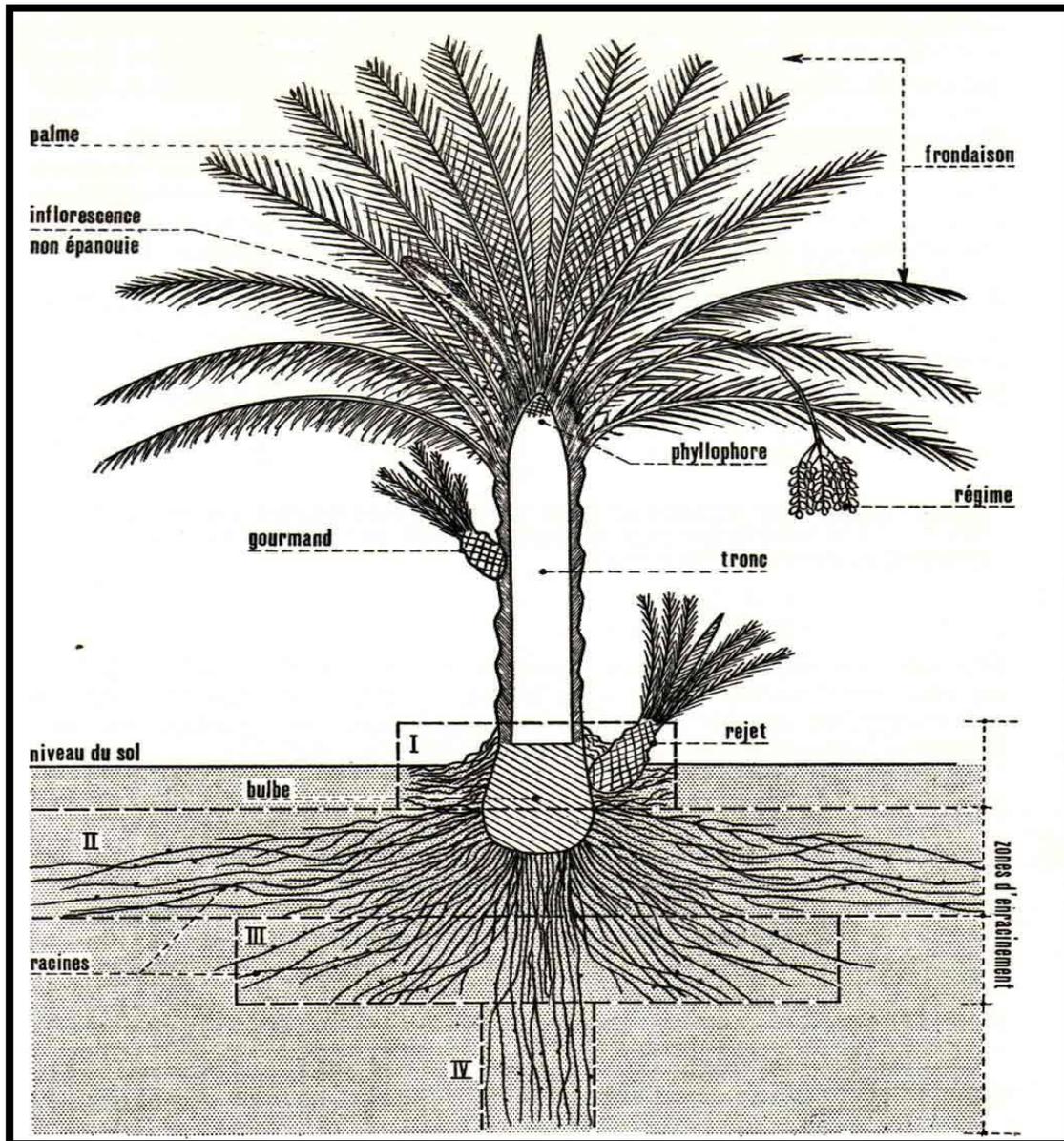


Figure IV.2. Schéma du palmier dattier (DJOUDI, 2013)

3. La datte

La datte est une baie, de forme généralement allongée, oblongue ou ovoïde. Elle est constituée de deux parties (CHNITI, 2015) :

- Une partie non comestible de la datte, formée par la graine ou le noyau, ayant une consistance dure.

- Une partie comestible, dite aussi chaire ou pulpe, comporte une enveloppe fine cellulosique, l'épicarpe. La graine est entourée par une zone interne de teinte plus claire et de texture fibreuse, l'endocarpe, réduite à une membrane parcheminée. Les deux sont séparés par le mésocarpe charnu et fibreux dont la consistance varie selon les variétés, le climat ainsi que la période de maturation

Les dimensions de la datte sont très variables, de 2 à 8 cm de longueur et d'un poids de 2 à 8 grammes selon les variétés. Leur couleur va du blanc jaunâtre au noir en passant par les couleurs ambre, rouge, brune plus ou moins foncées (BOULKOUR, 2012)

3.1. Production de dattes et répartition géographique du palmier dattier

3.1.1. Dans le monde

Le dattier est une espèce xérophile, il ne peut fleurir et fructifier normalement que dans les déserts chauds. Le palmier dattier fait l'objet d'une plantation intensive en Afrique méditerranéenne et au Moyen-Orient. L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes, principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche. Aux Etats-Unis d'Amérique, le palmier dattier fût introduit au XVIIIème siècle. Sa culture n'a débuté réellement que vers les années 1900 avec l'importation de variétés irakiennes. Le palmier dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Australie.

La production mondiale de dattes est d'environ 7 millions de tonnes par année et a plus que doublé depuis les années 1980. Cela place la datte au 5ème rang des fruits les plus produits dans les régions arides et semi- arides. D'après la F.A.O, la production mondiale de dattes est estimée à 7.62 millions de tonnes en 2010 (DJOUDI, 2013).

3.1.2. En Algérie

En Algérie, la production nationale a atteint 387 313 tonnes en 1998 dont 30 à 50% sont constitués de déchets des dattes et de dattes de faible valeur marchande, soit environ 120 000 tonnes qui pourraient être valorisés. Les rebuts de dattes sont disponibles avec un tonnage appréciable estimé à 67 500 tonnes en 2000. En 2006, selon l'Office National des Statistiques (ONS), près de 500 000 tonnes de dattes par an dont 45 000 tonnes étaient des dattes molles destinées à la transformation industrielle (en pâte de dattes, vinaigre de dattes et sirop de dattes générant des déchets (noyaux) (BOUSSENA, 2016).

