

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



Faculté des sciences

Département de chimie

Mémoire de MASTER

Spécialité : chimie de l'environnement

Thème

Caractérisation et valorisations des taillis locaux (olivier, murier, oranger, figuier, grenadier, eucalyptus)

Présenté par : M^{elle} BENNOUR Lamy

M^{elle} BENBELKACEM Souhila

Déposé le : Octobre 2021

Devant le jury composé de :

Mr KADOUICHE Slimane	MCA	Président	UMMTO
Mr RAHMOUNE Med Ameziane	MCB	Examineur	UMMTO
M ^{me} LOUNI Dalila	MAA	Promotrice	UMMTO
M ^{me} MOUAS BOURBIA Sophia	MCA	Co promotrice	UMMTO



Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir accordé le succès et de mobiliser les personnes qui nous ont aidé à avancer, et de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce modeste travail.

Nous remercions nos parents pour leur soutien et leur confiance en nos capacités et leur sincères prières.

Nous remercions chaleureusement M^{me} LOUNI notre promotrice d'abord pour cette thématique intéressante et aussi pour son suivi, ses conseils, sa confiance, sa patience et sa disponibilité.

Nous remercions également les membres de jury Mr KADOUICHE S le président du jury et Mr RAHMOUNE M d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions aussi M^{me} BOURBIAS notre Co promotrice et toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.



Je dédie ce travail :

A ma mère et mon père ma sœur Sara et mon frère Wassim

A mes grands parents paternelles et maternelle

A toutes ma famille paternelle « BENBELKACEM » ; et maternelle « SID »

A ma binôme Lamya

A tous mes amis Safia ; Nassima ; Ilhem ; Kenza ; Daya ; Thinhinane

SOUHILA



Je dédie ce travail :

A la mémoire de papa.

A maman, quoi que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton amour et ton affection me couvrent, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force.

A la mémoire de ma grand-mère Saadia dite Ayi et à mon grand-père Ahmed.

A la mémoire de ma tante Beverly et à mon oncle Youcef (tu es mon deuxième papa).

A mes frères Meziane, Lyamine, Farid et Mourad, vous avez été des exemples pour moi et à ma belle-sœur Assia.

A mon unique sœur Radia (tu es ma deuxième maman) et à son mari Mohammed.

A tous mes neveux et nièces (Noah, Thiziri, Mohammed dit mimo, Thilleli, Racha, Mohammed, Thinhinane, Dyhia, Massinissa, Mohammed-ali, Billal, Farouk, Wissam, Boussad, Mohammed-islam et Eline).

A la mémoire de Rachit, à Karima, Sarah et Merouane.

A ma meilleure amie Ferial, à son mari Yazid et à leur fille Zoé.

A ma très chère et tendre Ouerdia dite chouchou.

A ma binôme Souhila, Merci pour tout.

A mes amies Kenza, Daya, Thinhinane, Karima, Ania, Yasmine, Sabrina, Naouel et Silia.

A la mémoire de Luna et à Lucky.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce que mon mémoire se passe bien. Que ceux que je n'ai pas cités trouvent leur place ici.

Un message à toi papa, j'espère qu'il t'arrivera là où tu es ! J'aurais espéré qu'à la fin de mon mémoire tu te trouverais parmi nous, pour que tu sois fier et heureux de voir ta fille réussir mais le destin a fait que les choses se déroulent autrement. Néanmoins, j'espère que le message te sera parvenu et que tu le sois où tu es. Merci pour ton amour, pour ton aide, pour ton soutien, pour ton humour tantôt discret tantôt révélé, pour ta gentillesse, ..., toutes les pages du monde ne suffiraient pas pour te remercier pour tout ce que tu as fait pour moi et pour la famille.

Lamya

Tables de matières

Liste des figures :

Figure (1) : Vue macroscopique d'une tige d'arbre.....	4
Figure (2) : les trois directions principales du bois.....	5
Figure (3) : Les éléments du plan ligneux d'un résineux.....	5
Figure (4) : plan ligneux du bois d'un feuillus	6
Figure (5) : représentation schématiques des parois cellulaire	7
Figure (6) : Formule chimique de la cellulose.....	9
Figure (7) : Représentation des liaisons hydrogènes entre les molécules de cellulose.	10
Figure (8) : Structure amorphe et cristalline de la cellulose	10
Figure (9) : Différents monosaccharides constituant les hémicelluloses du bois	11
Figure (10) : principaux monomères de la lignine	12
Figure (11) : Oranger	16
Figure (12) : Mûrier	16
Figure (13) : Olivier	17
Figure (14) : Figuier	17
Figure (15) : Grenadier	18
Figure (16) : Eucalyptus	18
Figure (17) : Différentes étapes de préparation des échantillons	20
Figure (18) : Différentes étapes de l'extraction des composés phénoliques	23
Figure (19) : Les étapes de dosage des polyphénols	24
Figure (20) : les étape de mesure du pH	26
Figure (21) : Technique du dosage de cellulose	29
Figure (22) : Les différentes étapes d'extraction de la lignine	30

Figure (23) : Spectromètre Proche Infrarouge ; Spectromètre IRAffinity – 1S ...	32
Figure (24) : Histogramme de taux d'humidité	33
Figure (25) : Histogramme de taux de cendre.....	34
Figure (26) : Courbe étalonnage d'acide gallique à 0.5g/L	35
Figure (27) : Histogramme de taux de phénols totaux.....	35
Figure (28) : Spectre IR des différentes fibres du bois	36
Figure (29) : L'identification des alcaloïdes	40
Figure (30) : Résultats d'identification des flavonoïdes	40
Figure (31) : les résultats d'identification des tanins gallique	40

Liste des tableaux :

Tableau (1) : Composition chimique des résineux et feuillus de la zone tempérée	8
Tableau (2) : Situation géographique des taillis	19
Tableau (3) : Résultats des absorbances obtenus des solutions filles d'acide gallique	34
Tableau (4) : Les bandes d'absorptions enregistrées des différentes fibres étudiées par SPI.....	37
Tableau (5) : les résultats de la mesure du pH.....	38
Tableau (6) : les résultats d'identification des composés phénoliques.....	39
Tableau (7) : les résultats de taux de cellulose	41
Tableau (8) : les résultats de taux de lignine.....	41

Liste des abréviations :

Abréviations	Significations
Abs	Absorbance
ADL	Acide Détergent Lignine
°C	Degré Celsius
¢	Taux de cellulose
h	heure
TH(%)	Taux d'humidité
W (%)	Taux de cendre
g	gramme
C	Concentration
F.C	Folin-Ciocalteu
m	masse
ml	millilitre
min	minute
T	Température
NF	Norme Française
µm	micromètre

UV	Ultra-Violet
λ	Longueur d' onde
P	Poids
H₂SO₄	Acide sulfurique
Na₂CO₃	Bicarbonates de sodium
S	Sous couche
B	Béta
SPIR	Spectre Infra Rouge
MEB	Microscope électronique à Balayage
BRF	Bois raméal fragmenté

Sommaire :

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction 1

Chapitre I : étude bibliographiques

Introduction 3

Le bois composition chimique 3

I. Structure du bois 3

I.1 Structure macroscopique du bois 3

I.1.1 L'écorce 3

I.1.2 Cambium 4

I.1.3 Aubier et duramen 4

I.2 Structure microscopique du bois 5

I.2.1 Le bois des feuillus et résineux 5

I.3 Ultra structure du bois 6

I.3.1 La couche intercellulaire 7

I.3.2 La paroi primaire 7

I.3.3 La paroi secondaire 8

II . Composition chimique du bois 8

II.1 La cellulose 9

II.2 Hémicellulose	11
II.3 Lignine	11
II.4 Les extractibles (matières organiques)	12
II.4.1 Les composés phénoliques ou polyphénols	12
II.4.2 Les alcaloïdes	13
II.4.3 Les flavonoïdes	13
II.4.4 Les tanins	13
II.4.5 Les tanins gallique	13
II.4.6 Les cendres (matières minérales)	14
 Chapitre II : Matériel et méthodes	
I.1 Matériels végétale	16
I.1.1 Oranger	16
I.1.2 Mûrier	16
I.1.3 Olivier	17
I.1.4 Figuier	17
I.1.5 Grenadier	18
I.1.6 Eucalyptus	18
I.2 La taille des arbres	19
II.1 Préparation des échantillons	20
II.2 Caractéristiques physiques des fibres de bois	20
II.2.1 Mesure de taux d'humidité	20
II.3 Les caractéristiques chimiques	21
II.3.1 Détermination de taux de cendres	21
II.3.2 Taux des polyphénols	22

II.3.2.2 Dosage des polyphénols totaux	23
II.3.2.3 Réalisation de la courbe d'étalonnage	25
II.3.3 Le pH	25
II.3.4 Analyse pytochimique	26
II.3.4.1 Préparation de l'infusé	26
II.3.4.2 Identification des alcaloïdes	27
II.3.4.3 Identification des flavonoïdes	27
II.3.4.4 Identification des tanins	27
II.3.4.5 Identification des tanins gallique	27
II.3.5 Dosage de la cellulose	28
II.3.6 Extraction de la lignine avec un détergent acide (ADL selon Van Soest) ...	29
II.3.7 Les analyses des échantillons par Spectrométrie Proche Infrarouge (SIR).....	31
III. Les mélanges	32
Chapitre III : résultats et discussions	
I Caractérisation physico chimique des fibres de bois	33
I.1 Caractérisation physique	33
I.1.1 Détermination du taux d'humidité.....	33
II Caractérisation chimiques	34
II.1 Détermination du taux de cendre.....	34
II.2 Détermination des taux de phénols totaux	34
II.3 Analyse des échantillons par Spectrométrie Proche Infrarouge (SPIR)	36
II.4 Mesure du pH	38
II.5 Analyses phytochimiques	39
II.6 Détermination du taux de cellulose	41

II.7 Détermination du taux de lignine	41
Conclusion	42
Références bibliographiques	44
Annexes	
Résumé	

Introduction

L'avenir à long termes des conditions de vie sur notre planète concerne tous les peuples. Les états, les collectivités territoriales, les entreprises et les citoyens sont tous impliqués dans ce débat. La protection de l'environnement est une condition impérative pour permettre d'assurer une croissance soutenue et une meilleure qualité de la vie à tous les peuples de la terre [1].

Cependant, nul ne peut ignorer les transformations que subit aujourd'hui notre environnement et les dégradations tant quantitatives que qualitatives qui affectent les ressources naturelles que nous utilisons quotidiennement : réchauffement climatique, affaiblissement de la biodiversité, érosion des sols arables, épuisement probable de certaines ressources minières ou combustibles, raréfaction de l'eau douce, la déforestation.....etc. autant de questions qui sous-entendent l'obligation faite désormais à l'humanité de chercher à établir un lien entre les activités de production et de consommation et un usage durable des ressources naturelles et de l'environnement [2].

Aucune espèce végétale ne revêt autant d'importance pour l'homme que les arbres. Ces formes de vie complexes abritent oiseaux et insectes et nous apportent de l'oxygène pour respirer, de l'ombre pour nous reposer, des noix et des fruits pour nous alimenter, du bois pour nous réchauffer et construire nos maisons. En un mot, le lien qui unit les êtres humains et les arbres est aussi vieux que l'espèce humaine elle-même [3].

La nature des forêts dépend des conditions climatiques, et donc de leur situation géographique. Les forêts tropicales ont changé en plusieurs millions d'années. La réduction d'au moins 50% de leur surface a des conséquences écologiques gravissimes. La forêt doit être préservée, mais aussi parce qu'elle joue un rôle fondamental pour l'équilibre écologique et environnemental. La déforestation conduit à des inondations ou à de longues périodes de sécheresse : les arbres servent à réguler l'environnement en absorbant et en libérant progressivement de l'eau comme une éponge [3].

Si dans le paragraphe ci-dessus, on a évoqué la forêt et les arbres, on parlera sûrement du bois. Le bois est un matériau écologique qui, dans le contexte de développement durable actuel, suscite un intérêt croissant [4].

C'est un matériau d'origine végétale, formé d'un ensemble de tissus secondaires, à parois lignifiées, résultant du fonctionnement, vers l'intérieur, de l'assise génératrice cambiale. La vision de l'industriel, de l'ingénieur ou de l'architecte est différente. Le bois est un matériau de construction polyvalent, léger, esthétique, doté d'un rapport poids/résistance très favorable, d'une inertie thermique élevée.... Mais aussi entaché d'anomalies et faisant preuve d'une constitution et de performances variables. Dès lors, sa mise en œuvre nécessite une connaissance approfondie de sa structure et de son comportement. Ses caractéristiques sont avant tout celles d'un matériau naturel, renouvelable, recyclable, esthétique, durable (avec certaines restrictions), doté de propriétés, tant physiques que mécaniques, exceptionnelles. La responsabilité en incombe à son anatomie [5].

L'amendement du sol avec des branches, notamment avec des bois rameaux fragmentés (BRF), suscite un intérêt croissant chez les agriculteurs et les services de vulgarisation. L'apport de BRF a généralement un effet positif sur les propriétés physico-hydriques du sol (humidité, porosité structure), enrichit le sol en matière organique, stimule l'activité biologique, et accroît la disponibilité des nutriments à moyen terme. Les effets des BRF sont modulés par plusieurs facteurs, comme la dose, la périodicité, la dimension des fragments, etc. Mais à long terme les BRFs peuvent causer des effets néfastes sur la salinité du sol s'ils sont utilisés d'une manière non contrôlée [6].

Le BRF désigne à la fois un matériau, à savoir un broyat frais de branches de faible diamètre, et lorsqu'il est utilisé sous forme d'amendement, une technique destinée à améliorer les qualités du sol. Dans une optique de gestion durable des sols, il peut constituer une alternative intéressante à certaines techniques intensives en limitant les intrants (engrais minéraux) et le travail du sol.

Le principe de son utilisation est de reproduire les processus naturels impliqués dans les cycles biogéochimiques des écosystèmes forestiers, notamment dans la décomposition de la matière organique du sol. En particulier, il fait intervenir la strate fongique pionnière (champignons du sol) et permet la dégradation des constituants du bois. Les recommandations d'usage du BRF sont liées aux principaux processus impliqués dans la dégradation du bois. Parmi les principaux constituants du bois, il faut distinguer d'une part, les polysaccharides, comprenant la cellulose et les hémicelluloses, facilement dégradables par les microorganismes, et d'autre part, les polyphénols, dont la lignine, difficilement dégradables. Les microorganismes capables de dégrader la lignine sont moins nombreux, comparés à ceux dégradant la cellulose. Pour éviter un échauffement du matériau et consécutivement une élimination de cette flore fongique, il convient de limiter la période de stockage à moins de deux jours [7].

Le but de notre thème est la Caractérisation et Valorisation des Taillis Locaux afin de les transformer en BRF (bois raméal fragmenté) qui servent de fertilisant pour un sol agricole.

Notre étude a pour objectif, la caractérisation physico-chimique de différents types de bois, on en a sélectionné six types d'arbres : l'oranger, l'olivier, le murier, le figuier, le grenadier et l'eucalyptus.

