

THESE

En vue de l'obtention du: **DOCTORAT**

Structure de Recherche: UFR "Sciences du Bois"

Discipline: Sciences de l'Ingénieur

Spécialité: Sciences du Bois

Présentée et soutenue le 27 / 02 / 2021 par :

Adil AZNAG

*Etude comparative de la structure anatomique du bois
de certaines essences forestières naturelles du Rif et du Moyen Atlas
et optimisation de la méthode de sciage de la loupe de thuya*

JURY

Bousselham KABOUCHI	PES,	Université Mohammed V- Rabat Faculté des Sciences	Président
Mohamed RAHOUTI	PES,	Université Mohammed V- Rabat Faculté des Sciences	Directeur de thèse
Salwa BENNANI	PES,	Université Mohammed V- Rabat Faculté des Sciences	Rapporteur/Examinatrice
Mohsine ZIANI	PES,	Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine (INSAP) - Rabat	Rapporteur/Examinateur
Hafida EL HAOUZALI	PH,	Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs - Salé	Rapporteur/Examinatrice
M'hamed HACHMI	PES,	Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs - Salé	Invité

Année Universitaire: 2020-2021

Dédicace

Je dédie cette thèse de Doctorat à :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Je voudrais témoigner également toute mon affection à mon frère et à mes sœurs pour leur soutien et leur dévouement impérissable tout au long de mon cursus en témoignage à notre fraternité sans égale.

Un grand merci va aussi à ma femme Latifa pour sa patience, ses sacrifices et ses encouragements.

A ma chère fille AYA à qui je souhaite plein de bonheur et de réussite.

A toute la famille AZNAG et CHENAA.

A tous les professeurs, amis et camarades de l'UFR Sciences du Bois pour leur amitié sincères.

Avant-propos

Ce travail a été réalisé au sein de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences du Bois (U.F.R SI 11/01) de la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V de Rabat, sous la direction du Professeur Mohamed RAHOUTI. Il a été mené en collaboration avec le Service de Technologie du bois et de Valorisation des Produits Forestiers du Centre de Recherche Forestière (CRF, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification) dans le cadre d'une collaboration scientifique relative à la caractérisation technologique et à la valorisation des bois.

Je tiens tout d'abord à remercier vivement:

- ✓ Monsieur **Mohamed RAHOUTI**, (Directeur de Thèse), Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, qui a bien accepté d'assurer l'encadrement de ce travail, m'a bien accueillie dans l'Equipe de Botanique et Valorisation des Ressources Végétales et Fongiques (BOVAREF) et qui n'a pas cessé de me guider et m'orienter tout en consacrant le temps et les moyens nécessaires pour le bon déroulement et l'avancement de mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.
- ✓ Monsieur **Bousselham KABOUCHI**, Professeur de l'Enseignement Supérieur au Laboratoire de Matière Condensée et Sciences Interdisciplinaires de la Faculté des Sciences de Rabat pour l'honneur qu'il 'a fait en acceptant de présider le jury de cette thèse. Qu'il soit assuré de mon profond respect et mes vifs remerciements.
- ✓ Madame **Salwa BENNANI**, (Rapporteur), Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, qui a bien voulu accepter d'être rapporteur de ma thèse et faire partie du jury de ma thèse. Qu'elle trouve ici l'expression de mes vifs remerciements.
- ✓ Monsieur **Mohsine ZIANI**, (Rapporteur), Professeur de l'Enseignement Supérieur à l'Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine (INSAP) de Rabat, pour avoir accepté d'être rapporteur de ma thèse et membre du jury. Je tiens à lui exprimer vivement toute ma reconnaissance pour l'intérêt qu'il a toujours porté à ce travail.

- ✓ Madame **Hafida EL HAOUZALI**, (Rapporteur), Professeur Habilité à l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs (ENFI) de Salé, qui a bien voulu accepter d'être rapporteur de ma thèse et membre du jury. Je tiens à la remercier pour ses précieux conseils et ses remarques judicieuses. Qu'elle trouve ici mes remerciements les plus sincères.
- ✓ Monsieur **M'hamed HACHMI**, Professeur de l'Enseignement Supérieur à l'ENFI, a suivi de très près le présent travail et n'a épargné aucun effort pour son amélioration. Qu'il en soit vivement remercié et qu'il trouve à travers ces mots ma profonde reconnaissance pour sa disponibilité sans faille
- ✓ Monsieur **Abderrahim FAMIRI**, Docteur Es-Sciences Physiques et Chef du Service de Technologie du Bois et Valorisation des Produits Forestières au CRF de Rabat, je le remercie pour son soutien et ses encouragements, sa disponibilité et pour les discussions très fructueuses sur le sujet de recherche développé.
- ✓ Monsieur **Abdelillah HAKAM**, ex-responsable de l'UFR Sciences du Bois et Professeur de l'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences de Rabat, je lui adresse mes remerciements pour m'avoir accueillie dans l'UFR Sciences du Bois. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Enfin, il m'est particulièrement agréable d'adresser mes vifs remerciements à tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce travail et qui m'ont soutenu et faciliter les tâches tout au long de son déroulement. Je suis aussi très reconnaissant à tous mes amis et les membres de ma famille pour leur soutien moral et matériel.

Résumé:

Cette étude constitue une contribution à la promotion du secteur du bois au Maroc. Le premier objectif de ce travail vise à mettre en évidence l'influence des facteurs écologiques sur la variabilité anatomique intra-spécifique de certaines essences forestières du Maroc en vue d'une utilisation rationnelle de leur bois. Le deuxième objectif concerne la valorisation des produits à base de loupe de thuya, à travers l'identification anatomique de ses principaux axes d'anisotropie, qui conditionnent le mode de coupe. Afin d'atteindre le premier objectif, nous avons d'abord mené une étude anatomique comparative de la structure interne du bois de neuf espèces récoltées à la fois du Rif et du Moyen Atlas; Dans un premier temps, nous avons présenté la description macroscopique des sections de rondelles de bois issues des échantillons choisis; puis ensuite l'étude microscopique des coupes anatomiques, réalisées à l'aide d'un microtome, sur les trois faces du plan ligneux. Les résultats ont montré que l'environnement des essences, appelé aussi station, a un effet assez significatif sur la structure anatomique. Le second objectif de notre travail concerne la loupe de thuya. L'analyse comparative des coupes anatomiques des éprouvettes normalisées, confectionnées suivant les axes principaux des référentiels ont montré que ce bois présente une anisotropie transverse légère.

Mots clés: essences de bois du Rif et du Moyen Atlas, loupe de thuya, sens d'orientation, analyse macroscopique et microscopique du bois, influences écologiques.

Abstract:

This study constitutes a contribution to the promotion of the timber sector in Morocco. The first objective of this work aims to highlight the influence of ecological factors on the intra-specific anatomical variability of certain forest species in Morocco for the rational use of their wood. The second objective concerns the enhancement of products based on thuja burl, through the anatomical identification of its main axes of anisotropy, which condition the cutting method. In order to achieve the first objective, we first carried out a comparative anatomical study of the internal structure of the wood of nine species collected from both the Rif and the Middle Atlas; First, we presented the macroscopic description of the sections of wood discs from the selected samples; then the microscopic study of the anatomical sections, made using a microtome, on the three faces of the woody plane. The results showed that the environment of the species, also called the station, has a fairly significant effect on the anatomical structure. The second objective of our work concerns the thuja burl. The comparative analysis of the anatomical sections of the standardized specimens, made along the main axes of the reference systems, showed that this wood has a slight transverse anisotropy.

Key-words: Rif and Middle Atlas wood species, thuja burl, sense of orientation, macroscopic and microscopic analysis of wood, ecological influences.

SOMMAIRE

DEDICACES	i
AVANT PROPOS	ii
RESUME.....	iv
ABSTRACT.....	v
SOMMAIRE.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE BOIS

INTRODUCTION	6
1.1. DEFINITION DU BOIS.....	7
1.2. FORMATION DU BOIS ET DE L'ECORCE.....	7
1.2.1. Ecorce	7
1.2.2. Histologie et processus de formation du bois	8
1.3. STRUCTURE MACROSCOPIQUE DU BOIS.....	9
1.3.1. cambium et fonctionnement de l'assise génératrice libéro-ligneuse	9
1.3.2. Aubier et duramen	12
<i>1.3.2.1. Aubier</i>	12
<i>1.3.2.2. Bois parfait ou Duramen</i>	13
<i>1.3.2.3. Formation de l'aubier et du bois parfait</i>	14
1.3.3. Moelle	14
1.3.4. Cernes annuels	15
1.4. STRUCTURE MICROSCOPIQUE DU BOIS	15
1.4.1. Notion du plan ligneux	15
1.4.2. Différenciation du méristème	17
1.4.3. Variations sous l'influence des facteurs de la station	17
1.4.4. Classification des arbres/essences forestières	18
1.4.5. Structure et composition du bois résineux	18
<i>1.4.5.1. Trachéides</i>	19
<u>1.4.5.1.1. Trachéides longitudinales</u>	20
<u>1.4.5.1.2. Trachéides transversales</u>	21
<i>1.4.5.2. Cellules de parenchyme ligneux</i>	22
<i>1.4.5.3. Rayons ligneux</i>	22
<i>1.4.5.4. Canaux résinifères</i>	23
<i>1.4.5.5. Ponctuations</i>	24
<u>1.4.5.5.1. Ponctuations simples</u>	24
<u>1.4.5.5.2. Ponctuations aréolées</u>	25
<u>1.4.5.5.3. Ponctuations semi-aréolés</u>	27
<u>1.4.5.5.4. Ponctuations du champ de croisement</u>	27

1.4.5.6. Structures anormales.....	28
1.4.5.6.1. Canaux traumatiques.....	28
1.4.5.6.2. Bois de réaction.....	29
1.4.5.6.3. Bois de compression.....	29
1.4.6. Structure et composition du bois feuillus.....	29
1.4.6.1. Eléments fondamentaux.....	30
1.4.6.2. Cellules longitudinales.....	31
1.4.6.3. Vaisseaux.....	31
1.4.6.4. Fibres.....	33
1.4.6.5. Parenchyme vertical.....	34
1.4.6.5.1. Parenchyme apotrachéal.....	35
1.4.6.5.2. Parenchyme paratrachéal.....	36
1.4.6.5.2. Parenchyme en bande.....	36
1.4.6.6. Rayons ligneux.....	36
1.4.6.7. Thylles.....	37
1.4.6.8. Bois de tension des feuillus.....	38
1.4.6.9. Perforations.....	39
1.4.7. Fixité du plan ligneux et variabilité des caractéristiques anatomiques.....	40
1.4.8. Loupe de thuya.....	40
1.5. ULTRASTRUCTURE DE LA CELLULE LIGNEUSE.....	40
1.5.1. Description cytologique de la paroi de la cellule du bois normal.....	40
1.5.1.1. Couche intercellulaire.....	41
1.5.1.2. Paroi primaire.....	41
1.5.1.3. Paroi secondaire.....	41
1.6. COMPOSITION CHIMIQUE DU BOIS.....	43
1.6.1. Cellulose.....	43
1.6.2. Hémicellulose.....	44
1.6.3. Lignine.....	45
1.6.4. Extractibles.....	46
CONCLUSION.....	46