En général les palmeraies algériennes sont localisées au Nord-Est du Sahara au niveau des oasis. Le palmier dattier est cultivé au niveau de 17 wilayas seulement, pour une superficie de 120830 hectares, cependant 4 wilayas représentent 83,6% du patrimoine phoenicicole national : Biskra 23%, Adrar 22%, El-oued 21% et Ouargla 15% (BEN ABBES, 2011)

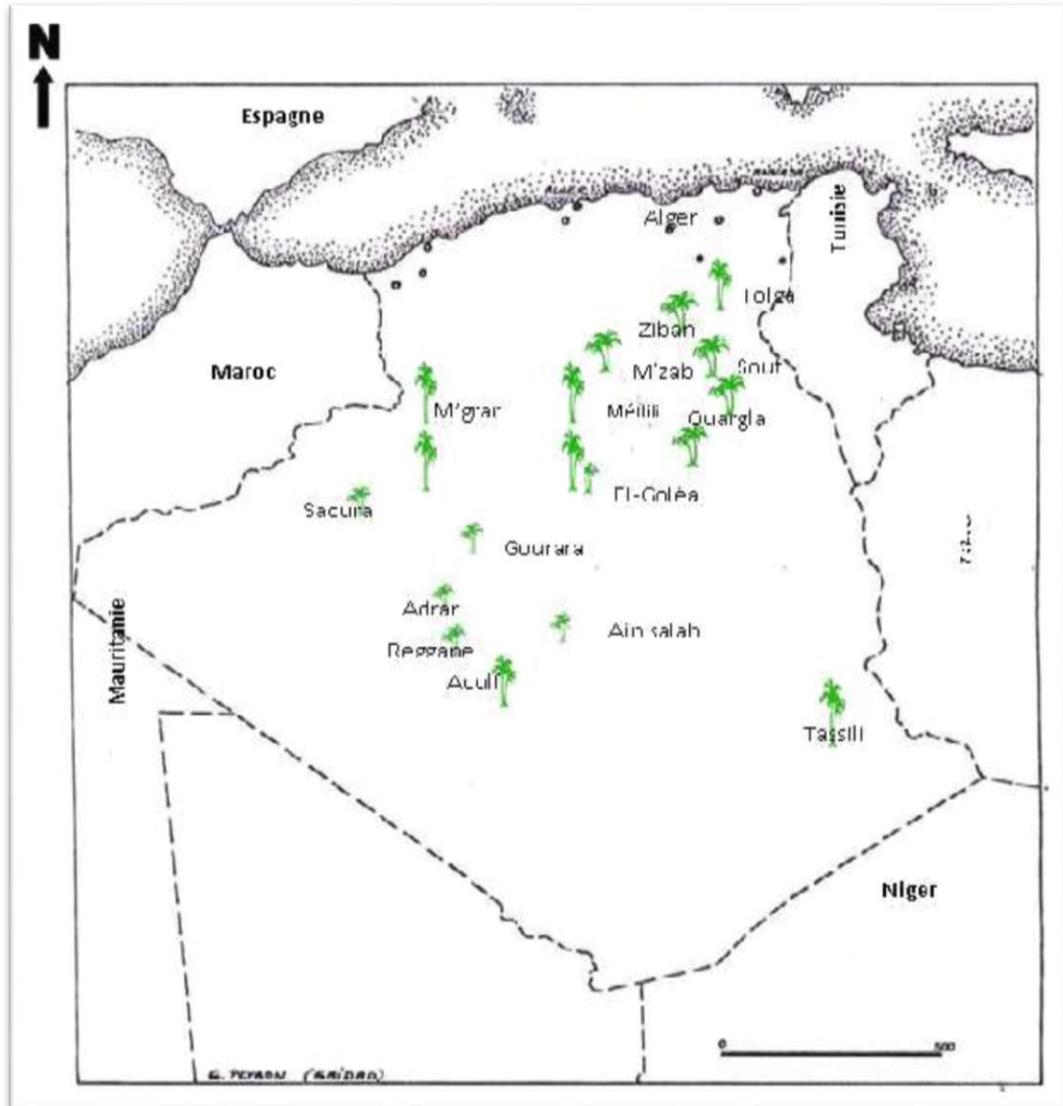


Figure IV. 3. Répartition de la culture du palmier dattier en Algérie
(BENKHALIFA, 1991)

3.1.3. Au niveau d'ADRAR (La région d'étude)

La région d'Adrar produit annuellement un tonnage important tant de dattes, environ 675 mille quintaux par an. Les dattes dites communes présentent une faible valeur marchande par rapport à Deglet-Nour, Degla Beida et Ghars. Elles sont destinées à l'autoconsommation, l'alimentation animale ou à l'échange sous forme de troc vers le Mali et le Niger (BOULAL, 2010).

Le secteur phoénicicole de la région d'Adrar fournit chaque campagne un tonnage très élevé de dattes communes environ 675 milles quintaux, malgré cela la valeur marchandise des dates communes reste faible, avec une quantité très importante exportée vers le Mali et le Niger sous forme de troc. Certaine quantité est consommée localement soit par la population soit sous forme d'alimentation de bétail et une faible quantité commercialisée vers les autres Wilayas (BOULAL, 2017)

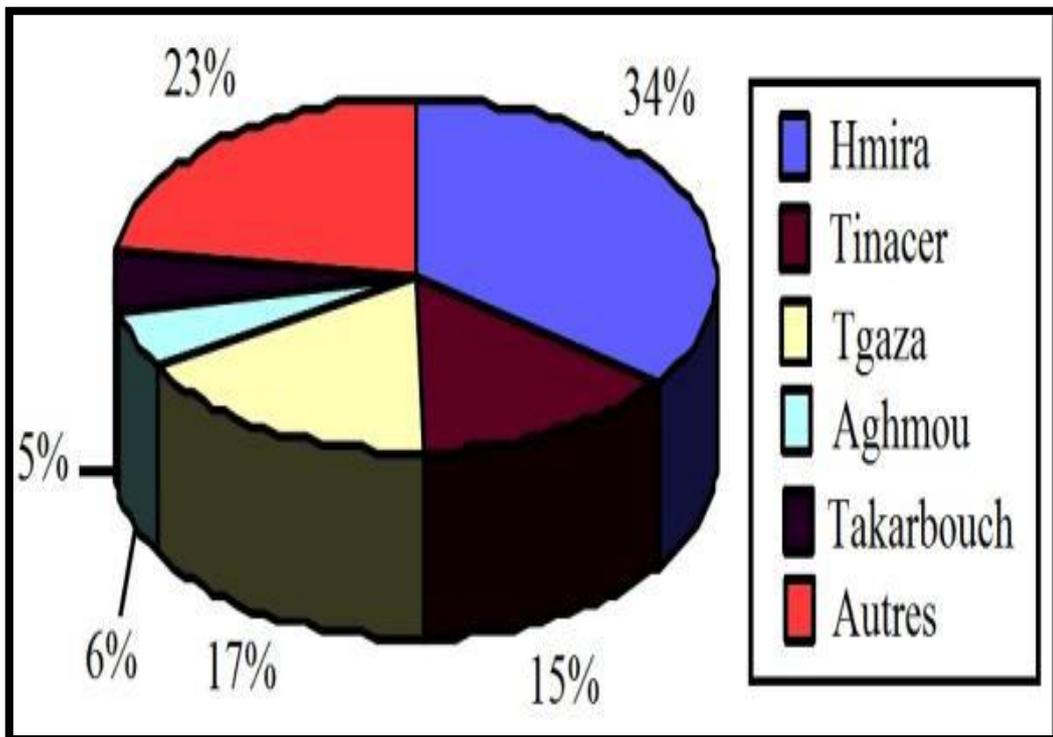


Figure IV.4. Répartition de la production de dattes dans la Wilaya d'Adrar

(BOULAL, 2013)