Notre travail est divisé en trois chapitres : la première partie est la partie bibliographique, la deuxième partie est la partie matériels et méthode, la dernière est la partie résultats et discussions, suivi d'une conclusion. La partie bibliographique consiste en deux grandes parties : la première partie est consacrée à la structure du bois et la deuxième partie est l'étude de la composition chimique du bois.

La partie matériels et méthodes consiste en premier lieu à avoir en vue globale sur le matériel végétal et en second lieu est la caractérisation physique des fibres de bois par les différents tests tels que le taux d'humidité, le taux de cendre, le taux de polyphénols, le pH, l'analyse phytochimique, le dosage de la cellulose, l'extraction de la lignine avec un détergent, les analyses des échantillons pour spectrométrie proche infrarouge (IR) et une caractéristique anatomique (MEB). La troisième partie est réservée à la présentation des résultats obtenus au cours de notre expérimentation suivis de leurs discussions.

Une conclusion générale clôturera notre travail et une ouverture sur les perspectives de futures recherches sont proposées à la fin du document

*Chapitre I : Etude
Bibliographique*

Introduction

Le concept de développement durable accepté par la communauté internationale depuis le sommet de Rio de 1992, se définit comme étant « la satisfaction des besoins des générations actuelles sans compromettre ceux des générations à venir ». À ce titre, les ressources naturelles et la forêt en particulier constituent un des piliers forts de ce concept. Le défi est donc de concilier le développement économique tout en assurant la protection de l'environnement. Car la forêt, à travers le bois, reste incontournable dans la lutte contre la pauvreté et les changements climatiques. Nous commençons par la présentation de la composition chimique du bois :

Le bois composition chimique

Le bois est le matériau constituant l'essentiel du tronc, des branches et des racines de l'arbre, il est naturel d'origine végétal, connu comme matière organique hygroscopique, poreuse, capable de se former et utiliser par l'homme au fil des siècles.

Le bois exerce trois grandes fonctions dans l'arbre : la conduction de la sève brute des racines vers les branches, le soutien mécanique et la réserve des substances nutritives.

La qualité du bois est liée à sa structure macroscopique et microscopique, mais aussi à la structure des parois cellulaires déterminée par ses constituants chimiques [8].

I. Structure du bois

I.1 Structure macroscopique du bois

On observe de l'extérieur en allant au centre plusieurs couches qui constituent le bois :

I.1.1 L'écorce est le revêtement extérieur du tronc, des branches et des racines des arbres. Elle est issue par la croissance secondaire de la plante et n'est par conséquent pas présente sur les jeunes arbres. L'écorce est divisée en deux parties : l'écorce interne et l'écorce externe.

- L'écorce interne, appelée aussi liber, ou phloème secondaire est formée de tubes à travers lesquels circule la sève élaborée des feuilles vers les cellules du cambium.
- L'écorce externe est la partie qui protège le 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 utilisées pour différencier et identifier les essences d'arbres entre elles mais l'écorce externe a surtout un rôle dans le transport des substances nutritives. Elle est constituée du phelloderme ou assise méristémique [5].

I.1.2 Cambium C'est aussi une assise génératrice qui est la partie reliant le bois à l'écorce. Cette zone est invisible à l'œil nu. Elle est constituée de cellules méristèmes secondaires (cellules mères) qui, par division cellulaire, permet la croissance de l'arbre en épaisseur en produisant l'aubier vers l'intérieur et le liber ou écorce interne vers l'extérieur [5].

I.1.3 Aubier et duramen l'aubier est constitué de cellules plus ou moins vivantes en voie de duraminisations. Les cellules vivantes jouent un rôle d'emménagement des substances nutritives et restent vivantes pendant plusieurs années, tandis que les cellules qui assurent le soutien et permettent 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 ou bois de cœur est le squelette de l'arbre qui assure la fonction du maintien mécanique de la structure de l'arbre. C'est un bois composé de cellules mortes et qui est fortement lignifié ce qui le rend très résistant [5].

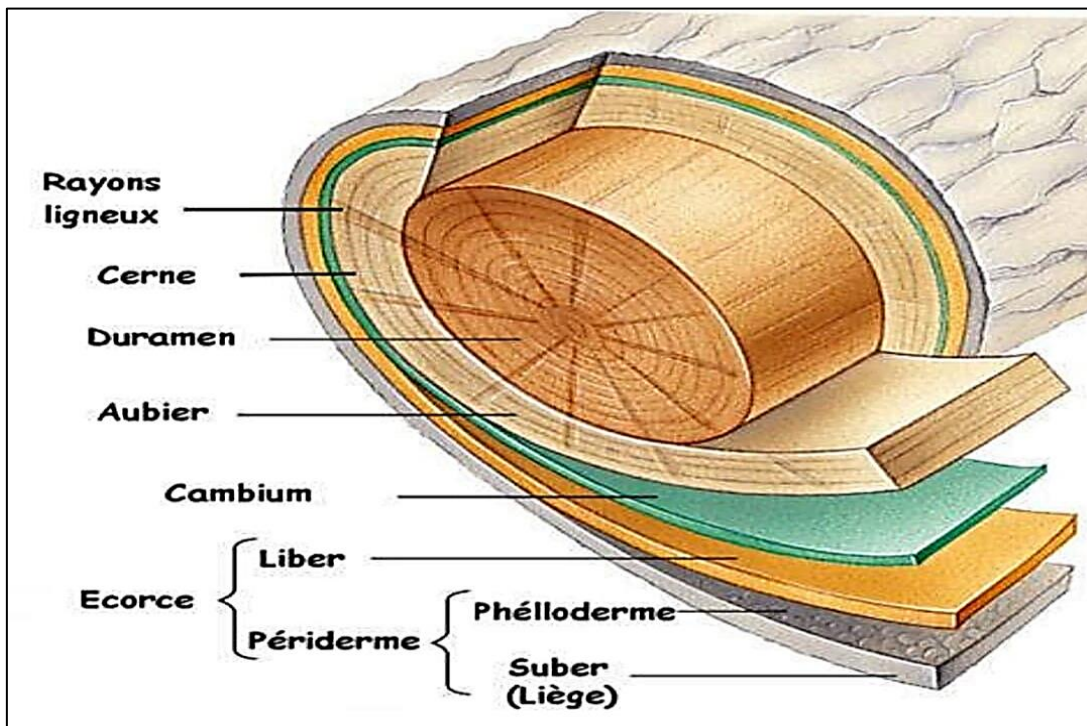


Figure (1) : Vue macroscopique d'une tige d'arbre (anonyme, 2009)

I.2 Structure microscopique du bois :

La description de la structure anatomique du bois nécessite une observation suivant trois plans : transversal, radial et tangentiel.

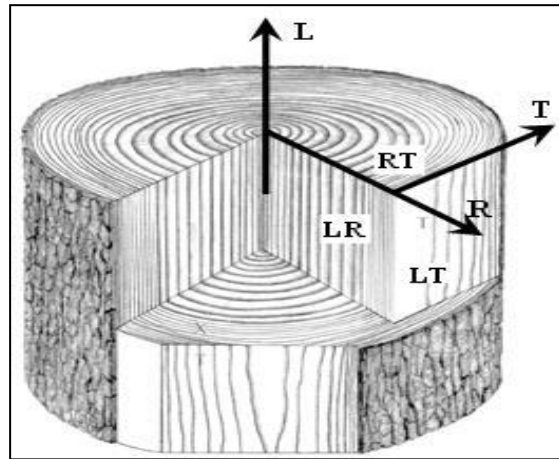


Figure (2) : les trois directions principales du bois [9].

I.2.1 Le bois des feuillus et résineux :

En général, les essences de bois sont divisées en deux grands groupes : les gymnospermes (résineux ou conifères) et les angiospermes (feuillus).

L'étude microscopique est assez simple, les mêmes cellules, ou trachéides, assurent à la fois le transport de la sève et de soutien de l'arbre. Les trachéides longitudinales constituent environ 90% du volume du bois résineux. Elles ont des ponctuations pour permettre le passage des liquides Figure (3)[4].

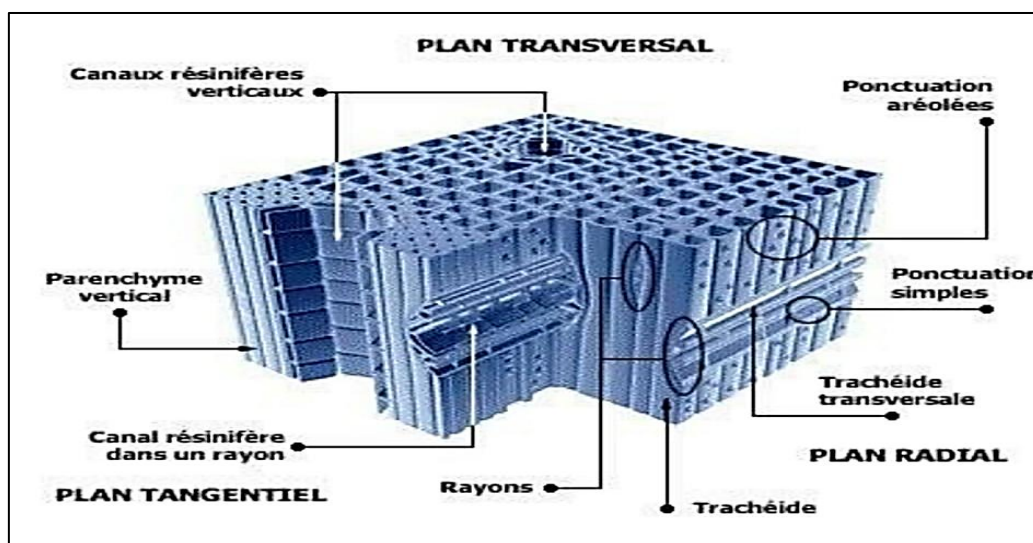


Figure (3) : Les éléments du plan ligneux d'un résineux [10].

Le bois des résineux a des trachéides, leurs rayons sont généralement unisériés et quelques fois bisériés. Le bois des feuillus est plus évolué et il présente dans sa structure une diversité plus grande que celle du bois des résineux. Par exemple, chez les résineux, les trachéides longitudinales jouent les deux rôles de soutien et de conduction, alors que chez les feuillus, les trachéides n'assurent que la fonction de conduction, le soutien étant assuré par un autre type de cellules qui s'appellent les fibres [4].

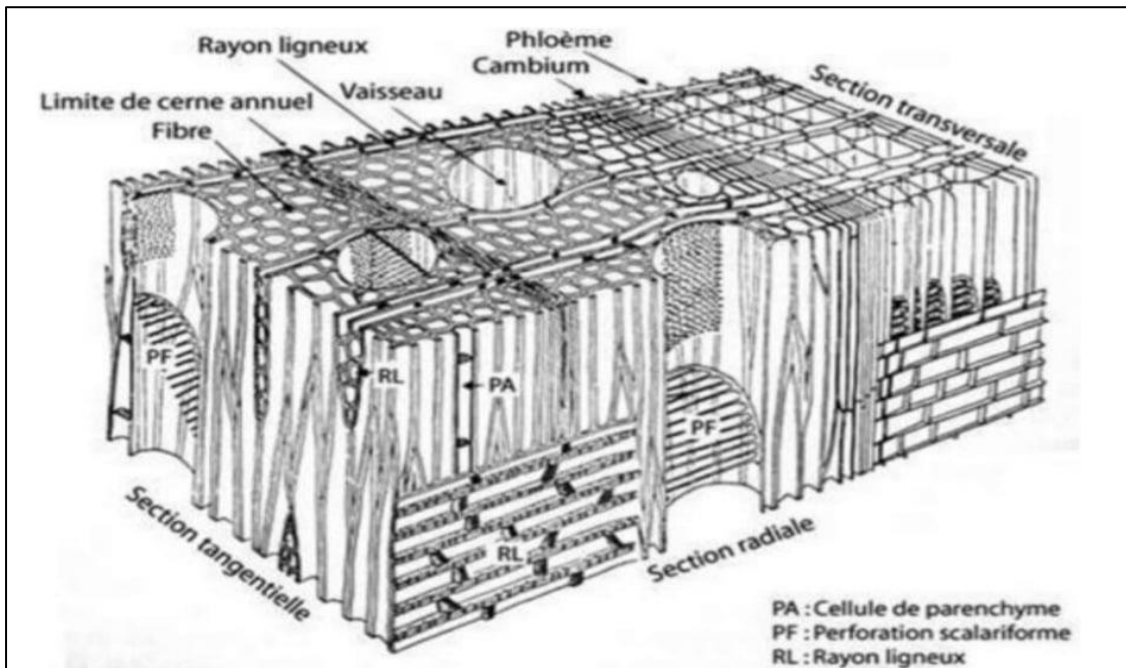


Figure (4) : plan ligneux du bois d'un feuillus [10].

Le bois des résineux présente pleins d'éléments fondamentaux comme les vaisseaux, les fibres et les rayons [4].

I.3 Ultra structure du bois :

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

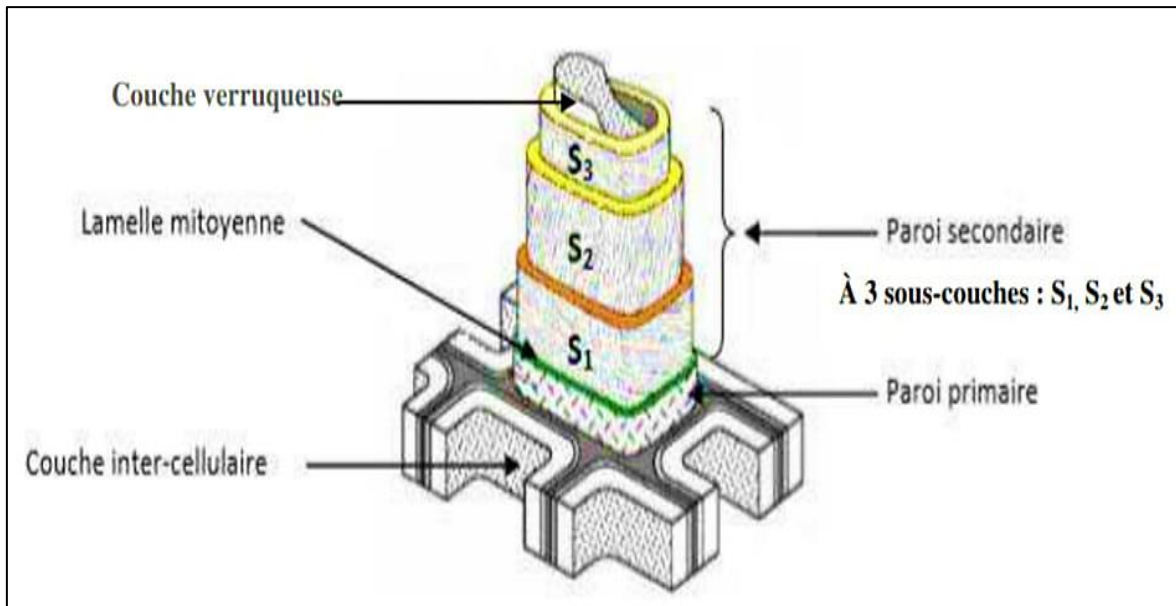


Figure (5) : représentations schématiques des parois cellulaires [11].

