

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERRI DE TIZI-OUZOU**  
**FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION**  
**DEPARTEMENT DE GENIE-MECANIQUE**



# Mémoire de fin d'étude

*En vue de l'obtention du diplôme de master en génie mécanique*

*Option : Froid Chauffage et Climatisation*

## Thème

*Etude et réalisation d'un four à  
grignons d'olives*

**Travail Proposé par :**

**MR.MAKHLOUF**

**Réalisé par :**

**MR.SAGHI YACINE**

**MR.HENNOUS SAÏD**

# Nomenclature

## Caractères latins

Caractères	Signification	Unités
<b>m</b>	Masse	<b>Kg</b>
<b>T</b>	Température	°C
<b>v</b>	vitesse de séchage	<b>kg d'eau / kg Ms .h</b>
<b>X</b>	teneur en eau	<b>k<sub>e</sub>/k<sub>s</sub></b>
<b>A et K</b>	Constantes propres aux produits	
<b>ṁ</b>	Débit	<b>kg/s</b>
<b>Q̇</b>	Quantité de chaleur	<b>J</b>
<b>J<sub>e</sub></b>	La densité de flux d'évaporation	<b>k<sub>e</sub>/s.m<sup>2</sup></b>
<b>V</b>	volume de la tranche	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>ρ<sub>s</sub></b>	La masse volumique de la matière sèche	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>A</b>	<i>Surface d'échange par unité de longueur</i>	<b>m<sup>2</sup></b>
	<i>Coefficient d'échange thermique</i>	
<b>C<sub>e</sub></b>	la chaleur massique de l'eau	<b>kJ/kg.K</b>
<b>L<sub>v</sub></b>	<i>Chaleur latente de vaporisation</i>	<b>J/kg</b>
<b>Δ</b>	Différence de température	°C
<b>w</b>	Humidité absolue de l'air saturé	<b>g/m<sup>3</sup></b>
<b>LUT</b>	longueur d'unité de transfert	
<b>NUT</b>	nombre d'unité de transfert	
<b>C<sub>P</sub></b>	Capacité calorifique massique à pression constante de l'air asséchant	<b>J / kg, K</b>
<b>r</b>	L'humidité absolue	<b>k<sub>de</sub> /k<sub>da</sub></b>
<b>Q<sub>ap</sub></b>	chaleur d'appoint	
<b>E</b>	l'efficacité thermique du séchoir	
<b>Q<sub>rc</sub></b>	chaleur recyclée (recyclage de l'air asséchant)	
<b>P<sub>e</sub></b>	puissance électrique	
	chaleur d'appoint	
<b>S<sub>s</sub></b>	La surface spécifique	<b>m<sup>2</sup>/g</b>
<b>P</b>	La porosité	
<b>da</b>	la densité apparente	<b>kg/m<sup>3</sup></b>

# Nomenclature

## Abréviations et indices

	<b>Signification</b>
<b>Pa</b>	Paraffine
<b>MS</b>	Matière sèche
<b>MCP</b>	Matériau à changement de phase
<b>CAG</b>	Charbon actif en grain
<b>CAE</b>	Charbon actif extrudé
<b>CAP</b>	Charbon actif en poudre
<b>CU</b>	Coefficient d'uniformité
<b>PCI</b>	Pouvoir Calorifique Inférieur
<b>VF</b>	Le débit volumique des fumées
<b>TF(t)</b>	La température des fumées à l'instant t

## Liste des figures

<b>Chapitre I</b>		<b>Numéro de pages</b>
<b>Figure. I.1</b>	<b>Grignon d'olives</b>	<b>3</b>
<b>Figure. I.2</b>	<b>système d'extraction discontinu</b>	<b>5</b>
<b>Figure. I.3</b>	<b>système d'extraction continu</b>	<b>6</b>
<b>Figure I.4</b>	<b>Structure chimique de la cellulose (Jean-Blain, 2002)</b>	<b>7</b>
<b>Figure I.5</b>	<b>Structure chimique du xylan (A) et glucomannane (B)</b>	<b>8</b>
<b>Figure I.6</b>	<b>Structures de la lignine</b>	<b>9</b>
<b>Figure I.7</b>	<b>Principaux constituants de la lignine</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre II</b>		
<b>Figure II.1</b>	<b>transfert de masse</b>	<b>12</b>
<b>Figure II.2</b>	<b>transfert d'énergie thermique</b>	<b>12</b>
<b>Figure II.3</b>	<b>Allure de séchage en fonction du temps</b>	<b>14</b>
<b>Figure II.4</b>	<b>Transfert entre l'air et la surface du produit</b>	<b>16</b>
<b>Figure II.5</b>	<b>diagramme de l'air humide</b>	<b>18</b>
<b>Figure II.6</b>	<b>diagramme de l'air humide</b>	<b>22</b>
<b>Chapitre III</b>		
<b>Figure III.1</b>	<b>Graphite (à gauche) et diamant (à droite), les deux allotropes du carbone les plus connus</b>	<b>28</b>
<b>Figure III.2</b>	<b>charbon actif</b>	<b>28</b>
<b>Figure III.3</b>	<b>Structure du charbon actif vu sous un Microscope électronique</b>	<b>28</b>
<b>Figure III.4</b>	<b>Charbon actif granulaire</b>	<b>29</b>

## Liste des figures

<b>Figure III.5</b>	<b>Charbon actif Extrudé</b>	<b>29</b>
<b>Figure III.6</b>	<b>Charbon actif en poudre.</b>	<b>30</b>
<b>Figure III.7</b>	<b>Structure des pores du charbon actif</b>	<b>30</b>
<b>Figure III.8</b>	<b>courbe de granulimétrie</b>	<b>33</b>
<b>Figure III.9</b>	<b>Illustration du phénomènes de sorption : Adsorption</b>	<b>35</b>
<b>Figure III.10</b>	<b>Étapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption</b>	<b>40</b>
<b>Figure III.11</b>	<b>Représentation de la surface interne et externe d'un matériau Poreux (adsorbant).</b>	<b>41</b>
<b>Chapitre IV</b>		
<b>Figure IV.1</b>	<b>vue réelle du four à grignon</b>	<b>49</b>
<b>Figure IV.2</b>	<b>chambre de combustion</b>	<b>50</b>
<b>Figure IV.3</b>	<b>isolation des autres parties de la chambre de combustion</b>	<b>51</b>
<b>Figure IV.4</b>	<b>ossature métallique du four</b>	<b>52</b>
<b>Figure IV.5</b>	<b>disposition des supports claies(rails)</b>	<b>52</b>
<b>Figure IV.6</b>	<b>cheminée avant isolation</b>	<b>53</b>
<b>Figure IV.7</b>	<b>cheminée après isolation</b>	<b>53</b>
<b>Figure IV.8</b>	<b>sciure de bois en poudre</b>	<b>54</b>
<b>Figure IV.9</b>	<b>fibre de cellulose</b>	<b>55</b>
<b>Figure IV.10</b>	<b>cire d'abeilles</b>	<b>55</b>
<b>Figure IV.11</b>	<b>moulin à café électrique</b>	<b>57</b>
<b>Figure IV.12</b>	<b>carton broyé ( 5mm)</b>	<b>57</b>
<b>Figure IV.13</b>	<b>les matériaux du composite</b>	<b>59</b>
<b>Figure IV.14</b>	<b>pesés des trois matériaux</b>	<b>59</b>
<b>Figure IV.15</b>	<b>chauffage du MCP au bain marie</b>	<b>60</b>
<b>Figure IV.16</b>	<b>produit final après le mélange des</b>	<b>60</b>
	<b>Trois composants</b>	
<b>Figure IV.17</b>	<b>compression du produit</b>	<b>60</b>
<b>Figure IV.18</b>	<b>buchette en sciure de bois</b>	<b>60</b>
<b>Figure IV.19</b>	<b>tamissage du grignon d'Olive</b>	<b>61</b>

## Liste des figures

<b>Figure IV.18</b>	<b>Buchette en sciure de bois</b>	<b>56</b>
<b>Figure IV.19</b>	<b>Tamisage du grignon d'olive</b>	<b>57</b>
<b>Figure IV.20</b>	<b>Poudre de grignon d'olive</b>	<b>57</b>
<b>Figure IV.21</b>	<b>Cire d'abeilles sous forme liquide</b>	<b>58</b>
<b>Figure IV.22</b>	<b>broyage du grignon</b>	<b>60</b>
<b>Figure IV.23</b>	<b>tamisage du grignon</b>	<b>60</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b>	<b>Les différents composants du grignon d'olive (Sansoucy, 1981)</b>	<b>7</b>
<b>Tableau III.1</b>	<b>Différences entre physisorption et chimisorption</b>	<b>36</b>
<b>Tableau.III.2</b>	<b>les différents types d'adsorbants</b>	<b>39</b>
<b>Tableau III.3</b>	<b>Surfaces spécifiques de quelques matériaux adsorbants</b>	<b>41</b>
<b>Tableau III.4</b>	<b>les différentes matières premières pour préparer le charbon actif</b>	<b>44</b>
<b>Tableau IV.1</b>	<b>propriétés physique et chimique de la sciure de bois en poudre</b>	<b>56</b>
<b>Tableau IV.2</b>	<b>propriétés de fibres de cellulose</b>	<b>56</b>
<b>Tableau IV.3</b>	<b>propriétés de la cire d'abeille</b>	<b>58</b>
<b>Tableau IV.4</b>	<b>quelques détails des grignons d'olives</b>	<b>61</b>
<b>TableauV.1</b>	<b>Quelques détails sur la cire d'abeilles</b>	<b>65</b>
<b>TableauV.2</b>	<b>La composition chimique de la cire d'abeille</b>	<b>66</b>
<b>TableauV.3</b>	<b>Tableau comparatif des pouvoirs calorifique</b>	<b>67</b>

## **CHAPITRE I GENERALITEES SUR LES GRIGNON D'OLIVE**

I.1. Introduction .....	1
I.2 Présentation du produit à sécher (grignon d'olives) .....	3
I.2.1 types de grignon d'olives .....	4
I.2.2 le grignon brut .....	4
I.2.3 le grignon épuisé .....	4
I.2.4 le grignon partiellement dénoyauté.....	4
I.3.1 Procédé en discontinu (système à presse ou traditionnel) .....	4
I.3.2 Procédé en continu (système à centrifugation) .....	5
I.3 Valorisation du grignon d'olives .....	6
I.3.1 Caractéristiques de grignon d'olive .....	6
I.3.1.1 Caractéristiques physique du grignon d'olive .....	6
I.3.2 Caractéristiques chimiques du grignon d'olive .....	7
I.4 Conclusion partielle .....	10

## **CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE**

II.1 Définition De Séchage .....	12
II.2 Principe De Séchage .....	12
II.2.1 Étapes De Séchage .....	13
II.2.2 Paramètres De Séchage .....	13
II.2.2.1 Vitesse De Séchage .....	13
II.2.2.2 Illustration .....	13
II.3 Courbe De Séchage .....	14
II.4 Calculs Sur Le Séchoir .....	15
II.4.1 Bilan Sur Le Séchoir .....	15
II.4.2 Bilan Massique .....	15
II.4.3 Bilan Énergétique .....	17
II.4.4 Organigramme De Calcul .....	17
II.4.4.1 La Matière Sèche .....	17



II.4.4.2 Débit Horaire Massique De La Matière Sèche .....	17
II.4.4.3 Humidité Absolue Initiale Du Produit .....	17
II.4.4.4 Humidité Absolue Finale Du Produit .....	18
II.5 Débit Horaire Du Produit Séché .....	18
II.6 Débit Horaire D'eau Évaporée .....	19
II.7 Débit Horaire D'air Sec Rentrant .....	19
II.8 Débit Horaire D'air Humide Rentrant .....	19
II.9 Durée De Séchage .....	19
II.9.1 Définition .....	19
II.9.2 Illustration .....	19
II.9.3 Longueur De Séchage .....	21
II.9.4 Bilan Thermique .....	21
II.10 Efficacité Énergétique Et Environnementale D'un Séchoir Destiné Au Séchage De Grignon D'olives De Type Tunnel.....	22
II.10.1 Etude Énergétique .....	22
II.10.2 Chaleur D'évaporation .....	22
II.10.3 Chaleur De Séchage.....	23
II.10.4 Chaleur Totale Consommée ... ..	23
II.10.5 Chaleur Rejetée Dans L'ambiance .....	24
II.10.6 Chaleur Recyclée .....	24
II.10.7 Chaleur D'appoint .....	25
II.10.8 Etude environnementale .....	25

### ***CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF***

III.1 Définition .....	27
III.2 Les Différentes formes Du Charbon Actif .....	28
III.2.1 Charbon Actif En Grain (Cag) .....	28
III.2.2 Charbon Actif Extrude (Eac) .....	29
III.2.3 Charbon Actif En Poudre (Cap) .....	29

III.3 Caractéristiques Du Charbon Actif .....	30
III.3.1 Volume Poreux Et Taille Des Pores .....	30
III.3.2 Caractéristiques Physiques .....	31
III.3.3 Caractéristiques Chimique .....	34
III.4 L'adsorption Et L'adsorbant .....	34
III.4.1 historique .....	34
III.4.2 Phénomène D'adsorption .....	34
III.4.3 Types D'adsorption .....	36
III.4.3.1 Adsorption Physique (Physisorption) .....	36
III.4.3.2 Adsorption Chimique (Chimisorption).....	36
III.4.4 La Différence Entre Physisorption Et Chimisorption .....	36
III.4. 5 LA FORCE DE Van Der Waals .....	37
III.4.4 L'adsorbants .....	37
III.5 Les Fifferents Types D'adsorbants .....	38
III.5 La Cinétique D'adsorption .....	39
III.5 La Surface Spécifique .....	40
III.4.4 La Densité Apparente .....	42
III.5 Préparation Du Charbon Actif .....	42
III.5.1 Activation Du Charbon Actif .....	42
III.6 Le Pouvoir Calorifique .....	43
III.6.1 Definition .....	43
III.6.2 Le Pouvoir Calorifique Supérieur .....	43
III.6.3 Le Pouvoir Calorifique Inférieur .....	44
III.6.4 Formulation Mathématique Du Principe De Détermination Du PCI .....	44
III.6.4.1 Bilan Energétique .....	44
III.6.4.2 Expressions Mathématiques Des Echanges De Chaleur .....	45

## ***CHAPITRE IV    MATERIELS ET METHODES***

IV.1 Introduction .....	49
IV.2 Conception Et Dimensionnement Du Four .....	50
IV.2.1 Les Eléments Constitutif Du Four .....	50
IV.3 Elaboration Du Combustible .....	54
IV.3.1 Préparation Du Combustible .....	54
IV.4 Préparation Du Produit A Sécher .....	64

## ***CHAPITRE V RESULTAS***

V.1 Élaboration Du MCP .....	65
V.2 Le Pouvoir Calorifique .....	67
V.2.1 Présentation Du Four.....	68
V.2.1.2 Mise En Marche Du Four .....	70
V.3 Résultats .....	72
V.4coclusion .....	74

## **Introduction générale**

L'Algérie fait partie des principaux pays méditerranéens producteurs d'huile d'olive, avec un taux de production de 45 mille tonnes/an, elle compte 1532 huileries. En effet, un nouveau plan de développement de l'agriculture (PNDA) à été adopté par le ministère de l'agriculture dont l'objectif primordial était d'encourager la culture de l'olivier.

Ce secteur agricole engendre sans cesse de quantités appréciables de margines et de grignons qui sont pour la plupart peu ou pas valorisés et dont le rejet dans la nature constitue une grande menace pour l'environnement. Tout fois, la valorisation de ces coproduits contribuerait à limiter l'impact de cette industrie sur l'environnement.

Les grignons d'olive sont un sous-produit du processus d'extraction d'huile d'olive composé des peaux, des résidus de la pulpe et des fragments des noyaux. Les grignons sont les résidus solides résultant de l'extraction d'huile, alors que les résidus liquides sont dénommés margines. Utilisées dans plusieurs domaines telle que

- épandage comme amendement sur les terres agricoles, de préférence après compostages.
- emploi comme combustible pour le chauffage.
- fabrication du savon,
- emploi dans l'alimentation de bétail,

Le grignon est un additif très approprié pour les unités de gazéification pour la production de biogaz.

L'objectif de ce travail est de mener une étude de réalisation d'un four à grignon d'olive, pour cela nous avons réparti ce dernier en cinq chapitres, comme suit :

- \_ Généralités sur les grignons d'olive
- \_ Étude théorique et paramètres du processus de séchage
- \_ Le charbon actif
- \_ Matériels et méthodes
- \_ Résultats

## **I.2 Présentation du produit à sécher (grignon d'olives) :**

Les grignons d'olive sont un sous-produit du processus d'extraction de l'huile d'olive composé des peaux, des résidus de la pulpe et des fragments des noyaux. Les grignons sont les résidus solides résultant de l'extraction d'huile, alors que les résidus liquides sont dénommés margines. Depuis les années 1990, où les exigences environnementales relatives aux rejets liquides à charge polluante non nulle ont pris de l'ampleur, les moulins à huile rejettent de moins en moins des margines, mais au contraire des grignons à teneur en eau plus élevée, appelés « grignons pâteux » ou « marginions » (contraction de margines et grignons. Le terme « grignons » est cependant le seul utilisé dans les textes réglementaires, la seule différence entre les grignons classiques et les grignons pâteux étant la teneur en eau.

Autrefois, les grignons avaient un débouché important dans l'industrie agroalimentaire, par l'extraction de l'huile résiduelle à l'aide de solvants. Celle-ci est notamment constituée de la fraction lipidique contenue dans les graines des olives, mais aussi des graisses finement émulsionnées ou liées par les énergies d'interface (tension superficielle), inaccessibles par la pression ou la centrifugation. Cette « huile de grignons d'olive brute », extraite grâce à des solvants, doit ensuite être raffinée pour conduire à la catégorie « huile de grignons d'olive raffinée, que l'on assemble habituellement avec de l'« huile d'olive vierge ». Cette huile de grignon d'olive est toujours utilisée dans la fabrication du savon de Marseille. Les coûts des transports, la production de grignons à haute teneur en eau, issus de l'extraction par centrifugation, l'intérêt limité du marché pour l'huile de grignons ou d'olive, ont réduit la rentabilité de ce sous-produit et conduit, dans de nombreuses huileries, à rechercher d'autres débouchés.



