

REPULIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIREUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



Faculté des sciences  
Département de chimie

Spécialité : Chimie de  
l'environnement

Mémoire de Master

Thème

**Caractérisation de biochars dérivés de bois et de  
produits de taille pour substrats horticoles**

Présenté par :

M<sup>lle</sup> : Hadjem Lydia

Soutenu publiquement le 30/06/2024, devant le jury composé de :

M.KADOUCHE Slimane	MCA	Président	UMMTO
M.GRABI Hocine	MCB	Examineur	USTHB
M <sup>me</sup> LOUNI Dalila	MAA	Promotrice	UMMTO
M <sup>me</sup> MOUAS BOURBIA Sophia	Professeur	Co-promotrice	UMMTO
M.DAHMANI M <sup>ed</sup> Saïd	Invité	Docteur	UMMTO

Année universitaire : 2023/2024

# *Remerciements*

*Je souhaite avant tout remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage d'affronter toutes les rencontres lors de mes années d'études, ainsi que la volonté pour achever ce modeste travail.*

*Je désire exprimer ma profonde gratitude accompagnée de l'expression de mon profond respect pour M<sup>me</sup> **LOUNID** ma promotrice qui est à l'origine de cette thématique intéressante, aussi pour sa confiance accordée durant la réalisation de ce mémoire, je lui suis reconnaissante également pour ses conseils, son suivi, sa disponibilité, ses multiples corrections et critiques qui ont permis à ce travail de prendre forme.*

*Je remercie également les membres de jury M. **KADOUCHE.S** et M. **GRABI.H** de m'avoir honoré par leur présence et d'avoir accepté de présider et d'examiner mon travail.*

*Je remercie aussi M<sup>me</sup> **BOURBIA.S** ma co-promotrice M.**DAHMANI.M<sup>ed</sup>.S** et toutes les personnes qui m'ont apportée de l'aide de près ou de loin*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

A la mémoire de mon père, J'aurais espéré qu'à la fin de mes études tu te trouverais  
parmi nous, mais le destin en a décidé autrement

A ma mère, quoique que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier pour  
tout ce que tu as fait pour moi

A ma sœur Amel et mon beaux frère Brahim

A toute personne chère à moi

A toutes mes amies

*Lydia*

## Liste des figures :

Figure	Page
<b>Figure 01 : Vue macroscopique d'une tige d'arbre</b>	<b>04</b>
<b>Figure 02 : Les trois directions principales du bois</b>	<b>05</b>
<b>Figure 03 : Structure anatomique d'un résineux</b>	<b>06</b>
<b>Figure 04 : Structure anatomique d'un feuillus</b>	<b>06</b>
<b>Figure 05 : Composition de la paroi cellulaire</b>	<b>07</b>
<b>Figure 06 : Formule chimique de la cellulose</b>	<b>08</b>
<b>Figure 07 : Représentation des liaisons hydrogènes entre les molécules de cellulose</b>	<b>09</b>
<b>Figure 08 : Structure amorphe et cristalline de la cellulose</b>	<b>09</b>
<b>Figure 09 : Différents monosaccharides constituant les hémicelluloses du bois</b>	<b>10</b>
<b>Figure 10 : Principaux monomères de la lignine</b>	<b>11</b>
<b>Figure 11 : Biochar ( Terra Fertilis)</b>	<b>13</b>
<b>Figure 12 : Structure poreuse du biochar</b>	<b>14</b>
<b>Figure 13 : Production du biochar par le procédé de pyrolyse</b>	<b>16</b>
<b>Figure 14 : Mimosa Cassier (Acacia)</b>	<b>20</b>
<b>Figure 15 : Le roseau</b>	<b>21</b>
<b>Figure 16 : Le palmier-dattier</b>	<b>22</b>
<b>Figure 17 : Casuarina arbre en Algérie</b>	<b>23</b>
<b>Figure 18 : Différentes étapes de préparation des échantillons</b>	<b>24</b>
<b>Figure 19 : Emplacement des creusets dans l'étuve à 105°C</b>	<b>25</b>
<b>Figure 20 : Emplacement des creusets dans un four à moufle</b>	<b>26</b>
<b>Figure 21 : Préparation des différents réactifs utilisés</b>	<b>27</b>
<b>Figure 22 : Différentes étapes de l'extraction des composés phénoliques</b>	<b>28</b>
<b>Figure 23 : Les étapes de dosage des polyphénols</b>	<b>29</b>
<b>Figure 24 : Les différentes étapes de mesure du pH</b>	<b>31</b>
<b>Figure 25 : Mesure de la conductivité électrique</b>	<b>33</b>
<b>Figure 26 : Fabrication du biochar dans un four à moufle</b>	<b>34</b>
<b>Figure 27 : Mesure du pH des biochars</b>	<b>35</b>
<b>Figure 28 : Spectromètre Proche Infrarouge; Spectromètre IRAffinity –1S</b>	<b>36</b>
<b>Figure 29 : Histogramme de taux d'humidité des végétaux</b>	<b>37</b>
<b>Figure 30 : Histogramme de taux de cendres des végétaux</b>	<b>38</b>
<b>Figure 31 : courbe d'étalonnage d'acide gallique à 0,5 g/l</b>	<b>39</b>
<b>Figure 32 : Histogramme de taux de polyphénols totaux</b>	<b>39</b>
<b>Figure 33 : Histogramme taux de cendres des biochars</b>	<b>42</b>
<b>Figure 34 : Spectre IR Acacia frais</b>	<b>43</b>
<b>Figure 35 : Spectre IR Acacia biochar</b>	<b>44</b>
<b>Figure 36 : Spectre IR Roseau frais</b>	<b>44</b>
<b>Figure 37 : Spectre IR Roseau biochar</b>	<b>44</b>
<b>Figure 38 : Spectre IR Palmier frais</b>	<b>45</b>

<b>Figure 39 : Spectre IR Palmier biochar</b>	<b>45</b>
<b>Figure 40 : Spectre IR Casuarina frais</b>	<b>46</b>
<b>Figure 41 : Spectre IR Casuarina biochar</b>	<b>46</b>
<b>Figure 42 : Spectre IR biochar du bois dur</b>	<b>47</b>
<b>Figure 43 : Spectre IR biochar (olivier + roseau)</b>	<b>47</b>

### Liste des tableaux :

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	<b>Composition chimique des résineux et feuillus de la zone tempérée</b>	<b>08</b>
<b>02</b>	<b>Conditions opératoires selon les différents types de pyrolyse</b>	<b>17</b>
<b>03</b>	<b>Résultats des absorbances obtenus à partir des solutions filles d'acide gallique</b>	<b>39</b>
<b>04</b>	<b>les résultats de la mesure du pH</b>	<b>40</b>
<b>05</b>	<b>Les résultats d'identification des composés phénoliques</b>	<b>41</b>
<b>06</b>	<b>Les résultats de la mesure de la conductivité électrique</b>	<b>41</b>
<b>07</b>	<b>Les résultats de mesure de pH</b>	<b>42</b>
<b>08</b>	<b>Différentes bandes caractéristiques des constituants des fibres de bois</b>	<b>49</b>
<b>09</b>	<b>Les bandes d'adsorptions enregistrées des différents biochars analysés par SPIR</b>	<b>49</b>

## Liste des abréviations :

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
<b>µm</b>	<b>Micro mètre</b>
<b>ml</b>	<b>Millilitre</b>
<b>°C</b>	<b>Degrés Celsius</b>
<b>TH(%)</b>	<b>Taux d'humidité</b>
<b>W(%)</b>	<b>Taux de cendre</b>
<b>TP(%)</b>	<b>Taux de polyphénols</b>
<b>h</b>	<b>Heure</b>
<b>g</b>	<b>Gramme</b>
<b>T</b>	<b>Température</b>
<b>m</b>	<b>Masse</b>
<b>V</b>	<b>Volume</b>
<b>C</b>	<b>Concentration</b>
<b>L</b>	<b>Litre</b>
<b>λ</b>	<b>Longueur d'onde</b>
<b>m</b>	<b>Minutes</b>
<b>nm</b>	<b>Nanomètre</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Dioxyde de carbone</b>
<b>F.C</b>	<b>Folin-Ciocalteu</b>
<b>Abs</b>	<b>Absorbance</b>
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	<b>Carbonate de sodium</b>
<b>UV</b>	<b>Ultra-violet</b>
<b>SPIRTEF</b>	<b>Spectrométrie Proche Infra Rouge à Transformée de Fourier</b>
<b>pH</b>	<b>Potentiel hydrogène</b>
<b>MEB</b>	<b>Microscopie Electronique à Balayage</b>
<b>FeCl<sub>3</sub></b>	<b>Chlorure de fer</b>
<b>HCL</b>	<b>Acide chloridrique</b>

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Partie bibliographique</b>	
I. Généralité sur le bois .....	2
II. Le matériau bois .....	2
III. Structure du bois .....	3
III.1. Structure macroscopique du bois.....	3
III.1.1. L'écorce .....	3
III.1.2. Cambium .....	3
III.1.3. Aubier et duramen.....	3
III.2. Structure microscopique du bois .....	4
III.2.1. Structure du bois résineux et des bois feuillus.....	5
III.3. L'ultrastructure du bois.....	6
III.3.1. La couche intercellulaire .....	6
III.3.2. La paroi primaire .....	6
III.3.3. La paroi secondaire .....	6
IV. La composition chimique du bois .....	7
IV.1. La cellulose.....	8
IV.2. Hémicellulose .....	9
IV.3. Lignine.....	10
IV.4. Les extractibles (matières organiques) .....	11
IV.4.1. Les polyphénols ou composés phénoliques .....	11
IV.4.2. Les alcaloïdes.....	12
IV.4.3. Les flavonoïdes .....	12
IV.4.4. Les tanins.....	12
IV.4.5. Les tanins galliques.....	12
IV.4.6. Les cendres (matières minérales) .....	12
<b>Chapitre II : Généralités sur les biochars</b>	
I. Historique sur les biochars .....	13
II. Définition du biochar .....	13
III. Propriétés physico-chimiques des biochars .....	13
I. Propriétés physiques .....	14
1. Surface spécifique.....	14
2. Porosité.....	14
3. Densité.....	14
II. Propriétés chimiques.....	14
1. Le pH.....	14
2. Capacité d'échange cationique (CEC).....	15

3.	Conductivité électrique (CE).....	15
4.	Composition minérale.....	15
IV.	Procédés de conversion thermochimique de la biomasse .....	15
I.	Combustion.....	15
II.	Gazéification.....	15
III.	Pyrolyse .....	16
V.	Avantages des biochars.....	17
I.	Améliore le pH du sol.....	17
II.	Augmente la capacité de rétention des éléments minéraux.....	17
III.	Améliore la porosité et participe à l'épuration du sol et de l'eau.....	17
VI.	Applications des biochars .....	18

### Chapitre III : Matériels et méthodes

1	Matériel végétal .....	19
1.1	L'acacia .....	19
1.1.1	Définition.....	19
1.1.2	Carte d'identité de l'acacia.....	19
1.1.3	Les différentes espèces d'acacia.....	20
1.2	Le roseau .....	20
1.2.1	Définition.....	20
1.2.2	Classification et position systématique du roseau commun.....	21
1.3	Le palmier.....	22
1.3.1	Définition.....	22
1.3.2	Classification botanique du palmier .....	22
1.4	Le Casuarina.....	23
1.4.1	Définition.....	23
1.4.2	Classification botanique du Casuarina.....	23
2	Préparation des échantillons.....	24
3	Caractéristiques physiques des fibres de bois.....	24
3.1	Mesure de taux d'humidité.....	24
4	Les caractéristiques chimiques des fibres de bois.....	25
4.1	Détermination de taux de cendre.....	25
4.2	Taux de polyphénols .....	27
4.2.1	Dosage des polyphénols totaux .....	28
4.2.2	Réalisation de la courbe d'étalonnage .....	30
4.3	Mesure du pH .....	30
4.4	Analyse phytochimique.....	31
4.4.1	Préparation de l'infusé .....	31

4.4.2	Identification des alcaloïdes .....	31
4.4.3	Identification des flavonoïdes.....	32
4.4.4	Identification des tanins .....	32
4.4.5	Identification des tanins galliques .....	32
4.5	Mesure de la conductivité électrique.....	32
4.6	Fabrication du biochar à partir des fibres de bois .....	33
4.7	Mesure du taux de cendres des biochars .....	34
4.8	Mesure du pH des biochars .....	35
4.9	Les analyses des échantillons par Spectrométrie Infrarouge.....	35
<b>Chapitre IV : Résultats et discussions</b>		
1	Caractérisation physico-chimiques des fibres de bois .....	37
1.1	Caractérisation physique .....	37
1.1.1	Détermination du taux d'humidité.....	37
1.2	Caractérisation chimique.....	37
1.2.1	Détermination de taux de cendre.....	37
1.2.2	Détermination des taux de polyphénols.....	38
1.2.3	Mesure du pH .....	40
1.2.4	Analyse phytochimique.....	41
1.2.5	Mesure de la conductivité électrique .....	41
1.2.6	Détermination de taux de cendre des biochars.....	42
1.2.7	Mesure de pH des biochars .....	42
1.2.8	Analyse des échantillons par Spectrométrie Proche Infrarouge (SPIR) .....	43
Conclusion.....		50
Références bibliographique		
Annexes		
Résumé		

## Introduction générale

Les changements que traverse notre environnement ces dernières années et les dégradations quantitatives et qualitatives qui affectent les ressources naturelles que nous utilisons journallement est une préoccupation inquiétante qu'aucun individu ne peut ignorer tel que : le dérèglement climatique, appauvrissement de la biodiversité, érosion des sols arables, raréfaction de l'eau douce...etc.

L'humanité est désormais donc obligée de mettre en vigueur un lien entre les activités de production et de consommation et un usage durable des ressources naturelles et de l'environnement. [1]

Les forêts et les arbres constituent pour notre environnement notamment pour notre société une source d'importants profits parmi lesquels ; le captage et la séquestration de carbone, la conservation des sols et de l'eau et l'amélioration des systèmes de production agricoles. [2]

Le bois est une substance respectueuse de l'environnement qui dans le cadre de développement durable déclenche un intérêt progressif. [3]

Les déchets de bois, comme l'écorce d'érable et les copeaux de pin représentent une source de fabrication de biocharbon appelé aussi charbon horticole un matériau riche en carbone utilisé pour améliorer la qualité des sols et augmenter leur fertilité ainsi qu'à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. [4]

Les propriétés physico-chimiques du biochar peuvent varier en fonction du processus employé lors de sa production, en d'autres termes les procédés thermochimiques utilisés pendant sa fabrication ainsi que les matières premières et biomasses choisies. [5] [6]

Le but de ce thème est la caractérisation de biochars dérivés de bois et de produits de taille pour substrats horticoles.

Cette étude a pour objectif de tenter de valoriser les résidus de bois et des produits de taille générés par la gestion de la végétation qui sont produits en grande quantité et qui constituent un problème en raison de la difficulté de leur élimination.

Ce présent travail se compose de quatre chapitres ; le premier est la partie bibliographique, le second est consacré aux généralités sur les biochars, le troisième décrit les différents matériaux utilisés ainsi que les méthodes employées, quant au quatrième chapitre il englobe les résultats obtenus et leur discussion suivi d'une conclusion pour clôturer mon travail et ouvrira sur les perspectives des recherches futures à la fin du document.

Le concept de développement durable comme étant « la satisfaction des besoins des générations actuelles sans compromettre ceux des générations à venir » a été accepté par la communauté internationale depuis le sommet de Rio de 1992, officiellement connu sous le nom de Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.

Certaines mesures visant à préserver l'environnement, assurer le développement durable et lutter contre le changement climatique doivent être adoptées tel que la réduction des gaz à effet de serre, la protection de écosystèmes des espèces animales et végétales, la promotion de l'économie circulaire et l'utilisation judicieuse des ressources naturelles et du bois en particulier qui constitue un important pilier de ce concept.

### **I. Généralité sur le bois :**

Le bois depuis l'antiquité est le produit le plus utilisé par l'homme dans ses activités tel que l'ameublement et la construction. De nos jours, il est devenu le matériau usuel en raison de son aspect naturel, environnemental et qualitatif. [7]

Le bois possède une résistance chimique et mécanique, il est léger, souple et ayant plusieurs qualités qui en font un excellent matériau de construction. Ces caractéristiques lui permettent de s'adapter aux divers domaines d'applications. [8]

### **II. Le matériau bois :**

Le bois est un matériau biologique, poreux, et hétérogène à divers échelles d'observation.

La croissance des arbres dépend de la nature du terrain, de la lumière provenant du soleil et des conditions climatiques de son environnement. [9]

C'est le matériau constituant l'essentiel du tronc, des branches et des racines de l'arbre. La structure macroscopique et microscopique du bois, ainsi que la structure des parois cellulaires déterminée par ses constituants chimiques sont responsables de la qualité du bois. [10]

Le bois est composé de fibres de structures complexes qui sont constituées de micro fibrilles de cellulose de structure cristalline et fibreuse, enrobées de deux types de polymères amorphes : la lignine et l'hémicellulose. Il contient aussi une petite quantité de composés désignés comme extractibles du bois, ce sont des composés organiques de masses moléculaires faibles et de structures très variées. [11]

### III. Structure du bois :

#### III.1. Structure macroscopique du bois

##### III.1.1.L'écorce :

Le tronc, les branches et les racines des arbres sont recouverts extérieurement d'écorce. Elle est dérivée par la croissance secondaire de la plante et n'est donc pas présente sur les jeunes arbres. L'écorce se divise en deux catégories : l'écorce interne et l'écorce externe.

- L'écorce interne : autrement appelée liber, ou phloème secondaire est formée de tubes qui permettent la circulation de la sève élaborée des feuilles vers les cellules du cambium.
- L'écorce externe : est la partie responsable de la protection du tronc de l'arbre, les branches et les racines des attaques physiques et biologiques extérieures tels que les intempéries, le froid ou la chaleur, les attaques d'insectes, etc. Son aspect, sa structure et ses propriétés sont employées pour la différenciation et l'identification des essences d'arbres entre elles, cependant l'écorce externe joue un rôle dans le transport des substances nutritives. Elle est constituée du phelloderme ou assise méristémique. [12]

##### III.1.2. Cambium

C'est aussi une assise génératrice qui relie le bois à l'écorce. Elle se constitue de cellules méristèmes secondaires (cellules mères), et grâce à la division des cellules, elle permet la croissance de l'épaisseur de l'arbre en produisant l'aubier vers l'intérieur et le liber vers l'extérieur. [12]

##### III.1.3. Aubier et duramen

L'aubier se constitue de cellules plus au moins vivantes en voie de duraminisations. Les cellules vivantes emmagasinent des substances nutritives et restent en vie pendant plusieurs années, pendant que les cellules assurant le soutien et permettant la conduction de la sève brute contenant les nutriments des racines vers les feuilles meurent entre 15 et 20 jours après leur formation.

Le duramen aussi appelé bois de cœur est le squelette de l'arbre assurant la fonction du maintien mécanique de la structure de l'arbre. Ce bois contient des cellules mortes et est très résistant car il est fortement lignifié. [12]

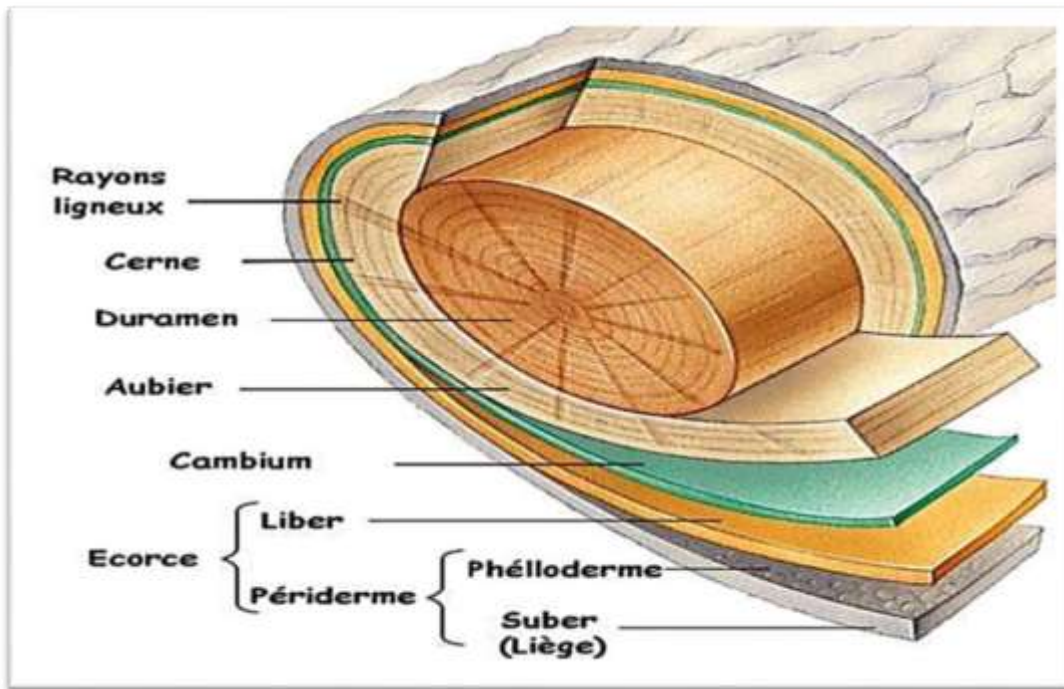


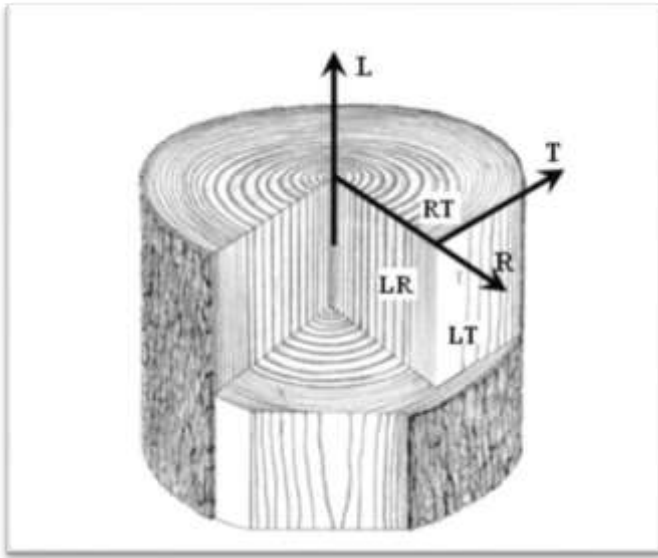
Figure 1: Vue macroscopique d'une tige d'arbre ( anonyme, 2009)

### III.2. Structure microscopique du bois

Les éléments qui constituent le bois sont orientés de façon parallèle et perpendiculaire à un axe de symétrie matérialisé par la moelle centrale. Les plans de référence du bois sont :

- Le plan transversal, qui est perpendiculaire à l'axe de la tige (au fil du bois) correspond à la section de coupe du tronc, sur lequel sont observés les cernes annuels.
- Le plan radial, qui passe de la moelle à l'écorce (au centre de la tige).
- Le plan tangentiel, qui est perpendiculaire au plan radial, parallèle à l'axe de la tige et tangent aux cernes annuels.