CHAPITRE 2 : DESCRIPTION BOTANIQUE ET ECOLOGIQUE DE QUELQUES ESSENCES FORESTIERES PEUPLANT LE RIF ET LE MOYEN ATLAS

INTRODUCTION.....	48
2.1. APPERCU SUR LES REGIONS DE RECOLTE (RIF ET MOYEN ATLAS).....	49
2.1.1. Rif.....	49
2.2.2. Moyen Atlas.....	50
2.2. ESPECES RESINEUSES.....	52
2.2.1. Cedrus atlantica (cèdre).....	52
2.2.1.1 Description botanique et écologie.....	52
2.2.2. Juniperus oxycedrus (cade).....	53
2.2.2.1. Description botanique et écologie.....	53
2.2.3. Tetraclinis articulata (thuya).....	54
2.2.3.1. Description botanique et écologie.....	54
2.2.4. Pinus halepensis (pin d'Alep).....	56
2.2.4.1. Description botanique et écologie.....	56
2.2.5. Pinus pinaster (pin maritime).....	58
2.2.5.1. Description botanique et écologie.....	58

2.3. ESPECES FEUILLUS	59
2.3.1. <i>Olea europaea</i> (Olivier)	59
2.3.1.1. <i>Description botanique et écologie</i>	59
2.3.2. <i>Quercus rotundifolia</i> (chêne vert)	61
2.3.2.1. <i>Description botanique et écologie</i>	61
2.3.3. <i>Quercus faginea</i> (Chêne zéen)	62
2.3.3.1. <i>Description botanique et écologie</i>	62
2.3.4. <i>Ceratonia siliqua</i> (caroubier)	64
2.3.4.1. <i>Description botanique et écologie</i>	64
CONCLUSION.....	65

CHAPITRE 3: MATIERE, MATERIEL ET METHODOLOGIE ADOPTE POUR L'OBTENTION ET EXAMEN DES COUPES ANATOMIQUES

3.1. MATIERE VEGETALE.....	67
3.1.1. Espèces récoltées	67
3.1.1.1. <i>Espèces résineuses</i>	67
3.1.1.2. <i>Espèces feuillus</i>	68
3.1.2. Loupe et bois du tronc de thuya	68
3.2. MATERIEL DU TERRAIN.....	68
3.3. MATERIEL DE LABORATOIRE.....	69
3.4. MATERIEL ET PRODUIT DE PREPARATION DES COUPES ANATOMIQUES.....	70
3.5. METHODOLOGIE.....	70
3.5.1. Méthodologie de préparation des sections du bois	70
3.5.2. Technologie de préparation des sections du bois de la loupe	72
3.5.3. Etude macroscopique	73
3.5.4. Etude microscopique	77
3.5.4.1. <i>Protocole utilisé pour la préparation des coupes au microtome</i>	77
3.5.4.2. <i>Exécution des coupes</i>	77
3.5.4.3. <i>Coloration et montage des coupes</i>	78

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

INTRODUCTION	80
4.1. ESPECES RECOLTEES DU RIF ET DU MOYEN ATLAS.....	81
4.1.2. Groupe des résineux	81
4.1.2. Groupe des feuillues	83
4.2. ETUDE DETAILLEE DE CHAQUE ESPECE.....	85
4.2.1. Espèces résineuses	85
4.2.1.1. <i>Cedrus atlantica</i>	85
4.2.1.1.1. <i>C. atlantica</i> "Provenance du Rif"	85
a. <i>Description macroscopique</i>	85
b. <i>Description microscopique</i>	85

4.2.1.1.2. <i>C. atlantica</i> "Provenance du Moyen Atlas".....	87
a. Description macroscopique.....	87
b. Description microscopique.....	87
4.2.1.2. <i>Juniperus oxycedrus</i>	89
4.2.1.2.1. <i>J. oxycedrus</i> "Provenance du Rif".....	89
4.2.1.2.2. <i>J. oxycedrus</i> "Provenance du Moyen Atlas "	90
4.2.1.3. <i>Tetraclinis articulata</i>	93
4.2.1.3.1. <i>T. articulata</i> "Provenance du Rif".....	93
4.2.1.3.2. <i>T. articulata</i> "Provenance du Moyen Atlas "	94
4.2.1.4. <i>Pinus halepensis</i>	97
4.2.1.4.1. <i>P. halepensis</i> "Provenance du Rif".....	97
4.2.1.4.2. <i>P. halepensis</i> "Provenance du Moyen Atlas "	98
4.2.1.5. <i>Pinus pinaster</i>	100
4.2.1.5.1. <i>P. pinaster</i> "Provenance du Rif".....	100
4.2.1.5.2. <i>P. pinaster</i> "Provenance du Moyen Atlas "	103
4.2.2. Espèces Feuillus	105
4.2.2.1. <i>Olea europaea</i> (olivier).....	105
4.2.2.1.1. <i>O. europaea</i> "Provenance du Rif".....	105
a. Description macroscopique.....	105
b. Description microscopique.....	105
4.2.2.1.2. <i>O. europaea</i> "Provenance du Moyen Atlas".....	107
a. Description macroscopique.....	107
b. Description microscopique.....	107
4.2.2.2. <i>Quercus rotundifolia</i> (chêne vert).....	109
4.2.2.2.1. <i>Q. rotundifolia</i> "Provenance du Rif".....	109
4.2.2.2.2. <i>Q. rotundifolia</i> "Provenance du Moyen Atlas".....	110
4.2.2.3. <i>Quercus faginea</i> (Chêne zéen).....	113
4.2.2.3.1. <i>Q. faginea</i> "Provenance du Rif".....	113
4.2.2.3.2. <i>Q. faginea</i> "Provenance du Moyen Atlas".....	114
4.2.2.4. <i>Ceratonia siliqua</i> (Caroubier).....	117
4.2.2.4.1. <i>C. siliqua</i> "Provenance du Rif".....	117
4.2.2.4.2. <i>C. siliqua</i> "Provenance du Moyen Atlas".....	118
4.3. INTERPRETATION DES ETUDES MACROSCOPIQUES ET MICROSCOPIQUES DES RESINEUX.....	121
4.4. INTERPRETATION DES ETUDES MACROSCOPIQUES ET MICROSCOPIQUES DES FEUILLUS.....	123
CONCLUSION.....	125
4.5. ETUDE MACROSCOPIQUE SPECIFIQUE DU BOIS DU TRONC DE THUYA ET DE LA LOUPE.....	126
4.6. ETUDE MICROSCOPIQUE SPECIFIQUE DU BOIS DU TRONC DE THUYA ET DE LA LOUPE.....	127
4.6.1. Bois du tronc	127
4.6.2. Bois de la loupe (Résultats par angle de coupure)	128
4.6.2.1. Angle 0°.....	128
4.6.2.1. Angle 15°.....	130
4.6.2.1. Angle 30°.....	131
4.6.2.1. Angle 45°.....	133
4.6.2.1. Angle 60°.....	134
4.6.2.1. Angle 75°.....	135
CONCLUSION.....	136
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	138

BIBLIOGRAPHIE	143
ANNEXES	150
Annexe A: Fiches de prélèvements des échantillons	150
Annexe B: Photos récapitulatives de la macrostructure des espèces résineuses et feuillues étudiées.....	156
Annexe C: Tableaux récapitulatifs de l'anatomie des espèces récoltées	160

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Coupe transversale schématique de la tige et du fonctionnement de l'assise cambiale	08
Figure 02 : Eléments cellulaires des bois résineux et feuillus	10
Figure 03 : Dessin à la chambre claire d'une coupe transversale du cambium vasculaire de pin maritime	11
Figure 04 : Sections d'un tronc d'arbre montrant l'aubier et duramen	13
Figure 05 : Structure macroscopique de la moelle	14
Figure 06 : Cernes annuels d'un tronc d'arbre	15
Figure 07 : Plans ligneux : plan transversal, plan radial et tangentiel	17
Figure 08 : Forme générale d'un arbre résineux et feuillu	18
Figure 09 : Représentation schématique d'un bois résineux	19
Figure 10 : Eléments du plan ligneux d'un bois résineux	19
Figure 11 : Structure d'une trachéide	20
Figure 12 : Coupe microscopique radiale (genre Pinus) montrant des trachéides transversales dentées	21
Figure 13 : Coupe tangentielle d'un bois résineux montrant des rayons ligneux unisériés	22
Figure 14 : Canal résinifère	24
Figure 15 : Ponctuation simple	25
Figure 16 : Ponctuations aréolées	26
Figure 17 : Ponctuation aréolée à torus	26
Figure 18 : Ponctuation semi-aréolée	27
Figure 19 : Ponctuations du champ de croisement	28
Figure 20 : Bois de compression de résineux	29
Figure 21 : Représentation schématique d'un bois feuillus à zones poreuses	30
Figure 22 : Plan ligneux d'un bois de feuillus	30
Figure 23 : Ultrastructure d'un bois feuillus montrant des vaisseaux	31
Figure 24 : Classification selon les pores	32
Figure 25 : Fibre du bois	34
Figure 26 : Coupe transversale d'un bois feuillus montrant le parenchyme vertical	35
Figure 27 : Coupe transversale montrant le parenchyme apotrachéal	35
Figure 28 : Coupe transversale montrant le parenchyme paratrachéal	36
Figure 29 : Coupe tangentielle d'un bois feuillus montrant des rayons ligneux unisériés et multisériés	37
Figure 30 : Coupe transversale montrant des thyllés dans des vaisseaux	38
Figure 31 : Bois de tension des Angiospermes	38
Figure 32 : Ultra-structure des perforations de vaisseau	39
Figure 33 : Représentation schématique des microfibrilles	42
Figure 34 : Illustration schématique de la morphologie des tracheides, la paroi secondaire	43
Figure 35 : Structure de la cellulose	44
Figure 36 : Différents monosaccharides constituant les hémicelluloses du bois	45
Figure 37 : Structures chimiques des alcools phénylpropanoïdes utilisés pour construire le polymère de lignine	46
Figure 38 : Carte topographique du Maroc montrant le Rif	50
Figure 39 : Carte topographique du Maroc montrant le Moyen Atlas	51
Figure 40 : <i>Cedrus atlantica</i> (arbre, feuille)	52
Figure 41 : <i>Juniperus oxycedrus</i> : Arbre, feuille et fruit	54
Figure 42 : Thuya de berbérie : arbre, feuille, fruit	55
Figure 43 : <i>Pinus halepensis</i> : arbre, feuille et fruit	57