**Figure (I.1) : Grignon d'olives**

## **CHAPITRE I GENERALITEES SUR LE GRIGNON D'OLIVE**

### **I.2.1 types de grignon d'olives :**

#### **I.2.2 le grignon brut :**

C'est le résidu de la première extraction de l'huile par pression de l'olive entière, ses teneurs relativement élevées en eau (24%) et en huile (9%) favorisent son altération rapide lorsqu'il est laissé à l'air libre.

#### **I.2.3 le grignon épuisé :**

C'est le résidu obtenu après déshuilage du grignon brut par un solvant, généralement l'hexane. Il diffère, essentiellement, par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'il ait été déshydraté au cours du processus de l'extraction (FAO, 1984).

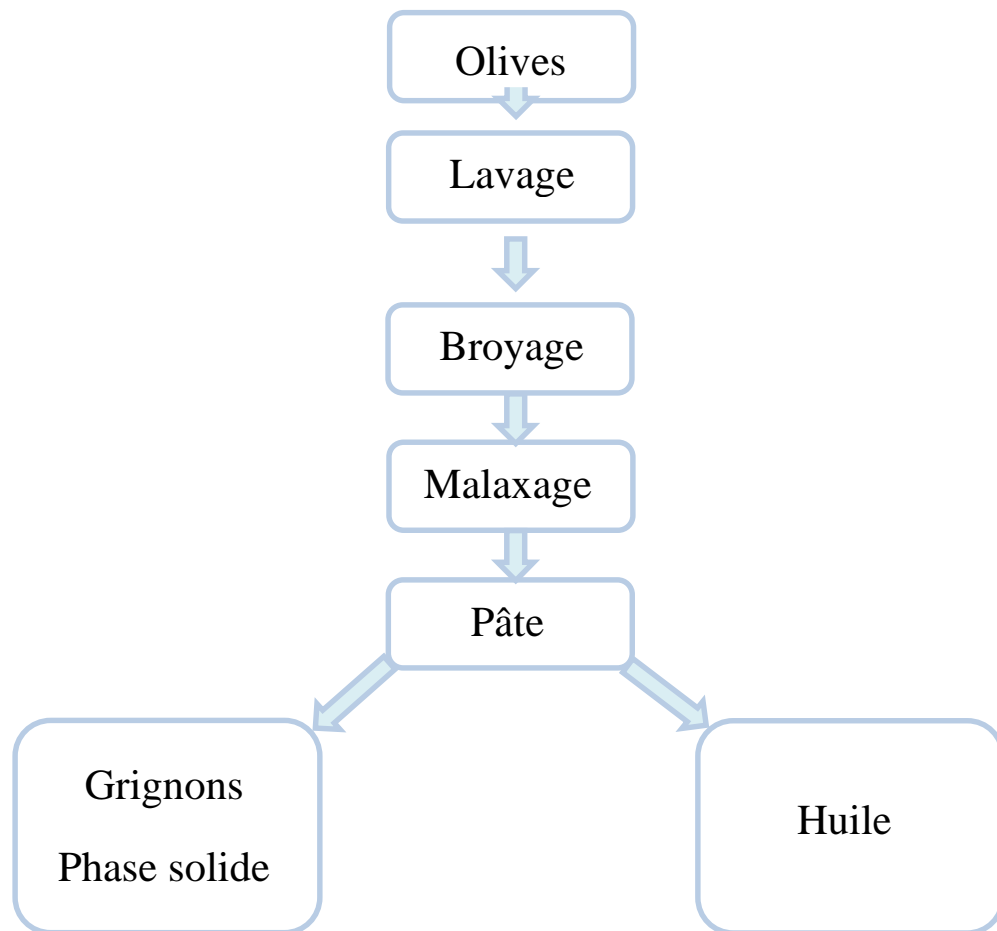
#### **I.2.4 le grignon partiellement dénoyauté :**

Résulte de la séparation partielle du noyau de la pulpe par tamisage ou ventilation, il est dit "gras" si son huile n'est pas extraite par solvant il est dit "dégraissé ou épuisé" si son huile est extraite par solvant.

### **I.3 Procédés d'extraction de grignon d'olives :**

#### **I.3.1 Procédé en discontinu (système à presse ou traditionnel) :**

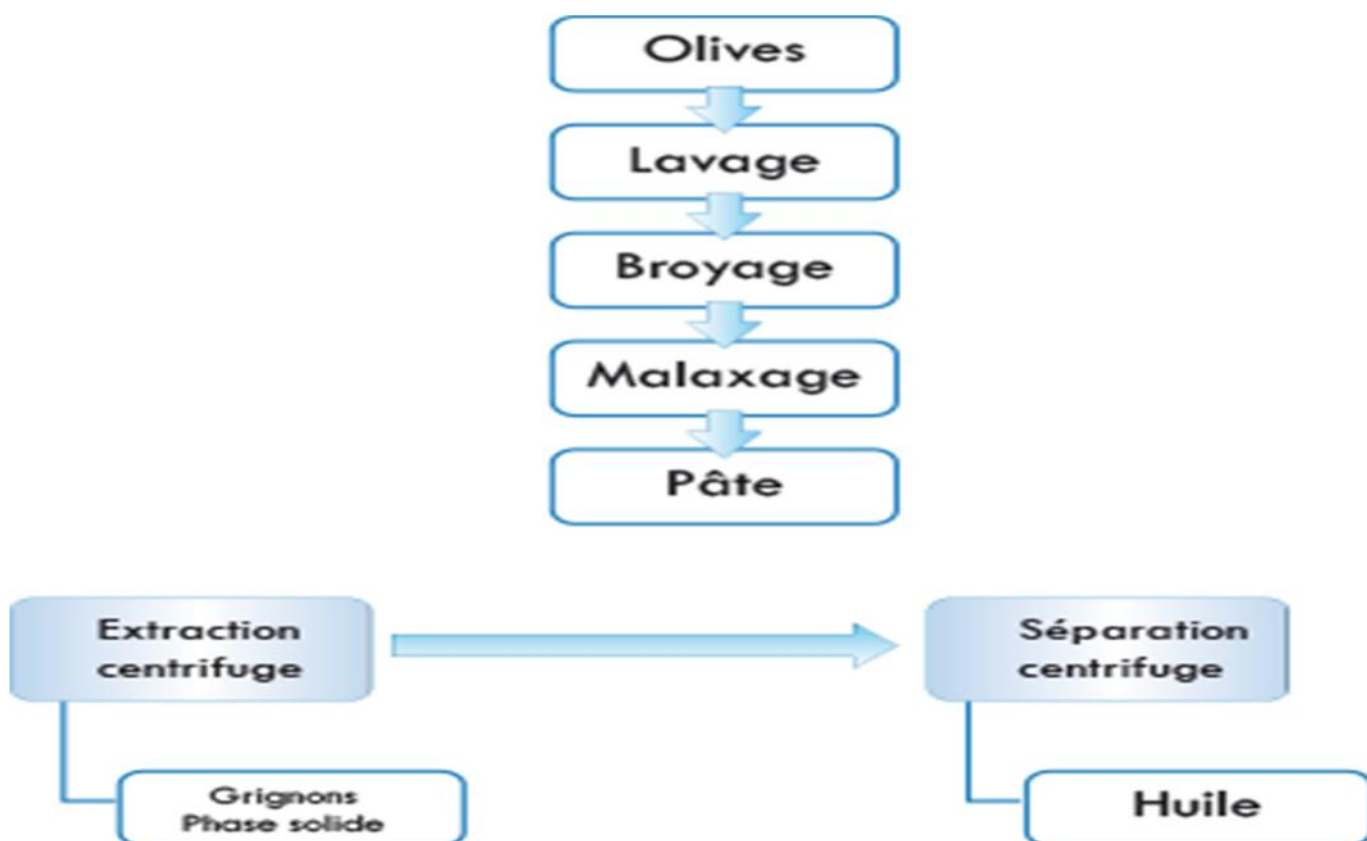
Il s'agit d'un système classique par pression avec broyeurs. Le broyage des olives, suivi du malaxage, se fait par des meules. Après obtention d'une pâte composée de grignons et d'un moût (l'huile et les margines), la séparation des deux phases solide-liquide se fait par simple pression, alors que l'huile est séparée des margines par décantation naturelle (Chaouadi Hiba et Elias Abdelhamid, 201



Figure(I.2) : système d'extraction discontinu

### I.3.2 Procédé en continu (système à centrifugation) :

L'extraction de grignons d'olive se fait à travers des phases successives contrairement au procédé discontinu. Les olives sont lavées, broyées, mélangées avec l'eau chaude puis malaxées. Les phases liquide et solide sont séparées par centrifugation. Le moût subit à son tour une centrifugation pour séparer l'huile des margines



Figure(I.3) : système d'extraction continu

### I.3 Valorisation du grignon d'olives :

#### I.3.1 Caractéristiques de grignon d'olive :

##### I.3.1.1 Caractéristiques physique du grignon d'olive :

La composition physique des grignons dépend essentiellement de la variété des olives, de leur degré de maturation et du système employé lors de l'extraction de l'huile. Les grignons bruts renferment la coque du noyau réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée. Ils renferment aussi une certaine humidité et une quantité d'huile résiduelle (tableau I). Tandis que les grignons épuisés diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus d'extraction.



Composants	Olive (%)	Grignon brut (%)	Grignon épuisé (%)
Eau	49	27	17
Huile	27	9	2
Coque	14	43	55
Pulpe	9	21	26

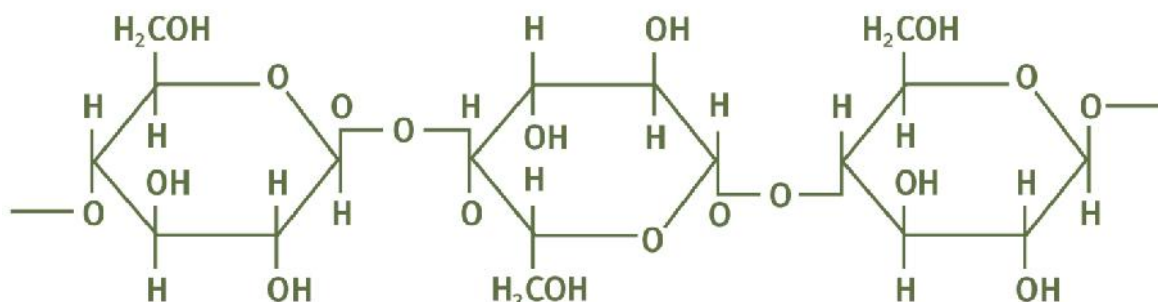
**Tableau I:** Les différents composants du grignon d'olive (Sansoucy, 1981)

### I.3.2 Caractéristiques chimiques du grignon d'olive :

La biomasse lignocellulosique est essentiellement constituée par les parois végétales qui comprennent la cellulose, l'hémicellulose et la lignine comme composants majeurs.

#### ) Cellulose brute

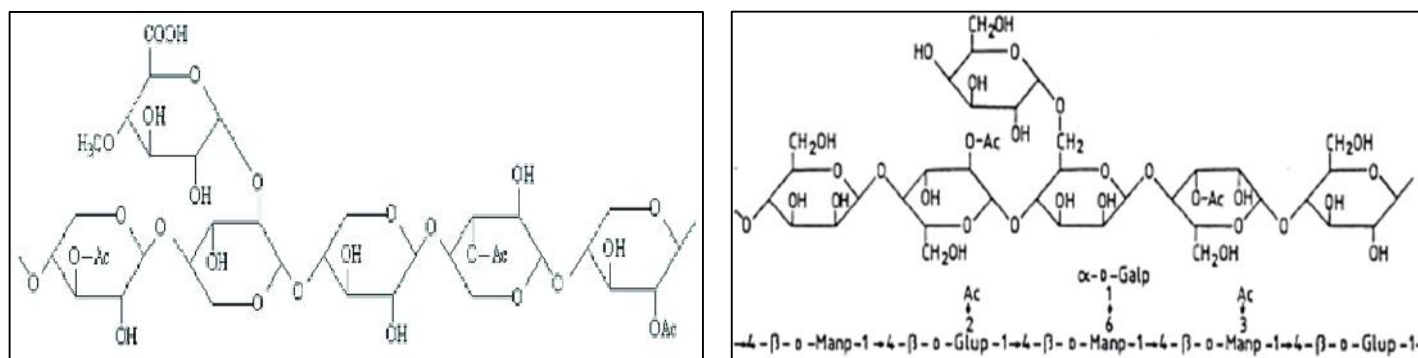
La cellulose est le principal constituant de la paroi des cellules végétales et de bois, est un glucide constitué de monomères de D-Glucose qui sont liés par des liaisons  $-(1 \rightarrow 4)$  (figure 2), conduisant à des polymères linéaires. Ces polymères s'associent par des liaisons intermoléculaires de type liaisons hydrogène, conférant ainsi une structure fibreuse à la cellulose.



**Figure(I.4):** Structure chimique de la cellulose (Jean-Blain, 2002)

## ) Hémicellulose

Les hémicelluloses sont des hétéro ou homopolymères d'unités pentoses (D-xylose, Larabino) et d'unités hexoses (D-glucose, D-galactose, D- mannose) liées par des liaisons glucosidique de type  $-(1 \rightarrow 3)$ ,  $-(1 \rightarrow 6)$  et  $-(1 \rightarrow 4)$ . Elles se localisent au niveau de la paroi primaire des cellules végétales où elles s'insèrent avec la cellulose, la pectine et les glycoprotéines. Elles se retrouvent également dans les parois secondaires chez les cellules âgées. Les hémicelluloses de feuillus sont en majorité composées de xylane alors que les hémicelluloses de bois résineux sont composées en majorité de glucomannanes.



**Figure(I.5) :**Structure chimique du xylan (A) et glucomannane (B)(NEGRO.1991)

## ) Lignine

La lignine représente 10 à 25 % de la biomasse lignocellulosique sèche. C'est un polymère aromatique tridimensionnel complexe, composé d'unités phydroxyphénylpropanoïdes liées par des liaisons C-C et C-O-C (figure 4). C'est une substance polyphénolique (résultant de la polymérisation de trois alcools phénoliques (figure 5), qui s'incruste dans la paroi cellulaire pour cimenter les cellules végétales entre elles, ce qui confère à la lignine son rôle de résistance aux dégradations biologiques (Fengel et Wegener, 1984 ; Frassoldati et al, 2006).

CHAPITRE I GENERALITEES SUR LE GRIGNON D'OLIVE

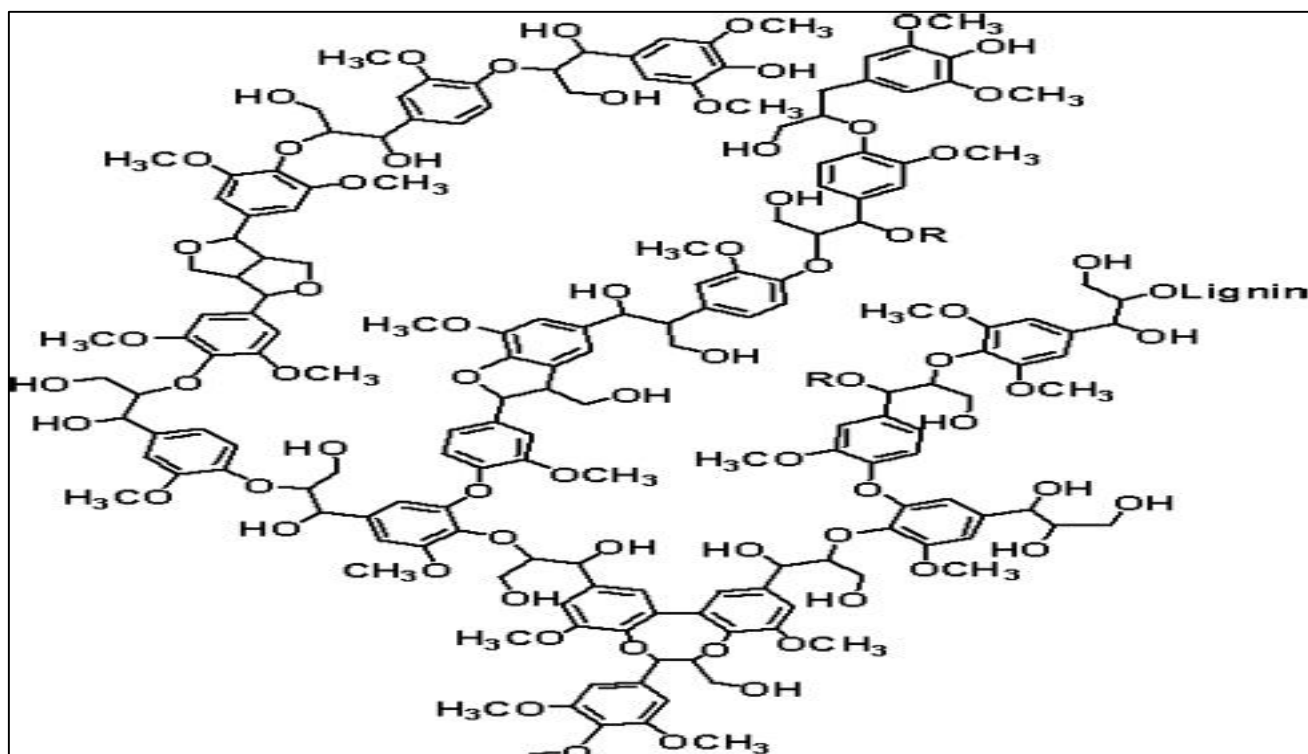


Figure (I.6) : Structures de la lignine(FENGEL ET WEGENER 1984)

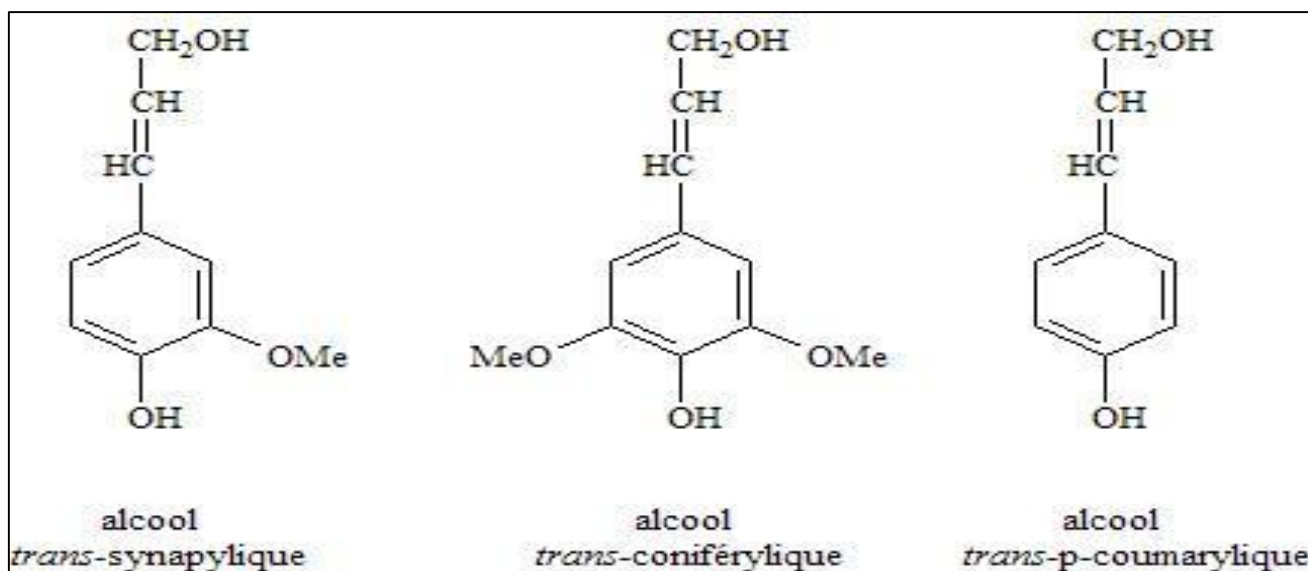


Figure (I.7) : Principaux constituants de la lignine(FRASSOLDATI ET AL 2006)

## **) Matières grasses (lipides)**

Les grignons d'olives contiennent une quantité d'huile résiduelle qu'il n'est pas possible d'extraire par des moyens physiques et qui est obtenue dans les installations d'extraction d'huile de grignon par l'utilisation des solvants comme l'hexane. Cette matière grasse est très riche en acides gras en C16 et C18 insaturés qui constituent 96% du total des acides gras (FOA, 1984).