3.2. Les variétés de dattes

En Algérie les principales variétés cultivées sont représentées par (DJIDEL, 2007) :

- **DegletNour** : qui est la variété de premier choix, elle représente 47% de la production. C'est une datte excellente au goût exquis, très appréciée sur le marché national et international du fait de son aspect de sa saveur de sononctuosité.
- **Les dattes communes** : la production est estimée à 53% représentées par trois variétés : Ghars, Degla Beida et Mech-Degla.
- **Les variétés secondaires** : elles comptent plus de 150 variétés dont la majorité est très peu appréciée. Les plus répandues sont : Hamra, Tinnaceur, Tegaza, Tezerzait, et takerbouchet (qui présente un intérêt par sa résistance au bayouth).

3.3. Classification

La consistance de la datte est variable. Selon cette caractéristique, les dattes sont réparties en trois catégories (BEN ABBES, 2011) :

- **Les dattes molles** : taux d'humidité supérieur ou égal à 30%, elles sont à base de sucres invertis (fructose, glucose) tel que Ghars, Hamraia, Litima.....etc.
- **Les dattes demi-molles** : de 20 à 30% d'humidité, elles occupent une position Intermédiaire à l'exception de la Dégelat-Nour, datte à base de saccharose par excellence.
- **Les dattes sèches** : dures, avec moins de 20% d'humidité, riche en saccharose. Elles ont une texture farineuse telle que Mèche-Degla, Degla Beida.....etc.

4. Noyaux des dattes

Les noyaux des dattes renferment des composants extractibles à valeur ajoutée élevée. Ils sont aussi riches en protéines, fibres alimentaires, composés phénoliques, antioxydants et peuvent être utilisés pour l'amélioration de la valeur nutritionnelle des produits incorporés (KHALI, 2015).

Le poids moyen d'un noyau de datte oscille autour d'un gramme. Il représente 7 à 30% du poids de la datte. Il est constitué d'un albumen corné, de consistance dure et protégé par une enveloppe cellulosique (SEKIRIFA, 2005).

Les noyaux de dattes sont dessous-produits issus de plusieurs procédés de transformation des dattes (dattes dénoyautés, pâte de dattes, sirop de dattes, jus de dattes, ...).

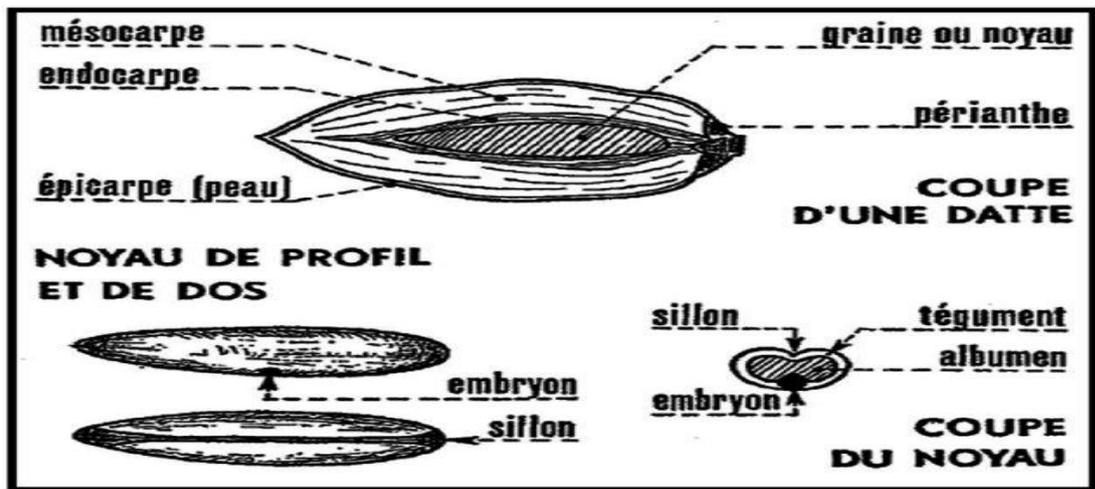


Figure IV.5. Datte et noyau du palmier dattier (MUNIER, 1973)

4.1. Caractérisation physico-chimique et biochimique des noyaux

Le tableau VI. 1 représente la composition biochimique des noyaux des dattes Irakiennes :

Constituants	Teneur (%)
Eau	6.46
Glucides	62.52
Protides	5.22
Lipides	8.49
Celluloses	16.20
Cendre	1.22

Tableau IV. 1. Composition biochimique des noyaux des dattes Irakiennes

(ADRAR, 2016)

4.1.1. Sucres

La teneur en sucres totaux ainsi que la proportion en sucres réducteurs et de saccharose du noyau de dattes varient selon les variétés (BENNAMIA, 2006).

Dans les limites de 4,4 à 4,6 % pour les sucres totaux, et de 2,2 % du poids du noyau en sucres réducteurs (CHAIRA, 2007).

4.1.2. Fibres

Pour l'ensemble des cultivars étudiés par différents auteurs, les noyaux de dattes ont un taux en fibres (brut diétiques) variant de 71-94%. Les valeurs en pectine soluble (0.67%), acide de pectine brute (3.12%), prépectine (1.43%) et la pectine totale (3.21%) sont supérieures à celles de la pulpe de dattes (respectivement : 0.51% ; 2.65% ; 1.02% ; 2.77%) (LECHHEB, 2010)

4.1.3. Composition élémentaire, cendre-humidité :

Le taux de cendre exprimé en (%) est le rapport entre le poids des cendres laissé par la combustion à 820°C, pendant quatre heures, et le poids de l'échantillon sec initial.

La composition en élément principaux ; les taux de cendres et d'humidité des noyaux de dattes sont donnés dans le tableau VI. 2.

Noyaux de dattes	Analyse élémentaire (%)					Cendre	Eau
	C	H	N	S	O	%	%
	42.31	6.73	0.98	0.25	45.54	1.70	12

Tableau VI.2. Analyse élémentaire ; taux de cendres et d'humidité des noyaux de dattes (BOUCHEMAL, 2006).

