

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



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre  
Département de Biologie

**Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

## **LICENCE**

**Domaine :** Sciences de la nature et de la vie

**Filière :** Biologie

**Spécialité :** Biochimie

## **Thème**

**Evaluation des caractéristiques énergétiques de la  
biomasse phoenicicole**

**Par :**

ABISMAIL Mohamed.

BABA HANI Mustafa.

CHEKHAR Hammou.

**Jury :**

**Mlles. BOUSDIRA Khalida.**

Maître Assistant A

URAER

**Encadreur**

**Mlles. TELLI Allia.**

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

**Examineur**

**Année universitaire 2012/2013**

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*À ma mère, pour son amour, son soutien. Les mots sont faibles pour exprimer la force de mes sentiments pour elle.*

*Chère mère, j'exprime les belles salutations, pour tes prières qui éclairent mon chemin.*

*À toute ma famille surtout mes frères: **Saïd, Rostom, et Zouhir***

*Mes sœurs, qui sont des vrais assesseurs pour terminer ce travail vous avez des pures salutations, merci.*

*Et tous mes amis qui me connaissent, Surtout :*

***Aziz, Seddik, Mounir, Brahim, Mohammed, Mustafa, Houcine et tout mes ammis des associations: ER-Rostomia et EL-Firdaous.***

*En fin, à tous mes collègues de la **promotion***

**2012/2013.**

*-Hammou Chekhar -*

# Dédicace

*Je dédie mes salutations à mes parents et mon grand-père et ma grand-mère et mes frères et ma sœur **Fulla** et mon petit sœur **Ayah** , mes parents et la famille **Kouta** et **Babahani**.*

*Je dédie aussi à mes amis et mes collègues du la troisième année de **Biochimie 2012/2013***

*A tous mes professeurs à l'université et à l'administration de l'Institut des sciences de la nature et de la vie.*

*Enfin, je dédie mes salutations à les amis de l'étude :**Seddik, Abdelaziz, Youcef et Amine** et mon partenaire dans le mémoire, **Mohammed et Hammou** et aussi l'encadreur qui fatigué avec nous **Khalida Bousdira** et leur collègues **Fatiha et Nassira** à tous les employés des énergies renouvelables sur leur hospitalité et leur bonne réception et merci...*

*-Mustafa Baba Haní -*

# Dédicace

*Je dédie ce travail de fin d'études à :*

*Ma mère qui, grâce à sa collaboration;*

*Feu père qui n'a pas pu voir ce que je suis devenu ;*

*A toute ma famille et surtout mon oncle mohamed*

*mes amis : youcef , seddik , mustafa , hammou et azize ;*

*promotion bac 2010 de l'institut de ami said ghardaia ;*

*-Mohamed Abismaïl-*

# *Remerciements*

Avant tout, nous remercions notre dieu le tout puissant de nous avoir donné courage et patience pour accomplir ce travail.

Au terme de ce travail, nous saisissons cette occasion pour exprimer nos vifs remerciements à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, particulièrement :

- Université de Ghardaïa.
- L'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables URAER(Ghardaïa).

Nous souhaitons tout d'abord remercier notre promoteur Mlle Khalida BOUSDIRA, attachée de recherche et chef d'équipe biomasse et hydrogène à l'URAER, qui nous a encadré avec patience durant la réalisation de ce travail. Ses conseils nous ont été bien utiles, pour la réalisation ce travail, les analyses effectuées ainsi que la rédaction de ce mémoire.

Nos remerciements vont aussi à Monsieur BEN BRAHIM Faouzi, cheffe de département de biochimie, pour ses simplifications les procédures administratifs et ses orientations notamment pour la réalisation ce travaille.

Enfin nous tenons à remercier l'ensemble du corps enseignant de la filière biochimie, notamment pour Mlles Alia TELLI, Aicha HAMID OUDJANA et Monsieur Saïd BELGHAIT.

## Résumé

L'objectif de cette étude est l'évaluation des caractéristiques énergétiques de la biomasse phoenicicole, en vue de la valorisation des sous-produits du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*).

L'étude expérimentale a abouti sur la détermination des teneurs en humidité et en cendre ainsi que le pouvoir calorifique des principaux déchets phoenicicoles disponibles et non totalement valorisés (*kernaf, addaf, saqas, khallab, arjoun, li et djerid*). Une analyse des corrélations entre ces différents paramètres a également été établie.

Les résultats de notre étude ont montré que le pouvoir calorifique de la biomasse phoenicicole est estimé en moyenne à 17.56 MJ/kg, la teneur en humidité est inférieure à 5% enfin la teneur en cendre très variable est comprise entre 4,7 et 11 %.

Une synthèse de ces résultats a révélé une relation inverse entre le pouvoir calorifique et les teneurs en cendre et en humidité, ainsi que l'impact significatif de la teneur en cendre sur la valeur énergétique de la biomasse comparativement à la teneur en humidité.

### Mots clés:

Biomasse phoenicicole, caractéristiques énergétique, pouvoir calorifique supérieur, cendre, humidité.

### ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الخصائص الطاقوية للكتلة الحيوية لنخيل التمور في واحة القرارة, وذلك بالدراسة البقايا الرئيسية لهذا النوع من النخيل. بحيث أدت الدراسة التجريبية إلى تحديد النسب المئوية من الرطوبة والرماد وكذلك القدرة الطاقوية لكل من البقايا الرئيسية لنخيل التمور المتوفرة و غير المستغلة (الليف, الكرناف, الخلاب, العرجون, السقاس, العداف, الجريد) إضافة إلى تحليل العلاقة بين مختلف هذه الخصائص الطاقوية. ومن النتائج المستخلصة من هذه الدراسة أن القدرة الطاقوية لكتلة الحيوية لنخيل التمور تقدر بمعدل 17.56 ميغا جول/ كيلو غرام, وكذا النسبة المئوية من الرطوبة فقدت بأقل من 5%, أما النسبة المئوية من المواد المعدنية فهي جد متغيرة بحيث تشمل المجال من 4.7% إلى 11%.

إجمالاً, كشفت الدراسة عن علاقة عكسية بين القدرة الطاقوية من جهة و النسب المئوية من الرطوبة والرماد من جهة أخرى, وكذا التأثير السلبي الكبير للرماد على القدرة الطاقوية مقارنة بتأثير الرطوبة على الأخيرة.

الكلمات الدالة: الكتلة الحيوية، الخصائص الطاقوية، القدرة الطاقوية، الرماد، الرطوبة

## Liste des figures

Figure 1: Composition typique de la biomasse lignocellulosique.....	06
Figure 2: Structure de cellulose.....	07
Figure 3: Structure l'hémicellulose.....	08
Figure 4: Disposition des principaux composants dans la structure de la biomasse.....	09
Figure 5: Taux des différents constituants dans les différentes origines de biomasse.....	11
Figure 6: Schéma présente les différentes phases de la combustion.....	15
Figure 7: Structure des différentes parties de palmier dattier.....	34
Figure 8: Structure des différentes parties de palme.....	34
Figure 9: Procédure de réduction des échantillons.....	40
Figure 10: Schéma présent les différentes constituants de pouvoirs calorifique.....	41
Figure 11: Teneur en cendre des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra.....	45
Figure 12: Teneur en humidité des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra.....	48
Figure 13: Pouvoir calorifique des sous-produits des cultivars GH et DN de Guerarra.....	50
Figure 14: Évolution du PCI des matières lignocellulosiques en fonction de la teneur en humidité et en matières minérale.....	51
Figure 15: Comparaison entre PCS _CEN _M pour le cultivar DN de l'oasis de Guerarra.....	52
Figure 16: Comparaison entre PCS _CEN _M pour le cultivar GH de l'oasis de Guerarra.....	53

## Liste des tableaux

Tableau 1: Constituants élémentaires de différentes biomasses.....	10
Tableau 2: Principaux technologies de production de bioénergie : .....	13
Tableau 3: Configuration de la palmeraie algérienne entre 1983 et 2003. ....	30
Tableau 4: Données (poids, nombre) relatives à la production de dattes, au nombre palmier et aux différentes.....	31
Tableau 5: Calendrier végétatif et opérations culturales.....	35
Tableau 6: Composition chimique des sous-produit du palmier dattier.....	36
Tableau 7 : Nomenclature des dérivés sous-produits (échantillons) en nom scientifique , en Arabe local.....	39
Tableau 8: Pouvoir calorifique supérieur sur sec (MkJ/kg) de diverses essences .....	52
Tableau 9: Corrélation du PCS, Cendre et humidité pour les sous produits du cultivar DN :.....	52
Tableau 10: Corrélation du PCS, Cendre et humidité pour les sous produits du cultivar GH :.....	53

## Liste des abréviations

**MS** : Matière sèche

**MO**: Matière organique.

**MM** : Matière minérale.

**CB**: Cellulose brute.

**NDF**: Puroi totale.

**ADF**: Lignocellulose.

**CV**: Cellulose vraie.

**HCOSE**: Hémicellulose.

**LIGN**: Lignine.

**CI**: Cendres insolubles.

**GH** : Cultivar GHERS.

**DN** : Cultivar DEGLET NOUR.

**PCS** : Pouvoir Calorifique Supérieur.

**PCI** : Pouvoir Calorifique Inférieur.

**M** : Teneur en humidité.

**CEN** : teneur en cendres.

# Table des matières

Dédicaces.	
Remerciements.	
Résumé.	
Liste des figures.	
Liste des tableaux.	
Liste des abréviations.	
Table des matières.	
<b>Introduction Générale</b> .....	<b>01</b>

## Première partie. Synthèse bibliographique

### Chapitre 01 : notion générales de la biomasse

<b>1. Définition</b> .....	<b>02</b>
<b>2. Classification</b> .....	<b>02</b>
2.1. Classification selon l'origine.....	03
2.1.1. Forêts naturelles / terres boisées :.....	03
2.1.2. Plantations forestières.....	03
2.1.3. Plantations agro-industrielles.....	03
2.1.4. Autres hors forêts et les terres boisées.....	03
2.1.5. Cultures agricoles.....	03
2.1.6. Résidus de récolte.....	04
2.1.7. Résidus transformés.....	04
2.1.8. Déchets animaux.....	04
2.2. Classification selon la composition.....	04
2.2.1. Biomasse ligneuse.....	05
2.2.2. Biomasses non ligneuse.....	05
<b>3. Composition</b> .....	<b>06</b>
3.1. Principaux constituants.....	06
3.1.1. Cellulose.....	07
3.1.2. Hémicelluloses.....	07
3.1.3. Lignines.....	08
3.2. Biomposants secondaires (variables).....	09
3.2.1. Sucres monomériques.....	09
3.2.2. Amidon.....	09

3.2.3. Triglycérides, acides gras libre, stérols, cires.....	10
3.3. Composition élémentaire .....	10
3.4. Composants inorganiques (cendres).....	10
<b>4. Valorisation énergétique .....</b>	<b>11</b>
4.1. Procédés de Valorisation énergétique de la biomasse.....	13
4.2. Combustion .....	14
4.2.1. Etapes de la combustion.....	14
4.2.2. Mécanisme de la combustion de bois.....	15
4.2.3. Décomposition de la cellulose.....	15
4.2.4. Décomposition de la lignine .....	16
4.2.5. Décomposition de l'hémicellulose.....	17
<b>5. Avantages et inconvénients de l'énergie de la biomasse .....</b>	<b>18</b>
5.1. Avantage.....	18
5.2. Inconvénients.....	18
<b>6. Utilisation de l'énergie de la biomasse.....</b>	<b>19</b>

## **Chapitre 02 : évaluation du potentiel énergétique de la biomasse**

<b>1. Introduction.....</b>	<b>20</b>
<b>2. Problèmes de mesure de la biomasse.....</b>	<b>20</b>
<b>3. Les dix commandements d'évaluation de la biomasse.....</b>	<b>21</b>
<b>4. Considérations générales lors de l'évaluation de la biomasse.....</b>	<b>22</b>
4.1. Définir le but et les objectifs.....	23
4.2. Identifiez les utilisateurs.....	23
4.3. Déterminez le niveau du détail.....	23
4.4. Classification de la biomasse.....	23
4.5. Identifiez l'offre et la demande.....	23
4.6. Mesurez les données existantes.....	23
<b>5. La valeur énergétique de la biomasse :</b>	<b>24</b>
5.1. Combustion .....	24
5.1.1. Calcul de la valeur énergétique.....	24
5.1.2. Crotte .....	25
5.1.3. Les résidus de récolte.....	26
5.1.4. Le poids en fonction du volume.....	26
5.2. Pyrolyse.....	26

5.3. Gazéification.....	27
5.3.1. Préparation : séchage et broyage.....	27
5.3.2. Gazéification.....	28
5.3.3. Purification.....	28
5.4. Fermentation.....	28
5.5. Digestion anaérobie.....	28

### **Chapitre 03 : Biomasse Phoenicicole**

1. Introduction .....	29
2. Définition .....	29
3. Estimation de la biomasse phoenicicole.....	30
4. Structure du palmier dattier.....	31
5. Opérations de conduite du palmier dattier.....	35
6. Composition chimique des sous produits phoenicicole.....	36
7. Les utilisations de la biomasse phoenicicole.....	37

### **partie II : Matériel et méthodes**

1. Présentation de la région d'étude et des échantillon.....	39
2. Matériels et méthodes.....	39
2.1. Méthodes de préparation des échantillons (UNE-CEN-TS 14780).....	39
2.2. Détermination la valeur calorifique.....	40
2.3. Détermination de la teneur en humidité (UNE-EN 14774-1) .....	42
2.4. Détermination de la teneur en Cendres (CEN / TS 14588).....	43

### **partie III: Résultats et discussions**

1. Teneur en cendres des sous-produits des cultivars GH et DN de Guerarra.....	45
2. Teneur en humidité des sous-produits des cultivars GH et DN de Guerarra.....	48
3. Le pouvoir calorifique des sous-produits des cultivars GH et DN de Guerarra.....	50
4. Comparaison entre PCS _CEN _M pour le cultivar DN de Guerarra.....	52
5. Compariason entre PCS _CEN _M pour le cultivar GH de Guerarra.....	53
Conclusion générale.....	54
Références Bibliographiques.....	55

## **Introduction générale**

## Introduction générale

Aujourd'hui, face à une pollution sans cesse croissante et des réserves en pétrole qui s'amenuisent, une question se pose : comment limiter, voire remplacer le recours au pétrole tout en réduisant les émissions de polluants et de gaz à effet de serre ? Pour faire face à cette problématique mondiale, il s'agit d'anticiper la pénurie inéluctable de pétrole à terme et de contribuer à un environnement durable. Dans ce contexte, la valorisation énergétique de la biomasse apparaît comme une alternative séduisante aux énergies fossiles, ainsi qu'est une véritable réserve d'énergie sous forme de carbone organique, captée à partir du soleil grâce à la photosynthèse et également de matière organique utilisable comme engrais pour l'agriculture.

Dans cette étude, nous présentons les principaux critères pour une évaluation énergétique de la biomasse phoenicicole qui constitue la biomasse dominante et disponibles en quantités appréciable dans l'écosystème oasien. La caractérisation énergétique de cette biomasse reste inconnue pour les scientifiques et les différents acteurs de la bioénergie notamment au niveau de la région d'étude. D'où la nécessité d'étudier et d'analyser les méthodes optimales pour l'évaluation de l'énergie extraite de cette biomasse. Les principaux critères énergétiques analysés sont : la teneur en cendre et en humidité ainsi que le pouvoir calorifique supérieur PCS des sous-produits phoenicicoles des cultivars GHERS et DEGLET NOUR dans la région du Mزاب (variétés abondantes).

Ce travail permet la constitution d'une base de données analytique de la biomasse phoenicicole nécessaire pour une prédiction fiable des différents procédés de valorisation de cette ressource (notamment énergétique).

Cette étude proposée par une équipe de recherche de l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelable (URAER), rentre dans le cadre d'un axe de recherche portant sur l'évaluation du gisement biomasse dans la région de Ghardaïa.