## **) Matières minérales (cendres)**

Les teneurs des matières azotées totales varient selon le type de grignon et restent relativement modestes. L'azote protidique constitue plus de 95% de l'azote total et sa solubilité est particulièrement faible (3%). D'ailleurs, une grande partie des protéines (80 à 90%) est liée à la fraction lignocellulosique (N-ADF) (Nefzaoui, 1984).

## **) Poly-phénols**

L'olive contient des quantités élevées de polyphénols (0,3 à 5% de la MS), ce sont surtout des orthophénols, l'oleuropeine, glucoside amer (Vazquez et al, 1970). Les travaux de Nefzaoui entre 1983 et 1987 ont montré que ces teneurs ne dépassent pas 1% de la MS. Les polyphénols de l'olive sont éliminés dans les margines et l'huile durant de la trituration et donc les grignons contiennent peu de produits de nature phénolique. Par ailleurs, les travaux de Zaidi et al, (2009) ont montrés que le grignon d'olive renferme divers composés phénoliques, des poly phénols attachés aux parois cellulaires et qui représente une fraction importante des phénols totaux du grignon, des flavonoïdes et des tanins.

### **I.4 Conclusion partielle :**

Les grignons sont les aliments grossiers ligno-cellulosique par :

**)**Leurs teneurs élevées en fibre (NDF), en ADF et en lignine.

**)**Leur faible teneur en matières azotées.

**)**La faible digestibilité de leurs matières sèche et de leurs matières azotées.

**)**Le comportement alimentaire et mérycique des animaux qui en consomment.

**)**L'absence de substance toxique ou inhibitrice.

**CHAPITRE I \_\_\_\_\_ GENERALITEES SUR LE GRIGNON D'OLIVE**

) Des traitements peuvent améliorer la valeur nutritive des grignons.

) L'apport d'une source azotée de bonne qualité et de faible coût aux grignons.

A partir des notions générales sur le grignon d'olives qui ont été évoquées dans ce chapitre, nous allons effectuer une étude pour un séchoir à grignons essentiellement pour avoir un produit fini dit **charbon actif**.

## CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

### II.1 DÉFINITION DE SÉCHAGE :

Le séchage est un procédé qui sépare un liquide d'un solide, d'un semi-solide, voire d'un liquide par évaporation. Cette opération est endothermique et nécessite l'apport d'énergie thermique.

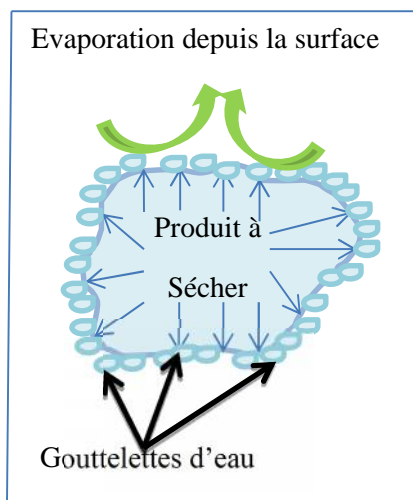
Dans le cas de l'eau, il existe d'autres techniques, pour la séparation, que l'évaporation, telles la pervaporation ou la déshydratation à l'aide d'anhydres. Le traitement thermique n'est pas toujours possible, notamment lorsque le mélange contient des composés plus volatils que l'eau ou en cas de mélange azéotropique, ou souhaitable comme lorsqu'un des composés est sensible à la chaleur.

### II.2 PRINCIPE DE SÉCHAGE :

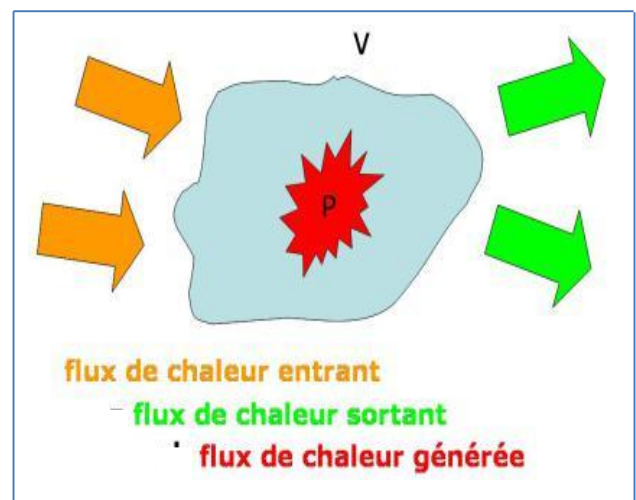
Dans le séchage on peut Sitter deux types de transferts :

- ) Le transfert d'énergie thermique, de l'environnement vers le liquide à évaporer
- ) le transfert de masse, de l'intérieur du solide vers sa surface, puis le passage en phase gazeuse.

La vitesse du séchage est directement liée à la vitesse de ces 2 transferts



Figure(II.1) : transfert de masse



Figure(II.2) : transfert d'énergie thermique

## **CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE**

### **II.2.1 ÉTAPES DE SÉCHAGE :**

Le séchage peut être décomposé en 3 phases :

1. La vitesse de séchage est constante et le liquide situé en surface du solide est évaporé. Pour cette phase, seules les conditions externes (surface de contact, pression partielle du liquide, température, volatilité du liquide) ont une influence primordiale. le transfert thermique s'effectue entre la phase gazeuse et la surface liquide et le transfert massique se fait de la même manière, mais dans l'autre sens.
2. La vitesse diminue avec le temps, car la quantité de liquide a diminué à tel point que des zones sèches apparaissent à la surface du solide. Comme le transfert de masse et thermique ont lieu via la surface de contact gaz-liquide et que cette dernière diminue, la vitesse diminue de manière proportionnelle.
3. La vitesse de séchage diminue encore avec le temps, car la surface du solide est sèche et le liquide doit migrer de l'intérieur du solide jusqu'à sa surface. La chaleur passe par la surface du solide et est conduite par le solide jusqu'au liquide situé dans les interstices. La force motrice limitante est en général la conduction thermique par le solide.

### **II.2.2 PARAMÈTRES DE SÉCHAGE :**

#### **II.2.2.1 VITESSE DE SÉCHAGE :**

#### **II.2.2.2 ILLUSTRATION :**

Les variabilités et diversités des produits laissent envisager que le meilleur moyen de caractériser le comportement d'un produit alimentaire au cours du séchage consiste à mesurer expérimentalement sa cinétique de séchage. Dans le cas d'un produit solide séché par entraînement, l'expérience de base consiste à placer le produit dans un courant d'air parfaitement maîtrisé (Température, humidité, vitesse) et à enregistrer l'évolution de sa masse au cours du temps, par des pesées intervalles de temps réguliers.

On définit la vitesse de séchage d'un produit par :

$$V = \dot{X} = \frac{d}{d}$$

Le modèle le plus utilisé :

**CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE**

$$V = -k (X - X_e) \text{ Équation II.1}$$

D'où :  $X_e$  : est la teneur en eau à l'équilibre

$k$  : une constante

L'évolution de « X » pendant la phase de séchage est :

$$\frac{X - X_e}{X_i - X_e} = Ae^{-k} \text{ Équation II.1}$$

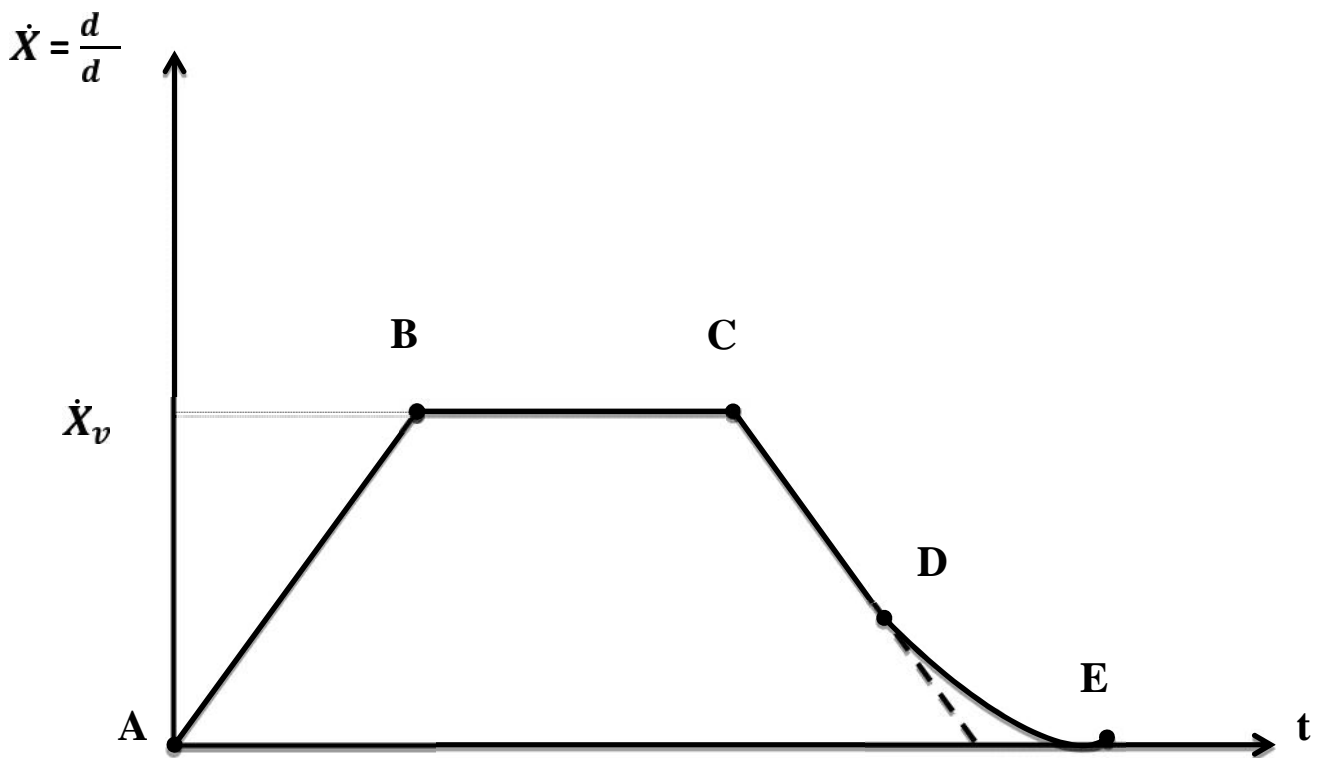
Avec :

$X_i$  : Teneur en eau initiale.

$X = X(t)$  : teneur en eau à l' instant « t ».

A et K : Constantes propres aux produits.

**II.3 COURBE DE SÉCHAGE :**



Figure(II.3) : Allure de séchage en fonction du temps

Selon la courbe de séchage, on distingue quatre étapes :



## CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

**Etape (AB)** : c'est la phase de préchauffage du produit, la vitesse de séchage varie de  $0$  à  $\dot{X}_v$ . Cette période est très courte au regard du temps de séchage.

**Etape (BC)** : Evaporation à vitesse constante de la couche superficielle du produit, cette période dure tant que la surface du produit est alimentée en eau de l'intérieur.

**Le point « C »** : apparaît lorsque le produit atteint la teneur en eau d'équilibre  $X_e$ .

**Etape (CD)** : dans cette phase le front massique de séchage recule en profondeur.

**Le point « D »** : apparaît au début de l'hygroscopicité du produit.

La vitesse de séchage ne cesse de diminuer jusqu'à s'annuler au point « E », le corps devient dans ce cas *hygroscopique*.

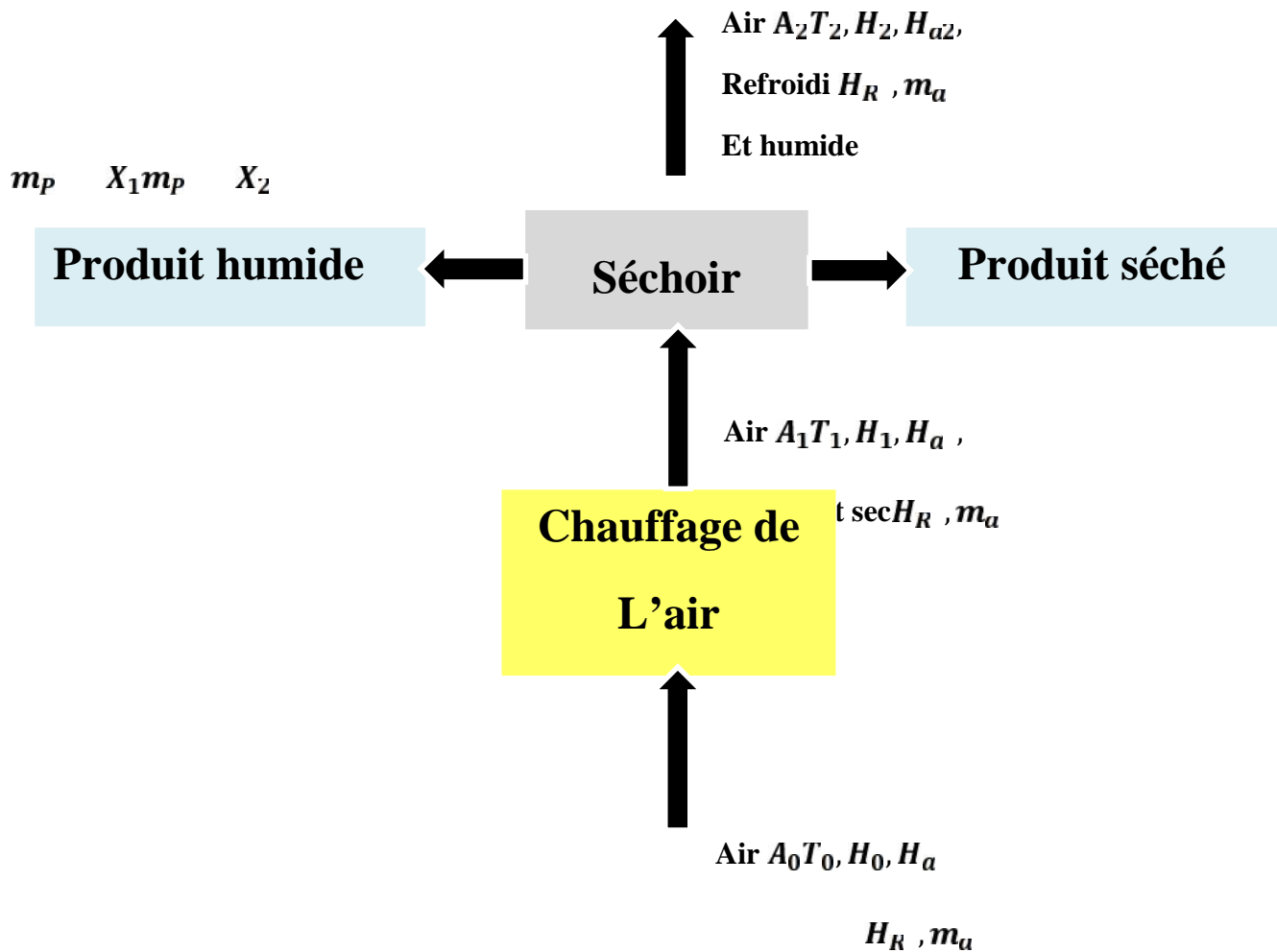
### II.4 CALCULES SUR LE SÉCHOIR :

#### II.4.1 BILAN SUR LE SÉCHOIR :

#### II.4.2 BILAN MASSIQUE :

Un séchoir, avec son élément de chauffage, est présenté comme suit :

CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE



Figure(II.4) : Transfert entre l'air et la surface du produit

Les bilans s'écrivent sur la base des débits constants de matière sèche ( $m_p$ ) et d'air sec ( $m_a$ ).

Les teneurs en eau sont exprimées en kg d'eau/kg d'air sec pour l'air et en kg d'eau/kg de matière sèche (MS) pour l'aliment.

Tenant en compte que l'eau que perd le produit est gagnée par l'air, le débit d'eau s'écrit donc :

$$\dot{m}_e = \dot{m}_a(H_{a2} - H_{a1}) = \dot{m}_p (X_1 - X_2)$$

Et si le séchage est isenthalpique :  $H_1 = H_2$

En réalité, ces bilans sont le plus souvent faussés par :

- ) Des entrainements de particules.
- ) Des fuites ou des entrées d'air.

## CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

) Et surtout des pertes énergétiques par les parois du séchoir et lors de l'échauffement du produit. Ils constituent néanmoins une bonne base de calcul.

### II.4.3 BILAN ÉNERGÉTIQUE :

Le bilan énergétique est calculé de l'équation  $\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H_v$

### II.4.4 ORGANIGRAMME DE CALCUL :

#### II.4.4.1 LA MATIÈRE SÈCHE :

La matière sèche est ce que l'on obtient lorsqu'on retire l'eau d'un produit.

Le pourcentage de matière sèche est le ratio entre la masse de la matière sèche et la masse de la matière non-sèche (hydratée).

Ainsi le pourcentage de matière sèche (% MS) est quasi nul pour les gaz, est variable pour un être vivant (environ 5 à 10 % pour un végétal, environ 45 % pour un être humain adulte), mais avec certain matériaux il frôle 100 % MS (sables...).

Mis à part ses propriétés d'hydratation, l'eau ne nourrit pas : en nutrition, il est donc très important de connaître le pourcentage de matière sèche d'un aliment lors du calcul de ratios.

La fraction initiale de la matière sèche est donc :

$$\left(\frac{m_s}{m}\right) = \left(\frac{m - m_e}{m}\right) = 1 - \frac{m_e}{m} = 1 - x_1$$

Avec :

$$m = m_s + m_e$$

$$\text{Et} \quad : \quad x = \frac{m_e}{m}$$

#### II.4.4.2 DÉBIT HORAIRE MASSIQUE DE LA MATIÈRE SÈCHE :

$$\dot{m}_s = \dot{m} - \dot{m}_e = \dot{m} \left(1 - \frac{m_e}{m}\right)$$

$$\text{D'où} : \quad \dot{m}_s = \dot{m} (1 - x_1)$$

#### II.4.4.3 HUMIDITÉ ABSOLUE INITIALE DU PRODUIT :

L'humidité absolue est définie pour l'air humide (ou d'autres gaz) comme sa teneur en vapeur d'eau. Elle est limitée par la quantité maximale que le gaz peut absorber avant qu'il y ait saturation à la température de celui-ci.

$$X_1 = \left(\frac{m_e}{m_s}\right) = \left(\frac{m - m_s}{m_s}\right) = \left(\frac{m}{m_s}\right) - 1$$

**CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE**

$$= \left( \frac{m}{m-m_e} \right) - 1 = \left( \frac{1}{1-\frac{m_e}{m}} \right) - 1 = \left( \frac{1}{1-x_1} \right) - 1$$

$$= \frac{1-1+x_1}{1-x_1}$$

Finalemment :  $X_1 = \frac{x_1}{1-x_1}$

Avec :  $X_1$  : est l'humidité absolue initiale

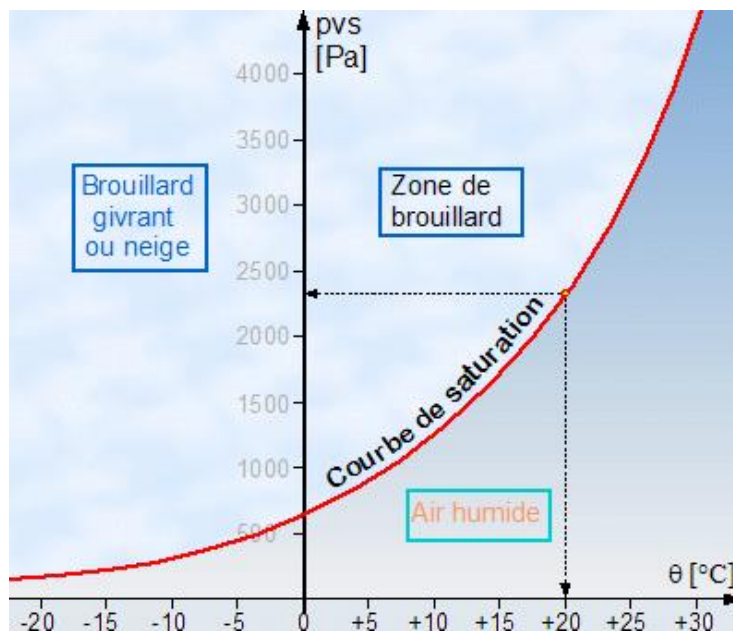
$$m_s = P_a \cdot V / (287,1 \cdot T)$$

Et pour la vapeur d'eau :

$$m_e = m_v = P_v \cdot V / (461,5 \cdot T)$$

L'humidité absolue a comme autre expression :

$$r = \frac{m_v}{m_a} \quad [k_{ae} / k_{a'a} ]$$



Figure(II.5) : diagramme de l'air humide

**II.4.4 HUMIDITÉ ABSOLUE FINALE DU PRODUIT :**

$$X_1 = \frac{x_2}{1-x_2}$$

**II.5 DÉBIT HORAIRE DU PRODUIT SÉCHÉ :**

$\dot{m}$  (Produit séché)

**CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE**

$$\dot{m} = \dot{m}_e + \dot{m}_s = \dot{m}_s (1 + X_2)$$

**II.6 DÉBIT HORAIRE D'EAU ÉVAPORÉE :**

$\dot{m}$  (Eau évaporée)

$$\dot{m} = \dot{m}_{e1} - \dot{m}_{e2} = \dot{m}_s (X_1 - X_2)$$

**II.7 DÉBIT HORAIRE D'AIR SEC RENTRANT:**

$$W = \frac{m_e}{m_a} \dot{m}_e \rightarrow \text{w.m.a}$$

$$\dot{m}_a (w_2 - w_1) = \dot{m}_s (X_1 - X_2)$$

$$\dot{m}_a (\text{Air sec}) = \frac{\dot{m}_s (X_1 - X_2)}{w_2 - w_1}$$

**II.7 DÉBIT HORAIRE D'AIR HUMIDE RENTRANT:**

$$\dot{m}_a (\text{Air humid}) = \dot{m}_a (1 + w_1)$$

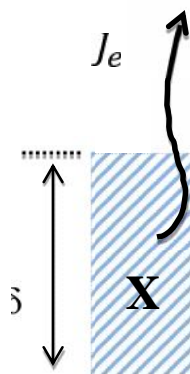
**II.8 DURÉE DE SÉCHAGE:**

**II.8.1 DÉFINITION :**

La durée de séchage est le temps nécessaire pour que le processus de séchage soit fini et atteigne sa phase finale.

**II.8.2 ILLUSTRATION :**

Considérons une tranche de produit à sécher ayant une épaisseur  $d =$



CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

.....

Où :

$X$  : la teneur en eau [ $k_e/k_s$ ]

$J_e$  : La densité de flux d'évaporation [ $k_e/s.m^2$ ]

$J_e \cdot dt = -d(\rho_s \cdot X) = \text{quantité d'eau évaporée pendant } dt$

$$X = \frac{m_e}{m_s}, \quad m_e = X \cdot m_s = X \cdot \rho_s \cdot V$$

Avec :

$V$  : le volume de la tranche

$\rho_s$  : La masse volumique de la matière sèche

$$dt = -\frac{1}{J_e} d(\rho_s \cdot X)$$

$$\Delta t = \int_0^t dt = -\int_{X_0}^{X_1} \frac{1}{J_e} d(\rho_s \cdot X)$$

Si  $\rho_s + \delta = \text{constante}$

Donc :  $J_e = \text{constante}$

$$\Delta t = -\frac{\rho_s \cdot \delta}{J_e} \int_{X_0}^X dX$$

Enfinement : 
$$\Delta t = -\frac{\rho_s \cdot \delta}{J_e} (X_0 - X)$$

Dans le cas contraire, on suppose :

$$\frac{\rho_s \cdot \delta}{J_e} = \frac{A}{X - X_e}$$

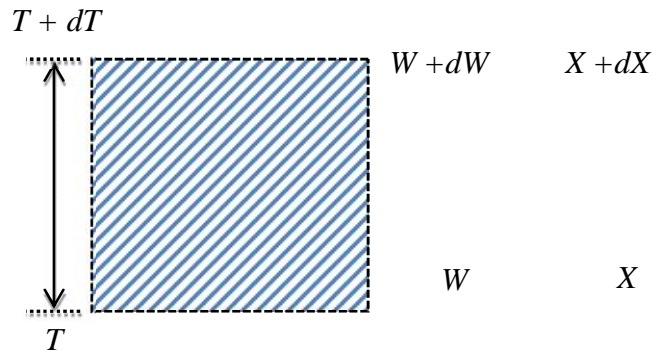
$$t = -\int_{X_0}^X \frac{A}{X - X_e} dX = -A \log(X - X_e) \quad \left| \begin{array}{l} X_1 \\ X_0 \end{array} \right.$$

$$t = A \log \frac{X_0 - X_e}{X - X_e}$$

CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

II.8.3 LONGEUR DE SECHAGE :

$T, T + dt$  : la température de l'air à l'entrée et à la sortie de la tranche (portion du produit à sécher).



$W, W + dW$  : l'humidité absolue de l'air à l'entrée et à la sortie de la tranche

$X, X + dX$  : l'humidité absolue du produit à l'entrée et à la sortie de la tranche

II.8.4 BILAN THERMIQUE:

$$. A. dl (T - Th) = \dot{m}_a . dw . L_v . Th$$

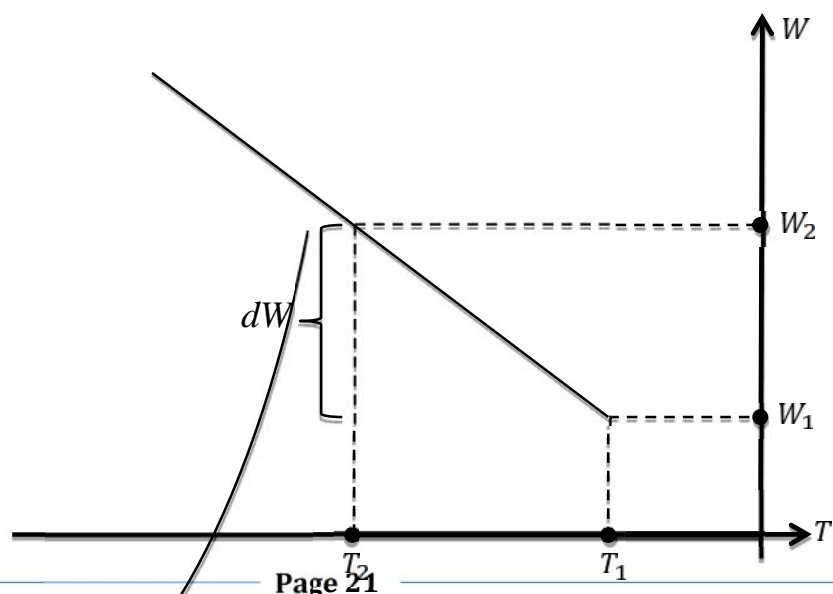
Avec:

$A$  : surface d'échange par unité de longueur

: coefficient d'échange thermique

$Th$  : température de l'air de séchage

$L_v$  : Chaleur latente de vaporisation



## CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

Figure(II.6) : diagramme de l'air humide

Et si le séchage est isenthalpique :  $\frac{d}{a} = -k$

Avec :

$$K = \frac{W_s - W}{T - T_h}$$

$W_s$  : Humidité absolue de l'air saturé

$$A \cdot dl \frac{W_s - W}{k} = \dot{m}_a \cdot dw \cdot l_v$$

$$dl = \frac{k \cdot l_v \cdot \dot{m}_a}{\gamma \cdot A} \frac{d}{W_s - W}$$

$$l = \int_0^l d = \frac{k \cdot l_v \cdot \dot{m}_a}{\gamma \cdot A} \int_{W_1}^{W_2} \frac{-d}{W_s - W}$$

$$l = \frac{k \cdot l_v \cdot \dot{m}_a}{\gamma \cdot A} \log \frac{W_s - W_1}{W_s - W_2} = LUT \cdot N$$

$$LUT = \frac{k \cdot l_v \cdot \dot{m}_a}{\gamma \cdot A} \quad \text{:longueur d'unité de transfert}$$

$$NUT = \log \frac{W_s - W_1}{W_s - W_2} \quad \text{: nombre d'unité de transfert}$$

## II.9 EFFICACITE ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE D'UN SECHOIR DISTINE AU SECHAGE DE GRIGNON D'OLIVES DE TYPE TUNNEL

### II.9.1 ETUDE ENERGETIQUE

### II.9.2 CHALEUR D'EVAPORATION

C'est la chaleur nécessaire pour évaporer l'eau du produit. Elle est donnée par:

$$Q_{eq} = \int_0^t \dot{m}_x l_v dt$$

Avec :  $\dot{m}_x$  : vitesse de séchage (kg / s)

$l_v$  : Chaleur latente massique d'évaporation de l'eau du produit.



## CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

Cette chaleur  $Q_{eq}$  apportée par l'air asséchant ne représente qu'une partie de l'énergie  $Q_{se}$  véhiculée par ce dernier, car une autre partie est perdue (par conduction et par convection) à travers les parois du tunnel de séchage.

### II.9.3 CHALEUR DE SECHAGE:

C'est la chaleur utilisée dans le tunnel de séchage et véhiculée par l'air asséchant.

Elle est donnée par:

$$Q_{se} = \int_0^t \dot{m}_a C_p (T_{A,e} - T_{A,s}) dt$$

Où :  $T_{A,e}$  : température de l'air à l'entrée du tunnel de séchage (K)

$T_{A,s}$  : Température de l'air à la sortie du tunnel de séchage (K)

$\dot{m}_a$  : débit massique de l'air asséchant (kg / s)

$C_p$  : Capacité calorifique massique à pression constante de l'air asséchant (J / kg, K).

En outre, si on connaît la chaleur d'évaporation ( $Q_{eq}$ ) et l'efficacité thermique du séchoir ( $E$ ) (pourcentage des pertes thermiques à travers les parois du tunnel de séchoir), on peut calculer la chaleur de séchage à l'aide de l'expression:

$$Q_{se} = \frac{Q_{eq}}{E}$$

### II.9.4 CHALEUR TOTALE CONSOMMÉE :

C'est la somme de toutes les chaleurs utilisées dans le système de production d'air chaud. On peut la calculer à l'aide de l'expression:

$$Q_c^t = \int_0^t \dot{m}_a C_p (T_A - T_a) dt$$

Avec :

$T_A$  : Température de l'air asséchant (K)

$T_a$  : Température ambiante (K)

En supposant, en outre, que la température de séchage  $T_A$  est constante pendant la durée de l'opération, on peut écrire que:

$$Q_c^t = \dot{m}_a C_p (T_A - \bar{T}_a) t$$

## CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

Où :  $\bar{T}_a$  désigne la valeur moyenne de la température ambiante (K).

Ou encore en écrivant le bilan thermique global au niveau du tunnel de séchage:

$$Q_c^t = Q_{ap} + Q_{rc}$$

Avec :  $Q_{ap}$  : chaleur d'appoint

$Q_{rc}$  : chaleur recyclée (recyclage de l'air asséchant)

### II.9.5 CHALEUR REJETEE DANS L'AMBIANCE:

La chaleur rejetée est la chaleur véhiculée par l'air sortant du séchoir. On peut l'évaluer à l'aide de la relation:

$$Q_r = Q_c^t + Q_{se}$$

Ou encore sous forme de l'intégrale :

$$Q_r = \dot{m}_a C_P (T_A - T_a) d$$

Elle représente donc une perte d'autant plus importante que la température de l'air asséchant à la sortie du séchoir est élevée.

### II.9.6 CHALEUR RECYCLEE :

Comme l'air sortant du séchoir à une température nettement supérieure à la température ambiante, son recyclage conduit à un apport supplémentaire d'énergie réutilisable par le système.

On peut évaluer cette énergie supplémentaire comme suit:

$$Q_r = P_c Q_s$$

Où  $P_c$  représente le taux de recyclage de l'air dans le système.

Notons que la chaleur réellement rejetée dans l'ambiance et non récupérée est:

$$Q_r = (1 - P_c) Q_r$$

**II.9.6 CHALEUR D'APPOINT :** La chaleur d'appoint régularise l'air entrant dans le tunnel de séchage à une température constante. Elle est fournie par les batteries chaude et froide considérée comme source de chaleur munie d'un système de régulation de température.

La chaleur d'appoint se calcule comme suit :

$$Q_a = \int_0^t \dot{m}_A C_P (T_A - T_{A,S}) d$$

## CHAPITRE II ETUDE THEORIQUE ET PARAMETRES DU PROCESSUS DE SECHAGE

Avec :  $T_{A,S}$  : Température de l'air à la sortie de la source chaude (K).

Soit encore:

$$Q_a = Q_c - Q_r$$

**II.9.7 Etude environnementale:** L'utilisation d'une énergie autre que le solaire entraîne dans la plupart des cas la conversion d'une énergie électrique. Ce dernier est issu souvent d'une réaction chimique par conséquent les résidus polluants sont jetés dans l'atmosphère. Dans le cas de l'utilisation d'une source électrique, comme dans les machines de compression. Les centrales thermiques qui sont les plus utilisées pour les demandes régulières consomment des combustibles lourds comme le fuel pour une production d'énergie électrique ; ainsi des gaz toxiques nés de combustion notamment le CO<sub>2</sub> sont jetés dans l'atmosphère. L'effet de serre est augmenté en ce sens que le CO<sub>2</sub> absorbe une partie du rayonnement solaire reflété par la terre et sous dimensionnement des machines frigorifiques. En conséquence l'utilisation de l'énergie solaire permettant d'éviter le rejet du CO<sub>2</sub>, rejetée par une centrale thermique utilisant le fuel lourd, constitue un avantage environnemental certain. Nous savons qu'un kWh d'énergie électrique produit à partir du pétrole entraîne le rejet de 0,8056 kg de CO<sub>2</sub> pour un fonctionnement de 24 h / 24. La quantité de CO<sub>2</sub> rejetée par année est alors:

$$k_{CO_2} / an = 24 \cdot 365 \cdot \frac{P_e}{0,8} = 10873,9 \cdot P_e$$

Avec  $P_e$  la puissance électrique de l'installation.  $k_{CO_2} / An = 1837686,196$

**Conclusion partielle :** Dans ce travail la cinétique de séchage en couche mince du grignon d'olive dans un séchoir convectif de type tunnel est étudiée pour différents températures, les résultats obtenus montrent que la durée de séchage diminue significativement avec la température.