4.1.4. Composition biochimique de Noyau :

Les travaux de recherche menés sur la composition des noyaux de certaines variétés de date d'Arabie Saoudite ont démontré la présence de protéines, de glucides, de lipides, et de minéraux (K, P, Ca, Na, Fe, Mn, Zn, Cu) (BEN ABBES, 2011).

Eléments minéraux	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Na ⁺	K ⁺	P
Teneur (mg/100g de cendre)	384,6	145,8	2,6	60	2200	649

Tableau IV.3. Composition minérale des noyaux (mg/100g de cendres)

(KEMASSI, 2016)

4.2. Valorisation du noyau de datte

L'intérêt mondial croissant porté à la préservation de l'environnement des déchets solides induits par les différentes activités et transformations humaines a suscité l'attention des industriels à trouver les moyens techniques pour réduire sinon valoriser ces déchets.

4.2.1. Fabrication de charbon actif

Pour le cas des résidus lignocellulosiques noyaux d'olive, de datte, de pêche, les coques d'amandes, etc. les fabricants ont trouvé des applications surtout dans la production de charbons actifs. Ces charbons sont utilisés à leurs tours dans les filières de traitement des eaux, de purification de produits, d'adsorption de gaz, etc...

Les résidus de palmier dattier sont une source attrayante d'énergie de biomasse puisqu'ils sont renouvelables et abondamment disponibles.

4.2.2. Alimentation humaine

Les noyaux de dattes sont des déchets de beaucoup d'usines de transformation de fruits de datte produisant les dattes piquées, poudres de datte, sirop de datte, jus de datte, dattes recouvertes de chocolat et confiserie de datte.

Ces noyaux peuvent être utilisés dans l'alimentation humaine. Après torréfaction, ils peuvent en effet constituer un succédané de café et donne une décoction d'une saveur et d'un arôme agréable. Ils constituent donc un sous-produit des plus intéressants qui ne doit pas être négligé et doit être récupéré au niveau des ateliers de traitement et de conditionnement. Cependant, la valeur peut être ajoutée dans plusieurs produits

alimentaires. Ainsi, les applications potentielles incluent l'extraction de l'huile de la poudre des noyaux ou pour les employer comme fournisseur de diététique-fibre dans des formulations de boulangerie.

4.2.3. Alimentation animale

On augmente la digestibilité des noyaux en les réduisant en farine ou en semoule. Dans certains pays on donne les noyaux à consommer aux animaux après trempage dans l'eau pendant plusieurs jours, ce qui augmente leur digestibilité et leur valeur nutritive, car l'embryon contient une diastase, la cylase, qui transforme la cellulose en dextrose lors de la germination. Cette transformation peut être aussi effectuée à la chaleur sous l'action d'un acide. Il est surtout utilisé comme provende pour les animaux, sa saveur fourragère équivaut à celle de kilogramme d'orge.

Actuellement, les noyaux sont employés principalement pour l'alimentation des animaux dans les industries de fabrication d'aliments de bétail et de volaille.

4.2.4. Usages pharmaceutiques

Les extraits des noyaux de datte ont l'aptitude de reconstituer les fonctions normales des foies empoisonnés. Ils les protègent également contre l'hépatotoxicité (ADRAR, 2016).

Deuxième Partie

Chapitre V

Partie expérimentale



1. Introduction

Il est conseillé de purifier l'eau du robinet pour consommer une eau pure au quotidien. En effet, l'eau que nous consommons chaque jour a un impact important sur notre vitalité. Le charbon actif permettant de purifier l'eau du robinet facilement et à moindre coût. Faisons appel de cette méthode utilisée depuis plusieurs siècles pour purifier l'eau, mais cette fois en utilisant les noyaux de dattes provenant de la wilaya d'Adrar.

2. Préparation des noyaux des dattes

Les échantillons de noyaux de dattes sont préparés de la façon suivante :

La matière végétale est lavée avec de l'eau distillée puis laissé sécher à l'air libre pendant 24 heures. Une fois nettoyé et lavé, on laisse le matériau sécher dans l'étuve à 110°C pendant 24 heures. Ensuite les noyaux sont moulus et tamisés pour obtenir une dimension finale entre 0.5 et 1mm. On obtient une matière sèche, d'une couleur marron clair homogène.



Figure V.1.Noyaux de datte Degla Beida (A) et (B) leur broyat

(BOUDEBZA, 2018)

3. Préparation et activation chimique du charbon actif

Selon nos recherches, nous avons trouvé plusieurs façons d'activer le charbon actif et avons choisi la méthode la plus populaire et la plus efficace.

Les broyats obtenus ont été imprégnée dans une solution d'acide orthophosphorique à 10% pendant 24 heures suivies d'un séchage à l'étuve à 105°C durant 24h. Une fois séché, les matériaux ont subi une pyrolyse à 400°C et 600 °C dans un four à moufle, respectivement pendant 3 heures 30 minutes et 3 heures 50 minutes. Après calcination, les charbons obtenus ont été refroidis et rincés plusieurs fois avec de l'eau distillée jusqu'à

l'obtention d'une eau de rinçage de pH compris entre 6 et 7 puis séché à nouveau à l'étuve à 105°C durant 24h([LEONCE, 2019](#))