Figure 44 : <i>Pinus pinaster</i> : arbre, feuille et fruit.....	58
Figure 45 : <i>Olea europaea</i> : arbre ; fleur et fruit.....	60
Figure 46 : <i>Quercus rotundifolia</i> (chêne vert).....	61
Figure 47 : <i>Quercus faginea</i> : arbre et feuilles.....	63
Figure 48 : <i>Ceratonia siliqua</i> : arbre, feuille et fruit.....	64
Figure 49 : Parties du bois de thuya étudiées.....	68
Figure 50 : Matériel pour préparation et observation des coupes anatomiques.....	69
Figure 51 : Echantillon et barrette destinée à l'étude macroscopique et microscopique.....	71
Figure 52 : Méthode de section des rondelles de bois	71
Figure 53 : Schéma d'affectation des axes d'anisotropie à loupe de thuya	72
Figure 54 : Schéma de confection des éprouvettes en fonction des angles	73
Figure 55 : Technique d'observation macroscopique du bois.....	73
Figure 56 : Méthode de section des cubes de bois	74
Figure 57 : Section d'une loupe de thuya	74
Figure 58 : Illustration schématique du protocole de préparation, montage et observation des coupes anatomiques	79
Figure 59 : Bois du cèdre de l'Atlas « provenance du Rif ».....	85
Figure 60 : Section microscopique du bois de cèdre « provenance du Rif »	86
Figure 61 : Bois du cèdre de l'Atlas « provenance du MA ».....	87
Figure 62 : Section microscopique du bois de cèdre « Provenance du Moyen Atlas »	88
Figure 63 : Bois du genévrier oxycèdre « provenance du Rif ».....	89
Figure 64 : Section microscopique du genévrier oxycèdre « provenance du Rif »	90
Figure 65 : Bois du genévrier oxycèdre « provenance du Moyen Atlas »	91
Figure 66 : Section microscopique du genévrier oxycèdre « provenance du MA ».....	92
Figure 67 : Bois du thuya « provenance du Rif »	93
Figure 68 : Section microscopique du thuya « provenance du Rif »	94
Figure 69 : Bois du thuya de Berbérie « provenance du Moyen Atlas »	95
Figure 70 : Section microscopique du thuya « provenance du Moyen Atlas ».....	96
Figure 71 : Bois du pin d'Alep « provenance du Rif ».....	97
Figure 72 : Section microscopique du bois de pin d'Alep « provenance du Rif ».....	98
Figure 73 : Bois du pin d'Alep « provenance du Moyen Atlas »	99
Figure 74 : Section microscopique du pin d'Alep « provenance du Moyen Atlas ».....	100
Figure 75 : Bois du pin maritime « provenance du Rif ».....	101
Figure 76 : Section microscopique du pin maritime de la région du Rif	102
Figure 77 : Bois du pin maritime « provenance du Moyen Atlas »	103
Figure 78 : Section microscopique du pin maritime du Moyen Atlas.....	104
Figure 79 : Bois de l'oléastre de la région du Rif.....	105
Figure 80 : Section microscopique de l' <i>Olea europaea</i> de la région du Rif	106
Figure 81 : Bois de l'oléastre « provenance du Moyen Atlas ».....	107
Figure 82 : Section microscopique de l' <i>Olea europaea</i> « provenance du Moyen Atlas ».....	108
Figure 83 : Bois du chêne vert de la région du Rif	109
Figure 84 : Section microscopique du chêne vert du Rif	110
Figure 85 : Bois du chêne vert du Moyen Atlas	111
Figure 86 : Section microscopique du chêne vert du Moyen Atlas	112
Figure 87 : Bois du chêne zéen du Rif	113
Figure 88 : Section microscopique du chêne zéen de la région du Rif	114
Figure 89 : Bois du chêne zéen du Moyen Atlas	115
Figure 90 : Section microscopique du chêne zéen du Moyen Atlas	116
Figure 91 : Bois du caroubier du Rif	117
Figure 92 : Section microscopique du caroubier du Rif	118
Figure 93 : Bois du caroubier du Moyen Atlas	119
Figure 94 : Section microscopique du caroubier du Moyen Atlas	120

Figure 95 : Bois du tronc de thuya	127
Figure 96 : Section microscopique du bois de thuya	128
Figure 97 : Coupe Anatomique "0 degré" du bois de la loupe de thuya.....	129
Figure 98 : Coupe Anatomique "15 degré" du bois de la loupe de thuya.....	131
Figure 99 : Coupe Anatomique "30 degré" du bois de la loupe de thuya	132
Figure 100 : Coupe Anatomique "45 degré" du bois de la loupe de thuya.....	133
Figure 101 : Coupe Anatomique "60 degré" du bois de la loupe de thuya.....	134
Figure 102 : Coupe Anatomique "75 degré" du bois de la loupe de thuya	135

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Modèle de fiche d'échantillonnage : (Cèdre de l'Atlas).....	69
Tableau 2 : Quelques caractères macroscopiques du bois des espèces résineuses étudiées.....	81
Tableau 3 : Etude macroscopique de la face transversale des rondelles du bois des espèces résineuses étudiées	82
Tableau 4 : Quelques caractères macroscopiques du bois des espèces feuillues étudiées	83
Tableau 5 : Etude macroscopique de la face transversale des rondelles du bois des espèces feuillues étudiées	84
Tableau 6 : Quelques caractères macroscopiques du bois de la loupe et du bois de tronc de thuya.....	126
Tableau 7 : Etude macroscopique de la face transversale d'une rondelle du bois de thuya et du plateau de la loupe	126

INTRODUCTION GENERALE

Le bois a toujours été un matériau de grande importance pour l'Homme, son utilité n'a pas décliné à cause de la multiplicité de ses usages. Cependant, comme bien d'autres matériaux, il ne devrait être employé, qu'après l'étude des conditions dans lesquelles il doit servir, et en fonction de ses qualités propres. En tant que matériau naturel, le bois est très apprécié pour ses propriétés physiques et mécaniques ainsi que pour ses réserves chimiques. Néanmoins, les caractéristiques du bois restent celles d'un matériau naturel (Panshin et De Zeeuw 1980). Elles sont donc très variables d'une essence à l'autre, ainsi qu'à l'intérieur d'une même essence, voire-même à l'intérieur d'un même arbre. Les facteurs de variabilité du bois dépendent des conditions écologiques qui ont entouré la croissance de l'arbre, dont les composantes sont la qualité du site, le climat, notamment les précipitations et les températures, et la compétition entre les essences (Zobel et Van Buijtenen 1989). Ces facteurs varient également à l'intérieur de l'arbre. L'anisotropie du bois démontre à quel point les propriétés et les caractéristiques du bois changent selon la direction du plan ligneux considérée. L'hétérogénéité de structure observée dans le bois est due à la variation de forme et de nature des cellules qui le composent, à sa masse volumique qui est irrégulièrement répartie et aux singularités de croissance (bois juvénile, bois mature, bois de réaction, bois initial et bois final) qui différencient chaque partie. Cette variabilité est la résultante de l'interaction entre des facteurs internes de l'arbre (le patrimoine génétique) et ceux relatifs à l'environnement (conditions de croissance) (Fukatsu *et al.*, 2011).

Dans le domaine d'anatomie du bois, l'usage rationnel de ce matériel, exige habituellement la capacité d'analyse et d'interprétation des différents motifs cellulaires observés. Chaque espèce, à sa structure cellulaire particulière, qui crée des différences dans les propriétés du bois, et détermine ainsi sa convenance pour un usage particulier. Lors du travail du bois, la structure anatomique et plus particulièrement la taille des éléments du plan ligneux, est un facteur parmi d'autres qui conditionnent et orientent le bois vers une utilisation rationnelle, par le fait de son influence sur les propriétés physiques et mécaniques, et sur l'aptitude de ce bois à recevoir un traitement de surface (colle dans le cas de déroulage et de tranchage, vernis, etc.) ainsi que son aptitude à subir de manière optimale, un usinage de

finition. Pour cela les premières exigences qui s'imposent à l'industriel et l'artisan du bois, sont celles de l'identification et la sélection des essences (Keller, 1994).

Par conséquent, pour identifier ou mettre en œuvre le bois, on doit faire appel à son plan ligneux ou à sa structure anatomique. Cette dernière présente une variabilité considérable selon les essences forestières et leurs provenances, ce qui influe sur leurs propriétés technologiques, physiques, chimiques et mécaniques (Keller, 1994).

A l'échelon écologique, forestier et commercial, la nature et la provenance des essences auront un effet sur la qualité et sur la valeur du produit de bois, elles entraînent souvent pour la même espèce botanique, une gamme de propriétés affectant ses emplois qui changeront, ainsi que la valeur économique de la marchandise, qui ne sera pas du tout la même. Il existe des variations de la structure du bois en fonction des facteurs du milieu: climat, altitude et latitude qui définissent souvent des races chez une essence forestière et en fonction des facteurs édaphiques et biotiques qui conditionnent la nutrition de l'arbre. Tout cela peut être une cause de variabilité entre les arbres d'une même espèce, en affectant la taille des cellules ou la proportion respective des tissus ligneux, pour en rester sur le plan anatomique et dans une perspective d'identification (Normand, 1998).

Au niveau industriel, la fabrication des produits à base du bois tient compte des différences dans la structure et les propriétés du bois. A cet effet, l'anatomie permet de choisir les espèces qui seront fiables pour constituer la matière première dans un usage particulier. En général, avant son utilisation, le bois d'une espèce particulière peut être identifié par ses propriétés technologiques, à savoir sa rigidité, sa densité, sa texture et sa couleur. Ce sont des caractéristiques qui sont liées à la provenance de l'essence (Normand 1998). Le bois, étant une matière vivante, ne peut donc avoir une structure totalement uniforme entre les sujets d'une même espèce, il faut donc concilier la fixité du plan ligneux et certaines variabilités de texture, de taille et de nombre des divers éléments du bois d'une essence. Dans ce cadre, la technique d'utilisation du bois doit donc répondre au défi que présente sa nature variable ; elle doit en tenir compte à chaque étape de sa transformation de la coupe des arbres jusqu'à l'utilisation finale du produit.