D'une manière plus générale, le rendement des composants de l'installations de séchage présent des performances acceptable, le seul souci est les problèmes liés à l'alimentation des trémies et le dégagement des cendres.

Malgré, ces inconvénients et ces charge supplémentaire les grignons restent un combustible de choix.

Par ailleurs, les grignons présentent l'avantage qu'il est un combustible renouvelable et disponible sur le marché local, par conséquent, son exploitation en tant que combustible offre une solution aux énormes quantités de grignons produits par l'industrie d'extraction de l'huile d'olive au dépend évidemment d'un problème environnemental conséquent.

**CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF**

**III.1 DEFINITION :**

Le charbon actif, aussi nommé charbon activé ou carbone activé, est un matériau constitué essentiellement de matière carbonée à structure poreuse.

On appelle charbon actif tout charbon ayant subi une préparation particulière et qui, de ce fait, possède à un haut degré la propriété de fixer et de retenir certaines molécules amenées à son contact. Il s'agit d'une structure amorphe composée principalement d'atomes de carbone, généralement obtenue après une étape de carbonisation d'un précurseur à haute température

Un charbon actif présente en général une grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant. L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules se fixent sur la surface de l'adsorbant par des liaisons faibles: forces de Van der Waals, interactions électrostatiques, liaisons hydrogène.

Des preuves de l'utilisation du charbon actif remontent à l'Antiquité avec des utilisations médicinales par Hippocrate vers 400 ans av. J.-C. ou pour de la purification d'eau par les Égyptiens vers 1 550 ans av. J.-C. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, le noir animal, produit à partir d'os, a été employé pour la purification de liquides par filtration et pour la décoloration, notamment pour la production de sucre blanc. L'Écossais John Stenhouse s'en servit pour les premiers masques respiratoires (1860, 1867).

C'est au XX<sup>e</sup> siècle que les procédés de production furent améliorés pour permettre une production industrielle de charbons actifs pour des applications variées: capture de polluant en phase gazeuse ou aqueuse, procédés de séparation de gaz, etc. Des procédés de traitement physique ou chimique ont été mis au point pour permettre la production de charbons actifs ayant une meilleure efficacité: le chimiste suédois von Ostrejko définit les bases de l'activation physique (vapeur d'eau dioxyde de carbone) et chimique (chlorures métallique) dans deux brevets datés de 1900 et 1901, et l'activation chimique par des acides (Bayer, 1905), etc.

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF



Figure III.1 : Graphite (à gauche) et diamant (à droite), les deux allotropes du carbone les plus connus



Figure III.2 : charbon actif

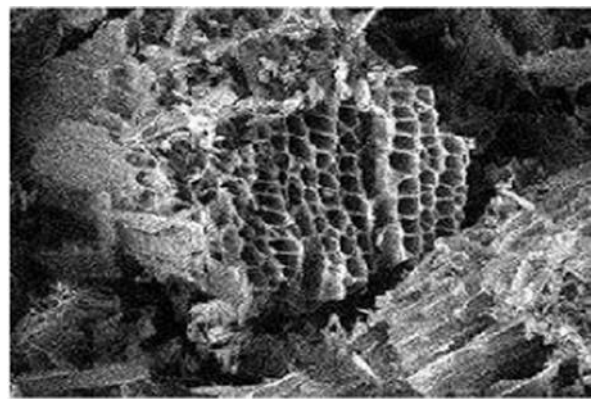


Figure III.3 : Structure du charbon actif vu sous un Microscope électronique

**III.2 LES DIFFERENTES FORMES DU CHARBON ACTIF :**

Il existe trois formes principales de charbon actif :

**III.2.1 CHARBON ACTIF EN GRAIN (CAG) :**

### CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

Ce sont des particules de formes irrégulières parmi une gamme de tailles allant de 0.2 mm à 5 mm Ce type de charbon est utilisé pour des applications en phase liquide et gazeuse.



**Figure III.4 : Charbon actif granulaire**

#### **III.2.2 CHARBON ACTIF EXTRUDE (EAC) :**

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



**Figure III.5 : Charbon actif Extrudé**

#### **III.2.3 CHARBON ACTIF EN POUDRE (CAP) :**

Le charbon actif en poudre ou CAP prend la forme de grains de taille comprise entre 10 et 50  $\mu\text{m}$  et il est généralement utilisé en combinaison avec un traitement clarificateur. Le PAC est ajouté continuellement avec l'eau à traiter avec des agents floculants. Il est recommandé d'utiliser des clarificateurs pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau. La dose d'ozone nécessaire dans le cadre d'une interoxydation est alors réduite. La principale conséquence est que le nombre de sous-

## CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

produits d'ozonation diminue.

Ce charbon est principalement employé dans des applications en phase liquide et pour le traitement des flux gazeux.



Figure III.6 : Charbon actif en poudre.

### III.3 CARACTERISTIQUES DU CHARBON ACTIF :

#### III.3.1 VOLUME POREUX ET TAILLE DES PORES :

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée, nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de solide, habituellement exprimé en ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )

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

1. **Les micropores** : si le diamètre est inférieur à 2 nanomètres (2 nm)
2. **Les mésopores** : si le diamètre est compris entre 2,5 nanomètres et 50 nanomètres (50nm)
3. **Les macropores** : si le diamètre excède 50 nanomètres (50 nm)

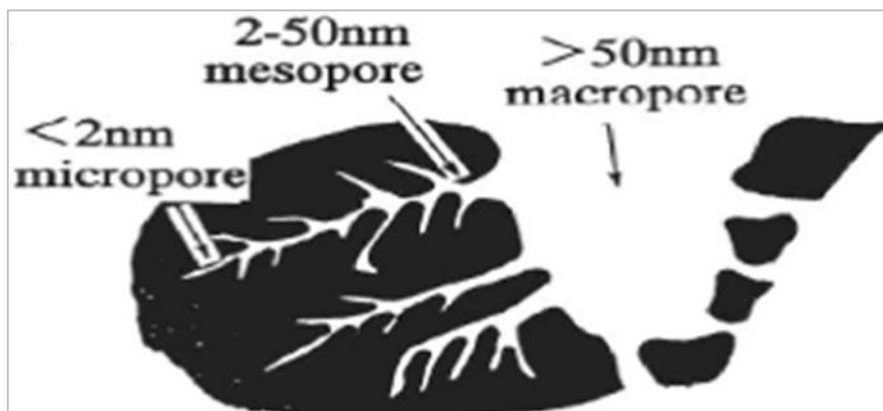
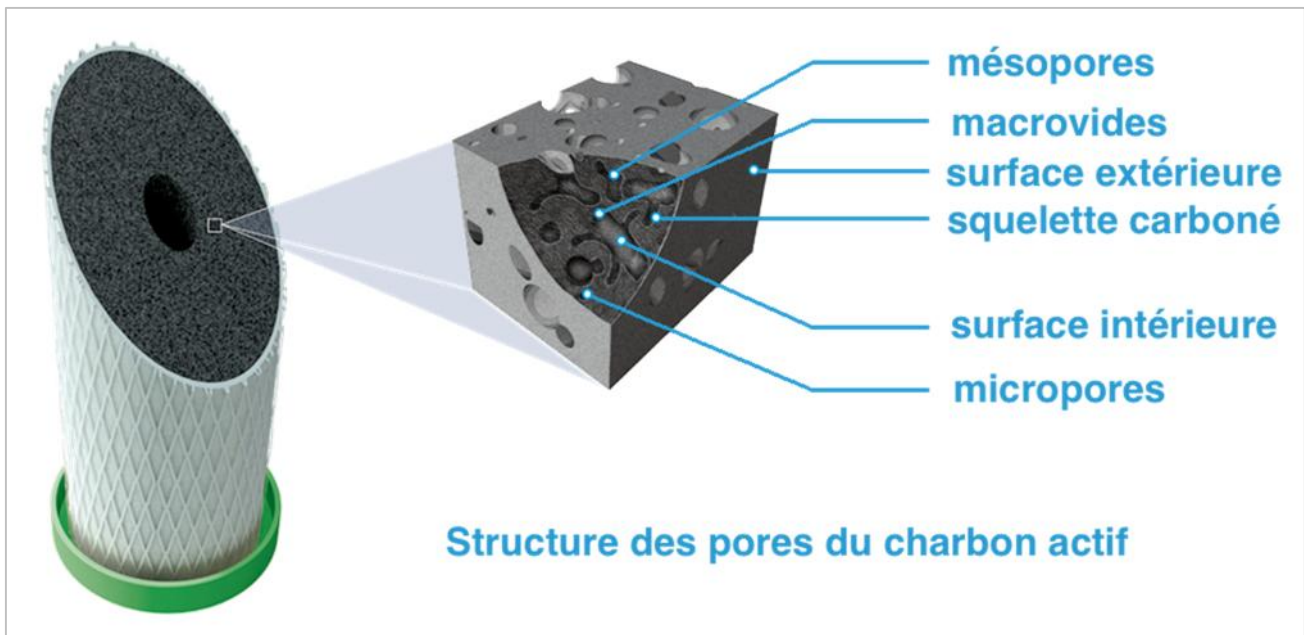


Figure III.7 : Structure des pores du charbon actif

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF



### III.3.2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES :

#### ) La porosité :

Elle présente la fraction de volume vide d'un adsorbant. Elle est liée à la densité réelle et à la densité apparente par la relation :

$$P = 1 - \frac{d}{d_a}$$

Où : p : la porosité

$d_a$  : la densité apparente

d : la densité réelle

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

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer la porosité d'un solide. De plus, certaines d'entre elles permettent de déterminer la répartition des pores, chose relativement importante, compte tenu du fait que souvent la surface interne (des pores) est supérieure à la surface des particules.

#### ) La densité apparente :

C'est un paramètre utilisé surtout pour les charbons actifs en grains, c'est le poids de charbon par unité de volume exprimé en  $\text{kg/m}^3$  ou dans certains cas en  $\text{g/cm}^3$ .



## CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

L'AWWA( American water association) recommande l'utilisation de charbons ayant une densité apparente supérieure à  $350\text{kg/m}^3$ .

Cette densité apparente détermine avant le montant de l'achat du charbon, généralement vendu au poids alors que le traiteur d'eau pense en termes de volume à remplir. la densité détermine également l'expansion du lit de charbon pendant le lavage à l'eau. il est préférable de choisir des charbons denses.

### ) **La surface spécifique :**

Par définition, la surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse. Elle est généralement exprimée en  $\text{m}^2/\text{g}$ .

En fonction du matériau d'origine, du type d'activation et des conditions de sa mise en œuvre, toute une gamme de charbon actif est obtenue. Leurs surfaces spécifiques peuvent s'étendre de 400

à  $2000\text{ m}^2/\text{g}$ . leurs distributions de microporosité sont variées et peuvent être adaptées à différents usages.

La surface spécifique est calculée en mesurant la quantité d'un gaz adsorbé à basse température (généralement l'azote à  $77^\circ\text{K}$ ) et en supposant que la surface est recouverte par une monocouche de molécules.

### ) **La friabilité :**

On estime la friabilité d'un matériau en appréciant la quantité de matériau restant utilisable après broyage, c'est-à-dire ayant la même taille effective que l'échantillon initial.

$$\text{Friabilité} = \frac{1}{9} (x-10) = \text{perte en \%}$$

Où x est le pourcentage en poids du matériau.

Elle est généralement mesurée après 750 coups et 1500 coups de broyage et on considère que le charbon actif est de qualité médiocre quand sa friabilité dépasse les 15% après 750 coups de broyage et 25% après 1500 coups.

### ) **La granulométrie :**

C'est la mesure de la dimension des grains de charbon actif. il est bien évident que tous les grains d'une certaine qualité de charbon actif n'ont pas la même dimension. Ainsi, il est indispensable de faire l'étude statistique des dimensions des grains de charbon.

La granulométrie consiste à peser un échantillon après séchage, ensuite par tamisage sur un empilement de tamis normalisés. On note le poids des matériaux qui ont traversé chaque tamis dans la maille es

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

inférieur à la maille du tamis considéré, on exprime ce poids en pourcentage du poids de matériaux utilisés pour l'analyse, on trace ensuite la courbe présentant des pourcentages en fonction des vides de maille de chaque tamis.

On appellera taille effective la taille correspondante au pourcentage de 10 sur la courbe, c'est -à-dire la taille de particules pour 10% de l'échantillon se trouve au-dessous de cette dimension.

% Poids du matériau

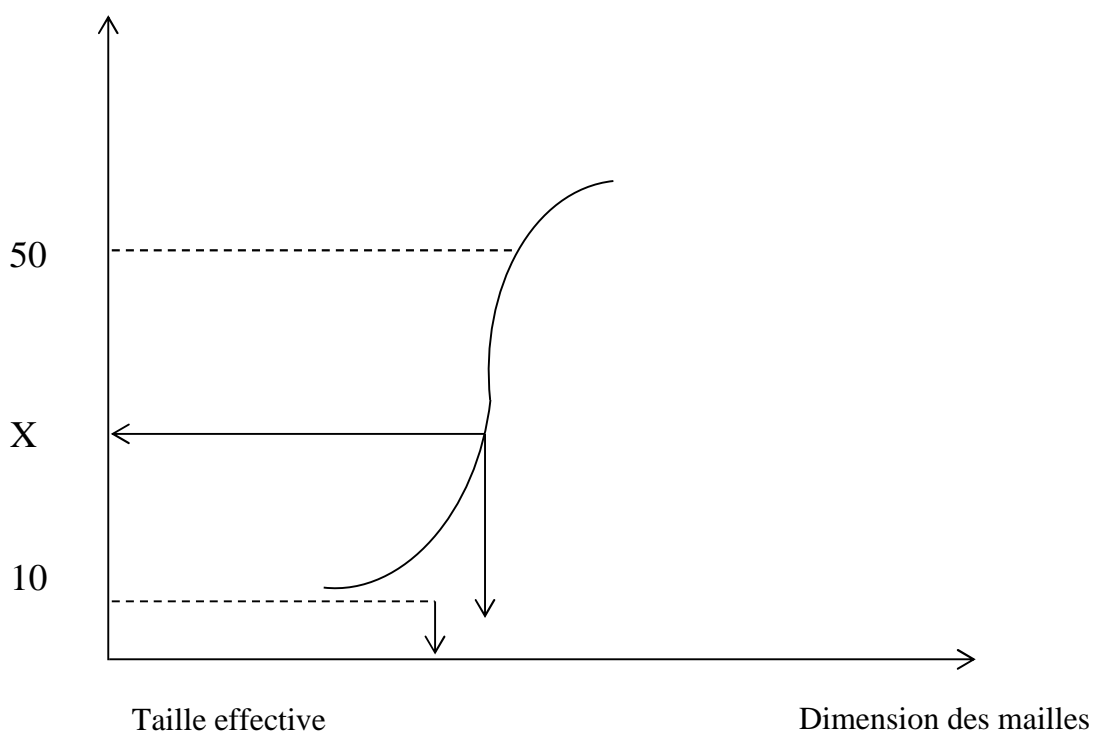


Figure III.8 : courbe de granulométrie

) **Coefficient d'uniformité :**

C'est le rapport entre la taille correspondante au pourcentage de 50 et celle correspondante au pourcentage de 10(déterminer à partir de la courbe granulométrique). C'est un paramètre utilisé surtout pour les charbons en grains.

$$CU = (\text{taille de } 50\%) / (\text{taille de } 10\%)$$

Plus le coefficient d'uniformité est élevé et plus les fronts d'adsorption se rapprocheront de leurs allure théorique .on utilise des charbons ayant des coefficients d'uniformité de l'ordre de 1,6.

) **Humidité et teneur en cendre :**

## CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

Es deux paramètres dont également importants lorsqu'il s'agit de sélectionner un charbon actif. A la livraison, l'humidité doit être inférieure à 5% tandis que la teneur en cendre ne doit pas dépasser 10% sinon le pH risque d'atteindre des valeurs élevées et de causer la précipitation de

Carbonate de l'eau sur le charbon. Ceci entraîne évidemment une baisse de la capacité d'adsorption.

### **III.3.3 CARACTERISTIQUES CHIMIQUE :**

Elle repose essentiellement sur la capacité d'adsorption d'un charbon actif vis-à-vis de substances données. Dans certains pays, on utilise l'indice FINAD, c'est-à-dire la somme des notes attribuées pour l'adsorption des substances polluantes qui sont le phénol(F), l'iode(I), l'indole(N), le phénazone(A) et les détergents(D). on limite souvent aux indices FND.

#### **) Indice d'iode :**

Pour les charbons actifs destinés à des applications en traitement des eaux, l'indice d'iode représente la quantité d'iode exprimée en mg, adsorbée sur charbon actif

#### **) Indice de phénol :**

Il représente la quantité de phénol  $C_6H_5O$  exprimé en mg, adsorbé sur charbon actif.

### **III.4 L'ADSORPTION ET L'ADSORBANT :**

#### **III.4.2 HISTORIQUE :**

Depuis très longtemps, les solides 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 refroidit était capable d'adsorber plusieurs fois son propre volume de différents gaz. Le terme d'adsorption est apparu en 1881, utilisé par KAYZER 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.

Alors, tout atome ou molécule qui s'approche d'une surface subit une attraction qui peut conduire à la formation d'une liaison entre la particule et la surface. ce phénomène constitue « l'adsorption ».

Face au nombre toujours croissant de micropolluants dans les eaux brutes, on devrait sans doute recourir de plus en plus aux procédés d'adsorption pour affiner les eaux de distribution.

#### **III.4.1 PHENOMENE D'ADSORPTION :**

### CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

En chimie, l'adsorption est un phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) depuis une phase gazeuse, liquide ou une solution solide. Dans le cas d'un atome adsorbé, on parle d'adotome.

Ce phénomène ne doit pas être confondu avec l'absorption dans lequel un fluide ou le composant d'une solution solide est absorbé dans le volume d'une autre phase liquide ou solide.

Ce processus est donc basé sur l'interaction de l'adsorbat avec une surface, ce qui peut faire intervenir divers processus plus ou moins intenses comme les interactions de Van der Waals, les interactions dipolaires, ou les liaisons chimiques covalentes ou ioniques.

Le phénomène inverse, par lequel les molécules adsorbées sur une surface s'en détachent, notamment sous l'action de l'élévation de la température, ou de la baisse de pression, se nomme la désorption.