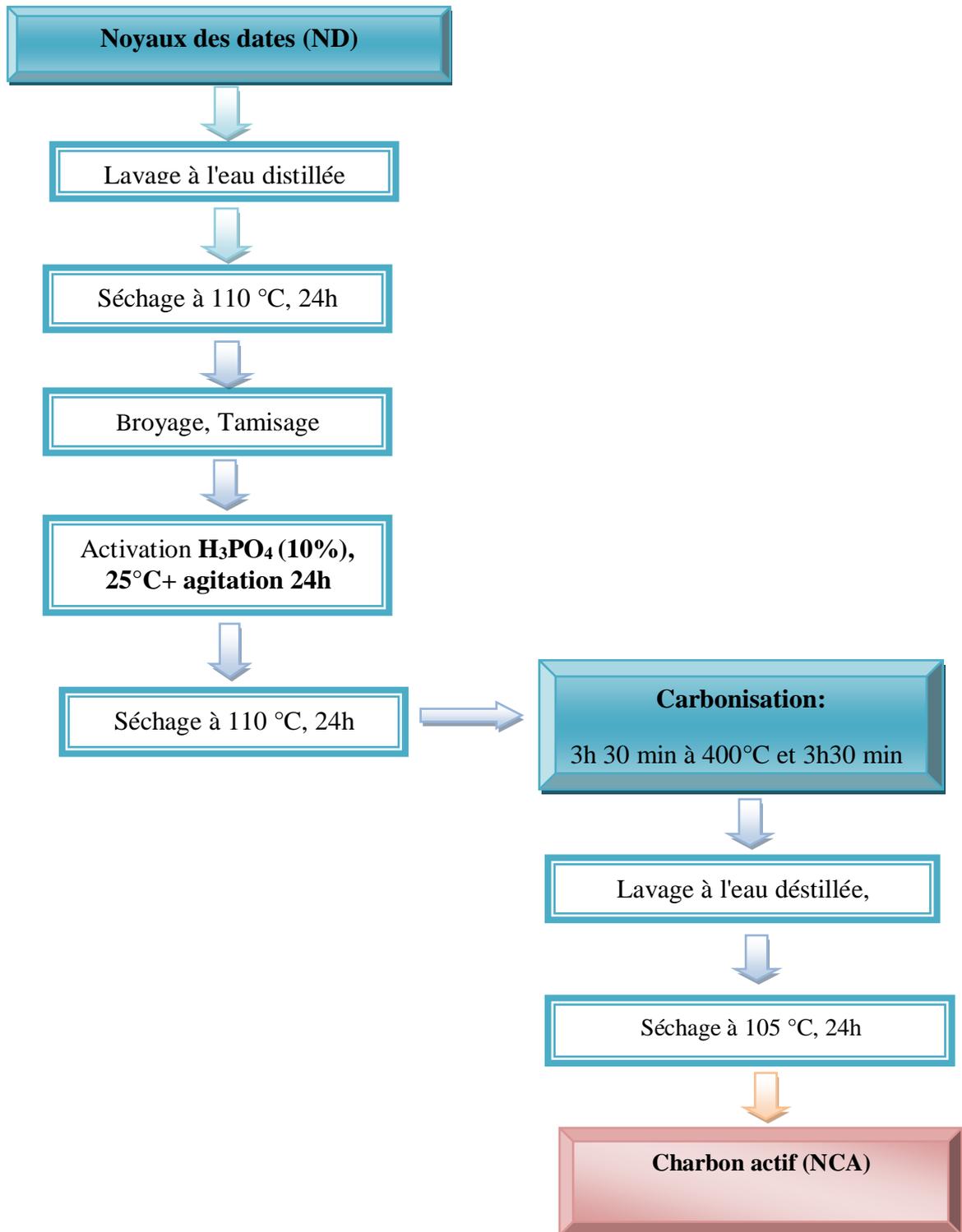


Figure V.2. Mode opératoire pour la préparation de charbon actif

4. Caractérisation de charbon actif

Les paramètres visés par cette étude sont : le rendement, le degré d'activation, le taux de cendre, l'humidité, le pH après la fabrication et le lavage du charbon.

4.1. Le rendement massique du charbon actif

Peut être défini comme le rapport de masse de charbon actif produit après activation à la masse de la matière première utilisée avant activation (SEDIRA, 2013).

Il est calculé par la relation suivante :

$$r = \frac{M_f}{M_i} \times 100$$

Où :

r : rendement massique (%)

M_f : La masse (en gramme) des charbons

M_i : masse (g) de la biomasse avant la carbonisation

4.2. Degré d'activation

Le rendement est une caractéristique quantitative importante pour les charbons actifs. Elle traduit la perte de masse lors de la pyrolyse. Cette perte de masse indique le degré d'activation habituellement appelé burn-off (FERNANDEZ, 2002). L'expression est donnée par la formule suivante :

$$D(\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Où :

D : Le degré d'activation (%)

M_f : La masse (en gramme) des charbons

M_i : masse (g) de la biomasse avant la carbonisation

4.3. La teneur en humidité

Le taux d'humidité est un rapport exprimé en pourcentage, il est déterminé par le séchage de l'adsorbant dans une étuve (BENAMRAOUI, 2014)

- On met 0.5 g de charbon actif dans un creuset en céramique et on le pèse.
- On le sèche dans une étuve à 110°C jusqu'à ce que son poids reste constant.
- A sa sortie de l'étuve on le refroidit à température ambiante puis on le repese. Le taux d'humidité (% H) peut être calculé par la formule suivante :

$$H = \frac{M1 - M2}{M3}$$

Où :

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

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

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



Figure V.3. Matériel utilisé pour la détermination du taux d'humidité

4.4. La teneur de cendre

La teneur en cendres d'un carbone est le résidu qui subsiste lorsque les matériaux carbonés sont brûlés. Comme le charbon actif contient des constituants inorganiques dérivés des matières premières et les agents d'activation ajoutés pendant la fabrication, la quantité totale des constituants inorganiques varie d'une teneur de carbone à l'autre. Le matériau inorganique contenu dans le charbon actif est mesuré en tant que teneur en cendres, généralement entre 2% et 10% (NURUL'AIN, 2007).

Le taux de cendre a été calculé par la formule suivante :

$$C \% = \frac{M3 - M2}{M1} \times 100$$

Où :

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

M2: La masse du creuset avant carbonisation en (g).

M3: La masse du creuset rempli après carbonisation en (g).

4.5. L'indice d'iode

Il est définie par la quantité en milligramme d'iode adsorbée par gramme de charbon actif dans une solution aqueuse quand la normalité résiduelle d'iode est 0,02N (CHAHMI, 2017).

Selon benamraoui2014 cette méthode:

- On met 10 ml d'une solution d'iode 0.1N dans un erlenmyer
- On dose par une solution de thiosulfate de sodium 0.1N, en présence de quelques gouttes d'une solution d'empois d'amidon comme indicateur jusqu'à la disparition de la couleur.
- On ajoute 0.05g du charbon actif à un erlenmyer qui contient 15ml d'une solution d'iode 0.1N avec agitation pendant 4 min.
- On filtre et on dose l'iode de 10ml de filtrat par la solution de thiosulfate de sodium 0.1N en présence de deux gouttes d'une solution d'amidon.

L'indice d'iode peut être calculé par la formule suivante :

$$I_d = \frac{(V_b - V_s) \cdot N \cdot (126.9) \cdot \left(\frac{15}{10}\right)}{M}$$

Où :

$(V_b - V_s)$: différence des résultats du titrage à l'essai à blanc et à l'essai avec adsorbant en (ml de thiosulfate de sodium 0.1N).

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

126.9 : la masse atomique d'iode.

M : la masse de l'adsorbant en (g).

4.6. Analyse de la surface des adsorbants par spectroscopie infrarouge

La spectroscopie est une technique importante utilisée pour l'identification des groupes fonctionnels caractéristiques de la surface de l'adsorbant (HAMEED, 2010)

La spectroscopie IR se fonde sur les interactions des radiations électromagnétiques avec les molécules ou les atomes. Les pics observés correspondent à des énergies absorbées pour des liaisons atomiques dont l'énergie varie suivant l'environnement. L'identification de ces bandes d'absorption permet d'obtenir les fonctions chimiques présentes dans le produit analysé (BELAID, 2015)

5. Résultats et discussions :

En fait, nous ne possédons aucun résultat car nous n'avons pas été en mesure d'atteindre le côté pratique. Mais nous pouvons discuter nos objectifs.