La formation de la paroi primaire est la première étape de la croissance cellulaire. Cette paroi est constituée de micro fibrilles de cellulose, polymère du glucose, le tout est ensuite enveloppé d'une couche d'hémicellulose, famille de polymères de divers sucres.

Au début de la croissance secondaire apparaît la lignine, qui remplit d'abord les espaces intercellulaires, et constitue 90% de la lamelle mitoyenne. Ce processus appelé lignification, augmente considérablement la résistance du bois par les liaisons chimiques formées d'une part, et la création d'un liant entre les micros fibrilles d'autre part [4].

1.3.1 La couche intercellulaire

Elle apparaît après la division de la cellule mère. Son épaisseur varie entre 0,5 et 1,5 μm . Cette couche permet de lier les cellules les unes aux autres. Elle possède une importante quantité de lignine.

Si certaines microfibrilles isolées traversent cette couche, son pourcentage en cellulose peut cependant être considéré comme négligeable [4].

1.3.2 La paroi primaire

Cette paroi très mince mesure environ 0,1 μm d'épaisseur. Comme la couche intercellulaire contient une grande quantité de lignine, elle contient aussi des micros fibrilles de celluloses enchevêtrées, formant un réseau poreux. Il est donc souvent difficile de différencier entre la paroi primaire et la couche intercellulaire [4].

I.3.3 La paroi secondaire

Cette paroi est essentiellement constituée de microfibrilles de cellulose alignée parallèlement entre elles et déposés en hélice.

Selon l'orientation des microfibrilles, trois sous-couches sont discernables :

la couche **S1** : elle est constituée de microfibrilles croisés, avec un angle compris entre 60° et 80° par rapport à l'axe de la cellule. Sa structure peut être considérée comme étant lamellaire (3 à 6 lamelles) et son épaisseur varie entre 0,1 et 0,35 μm ;

la couche **S2** : elle constitue la partie la plus volumineuse de la paroi. Elle est composée de microfibrilles en hélice formant un angle 5° à 50° par rapport à l'axe de la cellule. Cet angle dans les cellules du bois de printemps varie entre 30° et 50° et dans les cellules du bois d'été entre 5° et 30°. L'épaisseur de la couche S2 varie entre 1 et 10 μm , elle présente 15 à 85% de l'épaisseur totale de la couche ;

la couche **S3** : elle est relativement mince. Son épaisseur varie entre 0,1 et 1,1 μm . Elle est constituée de microfibrilles dont l'orientation varie entre 60° et 90° par rapport à l'axe de la cellule.

Chacune de ces trois couches contiennent également de la lignine et des hémicelluloses [4].

II. Composition chimique du bois

Le bois est constitué principalement de cellulose, hémicellulose et lignine. À ces trois constituants, viennent s'ajouter des substances extractibles de nature organique et des substances minérales (cendres). Les extractibles sont déposés dans la paroi de la cellule pendant la duraminisation [4].

Tableau (1) : Composition chimique des résineux et feuillus de la zone tempérée [12].

Constituants	Résineux	Feuillus
Cellulose	42 (\pm 2)	45 (\pm 2)
Hémicelluloses	27 (\pm 2)	30 (\pm 2)
Lignine	28 (\pm 2)	20 (\pm 2)
Extractibles	3 (\pm 2)	5 (\pm 2)

II.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 β (1-4) –glycoliques. Le degré de polymérisation (en glucose) peut atteindre 15000 [4].

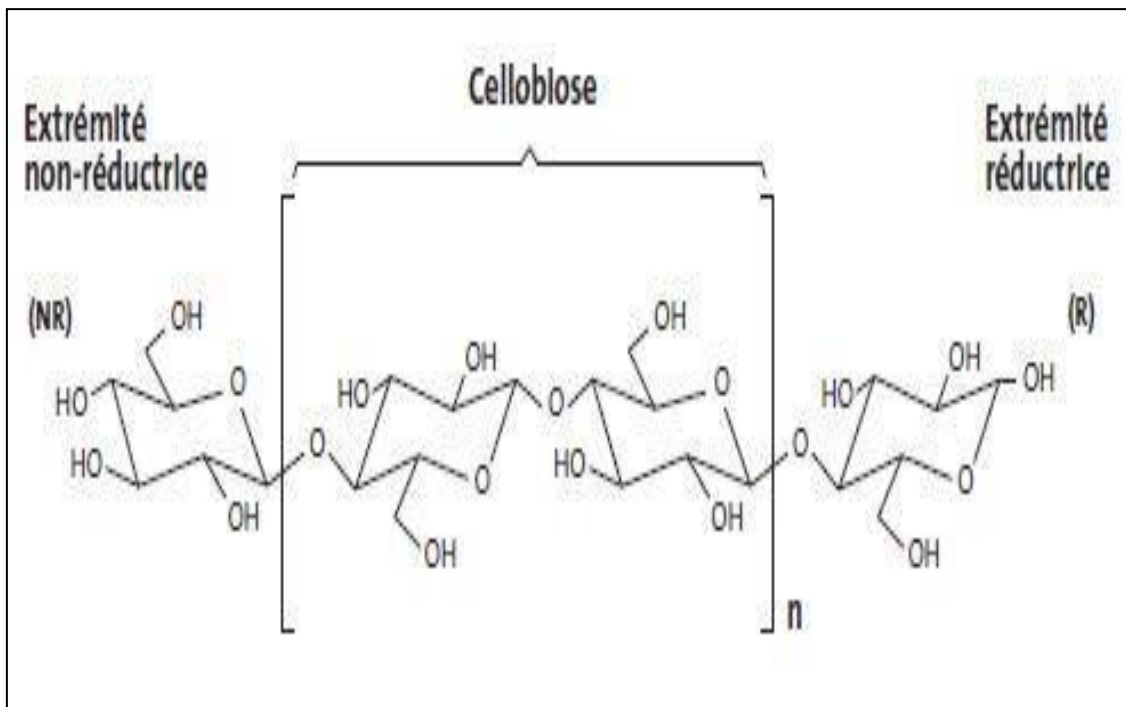


Figure (6) : Formule chimique de la cellulose [13].

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%.

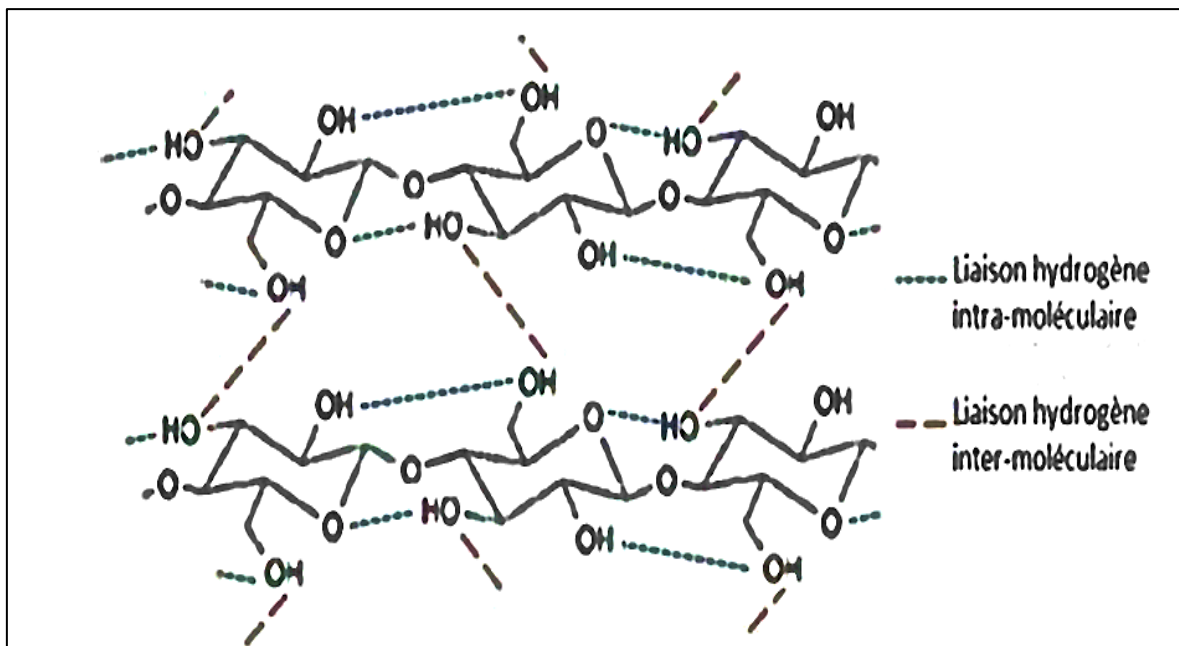


Figure (7) : Représentation des liaisons hydrogènes entre les molécules de cellulose [14].

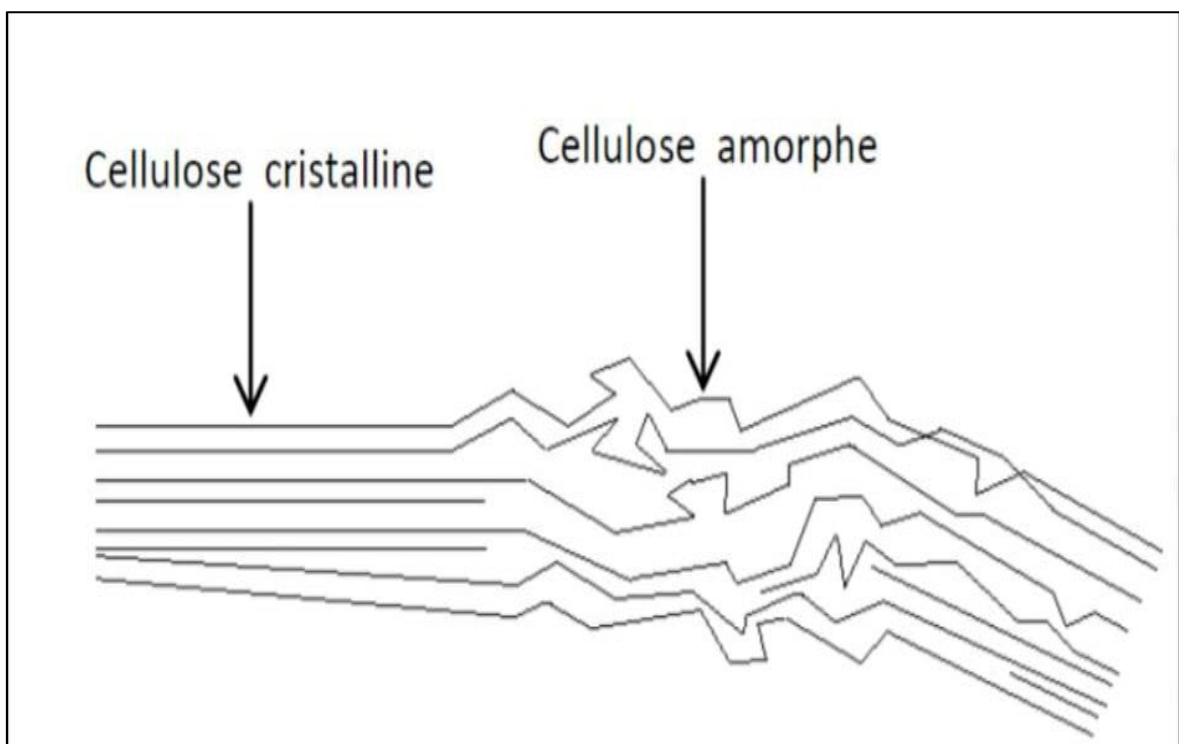


Figure (8) : Structure amorphe et cristalline de la cellulose[14].

II.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].

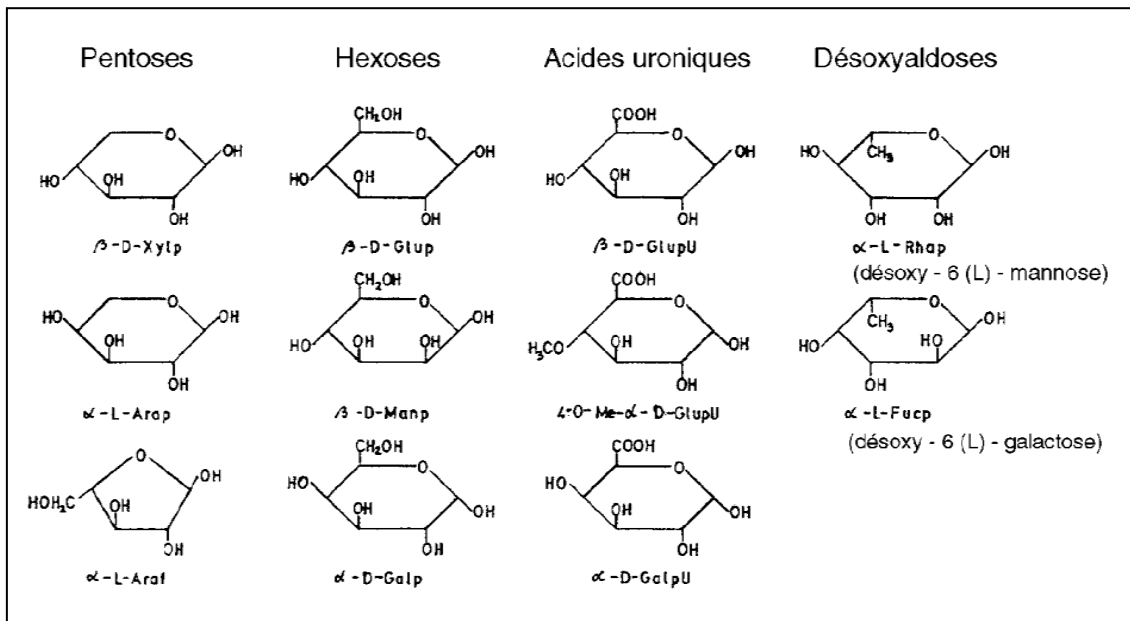


Figure (9) : Différents monosaccharides constituant les hémicelluloses du bois [13].

II.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 [16].

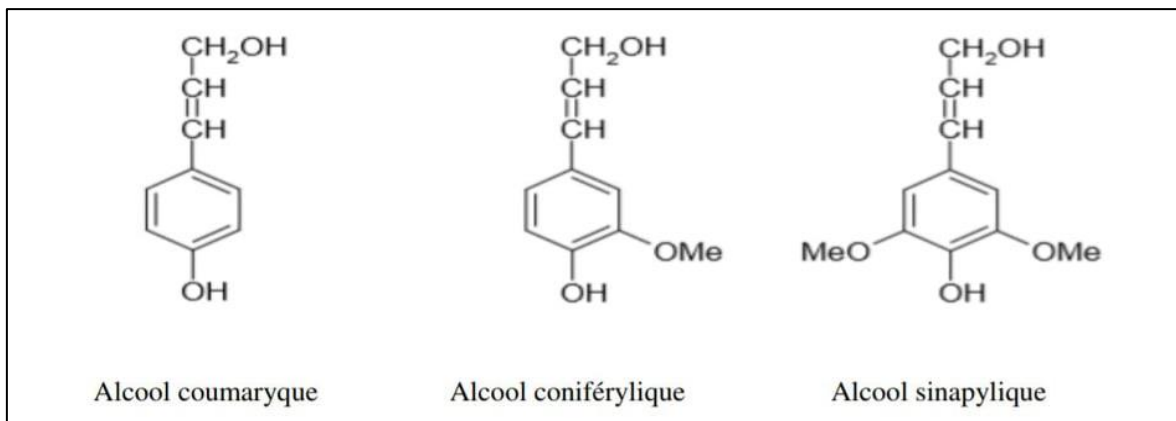


Figure (10) : principaux monomères de la lignine [17].