**Partie 01 :**  
**Synthèse bibliographique**

## **Chapitre I :**

### **Notion générales de la biomasse**

## Chapitre 01: Notion générales de la biomasse

### 1. Définition :

Selon le domaine d'application, la biomasse connaît plusieurs définitions. Le dictionnaire Larousse la définit comme « une masse totale de l'ensemble des êtres vivants occupant, à un moment donné, un biotope bien défini. Ainsi conçue, la biomasse d'une forêt comprend aussi bien les arbres, leurs racines et leurs insectes que le sous-bois ou la faune microscopique du sol; le climat d'un lieu est en général la biocénose ayant la plus forte biomasse possible ».

En écologie, la biomasse est la masse totale (quantité de matière) de toutes les espèces vivantes présentes en un milieu naturel donné.

Par ailleurs, considérée du point de vue de l'énergétique, la biomasse désigne une masse vivants, que l'on peut en obtenir par combustion ou fermentation (gaz de broussaille, gaz de fumier, feu de bois).

La biomasse énergie est aujourd'hui considérée comme une énergie nouvelle renouvelable - ENR. Elle entre ainsi dans un cadre réglementaire qui vise à favoriser son développement afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> (DUMIEN, 2008).

Depuis le premier choc pétrolier, en 1973, ce concept s'applique aux produits organiques végétaux et animaux utilisés à des fins énergétiques ou agronomiques. En somme, il s'agit de l'ensemble de matières organiques d'origine végétale animale ainsi que leurs produits issus de différentes transformations (les déchets organiques) (KIELLA, 2000).

Dans un autre sens, ce terme désigne tous les matériaux organiques créés directement ou indirectement par photosynthèse, soit l'ensemble du monde vivant végétal, animal et micro-organismes. C'est une forme d'énergie solaire.

### 2. Classification :

La classification de la biomasse constitue un paramètre important car il permet une évaluation précise de du potentiel énergétique de chaque catégorie. La classification de la biomasse dépend de plusieurs paramètres : sa composition, son origine. Selon FRANK, *et al* (2007), et en considérant ce dernier paramètre, la biomasse est divisée en huit grandes catégories :

### 2.1. Classification selon l'origine de la biomasse :

#### 2.1.1. Forêts naturelles / terres boisées :

Il s'agit notamment de toute la biomasse permanente, des forêts naturelles et des terres boisées. Les forêts sont définies comme ayant une fermeture du couvert de 80 % ou plus, tandis que les bois ont une fermeture du couvert entre 10 et 80 %. Cette catégorie comprend également les résidus forestiers, les arbustes, les cimes, les branches et le feuillage (MRNF, 2008).

#### 2.1.2. Plantations forestières:

Ces plantations comprennent à la fois les plantations commerciales (pâtes et papiers, meubles) et énergétique (arbres dédiée à la production d'énergie comme le charbon et d'autres utilisations d'énergie). La contribution totale de la bioénergie dans l'avenir sera fortement liée au potentiel d'énergie forestière car le potentiel des résidus est plus limité. Dans les années 1970 et 1990, les plantations énergétiques ont été considérées comme la principale source d'énergie de la biomasse dans l'avenir. Cependant, ces dernières années, leur potentiel a été jugée plus limité.

#### 2.1.3. Plantations agro-industrielles :

Ce sont des plantations forestières spécialement conçus pour produire des agro-industrielles des matières premières, avec du bois recueilli comme sous-produit. Les exemples incluent le thé, le café, l'hévéa, l'huile et de cocotiers, les plantations de bambou et les hautes herbes (FRANK, *et al.*, 2007).

#### 2.1.4. Arbres hors forêts et les terres boisées :

Ceux-ci se composent d'arbres cultivés à l'extérieur des forêts ou dans la forêt, y compris les arbres de brousse, les arbres urbains, arbres en bordure de route et dans les fermes. Les arbres hors forêts jouent un rôle majeur en tant que sources de fruits, bois de chauffage, etc. Leur importance ne doit pas être sous-estimée (FRANK, *et al.*, 2007).

#### 2.1.5. Cultures agricoles

Ce sont des plantes cultivées spécifiquement pour les aliments, les fourrage, les fibres ou de la production d'énergie. Il faut faire la distinction ente l'agriculture intensive (grande échelle), pour laquelle des chiffres de production peuvent apparaître dans les statistiques nationales et les

exploitations familiales rurales, les pâturages cultivés et les pâturages naturels (FRANK, *et al.*, 2007).

### 2.1.6. Résidus de récolte

Il s'agit notamment des résidus de récolte et des plantes produites dans les champs. Les exemples incluent les céréales à paille, les feuilles et les tiges des plantes. Le changement de combustible peut entraîner des changements importants dans la façon dont les gens utilisent les ressources énergétiques de la biomasse. Par exemple, en Chine un passage rapide à partir de résidus agricoles aux combustibles fossiles est causant de graves problèmes environnementaux que les résidus sont maintenant brûlés en raison du déclin du marché. Soyez conscient de ces pièges. (FRANK, *et al.*, 2007).

### 2.1.7. Résidus transformés

Ceux-ci comprennent les résidus résultant de la conversion agro-industrielle ou de la transformation des plantes (y compris les cultures arboricoles), tels que la sciure de bois, la bagasse, les coquilles de noix et les écorces de céréales. C'est une importante source de combustibles (de la biomasse) et doivent être correctement évalués. (FRANK, *et al.*, 2007).

### 2.1.8. Déchets animaux.

Ceux-ci comprennent les déchets animaux de l'élevage intensif et extensif. Lorsque l'on considère l'approvisionnement en biomasse, il est également important de déterminer les quantités réellement accessibles pour le carburant, et non quantité totale produite. Vous devez être conscient qu'il existe de grandes variations attribuée à un manque d'une méthodologie commune, qui est la conséquence des variations dans le type d'élevage, l'emplacement, les conditions d'alimentation, etc. (FRANK, *et al.*, 2007)

Les déchets animaux peuvent également avoir une meilleure valeur comme engrais. En outre, ces déchets sont le plus souvent utilisés pour la production de biogaz pour l'environnement plutôt qu'à des fins énergétiques.

## 2.2. Classification selon la composition :

La classification de la biomasse ligneuse et non ligneuse est souvent utilisée pour des raisons de commodité car il n'existe de pas de différence nette entre les deux catégories.

La manière dont ces biomasses types sont classées ne doit pas influencer la manière avec laquelle les données sont collectées. Par exemple, les écorces de café sont traitées comme des résidus, alors que les coupures de café et les tiges sont classées comme étant du bois. (FRANK, *et al.*, 2007).

### 2.2.1 Biomasse ligneuse :

Elle inclut la biomasse des arbres, des buissons et des arbustes. Cette définition comprend également les forêts et les plantations forestières, l'industrie de transformation du bois (sous-produits et des résidus). (ALAKANGAS, 2006).

La biomasse ligneuse, est générée à partir des opérations de conduite forestières. Elle est composée de résidus de coupe, et d'autres matériaux ligneux tels que les produits forestiers en général, qui sont également utilisés à des fins énergétiques. Elle comprend la masse totale de la plante : les racines, la tige, les branches, l'écorce et feuilles de tous les arbres et arbustes (vivants et morts) dans la forêt. Selon la définition large tous les produits forestiers pourraient être considérés comme la biomasse ligneuse (BEN JAMIN, 2010).

La biomasse ligneuse est constituée essentiellement de la tige solide du tronc principal et des branches des arbres ou des plantes. Il s'agit d'un élément de structure dans la matière vivante. Il est dense et possède peu de cendres. Même les résidus agricoles qui peuvent être constitués de plantes entières ou des branches de plantes peuvent être ligneux, comme la tige de coton et de la tige de mûrier. Les mauvaises herbes telles que *Prosopis juliflora*, qu'on trouve habituellement dans les climats tropicaux peuvent également être considérées comme une biomasse ligneuse.

### 2.2.2 Biomasse non ligneuse

Cette catégorie comprend les plantes qui ont une tige non ligneuse et qui meurent à la fin de la saison de croissance. Elle inclut les grains ou les cultures de graines provenant de l'industrie agro-alimentaire et leurs sous-produits tels que la paille de céréales. (En fonction de leur origine et des parties des plantes utilisées, FR 14951-1 fournit une classification détaillée de la biomasse herbacée).

Biomasse non ligneuse contient des cultures céréalières, plante entière, Graminées, cultures de graines oléagineuses, Les plantes-racines, Les cultures de légumineuses, les fleurs, la biomasse herbacée distincte des jardins, des parcs, de l'entretien routier, les vignobles et les vergers.

En règle générale, la biomasse non ligneuse comprend les éléments suivants: Les cultures agricoles; les résidus de récolte; le traitement des résidus; les déchets animaux et cultures herbacées. (FRANK, *et al.*, 2007).

### 3. Composition :

La composition de la biomasse peut être étudiée de plusieurs façons, cependant l'accent sera mis sur la biomasse lignocellulosique, étant donné qu'elle représente la biomasse dominante et qu'elle fait l'objet de la présente étude.

#### 3.1. Principaux constituants :

La biomasse lignocellulosique, est constituée de trois composants naturels majeurs : la cellulose (polysaccharide linéaire de glucose), les hémicelluloses (polysaccharides branchés de sucres à 5 et 6 atomes de carbone) et la lignine (polymère complexe aromatique). Elle comprend notamment les arbres et les herbes et représente la grande majorité de la biomasse.

En moyenne, la biomasse lignocellulosique contient 40-60 % de cellulose, 20-40 % d'hémicelluloses et 10-25 % de lignine (cf. figure 01). La répartition de ces constituants se fait en fonction de l'espèce végétale, de l'âge et des conditions de croissance (McKENDRY, 2002, GOYAL, *et al.*, 2008).

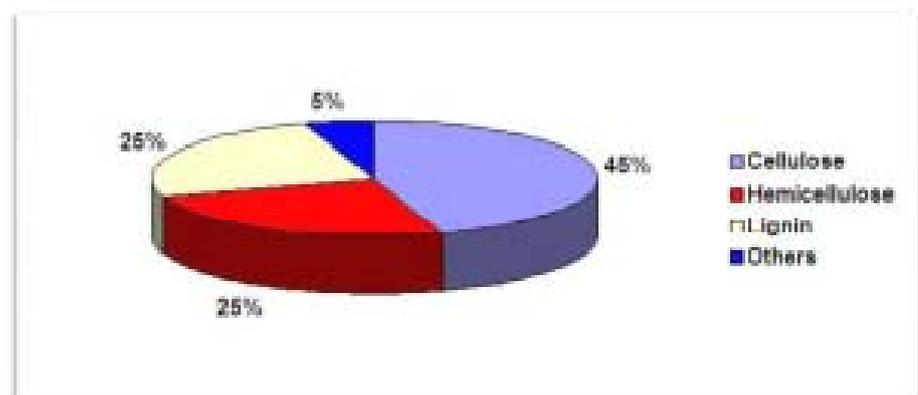


Figure 1: Composition typique de la biomasse lignocellulosique (WOOTEN, 2004)

### 3.1.1. Cellulose :

La cellulose est la molécule organique la plus abondante sur la terre elle est le constituant principal de la paroi cellulaire de nombreux végétaux. C'est un polymère constitué à plus de 98% des unités -D-glucopyranose reliées par des liaisons  $\beta(1-4)$  glycosidiques (SATGE, 2004) mais certains sucres tels que le galactose, le mannose ou la xylose peuvent être incorporés en petite quantité dans la structure de cellulose. Ce corps chimiquement bien défini par leur formule brute  $(C_6H_{10}O_5)_n$ .

La disposition des liaisons hydrogènes entre les chaînes des glucoses forme une structure fibrille. Elle se présente sous la forme de microfibrilles de 2 à 6 nm de diamètre, agglomérées en fibrilles de diamètre compris entre 60 et 360 nm et de longueur infinie (KHELFA, 2008).

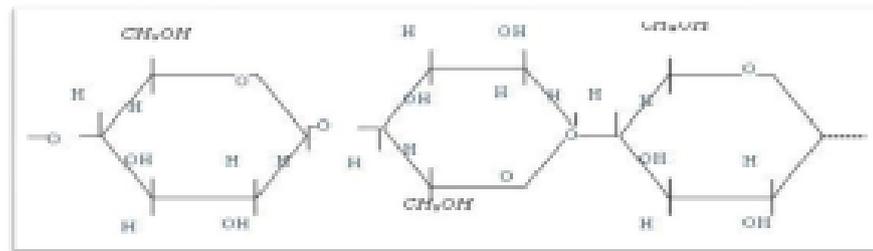


Figure 2: Structure de cellulose (KHELFA, 2008).

### 3.1.2. Hémicelluloses :

Ce sont des polymères de polysaccharides ramifiés à faible masse molaire (masse moléculaire moyenne < 30 000) des sucres C5 (pentose) dont les principaux représentants sont les xylanes ou C6 (hexose) représentés par les glucomannanes (SUHAS, 2007) la disposition et le taux des ces sucres (pentose, hexose) dépend de l'origine de biomasse. A titre d'exemple :

Pour les feuilles ; la structure plus riche en pentose et contiennent environ 25 % de xylanes et 5 % de glucomannanes.

Pour les résineux ; la structure plus riche en hexose et contiennent environ 10 % de xylanes et 15 à 20 % de glucomannanes (KHELFA, 2008).

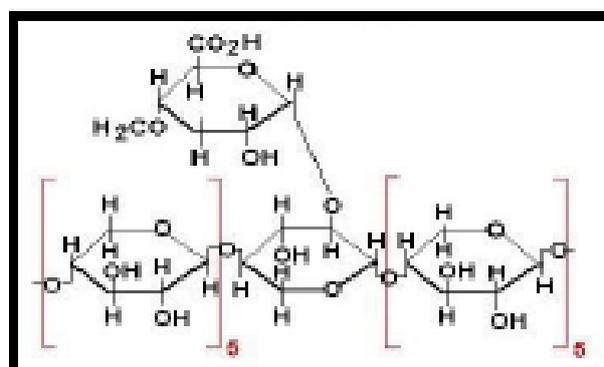


Figure 3: Structure l'hémicellulose (KHELFA 2008).

### 3.1.3. Lignine :

La lignine est la deuxième matière organique la plus abondante sur terre après la cellulose (DAVIN, *et al.* 2005 ; GOSSELINK *et al.*, 2004).

Elle est présente principalement dans les plantes vasculaires (plantes qui possèdent un tissu vasculaire pour transporter l'eau et les éléments nutritifs depuis les racines jusqu'aux feuilles) et dans quelques algues, (WERTZ, 2010).

Ce sont des gros polymères tridimensionnels Elle résulte d'une polymérisation oxydative des trois alcools phénoliques (KHELFA, 2008) qui sont : alcool coumarylique, alcool coniférylique et alcool sinapylique assemblés entre eux au hasard avec 4-hydroxyphényl propanoïdes, dérivés d'un acide aminé, la phénylalanine (WERTZ, 2010).

L'importance de la lignine dans la structure de la matière vivante (biomasse) est qu'elle agit comme un ciment entre les fibres du bois et comme un élément rigidifiant à l'intérieur des fibres (BLIN, 2005).

Ces polymères sont déposés principalement dans les parois secondaires des cellules, les rendant rigides et imperméables. La lignine, qui protège les polysaccharides de la paroi cellulaire de la dégradation microbienne en leur conférant une résistance à la pourriture, est par la même occasion un des facteurs limitant les plus importants à la conversion de la biomasse en pâte à papier ou en biocarburants (WERTZ 2010).

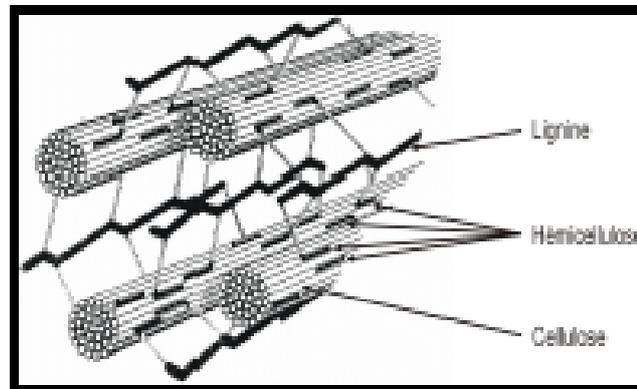


Figure 4: Disposition des principaux composants dans la structure de la biomasse (GHYSEL, *et al.*, 2010).