Ce phénomène a une très grande importance dans de nombreux processus physiques et chimiques : capture de polluants, séparation de gaz, catalyse, etc. Il est aussi la base de nombreuses méthodes de caractérisation des solides comme la mesure des surfaces spécifiques ou l'étude de la porosité. En mécanique industrielle, il joue un rôle fondamental dans les processus de lubrification et les procédés de brasage.

Le terme "adsorption" fut utilisé pour la première fois en 1881 par le physicien allemand in Heinrich Kayser. L'étude de l'adsorption est basée sur la mesure de la corrélation entre la concentration d'adsorbat dans la phase fluide et la quantité d'adsorbat qui est piégée par la surface à une température donnée: c'est la mesure des isothermes d'adsorption. De très nombreux modèles ont été et sont toujours créés pour rendre compte des mesures expérimentales, certains sont très simples (isotherme de Langmuir ou de Freundlich) alors que d'autres nécessitent des calculs très complexes (simulations basées sur la théorie de la fonctionnelle de la densité ou sur la méthode Monte-Carlo)

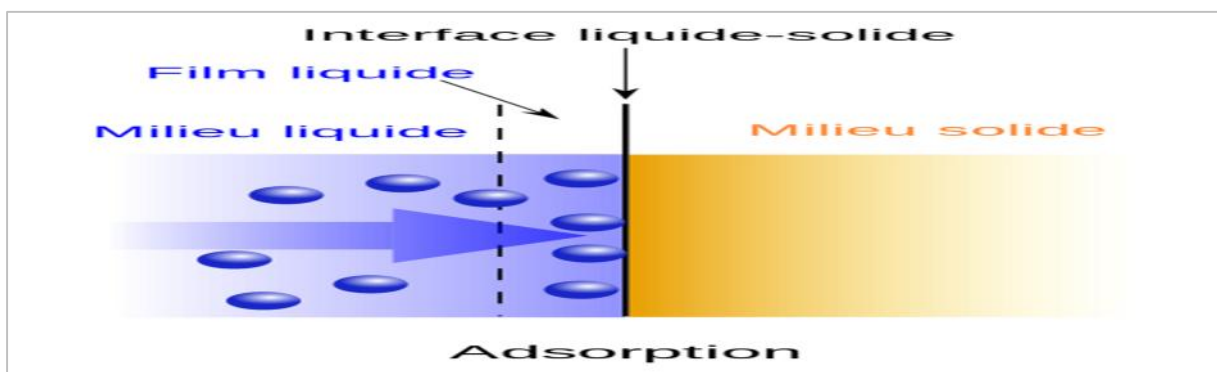


Figure III.8 : Illustration du phénomène de sorption : Adsorption

#### III.4.2 TYPES D'ADSORPTION :

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

On distingue deux types d'adsorption qui sont le plus souvent mis en jeu simultanément :

**III.4.2.1 Adsorption physique (physisorption) :**

L'adsorption physique ou adsorption de van der Waals est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules du solide et celle de la substance adsorbée. Ce phénomène contrôlé par la diffusion des molécules atteint son équilibre rapidement (quelques secondes à quelques minutes) mais peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion de l'adsorbat dans ses structures de dimensions voisines du diamètre des molécules de l'adsorbant

**III.4.2.2 Adsorption chimique (chimisorption) :**

L'adsorption chimique ou adsorption activée résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une enthalpie de transformation élevée.

**III.4.3 LA DIFFERENCE ENTRE PHYSISORPTION ET CHIMISORPTION :**

	<b>Physisorption</b>	<b>Chimisorption</b>
<b>Type de liaison</b>	Van der Waals (électrostatique)	Ionique ou covalente
<b>Energie de liaison</b>	Faible	Forte
<b>Réversibilité</b>	Facile	Difficile
<b>Type de couche</b>	Poly-moléculaire	Mono-moléculaire
<b>Chaleur d'adsorption (KJ/mol)</b>	50	100 à 500

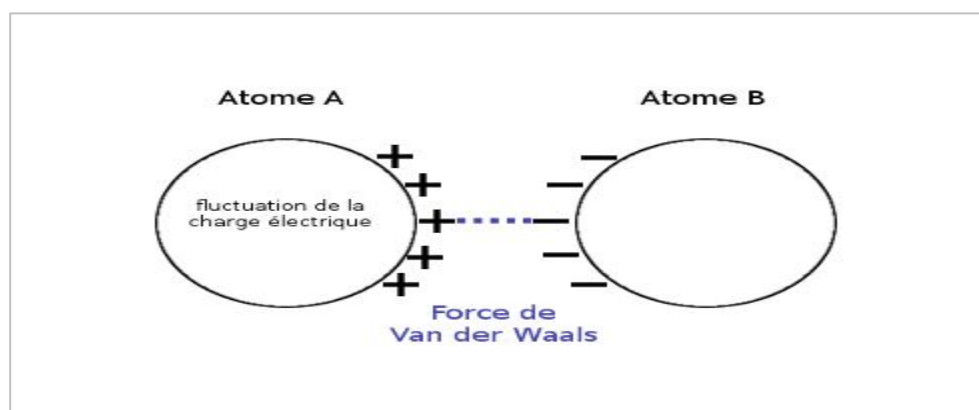
**Tableau III.1 : Différences entre physisorption et chimisorption**

**III.4. LA FORCE DE Van der Waals :**

### CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

Lors du processus d'adsorption, la Force Van der Waals entre en jeu et met en place l'une des forces fondamentales de l'univers c'est à dire, l'électromagnétisme.

En effet, les particules ne peuvent pas vraiment se fixer d'elles-mêmes sur une paroi comme par magie, il nous faut donc étudier le processus grâce auquel les particules se fixent au charbon actif en surface. Nous sommes habituellement, lorsque l'on étudie un atome, confrontés au modèle de Rutherford qui décrit l'atome avec le noyau et ses électrons gravitants autour en lignes circulaires. Mais pendant l'adsorption il faut admettre que chaque électron peut être situé n'importe où autour du noyau, ce modèle est appelé modèle quantique où tous les électrons seront représentés dans un cercle où les électrons ne sont représentés mais sont dans ce cercle, celui-ci à un nom qui prend tout son sens avec ce modèle: c'est le nuage électronique. Dès lors que l'on s'est fait à cette idée, ce modèle, il faut émettre l'hypothèse qu'à n'importe quel moment un côté de l'atome peut contenir plus d'électrons que l'autre, alors ce côté est dit plus négatif que le côté opposé. Si le même phénomène se produit sur un autre atome et que les côtés les plus proches des deux atomes ont des états différents, c'est-à-dire que, par exemple: le côté gauche de l'atome de droite est plus négatif et le côté droit de l'atome de gauche est moins négatif, alors les deux atomes se verront être attirés l'un vers l'autre et pourrons au final rester fixés ensemble.



#### III.4.4 L'ADSORBANTS :

Au sens strict, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) peuvent avoir des intérêts pratiques.

Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de  $100 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , atteignant même quelques milliers de  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .

Certains adsorbants ont leurs surfaces fonctionnalisées par des groupements oxygénés permettant la formation de liaisons hydrogènes, tandis que d'autres possèdent une structure ionique responsable d'un champ électrique intense dans les pores.

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

Les principaux adsorbants sont les alumines, les gels de silices, les zéolites, les argiles et les charbons actifs. Il en existe également d'autres : les résines, les polymères ...etc.

**III.5 LES DIFFERENTS TYPES D'ADSORBANTS :**

Types d'adsorbants	Caractéristiques	Caractéristiques	
		Origine (précurseur)	
<b>Les charbons actifs</b>	Carbone ou matériaux végétal	Préparer par pyrolyse.	plusieurs centaines de qualités suivant le précurseur et les conditions de traitement
<b>Les zéolites</b>	Aluminosilicates cristallisées microporeux de formule globale $(A_2M, nSiO_2)$ . (M est un métal alcalin ou alcalinoterreux, n 1)	Cristaux de synthèse	Plus de 100 espèces différentes par la valeur de n et la structure cristallographique.
<b>Les alumines activées</b>	$A_2O_3, 0,5 H_2O$	Produit de synthèse.	Surface couverte de groupement AL OH. Adsorption préférentielle par liaisons hydrogène. Adsorbant amorphes, moyennement polaire et hydrophile. Surface spécifique 150 à 300m <sup>2</sup> /g

<b>Les gels de silice</b>	$(SiO_2)_n, (H_2O)_x$	Procédé hydrothermal (formation du $[Si(O)_4]$ puis
---------------------------	-----------------------	---

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

		polycondensation progressive). Surface couverte de groupements SI OH. Adsorption préférentielle par liaisons hydrogène. Surface spécifique 350 à 800m <sup>2</sup> /g
<b>Le noir animal</b>	Os d'animaux	Carbonisation en absence d'air. Surface spécifique de l'ordre de 120m <sup>2</sup> /g
<b>Les argiles activées</b>	Des aluminosilicates de formule brute proche des zéolithes	Produits naturels utilisés surtout pour le séchage. Structure cristalline différente de celle des zéolithes.

### III.5 LA CINÉTIQUE D'ADSORPTION :

Le temps que met que met une substance pour se fixer sur un adsorbant présente une importance certaine, mais son étude (la cinétique d'adsorption) ne repose pas sur les lois classiques.

Il s'agit d'un transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention des solutés à la surface du charbon actif appelé adsorbant. L'étude de l'adsorption d'un composé sur un adsorbant nous permet d'examiner l'influence du temps de contact sur sa rétention.

L'adsorption peut être décomposée en quatre étapes :

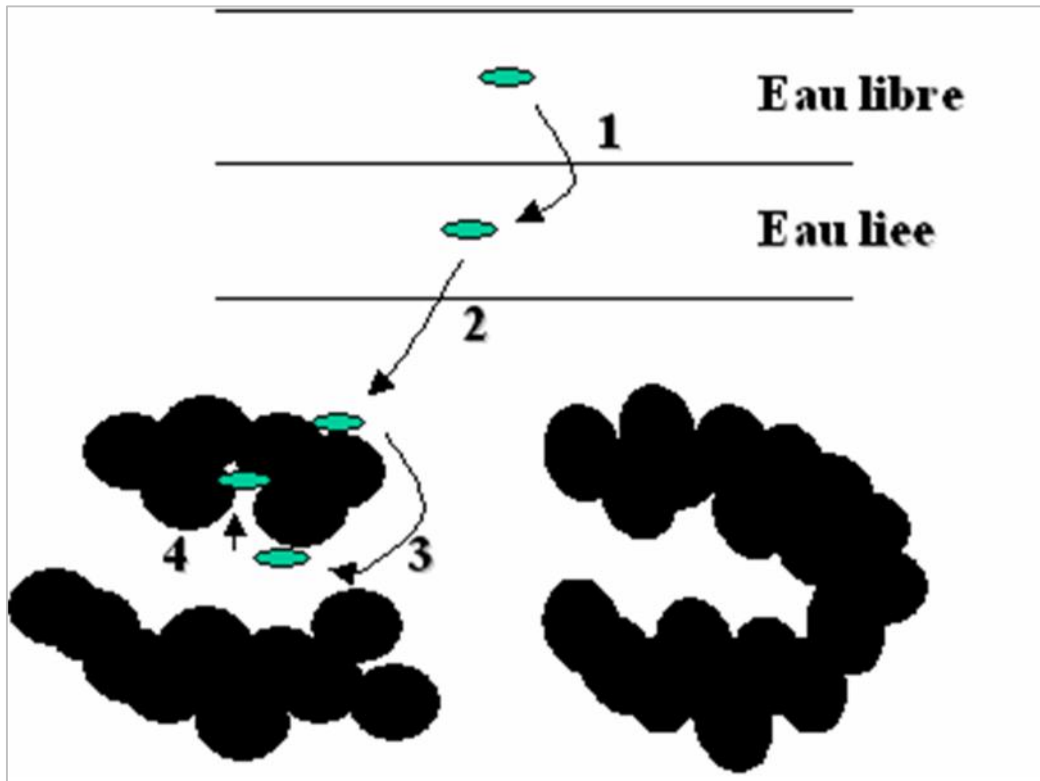
**Étapes n°1 :** transfert de la particule de la couche externe d'hydratation vers la couche interne. (Étape très rapide)

**Étape n°2 :** déplacement de l'eau liée jusqu'au contact avec le charbon (étape rapide)



**Étape n°3 :** diffusion à l'intérieur du charbon sous l'influence du gradient de concentration. (Étape lente)

**Étape n°4 :** Adsorption dans un microscope. (Étape très lente).



**Figure III.9: Étapes de transfert d'un soluté lors de son adsorption**

Le niveau d'activité de l'adsorption est basé sur la concentration de la substance dans l'eau, la température et la polarité de la substance. Une substance polaire est très mal supprimée par le charbon actif, alors qu'une substance non polaire peut être totalement supprimée.

L'adsorption en phase liquide se produit beaucoup plus lentement que celle des gaz ou des vapeurs sur un solide. On peut cependant remarquer que :

Les facteurs qui peuvent augmenter la vitesse d'adsorption sont :

- ) La diffusion des molécules vers la surface de l'adsorbant au travers du film liquide.
  - ) La diffusion des molécules vers la surface de l'adsorbant et l'adsorption sur les sites internes.
- Dans la plupart des cas, la vitesse est contrôlée par le mécanisme de diffusion.

### **III.5 LA SURFACE SPECIFIQUE :**

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

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

Pour les charbons actifs, cette surface varie entre 100 et 2000  $m^2.g^{-1}$ .

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

Tableau III.3 : Surfaces spécifiques de quelques matériaux adsorbants

Il est nécessaire de distinguer la surface interne de la surface externe d'un adsorbant. La première est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores : elle peut atteindre plusieurs mètres carrés par gramme.

La deuxième est la surface non microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface des feuillets aromatiques, comme représenté sur la figure III.3.

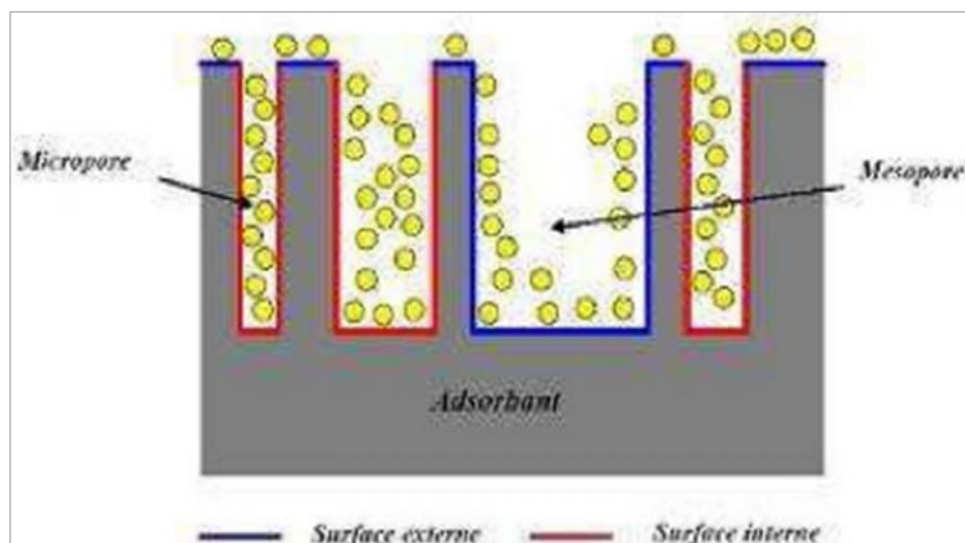


Figure III.9 : Représentation de la surface interne et externe d'un matériau Poreux (adsorbant).

III.4.4 LA DENSITE APPARENTE :

**CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF**

Elle rend compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel. Une valeur élevée de densité apparente indique une meilleure qualité de charbon actif. Elle est exprimée en kg. m<sup>-3</sup>.

**III.5 PREPARATION DU CHARBON ACTIF :**

En général, le charbon est un matériau carboné poreux, il peut être préparé à partir de plusieurs types de matières premières telles l'anhracite, les schistes bitumineux, le bois, la lignine, la coque de noix de coco, la coque d'amande, le grignon et les noyaux d'olives, la pulpe de pomme, les pépins d'oranges, les noyaux de dattes, les grains de café, les noyaux d'abricots, les polymères et les déchets carbonés

Le tableau suivant montre les différentes matières premières pour préparer le charbon actif.

<b>Matières premières</b>	<b>Forme</b>	<b>Pourcentage en Carbone</b>
<b>Lignite</b>		<b>Environ 70% de carbone</b>
<b>Charbon bitumineux</b>		
<b>Anthracite</b>		<b>Environ 95% de carbone</b>
<b>Les noyaux de dattes</b>		
<b>Les noyaux des olives</b>		

**Figure III.4 : les différentes matières premières pour préparer le charbon actif**

**III.5.1 ACTIVATION DU CHARBON ACTIF :**

Les charbons actifs sont produits à partir de deux méthodes d'élaboration différentes : l'activation physique (deux traitements thermiques successifs : la carbonisation et l'activation) et l'activation chimique (un seul traitement thermique suivi de la mise en contact avec un agent activant)

**1. Activation physique :**

Elle se déroule en deux étapes :

**1. A La carbonisation de la matière première:**

Elle permet l'élimination des atomes autres que le carbone (N, H, O, S) contenus dans la matière première pour donner un matériau carboné avec une structure poreuse rudimentaire appelée carbonisât.

Cette étape du procédé est réalisée dans une atmosphère inerte à des températures inférieures à 1 000°C (comprises entre 600°C et 900°C en fonction de la matière première). Elle fournit des

Matériaux ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique comprise entre 10 m<sup>2</sup>. g<sup>-1</sup> et 100 m<sup>2</sup>. g<sup>-1</sup>), qui est ensuite développée durant le processus d'activation.

## CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

### **1. BL'activation physique :**

Est une oxydation ménagée du carbonisât réalisée à haute température (entre 700°C et 1 000°C) par un gaz oxydant pendant un temps donné en fonction de la porosité désirée. Les gaz les plus utilisés sont la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

### **2. Activation chimique :**

L'activation chimique est généralement réalisée en plusieurs étapes mais elle ne comporte qu'un seul traitement thermique.

Dans un premier temps, il s'agit de mettre en contact l'agent activant et la matière première, les agents oxydants les plus utilisés sont l'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), la potasse (KOH) et le chlorure de zinc (ZnCl<sub>2</sub>).

Les mélanges solides obtenus subissent un traitement thermique, sous un flux de gaz inerte (généralement l'azote) à des températures comprises entre 500°C et 900 °C.