Les trois directions, axiale (L) radiale (R) et tangentielle (T), sont les directions d'anisotropie du bois. [7]



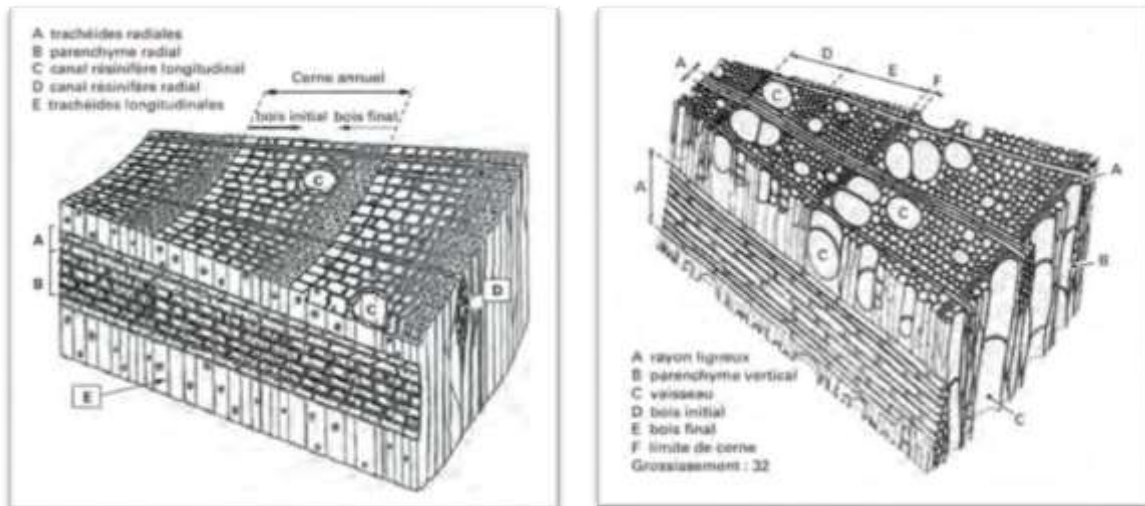
**Figure 2: Directions principales et plans de symétrie du matériau bois [7]**

### III.2.1. Structure du bois résineux et des bois feuillus

Le bois résineux présente une structure relativement simple, régulière et uniforme, il est constitué de deux types de cellules, les trachéides et les cellules parenchymes. Les trachéides longitudinales qui constituent environ 90% du volume du bois résineux jouent un rôle d'un soutien mécanique de l'arbre et assurent le transport de la sève brute. Elles ont des punctuations permettant la circulation des liquides.

Les parenchymes qui représentent 5% à 10% du volume du bois résineux conduisent de façon radiale de la sève et stockent des substances nutritives. [7]

Les bois feuillus ont une structure plus complexe que celle des résineux et possède plusieurs types de cellules (vaisseaux, trachéides et cellules parenchymes). Le soutien mécanique de l'arbre est assuré par des éléments rangés de manière longitudinale appelés fibres qui constituent 50% à 60% de la masse du bois. Quant au transport de la sève assurée par les fibres-trachéides et les vaisseaux et qui sont les éléments les plus larges. [7]



**Figure 3: Structure anatomique d'un résineux** **Figure 4: Structure anatomique d'un feuillus [7]**

### III.3. L'ultrastructure du bois

La paroi cellulaire du bois est multicouche. Elle se compose d'une couche intercellulaire, d'une paroi primaire et d'une paroi secondaire. Chaque couche est formée de filaments de cellulose scellés dans une matrice de lignine et d'hémicellulose. [4]

#### III.3.1. La couche intercellulaire :

Appelée aussi lamelle moyenne elle se manifeste après la division de la cellule mère, son épaisseur varie entre 0,5 et 1,5  $\mu\text{m}$ . Cette couche contient une quantité remarquable de lignine et lie les cellules les unes aux autres. Son pourcentage en cellulose peut être insignifiant si certains microfibrilles pénètrent cette couche. [7]

#### III.3.2. La paroi primaire :

A l'intérieur de cette paroi les microfibrilles sont organisées, alignées et enroulées autour de l'axe des fibres formant la paroi secondaire. Sa paroi mesure environ 0,1  $\mu\text{m}$ .

L'association des chaînes de cellulose donnent naissance à des microfibrilles qui se lient entre elles par les hémicelluloses et ce par des liaisons hydrogène.

Souvent difficile de distinguer la paroi primaire de la couche intercellulaire. [7]

#### III.3.3. La paroi secondaire :

Composée essentiellement de microfibrilles de cellulose alignées, elle forme trois couches différentes :

La couche **S1** : son épaisseur varie entre 0,1 et 0,35  $\mu\text{m}$ , elle représente 15% à 85% de l'épaisseur de la couche. Cette paroi est constituée de microfibrilles croisées formant un angle

compris entre  $60^\circ$  et  $80^\circ$  par rapport à l'axe de la fibre. Sa structure peut être considérée comme lamellaire.

La couche **S2** : son épaisseur varie entre 1 et  $10\mu\text{m}$  c'est la partie qui occupe le plus de volume de la paroi cellulaire, elle contient des microfibrilles en hélice formant un angle de  $5^\circ$  à  $50^\circ$  par rapport à l'axe de la cellule.

La couche **S3** : d'une épaisseur allant de  $0,5$  à  $1,1\ \mu\text{m}$ , elle se compose de microfibrilles dont l'orientation varie entre  $60^\circ$  et  $90^\circ$  par rapport à l'axe de la fibre.

On trouve aussi de la lignine et des hémicelluloses dans chacune de ces trois couches. [7]

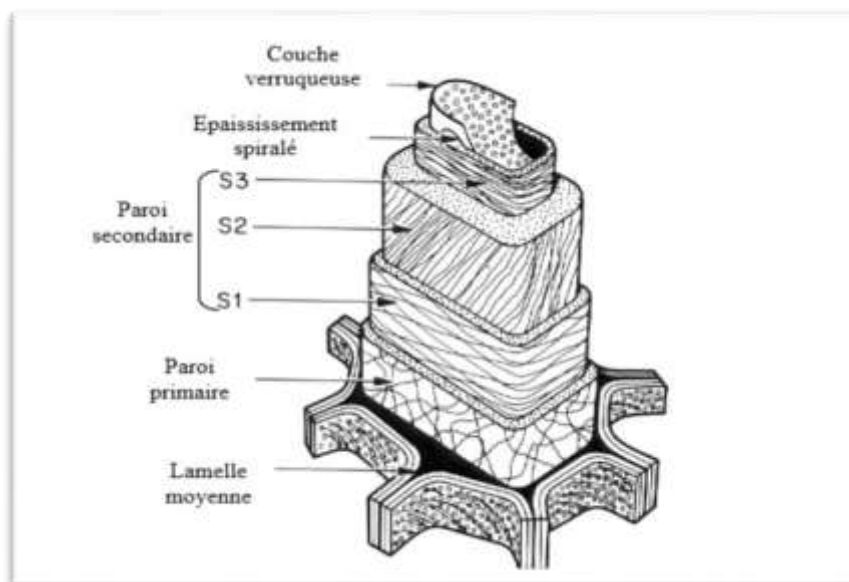


Figure 5: Composition de la paroi cellulaire [6]

#### IV. La composition chimique du bois

Les composants principaux du bois sont : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine.

On trouve aussi des substances minérales (cendres) et extractibles [13]

Avec une répartition en % du poids anhydre suivant le tableau :

- **49 à 50 % de carbone**
- **6 % d'hydrogène**
- **43 à 44 % d'oxygène**

- 0,2 à 0,5 % d'azote

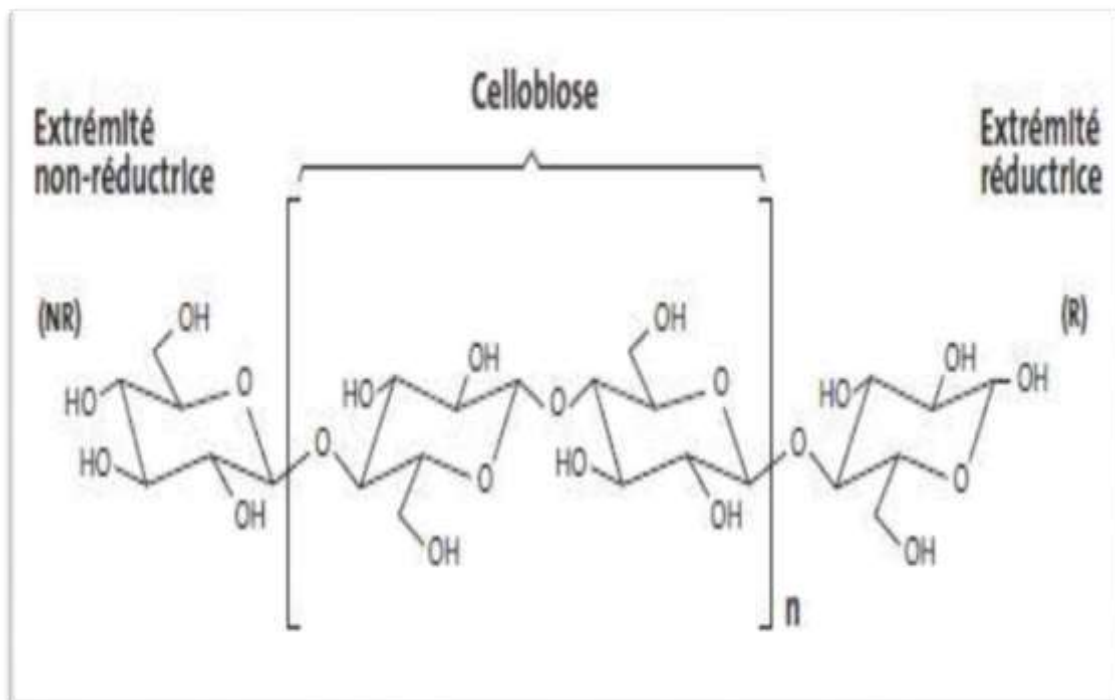
Le bois ne contient pas de soufre inversement aux combustibles fossiles [14]

**Tableau 1 :** Composition chimique des résineux et feuillus de la zone tempérée [15]

Constituant	Résineux	Feuillus
Cellulose	42 ± 2	45 ± 2
Lignine	28 ± 3	20 ± 4
Hémicellulose	27 ± 2	30 ± 5
Extractibles	3 ± 2	5 ± 3

#### IV.1. La cellulose :

La cellulose est le constituant structural principal des parois cellulaires végétales. C'est un homopolymère, dont l'unité de base est le glucose, ou plus exactement un dimère du glucose, cellobiose. Les unités sont liées entre elles par des liaisons  $\beta$  (1-4) -glycoliques. Le degré de polymérisation (en glucose) peut atteindre 15000.[4]



**Figure 6: Formule chimique de la cellulose .[16]**

Dans le bois, les chaînes moléculaires de la cellulose s'associent entre elles par des liaisons hydrogènes intra et intermoléculaires Figure (6), et formant des faisceaux appelés microfibrilles. Ces microfibrilles présentent des zones cristallines et des zones amorphes Figure (7). Le degré de cristallinité de la cellulose du bois est de l'ordre de 60 à 70%.

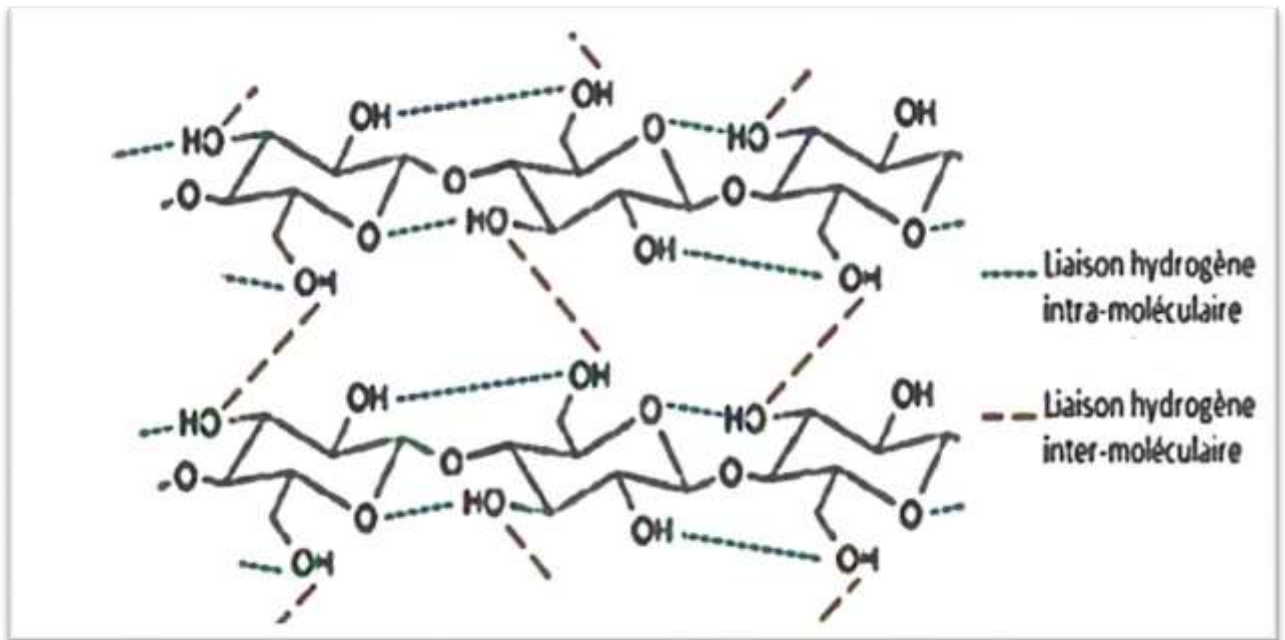


Figure 7: Représentation des liaisons hydrogènes entre les molécules de cellulose [17]

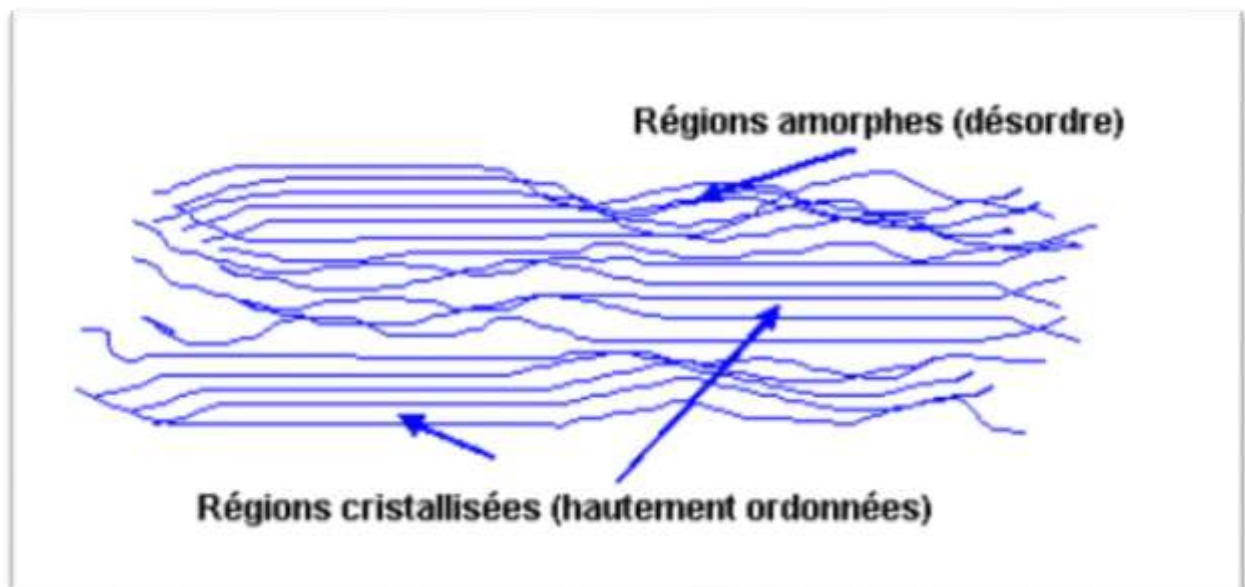


Figure 8: Structure amorphe et cristalline de la cellulose [17]

## IV.2. Hémicellulose

Les hémicelluloses sont définies comme des hétéros polysaccharides présents dans les parois cellulaires des végétaux. Ces constituants chimiques du bois présentent une grande diversité de structure. Contrairement à la cellulose, ce sont des polymères totalement amorphes et ramifiés. Les hémicelluloses sont composées de différents sucres incluant des hexoses tels que le glucose, le galactose, le mannose et les pentoses tels que la xylose, l'arabinose et les acides uroniques. [15]

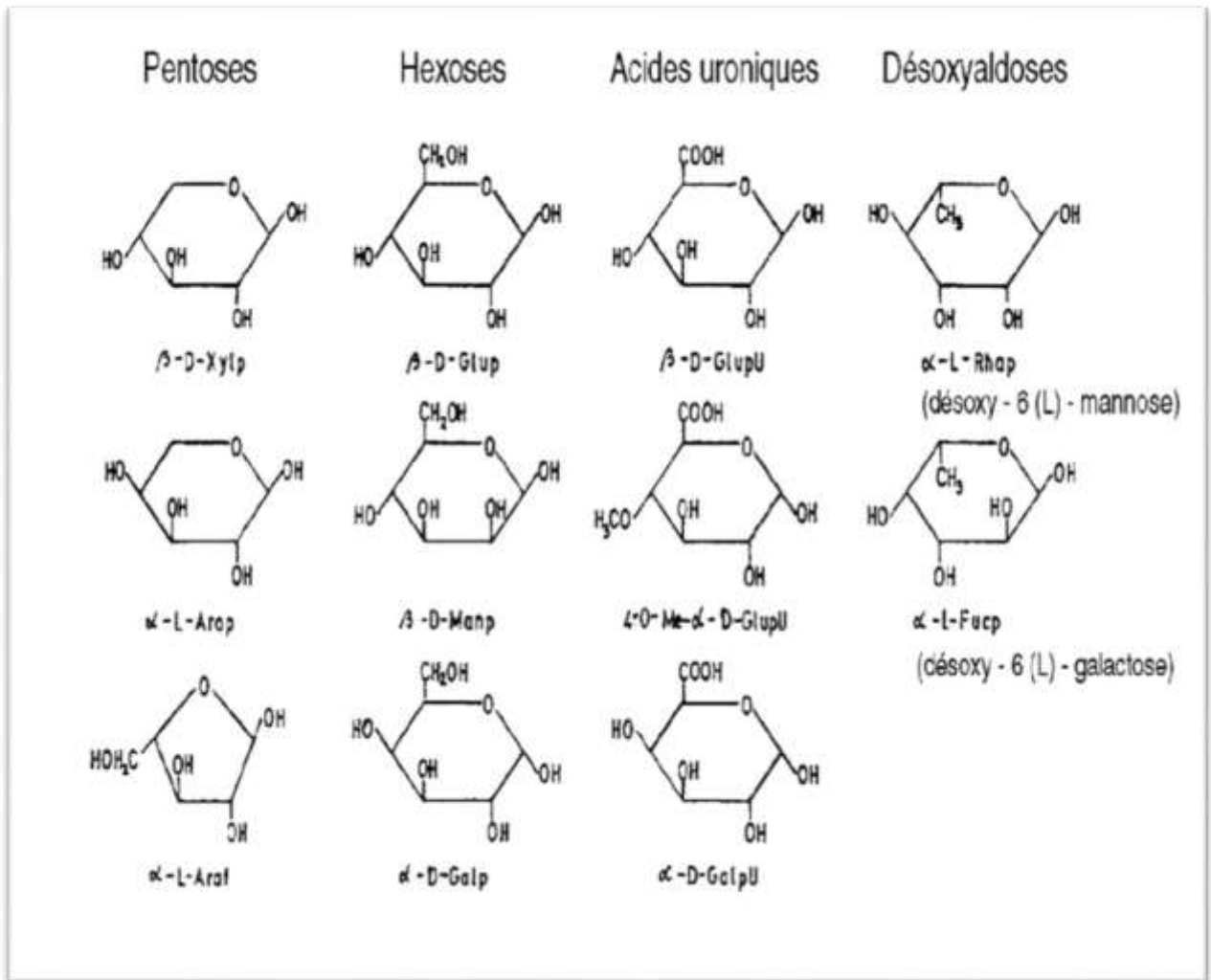
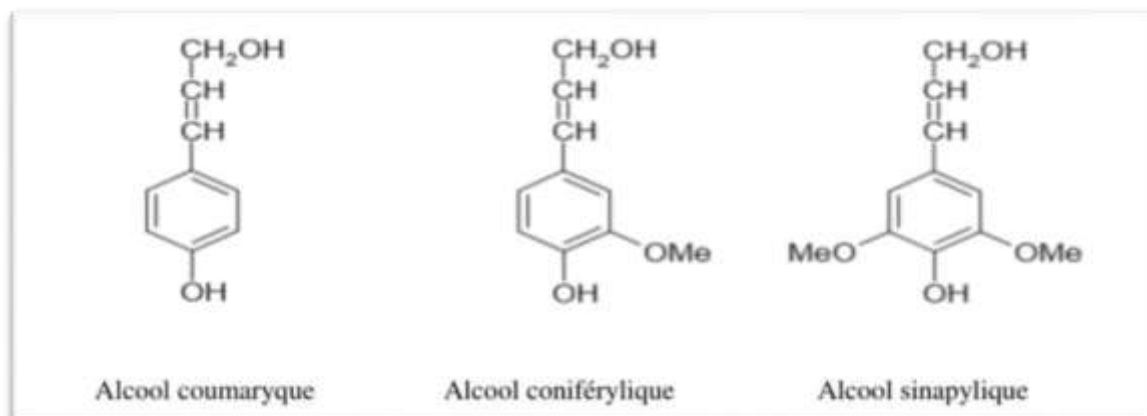


Figure 9 : Différents monosaccharides constituant les hémicelluloses du bois [17]

### IV.3. Lignine

Elle est présente dans des proportions plus ou moins importantes dans toutes les plantes vasculaires. Elle assure la rigidité des parois cellulaires végétales et diminue leur perméabilité lors du transport des matières nutritives et des métabolites. Elle présente aussi une barrière chimique aux attaques extérieures tout en assurant une toxicité vis-à-vis des attaques biologiques. C'est un polymère tridimensionnel synthétisé au niveau de la paroi cellulaire, résultant de la polymérisation oxydative des trois unités monomériques. [18]



**Figure10 : Principaux monomères de la lignine [17]**

#### IV.4. Les extractibles (matières organiques)

Ce sont des molécules qui peuvent être extraites du bois par des solvants polaires (acétone, eau, éthanol) ou apolaires (toluène, cyclohexane, dichlorométhane). La teneur et la composition de ces extractibles varient fortement d'une essence à l'autre, les résineux contenant généralement plus que les feuillus. Il existe trois types d'extractibles : les trapézoïdes (Mycènes, limonène,  $\alpha$ -pinène...), les composés aliphatiques (acides gras saturés et insaturés, triglycérides, alcaloïdes...) et les polyphénols (tannins condensés et hydrolysables, flavonoïdes, tropolones, stilbènes, quinones...).