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés, dans cette première partie de cette thèse, à mettre en évidence l'effet que joue la station dans la variabilité des structures cellulaires qui composent le bois de certaines essences forestières en provenance de deux vastes régions marocaines reconnues par leurs grandes variabilités floristiques: le Rif et le Moyen Atlas. Notre travail s'est basé sur l'étude anatomique comparative (macroscopique et microscopique) des structures internes d'une dizaine d'espèces forestières résineuses et

feuillues, à large utilisation dans le secteur de l'industrie du bois. Ceci s'inscrit à des fins comparatives entre espèces et entre individus de la même espèce. C'est sur la description et la compréhension de la variation des propriétés anatomiques à l'intérieur des essences, objets de cette étude, que l'accent sera mis dans cette thèse. Dans une autre approche, nous signalons que cette étude n'a jamais été entreprise jusqu'à présent au Maroc, mise à part quelques études ponctuelles sur l'identification anatomique de certaines essences forestières du Maroc et l'étude anatomique des provenances, qui a concerné deux espèces résineuses: le cèdre et le thuya.

Au niveau du secteur artisanal du Maroc, la forêt de thuya a pris dans l'économie forestière une place très importante qu'elle n'est pas prête d'abandonner étant donné les possibilités qu'elle présentera encore pendant de longues années. Ses diverses catégories de produits sont à l'origine du développement de plusieurs activités artisanales et commerciales, constituant une source de revenu et contribuant ainsi à l'essor social (Fennane, 1987). A Essaouira, la ville qui abrite la majeure partie d'artisans marqueteurs du bois de thuya, l'ébénisterie et la marqueterie sont parmi les activités artisanales les plus caractéristiques, aussi bien par le nombre de personnes qui les pratiquent que par l'importance des bénéfices qu'elles engendrent, près de 17% de la population active de cette ville travaille dans la marqueterie, soit plus de 6300 artisans ce qui contribue à la relance de l'économie de la région (Chakir, 1999). Le thuya est souvent connu pour sa loupe: un renflement de sa souche se développant au niveau du collet et de la racine. Cette loupe offre un bois de bonnes qualités très apprécié par les artisans de la marqueterie, l'ébénisterie et pour la production d'articles variés (Chakir, 1999). Le bois de la loupe diffère du bois normal par sa structure, son aspect esthétique induit par la présence des excroissances, et des cernes de croissances plus larges que ceux du reste de l'arbre (El Alami, 2013).

Depuis quelques années, l'exploitation des souches mortes, qui fournissent la loupe de thuya s'est intensifiée pour répondre à une demande très forte des produits artisanaux, une pratique qui met en danger la survie de l'essence productrice, dont la régénération est difficile et la croissance est lente (Hadjaj, 2016). Cependant, l'utilisation de façon traditionnelle et irrationnelle en marqueterie de ce type de bois, rend son approvisionnement de plus en plus difficile (Khattabi, 1997), et confronte le secteur à de sérieux problèmes liés à la qualité et à la finition artistique des produits artisanaux, ainsi qu'à la rareté de cette matière première. Ce genre de bois, d'après les artisans 'maâlems' est facile à travailler, durable mais pose des problèmes au niveau de la transformation, entraînant un rendement-matière trop faible (outils et directions de coupe) (Famiri, 2008).

Pour répondre à cette problématique, identifier et valoriser les créneaux d'exploitation de ce type de bois et diminuer les pertes, il n'est plus question de parler de travail du bois de la loupe, sans parler de son comportement technologique qui 'est imprévisible contrairement à un bois normal causé par l'irrégularité de sa structure anatomique. A cet égard, la connaissance de la structure et l'anisotropie de la loupe et de la variabilité des caractéristiques cellulaires de ce bois, ainsi que ses facteurs explicatifs est un préalable, indispensable à toute tentative d'utilisation rationnelle de cette ressource en marqueterie et en ébénisterie. Il permettrait d'une part d'aider les artisans à utiliser ce bois d'une manière rationnelle et économique, tout en mettant à leur disposition des itinéraires techniques de transformation et de valorisation appropriées de la loupe, et d'autre part participera à l'économie de la matière première, et par conséquent régènera l'activité artisanale autour de la loupe de thuya (Famiri, 2008).

Compte tenu de ce qui a été cité auparavant, étant donné que peu d'artisans (marqueteurs et ébénistes) connaissent les caractéristiques de cette excroissance et la technique adéquate de sa manipulation, et suite aux recommandations tirées des études précédentes sur la loupe de thuya, il est nécessaire de tenter de répondre à des préoccupations intimement liées à la valorisation du bois de la loupe de thuya, dont les ressources au Maroc diminuent de façon très alarmante.

Notre travail s'articule autour de quatre chapitres: Le premier portera sur des généralités sur le bois. Nous définirons tout d'abord le matériau bois, sa structure et ses caractéristiques, suivi d'une étude détaillée de la structure et la composition du bois résineux et du bois feuillus, ainsi que quelques notions sur la fixité du plan ligneux et la variabilité des caractéristiques anatomiques. Ce chapitre comportera aussi une description de la loupe de thuya, une description cytologique de la paroi de la cellule du bois normal et la composition chimique du bois. Nous abordons par la suite, dans le deuxième chapitre, la description botanique et écologique des essences, objets de notre étude et leurs importances forestières.

Le troisième chapitre traite les différentes techniques expérimentales courantes d'analyse anatomique et du matériel requis, notamment le matériel: végétal, du terrain, du laboratoire et celui de préparation des coupes anatomiques.

Ensuite nous aborderons la méthodologie à savoir: celle de préparation des sections du bois des espèces étudiées, celle de préparation des éprouvettes du bois de la loupe et celle de l'étude macroscopique et microscopique. Enfin, le quatrième et dernier chapitre sera réservé aux résultats et discussion à propos des différentes études effectuées à savoir :

- L'étude comparative des structures anatomiques du bois de quelques essences forestières en provenance de la région du Rif et du Moyen Atlas;
- La mise en relief sur l'influence des conditions écologiques et la variabilité des structures cellulaires;
- La caractérisation anatomique du bois de la loupe de thuya à l'échelle macroscopique ;
- L'étude de la structure interne du bois de la loupe de thuya;
- La détermination des caractéristiques histo-anatomiques du bois et de loupe de thuya;
- La recherche des axes principaux d'anisotropie qui conditionnent le mode de coupe afin de favoriser la cohésion du bois à l'usage et limiter les déchets.

À la fin de cette thèse, nous présenterons une conclusion générale dans laquelle nous rappellerons les principaux résultats obtenus et nous proposerons quelques perspectives d'études complémentaires les références bibliographiques et les annexes.

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE BOIS

INTRODUCTION

Le bois est un matériau bio-polymérique et composite. Sa structure est cellulaire, poreuse, hiérarchique et présente plusieurs niveaux de structure dont chacune est bien organisée. Le bois est le roi de la métamorphose. Ses propriétés ainsi que sa remarquable faculté de transformation résident dans son architecture complexe à tous les niveaux hiérarchiques, dans sa composition chimique ainsi que dans sa structure moléculaire (Parviz *et al.*, 2005). Dès lors, sa mise en œuvre nécessite une connaissance approfondie de sa structure et de son comportement. En général, le bois fait l'objet d'une grande variabilité selon les espèces et selon la répartition géographique dans le monde. Chaque caractéristique du bois, contribue à sa qualité en fonction de l'application qu'on peut lui associer. Par conséquent, et bien qu'il soit parfois difficile de cerner le concept de qualité, plusieurs critères déterminent son aptitude à satisfaire les exigences d'une utilisation donnée. Certains sont liés à la structure même du bois (anatomie, chimie) et d'autres à l'expression des facteurs intrinsèques (c'est-à-dire, la morphologie des trachéides et les propriétés physiques et mécaniques). Toutefois, de nombreuses caractéristiques du bois sont héréditaires (Zhang *et al.*, 1996), mais souvent contrôlées par les conditions de croissance de l'arbre (Taylor *et al.*, 2006; Zobel et Van Buijtenen, 1989). Par ailleurs, les facteurs déterminants de la variabilité du bois, à part les conditions de croissances, dépendent des variations internes dans l'arbre qui sont dues à son caractère anisotrope lié à la diversité des tissus et à leurs réponses aux changements des conditions extérieures (Zobel *et al.*, 1989).

Étant donné les multiples utilisations du bois, toutes les propriétés chimiques, anatomiques, physiques et mécaniques du bois peuvent être considérées comme des facteurs de variabilité du bois. La connaissance de ces propriétés est très importante pour une utilisation rationnelle de ce dernier. Les variations du bois sont dues à la fois aux caractères héréditaires de sa structure, à son origine biologique ainsi qu'aux conditions environnementales changeantes et cycliques suivant lesquelles les arbres croissent. Toutes les espèces ont un potentiel de croissance qui leur est propre, avec des valeurs extrêmes plus ou moins éloignées. La variabilité est également tributaire des facteurs anthropiques (traitement sylvicole, intensité d'éclaircie, fertilisation, ...) et environnementaux (sol, climat, ...).

1.1. DEFINITION DU BOIS

Le dictionnaire Littré (1863) définit le bois comme « une substance dure, compacte, solide qui constitue la racine, la tige et les branches des arbres et des arbrisseaux recouverts de l'écorce ».

Cette définition attire l'attention sur le fait que le bois ne se trouve pas seulement dans la tige et dans les branches, mais aussi dans la racine et non seulement chez les arbres, mais aussi chez les arbrisseaux. Il est toutefois nécessaire d'insister sur les notions de dureté et de compacité qui s'estompent chez des bois très tendres et chez certains bois tirés des racines.

La définition jugée la plus scientifique est celle qui définit le bois comme étant « un ensemble de tissus d'origine secondaire, à parois lignifiées, résultants de fonctionnement, vers l'intérieur de l'assise génératrice cambiale libéro-ligneuse » (Venet, 1974).

Le bois remplit dans l'arbre des fonctions bien déterminées:

- La fonction de conduction de la sève brute ascendante allant des racines de l'arbre jusqu'à la cime.
- La fonction de soutien, de résistance mécanique de la tige.
- La fonction de stockage, de restitution, d'élaboration et de transformation chimique de substances de réserves, sécrétions...etc.

1.2. FORMATION DU BOIS ET DE L'ECORCE

1.2.1. Ecorce

L'écorce est le revêtement extérieur du tronc, des branches et des racines des arbres, et plus généralement des plantes ligneuses. Elle est issue de la croissance secondaire de la plante et n'est par conséquent pas présente sur les jeunes arbres. Il est souvent possible de reconnaître un arbre par son écorce, dont l'aspect peut cependant fortement varier selon les régions (latitudes, altitudes), son âge et son exposition. Pour les botanistes, le mot écorce est synonyme du mot rhytidome ou écorce externe désignant l'ensemble formé par le périderme (constitué du phellogène, du phelloderme et du suber) et le liber inclus. Le phellogène est un tissu méristématique secondaire qui produit du suber (tissu protecteur) vers l'extérieur du tronc et du phelloderme (tissu de réserve) vers l'intérieur. Un nouveau périderme est produit chaque année par la plante à partir de cellules du liber qui se différencient. Il reste donc les bandes de liber incluses entre les péridermes des différentes années, d'où leur nom de « liber inclus ». Ce liber n'est plus fonctionnel (Raven *et al.*, 1981).