II.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, α -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].

II.4.1 Les composés phénoliques ou polyphénols

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 [18].

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

II.4.2 Les alcaloïdes

Ils sont des composés organiques cycliques comportant un ou des atomes d'azotes de 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 [19].

II.4.3 Les flavonoïdes

L'ensemble des flavonoïdes de structure générale en C15 (C6-C3-C6) comprend à lui seul plusieurs milliers de molécules regroupées en plus de dix classes, dont certaines ont une grande importance 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 [20 - 21].

II.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 [22 - 24].

II.4.5 Les tanins gallique

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 [19].

II.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, K₂O, Na₂O, SiO₂, Fe₂O₂, P₂O, SO₃ 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].

Chapitre II :
Matériels et Méthodes

Ce chapitre sera consacré à la présentation des différents matériaux et produits utilisés pour réaliser cette étude ainsi qu'aux différentes techniques de caractérisation.

I.1 Matériels végétal

I.1.1 Oranger

L'oranger est un agrume aux branches peu ou pas épineuses à feuilles persistantes, cultivé dans les régions chaudes comme les pays méditerranéens [25].



Figure (11) : Oranger [Originale 2021]

I.1.2 Mûrier :

Arbre ou arbuste de l'hémisphère Nord, à fruits noirs, blancs ou rouges selon les espèces. C'est un arbre rustique à croissance lente [25].



Figure (12) : Mûrier [26]

I.1.3 Olivier

Arbre au feuillage persistant, exigeant une grande luminosité et un climat doux, cultivé surtout dans le bassin méditerranéen pour son fruit. L'olivier exige des hivers doux. Il supporte bien la sécheresse grâce à un enracinement puissant, mais redoute l'excès d'humidité [25].



Figure (13) : Olivier [Original 2021]

I.1.4 Figuier

Arbre originaire du Proche-Orient, cultivé pour son fruit, la figue. Le figuier, largement répandu sur le pourtour méditerranéen. Il possède un tronc lisse, et de grandes feuilles à plusieurs lobes [25].



Figure (14) : figuier [Original 2021]

I.1.5 Grenadier

Arbuste ou arbre à port arbustif originaire du Moyen-Orient, cultivé pour ses grandes fleurs décoratives ou pour son fruit [25].



Figure (15) : grenadier [Original 2021]

I.1.6 Eucalyptus

Arbre originaire d'Australie atteignant de très grandes tailles. Le bois d'eucalyptus, variable selon l'espèce, peut être un bon bois de chauffage ou de trituration, mais également un bon bois d'œuvre [25].



Figure (16) : Eucalyptus [Original 2021]

I.2 La Taille des arbres

Elle consiste à éliminer les branches mortes afin d'aérer le cœur de l'arbre et permettre la diffusion de la lumière et favoriser l'ensoleillement et augmenter la qualité de la fructification. Cette opération permet de réduire le risque de maladies.

Sur les espèces cultivées pour leurs fruits, la taille doit être légère, car elle n'améliore pas la fructification et une taille sévère peut même les empêcher de fructifier.

Tableau (2) : Situation géographique des taillis.

	Nom scientifique	Origine	Date de la taille	Source du bois
Oranger	<i>Citrus sinensis</i>	Chine	Mars	Oued Aissi
Murier	<i>Morus</i>	Régions tempérées et subtropicales d'Asie, d'Europe, d'Afrique et d'Amérique	L'automne, l'hiver	Redjaouna
Olivier	<i>Olea europea</i>	Asie Mineure	Février	Redjaouna
Figuier	<i>Ficus carica</i>	Moyen-Orient	Climat doux : en novembre Climat plus rude : fin février	Redjaouna
Grenadier	<i>Punica granatum</i>	Sud Est de l'Europe et d'Asie occidentale	Février / mars	Redjaouna
Eucalyptus	<i>Eucalyptus globulus</i>	Australie	_____	Oued Aissi

II.1 Préparation des échantillons

Les différents échantillons de bois (Oranger, Murier, Olivier, Figuier, Grenadier, Eucalyptus) ont été découpé en petits morceaux chez le menuisier pour faciliter le broyage dans un moulin à café. Les poudres obtenues ont été séchées à l'air libre pendant cinq jours. Afin d'obtenir des fibres de diamètre de 250 μm ; nous avons tamisé la farine à l'aide de tamis vibreurs.

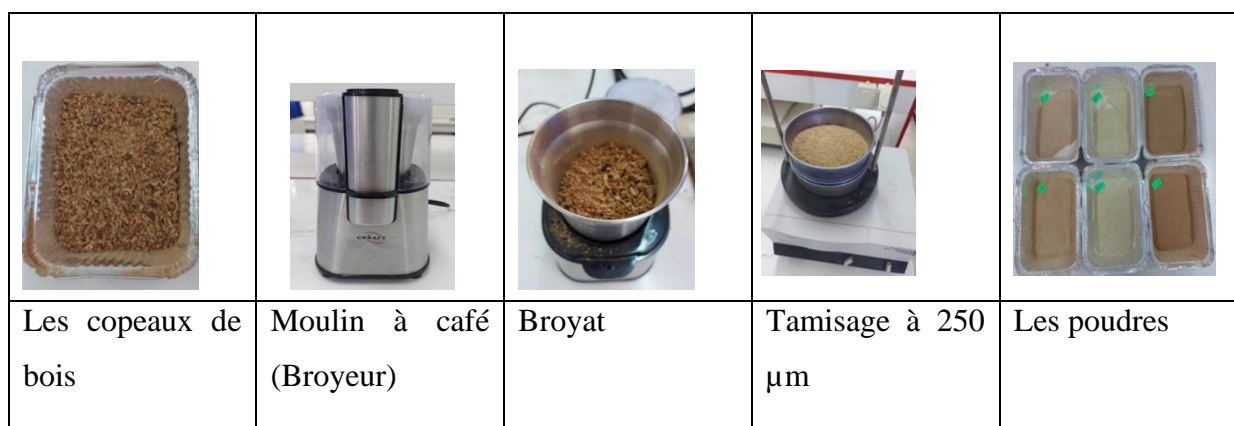


Figure (17) : Différentes étapes de préparation des échantillons [originale, 2021]

II.2. Caractéristiques physiques des fibres de bois

II.2.1 Mesure de taux d'humidité

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

Le taux d'humidité est donné en pourcentage pondérale par l'expression suivante :

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

m_0 : la masse du creuset à vide (en g) ;

m_1 : la masse du creuset et la prise d'essai avant étuvage ;

m_2 : la masse du creuset et le résidu après étuvage.

Il existe de nombreuses méthodes de détermination du taux d'humidité, parmi ces méthodes on a celle de la mesure par différence de masses qui est la plus fiable pour la déterminer.

La norme française (NF B 51-004 février 1942) préconise de mesurer la masse anhydre d'un échantillon après séchage à $103\pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante [27].

Pour effectuer cette expérience, nous avons suivi 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°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).

II.3 Les caractéristiques chimiques

II.3.1 Détermination du taux de cendres

Les composés minéraux du bois sont entièrement contenus dans les cendres. Bien que le pourcentage de ces constituants reste faible ($<1\%$ de la masse sèche) pour les bois des zones tempérées. Les composés minéraux les plus abondants sont le phosphore, calcium, le potassium et le magnésium [28].

Nous avons obtenu un taux de cendre de nos échantillons, après les avoir soumis à une température égale à 550°C dans un four à moufle.

Le pourcentage en cendre est exprimé selon la formule suivante :

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

m_0 : tare de creuset vide(g)

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

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

Mode opératoire

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

II.3.2 Taux des polyphénols

Réactifs

- Réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois : Pipeter 5ml de F.C dans une fiole de 50ml et ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ;
- Méthanol à 80% (80ml de méthanol+20ml d'eau distillée) ;
- Solution de Na₂CO₃ 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).

Mode opératoire :

- Peser 2g de chaque échantillon à l'aide d'une balance de 0.0001 de 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.

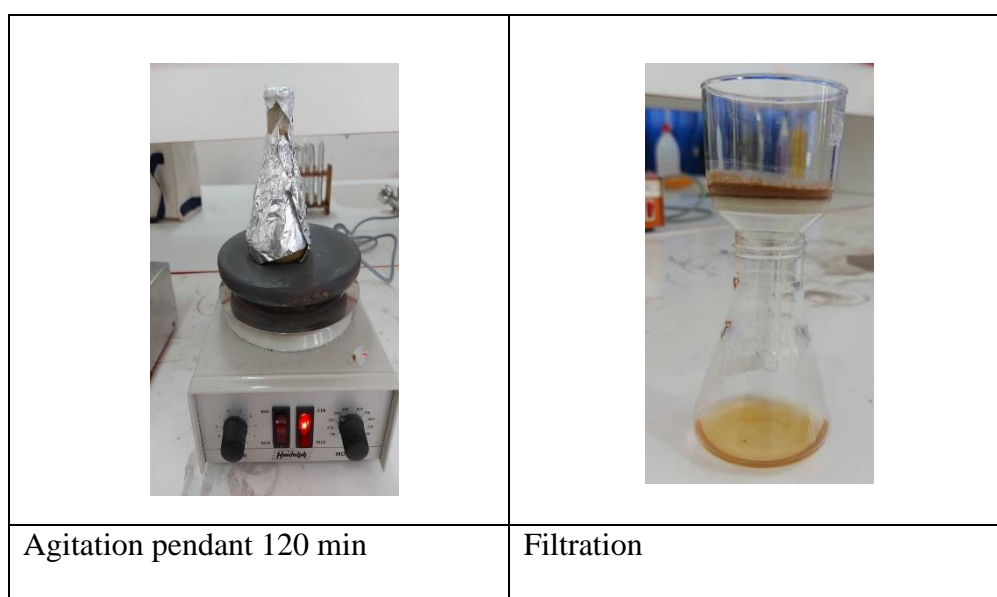


Figure (18) : Différentes étapes de l'extraction des composés phénoliques [Originale, 2021]

II.3.2.2 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 [29].

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 de département de chimie de la faculté des sciences à UMMTO.

Afin d'assurer la fiabilité des résultats, 3 essais ont été effectués ensuite nous avons 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 [27].

- Prendre 0,5ml d'extrait de chaque échantillon et le dilué 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 Na_2CO_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.

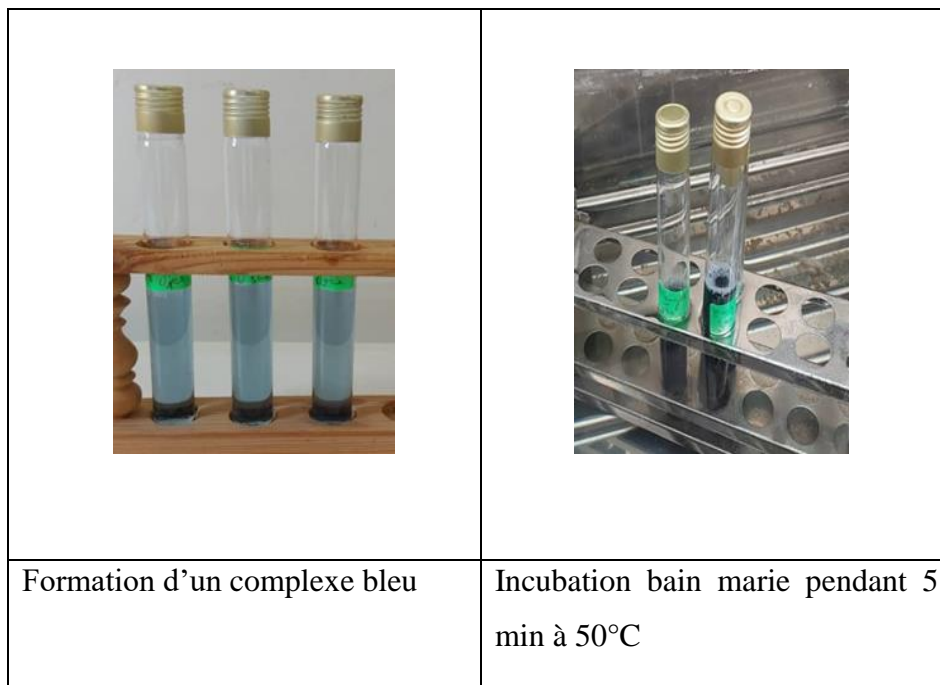


Figure (19) : Les étapes de dosage des polyphénols [Originale, 2021]

L'expression utilisée pour calculer le pourcentage en polyphénols est exprimée comme suit:

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

C : concentration en équivalent acide gallique g/L ;

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

m: poids de l'échantillon à l'état frais.

II.3.2.3 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 0,1g/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 Na_2CO_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 par un spectromètre à 760nm.

II.3.3 Le pH

Il définit l'acidité de produit considéré, mesuré à l'aide d'un pH mètre.

Mode opératoire

- Pesé 20g de chaque échantillons;
- Ajouté 200ml d'eaux 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 ;
- Il faut rincer l'électrode avec de l'eau distillée avant après chaque mesure ;



Figure (20): les étape de mesure du pH [Originale2021]

II.3.4 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 différentes constituants phénoliques des poudre des bois d'arbres utilisés, a été faite selon les méthodes standards de screening phytochimique [30 - 31] .

La quantité de la substance recherchée est proportionnelle, soit à l'intensité de précipité formé ou à la coloration.

II.3.4.1 Préparation de l'infusé :

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, introduire 20 g de poudre végétale dans 100 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.

II.3.4.2 Identification des alcaloïdes

Afin d'identifier les alcaloïdes nous avons suivie ces étapes :

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

II.3.4.3 Identification des flavonoïdes

Afin d'identifier les flavonoïdes nous avons suivie ces étapes :

- 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 iso- butanol ;
- On ajoute les copeaux de Mg ;
- En présence des flavonoïdes une couleur rouge orangé apparait ;

II.3.4.4 Identification des tanins

Afin d'identifier les tanins nous avons suivie ces étapes :

- On introduit dans un tube à essai une quantité de l'infusé ;
- On ajoute goutte à goutte la solution aqueuse de chlorure ferrique FeCl_3 (5 %) ;

[Dissoudre 5g de FeCl_3 dans 100 ml d'eau distillée]

- En présence des tanins une couleur verdâtre apparait ;

II.3.4.5 Identification des tanins galliques

Afin d'identifier les tanins galliques nous avons suivie ces étapes :

- On sature le filtrat par l'acétate de sodium ;
- On ajoute quelques gouttes de FeCl_3 ;
- En présence des tanins gallique une couleur bleu noirâtre apparait ;

II.3.5 Dosage de la cellulose

Le taux de cellulose brute d'un aliment est le résidu insoluble issu après un traitement fait par un acide et une base ;

- Prendre 0,5g de l'échantillon dans l'erenmeyer à col rodé de 250ml ;
- Ajouter 50ml de H₂SO₄ ;
- Chauffer pendant 30minutes ;
- Verser dans les tubes de centrifugation et centrifuger pendant 30minutes ;
- Jeter le surnageant et rincer l'erenmeyer à l'eau distillée ;
- Mettre quelques gouttes d'indicateur coloré et neutraliser avec NaOH ;
- Recentrifuger pendant 30minutes, jeter le surnagent et récupérer le culot avec 50ml de NaOH et chauffer pendant 30minutes ;
- Jeter le surnageant et rincer l'erenmeyer à l'eau distillée ;
- Mettre dans le tube quelques gouttes d'indicateur coloré et neutraliser avec l'acide;
- Centrifuger encore une troisième fois pour 30minutes ; récupérer le culot dans des creusets en porcelaine ; sécher pendant 24heures à 50°C puis peser et noter P₁ ;
- Mettre au four à 550°C pendant 3heures ; peser et noter P₂.