Bien qu'ils ne représentent qu'un faible pourcentage, l'odeur, la couleur et la résistance aux agents de dégradation biologique, dépendent en grande partie de ces constituants extractibles.

[4]

##### IV.4.1. Les polyphénols ou composés phénoliques

Les polyphénols, appelés également composés phénoliques, sont une famille de molécules organiques qui est spécifique au règne végétal et ils sont largement présents dans les tissus forestiers. Ces métabolites secondaires permettent de protéger l'arbre contre toutes les agressions extérieures (froid, UV, champignons, etc.). Ce sont ces molécules qui sont responsables de la coloration du bois par la présence de groupements chromophores capables d'absorber la lumière du visible et ils procurent à l'arbre et à l'écorce une senteur caractéristique. Les composés phénoliques sont constitués d'un noyau benzénique auquel sont directement liés un ou plusieurs groupements hydroxyles OH. Ces groupements hydroxyles peuvent être liés à d'autres fonctions chimiques ce qui conduit à une grande diversité de structure. Ces composés regroupent les polyphénols simples (un groupement phénolique) ou complexes qui sont composés d'une série de groupements phénoliques.

Dans les composés phénoliques on trouve : les alcaloïdes, les flavonoïdes les tanins et les tanins galliques. [19]

#### IV.4.2. Les alcaloïdes

Ils sont des composés organiques cycliques comportant un ou des atomes d'azotes degré d'oxydation négatif, chez les plantes, ces composés agissent soit comme agent protecteur contre les champignons, les insectes ou encore les herbivores, soit comme source d'azote nécessaire au développement de la plante, ou comme agents de régulation de la croissance similaires aux hormones ou comme agents protecteurs du rayonnement UV. [20]

#### IV.4.3. Les flavonoïdes

L'ensemble des flavonoïdes de structure générale en C<sub>15</sub> (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>) comprend à lui seul plusieurs milliers de molécules regroupées en plus de dix classes, dont certaines ont une grandes importances biologique et technologique : les anthocyanes, pigments rouges ou bleus, les flavones et les flavanols, de couleur crème ou jaune clair, les flavines dont les produits de condensation sont à l'origine d'un groupe important de tanins et les isoflavones qui jouent un rôle dans la santé humaine. [21] [22]

#### IV.4.4. Les tanins

Ils sont des formes phénoliques condensés capables de se lier aux protéines en solution et de les précipiter. Il est classique de distinguer deux grands groupes de tanins différents à la fois par leur réactivité et par leur composition : les tanins hydrolysables et les tanins condensés. [23] [24]

#### IV.4.5. Les tanins galliques

Ils sont des esters de l'acide gallique et du glucose. il faut cependant remarquer que les monos et les digalloylglucoses ne présentent pas les propriétés classiques des tanins, leur masse moléculaire étant trop faible. Ces propriétés, en particulier l'aptitude à précipiter les protéines, sont le fait des triesters et de leurs homologues supérieurs. [20]

#### IV.4.6. Les cendres (matières minérales)

Ce sont les résidus minéraux obtenu après combustion du bois à haute température. Ils sont des constituants inorganiques qui représentent moins de 1 % de la masse du bois. Parmi les substances minuscules qui se trouvent dans la biomasse : CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub> et Cl. Les cinq premiers sont les principaux oxydes qui peuvent se trouver dans la cendre du bois, avec CaO le plus abondant. Il y a aussi des traces des métaux lourds dans la cendre du bois. [4]

## I. Historique sur les biochars

Le biochar a été découvert pour la première fois il y a environ 6000 ans [1]. Son origine remonte aux activités agricoles des habitants d'Amazonie qui introduisaient des quantités remarquables de charbon au sol, des fumiers ainsi que d'autres engrais biologiques afin d'améliorer le rendement de leur culture.

Les sols d'Amazonie ou *Terra Preta* qui signifient sols noirs sont connus pour leur fertilité, leur richesse en éléments nutritifs (C, N, P, K et Ca).

L'ajout de charbon de bois dans les sols tropicaux considérablement fragilisés aide à l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols [25]

## II. Définition du biochar

Le terme « biochar » est l'abréviation de « bio-charcoal », du préfixe « bio » qui signifie origine biologique et du terme anglais « charcoal » qui veut dire charbon de bois. [26]

Le biochar représente la partie solide qui est produite par le processus de pyrolyse suite à la dégradation d'une substance organique par une forte chaleur dans un milieu appauvri en oxygène.

La nature de la biomasse utilisée pour la production du biochar peut être d'origine diverses (végétale, animale, fumier...), lors de la pyrolyse trois constituants sont formés : une phase liquide appelée bio-huile, une phase gazeuse et une phase solide riche en carbone appelée biochar. Il peut être fabriqué de manière [26] [27]



Figure 11 : biochar (Terra Fertilis) [28]

## III. Propriétés physico-chimiques des biochars

Les propriétés physiques et chimiques du biochar varient selon les paramètres de la pyrolyse ainsi que la matière première choisie [29]

Ces propriétés physico-chimiques font du biochar un élément avantageux pour les sols agricoles parmi elles :

## I. Propriétés physiques

### 1. Surface spécifique :

La surface spécifique du biochar peut varier suivant les températures et les conditions de pyrolyse lors de sa fabrication. Elle est créée principalement par le micro et mésopores.

Une surface spécifique élevée permet une plus grande capacité d'adsorption des substances ainsi une meilleure rétention d'eau et de nutriments dans le sol. Ce paramètre est obtenu en appliquant la théorie de Brunauer, Emmett et Teller d'où l'appellation surface BET. [30]

### 2. Porosité :

Lors du processus de pyrolyse du biochar des milliers de pores sont formés ce qui lui permet d'adsorber cinq fois son poids propre en eau ainsi que les éléments nutritifs.

Cette caractéristique du biochar qui dépend du type de la biomasse utilisée et de la chaleur de pyrolyse se définit par la capacité d'adsorption du biocharbon. [31]

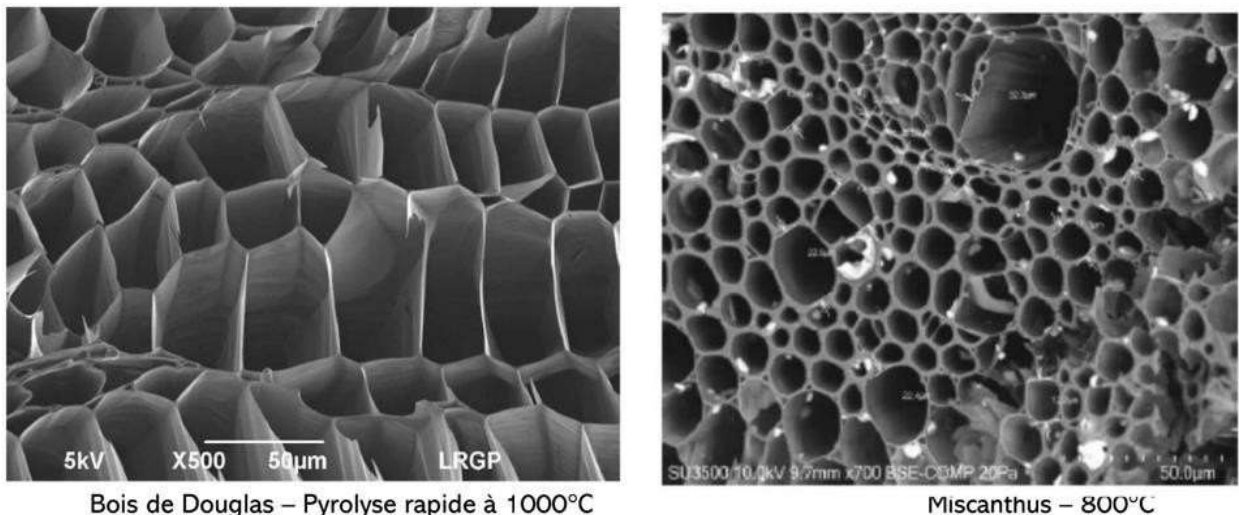


Figure 12 : structure poreuse du biochar [32]

### 3. Densité :

La densité du biochar peut varier selon les biomasses utilisées et les conditions de pyrolyse. Généralement elle varie entre 0,2 et 0,8 g/cm<sup>3</sup>. Un biochar de faible densité a un double avantage pour le sol en réduisant sa densité massique permettant aux racines des plantes de s'enfoncer dans le sol ce qui leur assure un meilleur développement d'une part, et d'autre part il améliore la rétention d'eau dans le sol. [33]

## II. Propriétés chimiques

### 1. Le pH :

Le pH du biochar est relatif à la température du processus de pyrolyse lors de sa fabrication, plus la température est élevée plus le pH du biochar augmente et plus la température est en

baisse plus le pH diminue. L'accroissement de la température de pyrolyse contribue à la formation de cendres et l'augmentation des cations basiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) qui sont reliés avec le pH du biochar. [34]

## **2. Capacité d'échange cationique (CEC) :**

La capacité d'échange cationique du biochar dépend de la nature de la matière première utilisée. La CEC des biochars dérivés des déchets de papeterie (Van Zwieten et al.2010) est inférieure à la CEC des biochars dérivés de la bagasse de canne à sucre (Carrier et al.2012).

Cette différence est due à la forte teneur en cendre de la biomasse qui conduit à la formation d'un biochar avec une CEC plus élevée (Yang et al.2015). [35]

Plus la surface spécifique d'un biochar est grande plus la CEC des sols est d'avantage favorisée. [36] L'augmentation de l'oxygénation des groupements fonctionnels présents sur la surface du biochar est partiellement responsable sur la CEC du biochar. [37]

## **3. Conductivité électrique (CE) :**

La conductivité électrique des biochars change en fonction du type de la matière première choisie que de la température atteinte lors du processus de la pyrolyse. La CE des biochars reste le plus souvent élevée dans les biochars dérivés d'une biomasse animale (200 à 500  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) que ceux dérivés des biomasse végétales (3,8 à 203  $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) [38]

## **4. Composition minérale :**

Le contenu en éléments minéraux présents dans les biochars d'origine animale, de déchets alimentaires paraît plus élevé que dans les biochars de produits forestiers. [38]

# **IV. Procédés de conversion thermochimique de la biomasse**

Les procédés thermochimiques se basent sur une conversion de la biomasse par effet de la chaleur en énergie thermique (chaleur) ou en combustible solide, liquide et gazeux. Ils incluent les procédés thermochimiques secs (combustion, pyrolyse et gazéification).

## **I. Combustion :**

La combustion est un processus au cours duquel l'énergie chimique stockée dans la biomasse est libérée sous forme de chaleur lorsque cette biomasse brûle directement en présence d'oxygène. La combustion se fait entre 800 à 1000°C, et elle n'est possible que si la teneur en humidité de la biomasse est inférieure à 50 %. [39]

## **II. Gazéification :**

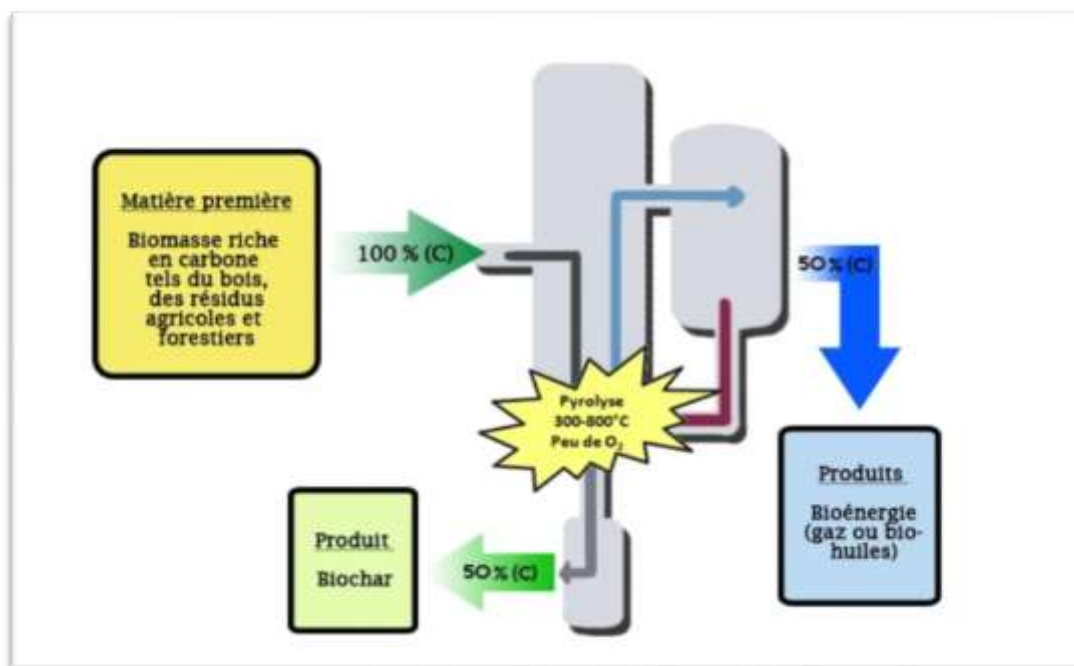
La gazéification est un procédé thermochimique au cours duquel les composés carbonés de la biomasse utilisée sont convertis en un combustible gazeux, comme de l'oxygène, de l'air, de l'azote, du dioxyde de carbone, de la vapeur ou un mélange de ces gaz, à une température élevée variant de 700°C à 900°C. [40]

La gazéification produit un gaz qu'on appelle « bio-syngaz » qui composé de CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, et N<sub>2</sub>. Après la gazéification le reste est un charbon solide des cendres, du goudron et un peu d'huile. [41]

### III. Pyrolyse :

La pyrolyse est un procédé thermochimique au cours duquel la biomasse est décomposée thermiquement dans une atmosphère appauvrie en oxygène à des températures comprises entre 350°C et 1000°C, afin d'en extraire les différents composants chimiques qui la constituent. [42]

. La pyrolyse conduit à la production de trois phases différentes : une phase gazeuse incondensable formée de CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, et de H<sub>2</sub>, une phase liquide (biohuile), et un résidu solide qui est le biochar. [43]



**Figure 13: Production du biochar par le procédé de pyrolyse [44]**

Le rendement du produit dépend de plusieurs paramètres, des propriétés de la biomasse utilisée mais aussi des conditions opératoires de la pyrolyse telles que la vitesse de chauffe, la température finale et le temps de séjour. [45]

Selon la vitesse de chauffe trois types de pyrolyse sont distingués suivant le tableau ci-dessous :

**Tableau 2** : Conditions opératoires selon les différents types de pyrolyse. [46]

Types de pyrolyse	Plage de température (C°)	Vitesse de chauffe	Pression	Temps de séjour	Produit principale
<b>Pyrolyse lente</b>	350- 800	Lente	Atmosphérique	Heures à jour	Charbon
<b>Pyrolyse rapide</b>	400-600	Très rapide	Vide-atmosphérique	Secondes	Goudron
<b>Pyrolyse flash</b>	300-800	Rapide	Elevée	Minute	Solide carboné

## V. Avantages des biochars

### I. Améliore le pH du sol :

La majorité des biochars produits sont de nature alcaline avec un pH variant de 7-10. La valeur de l'alcalinité observée est déterminée par la proportion des cendres ainsi que par la quantité de groupements carboxyliques présents dans chaque type de biochar. Les cendres qui sont riches en carbonates ou en anions organiques, contribuent à la neutralisation de l'acidité du sol et à l'augmentation de pH après leur hydrolyse. [26]

### II. Augmente la capacité de rétention des éléments minéraux :

Les sols tropicaux acides ont une capacité limitée à retenir les grandes quantités d'éléments fertilisants en raison de leur charge positive en milieu acide. C'est pourquoi il est conseillé de répartir les apports d'engrais pour éviter qu'ils ne se déversent et ne se retrouvent dans les eaux souterraines et les rivières. En augmentant le pH du sol, le biochar aide à résoudre non seulement le problème d'acidité, mais aussi à donner au sol une charge nette négative et à retenir davantage d'éléments fertilisants. [26]

### III. Améliore la porosité et participe à l'épuration du sol et de l'eau :

Le biochar, présente une porosité et une densité faible ( $< 0.5 \text{ g/cm}^3$ ), est intégré dans le sol pour augmenter la porosité et l'aération du sol, favorisant ainsi le développement des racines des plantes. De plus, il existe des biochars qui ont également une surface spécifique importante qui leur permet d'absorber les polluants organiques et les métaux lourds présents dans le sol. Le charbon de bois, grâce à sa structure microporeuse, peut retenir et fixer de nombreuses molécules toxiques (notamment des métaux lourds) présentes dans l'eau et participer à sa dépollution. [26]

## **VI. Applications des biochars**

Les biochars sont des matériaux très polyvalents qui trouvent de nombreuses applications dans divers domaines tels que l'environnement, l'agriculture et l'énergie, en raison de leur surface spécifique élevée ils peuvent servir d'adsorbants de métaux lourds, d'amendement des sols, en tant que produits issus du processus thermochimique de la biomasse les biochars peuvent aussi être utilisés comme électrode pour les super condensateurs (SCs). [47]

Ce chapitre consiste à caractériser 04 types d'arbres qui sont **l'acacia, le roseau, le palmier et le casuarina** ainsi que 02 types de biochars : **le bois dur** et un **mélange contenant du roseau et de l'olivier**.

Pour ce faire, la préparation des différents échantillons (séchage, broyage et tamisage) a été faite au sein du laboratoire commun de chimie de l'université de Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, campus Tamda.

Les poudres de bois obtenues ont été soumises à plusieurs techniques de caractérisation physicochimiques, parmi elles ; la mesure de taux d'humidité.

La détermination de taux de cendre, le taux de polyphénols, la mesure du pH et de la conductivité électrique ainsi que l'analyse phytochimique et la fabrication des biochars à base des biomasses végétales disponibles ont été faites au sein du laboratoire d'environnement de la faculté des Sciences de l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou.

Les spectres Infrarouges ont été réalisés au sein du laboratoire de Chimie Appliqué et Génie Chimique LCAGC de l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou.

## **1 Matériel végétal**

### **1.1 L'acacia :**

#### **1.1.1 Définition :**

L'acacia, ou robinier faux acacia, est un arbre originaire d'Amérique du Nord, très commun en Europe.

Cet arbre qui pousse rapidement est estimé pour la bonne qualité de son bois ainsi que ses fleurs consommables.

L'acacia est un arbre ornemental et d'une grande résistance, ayant la capacité de supporter la sécheresse et aime le soleil. [48]

#### **1.1.2 Carte d'identité de l'acacia :**

Nom botanique : Robinia pseudoacacia

Nom courant : Acacia, Robinier faux acacia, Faux acacia

Famille : Fabacées

Type : Arbre à fleurs

Origine : Amérique du Nord

Dimensions : jusqu'à 25 mètres de hauteur [48]

### 1.1.3 Les différentes espèces d'acacia :

L'acacia compte plus de 1500 espèces d'arbres à fleurs, dont la majorité se trouve en Australie.

La hauteur des acacias peut arriver jusqu'à 15 à 30 mètres selon l'espèce. La plupart des acacias sont recouverts d'épine ce qui constitue un habitat pour toutes les sortes des oiseaux. Les acacias envahissent la surface du globe, avec des formes et des climats de prédilection variés.

L'Acacia Pycnantha ou Mimosa doré est l'espèce la plus connue en Australie, on peut aussi désigner l'Acacia dealbata ou Mimosa d'hiver autrement appelé Mimosa des fleuristes.

Enfin, l'Acacia tortuosa connu pour ses branches sinueuses, qui en font un arbre ornemental spécialement aimé. [48]



Figure 14 : Mimosa Cassier (Acacia) [49]

## 1.2 Le roseau :

### 1.2.1 Définition :

Le roseau commun appelé Phragmite Communis est une plante vasculaire appartenant à la famille des graminées [50]

C'est une plante exotique, qui préfère un emplacement avec beaucoup d'humidité, il s'étend vite et forme des colonies denses.

La hauteur des tiges du roseau commun mesure 1,5 à 2,5 mètres de haut et peuvent arriver jusqu'à 5 mètres, elles sont rigides et de couleur jaune pâle, gris-vert ou beige.

Les feuilles du roseau commun sont de planes, leur largeur varie de 1 à 5 centimètres, quant à la longueur de ses fleurs varie de 15 à 35 centimètres et la largeur de 8 à 20 centimètres. [51]

### 1.2.2 Classification et position systématique du roseau commun

- Règne : Végétal
- Sous règne : Tracheobionta
- Division : Magnoliophyte
- Classe : Liliopside
- Sous classe : Commelinide
- Ordre : Cyperales
- Famille : Poacées
- Genre : Phragmites
- Espèce Phragmites : Australis [52]



Figure 15 : Le Roseau [53]

### 1.3 Le palmier :

#### 1.3.1 Définition :

Le palmier dattier ou *Phoenix dactylifera* est une Monocotylédone arborescente à tronc monopodique (arbre non ramifié dont les fleurs femelles et les fleurs mâles sont séparées).

On trouve le palmier dattier dans les régions désertiques, sa croissance nécessite un climat très chaud et absence de pluie, ce dernier a une bonne résistance au vent. [54]

#### 1.3.2 Classification botanique du palmier :

Règne : Végétale

Embranchement : Angiosperme/ Magnoliophida

Classe : Monocotylédone /Lilopsida

Ordre : Arécale

Famille : Palmacées/Arécacées

Genre : *Phoenix*

Espèce : *Phoenix dactylefera* L. [55]



**Figure 16 : Le Palmier-dattier [56]**

## 1.4 Le Casuarina :

### 1.4.1 Définition :

Le Casuarina est une espèce d'arbre introduite en Algérie, ses origines reviennent aux îles des océans Pacifiques et Indien.

Sa culture se fait en Afrique du Nord afin de créer des brise-vents. Les casuarinaceae sont des arbres qui produisent le pollen en grande quantité. [57]

### 1.4.2 Classification botanique du Casuarina :

Règne : Plantae

Sous-Règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Hamamelidae

Ordre : Casuarinales

Famille : Casuarinaceae [58]



**Figure17 : Casuarina arbre en Algérie [59]**

## 2 Préparation des échantillons :

Les échantillons de bois (acacia, roseau, palmier et casuarina) après les avoir séché à l'air libre ils ont été découpés en petits morceaux chez le menuisier afin de faciliter le broyage dans un broyeur à épices.

Après broyage, et pour obtenir des poudres de bois de même granulométrie, les échantillons ont été tamisés à 250 µm à l'aide d'un tamis vibreur. (Voir figure...)



**Figure18 : Différentes étapes de préparation des échantillons [Origine,2024]**

## 3 Caractéristiques physiques des fibres de bois :

### 3.1 Mesure de taux d'humidité :

Le taux d'humidité ou le pourcentage en eau dans le bois sec est mesuré par la pesée des échantillons avant et après étuvage à 105°C pendant 24h.