1.2.2. Histologie et processus de formation du bois

Les tissus végétaux sont formés à partir de tissus spécialisés dans la division cellulaire, les méristèmes, composés de cellules jeunes indifférenciées, petites à parois fines. Ils sont de deux types :

- Les méristèmes primaires ou terminaux, responsables de la croissance primaire de la plante, lesquels sont situés à l'extrémité des tiges et des racines (d'une part de bourgeons formant tige et feuilles, d'autre part de racines chez les Rhizophytes) et assurent la croissance en longueur des plantes en formant des massifs de cellules ne présentant pas d'arrangement ordonné.

- Les méristèmes secondaires, qui apparaissent dans le végétal à partir de la deuxième année, se présentent sous forme de couches continues de cellules, appelées assises, et assurent la croissance en diamètre tout en produisant des cellules alignées dans le prolongement de la cellule méristématique qui leur a donné naissance (Trouy-Triboulot *et al.*, 2001). Au cours de la croissance secondaire, le cambium ou assise génératrice libéro-ligneuse (méristème secondaire) élabore du côté de la moelle, de manière centrifuge, les cellules du xylème secondaire ou bois qui assurent la conduction de la sève brute (figure 1). Du côté écorce, de manière centripète, il produit les cellules du phloème secondaire ou liber qui assure la conduction de la sève élaborée (Roland et Robert, 1989).

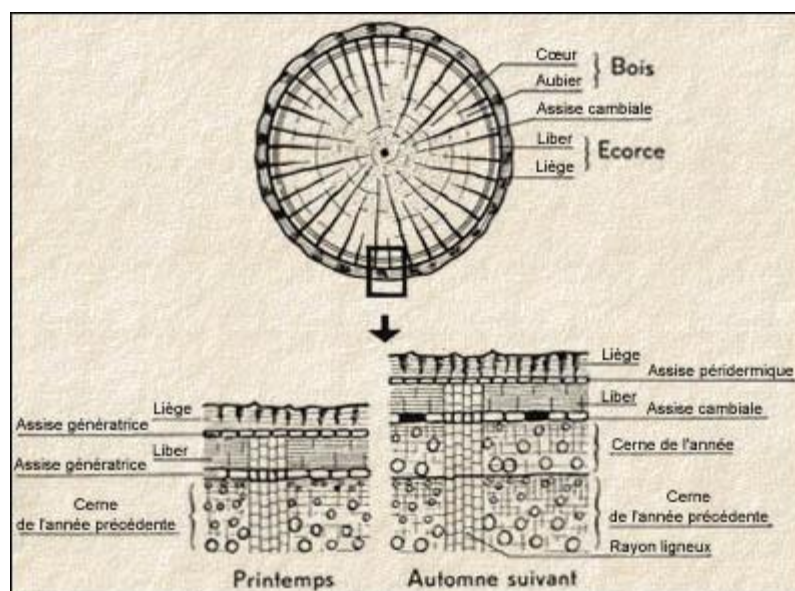


Figure 1: Coupe transversale schématique de la tige et fonctionnement de l'assise cambiale (Site 1)

Le fonctionnement de cette assise n'est pas régulier et, sous nos climats, la production du bois est périodique: Au printemps, le cambium est très actif mais se trouve au repos pendant la période hivernale. Dans les régions tropicales, l'arrêt de la végétation est beaucoup

moins marqué et ne consiste parfois qu'en un simple ralentissement. Un cerne annuel est composé par l'ensemble bois de printemps – bois d'été. La largeur des cernes pourrait indiquer les caractéristiques de croissance du bois et leur nombre peut donner une estimation de l'âge de l'arbre (Normand, 1972), surtout dans les régions à climat tempéré.

On décèle souvent une certaine différence entre le bois de printemps formé au début de la saison de croissance et le bois d'été, délimitant ainsi des cernes d'accroissement annuel bien visibles. Les cellules vivantes des cernes adjacents formés durant les années précédentes continuent à fonctionner comme partie intégrante de l'arbre vivant, constituant une couronne concentrique qualifiée d'aubier. Les vieilles couches d'aubier diminuent graduellement leur activité et se joignent au bois de cœur sous l'effet du phénomène de la duraminisation.

Dans l'axe central du tronc se trouve un cylindre de tissu végétal de faible diamètre, de couleur foncée, appelé médulle (ou moelle végétale). Les branches prennent naissance à la médulle et croissent en même temps que le tronc, donnant naissance aux nœuds si visibles dans les sciages (Luong, 2005).

Le bois consiste fondamentalement en cellules de différentes tailles et formes, solidement associées entre elles pour la matrice constitué de lignine. Les cellules des bois secs peuvent être soit vides, soit remplies partiellement de gommes, de résines ou d'autres matériaux. De formes très allongées, elles sont appelées fibres pour les feuillus et trachéides pour les résineux.

En général les feuillus ont des fibres plus courtes que les résineux et possèdent en outre un réseau de cellules plus grandes (vaisseaux) par lesquelles la sève accomplit ses déplacements verticaux. Les déplacements horizontaux de la sève sont assurés par des cellules appelées rayons médullaires.

1.3. STRUCTURE MACROSCOPIQUE DU BOIS

1.3.1. Cambium et fonctionnement de l'assise génératrice libéro-ligneuse

Le cambium, zone de croissance du tronc en diamètre, est un méristème visible quand on décolle l'écorce et le phloème au moment de la montée de sève. Il apparaît sous forme d'une couche plus ou moins visqueuse à la surface du bois. L'assise génératrice cambiale, située entre le liber et le bois, qui recouvre toute la surface latérale de la tige ligneuse, est constituée d'une strate unique de cellules initiales différentes (Verbelen *et al.*, 2001), qui par division, produit une masse de cellules en forme de manchon grossièrement cylindrique, parfaitement continu tout autour du bois (Venet, 1974).

Dans les régions tempérées, le cambium ne fonctionne que pendant la saison de végétation au printemps et en été. Il produit chaque année une couche de bois, appelée cerne annuel, dans laquelle on peut parfois distinguer le bois formé au printemps (bois initial) et le bois formé en été (bois final) (Trouy-Triboulot *et al.*, 2001).

Le cambium est constitué de deux types de cellules initiales (figure 2), à savoir :

► **Les initiales fusiformes:** elles sont situées à l'intérieur des faisceaux libéroligneux, leur nom vient de leur forme allongé sur l'axe de la tige et de la forme effilé de leur extrémités (Campbell *et al.*, 2006). Elles sont à l'origine des cellules longitudinales du liber et du bois tel que: trachéides, vaisseaux, parenchymes axiaux, etc. (Keller, 1994).

► **Les initiales isodiamétriques:** appelées initiales de rayon, elles sont à l'origine des éléments constitutifs des rayons: parenchymes, trachéides (figure 2), canaux résinifères, etc. Elles apparaissent, souvent, plus ou moins isodiamétriques sur une coupe tangentielle. Les cellules issues des initiales isodiamétriques sont allongées (cellules couchées) dans le sens radial chez les résineux et de nombreux feuillus chez les derniers. Elles peuvent être aussi carrées ou allongées axialement (cellules dressées).

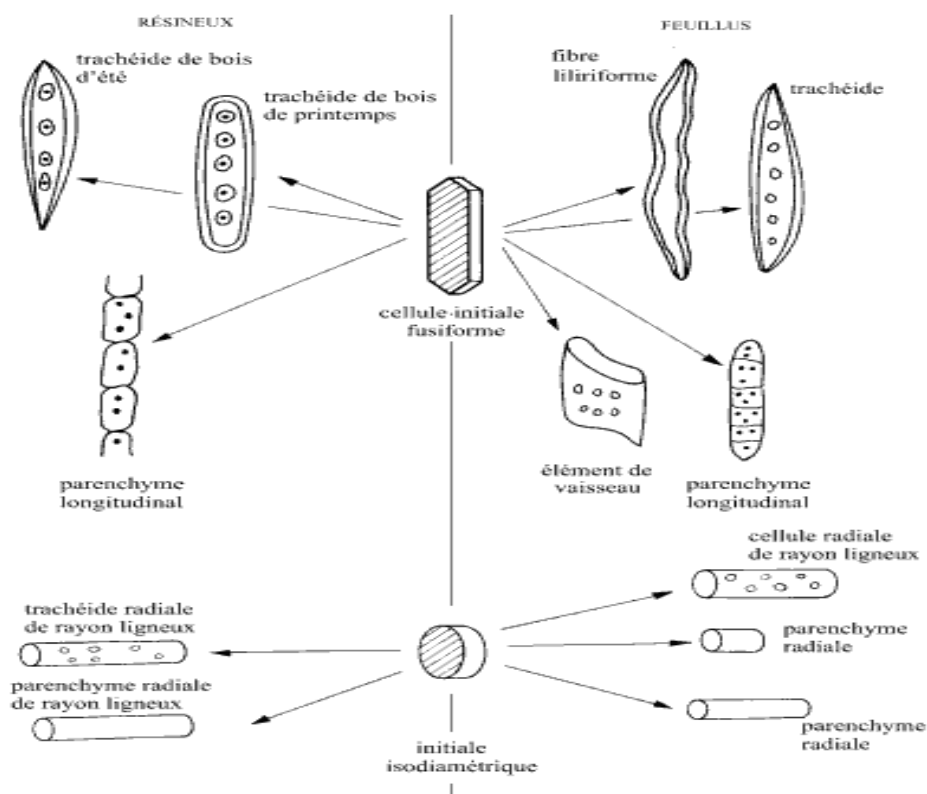


Figure 2: Eléments cellulaires des bois résineux et feuillus générés par les initiales fusiformes et isodiamétriques (Wagenfuhr, 1980).

Le fonctionnement de l'assise cambiale conduit à l'accroissement en diamètre de la plante, par la succession de divisions péricleinales (figure 3), au cours desquelles les initiales donnent naissance à une cellule de zone cambiale et une cellule de l'assise. Cette dernière a des propriétés analogues en tous points à celles de l'initiale dont elle est issue, au cours des divisions péricleinales, la membrane séparant chaque paire de nouvelles cellules formées est tangentielle. Ce fonctionnement cambial est sous contrôle des régulateurs de croissance (auxine, cytokinines, gibbérellines, éthylène, acide abscissique); il dépend des rapports quantitatifs entre ces différentes hormones végétales (Aloni et Zimmermann, 1983).

L'augmentation de la circonférence de la plante nécessite, pour que subsiste la continuité de l'assise cambiale, l'apparition de nouvelles cellules par divisions anticlineales au cours desquelles la nouvelle membrane séparant chaque paire de cellules est radiale (figure 3). Ce type de division est alterne avec le précédent. Chez certains feuillus évolués, les divisions anticlineales se font de façon très symétrique, par rapport, à un plan radial et les cellules dérivées se développent simultanément en gardant la même hauteur et conservant une structure étagée au plan ligneux ou libérien.