Après avoir préparé un charbon à partir de noyaux de dattes par le procédé de carbonisation, dans les conditions optimales avec une capacité d'adsorption maximale. Notre prochain objectif est l'application du charbon actif à l'eau de robinet.

Le principe est simple, pour utiliser le charbon actif comme filtre pour l'eau du robinet, il suffit de le plonger dans un flacon d'eau, il va capturer les résidus organiques et chimiques et donc purifier l'eau (Figure V.4).



Figure V.4. Utilisation du charbon actif comme filtre de l'eau de robinet

(ENTREPRISE ORINKO)

Sur le plan chimique, le charbon actif est un filtre très efficace. Il filtre totalement ou en quasi-totalité les métaux lourds et les résidus chimiques. Donc Il adoucit l'eau potable et élimine tous mauvais goût.

Par contre, le charbon actif ne filtre pas les sels, les substances inorganiques dissoutes et les minéraux qui nous sont bénéfiques.

La durée de vie exacte du charbon actif est en fonction de la qualité de l'eau qu'il filtre. Plus elle est polluée, plus sa durée de vie est courte. Mais on peut toujours l'utiliser

comme engrais naturel ou encore comme réducteur d'humidité ou désodorisant (Figure V.5)



Figure V.5. La réutilisation du charbon actif après une longue durée de filtration (ENTREPRISE ORINKO)

Conclusion et perspectives

À l'heure actuelle, l'écologie prend de plus en plus de place dans le mode de vie. En fait, le charbon actif est une alternative totalement écologique et naturelle aux traditionnelles bouteilles d'eau (au revoir gaspillage) qui permet d'épurer l'eau provenant du robinet, dont on a tendance à se méfier.

Le charbon actif est une méthode de filtration avérée et très développée. "Les propriétés du charbon actif sont bien connues pour l'élimination du chlore et de certains micropolluants organiques, À ce titre il est régulièrement utilisé, en grain ou en poudre, dans de nombreuses usines de traitement d'eau potable, en particulier pour éliminer les pesticides.

Le charbon, naturel et biodégradable, est devenu un nouvel or noir : produits de beauté - masques, dentifrices, shampoings, savons, brosse-à-dents, etc. - jus détox, cocktails, déshumidificateurs, désodorisants...

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail de recherche dont l'objectif général est l'utilisation du charbon actif issu des noyaux de dattes pour l'élimination de polluants contenu dans les eaux.

D'abord nous devons suivre le procédé de carbonisation des noyaux de dattes après optimisation des conditions opératoires, qui permet d'augmenter considérablement le pouvoir adsorbant.

Nous devons ensuite étudier l'adsorption de quelques polluants sur les noyaux carbonisés pour pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux obtenus par le charbon actif commercial.

Enfin, après avoir optimiser les bonnes conditions, nous recherchons une forme adaptée qui nous permette d'immerger le charbon actif dans l'eau potable. L'idée était soit qu'on laisse les noyaux dans leur forme naturelle sans les écraser (noyaux entiers) et de les plonger dans l'eau après leurs calcinations ; soit de les broyer et de les mettre dans des sacs alimentaires pour les immerger dans l'eau.

Conclusion Générale

Avec ce travail, nous avons mis en évidence un déchet végétal, non coûteux et disponible dans la région qui peut être exploitée comme adsorbants pour adoucir l'eau potable et se débarrasser de tout mauvais goût.

Ce mémoire quoiqu'il soit théorique, il est un document plein d'idées et de techniques pour obtenir les meilleurs résultats. Il est prêt à être mis en œuvre et il pourra faire l'objet d'une thèse de doctorat.

Références

A

- ◆ **ABDELLAHI ELY.** 2010. **Synthèse et propriétés de biosorbants à base d'argiles encapsulées dans des alginates : application au traitement des eaux.** Thèse de doctorat. Université de Limoges. 156p.
- ◆ **ABOUZLAM M.** 2014. **Optimisation d'un procédé de traitement des eaux par ozonation catalytique.** Thèse de doctorat, Université de Poitiers. 167p.
- ◆ **ADRAR I.**2016.**Utilisation des noyaux de dates pour l'élimination de l'ion Fe²⁺ en solution aqueuse.**Mémoire de Magister. Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou. 102p.
- ◆ **AGA S.**2015. **Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de quelques colorants textiles par des résidus issus de l'industrie agroalimentaire.** Mémoire de magister. Université Ferhat Abbas Setif1.
- ◆ **ARRIS S.**2008.**Etude Expérimentale de l'Elimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales.** Thèse doctorat. Université de Constantine.
- ◆ **AYECHE R.**2013.**Valorisation de la chaux résiduaire, sous-produit de la fabrication d'acétylène, dans le traitement des eaux.** Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar. Annaba.
- ◆ **AYRAL C.** 2009.**Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif.**Thèse de doctorat, université de Toulouse.

B

- ◆ **BAHMED L, DJEBABRA M, ABIBSI A.**2004. **Démarche d'intégration du concept qualité – sécurité– environnement aux system d'alimentation en eau potable.** Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03, pp.115-128.
- ◆ **BAKIRI Z.**2007. **Traitement des eaux usées par des procédésbiologiques classiques : expérimentation et modélisation, mémoire de magister.** Université Ferhat Abbas-Sétif.118p.

- ◆ **BAKOUAN C.** 2018. **Caractérisation de quelques sites latéritiques du Burkina Faso : application à l'élimination de l'arsenic (III) et (V) dans les eaux souterraines.** Thèse de l'Université Ouaga I Pr JKZ (Burkina Faso) et de l'Université de Mons (Belgique), 241p.
- ◆ **BECHKI M K.** 2018.**Préparation et caractérisation du charbon actif à partir des noyaux du palmier dattier et des coquilles des noix,** thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah Ouargla. 134p.
- ◆ **BELAID K D, KACHA S.** 2012. **Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois.** Revue des Sciences de l'eau 24(2): 131- 144.
- ◆ **BELKOCEIR K KH.**2019. **Optimisation par le plan factoriel complet de la préparation d'un charbon actif.** Mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badiss. Mostaganem. 33p.
- ◆ **BENAMRAOUI F.**2014. **Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture.** Mémoire de magister. Université Ferhat Abbas setif1. 103p.
- ◆ **BEN ABBES F.**2011. **Etude de quelques propriétés chimiques et biologiques d'extraits de dattes « Phoenix dactylifera L ».** Mémoire de magister. Université Ferhat Abbas Sétif.
- ◆ **BENKHALIFA K.**1991. **Introduction à l'étude de la bio-écologie de l'Apatemonochus (Bostrychidae) avec une proposition d'un programme de lutte.** Méming. ITASOuargla.
- ◆ **BENHAMED I.**2015.**Amélioration par ajout d'un métal de transition de la régénération in situ d'un charbon actif par oxydation catalytique.** Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
- ◆ **BOUACHERINE S.**2012.**Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée.** Mémoire magister. Université Mohamed Chérif Messaadia –Souk-Ahras.
- ◆ **BOUCHAMAL N.** 2006.**Préparation de charbons actifs a partir de noyaux de dattes caractérisation et application a l'adsorption en milieu aqueux de deux colorants.** Mémoire de magister. Université Houari Boumediene.