Le taux d'humidité est donné par la relation suivante :

$$TH(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100$$

$m_0$  : masse du creuset à vide (g)

$m_1$  : la masse du creuset et la prise d'essai avant étuvage (g)

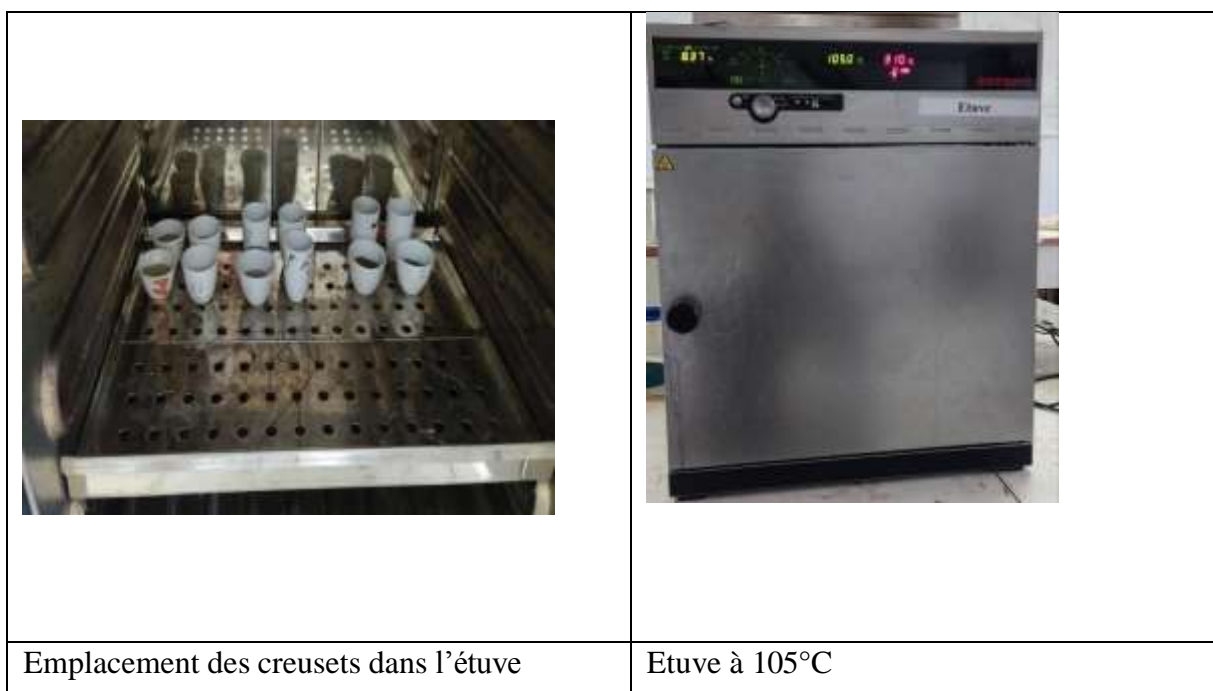
$m_2$  : la masse du creuset et le résidu après étuvage (g)

La majorité des substances naturelles ont une certaine humidité. Pour cela, plusieurs méthodes sont proposées pour mesurer le taux d'humidité, parmi elles la méthode gravimétrique (étuve et balance).

**Mode opératoire :**

Pour effectuer cette expérience, on suit la méthode décrite ci-dessous :

- Peser les creusets à vide et noter  $m_0$
- Peser 2g de chaque échantillon de diamètre  $250\mu\text{m}$
- Introduire les échantillons dans les creusets et les numéroter puis prendre la masse  $m_1$  ;
- Placer les creusets dans une étuve à  $105^\circ\text{C}$  pendant 24h dans le but d'obtention des échantillons anhydres
- Sortir les échantillons de l'étuve et les laisser refroidir à l'air libre
- Peser les échantillons à nouveaux et noter  $m_2$
- Calculer le taux d'humidité (TH).



**Figure 19 : Emplacement des creusets dans l'étuve à  $105^\circ\text{C}$  [Origine, 2024]**

## 4 Les caractéristiques chimiques des fibres de bois :

### 4.1 Détermination de taux de cendre :

La mesure du taux de cendres est une méthode qui permet de déterminer la quantité de matières minérales inorganiques contenue dans un échantillon. Cette mesure se fait par calcination de l'échantillon à une température élevée dans le but d'en éliminer toute matière organique.

J'ai obtenu un taux de cendre de mes échantillons, après les avoir soumis à une température égale à 550°C dans un four à moufle pendant 3h30mn .

Le pourcentage en cendre est exprimé par la relation suivante :

$$W(\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

$m_0$  : masse du creuset à vide (g)

$m_1$  : la masse du creuset et de l'échantillon avant calcination (g)

$m_2$  : la masse du creuset et de l'échantillon après calcination (g)

#### Mode opératoire :

- Peser les creusets à vide et noter  $m_0$
- Introduire 2g de chaque échantillon de diamètre 250 $\mu$ m dans les creusets puis noter la masse totale  $m_1$
- Placer les creusets dans le four à moufle à T=550°C pendant 3h30min
- Retirer les creusets du four et les laisser refroidir pendant 10min puis les mettre dans le dessiccateur et laisser refroidir jusqu'à température ambiante
- Peser les creusets à nouveaux et enregistrer la masse  $m_2$



Figure 20 : Emplacement des creusets dans un four à moufle [Origine, 2024]

## 4.2 Taux de polyphénols :

Pour déterminer le taux de polyphénols contenu dans mes échantillons, une série de réactifs utilisés a été préparée :

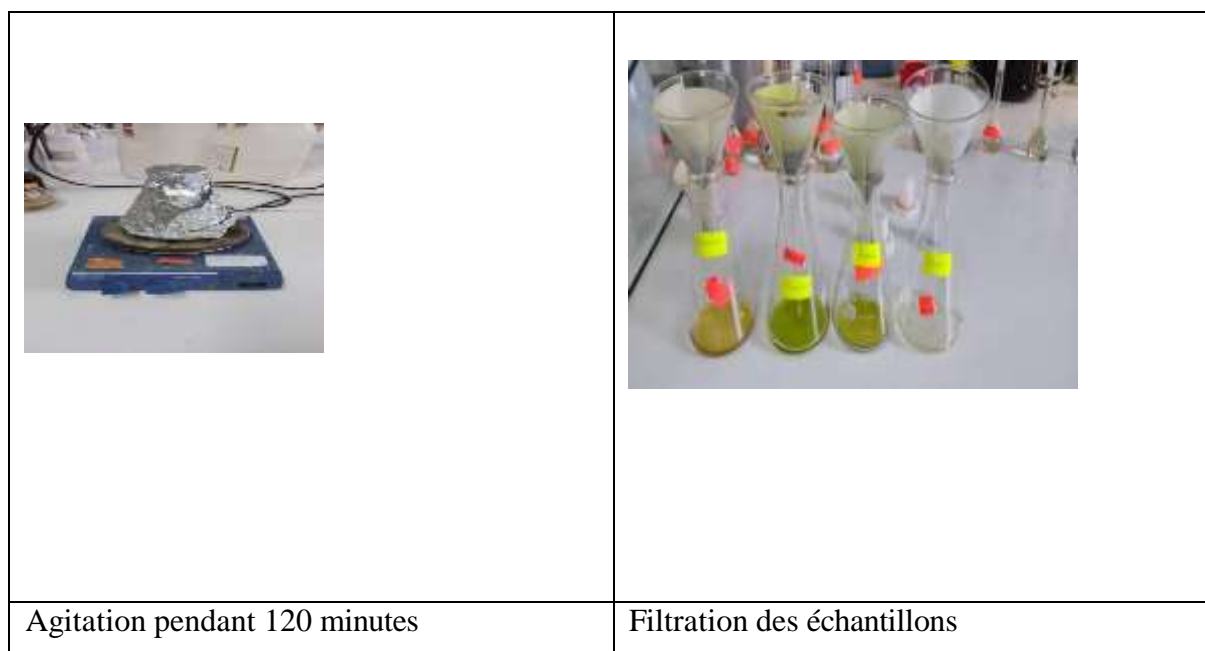
- Réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois : Pipeter 5ml de F.C dans une fiole de 50 ml et ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge
- Méthanol à 80% (80ml de méthanol+20ml d'eau distillée)
- Solution de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à 74g/l (dissoudre 7.4g dans 100 ml d'eaux distillée)
- Solution d'acide gallique à 0.5g/l (dissoudre 0.125 g dans 250ml d'eau distillée)



**Figure 21 : Préparation des différents réactifs utilisés [Origine,2024]**

### Mode opératoire :

- Peser 2g de chaque échantillon à l'aide d'une balance de 0.0001de précision
- Ajouter 30 ml de méthanol à 80% pour chaque échantillon et les mettre sous agitation pendant 120 min
- Filtrer et récupérer les filtrats dans un erlenmeyer fermé



**Figure 22 : Différentes étapes de l'extraction des composés phénoliques [Origine, 2024]**

#### 4.2.1 Dosage des polyphénols totaux :

Le but de dosage des polyphénols est de quantifier la concentration totale des groupements hydroxyles contenus dans le filtrat ; ce dosage a été effectué selon la méthode de Folin-Ciocalteu.

Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux [60].

Le dosage des polyphénols a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre à UV visible à une longueur d'onde de 760nm, au niveau de laboratoire de chimie de l'environnement du département de chimie de la faculté des sciences à UMMTO.

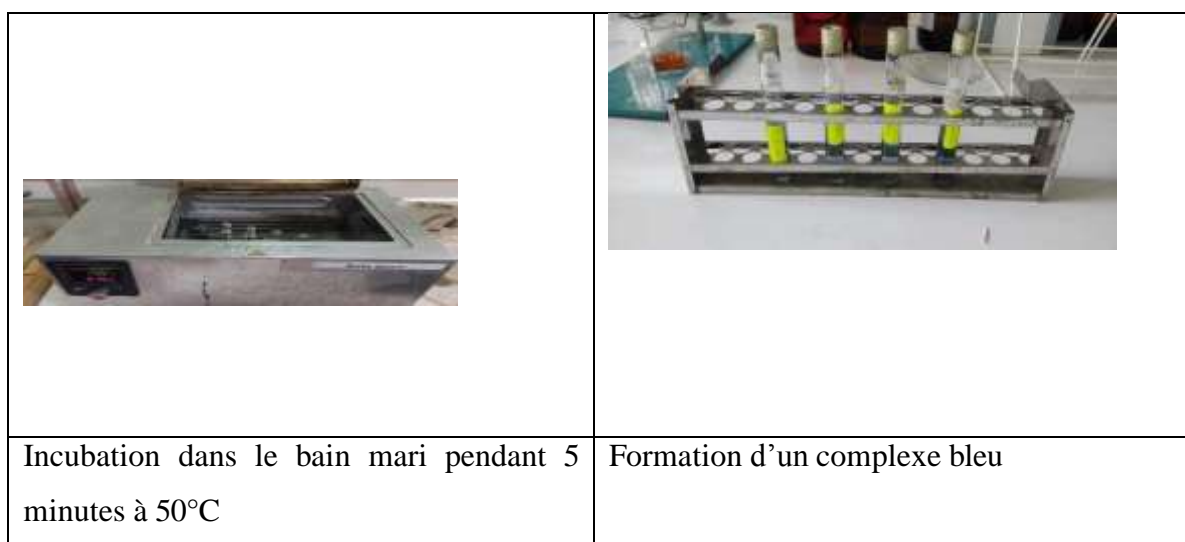
Afin d'assurer la fiabilité des résultats, 3 essais ont été effectués ensuite on a calculé la moyenne des densités optiques mesurées

#### Mode opératoire :

Les polyphénols sont dosés par la méthode colorimétrique en utilisant le réactif Folin-Ciocalteu, en se basant sur une gamme étalon [61].

- Prendre 0,5ml d'extrait de chaque échantillon et le diluer 20fois, puis les mettre dans des tubes à essai.
- Ajouter pour chaque tube 2,5ml du réactif F-C et les laisser pendant 3minutes pour assurer le contact, puis rajouter 2ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à 74g/L ;
- Mettre les tubes à essai dans le bain-marie pendant 5minutes à température  $T=50^\circ\text{C}$
- Mesurer l'absorbance de chaque échantillon à une longueur d'onde de 760 nm par un spectrophotomètre à UV.

Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique/g de matière végétale sèche en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique.



**Figure 23 : Les étapes de dosage des polyphénols [Origine, 2024]**

L'expression utilisée pour calculer le pourcentage en polyphénols est donnée par la relation suivante

$$\text{Taux de polyphénols(\%)} = \frac{C \times V \times m}{1000} \times 100$$

C : concentration en équivalent acide gallique (g/l)

V : volume de la solution (0,5ml)

m : poids de l'échantillon à l'état frais (g)

#### 4.2.2 Réalisation de la courbe d'étalonnage :

Pour réaliser une courbe d'étalonnage, suivre le protocole expérimental ci-dessous :

- Peser 0,5g d'acide gallique, et le dissoudre dans 1L d'eau distillé ;

- Préparer 6 solutions filles de concentration de 0,01 ; 0,03 ; 0,05 ; 0,07 ; 0,09 et 0,1 g/l à partir de la solution mère d'acide gallique à 0,5 g/l
- Mélanger 0,5 ml de chaque solution fille avec 2,5 ml de réactif du Folin-Ciocalteu dans un tube à essai et les laisser en contact pendant 3min ;
- Ajouter 2ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à concentration 74g/l
- Mettre les solutions obtenues dans un bain-Marie pendant 5minute à une température de 50°C
- Effectuer une lecture pour chaque solution fille à l'aide d'un spectromètre UV à 760nm

### 4.3 Mesure du pH

#### Mode opératoire :

- Peser 10g de chaque échantillon
- Ajouter 100ml d'eau distillée
- Agitation manuelle pendant 15 min
- Laisser décanter pendant 2h
- Immerger l'électrode du pH mètre dans la phase liquide puis dans la phase solide et noter les valeurs obtenues
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée avant et après chaque mesure

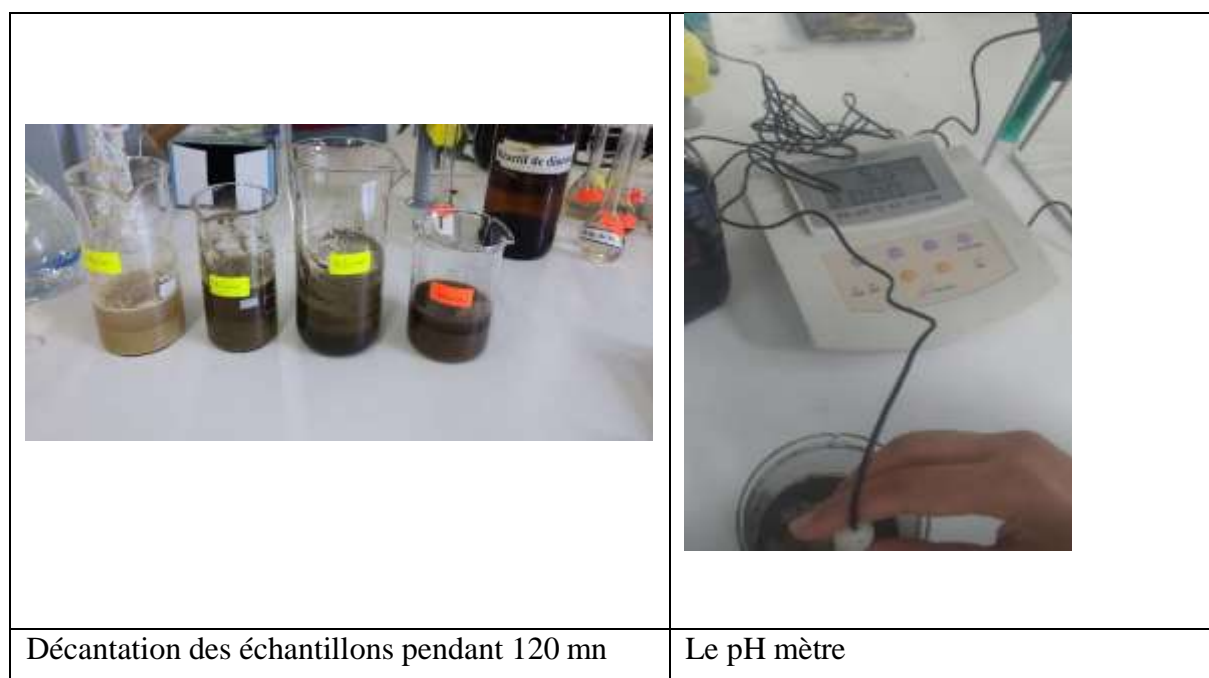


Figure 24 : Les différentes étapes de mesure du pH [Origine,2024]

## 4.4 Analyse phytochimique

Les tests phytochimiques (Screening) sont des tests qualitatifs qui permettent de Caractériser les différents groupes chimiques contenus dans un organe végétal. Ce sont des réactions physicochimiques qui permettent d'identifier la présence des substances chimiques.

La mise en évidence des différents constituants phénoliques des poudres des bois d'arbres utilisées, a été faite selon les méthodes standards de screening phytochimique [62-63]. La quantité de la substance recherchée est proportionnelle, soit à l'intensité de précipité formé ou à la coloration.

### 4.4.1 Préparation de l'infusé

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, introduire 10 g de poudre végétale dans 50 ml d'eau distillée bouillante
- Laisser infuser pendant 15 min puis filtrer sur papier filtre
- Le filtrat est ajusté à 100 ml avec d'eau distillée
- L'infusé ainsi obtenu est utilisé pour la recherche des différents composés chimique.

### 4.4.2 Identification des alcaloïdes

Afin d'identifier les alcaloïdes on suit les étapes suivantes :

- Dans un tube à essai on introduit une quantité de l'infusé
- On ajoute 2 gouttes du réactif de Dragendroff
- Laisser pendant 25 à 30 min
- En présence des alcaloïdes un précipité rouge se forme

### 4.4.3 Identification des flavonoïdes

Afin d'identifier les flavonoïdes on suit les étapes suivantes :

- Dans une fiole on introduit 5 ml de l'infusé
- On ajoute 5 ml d'acide chloridrique HCL (1 N)
- On ajoute 1 ml d'alcool butanol
- On ajoute les copeaux de Mg
- En présence des flavonoïdes une couleur rouge orangé apparait

#### 4.4.4 Identification des tanins

Afin d'identifier les tanins on suit les étapes suivantes :

- On introduit dans un tube à essai une quantité de l'infusé
- On ajoute goutte à goutte la solution aqueuse de chlorure ferrique  $\text{FeCl}_3$  (5 %) (Dissoudre 5g de  $\text{FeCl}_3$  dans 100 ml d'eau distillée)
- En présence des tanins une couleur verdâtre apparait

#### 4.4.5 Identification des tanins galliques

Afin d'identifier les tanins galliques on suit les étapes suivantes :

- On sature le filtrat par l'acétate de sodium
- On ajoute quelques gouttes de  $\text{FeCl}_3$
- En présence des tanins gallique une couleur bleu noirâtre apparait

#### 4.5 Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique est la capacité d'une substance à permettre le passage d'un courant électrique.

##### Mode opératoire :

- Peser 1g de chaque échantillon et le dissoudre dans 40 ml d'eau distillée
- Immerger l'électrode du conductimètre dans la solution et laisser se stabiliser
- Mentionner la valeur affichée
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée avant et après chaque mesure

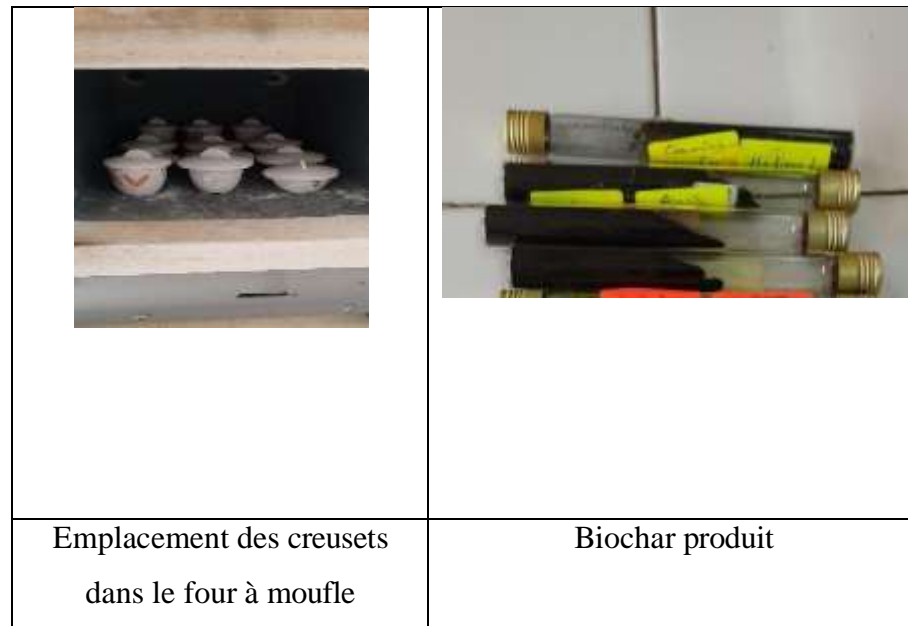


**Figure 25 : mesure de la conductivité électrique [Origine,2024]**

#### **4.6 Fabrication du biochar à partir des fibres de bois**

Pour fabriquer du biochar dans un four à moufle on suit les étapes ci-dessous :

- Peser 2g de chaque échantillon et les mettre dans des creusets avec couverts pour limiter l'exposition de la biomasse à l'oxygène
- Introduire les creusets dans un four à moufle préchauffé
- Laisser les creusets à l'intérieur du four à moufle entre 20 à 30 minutes à 450°C
- Retirer les creusets du four et récupérer le biochar produit
- Les biochars produits sont ensuite soumis à une analyse Infrarouge



**Figure 26 : Fabrication du biochar dans un four à moufle [Origine,2024]**

#### 4.7 Mesure du taux de cendres des biochars :

Afin de mesurer le taux de cendre, deux biochars ont été choisis : biochar à base de bois dur et biochar mélange à base du roseau et de l'olivier

On a obtenu un taux de cendre des deux biochars, après les avoir soumis à une température égale à 550°C dans un four à moufle pendant 3h30mn.

Le pourcentage en cendre est exprimé par la relation suivante :

$$W(\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

$m_0$  : masse du creuset à vide (g)

$m_1$  : la masse du creuset et de l'échantillon avant calcination (g)

$m_2$  : la masse du creuset et de l'échantillon après calcination (g)

#### Mode opératoire :

- Peser les creusets à vide et noter  $m_0$
- Introduire 2g de chaque biochar dans les creusets puis noter la masse totale  $m_1$
- Placer les creusets dans le four à moufle à  $T=550^\circ\text{C}$  pendant 3h30min

- Retirer les creusets du four et les laisser refroidir pendant 10min puis les mettre dans le dessiccateur et laisser refroidir jusqu'à température ambiante
- Peser les creusets à nouveaux et enregistrer la masse  $m_2$

#### 4.8 Mesure du pH des biochars

##### Mode opératoire :

- Peser 10g de chaque biochar
- Ajouter 100ml d'eau distillée
- Agitation manuelle pendant 15 min
- Laisser décanter pendant 2h
- Immerger l'électrode du pH mètre dans la phase liquide puis dans la phase solide et noter les valeurs obtenues
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée avant et après chaque mesure



Figure 27 : Mesure du pH des biochars [Origine, 2024]

#### 4.9 Les analyses des échantillons par Spectrométrie Infrarouge :

La spectroscopie infrarouge est l'une des méthodes efficaces et répandues qui permet l'identification des molécules organiques et inorganiques à partir de leurs propriétés vibrationnelles [61].