L'expression utilisée pour le calcul de taux de la cellulose est donnée ainsi :

$$g(\%) = \frac{P_2 - P_1}{P_e} \times 100$$

P₁ : Poids du culot après le séchage ;

P₂ : Poids du culot sec ;

Pe: Poids de l'échantillon.



a) Montage d'extraction de la cellulose



b) Centrifugeuse

Figure (24) : Technique du dosage de cellulose [Original,2020]

II.3.6 Extraction de la lignine avec un détergent acide (ADL selon Van Soest)

Cette méthode est basée sur la solubilisation de la cellulose dans l'acide sulfurique à 72% et donne la "lignine brute" pouvant contenir également la pectine (excrétée à l'extérieur des membranes des cellules végétales avec une structure lipidique complexe).

Le dosage de la lignine non dissoute a été réalisé au sein du laboratoire de contrôle de qualité SABRINNEL.

Réactifs

1. Solution de détergent acide :

a. 20 g de bromure de cetyltriméthylammonium ($C_{19}H_{42}BrN$)

b. 1 L d'acide sulfurique 1 N (H_2SO_4)

c. Dissoudre le tensioactif dans l'acide tout en remuant pour favoriser la dissolution.

2. n-octanol ($C_8H_{18}O$),

3. Acétone

4. Solvant pour la cellulose : 440 ml d'eau distillée refroidie auxquels sont rajoutés du H_2SO_4 (98%, d:1.84) pour obtenir 1 L de solution.

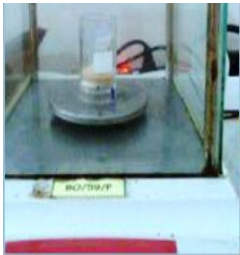



Mode opératoire

- Peser dans un creuset 1g d'échantillon broyé avec une précision de 1 mg ;
- Ajouter 100 ml de solution de détergent acide à température ambiante et quelques gouttes de n-octanol ;
- Chauffer à ébullition sous reflux pendant 60 minutes à partir du début de l'ébullition ;
- Filtrer et laver 3 fois avec de l'eau bouillante, puis 2 fois avec de l'acétone froid ;
- Ajouter environ 25 ml d'acide sulfurique à 72% à température ambiante (solvant pour la cellulose) et poursuivre l'extraction à froid pendant 3 heures, en mélangeant toutes les heures;
- Filtrer et laver 3 fois avec de l'eau bouillante ou jusqu'à l'absence de réaction acide ;
- Sécher 8 heures à 105°C et laisser refroidir dans un dessiccateur ;
- Peser ;
- Calculer la lignine insoluble dans le détergent acide selon l'équation suivante :

$$ADL (\%) = \frac{(P_0 + P_2) - P_0}{P_1} \times 100$$

P_0 : poids du creuset ;

P_1 : poids de l'échantillon x ;

			
Pesé 1g de chaque échantillons	Chauffer à ébullition sous reflux	Extraction à froid pendant 3 h	Récupération du résidu

P_2 : poids du résidu.

Figure (25) : Les différentes étapes d'extraction de la lignine [Original, 2020]

II.3.7 Les analyses des échantillons par Spectrométrie Infrarouge (SINR) :

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 [27].

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) [27].

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 [27].

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 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 [33].



Figure (26) : Spectromètre Proche Infrarouge; Spectromètre IRAffinity –1S [Original, 2021]

II.5 Les mélanges :

Afin de faire une comparaison entre quelques paramètres on a effectué des mélanges de farines à différents pourcentages. On a déterminé : le pH, Taux d'humidité, L'identification des alcaloïdes et des tanins.

Les mélanges sont :

A	B	C	D
<ul style="list-style-type: none"> • Eucalyptus • Figuier • Olivier 	<ul style="list-style-type: none"> • Grenadier • Oranger • Murier 	<ul style="list-style-type: none"> • Eucalyptus • Grenadier 	<ul style="list-style-type: none"> • Olivier • Murier

Les proportions :

A et B : les quantités de chaque type est la même

C : Eucalyptus (80 %) + Grenadier (20 %)

D : Olivier (80 %) + Murier (20 %)

Chapitre III :
Résultats et
discussions

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats obtenus dans ce travail concernant le calculs de taux d'humidité, le taux de cendre, le taux de polyphénols, le taux de cellulose et de lignine, la mesure de pH, les analyses phytochimiques, IR, MEB.

I Caractérisation physico chimique des fibres de bois

I.1 Caractérisation physique

I.1.1 Détermination du taux d'humidité

Selon Rowell (1984) le bois est un matériau hygroscopique sensible au changement d'humidité atmosphérique ; il peut subir des variations dimensionnelles considérables dans les directions tangentielle et radiale .

L'ensemble des résultats de l'étude comparative de ces fibres du bois sont présentés dans la figure ci-dessous :

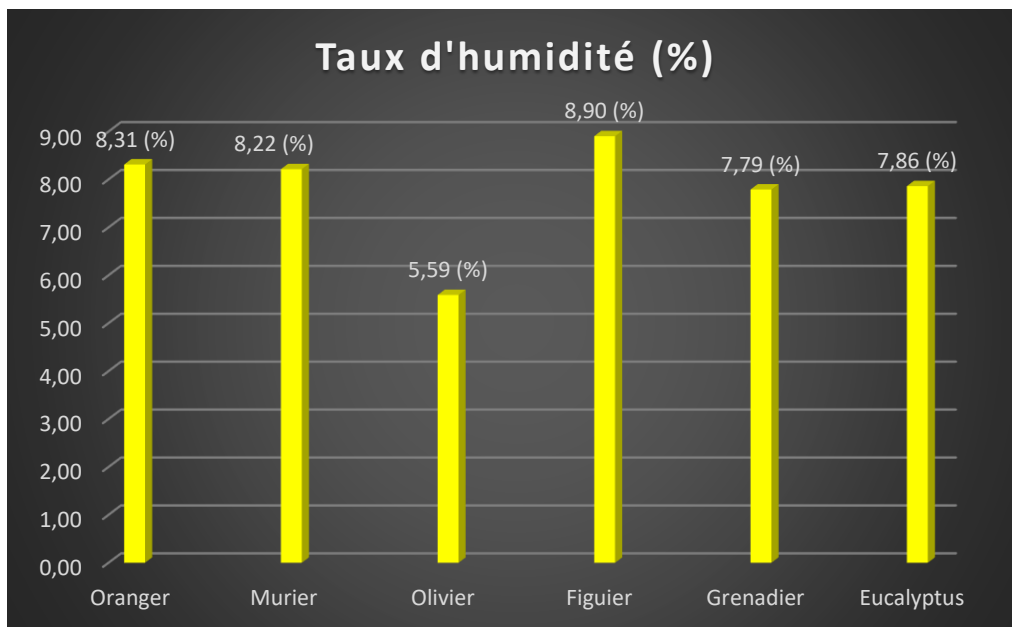


Figure (28) : Histogramme de taux d'humidité

Le taux d'humidité des quatre espèces ligneuses (Oranger ; Mûrier ; Grenadier ; Eucalyptus) est proche ; cependant la teneur en eau de l'olivier reste la plus faible elle confirme un taux de cendre peu élevé dont la nature du sol serait une conséquence.

On note le taux d'humidité élevé du figuier rejoint son taux de cendre élevé dont la nature hydrophile du figuier est due à la structure de sa matière ligneuse.

Le taux d'humidité allant de 6 à 12 % donne un caractères hydrophile, les sites hydroxyles agissent comme un plastifiant et une résistance à la traction [36] .

II Caractérisation chimiques

II.1 Détermination du taux de cendre :

Les taux de cendre des six échantillons sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :

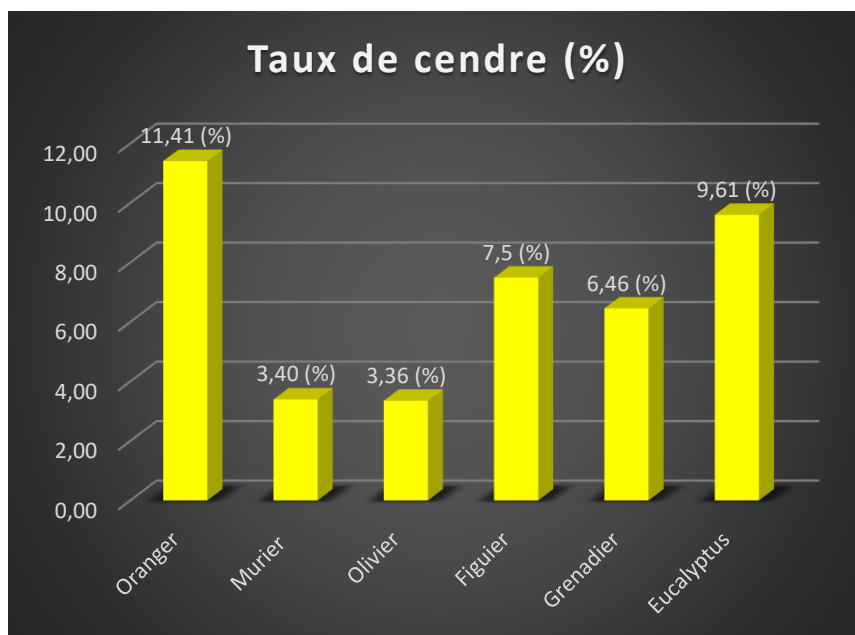


Figure (29) : Histogramme de taux de cendre

Après l'incinération de nos échantillons, nous a constaté que la matière organique a totalement disparu et il ne reste que la matière minérale qui est constituée principalement de soufre, phosphore, chlore, silicium, potassium, calcium, magnésium, fer, sodium et exceptionnellement peut contenir de l'aluminium, zinc et bore [13].

D'après les résultats obtenus, on constate que la teneur en cendre la plus élevée reste celle du bois d'oranger, elle serait due à la nature du sol ou à la région d'origine donc l'oranger est un arbre qui absorbe de l'eau.

L'olivier et le mûrier ont des taux de cendre les moins élevés, ils avoisinent les 3,4 % et rejoignent la littérature [37].

II.2 Détermination des taux de phénols totaux :

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 (Annexe 6).

Tableau (3) : Résultats des absorbances obtenus des solutions filles d'acide gallique

C (g/l)	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.1
Abs	0,1803	0,3499	0,4519	0,7488	0,7833	0,9272

L'absorbance est étroitement liée à la concentration de l'acide gallique utilisée dans la gamme d'étalonnage avec un $R^2=0,9716$ **Figure (30)**.

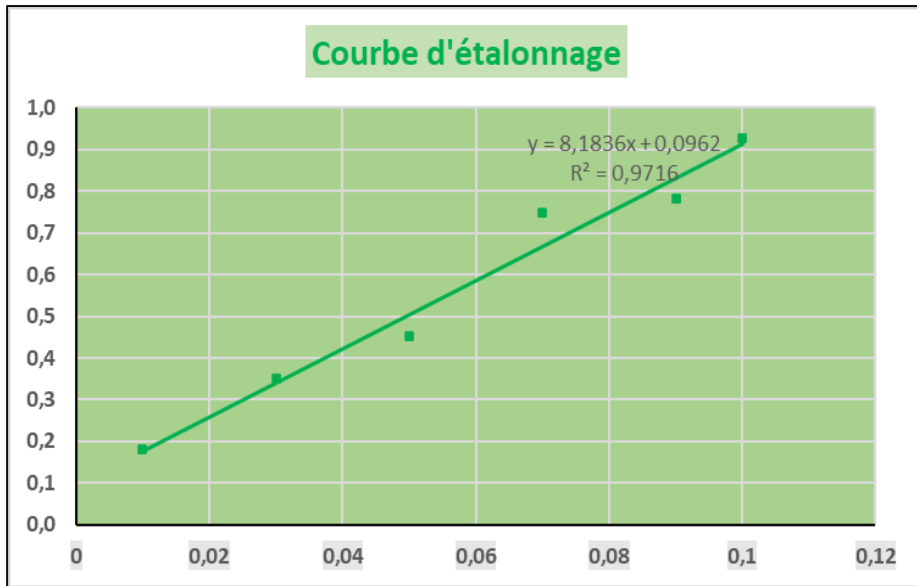


Figure (30) : Courbe étalonnage d'acide gallique à 0.5g/L

La figure ci-dessous montre la variation des teneurs en polyphénols totaux de différentes essences

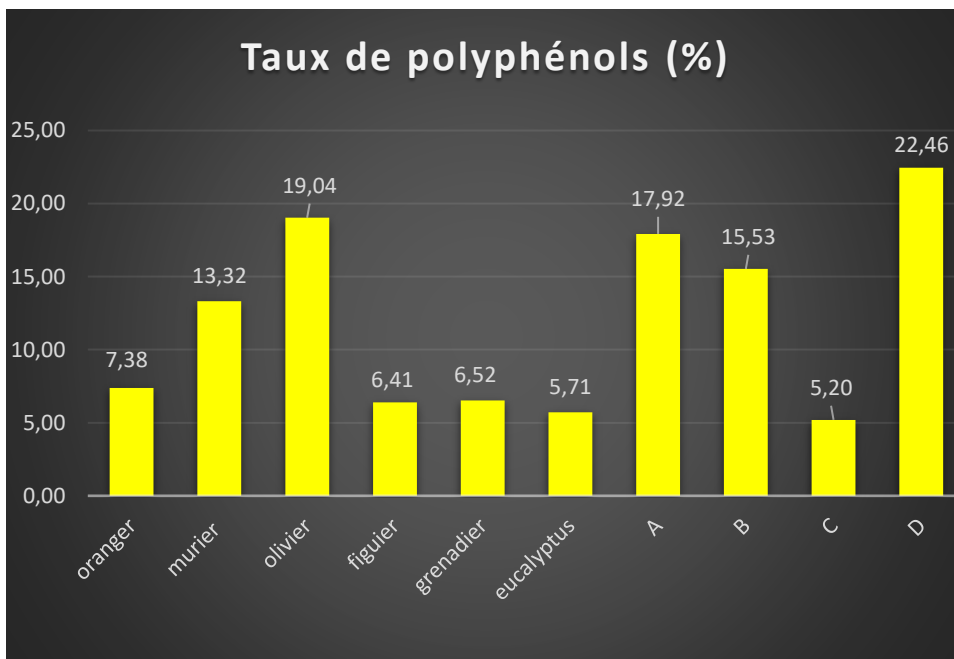


Figure (31) : Histogramme de taux de phénols totaux

A	Eucalyptus + figuier+ olivier
B	Grenadier +oranger + murier
C	Eucalyptus (80%) + grenadier (20%)
D	Olivier (80%) + murier (20%)

D'après les résultats obtenus nous remarquons que le taux de polyphénols totaux est légèrement différent pour les trois type de bois (Figuier ; Grenadier ; Eucalyptus), cependant une forte teneur de 19,04 % pour l'olivier et 13,32 pour le mûrier cela dû à son anatomie riche en composé phénoliques.