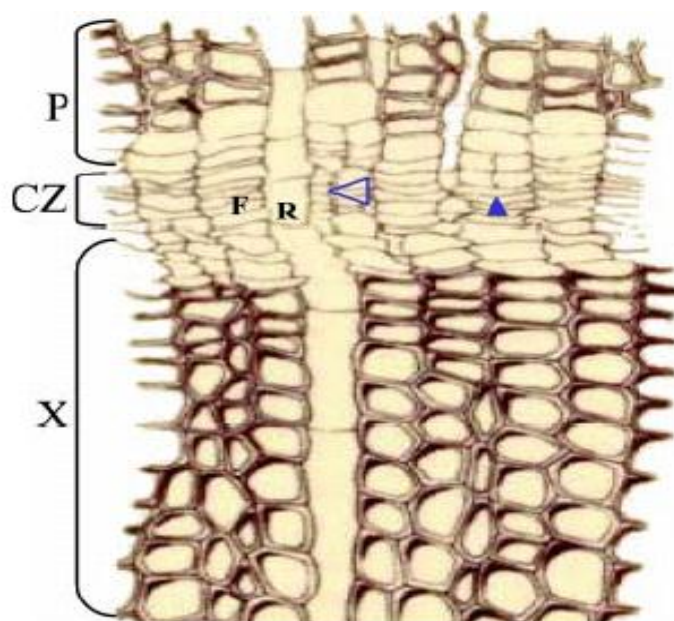


Figure 3: Dessin à la chambre claire d'une coupe transversale du cambium vasculaire de Pin maritime (Stokes *et al.*, 1999).

Zone cambiale (CZ) de Pin maritime (*Pinus pinaster*) en section transversale montrant les initiales fusiformes (F), les initiales isodiamétriques (R). Xylème mure et cellules de xylème en phase de différenciation centripète avec agrandissement radiale (X); Phloème mure et cellules de phloème en phase de différenciation centrifuge avec agrandissement radial (P). Division anticlinale avec un mur radial récemment déposé (Δ). Division péricleinale avec un mur tangentiel récemment déposé (▲).

Les divisions anticlinales sont, également, à l'origine de l'apparition de nouveaux îlots de cellules isodiamétriques, à partir des initiales fusiformes ; la plante conserve ainsi une densité à peu près constante de rayons ligneux ou libériens dans la masse de ces tissus. Un autre moyen de multiplication de ces îlots est la séparation en deux parties d'un îlot préexistant par la croissance intrusive d'une initiale fusiforme (Keller, 1994).

L'accroissement en circonférence est également provoqué, outre les divisions anticlinales, par la croissance intrusive en longueur des initiales fusiformes et l'accroissement du diamètre des cellules des zones cambiales (Keller, 1994).

En période d'activité, les initiales du cambium se divisent plus fréquemment du côté du bois que du côté du liber. Les cellules de la zone cambiale de côté du bois sont elles-mêmes susceptibles de se diviser plusieurs fois, alors que les cellules de la zone cambiale de côté du liber ne se divisent guère qu'une seule fois. Ceci explique, la disproportion considérable existant entre le volume occupé par les éléments libériens, et le volume occupé par les éléments ligneux, ces derniers sont beaucoup plus abondants (Keller, 1994).

Chez les espèces des zones tempérées, l'arrêt du fonctionnement de l'assise génératrice libéro-ligneuses traduit dans le bois, par l'apparition des limites entre les divers accroissements annuels (limites des cernes), bien visible chez les résineux et les feuillus à zone initiale poreuse; plus discrète chez les feuillus à pores diffus (Venet, 1974).

Une fois les cellules produites, elles vont se différencier en subissant une suite hiérarchisée de modifications moléculaires, métaboliques et structurales qui les rendront aptes à accomplir leur fonction (Lachaud *et al.* 1999).

1.3.2. Aubier et duramen

Généralement le bois d'un arbre est divisé en deux parties: l'aubier et le duramen.

1.3.2.1. Aubier

C'est la couche en contact directe avec le cambium, elle correspond aux couches les plus récemment formées, de coloration souvent moins accusée, plus ou moins distincte suivant les essences, et comportant des cellules actives et inactives. Il fonctionne principalement dans le stockage de nourriture et le transport de la sève (Trouy-Triboulot *et al.*, 2001). Il est intéressant de noter que l'aubier bénéficie d'une plus grande facilité d'imprégnation par les antiseptiques qui permettent de remédier, en partie, à sa plus forte altérabilité. Enfin, il ne faut pas oublier que la proportion d'aubier est, du point de vue

sylvicole, un excellent indicatif de la qualité de la station et de la vigueur de végétation, et du point de vue génétique, un élément sans doute important du patrimoine héréditaire (Polge, 1964).

1.3.2.2. Bois parfait ou Duramen

C'est la région interne du bois, correspondant aux couches les plus profondes, les plus anciennement formées, qui ne sont plus fonctionnelles et qui diffère chimiquement et physiquement des cellules de l'aubier. Elles forment le bois parfait et ne contiennent plus que des cellules mortes. Quand ce bois parfait est distinct de l'aubier par sa couleur plus foncée, on dit qu'il est duraminisé. On parle, dans ce cas, du duramen qui est résistant aux insectes xylophages et aux champignons lignivores, et non imprégnable par les produits de préservation (Trouy-Triboulot et Triboulot, 2001). Chez la plupart des essences ligneuses, le duramen contient des substances extractives protectrices élaborées au moment de la duraminisation, notamment les tannins qui sont déposées dans la cellule pendant la conversion de l'aubier en duramen. Ces dépôts donnent fréquemment au duramen une couleur beaucoup plus foncée que l'aubier (figure 4). Ces extractifs servent également à rendre le duramen de plusieurs espèces, plus résistant à l'attaque des mycètes et des insectes d'affaiblissement, ce qui explique en grande partie certaines caractéristiques essentielles des essences: à savoir la durabilité naturelle et l'imprégnabilité. Cependant, chez certaines espèces, le duramen peut être clair et se confond avec l'aubier (Ritter, 1990).

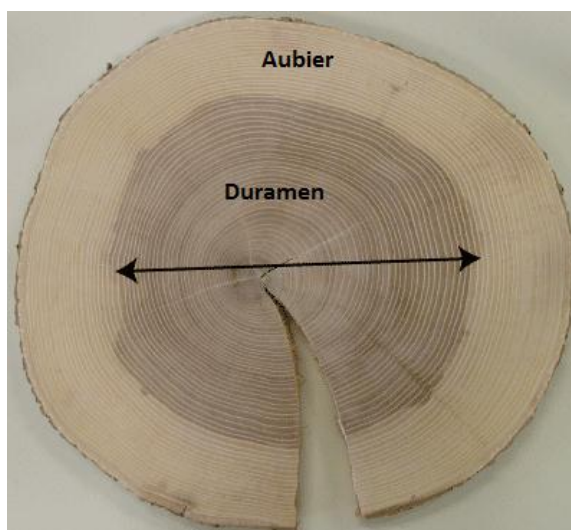


Figure 4: Section au niveau d'un tronc d'arbre montrant l'aubier et le duramen (Site 2)

1.3.2.3. Formation de l'aubier et du bois parfait

La différenciation des éléments secondaires à partir du cambium, après maturité des cellules, conduit à la formation d'un tissu dit « vivant », jouant un rôle dans l'élaboration des substances complexes et la mise en réserve de l'amidon: l'aubier (figure 4). Les cellules de ce tissu subissent une lignification de leurs parois, entraînant la mort de la grande majorité d'entre elles. Les seules cellules vivantes du bois sont les cellules de parenchyme, qui doivent assurer un rôle de stockage et de déstockage des réserves (généralement de l'amidon) et d'élaboration de substances. Les rôles de conduction et de soutien mécanique sont remplis par les cellules mortes, vidées de leur contenu et dont ne subsiste que la paroi. La lignine rigidifie les parois des cellules ligneuses. Ce qui est à l'origine de la dureté du bois. Les couches de bois formées au cours de la vie de l'arbre sont conservées, et forment un cylindre sur lequel vient s'appliquer chaque année un nouveau cerne de diamètre supérieur. L'arbre se dote ainsi chaque année d'une quantité d'éléments conducteurs nouveaux, qui croissent en même temps que ses besoins en sève brute (Chaffey *et al.*, 2002).

1.3.3. Moelle

C'est le premier élément qui est mis en place à chaque nouvelle unité de croissance, lors de la phase de croissance primaire; puis qui est recouvert au cours des années par les cernes annuels (croissance secondaire). Elle est constituée d'un ensemble de tissus spongieux résultant du xylème primaire. La moelle est la partie utile de l'arbre quand celui-ci est jeune, c'est le point central du tronc, localisée au centre de la structure des cernes annuels de croissance (Longuetaud *et al.*, 2004)

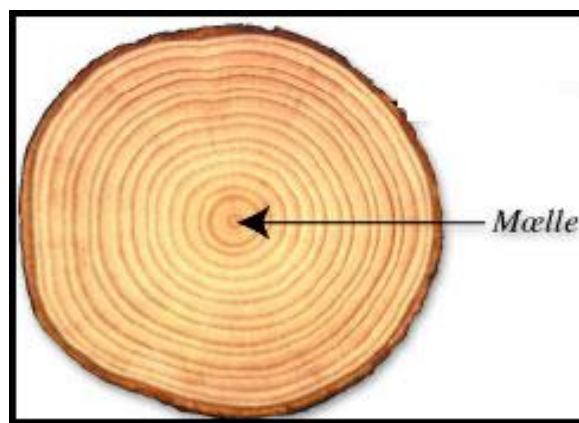


Figure 5: Structure macroscopique de la moelle (Site 3)

1.3.4. Cernes annuels

Souvent, surtout dans les régions tempérées, la production du bois n'est pas continue toute l'année. Ainsi les éléments vasculaires mis en place au printemps, sont d'un diamètre plus grand et d'une paroi plus fine que ceux mis en place ultérieurement. Il s'ensuit que la portion la plus interne (bois de printemps) est moins compacte et apparaît claire. En revanche la portion la plus externe (bois d'été) apparaît plus sombre. C'est ce que l'on appelle les cernes annuels (figure 6). La différence entre bois de printemps et bois d'été se situe aussi dans les rapports quantitatifs des différents types d'éléments; le bois de printemps est très souvent adapté au transport, donc riche en vaisseaux, celui d'été plus apte à la fonction mécanique, donc plus riche en fibre (Lemire, 1996).

Cependant il faut noter que si la croissance en diamètre est interrompue par la sécheresse ou défoliation par des insectes par exemple, plus d'un anneau peut être formé au cours de la même saison, dans ce cas les limites qui délimitent chaque cerne par rapport au précédent ne se marque pas c'est ce qu'on appelle faux cerne.