Dans la biomasse, la cellulose constitue la fraction la plus large, suivie de l'hémicellulose et de la lignine.

L'organisation de ces composants dans une fibre de bois se fait comme suit : les molécules de cellulose forment des fibres élémentaires entourées par une couche d'hémicellulose puis le tout entouré par la deuxième couche de lignine.

### 3.2. Composants secondaires (variables):

#### 3.2.1. Sucres monomériques :

Utilisés pour la production de l'éthanol par fermentation grâce à l'action des micro-organismes dont les plus connus sont des levures du genre *Saccharomyces*. (GNFA 2009) Ces sucres se trouvent notamment dans des canes à sucre et des betteraves,... (Joël Elin 2005)

#### 3.2.2. Amidon

C'est un glucide complexe de formule  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , abondant dans les grains des céréales, les bulbes, les tubercules, etc. L'amidon, construit à partir de deux fractions homogènes peut en être extrait de :

- Amylose qui représente 5 à 30% de l'amidon, est soluble dans l'eau tiède et cristallise par refroidissement.
- Amylopectine qui représente 70 à 95% de l'amidon, donne à chaud un empois visqueux (gel).
- Amidon est un polymère des glucoses qui est utilisé aussi pour la production de l'éthanol mais par hydrolyse enzymatique des polymères pour former des unités de glucose avant la fermentation direct (BLIN, 2005).

### 3.2.3. Triglycérides, acides gras libre, stérols, cires, ... :

Ils sont utilisés pour la production d'huile végétale, et proviennent soit de la biomasse des graines (arachide, colza, ricin, soja, tournesol, coton, lin, ...) soit la biomasse des fruits (la noix de coco, palmiste et de l'olive...) (Blin, 2005).

### 3.3. Composition élémentaire :

La composition chimique élémentaire indique les taux de :

- Carbone et hydrogène : Donnent des indices sur la quantité d'énergie que peut fournir le combustible.
- Azote indicateur de risque d'émission de  $\text{NO}_x$ .
- Chlore indicateur de risque de corrosion et d'émission de dioxines furannes. (Centres agraria lorraine de la recherche)

Tableau 1: Constituants élémentaires de différentes biomasses (BLIN, 2005).

Composition moyenne %	C	O	H	N	Cendres
Feuilles	51.00	6.07	42.5	0.37	2.5
Résineux	50.80	6.06	42.7	0.36	2.3
Pailles	49.90	5.97	43.9	0.82	7.3
Balles de riz	48.2	6.48	45.1	1.19	15.8
Bagasse	53.1	6.03	38.7	1.25	9.3
Tige de coton	49.50	5.8	43.8	1.17	8.5

### 3.4. Composants inorganiques (Cendres) :

Il s'agit essentiellement des alcalins et des métaux. On retrouve principalement le soufre, chlore, phosphore, silicium, fer, aluminium, calcium, magnésium, sodium, potassium, titane. Ces

composés sont récupérés en fin de combustion sous forme d'oxydes (respectivement  $P_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ). Mais le chlore et le soufre constituent une exception car ils sont perdus au cours de la combustion. (Centres agraria lorraine de la recherche).

Nous distinguons deux types des cendres:

- Les cendres foyers sont des résidus de la combustion des composés inorganiques qui forment un dépôt au niveau du foyer, on parle de mâchefers lorsque ce dépôt a fusionné et est devenu dur comme de la roche.
- Les cendres volantes sont des cendres volatiles. En refroidissant au niveau des surfaces de transfert de chaleur, elles forment des agglomérats ou entraînent des phénomènes de corrosion.

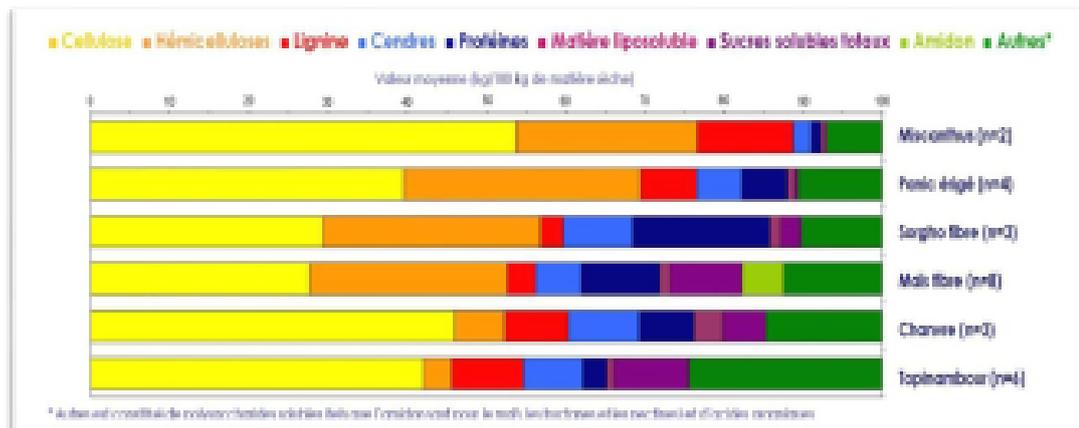


Figure 5: Taux des différents constituants dans les différentes origines de biomasse. (GHYSEL, *et al.*, 2005)

#### 4. Valorisation énergétique:

La biomasse est un combustible difficilement exploitable dans son état brut. Sa transformation permet d'obtenir des combustibles plus intéressants sous différentes formes : (KHELFA, 2008).

- Solide comme les pellets, les plaquettes, les semi-coques, coques, charbon de bois, etc.
- Liquide comme l'éthanol, le biodiesel, les huiles pyrolytiques.
- Gazeuse comme les gaz de décharge, le biogaz, le gaz de bois ou d'autres résidus Utilisables dans des moteurs, chaudières ou turbines.

Le tableau ci-dessous montre les principaux voies de valorisation de la biomasse ainsi que les produits obtenus et les différentes formes d'énergies récupérés. Néanmoins, nous mettrons l'accent sur le procédé de combustion, vu son importance dans la présente étude.

4.1 Procédés de Valorisation énergétique de la biomasse :

Tableau 2: Principaux technologies de production de bioénergie : (ROSILLO-CALLE, *et al.*, 2007 ; KHELFA, 2008).

Voies	Procédés	Produit	Energie	Catalyseurs	Observations
Voie humide	Digestion anaérobie	Biogaz	Biogaz et différents sous-produits	Biogaz et différents sous-produits	Utilisation localiste
	Hydrolyse enzymatique+fermentation	Biodiesel	Biogaz et différents sous-produits	Carburants liquides (exemple : transport) et matière première chimique	Cellulosique 5-10 ans pour la commercialisation
	Estérification d'huiles Végétales	Ethanol, ETBE		Biogaz et différents sous-produits	
Voie sèche (Procédés Thermochimiques)	Combustion	Gas Incombustibles CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	Chaleur, électricité	Biogaz et différents sous-produits	Efficacité variant > 15-40% électrique; > 80% thermique.
	Gazéification	Essentiellement mélange gazeux H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> et CH <sub>4</sub>	Produits valorisables (chimie, énergie)	Chaleur (chaudière), électricité (Moteur, turbine à gaz, pile à combustible), carburants de transport (méthanol, hydrogène)	Gazéification avancée Technologies offrent de très bonnes possibilités d'utilisation d'une gamme de sources de biomasse
	Pyrolyse	Solide carboné (charbon) +liquide (goudron) +gaz		Chaleur (chaudière), électricité (moteur)	Problème de la qualité de l'huile de pyrolyse: et son adaptation aux utilisations finales

### 4.2. Combustion .

La combustion est un phénomène complexe qui implique la transformation des différents composants en éléments simples.

C'est une réaction chimique à température élevée entre un combustible qui contient essentiellement du carbone et de l'hydrogène et l'oxygène apporté par un comburant (air atmosphérique). (HUON, 2008)

#### 4.2.1. Etapes de la combustion :

Les trois étapes principales régissant le processus de combustion sont :

##### a. Séchage :

Toute biomasse contient de l'humidité et cette humidité doit être chassée avant la combustion appropriée. La chaleur de séchage est fournie par rayonnement des flammes et de la chaleur stockée dans le corps du poêle ou du four.

##### b. Pyrolyse

La biomasse sèche est chauffée et lorsque la température atteint entre 200°C et 350°C, les gaz volatils sont libérés. Ces gaz se mélangent avec l'oxygène, brûlent et produisent une flamme jaune. Ce procédé est auto-entretenu. La chaleur des gaz de combustion est utilisée pour sécher le combustible neuf et libération d'autres gaz volatils. L'oxygène doit être fourni pour maintenir cette partie du processus de combustion. Lorsque toutes les substances volatiles ont été brûlées, le charbon de bois reste.

##### c. Oxydation

Les principales réactions se faisant à haute température, le produit primaire est probablement du CO (SHAFIZADEH, *et al.*, 1979) :



Qui s'oxyde ensuite au cours du refroidissement des gaz conformément à la réaction :



Il est ainsi important de laisser le temps aux réactions d'oxydation de CO d'agir, sinon il peut facilement être entraîné dans les fumées et devenir ainsi un polluant rejeté dans l'atmosphère. Dans les cas de mauvais réglage de la combustion soit par défaut d'air, soit à cause d'un temps de séjour des gaz dans le brûleur trop faible, une partie du carbone des gaz se retrouve dans les fumées.

Ainsi une combustion mal réglée se traduit par la formation d'une quantité de suies importantes (il est à noter que le  $\text{CO}_2$  n'est pas un polluant qui joue sur la qualité de l'air. Par contre, il est responsable du réchauffement climatique). Dans la flamme, la température élevée peut conduire à la formation de  $\text{NO}_x$  par oxydation de l'azote atmosphérique. Le résidu de la combustion comporte des cendres, constituées majoritairement de  $\text{SiO}_2$  et d'oxyde d'alcalins ou d'alcalino-terreux ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) et des oxydes métalliques de fer, etc.

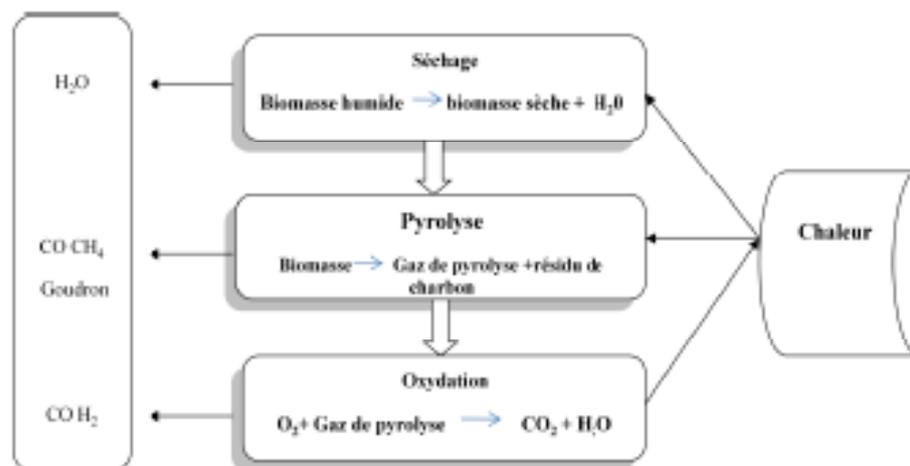


Figure 6: schéma présente les différentes phases de la combustion (KHELFA, 2008)

#### 4.2.2 Mécanisme de la combustion de bois :

La plupart des mécanismes primaires de dégradation sont déterminés pour la cellulose. Ceci se comprend facilement, puisque la cellulose, contrairement à l'hémicellulose et la lignine, peut être isolée de façon relativement simple, sans modification importante de sa structure et de sa composition chimique

##### a. Décomposition de la cellulose :

Les mécanismes primaires de dégradation de la cellulose peuvent donc être représentés par : Les réactions de dépolymérisation via transglycosylation : Ce mécanisme conduit notamment à la formation du lévoglucosane et du cellobiosane. La cellulose activée peut être considérée comme une phase liquide issue de la dépolymérisation de la cellulose par cette voie. Ce mécanisme conduit aussi à des gaz permanents et des dérivés furaniques.

Les réactions de déshydratation inter et intra chaînes : Ces réactions conduisent à la formation de la cellulose déshydratée par perte d'eau et produisent en partie des pontages entre chaînes. La réticulation permet la formation de solide (char), puis la production de gaz.

Des réactions d'ouverture de cycles : Ces réactions concurrentes à la dépolymérisation par transglycosylation conduisent à la formation d'aldols et acétols comme l'hydroxyacétaldéhyde par fragmentation des cycles de la cellulose.

b. Décomposition de la lignine :

L'étude de la structure des lignines reste difficile car les relations entre ce polymère et les autres constituants de la paroi cellulaire sont mal connues. Des trois principaux constituants du bois, la lignine est celle qui commence à se décomposer en premier vers 110-200°C.

Les groupements -OH catalysent la rupture des fonctions acides entraînant la formation de l'eau et du CO<sub>2</sub>. Des études ont montré que le traitement thermique favoriserait la formation des radicaux phénocyles par arrachement d'hydrogène sur les fonctions phénoliques des constituants du bois.

Les différentes voies impliquées dans la pyrolyse de la lignine : rupture homolytique radicalaire des liaisons  $\alpha$ -et  $\beta$ -alkyl-aryle éther et recombinaison intramoléculaire auraient lieu simultanément (VANDER HAGE, *et al.*, 1993).

Dans le cas de la lignine ANTAL (1985), propose un mécanisme à trois étapes :



Équation 1: Modèle étudié par Antal pour la lignine (ANTAL, 1985).

A basse température, la première réaction représente essentiellement la déshydratation. À température plus élevée ( $T > 500^\circ\text{C}$ ), la lignine se dégrade en monomères principalement par la deuxième réaction. Lorsque la vitesse de chauffage est très élevée, la réaction de fragmentation

(troisième réaction) est favorisée. Cette réaction ne conduit pas à la formation de charbon, lequel est formé dans un second temps par la condensation de vapeurs réactives.

### c. Décomposition de l'hémicellulose :

La décomposition thermique de l'hémicellulose n'a que très peu été étudiée dans la littérature. De manière générale, le mécanisme est similaire à celui de la cellulose mais le principal produit formé est le furane qui remplace le lévoglucosane (BLAZEK, *et al.*, 2001). Toutefois, peu d'études expérimentales confirment jusqu'à présent cette hypothèse.

Les transformations chimiques concernant les hémicelluloses durant la pyrolyse n'ont guère été abordées. De tous les polymères du bois, ces molécules sont les plus instables thermiquement (BLEAM, *et al.*, 1975).

Les xylanes semblent les plus réactifs et seraient très sensibles aux réactions de dégradation et de déshydratation entre 200 et 260°C (KOTILANEN, 2000).

Ils sont la principale source de produits volatils (les furfural et l'acétaldéhyde) et jouent un rôle important dans les réactions d'initiation et de propagation des réactions de pyrolyse. De faibles différences dans la composition chimique influenceraient de façon significative la décomposition thermique des saccharides. Ainsi le glucose et le mannose, molécules qui diffèrent seulement par la configuration stérique du groupe hydroxyle sur le deuxième carbone, ont des voies de dégradation différentes (PAVLATH, *et al.*, 1985).

Plus la structure moléculaire est complexe, plus la température de dégradation sera élevée (BLAZEK, *et al.*, 2001).

La formation d'acide acétique à partir de la scission des groupements O-acétyle et la formation d'acide formique à partir de l'acide glucuronique en présence d'eau auraient un effet notable sur l'intensité de la dégradation du bois et catalyseraient la scission des carbohydrates et des lignines (IOANNIDOU, *et al.*, 2009).

Les différents types d'hémicelluloses n'ayant pas le même comportement vis à vis de la température, le couplage de différentes techniques analytiques (thermogravimétrie couplée à la spectrométrie de masse, spectrométrie infrarouge, dosages chimiques et diffraction des rayons X) permet de mieux expliquer une partie des réactions observées (ANTAL, 1985).