- ◆ **BOUCHELKIA N.** 2015. **Etude de l'élimination du Plomb, du Zinc et du cadmium par adsorption sur un charbon actif préparé à base des noyaux de jujube.** Mémoire de Magister. Université A.mira-Bejaia.
- ◆ **BOUDEBZA Y, OUCHTATI N.**2018. **Valorisation des noyaux de datte dans la fabrication d'un café décaféiné.** Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- ◆ **BOULAL A, BENBRAHIM Z, BENALI B, LADJEL S.**2013. **Etude comparative de rendement de la production d'éthanol de deux variétés de dattes communes de faible valeur commerciale (Tinaceur et Aghmou) de Sud-Ouest de l'Algérie.** Rev. Energ. Renouvelables 16 (3), 539-550.
- ◆ **BOULAL, BENALI B, MOULAI M, TOUZI A.**2010. **Transformation des Déchets des Dattes de la Région d'Adrar en Bioéthanol,** Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, B.P. 478.
- ◆ **BOULAL A.**2017. **Contribution a l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles btana, et valorisation des dattes de faible valeur marchande.** Thèse de doctorat. Université d'Oran 1 Ahmed ben Bella.
- ◆ **BOULKRAH H,** 2008, **Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbant.** Mémoire de Magister. L'université du 20 août 1955. SKIKDA.
- ◆ **BOULKOUR A.**2012. **Dattes des villes côtières, cas de la ville de Jijel : qualité et valorisation.** Mémoire de magistère. Université Ziane Achour –Djelfa.
- ◆ **BOUSSENA Z, KHALI M.** **Extraction et composition chimique d'huile de noyaux de dattes algériennes,** Université de Blida.

C

- ◆ **CELERIER J.L ; FABY J.A.** 2002. **La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux.** Office International de l'Eau SNIDE, document technique FNDAE hors-série N°12. 98p
- ◆ **CHADEN M H.** 2014. **Évaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : approches hydrogéochimiques.** Thèse de doctorat. Université de Lorraine.

- ◆ **CHAHMI GHEIDENE S et TIGHEZI Kh.** 2017. **Traitement des eaux par l'utilisation des gousses de la plante Moringa Oléifera.** Mémoire de master, université d'adar.
- ◆ **CHAOUCH N.**2014.**Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées.** Thèse de doctorat. Université de hadj lakhdar Batna.
- ◆ **CHEMRAK M A.**2018.**Elimination du mercure en phase aqueuse et en phase gazeuse par un nouvel adsorbant activé.** Thèse de doctorat. Université Abdelhamid ibn Badiss de Mostaganem.
- ◆ **CHIKHI Kh.**2013. **Adsorption du zinc sur la bentonite de Maghnia.** Mémoire de master.
- ◆ **CHOCAT B.**2015.**L'eau du robinet est-elle différente de l'eau en bouteille** Document rédigé par Bernard Chocat (LGCIE – INSA Lyon) Relecteurs : Yves Levi. Université Paris Sud. Elodie Brelot (GRAIE).14pages
- ◆ **CHOUFA N.**2013. **Epuration des eaux usées : l'élimination des micropolluants dans les eaux usees par un matériau argileux.** Mémoire de magister. Université Mohammed Cherif Messaadia Souk Ahras.
- ◆ **CULLIGAN France.****L'EAU DE BOISSON. Qu'est-ce qu'une eau potable ?** Site :<https://www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-l-eau-potable,23,21--14/10/2020>). (Consulté le 20/09/2020).

D

- ◆ **DBIK A, N. EL MESSAOUDI ET LACHERAI A.**2014. **Valorisation du bois des noyaux des dattes d'une variété de palmier de la région de tinghir (maroc): application à l'élimination de bleu de méthylène (valorisation of wood dates stones of a variety of palm tree of tinghirregion (morocco): application to eliminate méthylène blue).** J. mater. environ. sci. 5 (s2) (2014) 2510-2514.
- ◆ **DEGREMONT.**2005.**Mémento technique de l'eau.** Deuxième édition Tom1.
- ◆ **DJIDEL A.**2007.**Production d'acide lactique par Lactobacillus casei subsp. rhamnosus sur jus de datte : Cinétique et optimisation en cultures discontinues, semi-continues et continues.** Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de lorraine.

- ◆ **DJIDEL T.**2011. **Étude de la préparation d'un charbon actif à partir des grains d'olives et application sur des rejets industriels.** Mémoire de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Med-Boudiaf d'Oran.
- ◆ **DJERBI M.**1994. **Précis de phoéniculture.** Ed. FAO, 192 p.
- ◆ **DJOUDI I.** 2013. **Contribution à l'identification et à la caractérisation de quelques accessions du palmier dattier (Phoenix Dactylifera) dans la région de Biskra.** Mémoire de magister. Université Mohamed Kheider Biskra.
- ◆ **DESOTEC Charbon Actif.** Un développeur, producteur et fournisseur international de solutions de purification principalement basées sur la technologie du charbon actif. Fondé 1990. <https://www.desotec.com/fr>. [Visité le 19/05/2020].
- ◆ **Dupont A.**1981. **Hydrologie-captage et traitement des eaux.** Hydraulique, tome 1, Ed 5, paris.

E

- ◆ **ERAIS A.**2011.**Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques.** Université de Strasbourg.
- ◆ **ORINKO Entreprise.** Le lien : <https://orinko.org/binchotan/> (Consulté le 19/10/2020)

F

- ◆ **FERHAT M.**2012.**co-adsorption des métaux lourds sur la bentonite modifiée en présence de flocculant minéral et biologique.** Mémoire de magister. Université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- ◆ **FERNANDEZ-IBAÑEZ E.**2002.**Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux durs et mous.** Institut de Chimie. Faculté des Sciences. Université de Neuchâtel. 147p.

G

- ◆ **GHERBI N.**2008. **Étude expérimentale et identification du processus de rétention des cations métalliques par des matériaux naturels.** Thèse de doctorat.
- ◆ **GREGORIO C, PIERRE-MARIE B.**2007. **Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique presses.** Université Franche-Comté.

- ◆ **GUERGOUR S.**2014. **Élimination des polluants organiques contenus dans les eaux usées par électro-fenton, images culturelles de l'abondance de l'eau.** Mémoire de magister. Université Ferhat Abbas-Sétif.117page

H

- ◆ **HADOUN H.**2010.**préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de tige de datte : application au traitement d'un effluent contaminé par le Cadium.** Mémoire de magister.Université houari Boumediene.
- ◆ **HAMEED B H.**2010. **Evaluation of papaya seed as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue,** J. hazard. mater. 162. 939-994.