Figure 6: Cernes annuels d'un tronc d'arbre (site 4)

1.4. STRUCTURE MICROSCOPIQUE DU BOIS

1.4.1. Notion du plan ligneux

Les caractéristiques morphologiques des cellules et la façon dont elles sont disposées les unes par rapport aux autres, définissent le plan ligneux d'une espèce (Parviz *et al.*, 2005).

Les tissus constitutifs du bois sont composés de cellules issues par divisions de l'assise génératrice libéro-ligneuse, qui enveloppent l'ensemble de formation ligneuse de l'arbre. A la

suite des divisions, les cellules du bois se différencient et se disposent spatialement, pour assurer ses diverses fonctions sur un plan d'organisation spécifique, contrôlé génétiquement de façon stricte: le plan ligneux (Keller, 1994).

Le plan ligneux permet de reconnaître un bois, c'est un caractère systématique. Son étude conduit à la description des bois, à leurs reconnaissances, à l'appréciation de leurs propriétés et permet de préciser les relations entre l'anatomie et les caractéristiques de ce matériau.

Pour comprendre l'architecture des divers éléments du bois, on a recours à des coupes effectuées dans trois plans, géométriquement bien définies, et qui correspondent d'ailleurs aux trois modes de débit théorique du bois (figure 7). Si l'on assimile la tige de l'arbre à un cylindre, on peut observer sa structure dans un plan perpendiculaire à son axe, c'est la coupe transversale, équivalente au débit de bout. On peut également observer la structure dans des plans longitudinaux: lorsque ce plan longitudinal passe par l'axe de la tige, on a une coupe radiale, équivalente au débit sur quartier; enfin l'observation peut être faite dans un plan longitudinal perpendiculaire aux rayons, donc tangent à un cylindre intérieur à la tige: c'est une coupe tangentielle, équivalente au débit « sur dosse ». Pour examiner la structure du bois, on se référera à ces trois types de coupes, c'est à dire aux trois directions d'anisotropie du bois: axiale, radiale et tangentielle. Les propriétés physiques et mécaniques du bois diffèrent selon ces directions.

L'exécution des trois coupes donne une vue d'ensemble de la structure du bois, et fait ressortir les caractères morphologiques caractéristiques du «plan ligneux » qui d'après Keller (1994) :

- est constant pour une espèce donnée;
- présente des analogies pour des espèces voisines;
- présente des caractères généraux pour une famille ou un groupe.

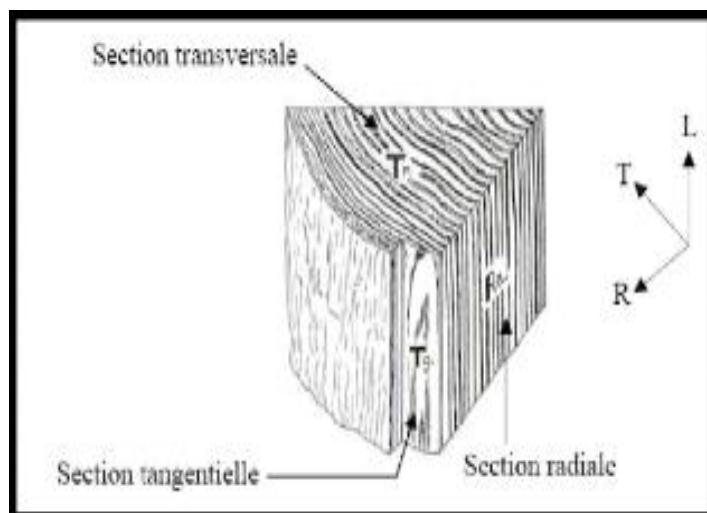


Figure 7: Plans ligneux : plan transversal, plan radial et tangentiel (Site 5)

1.4.2. Différenciation du méristème

Le plan ligneux, caractère spécifique, héréditaire et constant, donne au méristème ses traits généraux, mais la station, au sens large du terme, c'est-à-dire à la fois l'influence des caractères permanents de la station, y compris le traitement et celle des conditions spéciales de la saison de végétation pendant l'année considérée, influenceront profondément sur l'activité de l'assise cambiale et sur la différenciation du méristème (Venet, 1974).

1.4.3. Variations sous l'influence des facteurs de la station

La structure du bois, telle qu'elle apparaît par exemple sur une couche d'accroissement en section transversale, résulte à la fois:

- du plan ligneux de l'espèce (facteur intrinsèque);
- et de l'influence des facteurs extrinsèques (station, traitement, saison) sur la différenciation du méristème.

L'activité de l'assise cambiale, c'est-à-dire la largeur de la zone d'accroissement annuel, dépend, elle aussi, des facteurs extrinsèques évoqués ci-dessus (Venet, 1974).

Il est alors facile de comprendre pourquoi les facteurs extrinsèques, qui agissent à la fois sur la circulation de l'eau dans la tige et sur la nutrition. Ils ont une influence considérable, à la fois sur la structure du bois et sur la quantité de bois formée pendant une saison de végétation.

Entre structure de la couche d'accroissement et largeur du cerne, existent d'ailleurs certaines corrélations (Venet, 1974). Par exemple, chez beaucoup de résineux, plus le cerne est fin, plus le pourcentage de bois d'été (texture) est élevé. Au contraire, chez les feuillus à zone initiale poreuse différenciée (tels que le châtaignier), plus le cerne est fin, plus est le pourcentage de bois initial (bois de printemps), qui est élevé.

1.4.4. Classification des arbres forestiers

Les arbres sont divisés en deux grandes classes: les gymnospermes (résineux ou conifères) et les angiospermes (feuillues). Le plan ligneux des résineux est relativement simple et uniforme par rapport à celui des feuillus (Parviz *et al.*, 2005).

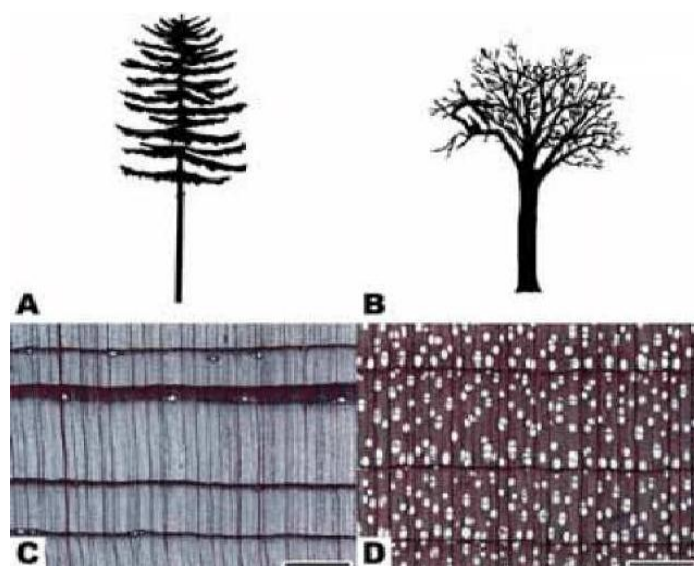


Figure 08: Forme générale d'un arbre résineux et feuillu.

(A): arbre résineux; (B): arbre feuillu; (C): coupe microscopique transversale d'un bois résineux; (D): coupe microscopique transversale d'un bois feuillu.

(Andres, 2019)

1.4.5. Structure et composition du bois résineux

C'est un bois dont la structure est simple et bien organisée. Il est homogène et la majeure partie est composée de trachéides longitudinales, qui assurent le transport d'eau et d'éléments minéraux, avec absence totale de pores (figures 09 et 10). Le reste se compose de rayons ligneux et d'éléments accessoires à savoir: les trachéides radiales et les canaux résinifères. Le parenchyme axial n'est jamais abondant et peut être absent (Jane, 1956).

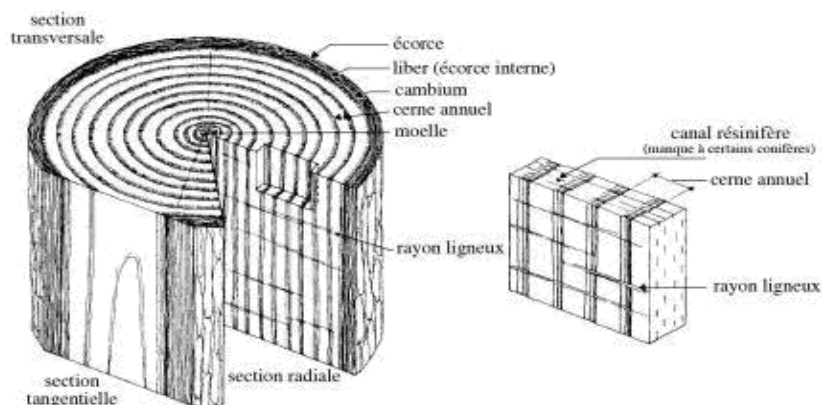


Figure 09 : Représentation schématique d'un bois résineux (Lignum.ch, 2019)

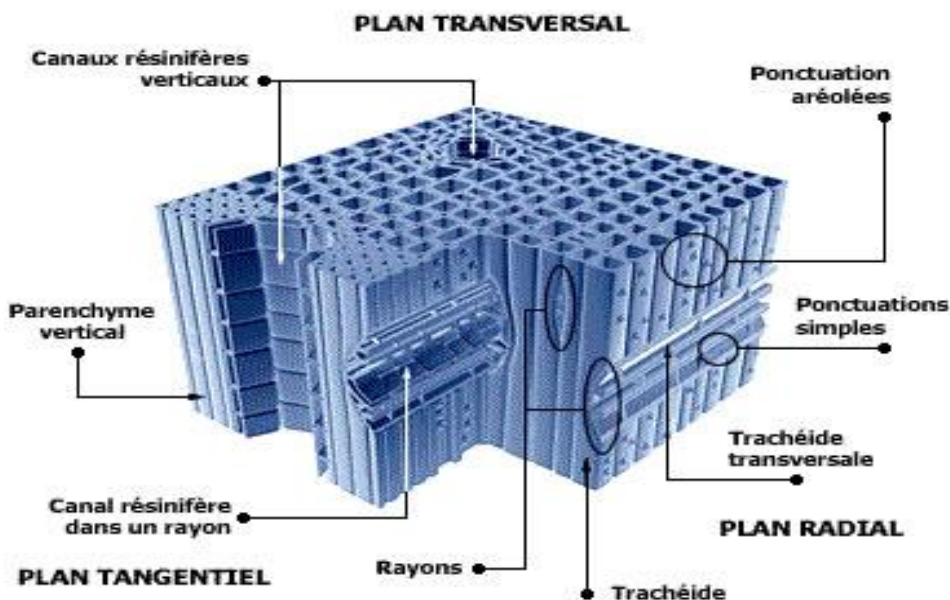


Figure 10: Eléments du plan ligneux d'un bois résineux (Site 6)

1.4.5.1. Trachéides

Appelées vulgairement et improprement «fibres», ce sont des éléments très allongés, de section quadrangulaire se terminant en pointes effilées, communiquant entre elles et avec les trachéides transversales par des ponctuations aréolées et avec le parenchyme radial et les rayons ligneux par des ponctuations simples de divers types (Venet, 1974). Elles ont une section polyédrique à lumen relativement étroit, à parois fortement épaissies sauf au niveau des ponctuations (Crête *et al.*, 1968). Ce sont des éléments séparés, pourvus de cloisons

transversales, ne forment pas par conséquent de files continues; la circulation s'y fait « En chicane » d'un élément à l'autre, de bas vers le haut (Deysson, 1967).