### 5. Avantages et inconvénients de l'énergie de la biomasse:

#### 5.1. Avantage :

- Le plus grand avantage de l'énergie de la biomasse, c'est qu'elle est renouvelable. Les plantes et les arbres peuvent être cultivés afin d'être utilisés à des fins énergétiques.
- Un autre avantage majeur de la biomasse est qu'elle aide à la gestion des déchets solides. Chaque jour, des millions de tonnes de déchets solides sont produits, dont notamment les déchets biodégradables. Lorsque les déchets sont utilisés comme biomasse, on répond à deux demandes : la baisse de la pollution et l'augmentation des ressources énergétiques.
- La production d'énergie à partir de la biomasse présente de faibles impacts environnementaux.
- Un autre avantage majeur de la biomasse est qu'elle aide à la gestion des déchets solides. Chaque jour, des millions de tonnes de déchets solides sont produits, dont notamment les déchets biodégradables. Lorsque les déchets sont utilisés comme biomasse, on répond à deux demandes : la baisse de la pollution et l'augmentation des ressources énergétiques.
- La production d'énergie à partir de la biomasse présente de faibles impacts environnementaux.
- Le plus grand avantage de l'énergie de la biomasse, c'est qu'elle est renouvelable. Les plantes et les arbres peuvent être cultivés afin d'être utilisés à des fins énergétiques.
- La création d'emplois dans les zones rurales.
- Carburants à l'alcool sont la combustion efficace et propre.
- La disponibilité de combustibles de la biomasse est universelle

#### 5.2. Inconvénients :

- Par rapport aux combustibles fossiles, l'énergie de la biomasse est chère. C'est avant tout dû au coût de la recherche. Avec le temps et les avancées techniques, l'énergie de la biomasse devrait être plus abordable.

## **Chapitre II :**

### **Evaluation du potentiel énergétique de la biomasse**

## Chapitre 02 : Evaluation du potentiel énergétique de la biomasse

### 1. Introduction

Ce chapitre traite les principaux problèmes liés à l'évaluation de l'utilisation et l'approvisionnement en biomasse, la classification de la biomasse ainsi que la méthodologie générale utilisé pour l'évaluation de la biomasse. Nous parlerons brièvement des unités utilisées dans l'évaluation ainsi que les tendances futures possibles de la bioénergie.

L'inexistence de système normalisée d'évaluation des ressources empêche les décisionnaires et des planificateurs de proposer une politique énergétique soutenable et satisfaisante.

Les méthodes exposés dans ce chapitre sont générale et sont applicables dans différents contextes, néanmoins, aucune de ces méthodes n'est parfaite, et présente des inconvénients par rapport au temps, main d'œuvre, argent, et chacune fourniront des degrés variables d'exactitude.

Cependant, utilisé convenablement, ces méthodologies indiqueront exactement des problèmes critiques dans la production et l'approvisionnement de biomasse.

Étant donnée l'emplacement spécifique de la bioénergie, l'utilisateur utilise son propre jugement selon circonstances quant à la manière la plus appropriée d'effectuer son évaluation.

### 2. Problèmes de mesure de la biomasse

Selon Rosillo-Calle F *et al.* (2007) beaucoup de problèmes sont liés à la mesure de la biomasse, mais généralement elles sont classées en trois catégories:

- Difficulté de mesure physique de la biomasse.
- Multitude et différence d'unités employées pour ces mesures.
- Multiple usage de la biomasse.

D'autres formes de biomasse changent délibérément de forme pour la production d'énergie, nous citons à titre d'exemple, le bois en charbon de bois, la bouse en biogaz et engrais, et le sucre en éthanol.

Il est généralement nécessaire de connaître la quantité de matières premières ligneuse disponible afin d'estimer la quantité utilisée pour produire le biocarburant, la production annuelle à des sites

spécifiques. Ceci est nécessaire afin d'évaluer son utilisation économique et physique, la disponibilité pour le traitement...

### 3. Dix commandements d'évaluation de la biomasse

Ce sont dix points à prendre en considération pour aborder convenablement l'évaluation de la biomasse.

#### 3.1. Ne confondez jamais la consommation avec le besoin :

Le besoin peut excéder la consommation si la biomasse est difficile à obtenir ou onéreuse. La consommation dépend en grande partie des coûts perçus de la biomasse. Essayez d'estimer "des besoins énergétiques de base" définie comme besoin minimum en énergie pour des activités de base telles que la cuisson, chauffage et l'éclairage. Un composant développemental peut être ajouté pour tenir compte des activités industrielles des ménages et de maisons de petites tailles.

#### 3.2. Ne séparez pas la consommation de l'approvisionnement :

Pour la convenance, l'approvisionnement et la consommation de la biomasse sont traités séparément. Cependant, des données sur la disponibilité et sur l'utilisation de l'énergie de biomasse sont souvent rassemblées en même temps, quoique les différentes personnes peuvent rassembler les deux données simultanément.

#### 3.3. Marquer vos prétentions explicites :

La plupart des méthodes empiriques nécessitent des prétentions implicites ou explicites, ou même des décisions, sur la nature ou les objectifs du projet. Des tels motifs fondamentaux devraient être clairement énoncés pour tenir compte de la compatibilité et de la possibilité des résultats à comparer avec le temps.

#### 3.4. Vos conditions de données doivent être conduites par votre problème :

Des évaluations de la consommation sont toujours faites pour fournir une base pour l'action. La collecte de données n'est pas une fin en soi. Le rassemblement des données complètes et désagrégées placera un énorme fardeau sur vos ressources. Vous devez décider comment les données devrait être détaillé, et quand l'information agrégée sera suffisantes.

3.5. Soyez avertis du danger de consacrer trop de ressources à la collecte de données et un trop petit nombre à l'analyse :

L'analyse des données peut prendre du temps, et doit être soigneusement projetée. Demandez-vous si vous avez les ressources nécessaires pour effectuer une analyse pensive. Si pas, projetez en conséquence et expliquez les raisons pour lesquelles

3.6. Ne l'ignorez pas ce que vous ne pouvez pas la mesurer :

Il n'est pas toujours possible de mesurer la demande de la biomasse. Il est donc recommandé d'incorporer une large base d'information empirique aux revues régulières de projet et considérer la population locale.

3.7. Ne soyez pas séduit par des moyennes :

Il y a souvent une variation considérable des modèles de consommation d'énergie, non seulement entre les pays, mais également entre les secteurs séparés par quelques kilomètres seulement, pour des zones écologiques. Ces problèmes sont encore compliqués où des données sont rassemblées selon des frontières administratives. Ceux-ci rarement, si jamais, assortissent des zones écologiques.

La confusion surgit souvent quand une comparaison est essayée entre les données rassemblées selon des zones politiques et écologiques.

3.8. Il n'y a pas de solution unique et simple:

L'énergie est seulement une des nombreuses utilisations de la biomasse, elle n'est pas l'utilisation principale. L'évaluation de l'approvisionnement et de la consommation de bioénergie n'est pas donc une chose facile, et il n'y a aucune méthode pour élaborer un plan comptable.

3.9. Les utilisateurs sont les meilleurs juges de ce qui est bon pour elles .

Un objectif important d'une évaluation de biomasse est d'aider le consommateur. Une bonne compréhension des sciences socio-économiques, des pratiques culturelles et des besoins de la communauté est donc essentielle.

3.10. Soyez flexible et modifiez n'importe ce qui précède s'il semble sensible

Rester flexible, peut s'avérer être la règle la plus importante de tous.

#### 4. Considérations générales lors de l'évaluation de la biomasse :

Les méthodes utilisées pour évaluer des ressources de biomasse changent, selon:

- Le but pour lequel les données sont prévues.
- Le détail requis.
- L'information déjà disponible pour les pays particulier, la région ou l'emplacement local.

Ce qui suit sont un certain nombre des étapes qui nous aideront à notre évaluation.

##### 4.1.Définir le but et les objectifs :

Identifier clairement le but et les objectifs de votre évaluation.

##### 4.2.Identifiez les utilisateurs :

Quelles utilisateurs à qui vous vous adressez? Par exemple, les décideurs, les planificateurs et les chefs de projet ont besoin de l'information exprimée en manières différentes.

##### 4.3.Déterminez le niveau du détail :

Décidez le niveau du détail exigé pour vos données. Les décideurs exigeront l'information agrégée, par exemple, le personnel de projet aura besoin fortement de détailler les données désagrégées. Là où le détail est exigé pour l'exécution des projets, la recherche approfondie est nécessaire pour fournir un rapport clair et sans ambiguïté sur chaque type de ressource de biomasse, et pour fournir une analyse détaillée sur la disponibilité, l'accessibilité, la convertibilité, le modèle d'utilisation présent et les tendances futures.

##### 4.4.Classification de la biomasse :

Décidez d'un système de classification de la biomasse. Ce manuel divise la biomasse en huit catégories principales, qui vous permettront d'employer des méthodes semblables d'évaluation pour chaque type de biomasse.

##### 4.5.Identifiez l'offre et la demande :

Identifiez les secteurs critiques de l'offre et de la demande de biomasse. C'est essentiel pour que les décideurs et les planificateurs prennent les bonnes décisions.

#### 4.6 Mesurez les données existantes

Quelle quantité de données est déjà disponible? Une recherche bibliographique complète implique la coordination, le réassemblage et l'interprétation de l'information de sources existantes, à l'échelle nationale, des bases de données régionales et locales, et des statistiques produites par les gouvernements et organisations non gouvernementales (O.N.G). Cette démarche est indispensable pour gagner du temps et éviter la duplication inutile de l'effort. Beaucoup de données peuvent déjà être disponible sous forme de cartes et de rapports.

### 5. La valeur énergétique de la biomasse :

#### 5.1. Combustion :

Les différentes ressources de biomasse à usage énergétique peuvent être transformées en produits énergétiques: chaleur (pouvant elle-même être transformée en électricité), combustibles solides (plaquettes granulés de bois, charbon de bois), combustibles liquides (biocarburants), combustibles gazeux (biogaz). L'énergie disponible à partir de la biomasse est exprimée sous deux formes principales:

- La valeur calorifique brute, également exprimée en pouvoir calorifique supérieur (PCS).
- La valeur calorifique nette, également appelée pouvoir calorifique inférieur (PCI).

La différence entre les deux paramètres c'est que la mesure de la valeur calorifique supérieur (PCS), est réalisée à l'aide de la combustion totale de la biomasse. Mais pour la valeur calorifique inférieur (PCI), l'énergie qui est réellement disponible à partir de la combustion après prise en compte des pertes d'énergie dues à l'évaporation de l'eau libre ou combinée. Le (PCI) est toujours inférieur que (PCS) à cause de la présence d'énergie contenu dans les molécules d'hydrocarbures.

La différence entre (PCS) et (PCI) dépend en grande partie de l'eau (et hydrogène) dans le carburant. Les combustibles pétroliers et de gaz naturel contiennent peu d'eau (3-6 pour cent ou moins) mais les combustibles de la biomasse peuvent contenir jusqu'à 50-60 pour cent de l'eau au point de combustion

### 5.1.1. Calcul de la valeur énergétique :

Le calcul des valeurs énergétiques basées principalement sur la formule suivant :

$$V = (A \times 2.4) + (B \times C \times D) \text{ avec :}$$

V : valeur énergétique (MJ/kg) A : taux d'eau dans le poids total de la biomasse (%).

B : taux de la matière sèche dans le poids total de la biomasse (%).

C : valeur énergétique produite après la combustion de la matière sèche (MJ/kg).

D : taux de la combustibilité de la matière sèche(%).

2.4 MJ/kg : c'est la valeur énergétique produite après la vaporisation d'eau.

Par exemple, la valeur énergétique produite après la combustion d'un bois qui contient 44% d'eau et 56% des fibres avec un pouvoir calorifique égal 2.4 MJ/kg celui de l'eau est égale à : 18.9 MJ/kg, et 1% de ces fibres est non combustible, donc :

$$V = (2,4 \times 0,44) + (0,56 \times 18,9 \times 0,99)$$

$$V = 1,1 + 10,5 \text{ donc } V = 11,6 \text{ MJ / kg}$$

Cette formule peut être utilisée si le pouvoir calorifique supérieur (PCS) et le pouvoir calorifique inférieur (PCI) sont connus avec le taux des cendres et l'humidité.

La quantité nette d'énergie disponible à partir de la biomasse sous forme de chaleur dépend de deux facteurs:

- Quantité d'eau qu'il contient.
- Quantité de matériaux non combustibles de la biomasse qui sera laissée en cendres après la combustion c'est-à-dire peuvent être récupéré en alcalins et en métaux sous forme d'oxydes par exemple :  $P_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,... Etc. mais avec aucune valeur énergétique.

Pour les biomasses ligneuses le taux des cendres est principalement faible et presque constante pour toutes les espèces (environ 1%), mais pour la biomasse non ligneuse, elles contiennent des quantités très importantes.

### 5.1.2. Crotte

La valeur de l'énergie produite après la combustion du fumier animal sans cendres est supérieure à celle du bois ; le fumier sec a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'environ 21,2 MJ / kg. Moins 15 % d'humidité de la matière sèche, elle est ramenée à 18,1 MJ / kg. Toutefois, avec un taux des cendres allant en moyenne de 23 à 27 %, la valeur réelle d'énergie pour 15 % d'humidité de la matière sèche, est égale environ de 13,6 MJ / kg.

### 5.1.3. Résidus de récolte

La valeur de l'énergie de résidus de récolte est principalement inférieure à celle de bois, parce qu'elles ont une plus faible teneur en carbone (environ 45 %) et la teneur en oxygène plus élevée. De plus la teneur en cendres détermine la valeur énergétique de la biomasse : si le teneur des cendres est faible ou nulle donc la combustion est maximum pour donner une grande valeur énergétique, et vice versa. Par exemple la valeur énergétique moyenne de matière exempte de cendres (cendres 0%, humidité 0%) est environ de 17,6 MJ / kg, pour une valeur énergétique d'un résidu contenant une teneur d'humidité de 15% mais sans des cendres, est environ de 15,0 MJ / kg. Avec une teneur en cendres de 2 %, la valeur d'énergie est environ de 14,7 MJ / kg, et avec 10 % de cendres, environ 13,5 MJ / kg d'énergie obtenu.

### 5.1.3. Poids en fonction du volume :

La détermination de la pouvoir calorifique dans le domaine de la biomasse nécessite le poids (Kg) comme une variable, car la quantité de chaleur qui peut être fourni, doit être soumise à une base de poids en générale, mais il y a autre critère comme le volume qui est prendre a mesure le pouvoir calorifique pour les industries forestières du bois.

L'importance de la mesure du poids est due à la forme irrégulière de la majorité des biomasses qui sont utilisées dans le domaine d'énergie (tiges, feuilles, racines, ...).

### 5.2. Pyrolyse :

Il s'agit de procédés de transformation de la biomasse solide par la chaleur et en l'absence d'air. Les procédés traditionnels de pyrolyse utilisent des températures de 300 à 500°C et permettent de produire du charbon de bois. Ce dernier a l'avantage de présenter par kilogramme un contenu énergétique double de celui du bois sec et de brûler plus proprement tout en donnant des températures plus élevées. Cependant, la production d'une tonne de charbon de bois nécessite de 4 à

10 tonnes de bois et environ deux tiers de l'énergie de ce bois sont perdus dans des produits volatils lors de la carbonisation.

La valeur énergétique du carbone dans le bois dépend à degré de carbonisation (pyrolyse) de la biomasse pénent la combustion et en plus le teneur des cendres et d'humidité (généralement 5%) comme les autre type de biomasse. La carbonisation de bois par la chaleur en l'absence d'air à une température supérieure à 300 ° C, au cours de carbonisation, il y a d'accumulation des carbones dans le charbon environ de 50% à 75%. Le charbon de bois a l'avantage de présenter par kilogramme un contenu énergétique double de celui du bois sec et de brûler plus proprement tout en donnant des températures plus élevées. Cependant, la production d'une tonne de charbon de bois nécessite de 4 à 10 tonnes de bois et environ deux tiers de l'énergie de ce bois sont perdus dans des produits volatils lors de la carbonisation.

Le charbon de bois est utilisé principalement pour la cuisson dans les zones urbaines des pays en développement. Compte tenu des problèmes de déforestation déjà cités, le passage à des solutions de cuisson alternatives, comme le biogaz ou même le gaz en bouteille serait sans doute préférable. Les procédés modernes de pyrolyse utilisent des températures plus élevées et récupèrent l'énergie des produits volatils.