J

- ◆ **JOHN L.**2001.**Analyse physico-chimique des catalyseurs industriels : manuel pratique de caractérisation.** Editions TECHNIP. 313p.
- ◆ **JULIEN O.**2010. **Lydie Chesaux. Évaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines.** Ecole Polytechnique, Lausanne.
- ◆ **JULIEN R** 2010. **Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone. Application au traitement d'effluents aqueux industriels.** Thèse de doctorat. Université de Toulouse.

K

- ◆ **KHALI M, BOUSSENA Z, BOUTEKRABTBL.**2015. **Effet de l'incorporation de noyaux de dattes sur les caractéristiques technologiques et fonctionnelles de la farine de blé tendre.**
- ◆ **KHELIFI O.**2018. **Etude de l'adsorption du nickel et du cuivre sur un charbon actif préparé à partir des boues de station d'épuration.** Thèse de doctorat. Université 8 Mai 1945 Guelma.149p.
- ◆ **KOUADIO D.**2016. **Elimination de l'orange de méthyle dans l'eau par adsorption sur charbon actif préparé à partir de graines de palmiste.** Université Nangui Abrogoua. Côte d'Ivoire.

L

- ◆ **LAURE M.** 2004. **Etude d'un procédé d'imprégnation de fibres de carbone actives Modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène.** Manuscrite de thèse. L'école nationale supérieure des mines de saint Étienne et de l'université Jean Monnet.
- ◆ **LEONCE D K, CHANTAL L, DIARRA M, KOUYATE A.** 2019. **Préparation et caractérisation de charbon actif issu de la coque de cacao.** 2019. Int. J. Adv. Res. 7(6), 920-930.
- ◆ **LOWELL S, SHIELDS J, THOMAS M, THOMMES M.** 2004. **Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area, Pore Size and Density.** Springer Netherlands.
- ◆ **LU J.** 2015. **Étude comparative sur les charbons actifs.** Synthèse technique. Office international de l'eau snide.

M

- ◆ **MAALEJ T.** 2010. **Caractérisation d'une source de polluant en aéraulique à partir d'inversion de mesures de concentration.** Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- ◆ **MARZOUK TRIFI I.** 2012. **Etude de l'élimination du chrome (VI) par adsorption sur l'alumine activée et par dialyse ionique croisée.** Thèse de Doctorat. Université de Tunis El-Manar. 170p.
- ◆ **MASMOUDI R.** 2009. **Étude de la fiabilité des systèmes de distribution d'eau potable en zones arides cas de la région de Biskra.** Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider. Biskra. 183p.
- ◆ **MASMOUDI T.** 2014. **Etude de l'incidence de la présence simultanée de la cytosine et de la caféine au cours de la chloration et de l'adsorption sur charbon actif des substances humiques en eaux minéralisées.** Mémoire de Magister. Université Mohamed Khider. Biskra. 159p.
- ◆ **MUNIER P.** 1973. **Le palmier dattier.** Ed. Maisonneuve et Larousse. Paris. 221p.

N

- ◆ **NAIT MERZOUG N.**2014.**Application des tiges de dates dans l'adsorption de polluants organiques.**Mémoire de magister. Université Mohamed Chérif Messaadia. Souk-Ahras.
- ◆ **NASER I. FARUQUI, ASIT K. BISWAS ET MURAD J. BINO.**2001.**La gestion de l'eau selon l'islam.** United Nations University. Les Éditions Karthala. France.
- ◆ **NASRI B, BENATIALLAH A, KALLOUM S, BENHAMZA M.** 2018. **Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la région de kenadsa et Galbelaouda (sud - ouest de l'Algérie).** ALJEST, Vol 4, No 1.
- ◆ **NORDINE N.** 2018.**Etude expérimentale du potentiel d'adsorption de polluants métalliques sur la sciure de bois brute et modifiée. Analyse cinétique et thermodynamique.** Thèse. Université Djilali liabes. Bel abbés
- ◆ **NOUACER S.**2015. **Application des tiges de dattes dans l'adsorption de métaux toxiques de l'eau,** thèse de Doctorat.
- ◆ **NURL'AIN BINIT J.** 2007. **The production and characterization of actived carbon using local agricultural waste through chemical activation process.** Mémoire de master, 106 p.
- ◆ **N'GUESSAN J K.** 2010.**Etude expérimentale et modélisation d'un procédé sequential ad-ox d'élimination de polluants organiques.** Thèse. L'université de Toulouse.

O

- ◆ **OUAHRANI H.** 2012. **Suivie de la stabilité des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau.** Université de Bejaia.
- ◆ **OUBAGHA N.**2011. **Décontamination des eaux contenant les colorants textile et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique.** Diplôme de Magister. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.
- ◆ **ODOULAMI L.** 2009.**La problématique de l'eau potable et la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Bénin).** Thèse de Doctorat, l'Université d'Abomey-Calavi.

P

- ◆ **PASQUINI L.** 2013. **Micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir stations d'épuration.** Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 213 p.

R

- ◆ **RANSOM B, SHEA K F, BURKETT P. J, BENNETT R H. ET BAERWALD R.** 1998. **Comparison of pelagic and nepheloid layer marine snow: implications for carbon cycling,** Marine Geology 150 DESJARDINS.
- ◆ **REFFAS A.** 2010. **Etude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café.** Thèse de doctorat. Université de Mentouri. Constantine.
- ◆ **RODRÍGUEZ-REINOSO F, MOLINA-SABIO M.** 1998. **Textural and chemical characterization of micro porous carbons.** Advances in Colloid and Interface Science, 76-77, p. 271-294.

S

- ◆ **SEDIRA N.** 2013. **Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes.** Mémoire de magister. Université Mohamed Chérif Messaadia Souk-Ahras.
- ◆ **SEKIRIFA M.** 2013. **Étude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux.** Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar. Annaba.
- ◆ **EKIRIFA M, HADJ-MAHAMME.M.** 2005. **Eude comparative de la capacité adsorbant d'un charbon active issu de noyaux de dates et un charbon actif commercial.** B – N°23. pp. 55-59.
- ◆ **SOME S E.** 2010. **Synthèse et caractérisation des charbons actifs a propriétés antiseptique – tests sur des cultures de bactéries.** Mémoire de master. Institute international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement. Ouagadougou, Burkina Faso. 57p

T

- ◆ **TARDATH H, BEAUDRY J P.**1984. **Chimie des eaux, les griffons d'argile.**Ed Broché.France. 537p

Z

- ◆ **ZIATI M.**2012.**Adsorption et électrosorption de l'arsenic (III) sur charbon à base de noyaux de dattes actives thermiquement et chimiquement.** Thèse de doctorat. UniversitéBadji Mokhtar. Annaba. 136p.