Les liaisons internes des molécules permettent aux atomes de vibrer autour d'une position moyenne. La spectroscopie infrarouge est basée sur l'association d'une fréquence de vibration à un groupe moléculaire particulier (mode de vibration, voire de rotation) [61].

Dans le proche infrarouge, la mesure spectrale repose sur l'évaluation de la qualité de lumière qui a été absorbée par l'échantillon. Conventionnellement les limites du proche infrarouge se situent entre 800 et 2500 nm. [61].

### **Mode opératoire :**

Avant l'analyse spectrométrie proche infrarouge, les échantillons sont préalablement broyés, tamisés puis séchés.

Dans un premier temps un alignement est réalisé toutes les heures pour Ensuite, chaque échantillon est placé dans un Vial en verre spécial où la poudre est tassée pour éviter les potentielles perturbations du faisceau liées à l'hétérogénéité de la poudre. Le Vial est placé sur la fenêtre d'analyse du spectromètre et les spectres sont enregistrés, 64 scans sont réalisés en une trentaine de secondes avec une résolution de 8  $\text{cm}^{-1}$  (nombre d'onde), puis un spectre moyen est donné par le spectromètre. Cependant, cette technique permet d'obtenir des résultats quantitatifs grâce à l'intensité des bandes d'absorption, mais aussi qualitatif car on peut observer une absorbance particulière à une zone de longueurs d'onde spécifiques d'un matériau [64].



**Figure 28 : Spectromètre Proche Infrarouge ; Spectromètre IRAffinity – 1S[Origine,2024]**

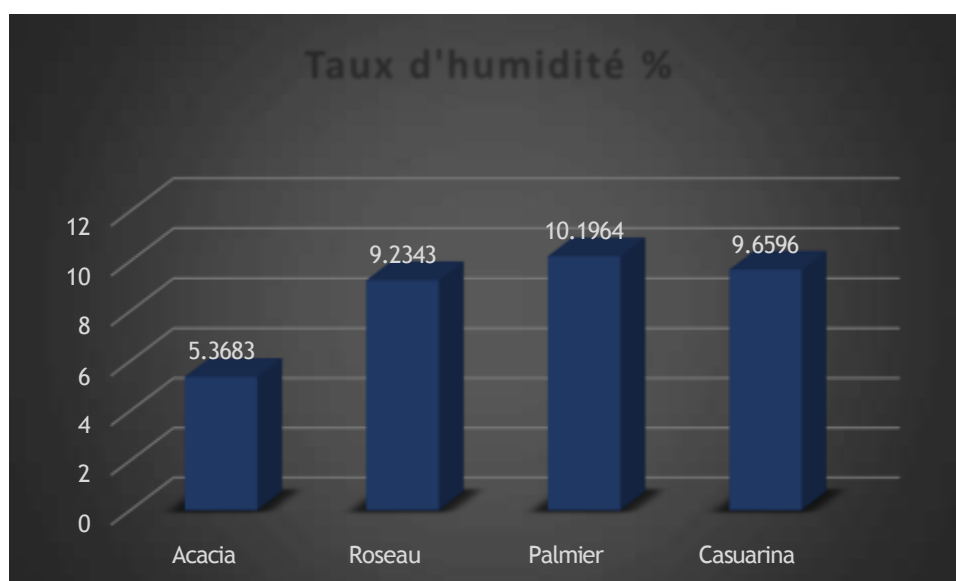
Dans ce chapitre on trouve les résultats des différentes expériences; le taux d'humidité, le taux de cendres des fibres de bois et des biochars, le taux de polyphénols, le pH des fibres de bois et des biochars, la mesure de la conductivité électrique ainsi que l'analyse phytochimique et l'analyse IR.

## 1 Caractérisation physico-chimiques des fibres de bois

### 1.1 Caractérisation physique

#### 1.1.1 Détermination du taux d'humidité

L'ensemble des résultats de l'étude comparative de ces fibres de bois est présenté dans la figure ci-dessous :



**Figure29 : Histogramme de taux d'humidité des végétaux**

Le palmier possède le taux d'humidité le plus élevé car les cellules du parenchyme qui le compose contiennent de nombreux espaces intercellulaires lui permettant de capter efficacement l'eau et les sels minéraux dont il a besoin.

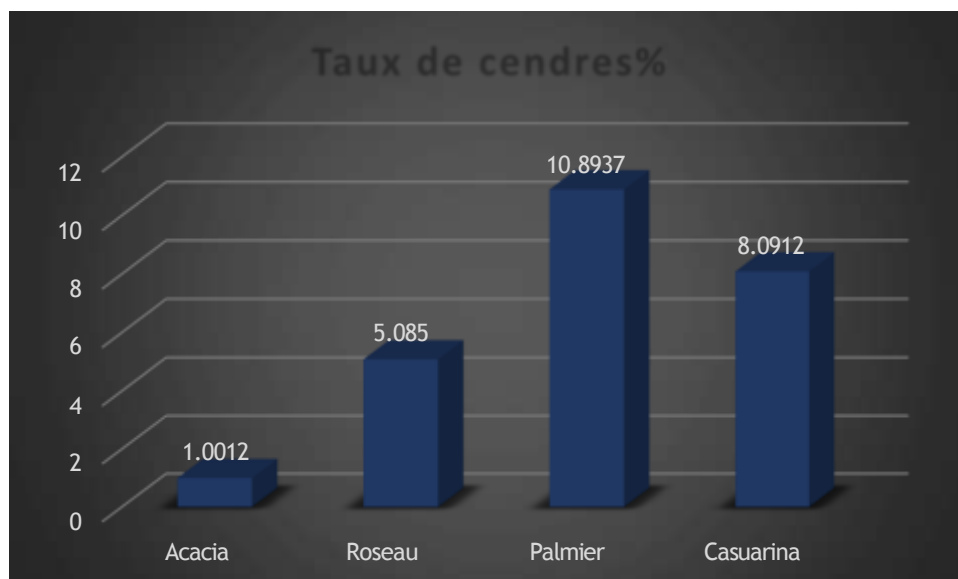
Cependant le roseau et le casuarina ont un taux d'humidité proche cela s'explique par les sites hydroxyles qui agissent comme un plastifiant ; de plus ils ont une résistance à la traction.

Quant à l'acacia qui possède un taux d'humidité le plus faible qui s'explique par la structure du bois d'acacia qui est dense et moins poreuse qui limite sa capacité de rétention d'eau.

### 1.2 Caractérisation chimique

#### 1.2.1 Détermination de taux de cendre

Les taux de cendres des différentes fibres de bois sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :



**Figure 30 : Histogramme de taux de cendres des végétaux**

Après incinération des échantillons, il ne reste que la matière car la matière organique a totalement disparu. Plusieurs études ont montré que la matière minérale pourrait contenir principalement du soufre, du phosphore, du chlore, du silicium, du potassium, du calcium, du magnésium, du fer, du sodium, de l'azote, du zinc, du bore et des oligoéléments qui sont considérés comme éléments de base de la fertilité des sols.

Le taux de cendre du palmier est le plus élevé, car sa structure poreuse accumule de grandes quantités de sels minéraux, notamment Ca, Mg et silicium. Le palmier a développé une capacité d'adsorber et d'accumuler efficacement ces minéraux.

Le taux de cendre du casuarina reste élevé car il pousse dans des environnements côtiers et des sols pauvres en nutriments, pour s'adapter il accumule et stocke de nombreux minéraux dans son tissu avec une forte présence de silice.

Le roseau est une pompe annuelle jouant le rôle de pompe à eau dans les endroits humides, il possède un taux de cendre de 5,085% peu élevé

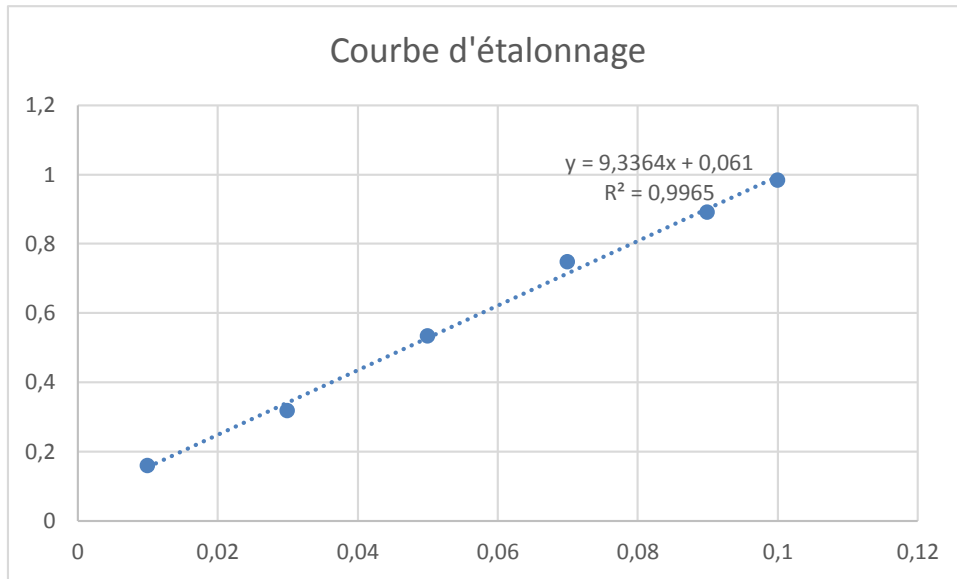
L'acacia a un taux de cendre très faible car il possède un taux de matière organique plus important.

### **1.2.2 Détermination des taux de polyphénols**

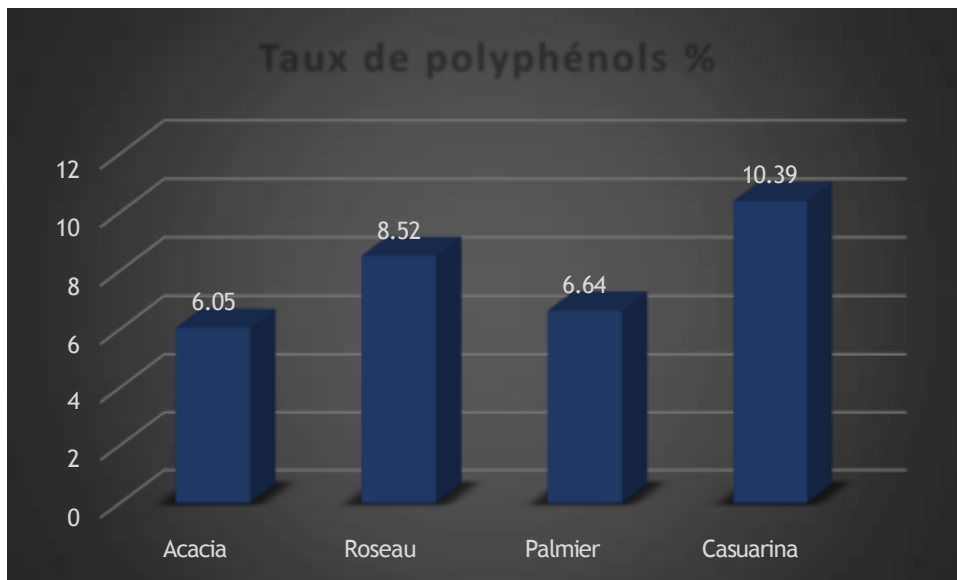
La concentration des polyphénols totaux est déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu, à partir d'une courbe d'étalonnage utilisant l'acide gallique comme témoin

**Tableau 3** : résultats des absorbances obtenus à partir des solutions filles d'acide gallique

C (g/l)	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,1
Abs	0,1589	0,3185	0,5334	0,7478	0,892	0,9834

**Figure 31** : courbe d'étalonnage d'acide gallique à 0,5 g/l

La variation des teneurs en polyphénols totaux des différentes espèces est présentée dans la figure ci-dessous :

**Figure 32** : Histogramme de taux de polyphénols totaux

Le casuarina possède le taux de polyphénols le plus élevé car il pousse souvent dans des environnements pauvres en eau comme des déserts, des zones côtières. En produisant des polyphénols, le casuarina fait face aux conditions de stress hydrique.

Souvent les polyphénols interviennent dans la croissance et le développement et notamment dans la lignification des tissus un bois durable et résistant.

Le roseau pousse généralement dans des environnements stressants comme des endroits humides et pour se protéger contre les pathogènes, ils produisent naturellement des polyphénols pour se défendre et se protéger contre le stress hydrique d'où son taux de polyphénol 8,52%. Quant à l'acacia et le palmier qui ont des taux de polyphénols proches, cela s'explique par le fait qu'ils soient retrouvés dans des endroits secs et chauds qui sont des environnements stressants ce qui favorise la production de polyphénols chez ces espèces pour se protéger du stress oxydatif.

### 1.2.3 Mesure du pH :

**Tableau 4** : les résultats de la mesure du pH

Type de bois	pH de la phase liquide
Acacia	5,55
Roseau	6,60
Palmier	5,98
Casuarina	6,57

L'acidité d'un sol se caractérise par son pH. Les ions  $H^+$  présents dans la solution du sol ont plusieurs origines : ions  $H^+$  échangeables retenus sur les argiles, ou provenant de la dissociation des groupes fonctionnels organiques ; ions provenant de la dissociation des groupes OH des minéraux, ou de celle des molécules d'eau d'hydratation des cations. [65]

L'acidité des épisolums (horizons supérieurs) est exprimée par des qualificatifs se basant sur les valeurs du pH ; hyper acide ( $pH < 3,5$ ), très acide (3,5 à 4,2), acide (4,2 à 5), peu acide (5 à 6,5), neutre (6,5 à 7,5), basique (7,5 à 8,7) ou très basique ( $pH > 8,7$ ). [65]

Dans ces résultats on distingue un pH neutre pour le roseau et le casuarina en raison de leur croissance dans des endroits ayant un pH proche de la neutralité.

Quant à l'acacia et le palmier ont un pH peu acide car ils poussent souvent dans des régions où les sols ont tendance à être légèrement acides en raison de l'accumulation de certains minéraux pour les acacias et de la décomposition de matière organique pour les palmiers.

### 1.2.4 Analyse phytochimique :

**Tableau 5 :** Les résultats d'identification des composés phénoliques

Infusés	Alcaloïdes	Flavonoïdes	Tanins	Tanins galliques
Acacia	+	-	-	-
Roseau	-	+	-	-
Palmier	-	+	-	-
Casuarina	-	-	+	-

Les alcaloïdes sont présents dans l'infusé de l'acacia, le précipité rouge formé nous montre une teneur en alcaloïdes qui se rapproche du taux de polyphénols de l'acacia, ce qui est dû à sa structure physiologique.

Les flavonoïdes sont présents dans l'infusé du roseau et l'infusé du palmier par la formation d'une couleur rouge orangé et cela revient à la structure physiologique de ces espèces qui se composent des flavonoïdes.

Les tanins sont présents dans l'infusé du casuarina il serait probablement dû à sa structure ligneuse.

### 1.2.5 Mesure de la conductivité électrique :

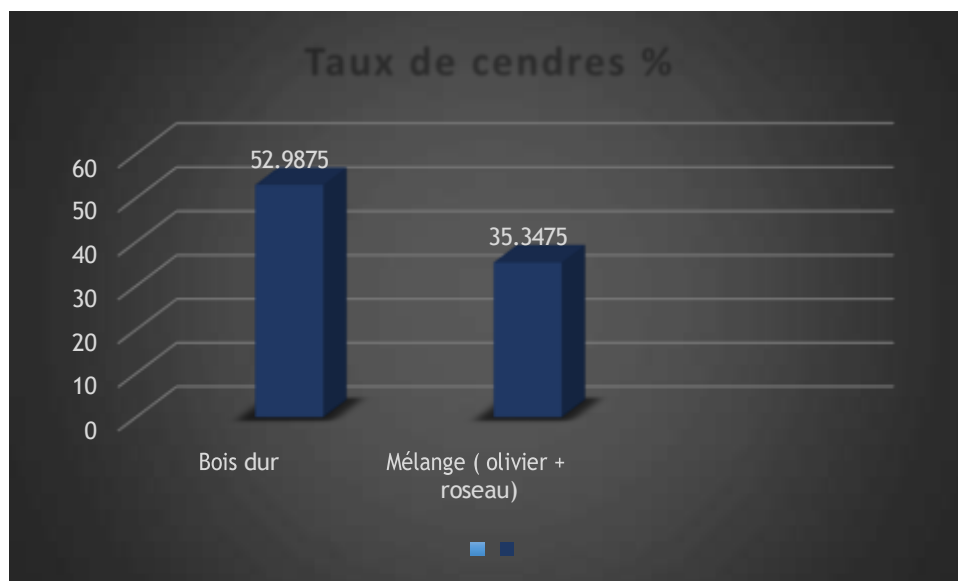
**Tableau 6 :** Les résultats de la mesure de la conductivité électrique

Type de bois	Conductivité électrique( $\mu\text{s/cm}$ )
Acacia	626,25
Roseau	880,5
Palmier	1366,5
Casuarina	417

Le palmier pousse dans des endroits chauds et humides ce qui facilite la dissolution et l'ionisation des solutés dans leur sève, et généralement il accumule plus de minéraux et c'est la raison pour laquelle sa conductivité électrique est la plus élevée par rapport à l'acacia, le roseau et le casuarina.

### 1.2.6 Détermination de taux de cendre des biochars :

Les taux de cendres des différentes fibres de bois sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :



**Figure 33 : Histogramme taux de cendres des biochars**

De plus, il y a un engouement pour le biochar en agriculture et en environnement puisqu'on lui confère des propriétés intéressantes pour la croissance végétale, la séquestration du carbone et l'interception de contaminants (Verheijen et coll., 2010, Montanarella, 2013). Les biochars amélioreraient la fertilité, la teneur en eau et la vie microbienne des sols, augmentant du coup la productivité végétale qu'elle soit en sols agricoles, en sols artificiels ou en sols dégradés (Allaire et Lange, 2013). Ces « vertus » semblent toutefois varier selon leurs propriétés, le type de sol, l'espèce végétale et le climat. Pour en faire le meilleur usage, on doit d'une part bien connaître les propriétés de ces biochars en lien avec la matière première et la méthode de pyrolyse ayant servi à les fabriquer. [66]

Le taux de cendre de ces deux biochars est très élevée, ce qui est probablement dû aux conditions opératoires lors de sa fabrication, la composition de la matière première, la durée de pyrolyse... etc.

### 1.2.7 Mesure de pH des biochars :

**Tableau 7 : Les résultats de mesure de pH**

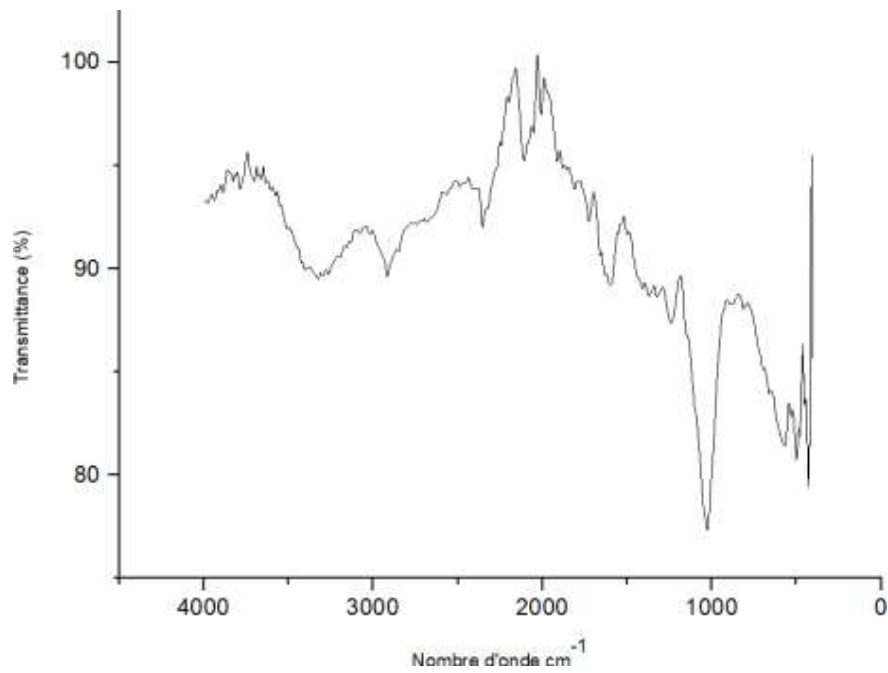
Type de biochars	pH
Bois dur	10,34
Mélange (olivier + roseau)	9,91

### 1.2.8 Analyse des échantillons par Spectrométrie Proche Infrarouge (SPIR) :

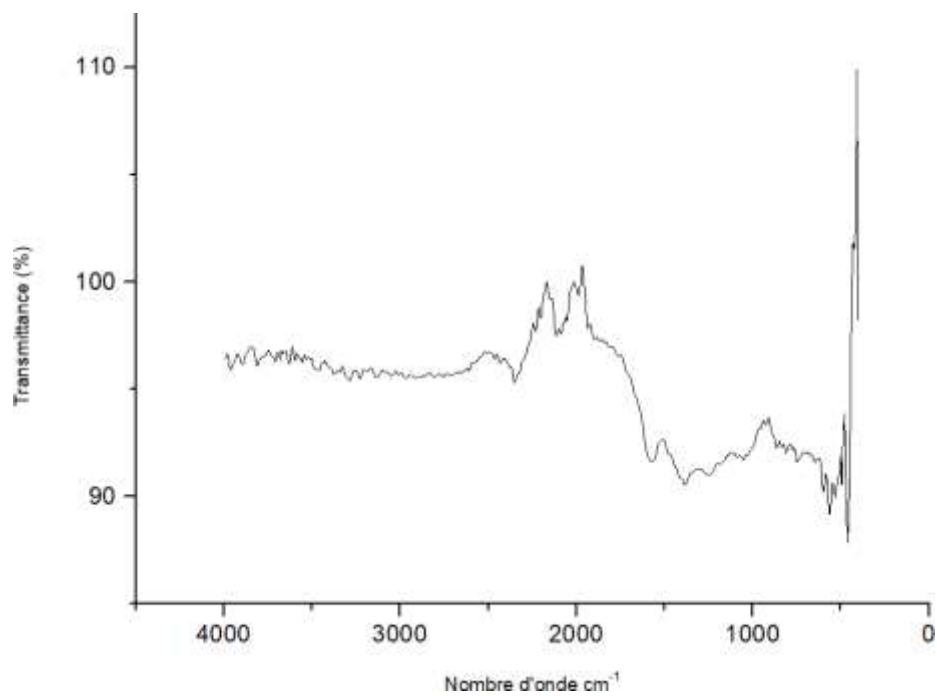
L'analyse par SPIR obtenue montre la présence de différentes bandes de vibration. Chaque bande d'absorption qui apparaît sur le spectre correspond à une fonction ou à un groupement chimique, les figures ci-dessous sont les spectres obtenus

Les résultats montrent que les deux biochars ont un pH basique ce qui est dû à la présence des minéraux après la pyrolyse ce qui confère un caractère basique aux biochars produits.