Les conditions du traitement thermique dépendent du précurseur et de l'agent activant utilisé. Le CA est ensuite lavé (par exemple à l'acide nitrique HNO<sub>3</sub>) puis rincé à l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un filtrat neutre.

## **III.6 LE POUVOIR CALORIFIQUE :**

### **III.6.1 DEFINITION :**

Le pouvoir calorifique d'un combustible à la température T est égal à la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète sous pression atmosphérique normale de l'unité de quantité de ce combustible (pouvoir calorifique massique pour l'unité de masse, volumique pour l'unité de volume ou molaire pour une mole), les éléments nécessaires à la combustion et les produits de la réaction étant pris dans les mêmes conditions de pression et de température.

On distingue :

### **III.6.2 Le pouvoir calorifique supérieur :**

Noté (PCS, en anglais : higher heating value : HHV) est une propriété des combustibles. Il s'agit de la « quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée condensée et la chaleur récupérée », noté PCS, où l'eau formée pendant la combustion est condensée à la température T, et le pouvoir calorifique inférieur, noté PCI, où l'eau formée par la combustion est considérée à l'état gazeux à la température T.

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

**III.6.3 Le pouvoir calorifique inférieur :**

Noté (PCI, en anglais : lower heating value : LHV) est une propriété des combustibles. Il s'agit de la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée non condensée et la chaleur non récupérée.

Nom	PCS (J/kg)	PCI (J/kg)	PCS/PCI	PCI/PCS
Charbon	34,1*10 <sup>6</sup>	33,3*10 <sup>6</sup>	1,024	0,977
CO	10,9*10 <sup>6</sup>	10,9*10 <sup>6</sup>	1,000	1,000
Méthane	55,5*10 <sup>6</sup>	50,1*10 <sup>6</sup>	1,108	0,903
Gaz naturel	42,5*10 <sup>6</sup>	38,1*10 <sup>6</sup>	1,115	0,896
Propane	48,9*10 <sup>6</sup>	45,8*10 <sup>6</sup>	1,068	0,937
Essence	46,7*10 <sup>6</sup>	42,5*10 <sup>6</sup>	1,099	0,910
Diesel	45,9*10 <sup>6</sup>	43,0*10 <sup>6</sup>	1,067	0,937
Hydrogène	141,9*10 <sup>6</sup>	120,1*10 <sup>6</sup>	1,182	0,846

**Tableau III.4 :** Pouvoir calorifique de quelques combustibles

**III.6.4 Formulation mathématique du principe de détermination du PCI :**

**III.6.4.1 Bilan énergétique :**

De façon générale, le principe de la conservation de l'énergie dans le dispositif se traduit symboliquement par :

Combustible x PCI + Air x ζ<sub>HA</sub> = Fumée x ζ<sub>HF</sub> + Cendres x ζ<sub>HC</sub> + Pertes thermiques + Pertes imbrulés.

Où : ζ<sub>Hi</sub> représente l'enthalpie du composé correspondant.

Cette relation se traduit par l'équation de bilan énergétique :

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Où : Q<sub>c</sub> est la quantité de chaleur contenue dans le combustible

Q<sub>1</sub> la quantité de chaleur absorbée par l'eau

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

Q2 la quantité de chaleur perdue dans les fumées (gaz + air)

Q3 la quantité de chaleur perdue dans les imbrûlés combustible

Q4 la quantité de chaleur perdue dans les solides imbrûlés (cendres et cendres volantes)

Q5 la quantité de chaleur perdue par les parois et Q6 la quantité de chaleur perdue dans les résidus solides.

Ainsi pour une masse M de combustible introduit dans le four, son Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) est donné par la relation :

$$PCI = \frac{Q_c}{M}$$

Dans la suite du document nous exposons les détails de calcul pour chaque quantité de chaleur.

**III.6.4.2 Expressions mathématiques des échanges de chaleur**

**) Chaleur absorbée par l'eau :**

L'eau du réservoir circulant en circuit fermé, il a été installé deux prises de températures l'une à l'entrée et l'autre à la sortie du circuit ( $T_{eA}$   $T_{eB}$ ). Ainsi les températures initiales et finales sont données respectivement par :  $T_{i1} = (T_{eA1} + T_{eB1})/2$  et :  $T_{f2} = (T_{eA2} + T_{eB2})/2$ . La chaleur reçue par l'eau contenue dans le réservoir est déterminée par l'expression suivante :

$$Q_1 = (m \cdot C_e \cdot T)$$

Où :  $T = T_f - T_{in}$  est le gradient de température entre l'état final et initial, m représente la masse de l'eau dans le réservoir (52 litres soit environ 52kg) ;  $C_e$  est la chaleur massique de l'eau ( $C_e = 4,1868 \text{ kJ/kg.K}$ ).

**) Chaleur perdue par les fumées (les gaz brûlés plus l'air) :**

La chaleur perdue par les fumées est calculée à chaque pas de temps en tenant compte du volume et de la composition des fumées ainsi que de l'air. L'équation suivante donne l'expression mathématique de cette chaleur :

$$Q_2 = \sum [C_p(t) \cdot V_F \cdot T_F(t) - T] - C_{p,a} \cdot V_a \cdot T_a$$

Où :  $C_p(t)$  est la chaleur spécifique du gaz rejeté à l'instant t (CO, CO2, O2, SO2, NO...)

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

TF(t) est la température des fumées à l'instant t

VF le débit volumique des fumées

$C_{p,a}$  La chaleur spécifique de l'air ;  $V_{air}$  est le volume molaire de l'air et  $T_a$  la température ambiante.

**) Chaleur perdue par les imbrûlés combustibles :**

Cette quantité de chaleur est fonction des chaleurs de combustion et des fractions volumiques des différents gaz. En général ces fractions volumiques sont ramenées à celle du monoxyde de carbone (CO). Ainsi, ces pertes se ramènent à celle de la combustion incomplète. Ainsi l'expression suivante est utilisée pour déterminer cette chaleur :

$$Q_3 = (12644 V_C + 10862 V_{H_2} + 35797 V_{CH_4}) V_F \frac{T_0}{T_F}$$

Où :  $T_0 = 273,16$  K

VF : débit volumique des fumées.

Les constantes 12644, 10862 et 35797 correspondent respectivement aux chaleurs de combustion de CO, H2 et CH4 exprimées en kJ/Nm<sup>3</sup>

$V_{CO}$ ,  $V_{H_2}$  et  $V_{CH_4}$  représentent les fractions volumiques des différents gaz.

**) Chaleur perdue par les solides (cendres) imbrûlés :**

Cette chaleur, qui est fonction des caractéristiques des solides imbrûlés, est donnée par l'expression :

$$Q_4 = m_C C_p T_C$$

Où :  $C_p$  : chaleur spécifique des cendres ( $C_p = 0,8$  kJ/kg K) ;  $m_C$  est la masse des cendres et  $T_C$  la température des cendres en fin de combustion.

**) Chaleur perdue par les parois :**

Les pertes par les parois et la porte du four, essentiellement dues au rayonnement, sont déterminées selon la loi de Stefan Boltzmann par la formule suivante :

$$Q_5 = \{ \varepsilon_p \sigma F_p (T_p^4 - T_a^4) \}$$

Où :  $\varepsilon_p \sigma F_p = 2,2111 \cdot 10^{-7}$

$$\varepsilon_p \sigma F_p = 2,222 \cdot 10^{-8}$$

CHAPITRE III LE CHARBON ACTIF

$$\varepsilon_p \sigma F_p = 1,3951 \cdot 10^{-8}$$

$T_p$  : Est la température de la paroi (ou porte)

$T_a$  : température ambiante et ( $t$ ) le temps d'acquisition des données.

**) Chaleur perdue dans les résidus solides :**

La quantité de chaleur perdue par les résidus solides est estimée à partir de l'expression ci-dessous :

$$Q_6 = Q_s + Q_v$$

où  $Q_v = 10\%Q_3$ (Estimation) et  $Q_s = 4.1868 \cdot P_c \cdot 15\%M_A$

Avec :  $P_c = 7800K / k$

$M$  : la masse de combustible et  $A_y$  la proportion d'imbrûlés.

En définitive, l'évaluation de la quantité de chaleur totale est faite en négligeant les contributions  $Q_3$  (imbrûlés pris en compte dans les fumées),  $Q_4$  (masse des cendres négligeable) et  $Q_5$  ( $T_p - T_a$ ). Seules sont prises en compte les quantités  $Q_1$  et  $Q_2$  conduisant respectivement au calcul de  $P_1$  et  $P_2$ .

**Conclusion partielle :**

Les charbons actifs sont des matériaux très adsorbants, caractérisés par une surface spécifique très élevée. La caractérisation chimique des charbons: mesure de la surface spécifique, dosage des éléments chimiques de la structure ou relègues, quantités en fonctions de surface ont été réalisées sur des charbons actifs bruts et d'autres ayant subi des traitements thermiques à haute température. L'étude de l'adsorption des molécules organiques (phénol, paranitrophenol, acides benzoïque, salicylique et picrique) indique que les phénomènes d'adsorption sont essentiellement dus aux interactions de van der Waals mis en évidence par leur cote énergétique. Les diverses analyses conduisent à postuler l'existence de fonctions de surface minérales, qui ont des répercussions sur les phénomènes d'adsorption au même titre que les fonctions de surface organiques déjà bien connues.



### **IV.1 Introduction :**

Pour réaliser un système de séchage de dimensions données 200X640X600 cm en tenant compte des contraintes techniques liées aux moyens matériels disponible, nous avons opté pour un four à grignon d'olives a convection naturelle .la configuration finale étant retenue et visualisée sur des plans réels (figure IV.1), il restait à effectuer les choix des systèmes constituant le four. Nous étions guidé en cela par :

- Les spécifications de l'analyse fonctionnelle.
- Les contraintes liées à la disponibilité : il faut toujours vérifier que les matériaux et le matériel choisi soient disponibles sur le marché local, et leur montage possible au niveau de nos ateliers.
- Les contraintes d'esthétiques.



**Figure IV.1 : vue réelle du four à grignon**

## **IV.2 conception et dimensionnement du four :**

### **IV.2.1 Les éléments constitutif du four :**

Le dispositif réalisé est un four conçu pour la production du charbon actif ou activé dit biochar.il comporte les parti essentielles suivantes :

➤ **La chambre de combustion :**

C'est le compartiment qui assure la production de chaleur par la combustion d'un combustible solide ou gazeux, elle a ....de hauteur, ....mde longueur et ....m de largeur .ses parois intérieures et extérieures sont en acier (1.5 mm d'épaisseurs) et au milieu se situe une laine de verre de 5cm d'épaisseur. Cette dernière contient un film en aluminium orienté vers l'intérieur du four, ce qui rend la chambre de combustion parfaitement isolé et amoindrie les déperditions thermiques.



**Figure IV.2: chambre de combustion**



**Figure IV.2: isolation pour la porte de la chambre de combustion**



**Figure IV.3: isolation des autres parties de la chambre de combustion**

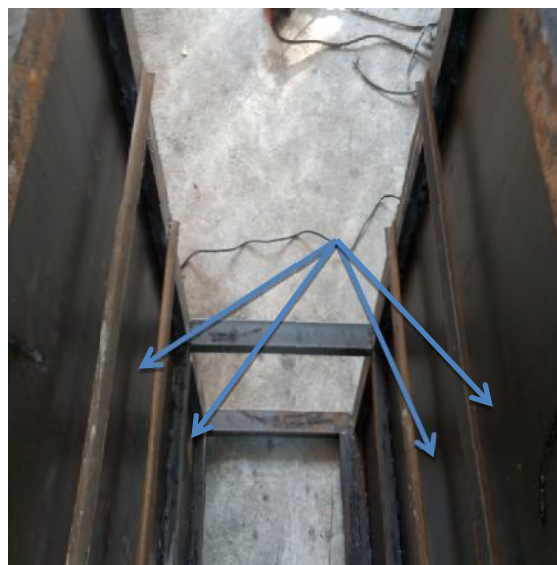
➤ **La chambre de séchage :**

C'est le compartiment dans lequel s'effectuent les échanges entre l'air et le produit à sécher, elle a ...m de hauteur, m de longueur et ...m de largeur. la chambre est faite en double parois avec isolation au milieu par la laine de verre.

La chambre de séchage est équipée de deux claies en superposé conçus pour accueillir l'échantillon à sécher. Deux rails utilisés comme supports aux claies sont fixées sur la face intérieure de l'ossature du four pour assurer leurs stabilités.



**Figure IV.4: ossature métallique du four**



**Figure IV.5: disposition des supports claies (rails)**

➤ **La cheminée :**

La cheminée est le conduit (conduit de fumée), construit en en double parois et calorifugée en laine de verre, qui véhicule et confine les fumées, la vapeur d'eau et les autres gaz de combustion, éventuellement toxiques du four, afin de les évacuer ou plus rarement de les traiter.



**Figure IV.6: cheminée avant isolation**



**Figure IV.7: cheminée après isolation**

### **IV.3 Elaboration du combustible :**

#### **IV.3.1 Préparation du combustible :**

Le premier critère à retenir pour le choix du combustible est le pouvoir calorifique. Puisque l'expérience ce fait à de hautes températures. Parmi tous les produits (combustibles) ayant un pouvoir calorifique élevé il est plus judicieux de choisir celui dont le cout est bas et disponible.

#### **Expérience N°1 :**

La matière à utiliser est la sciure de bois choisi à l'état poudre, la fibre de cellulose (carton, feuilles broyés) pour faciliter la combustion de la sciure et le dosage en volume, ainsi que le MCP (cire d'abeilles) afin de maintenir la flamme le plus long possible pour un meilleur rendement. Voir figures (IV.8 sciure de bois en poudre) (IV.9 fibre de cellulose) (IV.10 cire d'abeilles)



**Figure IV.8 : sciure de bois en poudre**



**Figure IV.9 : fibre de cellulose**



**Figure IV.10 : cire d'abeilles**

**A) Sciure de bois :**

La sciure de bois (aussi appelée bran de scie) désigne l'ensemble des petites particules et fins copeaux issus du sciage de bois.

<i>Propriétés physique</i>	<i>Propriétés chimique</i>
<p><i>Masse volumique apparente 350kg/m<sup>3</sup></i>  <i>surface spécifique 2.786m<sup>2</sup>/g</i></p>	<p><i>Densité apparente 0.1041g.c<sup>-3</sup></i>  <i>Ph 5.2</i>  <i>Carbone 59.4%</i>  <i>Oxygène 40.6%</i>  <i>Cellulose 39.7%</i>  <i>L'hémicellulose 26.9 %</i>  <i>L'holocellulose 66.59%</i>  <i>Matière extractible 5%</i>  <i>Taux e cendres 4.92%</i></p>

**Tableau IV.1 : propriétés physique et chimique de la sciure de bois en poudre**

**B) Fibres de cellulose :**

Matériau écologique utilisé en construction pour isoler les parois et facile à la combustion.

<i>Nom de la substance</i>	<i>Détails</i>
<p><i>Fibres de cellulose</i></p>	<p><i>Masse volumique 1,5 à 1,55 g/m<sup>3</sup></i>  <i>Allongement à la rupture</i>  <i>20 à 40 %</i>  <i>Coefficient de dilatation thermique</i>  <i>80.10 /K</i>  <i>Conductivité thermique 0,065 W/m.K à 23 °C</i></p>

**Tableau IV.2 : propriétés de fibres de cellulose**

**J) Méthode suivie :**



Pour avoir des fibres de cellulose les étapes ci-dessous ont été suivies :

- Du carton et d'autres types de feuilles ont été coupés en petit morceaux.
- Les morceaux été broyés à l'aide d'un moulin à café électrique.



**Figure IV.11 : moulin à café électrique**



**Figure IV.12 : carton broyé ( 5mm)**

**C) Cire d'abeilles :**

La cire d'abeille est un produit 100% naturel, mélange complexe d'esters gras, d'acides gras et de composés hydrocarbonés.

Chimiquement, la cire est un ester de l'éthylène glycol et de deux acides gras ou un monoester d'acide gras et d'alcool à longues chaînes.

<i>Nom de la substance</i>	<i>Détails</i>
<i>Cire d'abeille</i>	<i>Masse volumique 0.95 à 0.960 g/cm<sup>3</sup></i> <i>T° de fusion 62 à 65 °c</i> <i>Point d'éclair &gt; 254°c</i> <i>Indice d'acide 17-21(ordinaire).17-24 (blanche)</i> <i>Indice de saponification 87-104</i> <i>Indice d'iode 8-11(ordinaire).7-11(blanche)</i>

**Tableau IV.3 : propriétés de la cire d'abeille**

### **) Préparation des buchettes :**

Après l'obtention des trois matériaux du composite, une pesée des composants a été effectuée :

- 1- Pour la préparation du composite c'est la pesée des différents matériaux utilisés dans le composite (sciure de bois, fibre de cellulose et la cire d'abeille) avec la balance électronique de précision. (fig. IV.14) qui a été effectuée en premier.
- 2- Mélange de ces trois éléments de façon homogène et chauffage jusqu'à la fusion du MCP (cire d'abeille) dans un bain marie. (fig. IV.16)
- 3- Après obtention du mélange, on verse le contenu du récipient dans l'empreinte
- 4- d'un moule en acier de forme cylindrique, fabriqué à cet effet. Par la suite, les cylindres obtenus (80\*34) subissent une compression de 70 KN. (fig. IV.18)



Figure IV.13: les matériaux du composite

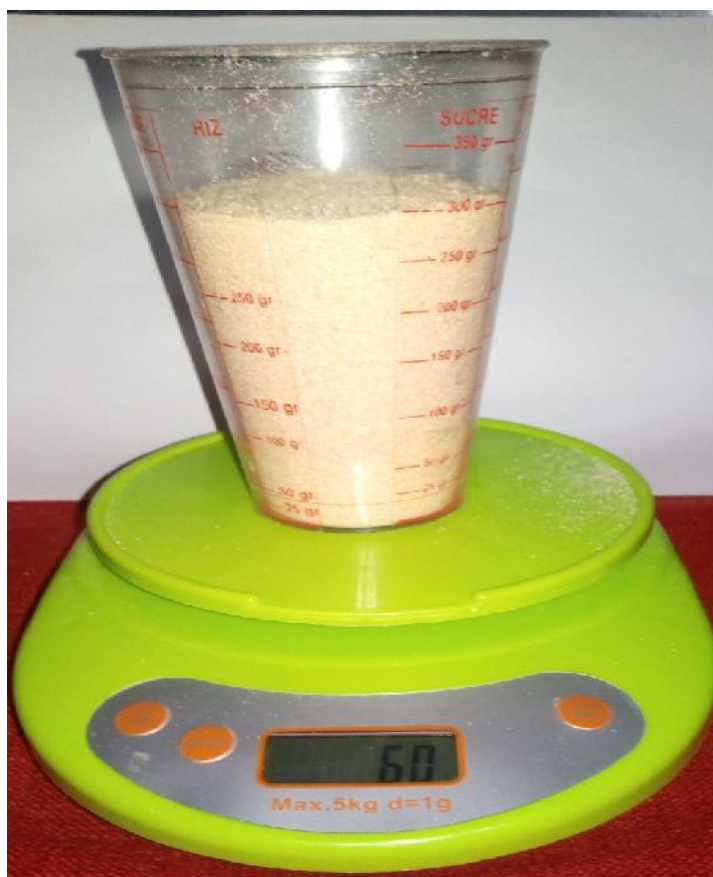


Figure IV.14 : pesés des trois matériaux



**Figure IV.15: chauffage du MCP au bain marie  
Trois composants**



**Figure IV.16 produit final après le mélange des**



**Figure IV.17: compression du produit**



**Figure IV.18: buchettes en sciure de bois**

**Expérience N°2 :**

La matière à utiliser est le grignon d'olive en poudre, la fibre de cellulose (carton, feuilles broyées) pour faciliter la combustion ainsi que le MCP (cire d'abeilles) afin de maintenir la flamme le plus long possible pour un meilleur rendement. Voir figures (IV.19 grignon d'olives en poudre) (IV.9 fibre de cellulose) (IV.10 cire d'abeilles).