Le teneur des cendres dans le charbon dépend principalement des composants de base, donc si on compare le taux des cendres de deux charbons à origine différents, il faut fixer le teneur d'humidité. Par exemple la teneur en cendres dans le charbon de bois peut avoir jusqu'à 4 %, et le charbon de paille 20-30 %. Ainsi, en supposant que la carbonisation complète, le charbon de bois aura environ 33 % plus d'énergie que le charbon de talle de café par unité de poids.

### 5.3. Gazéification :

Dans le cadre de la recherche des sources d'énergie renouvelable, pour répondre aux nécessités du développement durable et de la lutte contre l'effet de serre, après le lancement des biocarburants (éthanol, huiles), on assiste au lancement de la valorisation énergétique de la biomasse.

Il s'agit de récupérer l'énergie contenue dans la biomasse sous forme de gaz brute puis de transformer ce gaz en électricité et de récupérer de la chaleur (vapeur, eau chaude) dans une installation industrielle pourra traiter jusqu'à 130 000 tonnes de biomasse annuellement. Schématiquement le processus comporte quatre phases principales :

### 5.3.1. Préparation : séchage et broyage

Il faut préparer la biomasse afin d'obtenir le taux d'humidité (10 à 20 %). pour produire le gaz doit être alimenté avec un combustible très régulier. Cela nécessite donc obligatoirement un séchage thermique préalable des déchets humides ou liquides pour toutes les catégories de déchets. Ces opérations représentent une énorme dépense d'énergie.

### 5.3.2. Gazéification :

Lorsque la biomasse a été convenablement préparée, elle est introduite dans un gazogène, sorte de fourneau plus ou moins cylindrique dont le foyer est alimenté en air. Dans ce fourneau, des réactions thermo-chimiques s'enchaînent : pyrolyse, combustion, réduction. La gazéification se termine par la production des cendres et d'un gaz brut qu'il faut purifier.

### 5.3.3. Purification :

Le gaz récupéré à la sortie du gazogène subit un traitement humide, afin de séparer les goudrons et un filtrage à sec (grâce à un électro filtre) pour séparer les poussières. Le gaz purifié obtenu ne peut être utilisé tel quel car son pouvoir calorifique est faible. Il est donc préférable de s'en servir pour produire de l'électricité. Naturellement cela représente aussi une importante consommation d'énergie.

## 5.4. La fermentation

Il s'agit d'un procédé de transformation anaérobie des sucres en alcool par des micro-organismes pour obtenir de l'éthanol ( $C_2H_5OH$ ), de préférence du méthanol ( $CH_3OH$ ) d'un contenu énergétique de 30 GJ/t.L'éthanol est utilisé comme carburant, soit directement, soit sous forme d'E.T.B.E. (éthyl-tertio-butyl-éther). Le meilleur rendement pour la production d'éthanol est la canne à sucre (de 0,4 à 12 m<sup>3</sup>/ha/an.

## 5.5. La digestion anaérobie

Il s'agit de la transformation de la biomasse humide (boues de stations d'épuration,...) par l'action des bactéries en l'absence d'air et en milieu tiède (plus de 35°C) et humide (jusqu'à 95% d'eau). Le produit obtenu est un mélange gazeux appelé «biogaz», formé de méthane ( $CH_4$ ), de gaz carbonique et d'autres gaz en traces. L'utilisation de biogaz, est destinée pour la cuisson des aliments. Cependant, le meilleur rendement de 200 à 500 m<sup>3</sup> de biogaz contient de 50 à 75 % de méthane par tonne de matière sèche utilisée. Cette technique présente de multiples avantages sur

l'environnement car elle permet d'éviter l'émission du méthane qui est le plus actif en termes d'effet de serre. Et les Motors qui sont basés sur le biogaz sont moins polluants que les Motors diesel.

**Chapitre III :**  
**Biomasse phoenicicole**

## Chapitre 03: Biomasse phoenicicole

### 1. Introduction :

Le Palmier Dattier, dénommé par Linné depuis 1734 (*Phoenix dactylofera*L.) est probablement dérivé d'un nom phénicien «phénix», ce qui signifie palmier dattier, et "dactylifera" vient d'un mot grec "daktulos" signifie un doigt, ce qui illustre la forme du fruit, est une plante pérenne et lignifiée. C'est une espèce dioïque qui est bien adaptée aux climats sahariens chauds et secs, diploïde ( $2n=36$ ) et rarement polyploïde pour certaines variétés. Elle est angiosperme, monocotylédone et classée dans le groupe des Spadiciflores, l'ordre des Palmales, la famille des Palmacées (Arecaceae), la sous-famille des Coryphoïdées et la tribu des Phoenicées.

Il constitue la principale source de vie de la population saharienne, la culture du Palmier dattier est essentiellement localisée dans les régions sahariennes. Une estimation de la FAO (2003), classe l'Algérie au 4<sup>ème</sup> rang à l'échelle mondiale par rapport à la superficie (135000 ha) et la production annuelle de dattes (420 000 tonnes).

### 2. Définition :

Le Palmier Dattier est une plante monocotylédone à croissance apicale dominante. Le diamètre du tronc de l'arbre demeure généralement stable sous les mêmes conditions à partir de l'âge adulte. On distingue 3 parties : un système racinaire, un organe végétatif composé du tronc et de feuilles et un organe reproductif composé d'inflorescences mâles ou femelles. (SEDRA, 2003).

Le palmier dattier, est un arbre, qui ne possède pas de branches. L'arbre peut atteindre une hauteur d'environ 30 mètres. Ses feuilles atteignent 4 à 5 mètres long et contournent le tronc. Le palmier dattier est caractérisé par des racines fasciculées et fibreuses caractéristiques des graminées. Le palmier dattier est une espèce thermophile. Sa végétation s'arrête à partir de 10°C (zéro de végétation). L'intensité maximale de végétation est atteinte à des températures de 30-40°C. La période de maturation des fruits correspond aux mois les plus chauds de l'année.

Le palmier dattier est une plante relativement tolérante au sel, avec une absence d'effet sur sa croissance à une salinité d'environ 60 mmol/litre. L'arbre est constitué de plantes mâles et femelles, et c'est sur la plante femelle que se développent les fruits appelés dattes. Un plant mâle est capable de polliniser entre 40 et 50 plantes femelles.

**Chapitre III :**  
**Biomasse phoenicicole**

Le palmier dattier produit entre 5 et 15 bouquets par arbre. Chaque bouquet peut contenir jusqu'à 1000 dattes correspondant à un poids approximatif entre 6 à 8 kg. Un arbre de palmier commence à produire des dattes à partir de 3 ans, mais généralement entre 3 et 5 ans. Il peut rester vivant et productif pendant 150 ans environ. La forme, la taille et la couleur des fruits varient selon la variété (BENNASSEUR, 2008).

Le palmier dattier est la biomasse dominante du système éco oasien, la conduite ainsi que la gestion annuelle des opérations culturales de cette ressource génère une quantité appréciable de biomasse diverse : saccharifère (déchets de dattes), lignocellulosique (déchets de : palmes, pédicelle, Lif, kornaf, spathe) et oléagineuse (noyau) (Bousdira, 2010).

### 3. Estimation de la biomasse phoenicicole :

Tableau 3: Configuration de la palmeraie algérienne entre 1983 et 2003 ((BOUSDIRA, 2010) et (FELIACHI, 2005).

	1983	1999	2003	Taux d'accroissement en 20 ans
Superficie phoenicicole (ha)	71 000	100 120	128 800	44,8
Nombre de palmiers	7 639 000	11 670 330	14 605 030	47,5
Production (tonne)	181 339	427 580	492 217	63,1

La superficie phoenicicole, le nombre de palmiers et la production dattière ont connu une évolution importante après la mise en place d'un programme national de développement agricole (PNDA) à la fin des années quatre vingt dix. En effet, sur vingt ans, la configuration de la plantation a doublé en superficie et en nombre. Le même constat est fait pour la production qui a évolué de 63%, et particulièrement avec un parc de 70,8% de DEGLET NOUR. Depuis la mise en application de la loi pour l'Accession à la Propriété Foncière Agricole par la mise en valeur, en 1985 (APFA), le verger phoenicicole a connu une évolution significative, celle-ci se poursuit actuellement dans le cadre du PNDA (BOUSDIRA 2007).

Tableau 4: Données (poids, nombre) relatives à la production de datte, au nombre palmier et aux différentes ((DJEBRIT, 2012) et (CHEHMA, *et al.*, 2001) et (TIRICHINE, 2002) et (FELLACHI, 2005)).

	nombre	Unité
Nombre de palmier 2012	1 000000	Palmiers
Nombre de palmier 2004	1161700	Palmiers
Production dattes 2004	37100	Tonnes
Rebut: des dattes	25% * Production	
poids d'une palme	900	grammes
Nombre de palmes engendrées par an :	15	palmes
Poids de l' <i>Arjoun</i>	1,84% * poids dattes	

Le calcul des quantistes annuelles de sous produits générés par palmier et a l'échelle régionale (wilaya de Ghardaïa) comme le montre le tableau 3, montrent que les sous-produits du palmier dattier sont disponibles relativement en quantités appréciables. D'autant plus que ce calcul n'inclut pas tout les déchets de la fin de saison de collecte (spathe, spadice, tronc, noyau). De plus, les déchets en genres par certaines opérations culturales a savoir : le ciselage et la descente de régime, n'ont pas été pris en considération a cause de l'absence d'une évaluation indicative de ces sous-produits dont la quantité peut s'avérer très intéressante.

#### 4. Structure du palmier dattier :

Les principales parties constituantes le palmier dattier sont:

#### 4.1 Stipe :

Le tronc du palmier dattier, aussi appelé tige est vertical, cylindrique et colonnaire de la circonférence. Le périmètre n'augmente pas lorsque la canopée des feuilles a été pleinement développé. Il est de couleur brune, lignifiées et sans aucune ramification. Sa circonférence moyenne est d'environ 1 à 1,10 m. Le tronc est composé de fibres dures, les faisceaux vasculaires cimentés dans une matrice de tissu cellulaire, qui est beaucoup plus proche de la partie lignifiée extérieure du tronc. Étant une monocotylédone, le palmier dattier n'a pas de cambium. Sa hauteur peut atteindre 20 mètres, (ZAID, 1987).

#### 4.2 Dattes :

Ce sont des produits alimentaires de grande valeur énergétique et diététique. Elles apparaissent sur les sujets femelles et demandent des températures très élevées pour la maturation.

Selon la variété, les conditions environnementales et la prise en charge technique donnée (fertilisation, la pollinisation, l'éclaircissage, ...), les caractéristiques du fruit varient énormément.

La datt est une simple baie, de forme oblongue, avec un stigmate terminal, un péricarpe charnu et un endocarpe membraneux (entre la graine et la chair), (ZAID, 1987).

#### 4.3 Enveloppe de la spathe :

Le palmier dattier est une plante dioïque. Les organes de reproduction sont composés d'inflorescences mâles ou femelles portées par des palmiers différents. Les spathe ont une forme de grappes d'épis protégés par une bractée ligneuse close et fusiforme. Elles sont de couleur vert-jaunâtre et sont formées à partir de bourgeons développés à l'aisselle des palmes.

#### 4.4 Palme :

Les feuilles d'un palmier dattier ont une longueur comprise entre 3 à 6 m (4 m en moyenne) et ont une durée de vie normale de 3 à 7 ans. Il est nu des épines sur une courte distance, mais plein d'épines sur les deux côtés par la suite. Les zones intermédiaires sont la colonne vertébrale de type tracts, également appelés dépliant en forme de colonne vertébrale.

La structure de la feuille est la varié et dépend de l'environnement, elle est utilisée comme un index taxonomique pour faire la différence entre les variétés. Un palmier dattier adulte a environ 100 à 125 feuilles vertes avec une formation annuelle de 10 à 26 feuilles nouvelles (ZAID, 1987).

#### 4.5 Partie épineuse de la palme :

Les épines ont une longueur de 24 cm et une épaisseur de 1 cm. Elles sont différemment disposées sur les deux bords extérieurs des feuilles tandis que leur nombre varie de 10 à environ 60. Les épines peuvent être simples, en groupes de deux ou en groupes de trois, (ZAID, 1987).

#### 4.6 Pétiole :

Le pétiole ou *karnaf* est dur et relativement rigide (Peyron, 2000). Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir de bourgeon et perd un nombre similaire de palmes par dessèchement, (Munier, 1973 et PEYRON, 2000).

#### 4.7 Hanpe florale :

La hanpe florale ou régime est longue, courbée et de couleur orange avec une nuance verdâtre. Le régime est gros, oblique avec des épillets courts et de couleur orange, (Abdelmadjid, 2005).

#### 4.8 Lif:

Il est situé entre les pétioles et le tronc. Est recouvert d'une bourre fibreuse, (ABDELOUAHED, 2005).

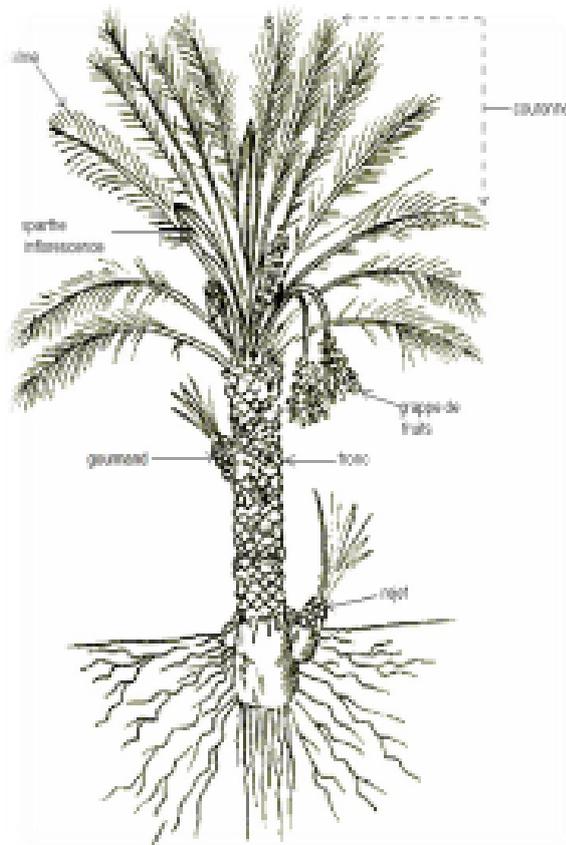
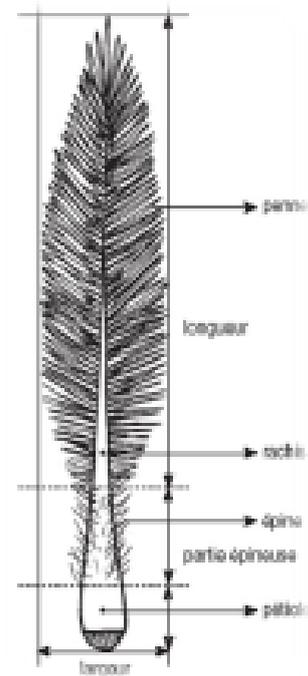


Figure 7: Structure des différentes parties de palmier dattier (BENMANSOUR, 2011) ▲

Figure 8: Structure des différentes parties de palme (IPGRI, 2005). ►



5. Opérations de conduite du palmier dattier :

Tableau 5: Calendrier végétatif et opérations culturales (BENKHALIFA, *et al.*, 2003).

Opérations	Ja n.	Fe v.	Ma r.	Av r.	Ma i	Ju i	Ju i l	Ou t	Se p	Oc t.	Nou v.	De c.
Pollinisation												
Ciselage / descente des régimes												
Grappillage / enlèvement des palmes												
Récolte(10 oct)/nettoyage												
Travail du sol sous palmier / amendement fumier												
Enlèvement des rejets / transplantation												

- Le calendrier végétatif dépend des conditions climatiques et des variétés considérés.
- L'irrigation est pendant toute l'année et les besoins en eau des cultures sont liés étroitement aux conditions climatiques notamment l'évapotranspiration mais aussi à la nature du sol, à la biologie de la plante et à sa place dans les strates des cultures du système cultural de la palmeraie. Il existe deux Méthodes d'irrigation par gravité ou par goutte à goutte (SEDRA, 2003).
- Le Nettoyage : cette opération se fait au moment de la récolte dan la plupart des cas.
- La pollinisation artificielle peut être réalisée selon une méthode traditionnelle ou de manière mécanisée. La période de floraison chez le palmier dattier dépend du cultivar. Elle est située pendant les mois de février, mars et avril.
- La limitation de régime : sert à obtenir une bonne qualité de datte et à éviter le saisonnement de l'arbre

## b. Composition chimique des sous produits phœnicicole :

Tableau 6: Composition chimique des sous-produit du palmier dattier : (BARREVELD, 1993) et (CHEHMA, *et al.*, 2001).