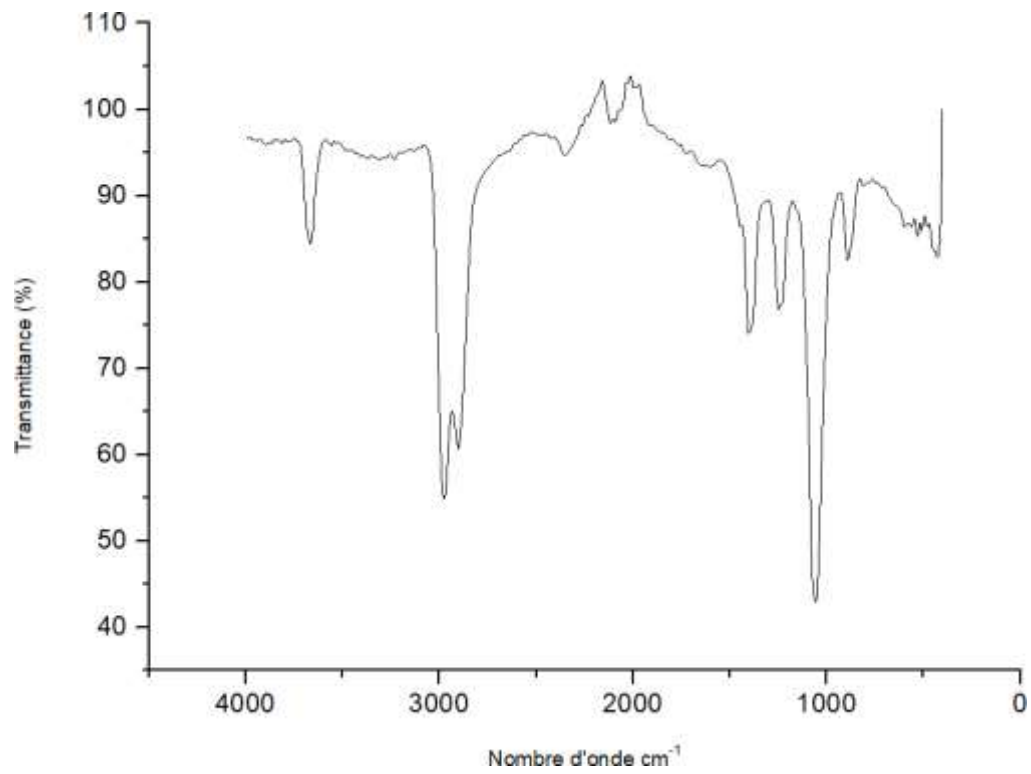
:



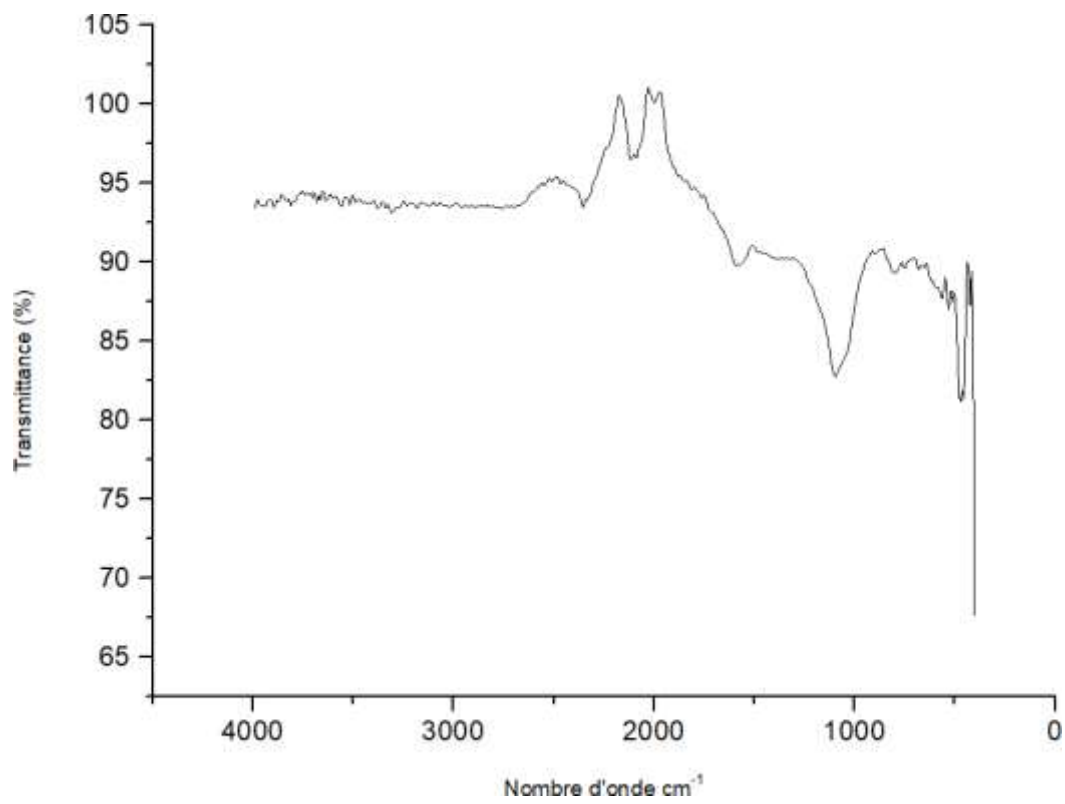
**Figure 34 : Spectre IR acacia frais**



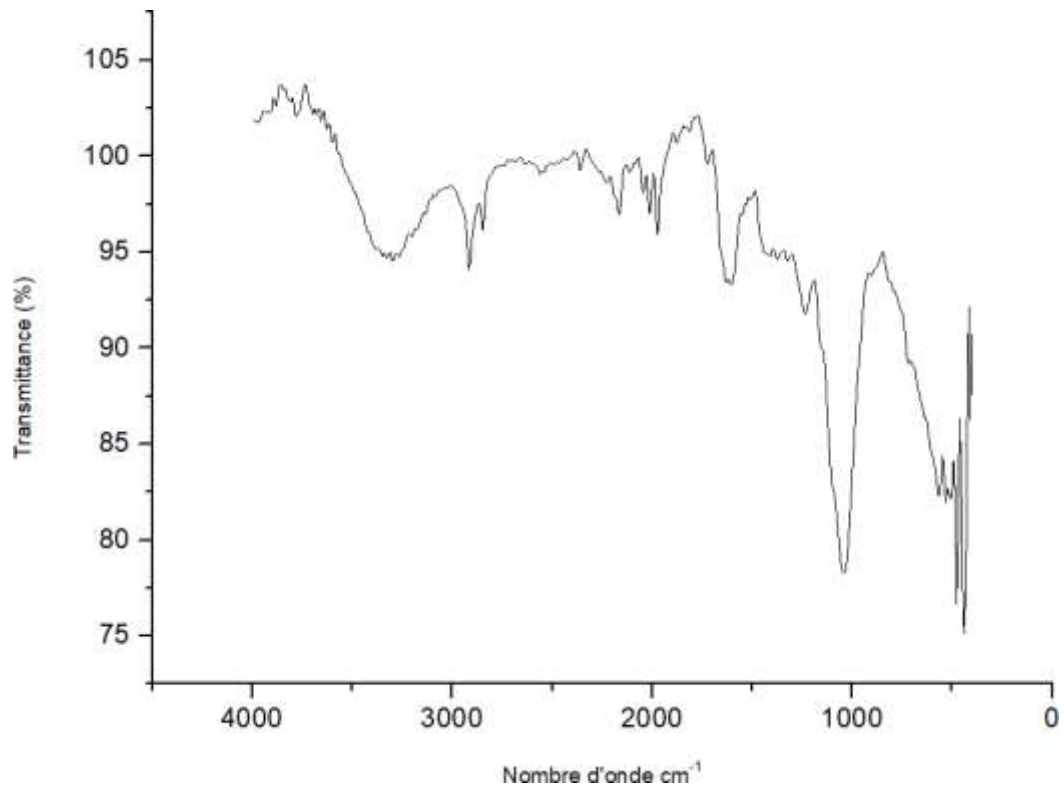
**Figure 35 : Spectre IR Acacia biochar**



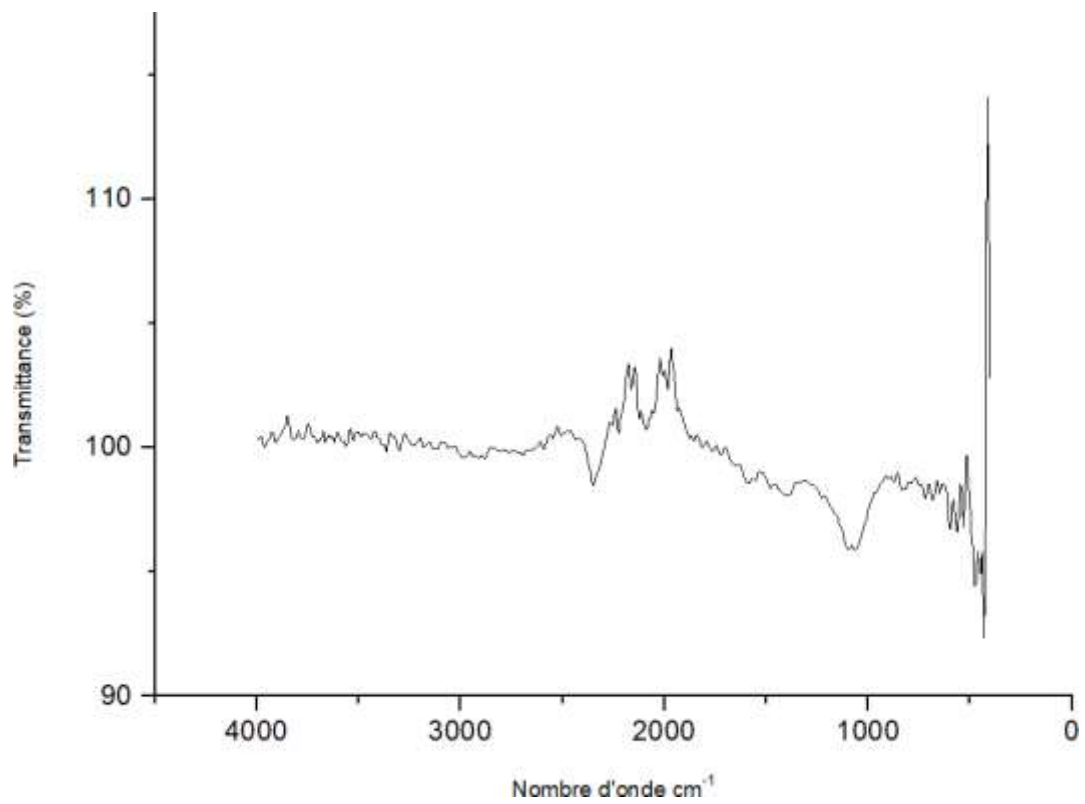
**Figure 36 : Spectre IR roseau frais**



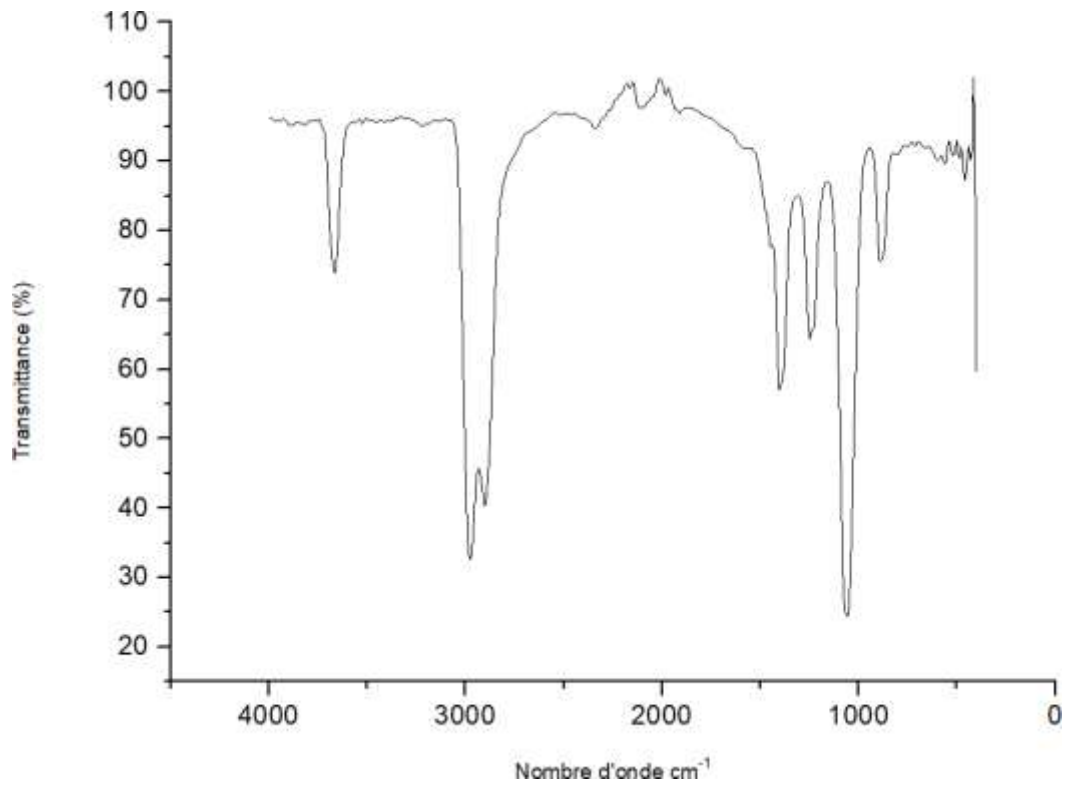
**Figure 37 : Spectre IR roseau biochar**



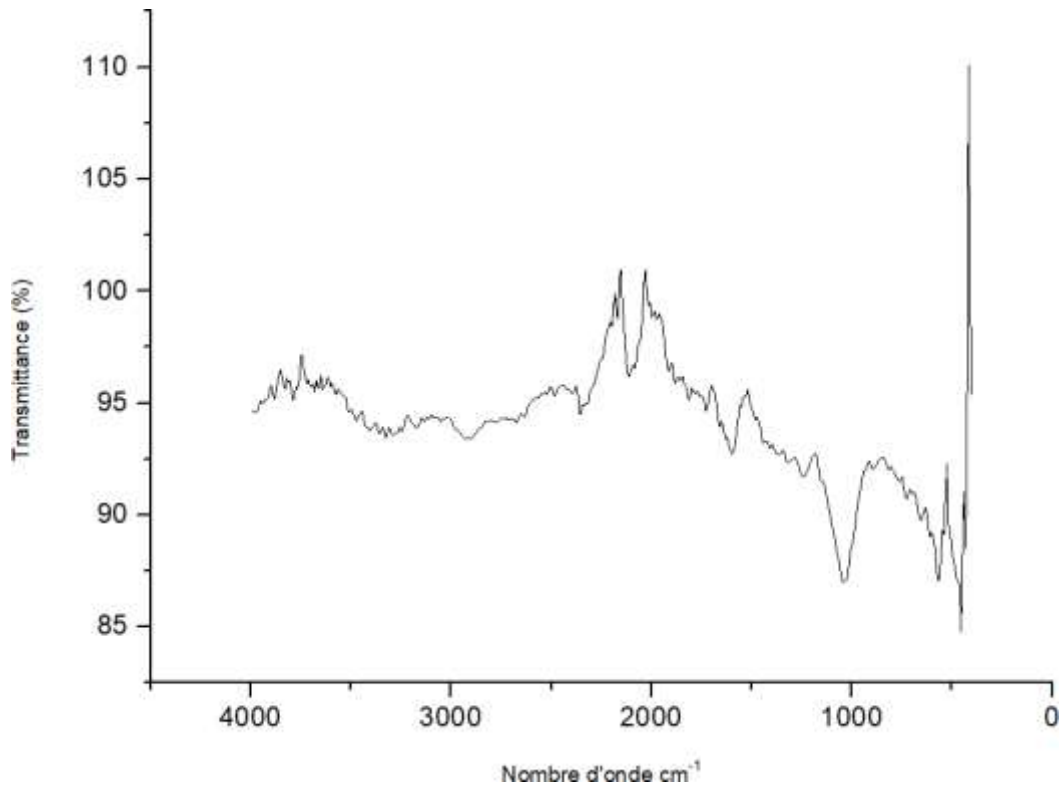
**Figure 38 : Spectre IR palmier frais**



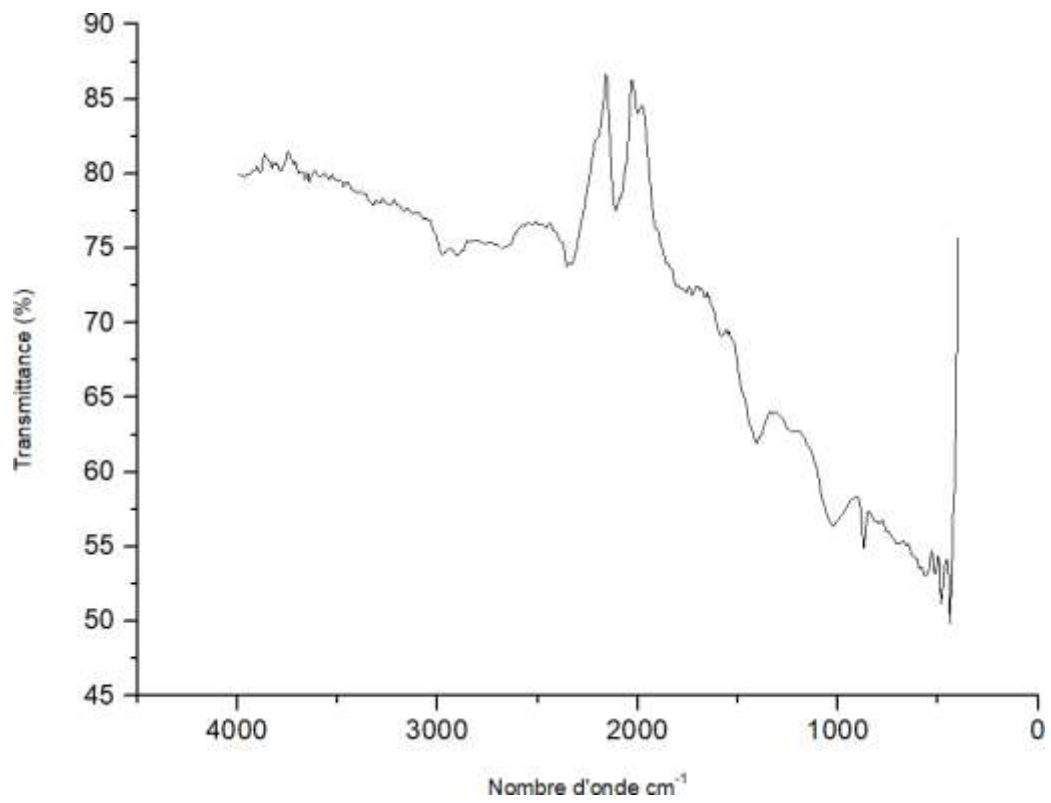
**Figure 39 : Spectre IR palmier biochar**



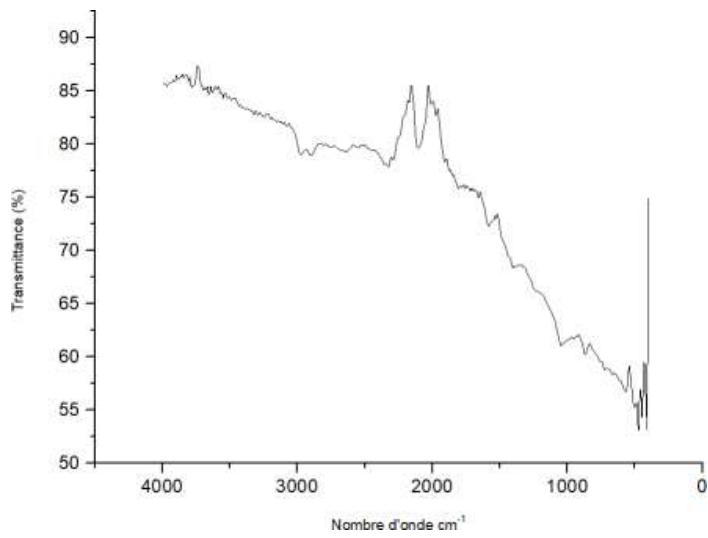
**Figure 40 : Spectre IR Casuarina frais**



**Figure 41 : Spectre IR Casuarina biochar**



**Figure 42 : Spectre IR biochar du bois dur**



**Figure 43 : Spectre IR Biochar (olivier+ roseau)**

**Tableau 8 :** Différentes bandes caractéristiques des constituants des fibres de bois

Nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ )	Type de vibration
3336-3747	Vibration d'élongation des groupements hydroxyles O-H
1980-2203	Vibration d'élongation des groupements nitriles $\text{C}\equiv\text{N}$
1745	Vibration d'élongation des groupements esters aliphatiques C-O
1511-1517	Vibration d'élongation des liaisons C=C des aromatiques
1028-1039	Vibration d'élongation des liaisons C-O-C
405-503	Vibration d'élongation des groupements C-X ( Chloroalcanes)

**Tableau 9 :** Les bandes d'adsorptions enregistrées des différents biochars analysés par SPIR

Nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ )	Type de vibration
3346-3350	Vibration d'élongation des groupements hydroxyles O-H
3300-3400	Elongation $\text{NH}_2$
2923-2925	Vibration d'élongation asymétrique des liaisons C-H des aromatiques
1851-1855	Harmonique des déformations C-H des aromatiques
1700-1750	Vibration d'élongations C=O des esters
1200-1320	Vibration d'élongation C-O des acides carboxyliques
1037-1042	Vibration d'élongation C-O

Les spectres IR des végétaux frais (acacia, roseau, palmier et roseau) présentent une bande de vibration à  $3700 \text{ cm}^{-1}$  qui sont attribués aux groupement OH de la cellulose et l'hémicellulose.

On remarque aussi des bandes de vibrations à  $2033\text{ cm}^{-1}$  qui sont attribués au groupement C-H. Ainsi qu'une bande de vibration à  $2126\text{ cm}^{-1}$  appartenant aux acides carboxyliques, et aussi une bande de vibration à  $1000\text{ cm}^{-1}$  correspondant aux aliphatiques.

Après analyse des spectres des végétaux frais et leurs biochars, on remarque que les groupements OH appartenant à la cellulose et à l'hémicellulose ont disparu ce qui a provoqué probablement l'apparition d'autres groupements comme les aromatiques qui sont responsables du carbone stable contenu dans les biochars.

**Conclusion :**

Cette étude s'est portée sur la caractérisation de biochar dérivés de bois et de produit de taille pour substrat horticole.

Les espèces utilisées lors de cette expérience sont : l'acacia, le roseau le palmier et le casuarina. Après fabrication des biochars dans un four à moufle à partir des biomasses présentes, on a obtenu un biochar qui probablement contient du carbone stable vu le taux de cendres des espèces de départ.

Au travers de sa capacité de séquestration du carbone de façon non réversible et stable mais également des impacts agronomiques très positifs qu'il peut avoir sur le sol, le biochar constitue un sujet d'étude intéressant.