Le patrimoine génétique joue un rôle important dans la variation de la teneur en composés phénoliques, à sa maturité l'espèce ligneuse a un taux de polyphénol élevé ; ce dernier dépend de la variété et de la provenance de l'espèce [38].

On constate que le taux de polyphénols des mélanges réalisés (Eucalyptus 80% + Grenadier 20%) est le plus faible 5.2%

Ce paillage fibreux permet de réduire l'arrosage, et joue le rôle de désherbant, et en se décomposant et peut se transforme en humus qui enrichir le sol [38].

II.3 Analyse des échantillons par Spectrométrie Proche Infrarouge (SPIR)

Les résultats de l'analyse spectrale par Spectrométrie Proche Infrarouge (SPIR) des différentes farines du bois sont représentés dans la **Figure (32)**.

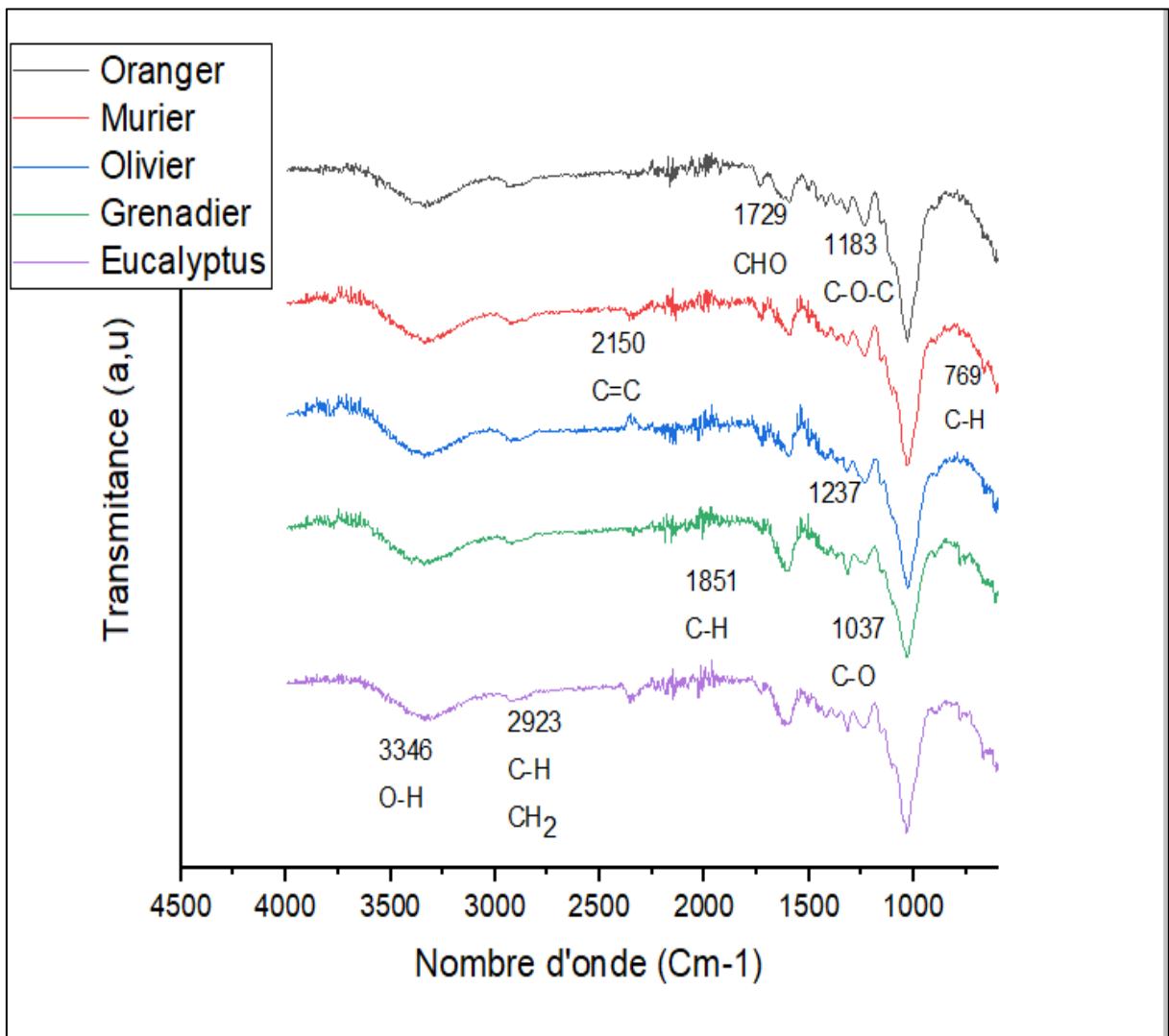


Figure (32) : Spectre IR des différentes fibres du bois

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 différentes bandes caractéristiques des constituants de nos fibres sont résumées dans le tableau.

Tableau (4) : Les bandes d'absorptions enregistrées des différentes fibres étudiées par SPI

Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Type de vibrations
3346-3350	Vibration d'élongation des groupements hydroxyles O-H
2923-2925	Vibration d'élongation asymétrique des liaisons C-H du groupe CH ₂
2150-2154	Vibration d'élongation des liaisons C≡C des alcynes
1851-1855	Harmonique des déformations C-H des aromatiques
1729-1734	Elongation d'aldéhyde aromatique
1237-1240	Déformation des groupes acétyles.
1183-1186	Vibration d'élongation antisymétrique des liaisons C-O-C.
1037-1042	Vibration d'élongations C-O aliphatique.
769-773	Vibration de déformation dans le plan des liaisons C-H des aromatiques.

Les bandes qui s'étendent aux alentours de 3429-3160 cm⁻¹ sont attribuées aux vibrations d'élongation des groupements hydroxyles (-OH) des celluloses et hémicelluloses.

Les bandes d'intensités moyennes vues vers 2960 et 2870 cm⁻¹ représentent les vibrations d'élongation symétrique et asymétrique des liaisons C-H du groupe -CH₂ segments de la cellulose et de la lignine [39,40].

Les bandes détectées à 2135 et à 2150 cm⁻¹ sont attribuées aux vibrations d'élongation de la triple liaison C≡C des alcynes.

Les bandes à 1244 et à 1234 cm⁻¹ sont attribuées à la déformation des groupes acétyles de la lignine. La bande à 1190 cm⁻¹ et celle à 1184 provient de l'élongation antisymétrique des liaisons C-O-C des hémicelluloses et principalement de la cellulose [41].

La bande à 1037 et 1029 cm⁻¹ de l'élongation antisymétrique des liaisons C-O-C des hémicelluloses et principalement de la cellulose [41].

Enfin, les vibrations de déformation du plan C-H aromatique sont observées à une longueur d'onde de 850 et 750 cm⁻¹ pour les deux spectres [41].

II.4 Mesure du pH

Tableau (5) : les résultats de la mesure du pH.

Types de bois	PH de la phase liquide	PH de la phase solide
Oranger	6.14	6.22
Murier	6.27	6.35
Olivier	5.48	5.48
Figuier	6.82	6.97
Grenadier	5.75	5.75
Eucalyptus	6.76	6.84
A	6.38	6.40
B	6.19	6.25
C	6.85	6.95
D	6.01	5.95

A	Eucalyptus + figuier+ olivier
B	Grenadier +oranger + murier
C	Eucalyptus (80%) + grenadier (20%)
D	Olivier (80%) + murier (20%)

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 [25].

L'acidité des épisolums (horizons supérieurs) est exprimée par des qualificatifs se basant sur les valeurs du pH : hyperacide (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) [25].

Les sols acides ne sont pas favorables à l'activité biologique en raison des concentrations trop grandes en ions hydrogène mais aussi en cations métalliques comme l'aluminium et le manganèse, qui sont toxiques pour les végétaux et la microflore du sol [25].

Dans nos résultats on distingue deux intervalles de pH dont un est peu acide et l'autre neutre.

On le trouve le pH peu acide dans : le bois d'oranger, d'olivier, du mûrier, du grenadier et des mélanges A, C et D.

On trouve aussi le pH neutre dans : le bois du figuier, d'eucalyptus et du mélange B.

II.5 Analyses phytochimiques :

Tableau (6) : les résultats d'identification des composés phénoliques

	Alcaloïdes	Flavonoïdes	Tanins	Tanins galliques
Infusé de la farine de bois d'oranger	+++	++	+	+
Infusé de la farine de bois du murier	+++	++	+	+
Infusé de la farine de bois d'olivier	+++	++	+++	+++
Infusé de la farine du bois du figuier	+	+	+++	+
Infusé de la farine du bois du grenadier	+	+	+	+
Infusé de la farine du bois d'eucalyptus	+	+	+++	+
Infusé de la farine du mélange A	+		++	
Infusé de la farine du mélange B	+		+	
Infusé de la farine du mélange C	+		+	
Infusé de la farine du mélange D	+		++	

A	Eucalyptus + figuier+ olivier
B	Grenadier +oranger + murier
C	Eucalyptus (80%) + grenadier (20%)
D	Olivier (80%) + murier (20%)

Les alcaloïdes sont présents dans les infusés (Oranger ; Mûrier ; Olivier) le précipité rouge nous montre une teneur importante d'alcaloïdes qui se rapproche du taux élevé des polyphénols.

Les tanins sont également élevés dans les taillis (Olivier ; Figuier ; Eucalyptus) elle serait dû à leur structure ligneuse.

Les flavonoïdes restent en faible quantité.

Dans les mélanges (A; B; C; D) les teneurs en alcaloïdes et tanins sont plus faibles ; pour un BRF de qualité , non toxique il faudrait faire des mélanges qui servirait à un amendement , il serait souhaitable de réaliser des mélanges de taillis à des pourcentages différents .



Figure (21) : L'identification des alcaloïdes [Originale2021]



Figure (22) : Résultats d'identification des flavonoïdes [Originale 2021]

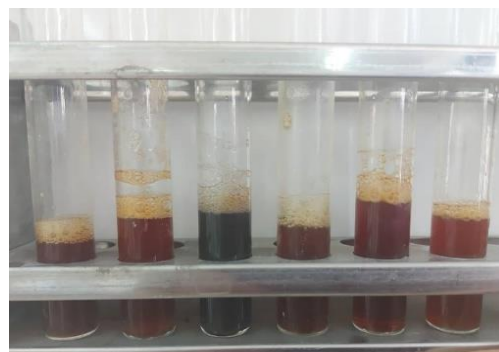


Figure (23) : les résultats d'identification des tanins gallique [Originale 2021]

II.6 Détermination du taux de cellulose :

Tableau (7) : Résultats du dosage de la cellulose.

Type de bois	Figuier	Eucalyptus
Cellulose (%)	40.23	42.2

D'après le tableau 7, nous remarquons que le taux de cellulose d'eucalyptus est supérieur à celui du figuier.

II.7 Détermination du taux de lignine :

Tableau (8) : Résultats du dosage de la lignine.

Type de bois	Figuier	Eucalyptus
Lignine (%)	14.23	23.8

D'après le tableau 8, nous remarquons que le taux de lignine d'eucalyptus est supérieur à celui du figuier.

La lignine apporte de la rigidité à la paroi cellulaire du bois, une imperméabilité à l'eau ainsi qu'une grande résistance en traction et une protection contre les parasites

Conclusion

L'état de l'environnement à un moment donné nous apparaît comme le résultat d'une évolution, plus ou moins longue, au cours de laquelle les sociétés ont aménagé et utilisé, en fonction de leurs capacités techniques et de leur organisation, le potentiel offert par le milieu naturel qu'elles occupent. Il est frappant de constater que la conception des rapports entre l'homme et la nature est toujours fortement imprégnée [46].

Sur un territoire, les enjeux écologiques sont imbriqués, ce qui est étroitement lié aux enjeux économiques et sociaux. La protection de l'environnement doit donc s'inscrire dans une réflexion plus large qui est celle du développement durable [46].

Il est bien évident de réfléchir à la préservation des milieux naturels implique de combiner systématiquement d'autres problématiques environnementales car toute décision relative à un enjeu écologique a des répercussions sur d'autres enjeux économiques et sociaux [47].

L'aménagement des forêts, autrement dit des sols, joue un rôle très important dans la stratégie de la protection de l'environnement, mais aussi du développement durable.

Notre travail a mis l'accent sur l'utilisation de taillis végétal comme un amendement naturel et protecteur des sols, souvent appauvris par des cultures intensives et une fertilisation chimique. Le BRF (bois raméal fragmenté) servira à apporter de la matière organique à des sols agraires.

Les objectifs visés dans notre travail étaient la caractérisation physico-chimique des différents types de bois (le bois : d'oranger, d'olivier, de mûrier, de figuier, de grenadier et d'eucalyptus).

Ainsi dans l'optique de mieux comprendre, nous nous sommes intéressés à analyser quelques caractéristiques comme : le taux d'humidité, le taux de cendre, le taux de polyphénols, le pH, l'analyse phytochimique, dosage de la cellulose, extraction de la lignine, les analyses par l'IR et du MEB.

Les différentes analyses physico-chimiques de nos taillis qui formeront le BRF nous ont montré :

Les résultats des tests physico-chimiques obtenus montrent que le figuier est le meilleur taillis pour fertiliser le sol d'où son taux d'humidité le plus élevé qui est due à sa structure de sa matière ligneuse et sa nature hydrophile.

Concernant le taux de cendre, les taillis d'oranger sont les meilleurs en vue de leurs plus grands pourcentages, ce qui est due à la région d'origine et la nature du sol.

Cependant, les taillis d'olivier nous ont révélé un taux de polyphénols totaux important ce qui serait néfaste à notre sol et cela est dû à la variété et la provenance de l'espèce. Contrairement au mélange C qui serait le meilleur amendement.

Pour le pH, les sols acides ne sont pas favorables à l'activité biologique. Nos résultats montrent que le pH de nos six taillis et nos mélanges sont soit peu acide ou neutre, ce qui est un avantage pour notre sol. Notre meilleur taillis est celui du figuier et le mélange C (Eucalyptus 80 % + Grenadier 20 %).

Les analyses phytochimiques montrent que la présence des alcaloïdes est due à la présence des polyphénols dans nos infusés. La présence des tanins est relative à la structure ligneuse du taillis.

L'analyse des échantillons par spectrométrie proche infrarouge (SPIR) à révéler une similitude entre la composition structurale (cellulose, hémicellulose et lignine) qui est due aux spectres d'adsorption obtenue.