	% Ms	MO	MM	MAT	CB	NDF	ADF	CV	HCOSE	LIGN	CI
Palmes sèches	94,37- -30	84,74 -0,13	15,25 -3,13	3,90 -0,40	30,70 -0,30	89,44 -0,16	65,30 -0,74	32,83 -2,31	23,98- 2,81	20,45- 2,36	12,02 - 0,69
Pédicelles	90,99- 0,36	91,97 -0,01	08,03 -0,01	3,93 -0,35	36,55 -0,17	83,25 -0,26	53,88 -0,06	20,40 -2,67	29,06 - 0,63	19,68- 2,99	0,47 - 0,05
Rebut de dattes	90,40 -0,31	95,82 -0,06	04,18 -0,06	4,17 -0,11	09,59 -1,53	24,39 -0,05	12,94 -0,03	7,21 -0,16	11,45- 0,12	5,26- 1,60	0,45 - 0,08
Spath	22,5 à 24	-	-	6,5	37	-	-	-	-	19,4	-
Épillets	60-63	-	-	6,5-8	26	-	-	-	-	12	-
Fronde forte (pétiole)	60-66	-	-	8,5-10	55,6	-	-	-	-	33,5	-

D'une façon générale, on constate que les taux de MS pour les 6 sous-produits se rapprochent, et varient entre 90,40 % et 94,37 %, sauf le spath est entre 22,5% à 24%.

En ce qui concerne les valeurs de la MO, on remarque que les rebuts de dattes possèdent le plus grand taux avec 95,82 % de la MS suivi des pédicelles, et des palmes sèches, avec respectivement; 91,97 %, et 84,74 % de la MS. (CHEHMA, *et al.*, 2001). En général, les 6 sous-produits sont pauvres en MAT avec des valeurs allant de 3,9 à 10 % de la MS.

Pour ce qui est de la CB, on constate que les résultats obtenus présentent un taux très faible pour les rebuts de dattes avec 9,59 % de la MS, contre des taux relativement élevés pour les autres sous produits, et un taux très élevé pour le pétiole 55,6 % de la MS. Ce faible taux de CB des rebuts de dattes est dû au fait que ces derniers représentent un fruit beaucoup plus riche en sucre cytoplasmiques (CHEHMA, *et al.*, 2001).

Pour la composition de la paroi, on remarque que les palmes sèches présentent le plus grand taux de NDF, avec 89,44 % suivie des pédicelles avec 83,25 % et en dernier lieu les rebuts de dattes avec 24,39 %. Cela est dû à la consistance physique des 4 sous-produits, qui est fonction de la partie phénologique qu'occupe chacun de ces sous-produits (feuille, pédicelle, et fruit). De la même façon, et pour les mêmes raisons, la teneur des autres composantes de la paroi (ADF, hémicellulose,

cellulose et lignine) est variable, les palmes sèches et pistils présentent toujours les plus grand taux, tandis que les rebuts de dattes enregistrent les taux les plus faibles (BOUSDIRA, 2010).

## 7. Utilisations de la biomasse phoenicicole :

Outre sa production de dattes pour l'alimentation humaine, le palmier dattier, offre une large gamme de sous produits exploités par la population saharienne (ATELIER, 2002) à savoir :

### 7.1. Datte :

- Vinaigre, alcool et levures, par fermentation microbiologiques des dattes.
- En plus de leur utilisation dans l'alimentation, les dattes sont utilisées traditionnellement dans le domaine médical (BENCHELAH, 2008).
- La farine de dattes utilisées dans la panification.
- Jus de dattes, par extraction, utilisé comme sucrerie.
- Pain utilisée pour le badigeonnage -dattes molles-.
- Marmelades et comme Biscuits.

### 7.2. Stipe :

- Utilisé dans l'ébénisterie traditionnelle, bois de chauffage et charpentes de bâtiments.

### 7.3. Pétiole (*Karnaf*) :

- En poudre, il est utilisé pour le renforcement du contre – plaqué.
- Ils ont été utilisés par les pêcheurs de flotter leurs filets, et par le même principe a aidé les enfants à apprendre à nager (Barreveld W 1993).
- Les bases des feuilles aiguillées à l'extrémité la plus mince et marclé dans un pack proche ont été utilisées pour tapisser les parois des puits ouverts lorsque la brique ou de la pierre d'habitude ne sont pas disponibles.

- Lavage des vêtements et de la laine ainsi que le ponçage.

#### 7.4. Palmes sèches :

- Utilisées comme clôtures, brise-vents, dans la confection de couffins, de chapeau, etc., ils peuvent même servir en industrie de papier (KACHMOULA, 1982).
- Les fibres de la gaine des feuilles représentent la principale source de revenu provenant de ce palmier. Ces fibres sont utilisées dans la confection de balais qui sont vendus dans tout le pays. Pour cette raison (PEDERSEN, 1993 et Balslev, 1990 et EDERSEN, 1992).
- Les fibres étaient utilisées par les populations locales comme liens pour attacher le bétail (Pedersen, 1993).
- les brochures sont principalement utilisées dans les tresses qui sont cousus ensemble dans une vaste gamme de paniers et de sacs.
- Feuilles entières sont utilisées en escrime.
- Nervures médianes de la palme utilisées comme partitionnement ou de toiture et trempées dans l'eau.
- Après élimination des épines de palmes, elles peuvent être utilisés dans la fabrication des pièges à poissons et évidemment, des cure-dents ou d'autres utilisations (Barreveld, W. 1993).

#### 7.5. Régimes des dattes :

- Utilisé comme balais traditionnels, et comme combustibles.
- Confection de plats, de corde, de ballet et d'aliments de bétail.

#### 7.6. Lif

- Confection des semelles de sandales.
- Outre sa valeur énergétique, il est surtout utilisé pour la confection de câbles. La matière première présente l'aspect d'un tissu grossièrement tissé (BARREVELD, 1993).

**Partie II:**  
**Matériels et méthodes**

---

## Partie II : matériels et méthodes :

### 1. Présentation de la région d'étude et des échantillons :

Les échantillons étudiés sont les sous produits phoenicicoles (cf. table 7) de la campagne 2012. Ces échantillons ont été prélevés au niveau de l'oasis de Guerarra. Les deux cultivars ayant fait l'objet de cette étude sont les plus dominants dans la région de Guerarra.

Tableau 7 : Nomenclature des dérivés sous-produits (échantillons) en nom scientifique , en Arabe local (BEKKAYE, 2006)

Désignation	déchets en arabe local	Synonyme arabe local *	Désignation scientifique Français*
<i>Lif</i>	الليف	الليف	Fibrilium, Lif
<i>Djerid</i>	الجريد	السفة	Palme
<i>Kornaf</i>	الكرف	الكرب	Pétiole, Kornaf
<i>Arjoun</i>	المرجون	المرجون	Hampe florale
<i>Khaliab</i>	الخاب	الكفري	Enveloppe de la spathe
<i>Addaf</i>	الحداف	المنطقة الحاملة للشوك	Partie épineuse de la palme
<i>Saggar</i>	السقار	العق	Régime

### 2. Matériels et méthodes :

#### 2.1. Méthodes de préparation des échantillons (UNE-CEN-TS 14780) :

##### 2.1.1. Objet et champ d'application :

Cette technique décrit les méthodes de réduction des échantillons combinés à des échantillons de laboratoire, il s'agit d'une préparation pour les analyses générales. Cette méthode est valable pour tous les biocarburants solides.

### 2.1.2. Principe pour la réduction de l'échantillon:

Le but principal de la préparation de l'échantillon est de réduire à une ou plusieurs portions d'essai qui sont généralement plus petites que l'échantillon initial. Deux méthodes de base ont été utilisées lors de la préparation des échantillons. Ces méthodes sont les suivantes:

-Réduction de la masse de l'échantillon par la division;-Réduction de la taille des particules de l'échantillon.

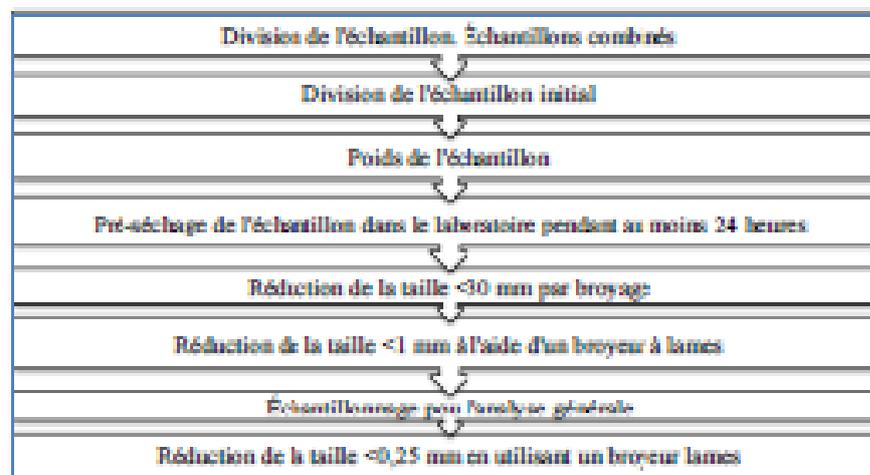


Figure 9: Procédure de réduction des échantillons

## 2.2. Détermination du pouvoir calorifique

### 2.2.1. Objet et champ d'application :

Il s'agit de l'énergie dégagée par la combustion du bois sans récupérer la chaleur latente de la vapeur d'eau produite par la combustion.

La présente Norme européenne spécifie une méthode pour déterminer la valeur calorifique d'un biocombustible solide à poids constant et une température de référence de 25 °C en utilisant une bombe calorimétrique étalonnée par combustion d'un certificat d'acide benzoïque. La pression est constante (30 bar).

### 2.2.2. Principe :

Après la pesée de l'échantillon, il est brûlé avec une pression élevée en oxygène dans une bombe calorimétrique dans des conditions spécifiées. La capacité thermique effective du calorimètre est déterminée dans des expériences d'étalonnage par la combustion de l'acide benzoïque certifié en vertu des conditions similaires à celles qui sont spécifiées dans le certificat.

L'eau est ajoutée initialement à la pompe pour fournir une phase vapeur avant la combustion. Le pouvoir calorifique est calculée à partir de l'augmentation de la température corrigée et la capacité calorifique effective du calorimètre.

### 2.2.3. Appareillage :

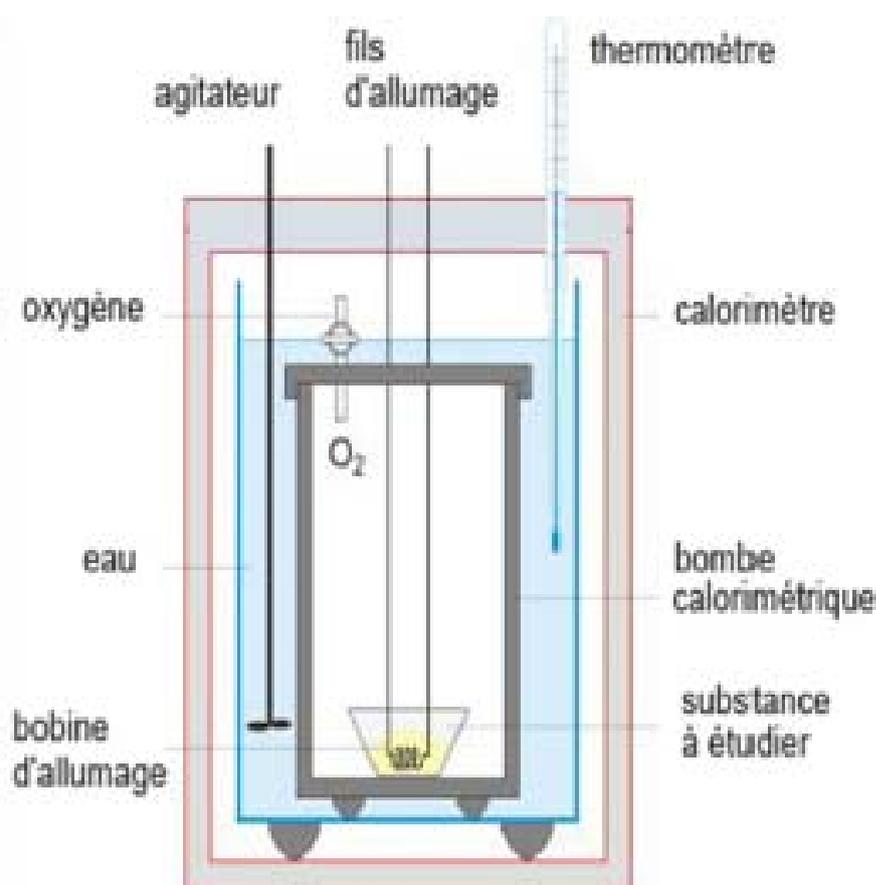


Figure 10: schéma présent les différentes constituants de pouvoirs calorifique ([https:// Espace-musculation.com](https://Espace-musculation.com)).

Système de combustion incluant :

- Bombe calorimétrique à oxygène de 300 ml.
- Manomètre et détendeur avec un adaptateur pour la bombe.
- Support pour la bombe.
- Boîte de mise à feu.
- Bain d'eau.
- Gaz : oxygène.
- Réservoir ovale d'une capacité de 2 litres.
- Thermocouple ou thermomètre pouvant lire des variations de températures de 0,02 °C.
- Balance analytique avec une sensibilité de 0,1 mg.

### 2.3. Détermination de la teneur en humidité -Méthode de Cuisson à la vapeur (UNE-EN 14774-1):

#### 2.3.1. Objectif et champ d'application :

Pour la détermination de la teneur totale en humidité d'un échantillon de biocombustibles solides par séchage dans un four et peut être utilisé en l'absence de haute précision.

La teneur en humidité totale de biocarburants n'est pas une valeur absolue et les conditions des déterminations doivent être normalisées pour permettre une comparaison.

#### 2.3.2. Principe :

L'échantillon est séché à une température biocarburant de  $(105 \pm 2)$  °C dans une atmosphère d'air jusqu'à ce qu'il atteigne un poids constant. Le pourcentage d'humidité est calculé à partir de la perte de masse de l'échantillon.

### 2.3.3. Calcul :

La teneur totale en humidité, à l'état humide doit être calculée selon l'équation :

$$M_{\text{air}} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_3) + m_4} \times 100 \dots\dots(1)$$

Où

$m_1$  : la masse en grammes du récipient de séchage sous vide;

$m_2$  : la masse en grammes de la cuve de séchage et l'échantillon avant le séchage;

$m_3$  : la masse en grammes de la cuve de séchage et l'échantillon après séchage;

$m_4$  : la masse en grammes de l'humidité de l'emballage. Le résultat doit être calculé à deux décimales et arrondi à 0,1% pour le rapport.

## 2.4. Méthode de détermination la teneur en cendre

### 2.4.1. Objectif de champ d'application :

La présente Norme européenne spécifie une méthode pour déterminer la teneur en cendres de tous les biocombustibles solides (CEN/TS14588).

### 2.4.2. Définition :

La teneur en cendres: désigne la masse du résidu minéral après la combustion d'un combustible dans des conditions spécifiées, elle est exprimée en pourcentage de matière sèche dans le carburant.

### 2.4.3. Principe :

La teneur en cendres est déterminée par le calcul de la masse du résidu restant après que l'échantillon soit chauffé à l'air dans des conditions contrôlées de façon rigide (temps), par rapport au poids de l'échantillon et à une température contrôlée de  $(550 \pm 10)^\circ \text{C}$ .