**A) grignon d'olives :**

Les grignons d'olives bruts sont séchés dans une étuve à 105°C pendant 24 heures jusqu'à une humidité inférieure ou égale à 10%. Ensuite, ces échantillons sont broyés afin d'avoir des produits homogènes. A l'aide de tamis à différents maillages, il a été retenu une seule granulométrie: des particules ayant une moyenne de 1.2mm de diamètre .



Figure IV.19: tamisage du grignon d'Olive



Figure IV.20: poudre de grignons d'olives

<i>Nom de la substance</i>	<i>Détails</i>
<i>Poudre de grignons d'olives</i>	<i>Teneur en eau de l'échantillon brut</i> 7%
	<i>Cendre de l'échantillon sec</i> 2%
	<i>Matière volatile de l'échantillon sec</i> 67.6%
	<i>Carbone fixe de l'échantillon pur et sec</i> 23.4%

Tableau IV.4 : quelques détails des grignons d'olives

J) **Préparation des buchettes :**

Dans cette étape la préparation des buchettes consiste à mélanger la poudre de grignons d'olives après tamisage avec la cire d'abeille déjà fondue dans le bain marie, et ça, jusqu'à avoir une pate homogène, qui par la suite sera pressé a l'intérieur d'un cylindre en acier.



Figure IV.21: cire d'abeilles sous forme liquide

A) 20% de cire d'abeille

80% de poudre de grignons d'olives



**B) 30% de cire d'abeille**

70% de poudre de grignons d'olives



#### IV.4 Préparation du produit à sécher :

Pour préparer les grignons à sécher, des étapes ont été exercées comme suit :

1° présécher les grignons dans une étuve à 115°C pendant 24 heures.

2° le sortir de l'étuve et le laisser refroidir.

3° le broyer à l'aide des moyens disponibles.

4° tamiser le produit pour séparer la pulpe du noyau.



Figure IV.22: broyage du grignon



Figure IV.23: tamisage du grignon



Figure IV.25: pulpe sous forme de poudre



Figure IV.24: grignon pur

#### Conclusion partielle :

Le premier critère à retenir pour le choix du combustible, et pour tous les matériaux à utiliser pour la préparation des buchettes, on a choisi celle de :

- \_ Le grignon d'olive en poudre
- \_ Le MCP (cire d'abeilles)

D'après les tests qui ont été faits dans le but de produire des buchettes, et le choix du combustible, on a choisi le grignon d'olive en poudre, il a un grand pouvoir calorifique. Les grignons bruts sont séchés dans une étuve à 105 pendant 24h jusqu'à une humidité inférieure ou égale à 10%. Ensuite, ces échantillons sont broyés et tamisés à différents maillages. Et le MCP (cire d'abeille) pour maintenir la flamme le plus longtemps possible pour un meilleur rendement.



La partie expérimentale consiste à présenter les tests qui ont été faits dans le but de produire un biochar à base de grignons d'olives en utilisant des produits comme combustible dont le coût est acceptable et ont un pouvoir calorifique élevé.

Dans ce chapitre nous allons expliquer les différentes opérations faites dans la partie expérimentale.

Pour la production de chaleur, le grignon d'olive a été le seul produit naturel, disponible et a un pouvoir calorifique élevé. Après l'avoir mélangé avec un MCP (Matériau à Changement de Phases) pour maintenir la flamme le plus long possible en produisant des bûches cylindriques avec des dimensions 40x50 (en mm).

### I. **Élaboration du MCP :**

Le premier critère de choix à retenir pour un MCP est la température de transition solide/liquide/gaz, et pour ce cas nous avons utilisé la cire d'abeille dont les caractéristiques sont les suivantes :

<i>Nom de la substance</i>	<i>Détails</i>
<i>Cire d'abeilles</i>	<i>Masse volumique 0.95 à 960 g/c<sup>3</sup></i> <i>Le point d'éclair &gt;254 °c</i>

**Tableau V1 : quelques détails sur la cire d'abeilles.**

---

<b>composant</b>	<b>pourcentage</b>
Hydrocarbures	14%
Monoesters	35%
Diester	14%
Triester	3%
Hydroxy monoester	4%
Hydroxy polyesters	8%
Acide de polyester	2%
Acides	12%
Alcool	1%
Non identifié	6%

---

**Tableau V2 : la composition chimique de la cire d'abeille (jean guiliane.2011)**

## II. LE POUVOIR CALORIFIQUE :

Il s'agit de la « quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible.

produit	Pouvoir calorifique
Le grignon d'olives	2950 kcal/kg
La cire d'abeille	628kcal/kg

**Tableau V3 : tableau comparatif des pouvoirs calorifique**

### TEST N°1 :

Dans ce test Les pourcentage effectués pour produire les buches a base de grignon d'olive et de cire d'abeille sont :

80% de grignon d'olives }  
 20% de cire d'abeille } Pourcentage en masse

Pour 100gde produit final :

On a :

$$80\text{g de grignon d'olives} = m_c$$

$$20\text{g de cire d'abeille} = m_g$$

$$m_{t_i} = m_c + m_g$$

Les fractions massiques pour les deux produits sont les suivantes :

$$\frac{m_c}{m_t} = \frac{2}{1} = 0.2$$

$$\frac{m_g}{m_t} = \frac{8}{1} = 0.8$$

À partir des fractions massiques, les nouveaux pouvoirs calorifiques sont :

$$P_{C \text{ Cire}} = \quad \times P_C = 628 \times 0.2 = 125.6 \text{ kcal/kg}$$

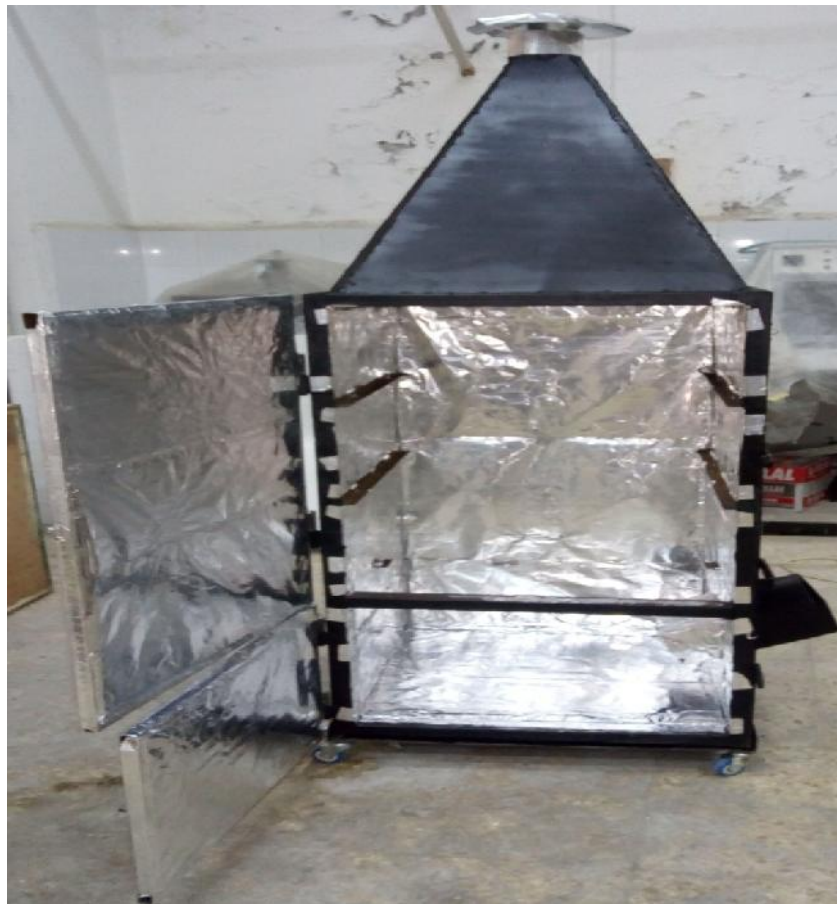
$$P_{C \text{ Grignon}} = \quad \times P_g = 2950 \times 0.8 = 2360 \text{ kcal/kg}$$

$$P_C = ( \quad \times P_{C \text{ Cire}} ) + ( \quad \times P_{C \text{ Grignon}} )$$
$$= 125.5 + 2360 = 2485.5 \text{ kcal/kg}$$

) **habillage du four par l'intérieur :**

En raison de réfléchir le rayonnement a l'intérieur du four, du papier aluminium a été utilisé





) **mise en marche du four :**

1. remplissage des claies par le grignon d'olives.



2. Préparation de la chambre de combustion





A l'aide d'un thermomètre infrarouge on a pu relever les températures suivantes :

Temps passé	Température
5 min	90 °c
15 min	160 °c
25 min	250 °c
35min	390 °c
45 min	420 °C

Durant le séchage du grignon d'olive tous les composants chimique vont se transformer en vapeur d'eau ( $H_2O$ ), en Dioxyde de carbone ( $C_2$ ) et en cendres pour les minéraux. et ca jusqu'à obtention d'un produit ayant essentiellement de matière carbonée à structure poreuse.

### **TEST N°2 :**

Les mêmes étapes que le premier avec des pourcentages différents :

70% de grignon d'olives }  
 30% de cire d'abeille } Pourcentage en masse

Pour 100g de produit final :

On a :

$$70\text{g de grignon d'olives} = m_c$$

$$30\text{g de cire d'abeille} = m_g$$

$$m_{t_i} = m_c + m_g$$

Les fractions massiques pour les deux produits sont les suivantes :

$$\frac{m_c}{m_{t_i}} = \frac{3}{1} = 0.3 \quad \frac{m_g}{m_{t_i}} = \frac{7}{1} = 0.7$$

À partir des fractions massiques, les nouveaux pouvoirs calorifiques sont :

$$P_C \text{ Cire} = x P_C = 628 \times 0.3 = 188.4 \text{ kcal/kg}$$

$$P_C \text{ Grignon} = x P_g = 2950 \times 0.7 = 2065 \text{ kcal/kg}$$

$$P_C = (x P_C \text{ Cire}) + (x P_C \text{ Grignon})$$

$$= 188.4 + 2065 = 2253.4 \text{ kcal/kg}$$

D'après les résultats, le premier test vas céder plus d'énergie que le deuxième.

### ) Résultats :

Après tout ce qui a été fait durant ce chapitre, on a pu aboutir aux résultats voulus et ça par la production du charbon actif (voir figure au-dessous)





**) Conclusion partielle :**

D'Après les deux tests effectués, la remarque à retenir c'est que la production du charbon actif par séchage a été réalisée en utilisant seulement 80g de grignons d'olives et 20g de cire d'abeille. Après 45 min passées, la température du four atteint les 400 °c et ça grâce au pouvoir calorifique élevé du grignon aussi le MCP présent dans les buches qui a comme rôle de maintenir la flamme le plus long possible.

L'Algérie comme étant un pays producteur d'huile à l'avantage et l'intérêt de faire ce genre d'industries par la commercialisation du grignon d'olives comme combustible et le transformer en d'autres sous-produits qui vas apporter un plus à l'économie nationale, et ça grâce à la disponibilité de la matière première et en cout très réduit .

## **Conclusion Générale**

A l'heure où les pays du monde sont conscients de la nécessité impérieuse de protection de la qualité de l'environnement, de plus en plus de travaux sont mis en œuvre pour trouver des solutions économiquement, socialement et environne mentalement rentables.

Notre étude s'inscrit dans ce contexte de gestion durable de l'environnement, d'une part parce qu'elle prétend dépolluer des eaux contaminées et d'autre part qu'elle permet de valoriser un déchet abondamment disponible dans notre pays .

Au cours de cette étude , nous avons dans une première étape on a pu rassembler un certain nombre de données bibliographiques qui constituent un fond documentaire très utile pour les études ultérieures .Par ailleurs ,le travail expérimental nous a permis de nous familiariser avec la technique d'adsorption et avec les méthodes de caractérisation via des équipements modernes.

Nos travaux avaient pour objectif principale la mise en évidence des qualités absorbantes d'un sous produit alimentaire le « grignon d'olive » qu'on cherche a valoriser en l'utilisant comme charbon actif.

Ces travaux ont montré qu'il peut être aisément transformé on charbon actif en utilisant comme nous l'avons fait le protocole d'obtention et l'activation chimique .Le charbon obtenu notamment en ce qui concerne :

- La surface spécifique
- La porosité
- Le volume des pores
- L'analyse élémentaire
- L'indice d'iode
- L'indice de phénol.

Malgré la modestie des moyens utilisés, les résultats obtenus permettent de dégager une évidence que l'on ne saurait occulter : nous pouvons fabriquer aujourd'hui du charbon actif en Algérie avec des sous produits, ce qui augmentera la rentabilité des exploitations oléicoles , qui a ce jour, ne trouvent pas la place qu'elles se doivent. Ainsi nous atteindrons un double objectif : valoriser et produire a des coûts moindres.

Cette valorisation s'inscrit dans une approche économique afin d'inciter les maâsras à ne pas disséminer les grignons dans la nature sachant qu'ils contribuent fortement à la pollution des eaux par la présence de polluants tels que des composés phénols mais à les considérer comme des sous-produits valorisables de l'extraction de l'huile d'olives alimentaire.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. Boukhoubza, A. Ait Boughrous, M. Yacoubi-Khebiza, A. Jail, L. Hassani, L. Loukili Idrissi and A. Nejmeddine, 'Impact of Olive Oil Wastewater on the Physicochemical and Biological Quality of Groundwater in the Haouz Plain, South of Marrakesh (Morocco)', *Environmental Technology*, Vol. 29, N°9, pp. 959 – 974, 2008.
- [2] V. Kavvadiasa, M.K. Doulaa, K. Komnitsasb and N. Liakopouloua, 'Disposal of Olive Oil mill Wastes in Evaporation Ponds: Effects on Soil Properties', *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 182, N°1-3, pp. 144 – 155, 2010.
- [3] L. Di Giovacchino, 'Extraction de l'Huile des Olives par les Systèmes de la Pression, de la Centrifugation et de la Percolation: Incidence des Techniques d'Extraction sur les Rendements en Huile', *Olivae*, Vol. 36, pp. 14 - 41, 1991.
- [4] E.K. Akpinar, 'Mathematical Modelling of Thin Layer Drying Process Under Open Sun of Some Aromatic Plants', *Journal of Food Engineering*, Vol. 77, N°4, pp. 864 – 870, 2006.
- [5] E.K. Akpinar and Y. Bicer, 'Mathematical Modelling of Thin Layer Drying Process of Long Green Pepper in Solar Dryer and Under Open Sun', *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, N°6, pp. 1367 – 1375, 2008.
- [6] R.K. Goyal, A.R.P. Kingsly, M.R. Manikantan and S.M. Ilyas, 'Mathematical Modelling of Thin Layer Drying Kinetics of Plum in a Tunnel Dryer', *Journal of Food Engineering*, Vol. 79, N°1, pp. 176 – 180, 2007.
- [7] T. Gunhan, V. Demir, E. Hancioglu and A. Hepbasli, 'Mathematical Modelling of Drying of Bay Leaves', *Energy Conversion and Management*, Vol. 46, N°11, 1667–1679, 2005.
- [8] C. Ertekin and O. Yaldiz, 'Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model', *Journal of Food Engineering*, Vol. 63, N°3, pp. 349 – 359, 2004.
- [9] I. Doymaz, O. Gorel and N.A. Akgun, 'Drying Characteristics of the Solid By-Product of Olive Oil Extraction', *Biosystems Engineering*, Vol. 88, N°2, pp. 213 – 219, 2004.
- [10] S. Meziane, 'Drying Kinetics of Olive Pomace in a Fluidized Bed Dryer', *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, N°3, pp. 1644 - 1649, 2011.
- [11] A.R. Celma, S. Rojas, F. Lopez, I. Montero and T. Miranda, 'Thin-Layer Drying Behaviour of Sludge of Olive Oil Extraction', *Journal of Food Engineering*, Vol. 80, N°4, pp. 1261 – 1271, 2007.

# BIBLIOGRAPHIE

[12] X. Liu, Z. Qiu, L. Wang, Y. Cheng, H. Qu and Y. Chen, 'Mathematical Modeling for Thin Layer Vacuum Belt Drying of Panax Notoginseng Extract', Energy Conversion and Management, Vol. 50, N°4, pp. 928 – 932, 2009.

[13] A. Benhamou, A. Idlimam, A. Lamharrar, B. Benyoucef and M. Kouhila, 'Diffusivité Hydrique et Cinétique de Séchage Solaire en Convection Forcée des Feuilles de Marjolaine', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°1, pp. 75 – 85, 2008. [14] I. Doymaz, 'Convective Drying Kinetics of Strawberry', Chemical Engineering and Processing, Vol. 47, N°5, pp. 914 – 919, 2008