Pour une caractérisation physico-chimique plus élaborée, il serait souhaitable d'évaluer le taux de flavonoïdes et de tanins contenus dans le BRF (bois raméal fragmenté) par chromatographie.

Faire des tests de phytotoxicité afin d'évaluer la toxicité du BRF (bois raméal fragmenté) dans un sol cultivé.

Suivre la valeur fertilisante du BRF (bois raméal fragmenté) dans une culture donnée.

Une analyse physico-chimique d'un BRF (bois raméal fragmenté) constituée de différents pourcentages de taillis serait souhaitable à partir de cinq bois de taillis différents.

*Références
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-en-Yvelines, France.
- [2] **Abdelmalki, L., Mundler, P. (2010)**. Economie de l'environnement et du développement durable. De boecksuperieur.
- [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] **Jourez, B. (2010)**. Anatomie et identification des bois, Thèse de doctorat, Liège, Belgique.
- [6] **Dhaouidi, L., Karbout.N., Zoughari.B. (2020)**. Effets de l'apport en Bois Raméal Fragmenté (BRF) sur les caractéristiques physico-chimiques du sol oasien du Sud Tunisien. Journal of oasis agriculture and sustainable development, 2(1). pp 29-34.
- [7] **Vincent Breton, F. Rey, Y. Crosaz .(2015)**.Le bois raméal fragmenté (BRF) pour la lutte contre l'érosion : un exemple de valorisation d'un déchet organique. Sciences Eaux&Territoires, INRAE, pp.46-48.
- [8] **Taylor, A.M., Gartner, B.L., Morrel, J.J. (2002)**. Heartwood formation and natural durability a review. Wood Fib. Sci. 34(4): 587-611
- [9] **Cloutier, A. (2005a)**. Anatomie et structure du bois. Documents de laboratoire. Université Laval, Québec. 49 pp.
- [10] **Campredon, J. (1969)**. Le bois, 4ème édition, N° 382, Ed. Presses universitaires de France.
- [11] **Natterer, J., Sandoz, J.-L., Ray, M. (2005)**.Construction en bois: matériau, technologie et dimensionnement, Vol. 13, 2e édition revue et augmentée, Ed. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [12] **Sjöström, E., (1993)**. Wood Chemistry – Fundamentals and Applications. 2. Ed. San Diego, USA, Academic Press.293 pp.
- [13] **Stevanovic, T.J. (2014a)**. Notes de cours chimie des constituants végétaux II. Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec, Canada.
- [14] **Navi, P. & Heger, F. (2005)**. Comportement thermo-hydrromécanique du bois, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [15] **Stevanovic, T.J. et D. Perrin. (2009)**. Chimie du bois. 1ere édition. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse. 241pp.

- [16] **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.
- [17] **Fengel, D. & Wegener, G. (1989)**. Wood: Chemistry, Ultrastructure, and Reactions, Walter de Gruyter-Berlin, New York.
- [18] **Croteau, R., Kutchan, T. M., Lewis, N. G. (2000)**. Natural products (secondary metabolites). Biochemistry and molecular biology of plants. W. G. B. Buchanan, R. Jones, American society of plants physiologists, pp.1250-1318.
- [19] **Bruneton, J. (1999)**. Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales. 3eme édition, Lavoisier Techniques et Documentation, Paris. pp.1120.
- [20] **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.
- [21] **Harborne J.B.** The flavanoids-advances in research since 1980, Chapman and Hall, New York, 1988, 621 p.
- [22] **Haslam E.** Plant polyphenols. Vegetable tannins revisited, Cambridge university press. Cambridge, 1989, 230 p.
- [23] **Clifford M. Scalbert A.** Ellagitannins-nature, Occurrence and dietary burden, J. Sci. Food agric. 80, 2000, pp. 1118-1125.
- [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] **Michel Aubineau .(2002)**. LAROUSSE AGRICOLE . 4^{ème}. Paris : Larousse
- [26] **Gerbeaud** [Mûrier : plantation , culture et principales espèces] [27 / 07 / 2021]
<<https://media.gerbeaud.net/2015/01/640/murier-platane-morus-kagayamae.jpg>>
- [27] **Ferdjani, S ., Slimani, O ., (2020)**. Valorisation du bois de chêne zeen et chêne afares . Mémoire de Magister en chimie de l'environnement . Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou ; Faculté des sciences .
- [28] **TINGAUT. PH., (2006)** ,Modification de la structure chimique du bois par des Alcoxysilanesdiversement substitués, ThèsDoct. Univ Bordeaux. 17-27p.
- [29] **Boras, M., (2015)** . Etude comparative et optimisation de prétraitement des écorces de bois pour l'extraction des composés phénoliques UTC (Université Technologie Compiègne) .
- [30] **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.

- [31] **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.
- [32] **IMAN TALEB ;(2013).** Apport de la spectroscopie vibrationnelle, infrarouge et Raman, appliquée au sérum pour le diagnostic du carcinome hépatocellulaire chez les patients atteints de cirrhose. UNIVERSITE DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE
- [33] **NANCY.D., (2009) :** Chimie de bois. Xavier DEGLISE. Professeur émérite à Univ-Henri- Poincaré. Past Président de l'Internatinnel Academy of Wood Science.225p.
- [34] **BENYOUCEF. S., HARRACHE DJ., (2014) :** Caractérisation de la microstructure de Sciure
- [35] **Martial.P., (2017),** "Modification de l'énergie de surface du bois par fluoration", thèse de doctorat, Université Clermont Auvergne.
- [36] **Rowell, R. (1984).** "The chemistry of solid wood", Advances in chemistry series n° 207. American Chemical Society, New-York.
- [37] **Nadir,M.(1966).** Etude des feuilles de murier en vue de l'élevage du ver a soie et de l'alimentation du bétail , Al Awamia ,21.pp1-8 .
- [38] **MACHEIX J., FLEURIET A., JAY ALLEMAND C .** les composés phénoliques des végétaux, presses polytechniques et universitaires romandes, lausanne, 2005.
- [39] **BOUSSEHEL H. (2018) .** Etude des moyens de stabilisation des composites à base de polystyrène. Thèse de doctorat. Filière : chimie. Option : science des matériaux. Université Mohamed Khider. Biskra.
- [40] **FADEL A.** Influence des diverses modifications de Genet d' Espagne sur la propriété mécanique, rhéologique et thermique de composites à matrice thermoplastique. Mémoire de Magistère. Option : génie des polymères. Université de Setif-1, 2014.
- [41] **Jaquiot C., Trenard Y. et Dirol D., (1973).** Atlas d'anatomie des bois des Angiospermes essences feuillus). Tome I, centre Technique du bois, Paris, 175p.
- [42] **ResearchGate** [A gauche, structure en microscopie électronique à balayage d'une coupe transversale d'un charbon de bois d'olivier cultivé irrigué du site de Lunel-Viel A droite, charbon de bois d'olivier de type sauvage ; site de Tarragona] [10/10/2021] <<https://www.researchgate.net/profile/Jean-Frederic...onique-a-balayage-dune-coupe-transversale-dun.jpg>>
- [43] **MOUSSA.I., (2017) .** Exploitation des déchets agricoles dans des applications textiles. Thèse de doctorat . Spécialité : Génie textile . Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir . Tunisie .
- [44] **GOLPAYEGAMI.A.S., (2011) .** Caractérisation du bois du Mûrier blanc (Morus albaL.) en référence à son utilisation dans les luths Iraniens . Thèse de doctorat . Spécialité : Mécanique et Génie Civil . Université Montpellier 2. Montpellier.

[45] **Xinde,X., Shanjing,Y., Ning,H., Bin,S.H.,(2007)** . Measurement and influence factors of the flowability of microcapsule with high content β carotene .Chin .Journal .Chem .Eng . Vol 15 N°4 , pp 579-585 .

[46] **Rossi, G. (1997)**. Les cahiers d'outre mer. Environnement et développement. 1(197), pp 105-110.

[47] L'ENVIRONNEMENT en Poitou-charentes – Thème patrimoine naturel-Edition 2013.

Annexes

Annexe 1 : Les résultats obtenue lors des tests de taux d'humidité sont résumés dans le tableau suivant.

Types de bois	m ₀	m ₁	m ₂	Taux d'humidité	Moyenne (%)
Oranger	18,3802	20.3802	20.2243	8.4540	8,3132
	17,9677	19.6977	19.8139	8.3306	
	17,5486	19.5486	19.3964	8.2368	
Murier	18,2519	20.2519	20.1011	8.1549	8,2154
	18,4765	20.4765	20.3239	8.2603	
	17,657	19.657	19.5049	8.2310	
Olivier	16,3262	18.3262	18.2201	5.6022	5,5892
	17,2991	19.2991	19.1948	5.5019	
	18,7278	20.7278	20.6206	5.6636	
Figuier	17,7071	19.7071	19.5494	8.5600	8,9034
	17,0129	19.0129	18.8475	9.0156	
	19,2771	21.2771	21.1097	9.1346	
Grenadier	18,1605	20.1605	20.0205	7.5269	7,7899
	17,0332	19.0332	18.8869	7.8923	
	17,749	19.749	19.6017	7.9506	
Eucalyptus	17,5752	19.5752	19.4347	7.5558	7,8618
	18,6985	20.6985	20.5513	7.9447	
	18,7719	20.7719	20.6223	8.0847	

Annexe 2 : Les résultats obtenue lors des tests de taux de cendre sont résumés dans le tableau suivant .

Types de bois	m ₀	m ₁	m ₂	Taux de cendre (%)
Oranger	18.6977	20.6977	18.926	11.4150
Murier	17.5748	19.5748	17.6428	3.4000
Olivier	18.7717	20.7717	18.8388	3.3550
figuier	17.0327	19.0327	17.1826	7.4950
Grenadier	18.1599	20.1599	18.2891	6.4600
Eucalyptus	17.7486	19.7486	17.9407	9.6050

Annexe 3 : Les résultats obtenue lors des tests du PH sont résumés dans le tableau suivant.

Types de bois	PH de la phase liquide	PH de la phase solide
Oranger	6.14	6.22
Murier	6.27	6.35
Olivier	5.48	5.48
Figuier	6.82	6.97
Grenadier	5.75	5.75
Eucalyptus	6.76	6.84
A	6.38	6.40
B	6.19	6.25
C	6.85	6.95
D	6.01	5.95

Annexe 4 : Les résultats obtenue lors de l'identification des polyphénols sont résumés dans le tableau suivant.

Composés	Mode opératoire	La couleur	Résultats	
Alcaloïde	On ajoute 2 gouttes du réactif de dragendroff à 5ml de l'infusé	Précipité rouge	Oranger	+
			Murier	+
			Olivier	+
			Figuier	+
			Grenadier	+
			Eucalyptus	+
			A	-
			B	-
			C	-
Flavonoïde		Rouge orangé	Oranger	+

	5ml de l'infusé + 5ml d'HCL (1 N) + un coupeau de Mg + 1ml d'alcool iso butanol		Murier	-
			Olivier	+
			Figuier	-
			Grenadier	-
			Eucalyptus	-
Tanins	5ml de l'infusé et on ajoute goutte à goutte la solution aqueuse FeCl ₃ (5 %)	Verdâtre	Oranger	-
			Murier	-
			Olivier	+
			Figuier	+
			Grenadier	-
			Eucalyptus	+
			A	+
			B	-
			C	-
			D	+
Tanins gallique	On sature le filtrat par l'acétate de sodium puis on ajoute quelques gouttes de FeCl ₃ (5 %)	Noirâtre	Oranger	-
			Murier	-
			Olivier	+
			Figuier	-
			Grenadier	-
			Eucalyptus	-

Annexe 5 : Les résultats des absorbances et taux de polyphénols des échantillons avec (folin-Ciocalteu dilué 10 fois)sont résumés dans le tableau suivant

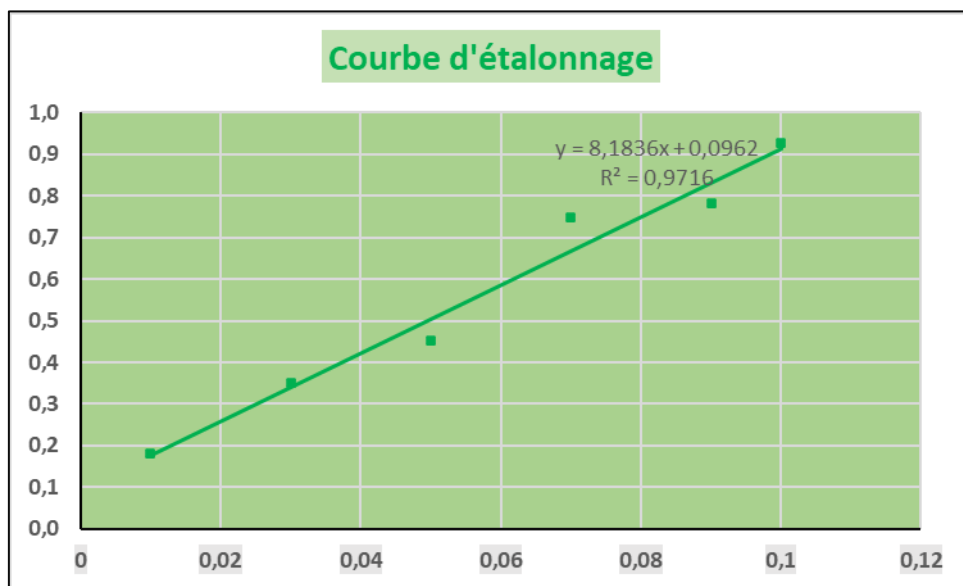
Types de bois	Absorbance 1	Absorbance 2	Absorbance 3	Absorbance moyenne	Taux de polyphénols (%)
Oranger	0,590942	0,611694	0,608154	0,603597	7,38
Murier	1,0354	1,08899	1,1460	1,09013	13,32
Olivier	1,54944	1,61206	1,51196	1,55782	19,04
Figuier	0,522583	0,519165	0,531128	0,52429	6,41

Grenadier	0,514038	0,533936	0,552002	0,53333	6,52
Eucalyptus	0,580688	0,431152	0,390747	0,46753	5,71
A	1,50867	1,45911	1,4325	1,46676	17,92
B	1,22656	1,26855	1,31763	1,27091	15,53
C	0,4071	0,4377	0,4318	0,42554	5,20
D	1,8412	1,8234	1,8486	1,83773	22,46

Annexe 6 : les résultats des absorbance d'acide gallique (0.5 g/l) avec du folin dilué 10 fois sont résumés dans le tableau suivant .

C (g/l)	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.1
Abs	0,1803	0,3499	0,4519	0,7488	0,7833	0,9272

Annexe 7 : la courbe d'étalonnage d'acide gallique avec du folin dilué 10 fois .