### 2.4.4. Calcul:

La teneur en cendres par rapport à la matière sèche,  $A_s$ , de l'échantillon, exprimée en pourcentage de la masse en conditions sèches doivent être calculées en utilisant la formule suivante:

$$A_d = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \dots (2)$$

Où :

$m_1$  : Masse en grammes du creuset e vide;

$m_2$  : Masse en grammes de la capsule et l'échantillon;

$m_3$  : Masse en grammes de la capsule et de cendres;

$M_{ad}$  : Teneur en humidité de l'échantillon.

Le résultat doit être enregistré comme étant la moyenne des déterminations en double avec une précision de 0,1%.

**Partie III :**  
**Résultats et discussions**

### Partie III : Résultats et discussions

#### 1. Teneur en cendre des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra.

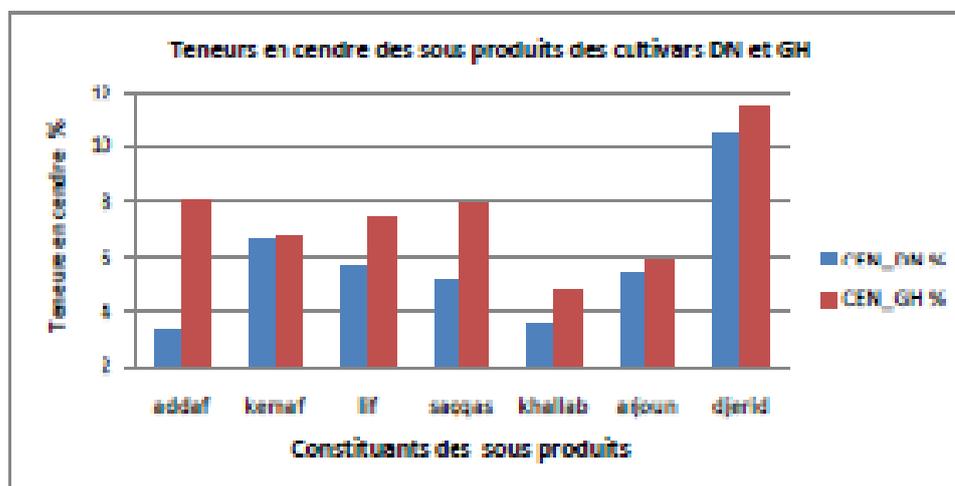


Figure 11: Teneur en cendre des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra

Une observation générale des teneurs en cendres des sous-produits (déchets) de deux cultivars de palmier dattier de l'oasis de Guerarra, illustré par la (figure 11) montre une variation significative de ce paramètre entre les différents déchets et les différentes variétés :

- Le taux des cendres des sous produits du cultivar DN varie entre 3.33% (de Addaf) et 10.43% (cas de Djérid), il est estimé en moyenne à 5.68 %.
- Pour le cas du cultivar GH, CEN varie entre 4.71 % (cas de khallab) et 11.39 % (cas de Djérid). Il est estimé en moyenne à 7.44 % du poids total de la biomasse phoenicicole (cas du lf).
- Le taux des cendres de l'ensemble des sous-produits du cultivar GH est supérieur à celui du cultivar DN à titre d'exemple :  $Cend\_Saqqas/GH = 7.89\%$  alors que  $Cend\_Saqqas/DN = 5.02\%$ .
- La moyenne de la teneur en cendre pour l'ensemble des sous produits étudiés est estimée à 6,56% MS.

Ce paramètre est très variable et dépend de plusieurs facteurs dont les conditions de croissance de la plante, la localisation géographique, le rayonnement, la composition de l'eau d'irrigation, la fertilisation, la qualité du sol, la variété de la plante (VASSI EV, *et al.*, 2010)

La teneur importante du taux de cendre dans la partie Djerid est expliquée par le fait qu'il constitue le foyer principal du métabolisme de photosynthèse de l'arbre (HUON, 2008).

La faible teneur en cendre de la partie khallab est expliquée par le fait que qu'il constitue un organe de protection de la hampe floral se présentant sous forme de d'une bractée de structure ligneuse (SEDRA, 2003).

Ce paramètre constitue un critère énergétique important notamment pour la combustion. En effet, les cendres sont formés de deux constituants à effets négatifs pour cette conversion : les cendres foyers (formant les mâchefers) et les cendres volantes (à l'origine des fumés acides ) (CALRS, 2013)

Néanmoins, à des proportions bien déterminées, quelques éléments minéraux peuvent catalyser la combustion. C'est notamment le cas de :

- $K^+$  ou  $Ca^{2+}$  favoriserait les ouvertures de cycles et la formation de composés carbonyles légers. (étape de la pyrolyse du processus de combustion) (YANG, 2006).
- chlorures d'alcalino-terreux (exemple de  $MgCl_2$  ) avec la vapeur d'eau conduisant à la formation d' $HCl$  pour dégradation thermique de la cellulose:



La production d' $HCl$  favorise la dégradation par catalyse acide de la biomasse et la catalyse de la voie déshydratation préalable à la dégradation thermique entraînant une réticulation des chaînes de la cellulose.

La teneur moyenne en cendre de l'ensemble de la biomasse étudiée (~ 6,5% MS) en comparaison avec les biomasses utilisées comme biocombustibles se situe au-dessus de celle du Bois (3,5%), et de la biomasse agricole (5,7%). La tendance est largement inverse en comparaison avec la biomasse animale (30,9%), les micro algues (23,6%) et le charbon (20,9%). Ce paramètre est tout à fait comparable au mélange de résidus agricoles et forestiers(7,7%) (Tourteaux d'olive, pailles de blé et de maïs, marc de raisin) et au copeau de pin (6%).

La teneur relativement importante de ce paramètre peut être corrigée par des traitements préalables de la biomasse ainsi qu'une série d'autres mesures pouvant atténuer les problèmes liés aux composés inorganiques (KHELFA, 2010 ; STANISLAV, 2009) :

- Diminution de la température de combustion
- Refroidissement à l'eau au niveau du secteur de combustion.
- Ajout d'un additif tel que la chaux vive (1 à 2 %) lors du stockage pour augmenter le point de fusion des cendres.
- Utilisation des combustibles comportant le moins de silice possible.
- Agitation régulière des cendres.

## 2. Teneur en humidité des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra :

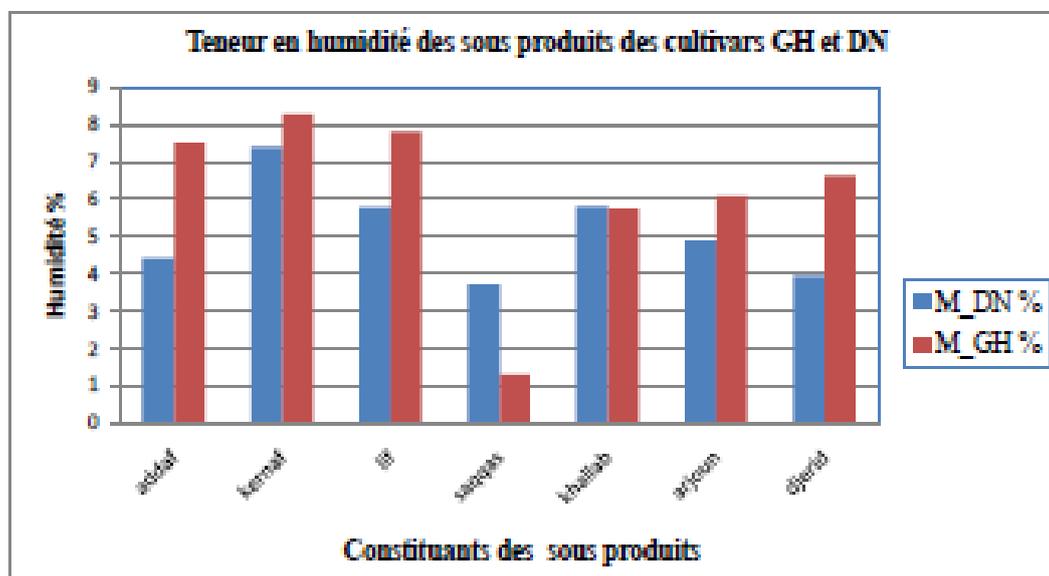


Figure 12: Teneur en humidité des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra

Une observation générale de la teneur en humidité des principaux déchets des cultivars DN et GH de l'oasis de Guerarra, illustrée par (la figure 12) montre une variation pas très significative de ce paramètre entre les différents déchets et les différentes variétés :

- Le taux d'humidité des sous produits du cultivar DN varie entre 3.71 % (cas de Saqqas) et 7.40 % (cas de Kernaf) . la valeur moyenne est estimée à 5.14 % (cas de Arjoum).
- Pour le cas du cultivar GH, l'humidité varie entre 1.30 % (cas de Saqqas ) et 8.26% (cas de Kernaf) . Elle est estimée en moyenne 6.13 % (cas du Arjoum).
- Le taux moyen d'humidité de la variété de GH (6.13 %) est supérieur à celui du cultivar DN (5.14 %).
- L'humidité de la plupart des sous-produits du cultivar de GH est supérieure à celle de DN sauf pour Saqqas\_GH (1.30 %), elle est inférieure à celle de DN (3.71 %). En plus l'humidité de Khalab des deux variétés sont presque équivalentes.

Les observations précédentes montrent que Saqqas représente le sous-produit le moins humide ceci peut être expliqué par sa teneur importante en cellulose (36,55%) en comparaison avec celle du kernaf (30,7%) (CHEHMA, *et al.*, 2008), ce qui lui confère un aspect rigide contrairement à ce dernier qui a aspect très « poreux ».

En considérant la biomasse phoenicicole étudiée dans son ensemble (sous-produits), le critère teneur en humidité s'avère très intéressant (~5%) et présente de nombreux avantages pour le stockage et une conversion thermique (combustion, pyrolyse ou gazéification) sans traitement préalable (grâce au séchage naturel de la biomasse). En effet une teneur élevée en humidité ralentirait ces processus thermiques et dégraderait leur qualité (KHELFA, 2008).

Ce paramètre connaît une autre tendance pour les biomasses utilisées comme biocombustibles : Bois (19,3%), la biomasse agricole (12,7%), a biomasse animale (30,9%), les micros algues (10,7%), mélange de résidus agricoles et forestiers (17,3%).Ce qui place les sous-produits phoenicicole comme candidat privilégié en considérant ce critère seule pour une valorisation énergétique thermique.

## 3. Le pouvoir calorifique des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra :

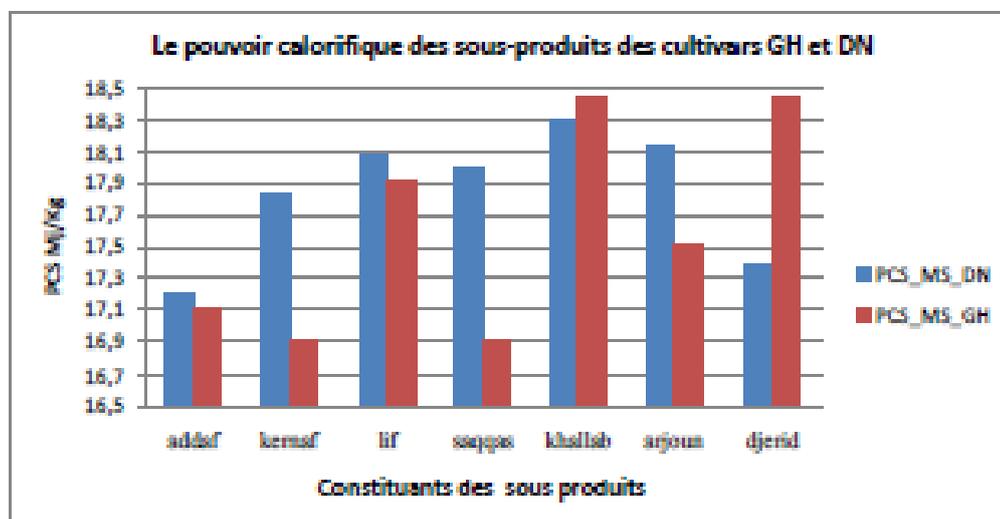


Figure 13: Pouvoir calorifique des sous-produits des cultivars GH et DN de l'oasis de Guerarra

Une observation générale du pouvoir calorifique des principaux déchets des cultivars DN et GH de l'oasis de Guerarra, illustrée par (la figure 13), montre une variation pas très significative de ce paramètre entre les différents déchets :

- Le pouvoir calorifique des sous-produits du cultivar DN varie entre 17,2 MJ/Kg (cas de Addaf) et 18,3 MJ/Kg (cas de Khallab). La valeur moyenne est estimée à 17,8 MJ/Kg (cas du Kernaf).
- Pour le cas du cultivar GH, PCS varie entre 16,9 MJ/Kg (cas de kernaf) et 18,4 MJ/Kg (cas de Djerid). Il est estimé en moyenne à 17,6 MJ/Kg (cas Arjoun).
- PCS des sous-produits du cultivar DN sont plus élevés rapport à ceux des sous-produits de GH, à l'exception du khallab et djerid qui connaissent une tendance inverse.

L'explication de la variabilité de ce paramètre exige l'analyse de deux critères importants de la composition de la biomasse à savoir : la teneur en cendre et en humidité. Les figures 14 et 15 montrent une comparaison entre ces deux paramètres et le pouvoir calorifique supérieur pour chaque cultivar. Une analyse de ces figures montre que :

- La corrélation inverse entre le pouvoir calorifique et les teneurs en humidité et en cendre notamment pour les cas khallab (DN et GH) et karnaf (GH).

$$PCI = 18400 (1 - (\text{min}) / 1 + (\text{H}_2\text{O})) - 2500 ((\text{H}_2\text{O}) / 1 + (\text{H}_2\text{O}))$$

PCI : Pouvoir calorifique inférieur.

(Min) : Teneur en matières minérales (kg/kg M.S).

(H<sub>2</sub>O) : Humidité (kg H<sub>2</sub>O/Kg M.S).

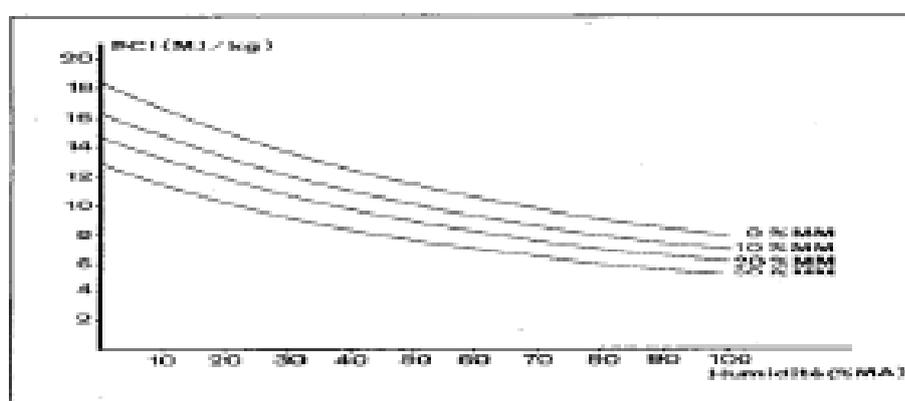


Figure 14: Évolution du PCI des matières lignocellulosiques en fonction de la teneur en humidité et en matières minérale (NAVEZ, 2002).

- L'effet de l'humidité est moins important par rapport à celui de la teneur en cendre sur le pouvoir calorifique. Le cas de djerid (DN) et saqqas (GH) confirment cette conclusion. Ceci s'explique par le fait que les cendres ont un impact significatif sur l'étape pyrolyse de la combustion (phase clé de ce processus) car ses produits représentent les substrats de l'oxydation (étape finale de la combustion).
- Des exceptions peuvent se présenter pour la corrélation entre PCS et teneurs en humidité et cendre. C'est précisément le cas de l'addaf (DN) où les cendres (cas des cendres mâcheferes) semblent avoir un effet inhibiteur sur le PCS alors que pour le cas de Djerid (GH), elles ont un effet inverse (catalytique).

La teneur moyenne en PCS/MS de l'ensemble de la biomasse étudiée (~ 17.7% MS) en comparaison avec les biomasses utilisées comme biocombustibles se situe au-dessus de :

Tableau 8: Pouvoir calorifique supérieur sur sec (MkJ/kg) de diverses essences (AKKOUCHE, 2009).