L'existence de différents biochars suggère toutefois qu'il serait utile de mener des études complémentaires pour déterminer les qualités d'intrants et conditions de pyrolyse ou pyro-gazéification les plus adaptées pour optimiser l'ensemble des potentialités du biochar.

Outre les apports en phosphore, potassium et carbone, un point qui semble très important dans les circonstances actuelles de sécheresses à répétition concerne la capacité de rétention d'eau importante du biochar, qu'il conviendrait également de tester.

En terme de perspective pour cette étude on pourra suggérer :

Le MEB et la BET qui s'avèrent indispensables afin d'évaluer la porosité de nos biochars.

## Référence bibliographiques

- [1] **Khalifa, K., (1997).** *Différents aspects des problèmes environnementaux.* DEA géoscience de l'environnement-chercheur au centre d'économie et d'éthique pour l'environnement et le développement (C3ED), Université de Versailles/Quentin-enYvelines, France.
- [2] <https://www.fao.org/4/W9950F/W9905f04.htm> *les forêts, source d'avantages pour l'environnement et pour la société*
- [3] **Walker, A. (2005).** *L'encyclopédie du bois-le catalogue illustre de toutes les essences, leurs caractéristiques et leurs usages.* Hachette pratique
- [4] **Jebrane, M. (2009).** *Fonctionnalisation chimique du bois par transesterification des esters d'enol,* Thèse de doctorat, Bordeaux, France.
- [5] **H. Kambo, A. Dutta,** *A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications,* Renew. Sustainable Energy Rev. Vol. 45, pp. 35-378, (2015)
- [6] **M. Sukiran, S. Loh, N. Abu, Y. Choo.** *Production and Characterization of Bio-char from the pyrolysis of Empty Fruit Bunches,* Am. J. Appl. Sci., vol 8 (10), pp. 984-988, 2011. DOI : <http://doi.org/10.3844/ajassp.2011.984.988>
- [7] **Y. OUADDOU (2017).** *Contribution à l'étude de la durabilité de bois algérien cas : Chêne zeen, Chêne afarès et Pin maritime.* Thèse de doctorat. Université M'hamed BOUGARA-BOUMERDES, (page22)
- [8] **I. SOARES, B. VANDROUX, N. MAGALON (2010).** *Le bois, les matériaux.* Référentiel conception et gestion des espaces publics, GRAND LYON communauté urbaine
- [9] **Xi, ZHANG (2021).** *Surveillance et Auscultation des Ouvrages en bois par Identification des Champs Hydrique et Mécanique : Couplage des Méthodes Acoustiques et Electromagnétiques.* Thèse de doctorat. Université de Limoges, (page 25)
- [10] **TAYLOR, A.M., GARTNER, B.L., MORREL, J.J (2002).** **Heartwood formation and natural durability a review. Wood Fib. Sci. 34(4) : 587-611.**
- [11] **M. MONIRUZZAMAN and T.Ono, (2012)** *Ionic assisted enzymatic delignification of wood biomass : A new green and efficient approach for isolating of cellulose fibers,* Biochemical Engineering Journal, vol-60, 156-160

- [12] **B. JOUREZ (2010).** *Anatomie et identification des bois*, Thèse de doctorat, Liège, Belgique.
- [13] **I. HADDADOU. (2015)** *Etude des propriétés des membranes cellulosiques issues de différentes espèces de bois Algérien*. Thèse de doctorat. Université M'hamed BOUGARA-BOUMERDES, (page 16)
- [14] Biomasse NORMANDIE, Encyclopédie du bois-énergie, Composition chimique du bois
- [15] **T. STEVANOVIE, D. PERRIN** *chimie du bois*, Presses polytechnique et universitaire romandes, 2009 CH-1015 Lausanne, Suisse
- [16] **Stevanovic, T.J. (2014).** *Notes de cours chimie des constituants végétaux II*. Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec, Canada
- [17] **Navi, P. & Heger, F. (2005).** *Comportement thermo-hydrromécanique du bois*, Presses polytechniques et universitaires romandes
- [18] **Mbagou. J. B. (2017).** *Variabilité intra-arbres des propriétés physico-mécaniques et chimiques du *Tasmania Africana* en provenance du Gabon*, Thèse de doctorat, Québec, Canada.
- [19] **Croteau, R., Kutchan, T. M., Lewis, N. G. (2000).** *Natural products (secondary metabolites). Biochemistry and molecular biology of plants*. W. G. B. Buchaman, R. Jones, American society of plants physiologists, pp.1250-1318.
- [20] **Bruneton, J. (1999).** *Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales*. 3eme édition, Lavoisier Techniques et Documentation, Paris. pp.1120.
- [21] **Harbornes J.B.** *Plant phenolics. In : Secondary plant products. Encyclopedia of plant physiology*, Bell EA, Charwood BV, eds Springer-Verlag, Berlin, 1980, pp.329-402.
- [22] **Harborne J.B.** *The flavanoids-advances in research since 1980*, Chapman and Hall, New York, 1988, 621
- [23] **Haslam E.** *Plant polyphenols. Vegetable tannins revisited*, Cambridge university press. Cambridge, 1989, 230
- [24] **Santos-Buelga C, Scalbert A.** *Proanthocyanidins and tanins- like compounds- nature occurrence. Dietary intake and effects on nutrition and health*. J. Sci. Food agric. 80, 2000, pp. 1094-1117
- [25] **S. LAURIN-LANCTOT. (2015)** *Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomates sous serre : Rétenion en nutriments, activité biologique et régie de fertilisation*. Maitrise en sol et environnement, Québec, Canada
- [26] **Luc Gérard Onana Onana.** Ied Afrique, Innovation Environnement Développement. Université de Grand Belgique

- [27] **BREWER, C.E., UNGER, R., Schmidt-Rohr,K., BROWN, R.C.,** ( 2011) Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties. *BioEnergy Research* 4, 312-323.
- [28] **R. LECOCQ. Plein champ, Tout savoir (ou presque) sur le biochar.**
- [29] **O. KEECH ., C.,CARCAILLET., M.C., NILSSON** (2005) Adsorption of allelopathic compounds wood-derived charcoal : The Role of Wood Porosity, *Pant Soil*,272 :291-300
- [30] **S.SCHIMMELPFENNING. B.GLASSER** (2012). *One step forward toward characterization : some important material properties to distinguish biochars.* *Journal of Environmental Quality* 41, 1001-1013.
- [31] **R. PRINS., T. WAYNE., J.MARIER., A. GEOFF., C.TIM., and D.BRANDON** (2011) *Design Construction and Analysis of A Farm-Scale Biochar Production System, Catalyzing Innovation, March 24-26*
- [32] **ANALYSE.** (2022) *Intérêt de l'utilisation du biochar en agriculture.* Association de recherche technique de betteravière
- [33] **A.DOWNI., A.CROSKY., and P.MUNROE.,** (2009). Physical Properties of Biochar. In *Biochar for Environmental Management*, ed Lehmann J., and Joseph S., London Eaethscan Publication, 12-32
- [34] **SINGH,R., Babu,J.N., Kumar,R., Srivastava,P., Raghubanshi,A.S.** (2015) Multifaceted application of crop residue biochar as a tool for subtainable agriculture : An ecological perspective. *Ecological Engineering*
- [35] **A. TOMCZYK., Z.SOKOLOWSKA., P.BOGUTA.** (2020). *Biochar physicochemical properties : pyrolysis temperature and feedstock kind effects.* *Rev Environ Sci Biotechnol* 19 :191-215.
- [36]**B.LIANG.,D.SOLOMON.,J.KINYANGL.,J.GROSSMAN.,B.O'NEILL.,J.OSKJEMS TAD.,THIES,J., LUIZAO,F.J.,PETERSEN, J.,NEVES,E.G.,** (2006). Black Carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70,1719-1730.
- [37] **CHENG,C.H., LEHMANN,J.,THIES,J.EBURTON,S.D.,ENGELHARD,M.H.,** (2006). *Oxidation of blackcarbon by biotic and abiotic process.* *Organic Geochemistry* 37,1477-1488.

- [38] RAJKOVICH,S., ENDERS,A., HANLEY,K., HYLAND,C., ZIMMERMAN, A.R., LEHMANN,J., ( 2012). *Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils* ,271-284.
- [39] GOYAL,HB., SEAL, D, SAXENA, RC.(2008) *Bio- Fuels from thermochemical conversion of renewable resources : A review*, 12, 504-517
- [40] NEVES,D., THUNMAN,H., A et al. (2011) *Characterization and prediction of biomass pyrolysis products*,37, 611-630.
- [41] SAXENA, RC., DIPTENDU, S., KUMAR, S., GOYAL,HB.(2008) *Thermo-chemical routes for hydrogen rich gas from biomass : a review*, 12, 1909-1927.
- [42] M.F.ALLER, ( 2016). *Biochar properties : Transport, fate, and impact*, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, vol, 46 no 14-15, p. 1183-1296.
- [43] K.WEBER et P.QUICKER, (2018) *Properties of biochar*, Fuel, vol. 217, p. 240-216.
- [44] <http://www.biochar-international.org/technology>.
- [45] C. Di BLASI, C.BRANCA, A.SANTORO, et E.GONZALEZ HERNANDEZ, (2001) *Pyrolytic behaviour and products of some wood varieties*, *Combustion and Flame*, vol.124 no 1, p. 165-177.
- [46] A.DEMIRBAS and G.ARIN, (2002) *Energy Sources, Part A : Recovery, Util., and Environ*, *EFF*, vol. 24, p. 471.
- [47] ZHANG.Z., Z., CHEN, B., LIU, L. (2019) *Insights into biochar and hydrochar production and applications : A review*. *Energy*, 171,581-598.
- [48] B. NUNEZ., (2023). *Le parisien jardin*, Toutes les plantes.
- [49] Mimosa Cassier : <https://www.lepeupledacote.com/plante/acacia-vachellia-senegalia>.
- [50] R. HARRIS., E.KARMAS., (1977), *Nutritional evaluation of food processing*, 3rd ED. The Avi Publishing company Inc, New York. 612 p.
- [51] Ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune des Parc, Québec.

- [52] Hauber, D.P., Saltonstall, K., White, D.A. et Hood, C.S. (2011). *Genetic variation in the common reed, Phragmites australis, in coastal marshes of eastern North America*. Aquatic Botany, 95(3), 160-170.
- [53] Comité Zip de la Rive Nord de l'Estuaire, *plantes envahissantes et nuisibles, Roseau commun*, Québec
- [54] O.BENOUAMANE.,(2023), *Caractérisation génétique et pharmacologique du pollen et des pennes du palmier dattier ( Phoenix dactylifera L) dans la région de Biskra*. Thèse de doctorat. Université Mohamed KHIDHER, BISKRA, (page 6)
- [55] Baker, W. J., Savolainen, V., Asmussen- Lange, C. B., Chase, M. W., Dransfield, J., Forest, F., ... & Wilkinson, M. (2009). *Complete generic- level phylogenetic classification of the palm family (Arecaceae) based on molecular data*. Botanical Journal of the Linnean Society, 160(4), 559-589.
- [56] Jardinage le monde <https://jardinage.lemonde> Dattier (Phoenix dactylifera), fr le palmier dattier- Binette & jardin
- [57] A.NECIB., L.BOUGHEDIRI., (2014) *Analyse aéropalynologique du genre Casuarina ( Casuarinaceae) dans la région de Sidi Amar (Annaba, Nord-Est Algérien)*, Université BADJI Mokhtar, ANNABA.
- [58] Steane, D. A., Nicolle, D., Sansaloni, C. P., Petroli, C. D., Carling, J., Kilian, A., ... & Vaillancourt, R. E. (2011). *Population genetic analysis and phylogeny reconstruction in Eucalyptus (Myrtaceae) using high-throughput, genome-wide genotyping*. Molecular Phylogenetics and Evolution, 59(1), 206-224
- [59] K.BELAID., LUKE J.POTGIETER, S.AMRANI, M.ZIZI., H.GHERBI., *Casuarina species in Algeria : Reviewing identity, distribution and symbiotic status*. Université de sciences et technologie de Houari BOUMEDIENE (USTHB).
- [60] Boras,M., (2015) . Etude comparative et optimisation de prétraitement des écorces de bois pour l'extraction des composés phénoliques UTC (Université Technologie Compiègne) .[61] Ferdjani,S ., Slimani,O ., (2020). *Valorisation du bois de chêne zeen et chêne afarès* . Mémoire de Magister en chimie de l'environnement. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou ; Faculté des sciences.

- [62] Dahou, N., Yamni, K., Tahrouche, S., Idrissi, L.M., Badoc, A., Gmira, N., (2013). Screening phytochimique d' une endémique Ibéro-Marocaine. *Thymelaea lythroides*. *Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux*. Vol 142, pp 61-78
- [63] Kumar, U., Kumar, B., Bhandari, A., Kumar, Y., (2010). Phytochemical investigation and comparison of antimicrobial screening of clove and cardamom. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. Vol 1, pp 138-147
- [64] NANCY.D., (2009) : *Chimie de bois*. Xavier DEGLISE. Professeur émérite à UnivHentri-Poincaré. Past Président de l'Internatinnel Academy of Wood Science. 225p.
- [65] Michel Aubineau .( 2002). LAROUSSE AGRICOLE . 4<sup>ème</sup>. Paris : Larousse
- [66] **Propriétés physicochimiques des 43 biochars. (2018)**, rapport technique, CRMR-2018-SA1

**Annexe 1 :** Les résultats des pesées obtenus lors des mesures de taux d'humidité sont donnés dans le tableau suivant :

Type de bois	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	Taux d'humidité(%)	Moyenne (%)
<b>Acacia</b>	12,2057	14,2057	14,0953	5,8425	5,3683
	12,0411	14,0411	13,9328	5,7250	
	11,9015	13,9015	13,7946	5,6468	
	12,2250	14,2250	14,1433	4,2589	
<b>Roseau</b>	12,2250	14,2250	14,0539	9,3553	9,2343
	13,1598	15,1598	14,9809	9,8237	
	13,3906	15,3906	15,2249	9,0334	
	13,1192	15,1192	14,9587	8,7251	
<b>Palmier</b>	17,4985	19,4985	19,3201	9,7935	10,1964
	17,7939	19,7939	19,6052	10,4179	
	17,3780	19,3780	19,1236	10,8770	
	17,3198	19,3198	19,1430	9,6972	
<b>Casuarina</b>	18,0375	20,0375	19,8749	8,8494	9,6596
	17,9924	19,9924	19,8244	9,1703	
	17,9888	19,9888	19,8080	9,9384	
	17,5407	19,5407	19,3477	10,6806	

**Annexe 2 :** Les résultats des pesées obtenus lors des mesures de taux de cendre sont donnés dans le tableau suivant :

Type de bois	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	Taux de cendre (%)	Moyenne (%)
<b>Acacia</b>	12,2057	14,2057	12,2257	1,0000	1,0012
	12,0411	14,0411	12,0578	0,8350	
	11,9015	13,9015	11,9189	0,8700	
	12,2250	14,2250	12,2510	1,3000	
<b>Roseau</b>	12,2250	14,2250	12,3233	4,9150	5,0850
	13,1598	15,1598	13,2595	4,9850	
	13,3906	15,3906	13,4980	5,3700	
	13,1192	15,1192	13,2206	5,0700	
<b>Palmier</b>	17,4985	19,4985	17,7149	10,8200	10,8937
	17,7939	19,7939	18,0056	10,5850	
	17,3780	19,3780	17,6117	11,6850	
	17,3198	19,3198	17,5295	10,4850	
<b>Casuarina</b>	18,0375	20,0375	18,1974	7,9950	8,0912
	17,9924	19,9924	18,1554	8,1500	
	17,9888	19,9888	18,1482	7,9700	
	17,5407	19,5407	17,7057	8,2500	

**Annexe 3 :** Les résultats obtenus lors des mesures du potentiel hydrogène pH sont donnés dans le tableau suivant :

Type de bois	pH de la phase liquide
<b>Acacia</b>	5,55
<b>Roseau</b>	6,60
<b>Palmier</b>	5,98
<b>Casuarina</b>	6,57

**Annexe 4 :** Les résultats obtenus lors des mesures de la conductivité électrique sont donnés dans le tableau suivant :

Type de bois	Conductivité électrique( $\mu\text{s/cm}$ )
<b>Acacia</b>	626,25
<b>Roseau</b>	880,5
<b>Palmier</b>	1366,5
<b>Casuarina</b>	417

**Annexe 5 :** Les résultats obtenus lors de l'analyse phytochimique sont donnés dans le tableau suivant :

Composés	Mode opératoire	La couleur	Résultats	
<b>Alcaloïdes</b>	On ajoute 2 gouttes du réactif de Dragendroff à 5ml de l'infusé préparé	Précipité rouge	Acacia	+
			Roseau	-
			Palmier	-
			Casuarina	-
<b>Flavonoïdes</b>	5ml de l'infusé préparé + 5ml de HCL ( 1N) + 1ml d'alcool butanol + copeaux de Mg	Rouge orangé	Acacia	-
			Roseau	+
			Palmier	+
			Casuarina	-
<b>Tanins</b>	On ajoute goutte à goutte de la solution aqueuse $FeCl_3$ (5%) à 5ml de l'infusé préparé	Verdâtre	Acacia	-
			Roseau	-
			Palmier	-
			Casuarina	+
<b>Tanins galliques</b>	On sature le filtrat par l'acétate de sodium anhydre puis on ajoute quelques gouttes de $FeCl_3$	Noirâtre	Acacia	-
			Roseau	-
			Palmier	-
			Casuarina	-



**Identification des Alcaloïdes**



**Identification des Flavonoïdes**



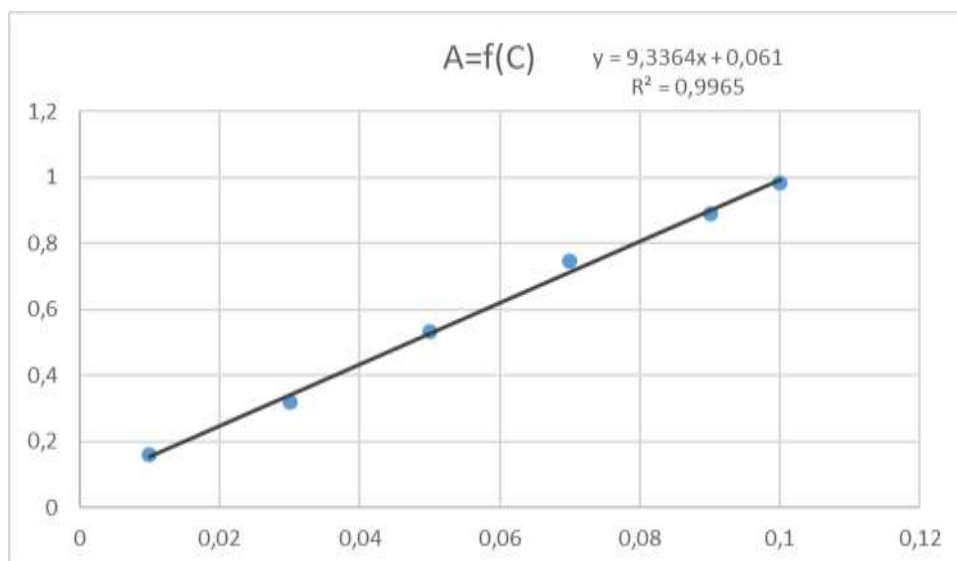
### Identification des tanins

**Annexe 6 :** Les résultats des absorbances et taux de polyphénols des échantillons avec le Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) sont donnés dans le tableau suivant :

Type de bois	Absorbance 1	Absorbance 2	Absorbance 3	Absorbance moyenne	Taux de polyphénols (%)
<b>Acacia</b>	0,5634	0,5675	0,5640	0,5649	6,05
<b>Roseau</b>	0,8009	0,7938	0,7938	0,7961	8,52
<b>Palmier</b>	0,6205	0,6207	0,6195	0,6202	6,64
<b>Casuarina</b>	0,9740	0,9709	0,9664	0,9704	10,39

**Annexe 7 :** Les résultats des absorbances d'acide gallique (0,5 g/l) avec Folin-Ciocalteu dilué 10 fois sont donnés dans le tableau suivant :

C (g/l)	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,1
<b>Abs</b>	0,1589	0,3185	0,5334	0,7478	0,892	0,9834

**Annexe 8 :** La courbe d'étalonnage d'acide gallique avec du folin dilué 10 fois**Annexe 9 :** Les résultats des pesées obtenus lors des mesures de taux de cendre pour les biochars sont donnés dans le tableau suivant :

Type de biochar	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	Taux de cendre (%)	Moyenne (%)
<b>Bois dur</b>	12,2043	14,2043	13,2042	49,9900	52,9875
	12,2438	14,2438	13,2856	52,0900	
	13,1684	15,1684	14,2698	55,0700	
	13,1371	15,1371	14,2331	54,8000	
<b>Mélange (olivier + roseau)</b>	17,7775	19,7775	18,5422	38,2350	35,3475
	17,4912	19,4912	18,1203	31,4550	
	18,0030	20,0030	18,7340	36,5500	
	17,5477	19,5477	18,2507	35,1500	

**Annexe 10 :** Les résultats obtenus lors de mesure du potentiel hydrogène pH des biochars sont donnés dans le tableau suivant :

Type de biochar	pH
<b>Bois dur</b>	10,34
<b>Mélange (olivier + roseau)</b>	9,91

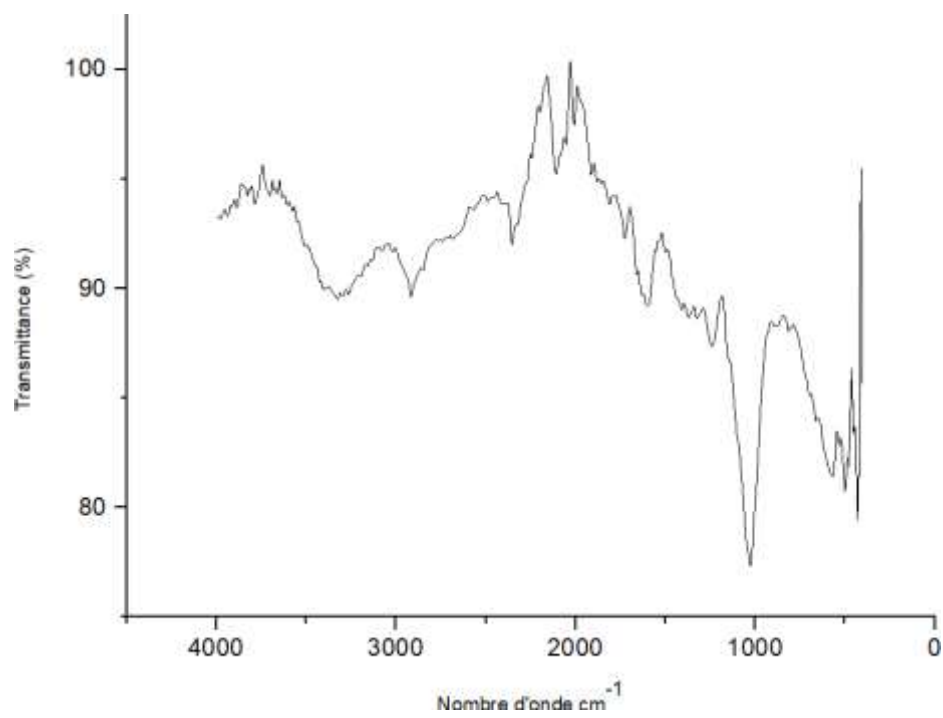
**Annexe 11 :** Matériels et produits utilisés lors de la réalisation de la partie expérimentale sont donnés dans le tableau suivant :