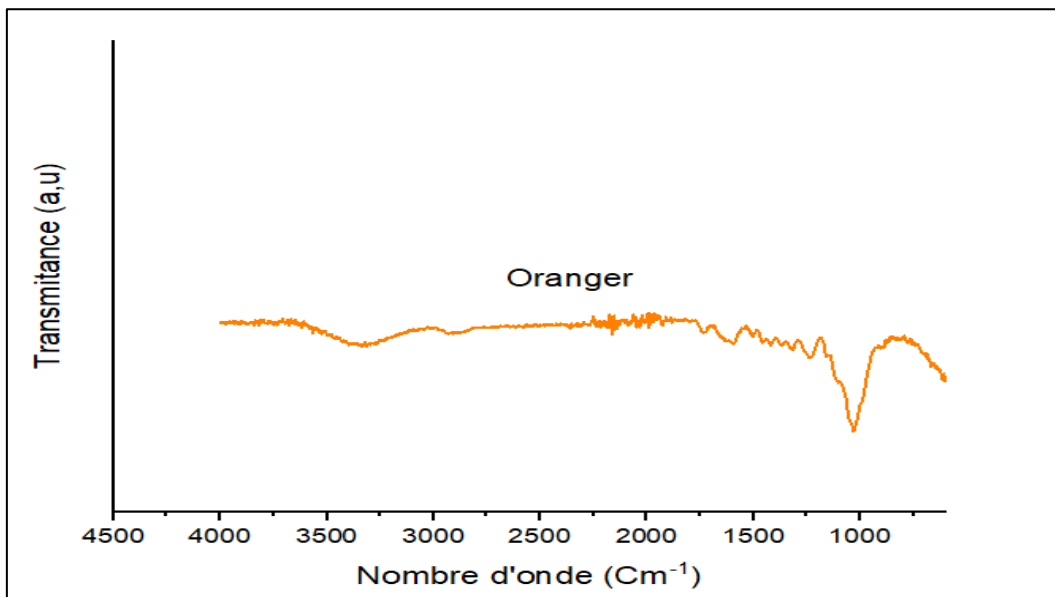
A	Eucalyptus + figuier+ olivier
B	Grenadier +oranger + murier
C	Eucalyptus (80%) + grenadier (20%)
D	Olivier (80%) + murier (20%)

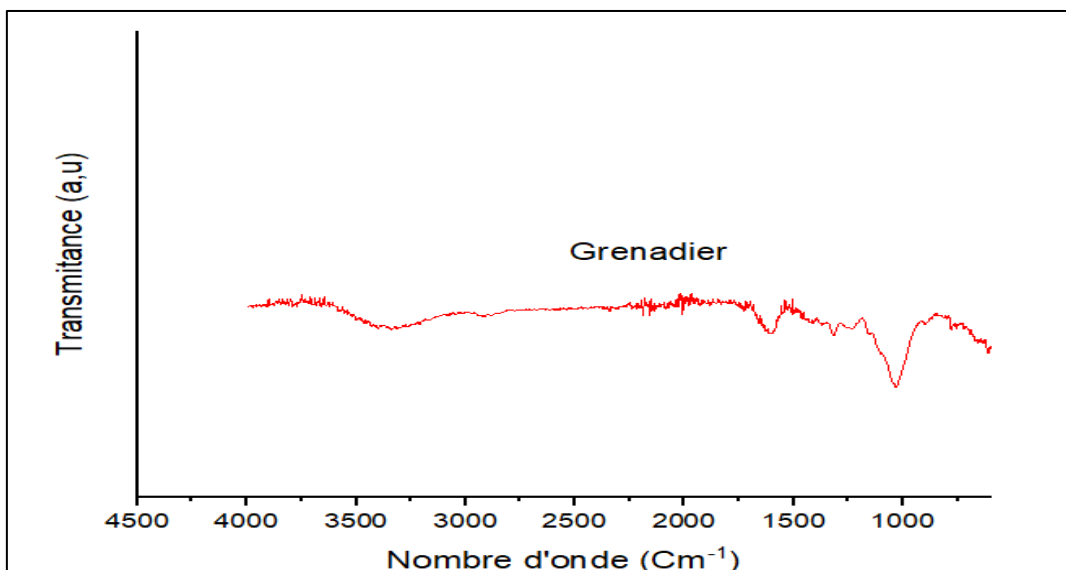
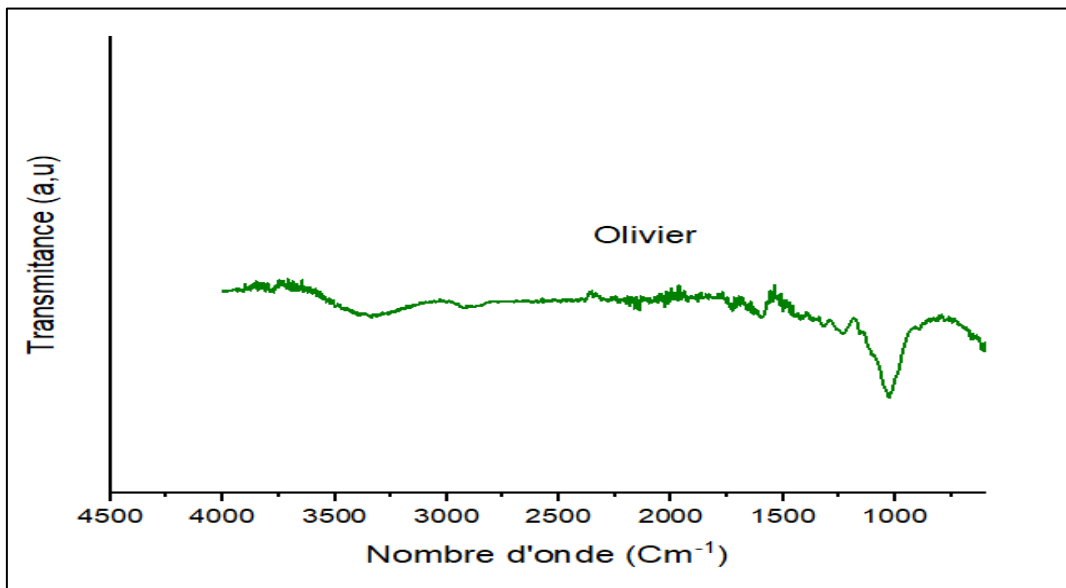
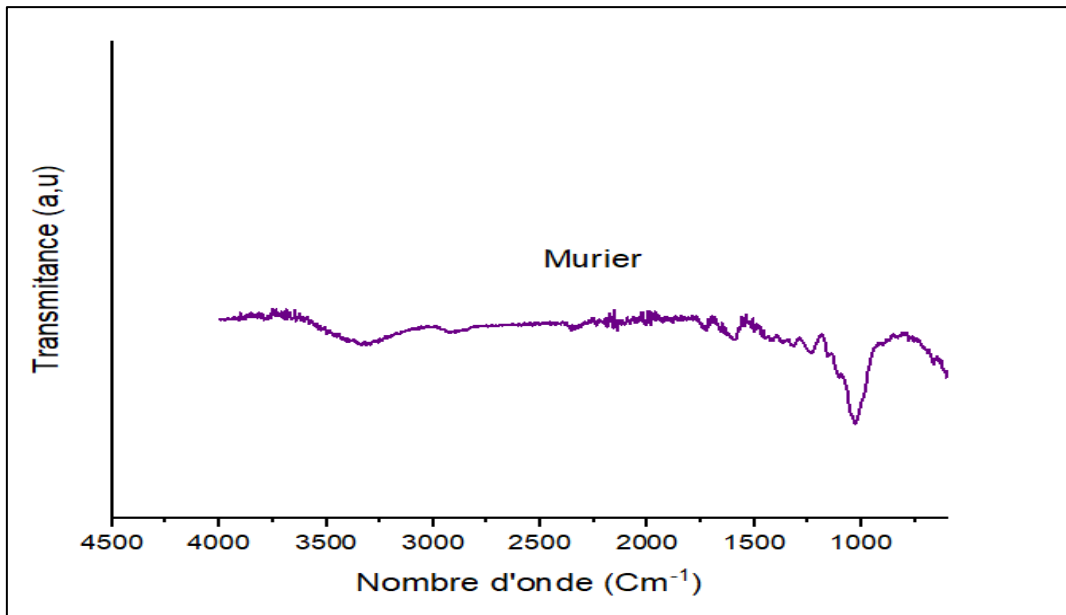
Annexe 8 : le matériels et produits utilisés dans les différentes études.

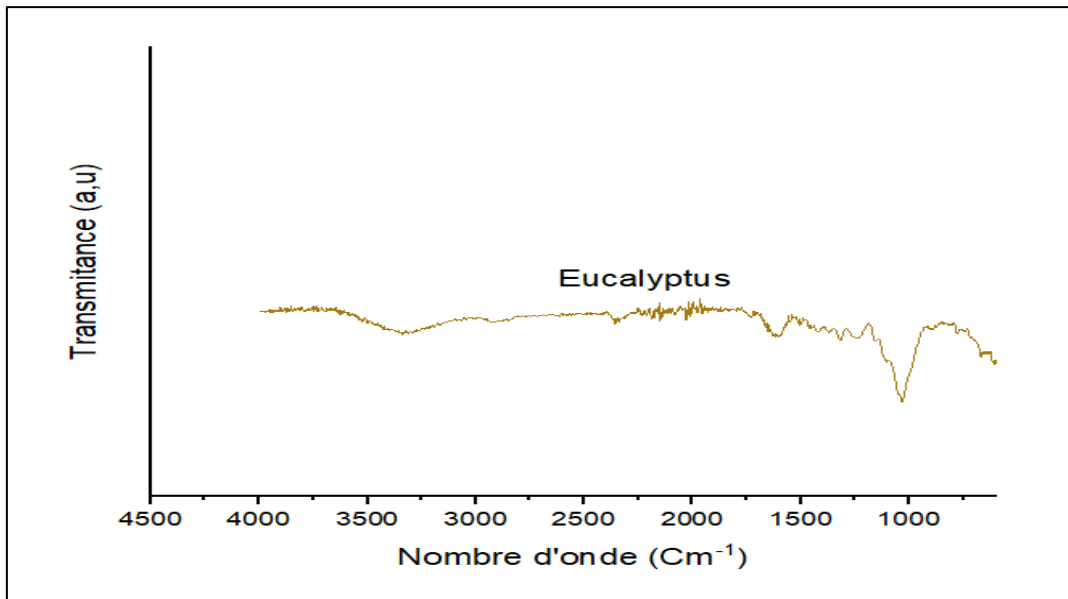
Etudes effectuées	Matériels utilisés	Produits utilisés
La préparation des échantillons	<ul style="list-style-type: none"> - Moulin à café - Tamis vibreurs 	Copeaux de bois
Taux d'humidité	<ul style="list-style-type: none"> - Creusets - Balance précise - Etuve 	Les échantillons de bois
Taux de cendre	<ul style="list-style-type: none"> - Creusets - Balance précise - Four à moufle - Dessiccateur 	Les échantillons de bois
Taux de polyphénol	<ul style="list-style-type: none"> - Pipette de 10 ml - Pipette de 5 ml - Pipette de 2 ml - Pipette de 1 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 - Barraux aimanté - Bécher - Erlenmeyer 100 ml avec bouchons - Entonnoir - Papier filtre - Tube à essai - Bain marie - Spectrophotomètre UV 	<ul style="list-style-type: none"> - Les échantillons de bois - Méthanol à 80 % (CH₃OH) - Eaux distillées (H₂O) - Folin-ciocalteu - Carbonate de sodium (Na₂CO₃) - Acide gallique (C₇H₆O₅)
Calcul de PH	<ul style="list-style-type: none"> - Balance précise - Bouteilles en verre - PH mètre 	<ul style="list-style-type: none"> - Les échantillons de bois - Eaux distillées
Identification des composés phénoliques	<ul style="list-style-type: none"> - Erlenmeyer de 100 ml - Papier filtre - Entonnoir - Flacons en verre - Bécher - Fiole de 25 ml - Seringue de 2 ml - Seringue de 50 ml 	<ul style="list-style-type: none"> - Les échantillons de bois - Eaux distillées bouillantes - Réactif de Dragendroff - Acide chloridrique HCL (1 N) - Copeaux de Mg - Alcool iso-butanol (C₃H₈O) - La solution aqueuse FeCl₃ (5 %) - Acétate de sodium (C₂H₃NaO₂)

Taux de cellulose	<ul style="list-style-type: none"> - Erlenmeyer à col rodé de 250 ml - Centrifugeuse - Tubes de centrifugation - Creusets en porcelaine - Four 	<ul style="list-style-type: none"> - Les échantillons de bois - Acide Sulfurique (H_2SO_4) - Hydroxyde de sodium (NaOH) - Indicateur coloré
Taux de lignine	<ul style="list-style-type: none"> - Dessiccateur - Chauffage à reflux 	<ul style="list-style-type: none"> - Les échantillons de bois - Solution de détergent acide - n-octanol ($C_8H_{18}O$) - L'eau bouillante - L'acétone froide (C_3H_6O) - Acide Sulfurique (72 %)
Spectroscopie IR	Spectromètre infrarouge	Echantillon de bois
Microscopie électrique à balayage	Spectroscopie électrique à balayage	Echantillon de bois

Annexe 9 : Les résultats de l'analyse spectrale par Spectrométrie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) sont présentés ci-dessous :







Annexe 10 : Quelques images sur le bois raméal fragmenté (BRF) pour la lutte contre l'érosion [7]



Annexe (11) : Image d'un taillis (photo réelle).



Résumé :

L'objectif de notre travail est la caractérisation physico-chimique d'un BRF (Bois raméal fragmenté) issu de taillis de cinq types fruitiers (Olivier ; Mûrier ; Oranger ; Grenadier ; Figuier) et d'une essence exotique (Eucalyptus). Ce broyat de taillis caractérisé apportera aux sols agricoles de la matière organique.

Afin de réaliser cette caractérisation plusieurs analyses sont effectuées à savoir : la détermination de taux d'humidité, taux de cendre, la mesure du pH, l'identification des composés phénoliques, taux de lignine et de cellulose, le taux de polyphénol a été réalisé par des tests de coloration de dosage par spectrophotométrie UV-visible de folin-ciocalteu ; une caractérisation spectrale par infrarouge et anatomique par microscope électronique à balayage.

Les résultats montrent que ces taillis (BRF) récupérés de nos essences étudiées peuvent servir de fertilisants voire même d'herbicides naturels (de moindre coût) à des sols agricoles appauvris par un amendement souvent chimique et polluant.

Mots clé : Bois, folin-ciocalteu ; dosage, calcination, extraction ; caractérisation.

Abstract:

The objective of our work is the physicochemical characterization of a BRF (fragmented rameal wood) from coppiced trees of five fruit trees (Olive tree; Mulberry tree; Orange tree; Pomegranate tree; Fig tree) and an exotic species (Eucalyptus). This characterized coppice mulch will provide agricultural soils with organic matter.

In order to realize this characterisation various analyses are carried out: determination of humidity level, ash rate, pH, cellulose and lignin content identification of phenolic compounds, the polyphenol level is realized by colouring tests using folin-ciocalteu UV-Visible spectrophotometric assays, structural characterization using infrared and anatomical characterization using a scanning electron microscope.

The results show that these coppices (BRF) recovered from our studied species can be used as fertilizers or even natural herbicides (at a lower cost) for agricultural soils impoverished by an often chemical and polluting amendment.

Keywords: Wood, folin-ciocalteu; dosage, calcination, extraction; characterization.