Les feuillus		Les résineux	
Chêne (duramen)	18,463	Sapin pectiné	18,990
Chêne (aubier)	19,169	Épicéa	19,193
Hêtre	18,802	Douglas (duramen)	19,163
Charme	18,733	Douglas (aubier)	19,370
Frêne	18,521	Pin maritime	19,163
Peuplier	18,392	Pin sylvestre	20,946
Noyer	18,572	Mélèze	19,688
Acacia	19,013	Cèdre (duramen)	20,984
Eucalyptus	17,773	Cèdre (aubier)	19,822

## 4. Comparaison entre PCS\_CEN\_M pour le cultivar DEGLET NOUR, l'oasis de Guerara

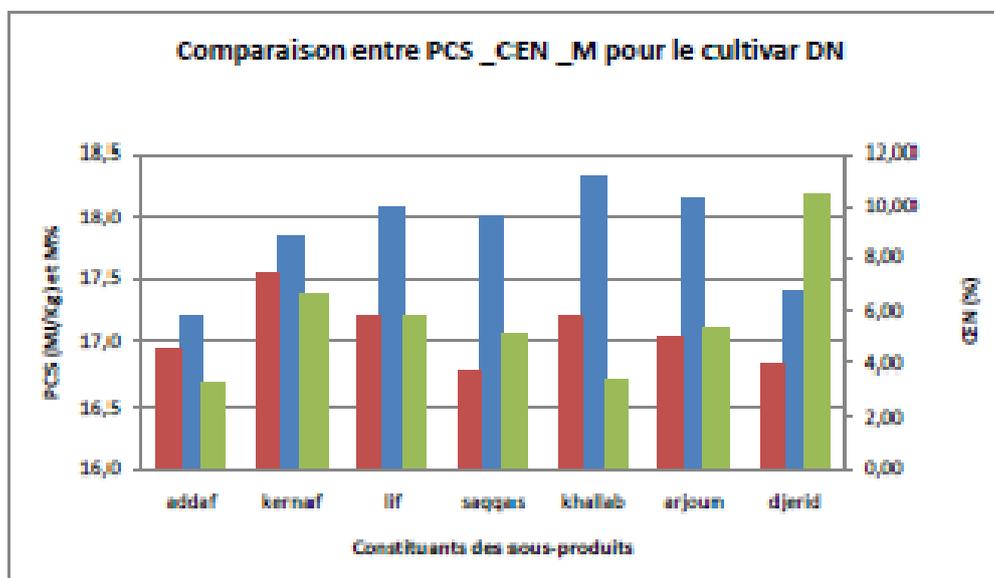


Figure 15: Comparaison entre PCS\_CEN\_M pour le cultivar DEGLET NOUR, l'oasis de Guerara

Tableau 9 : Corrélation du PCS, Cendre et humidité pour les sous produits du cultivar DN.

Sous-produit DN	PCS	Cendre	Humidité
Addaf	↘↘	↘↘ inhibitrice	↘
Djerid	↘↘	↘↘	↘
khallab	↘↘	↘↘	↘

## 5. Comparaison entre PCS\_CEN\_M pour le cultivar Ghars de l'oasis de guerarra.

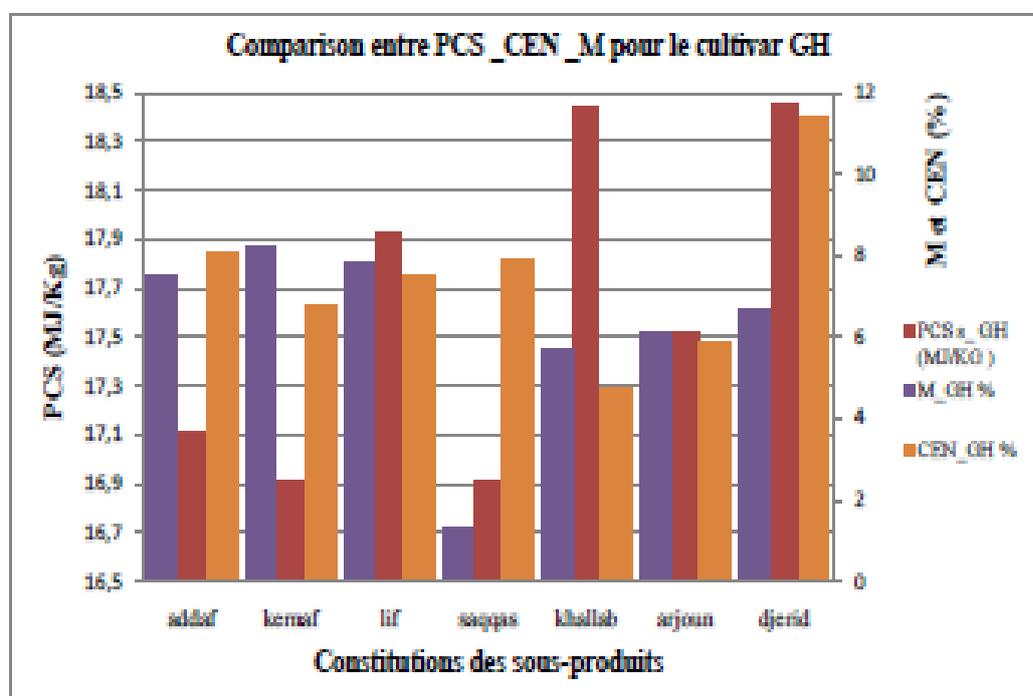


Figure 16: Comparaison entre PCS\_CEN\_M pour le cultivar Ghars de l'oasis de guerarra.

Tableau 10 : Corrélation du PCS, Cendre et humidité pour les sous produits du cultivar GH.

Sous-produit GH	PCS	Cendre	Humidité
Djerid	↗↗	↗↗ catalytique	↘
Khallab	↗↗	↘↘	↘
Saqqas	↘↘	↗	↘↘
Kernaf	↘↘	↗	↗↗

## **Conclusion Générale**

## Conclusion

La biomasse phoenicicole est le pivot de l'écosystème oasien, l'évaluation de ses caractéristiques énergétiques ont fait l'objet de cette modeste étude, qui nous a conduit aux conclusions suivantes :

- La biomasse étudiée est constituée des sept principaux sous-produits du palmier dattiers (*Phoenix dactylifera L.*) : *Djerid, Addaf, kernaq, Saqqaz, Arjoun, Khallab et Lij*. Elle est naturellement sèche grâce à la régénération naturelle de la biomasse sur l'arbre, et renferme de très faibles teneurs en humidité (<5%). Ce critère est très avantageux pour le stockage et la thermo conversion de la biomasse. La teneur en cendre des sous produits phoenicicoles étudié est relativement élevée (> 4.7%) comparativement aux biocombustibles conventionnels. Elle est très variable selon la partie considérée. Ce paramètre influe de manière significative notamment sur les procédés thermochimiques. Il a un effet important sur la capacité énergétique de la biomasse de manière générale car il peut catalyser ou inhiber les mécanismes réactionnels des conversions thermochimiques. Enfin, le pouvoir calorifique supérieur de la biomasse étudiée (~ 17 Mj/kg) est comparable à celui des biocombustibles connus. Ce paramètre varie en fonction de la composition élémentaire et biochimique de chaque constituant.
- La détermination des trois paramètres humidité, cendre et pouvoir calorifique est une démarche nécessaire pour l'étude de la qualité énergétique d'une biomasse donnée. Néanmoins, ces caractéristiques ne sont pas suffisantes pour une prédiction précise du comportement énergétique de la biomasse. En effet, il existe d'autres critères complémentaires inclut dans des référentiels qui renseignent sur la composition organique (élémentaires et biochimiques) et inorganique de la biomasse. Cette étude pourrait se parfaire par la détermination de quelques uns de ces critères afin de mieux interpréter certaines corrélations (pouvoir calorifique avec les cendres).

**Références**

**Bibliographiques**

## Références bibliographiques

**ANTAL M., 1985-** Biomass Pyrolysis, a Review of the Literature, Lignocellulose Pyrolysis, In Advances in Solar Energy, Plenum Press, New York.

**BEKKAYE S., 2006-** Lexique phoenicicole en arabe et en mozabite, CWANA, HCA et RAB98/G31.p14-16, 24-25, 31. س, بكاي 2006 الميزابية و بالعربية النخلة ألفاظ.

**BERREVELD W.H., 1993-** Date palm products, FAO agricultural services bulletin N 101.

**BLAZEK J., Buryan P., 2001-** Study of the thermal degradation of lignin in the inert atmosphere, Entropie.

**BLEAM, R. D.. HARKIN, J. M., 1975-** Lignins of hardwoods growing on Southern Pine sites. *Wood Science* 8(2): 122-130

**BLIN J., 2005** LA Biomasse: Ressource Energétique Formation et Sensibilisation à la Biomasse Énergie, centre de recherche (CIRAD) Ouagadougou.

**BOUSDIRA K., 2007-** Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleure gestion et une valorisation de la biomasse : caractérisation morphologique et biochimique des dattes des cultivars les plus connus de la région du Mzab, classification et évaluation de la qualité. Mémoire de Magistère. Université M'Hamed Bouguerra Boumerdès.

**BOUSDIRA K., 2010-** potentiel énergétique de la biomasse phoenicicole en Algérie -évaluations et recommandations, article 47133, Ghardaïa.

**CENTRES AGRIA LORRAINE DE LA RECHERCHE,., 2013-** Impact de la combustion de biomasse agricole, Article.

**CHEHMA A., LONGO H-F., 1995-** Valorisation des sous produits du palmier dattier, en vue de leur utilisation en alimentation du bétail. Revue du centre de développement des Energies Renouvelables – 1<sup>er</sup> Séminaire National spécialisé en Biomasse 20 – 21 Juin 2001.

**DAMIEN A., 2008-** Biomasse énergie (La), livre scientifique, Edition Dunod.

**DAVIN L.B., LEWIS N.G., 2005-** Lignin primary structures and dirigent sites, Current Opinion in Biotechnology.

**GHYSEL F., GODIN B., FLAMIN C., DELFOSSE P., DELCARTE J., STILMANT D., 2010-** Valorisation énergétique de la biomasse Comparaison de trois filières, enjeux et opportunités, sans le séminaire de Production de plantes énergétiques de seconde génération -Saint-Vith, Centre wallon de Recherches agronomiques ENERBIOM.

**GODBOUT C. A., 2010-** caractérisation des effluents gazeux, Québec: IRDA.

**GOSSELINK R.J.A., DEJONG E., GURAN B., ABÄCHERLI A., 2004-** Co-ordination network for lignin strandardization, production and applications adapted to market requirements (EUROLIGNIN), Industrial Crops and Products.

**GOYAL H.B., SEAL D., SAXENA R.C., 2008-** Bio-fuels from thermo-chemical conversion of renewable resources: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews.

**Groupement National pour la Formation Automobile, ANFA 2009-** La filière bioéthanol, Édité avec le concours de l'Éducation Nationale. **HUON C., 2008.-** principe de la combustion du bois. Le bois-énergie dans les agglomérations.

**Institut national de la recherche et sécurité (INRS) 2011-** Fibres de cellulose, fiche toxicologique, FT 282.

**KENDRY Mc., 2002-** Energy production from biomass (Part I): overview of biomass, Bioresource Technology.

**KHELFA A., 2008-** Etude des étapes primaires de la dégradation thermique de la biomasse lignocellulosique. thèse, université Paul Verlainemetz, Laboratoire de Chimie et de méthodologies pour l'environnement (ex. LCA)-EA 4164, Université Paul Verlainemetz.

**KOTILANEN R., 2000-** Chemical changes in wood during heating at 150-260°C, Department of Chemistry, Finland, University of Jyväskylä.

**PAVLATH A.E., GREGORSKI K.S., 1985-** Thermoanalytical studies of carbohydrate pyrolysis-Fundamentals of thermo chemical Biomass Conversion, R.P. Overend, T.A. Milne and L.K. Mudge. London, Elsevier Applied Science.

**ROSILLO-CALLE F., GROOT P., SARAH L., WOODS H., and WOODS J., 2007-** The Biomass Assessment Handbook (Bioenergy for a Sustainable Environment), Earthscan in the UK and USA.

**SATGE C., 2002-** Étude de nouvelles stratégies de valorisation de mono et polysaccharides. Université de Limoges.

**SEDRA, 2003-** Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc.

**SHAFIZADEH F., BRADBURY A.G.W., 1979-** Thermal degradation of cellulose in Air and Nitrogen at low temperature, Journal of Applied Polymer Science.

**SUHAS P.J.M., CARROTT RIBEIRO CARROTT M.M.L., 2007-** Lignin—from natural adsorbent to activated carbon: A review, Bioresource Technology.

**VAN DER HAGE E.R.E., MULDER M.M., 1993-** Structural characterization of lignin polymers by temperature resolved in source pyrolysis mass spectrometry and curie point pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.

**WERTZ J.L., 2010-** Lignine, Document ValBiom – Gembloux AgroBioTech.

**WOOTEN J.B., SEEMAN J.I., HAJALIGOL M.R., 2004-** Observation and characterization of cellulose pyrolysis intermediates by <sup>13</sup>C CPMAS NMR. A new mechanistic model, Energy and Fuels.

**ZAÏD A., 2002-** Date palm cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 Rev.

**Wabographie:**

**[https:// library.thinkquest.org/20331/types/biomass/advant.html](https://library.thinkquest.org/20331/types/biomass/advant.html).**

**[https:// www. energierenouvelable.fr](https://www.energiesrenouvelable.fr).**

**[https:// www.leguiteduchauffage.com/biomasse.html](https://www.leguiteduchauffage.com/biomasse.html).**

## Résumé

L'objectif de cette étude est l'évaluation des caractéristiques énergétique de la biomasse phoenicicole, en vue de la valorisation des sous-produits du palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*).

L'étude expérimentale a aboutit sur la détermination des teneurs en humidité et en cendre ainsi que le pouvoir calorifique des principaux déchets phoenicicoles disponibles et non totalement valorisés (*kernaf, addaf, saqas, khallab, arjoun, li et djerid*). Une analyse des corrélations entre ces différents paramètres a également été établit.

Les résultats de notre étude a montré que le pouvoir calorifique de la biomasse phoenicicole est estimé en moyenne à 17.56 MJ/kg, la teneur en humidité est inférieure à 5% enfin la teneur en cendre très variable est comprise entre 4,7 et 11 %.

Une synthèse de ces résultats a révélé une relation inverse entre le pouvoir calorifique et les teneurs en cendre et en humidité, ainsi que l'impact significatif de la teneur en cendre sur la valeur énergétique de la biomasse comparativement à la teneur en humidité

### Mots clés:

Biomasse phoenicicole, caractéristiques énergétique, pouvoir calorifique supérieur, cendre, humidité.

### ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الخصائص الطاقوية للكتلة الحيوية لنخيل التمور في واحة القرارة, وذلك بالدراسة البقايا الرئيسية لهذا النوع من النخيل. بحيث أدت الدراسة التجريبية إلى تحديد النسب المئوية من الرطوبة والرماد وكذلك القدرة الطاقوية لكل من البقايا الرئيسية لنخيل التمور المتوفرة و غير المستغلة (الليف, الكرناف, الخلاب, العرجون, السقاس, العداف, الجريد) إضافة إلى تحليل العلاقة بين مختلف هذه الخصائص الطاقوية. ومن النتائج المستخلصة من هذه الدراسة أن القدرة الطاقوية لكتلة الحيوية لنخيل التمور تقدر بمعدل 17.56 ميغا جول/ كيلو غرام, وكذا النسبة المئوية من الرطوبة فقدرت بأقل من 5%, أما النسبة المئوية من المواد المعدنية فهي جد متغيرة بحيث تشمل المجال من 4,7% إلى 11% إجمالاً, كشفت الدراسة عن علاقة عكسية بين القدرة الطاقوية من جهة و النسب المئوية من الرطوبة والرماد من جهة أخرى, وكذا التأثير السلبي الكبير للرماد على القدرة الطاقوية مقارنة بتأثير الرطوبة على الأخيرة.

### الكلمات الدالة:

الكتلة الحيوية, الخصائص الطاقوية, القدرة الطاقوية, الرماد, الرطوبة