<b>Expériences effectuées</b>	<b>Matériels utilisés</b>	<b>Produits utilisés</b>
<b>Préparation des échantillons</b>	-Broyeur -Tamis vibreur	Copeaux de bois
<b>Taux d'humidité</b>	-Creusets - Balance analytique - verre de montre - Spatule -Etuve	Les poudres de bois
<b>Taux de cendre</b>	-Creusets - Balance analytique - Spatule -Four à moufle - Dessiccateur	Les poudres de bois
<b>Taux de polyphénols</b>	- Pipette de 10 ml -Micropipette -Fiole jaugée 1000 ml -Fiole jaugée 100 ml -Fiole jaugée 50 ml -Fiole jaugée 25 ml -Fiole jaugée 10 ml -Balance précise -Agitateur magnétique- -Barreaux aimanté -Bécher -Pissette d'eau -Erlenmeyer 100 ml avec -Bouchons -Entonnoir -Papier filtre -Tubes à essais -Porte tubes à essais -Bain marie -Spectrophotomètre UV	- Les échantillons de bois -Méthanol à 80 % (CH <sub>3</sub> OH) -Eau distillée (H <sub>2</sub> O) -Folin-Ciocalteu -Carbonate de sodium(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) -Acide gallique (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub> )

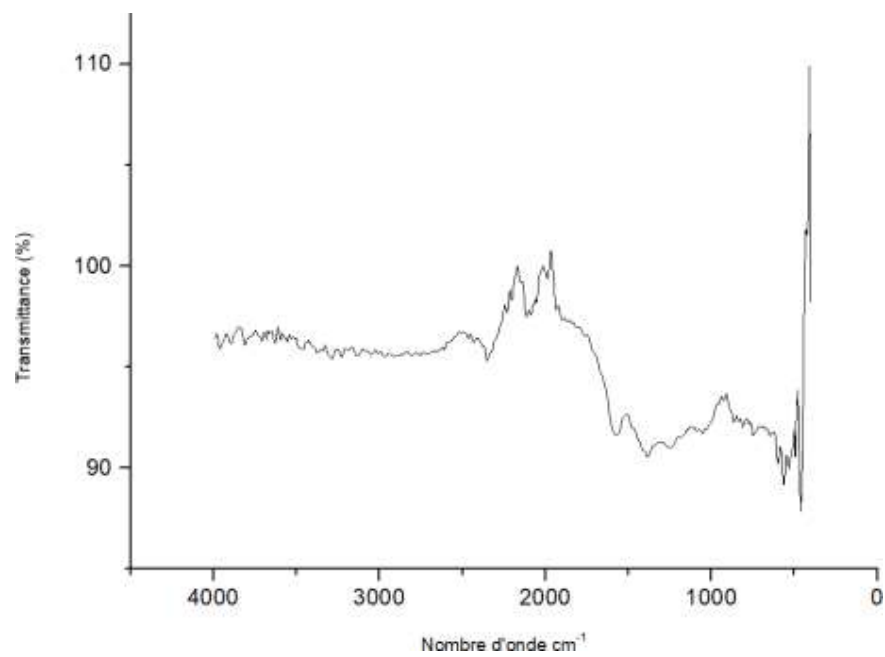
<b>Mesure du potentiel hydrogène (pH)</b>	-Balance analytique - Spatule - Bouteilles en verre -Béchers -Pissette d'eau -pH mètre	-Les poudres de bois - Eau distillée
<b>Conductivité électrique</b>	-Balance analytique -Spatule -Béchers -Pissette d'eau -Conductimètre	-Les poudres de bois -Eau distillée
<b>Analyse phytochimique (identification des composés phénoliques)</b>	-Balance analytique -Erlenmeyer 250ml -Béchers -Papier filtre -Mortier et pilon -Pissette d'eau -Fiole 100ml -Tubes à essais -Entonnoir -Seringue de 2ml	-Les poudres de bois -Eau distillée bouillante -Réactif de Dragendroff -Solution aqueuse de chlorures ferrique $FeCl_3$ -Acétate de sodium anhydre -Acide chloridrique HCL (1N) -Alcool butanol -Copeaux de Mg
<b>Fabrication du biochar</b>	-Creusets -Spatule -Four à moufle	- Les poudres de bois
<b>Spectroscopie IR</b>	- Spectromètre infrarouge	-Les poudres de bois

Annexe 12 : Les résultats de l'analyse spectrale par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) sont présentés ci-dessous :

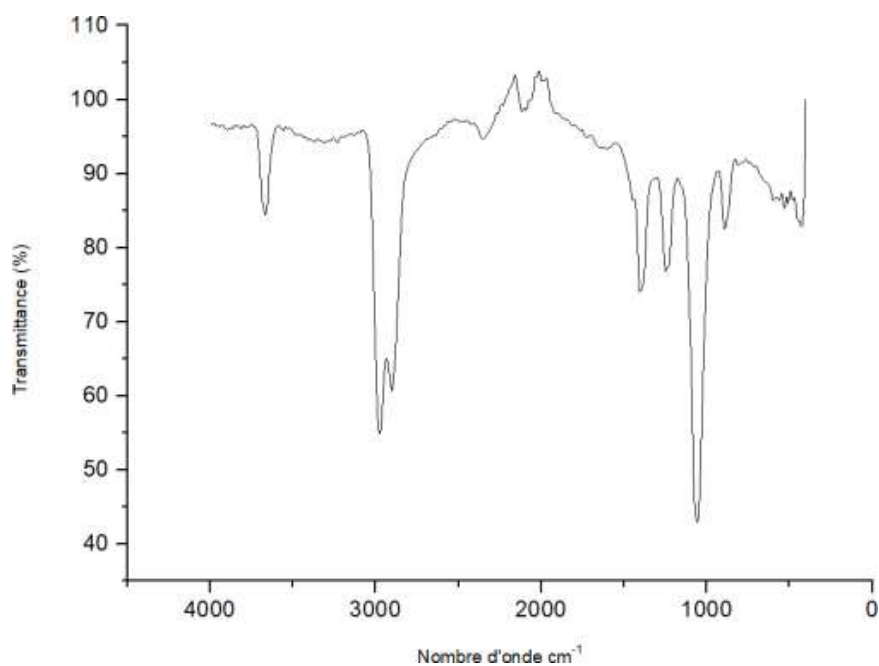
### Acacia frais



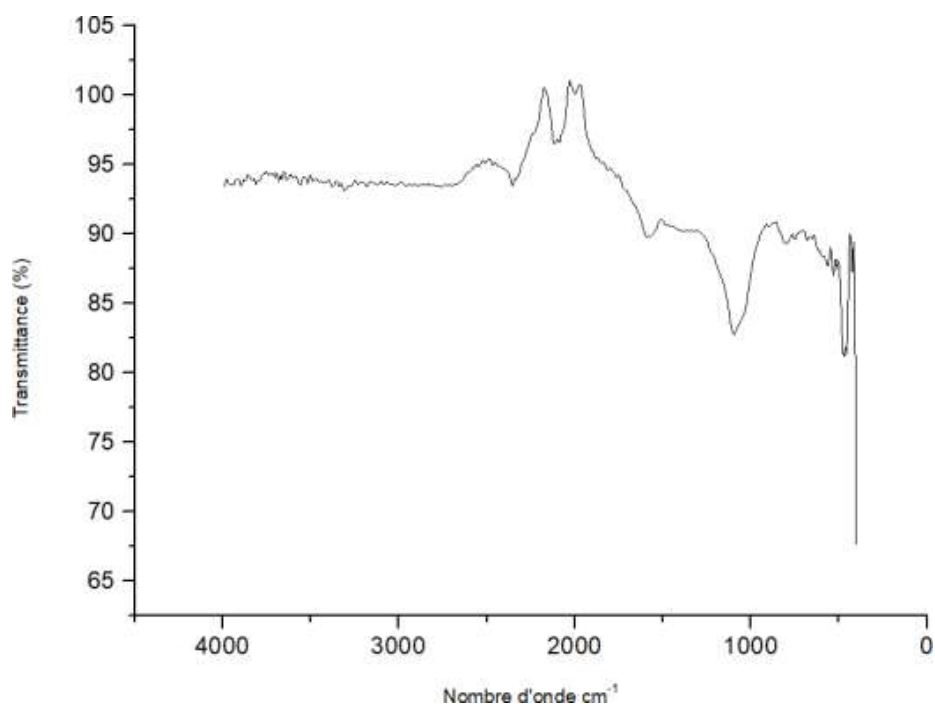
### Acacia biochar



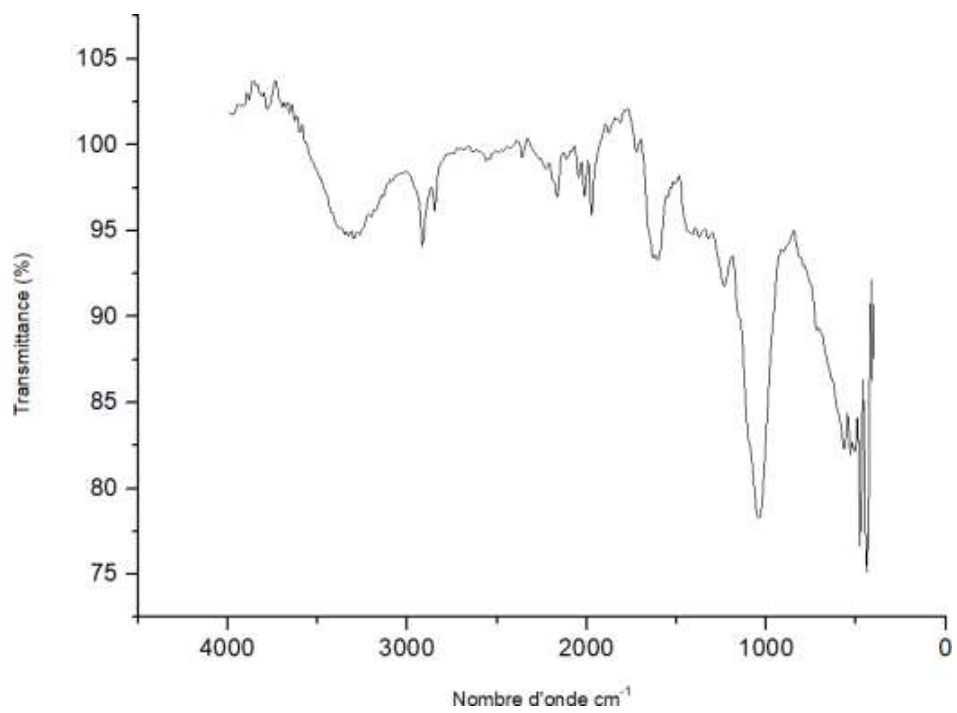
### Roseau frais



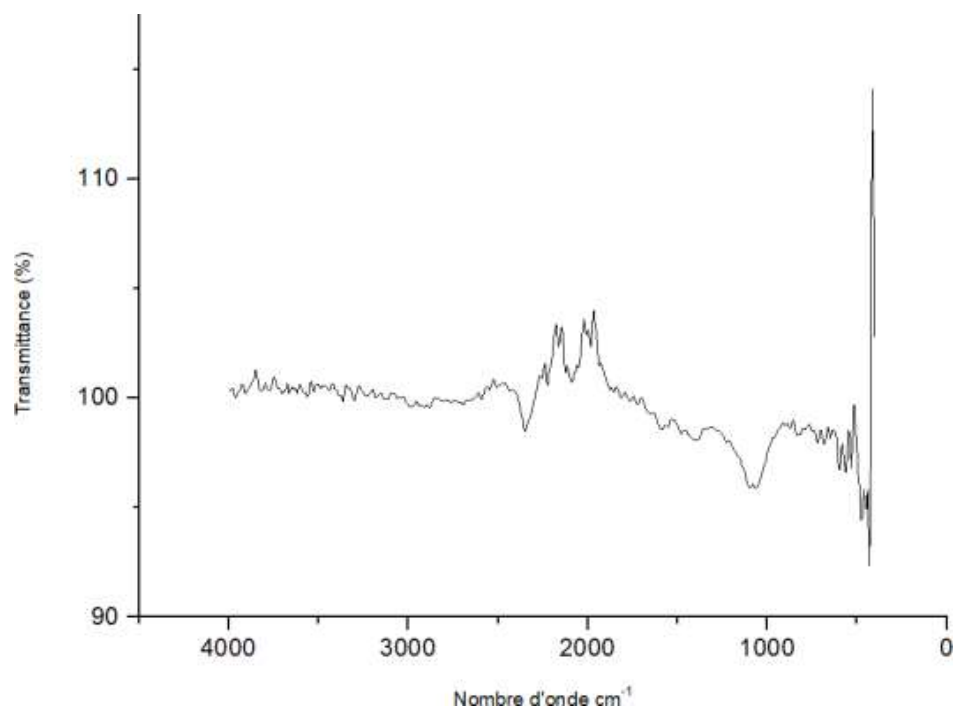
### Roseau biochar



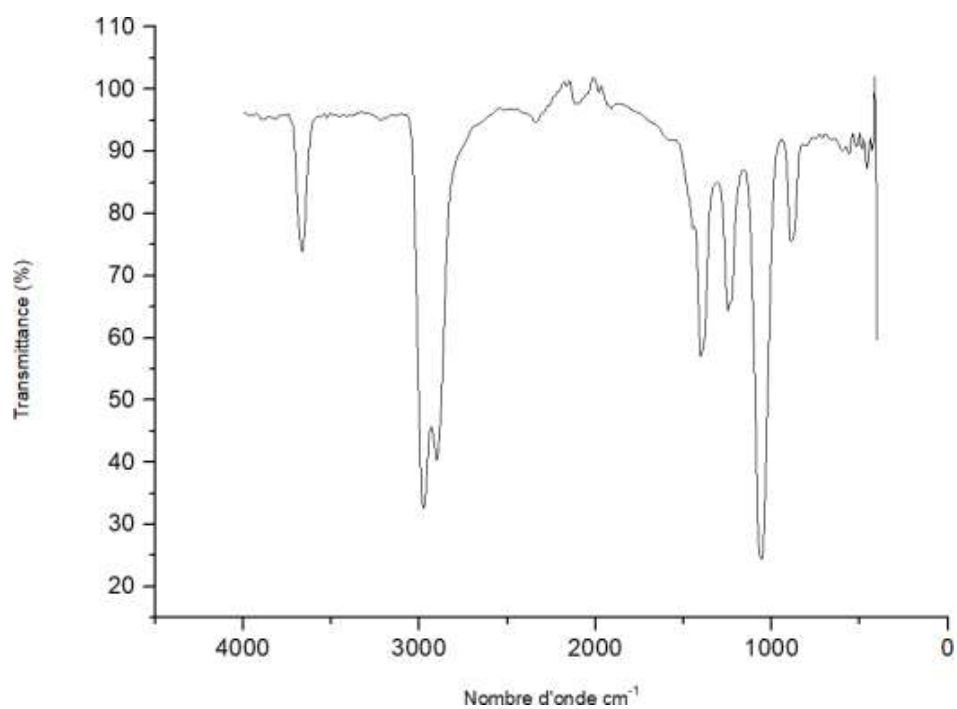
### Palmier frais



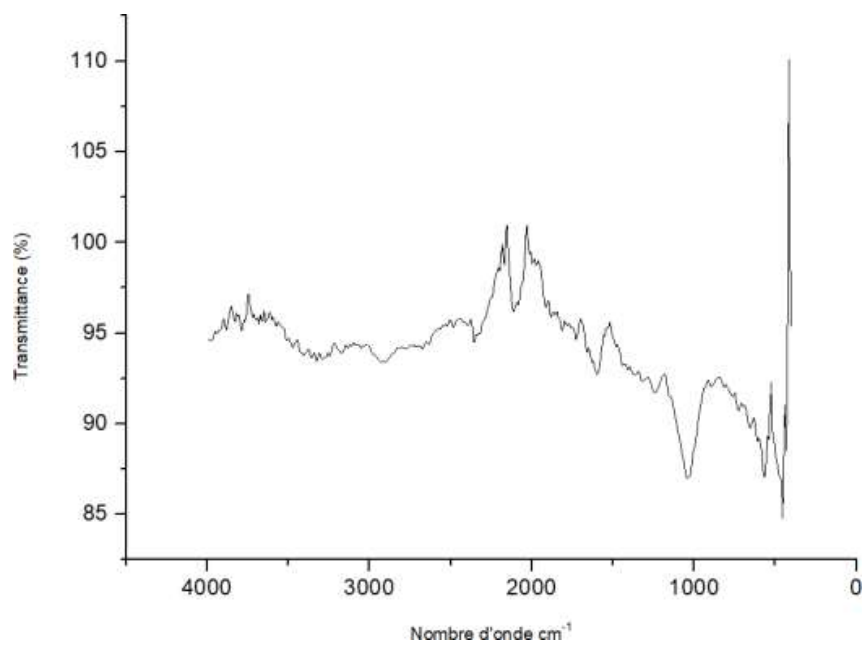
### Palmier biochar

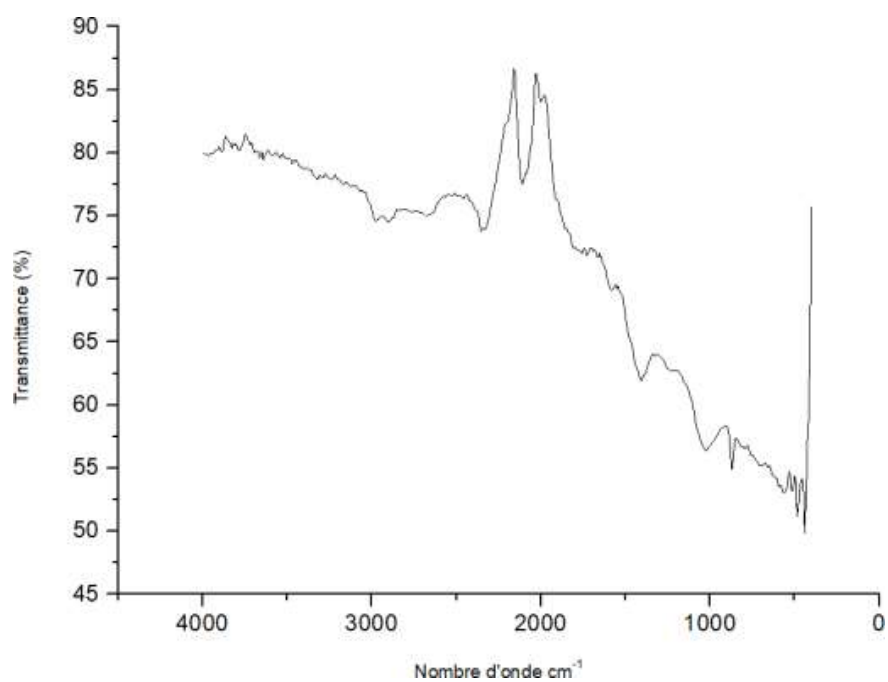
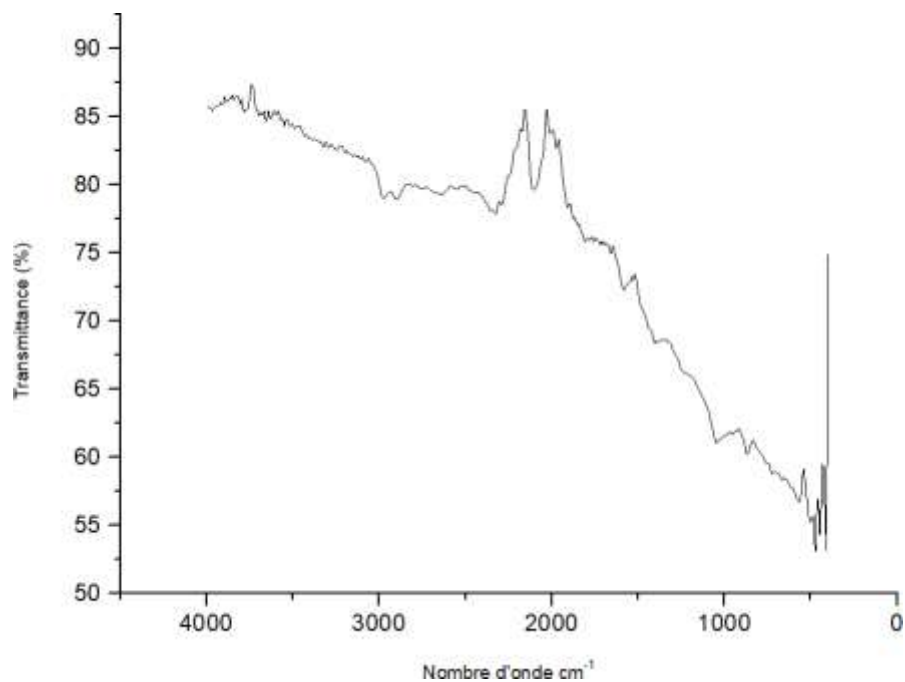


### Casuarina frais



### Casuarina biochar



**Biochar bois dur****Biochar olivier + roseau**

## **Résumé :**

L'objectif de ce travail est la caractérisation de biochars dérivés de bois et de produits de taille pour substrats horticoles.

Afin de réaliser cette caractérisation plus d'analyses ont été effectuées à savoir : la détermination de taux d'humidité, taux de cendres, taux de polyphénol, la mesure du pH et de la conductivité électrique, l'identification des composés phénoliques, fabrication du biochar à partir des biomasses végétales présentes, ainsi que le taux de cendre et la mesure du pH pour deux biochars fabriqués ailleurs, et aussi une caractérisation spectrale par infrarouge.

Les résultats montrent que ces quatre espèces étudiées peuvent être utilisées pour la production du biochar. Ce biochar peut ensuite être utilisé comme amendement pour le sol et grâce à la structure stable de son carbone ce matériau peut séquestrer le CO<sub>2</sub> au sol participant ainsi à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'air .

**Mots clés :** Acacia, Roseau, Palmier, Casuarina, CO<sub>2</sub>, caractérisation, biochar

## **Summary :**

The objective of this work is the characterization of biochars derived from wood and cutting products for horticultural substrate.

In order to this characterization further analysis has been carried out namely: determination of moisture levels, ashes levels, polyphenol levels, measurement of pH and electrical conductivity, identification of phenolic compounds, manufacture of the biochar from plant biomasses present, as well as the ashes rate and pH measure for two biochar manufactured elsewhere, and also spectral characterization by infrared.

The results show that these four species studied can be used for the production of the biochar. This biochar can then be used as an amendment for the soil and thanks to the stable structure of its carbon this material can capture the CO<sub>2</sub> in the ground thus contributing to the reduction of CO<sub>2</sub> emissions in the air.

**Keywords:** Acacia, Roseau, Palmier, Casuarina, CO<sub>2</sub>, characterization, biochar