La longueur des trachéides varie dans des limites plus grandes que celles des fibres des feuillus. Les trachéides, surtout celles à parois minces, sont fréquemment terminées en pointe émoussées quand on les regarde en coupe radiale, et apparaissent plus ou moins effilées en coupe tangentielle. En fait, elles forment verticalement des files continues où chaque élément se raccorde en sifflet au précédent.

Les trachéides axiales jouent un double rôle d'élément conducteur et d'élément de soutien. Les communications entre trachéides sont assurées par les ponctuations aréolées, et dans les champs de croisement entre les trachéides et les cellules de parenchyme des rayons, par des ponctuations simples de type variable (Normand, 1972).

1.4.5.1.1. Trachéides longitudinales

Elles constituent environ 90% de l'ensemble des cellules des bois résineux, en les désignant sous le nom de trachéides verticales ou bien axiales, parce qu'elles sont issues des initiales fusiformes, elles assurent le rôle de soutien et de conduction d'eau et d'éléments minéraux, de bas vers le haut de l'arbre (figure 11); la communication entre deux trachéides adjacentes s'effectue à travers des ponctuations dites aréolées. Au centre de ces ponctuations est localisée une zone circulaire (Torus) qui permet le passage d'eau d'une cellule à l'autre. (Zimmermann, 1983; kozlowski *et al.*, 1997).



Figure 11: Structure de la trachéide (genre *Pinus*) (Site 7)

1.4.5.1.2. Trachéides transversales

Ce sont des Trachéides faisant partie d'un rayon. Dans quelques genres de conifères, on trouve avec les cellules de parenchyme, des cellules plus allongées, à parois plus ou moins ornées de sculptures en relief et munies de ponctuations aréolées. Ces trachéides transversales sont disposées dans le rayon ligneux de la même manière que les cellules de parenchyme. Un tel rayon hétérogène se trouve formé d'un certain nombre de files de cellule de parenchyme, entremêlées ou encadrées en haut et en bas de files de trachéides. Certains rayons, de faible hauteur, peuvent être exclusivement formés de trachéides transversales.

Les trachéides transversales sont des cellules mortes. Leurs ponctuations aréolées sont plus petites que celles des trachéides axiales. Leurs parois transversales sont parfois minces et onduleuses. Elles présentent, le plus souvent, des ornements caractéristiques d'un groupe d'espèces, et ces épaissements peuvent parvenir à former une sorte de réseau à travers la lumière de la trachéide transversale (figure 12). Comme les trachéides axiales, les trachéides transversales, présentent parfois des renforts hélicoïdaux à la face interne de la paroi secondaire ou sur une partie de celle-ci: ce sont des épaissements spiralés (*Pseudotsuga menziesii*, *Taxus baccata*). Plusieurs spirales peuvent être observées dans la même trachéide. Elles s'élèvent dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et le pas de la spirale.

Chez les espèces qui possèdent des rayons à trachéides transversales (telles que les espèces de pin, de mélèze, de cèdre), une spécialisation est plausible dans le rôle réciproque des deux éléments: les trachéides jouent un rôle de tissu conducteur et le parenchyme, celui de tissu de réserve (Normand, 1972).

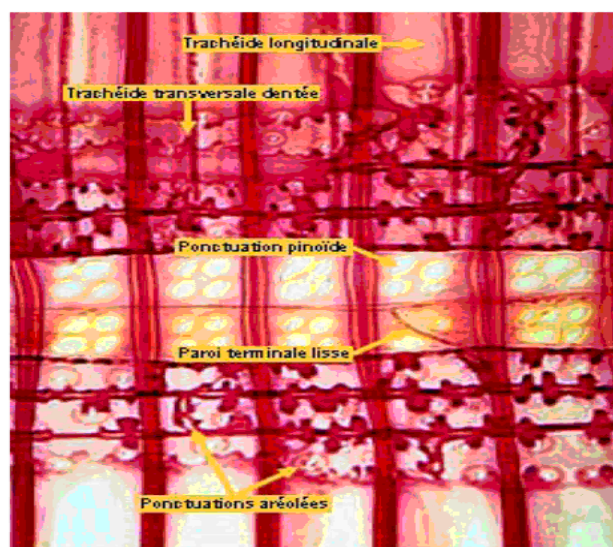


Figure 12: Coupe microscopique radiale (genre *Pinus*) montrant des trachéides transversales à parois lisses et dentées (Site 7)

1.4.5.2. Cellules de parenchyme ligneux

Ce sont des cellules assez analogues que celles des rayons, mais orientées verticalement et ayant un caractère sécréteur. Elles sont généralement disposées en files verticales, et disséminées parmi les trachéides, soit sans ordre apparent, soit en fines lignes concentriques (Normand, 1972). En coupe longitudinale, elles se distinguent des trachéides par leur cloisonnement horizontal et leurs ponctuations simples; en section transversale par leurs parois plus minces et par leur contenu qui remplit la lumière de la cellule (Detienne, 1988).

1.4.5.3. Rayons ligneux

Le bois est parcouru de lames de tissus lignifiées dirigées radialement, appelées rayons ligneux (figure 13). Les cellules de rayons ligneux sont issues de la division des îlots de cellules initiales isodiamétriques du cambium. Les rayons ligneux sont composés soit uniquement de cellules de parenchyme radiales (rayon homogène), soit de cellules de parenchyme radiales et de trachéides radiales (rayon hétérogène). Le parenchyme a pour rôle le stockage des réserves ou des déchets, la restitution des réserves et l'élaboration de substances. Dans l'aubier, lorsque l'arbre est sur pied, les cellules de parenchyme sont vivantes. Les rayons ligneux des résineux sont pratiquement toujours larges d'une seule cellule, la hauteur est variable. Pour cette raison, ils sont difficilement perceptibles à l'œil nu sauf sur une coupe radiale, où, coupés dans le sens de la longueur, ils offrent une plus grande surface de regard.

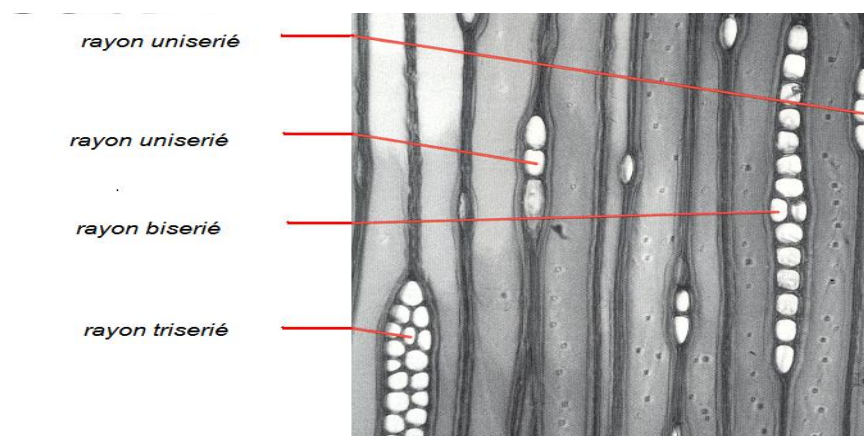


Figure 13: Coupe tangentielle montrant les types de rayons d'un bois résineux (Hoadley, 1990)

L'aspect macroscopique des rayons ligneux est appelé maillure. Les rayons ligneux ont aussi un rôle très important pendant le processus de duraminisation, car le parenchyme fabrique les substances nécessaires à la transformation de l'aubier en duramen (Hillis, 1987). Dans un bois adulte, le nombre des rayons est sensiblement constant pour une espèce donnée par unité de volume (ou par unité de surface d'après une coupe tangentielle et, dans certaine mesure, par unité de longueur sur une coupe transversale). La hauteur et la largeur des rayons sont aussi caractéristiques d'une espèce ou d'un groupe d'espèces. L'analyse anatomique des rayons de conifères est de nature strictement microscopique, et essentielle pour la reconnaissance des principaux bois de résineux, dont la détermination précise est pratiquement impossible à l'œil nu (Normand, 1972).

L'épaisseur des rayons en section tangentielle, est ordinairement formée d'une seule cellule (rayons unisériés) quelquefois de deux cellules (rayons bisériés) ou plusieurs cellules (rayons multi-sériés); leur hauteur peut varier de 1 à 40 cellules, parfois d'avantage. Chez certaines espèces, les rayons ligneux peuvent comporter, outre les cellules de parenchyme, d'autres éléments tels que: les trachéides transversales et les canaux résinifères transversaux.

Les cellules de parenchyme des rayons ligneux, sont des cellules à parois minces ou épaisses et ornées de ponctuations simples, qui les font communiquer soit entre elle, soit avec les trachéides (Normand, 1972).

1.4.5.4. Canaux résinifères

Certains résineux contiennent des canaux résinifères, qui peuvent être longitudinaux ou radiaux, les deux coexistant toujours (figure 14). Les canaux résinifères radiaux sont toujours inclus à l'intérieur des rayons ligneux. Ces éléments sont composés d'une gaine de cellules parenchymateuses entourant des cellules épithéliales situées à la lumière du canal (Castéra *et al.*, 1999). Les substances résineuses sont sécrétées par les cellules épithéliales, puis excrétées dans la lumière du canal. Les dimensions du lumen et des cellules épithéliales sont des critères de reconnaissance importants. Quand ils sont normaux, les canaux résinifères sont toujours présents dans le plan ligneux de l'espèce. Par ailleurs, ils peuvent se présenter accidentellement, comme dans le cas du cèdre, par suite de blessure, attaque d'insectes, ...etc Dans ce cas, ils portent le nom de canaux traumatiques, appelés souvent poches de résine, qui sont des défauts majeurs du bois de pin maritime. Les poches de résine sont à l'intérieur des cernes annuels (Cloutier, 2002). Ces canaux résinifères diffèrent des vaisseaux qui caractérisent le bois des feuillus, dans la nature de fusion des cellules en rangées

longitudinales. Ils fournissent un critère important dans l'identification des bois résineux (Brown *et al.*, 1949).

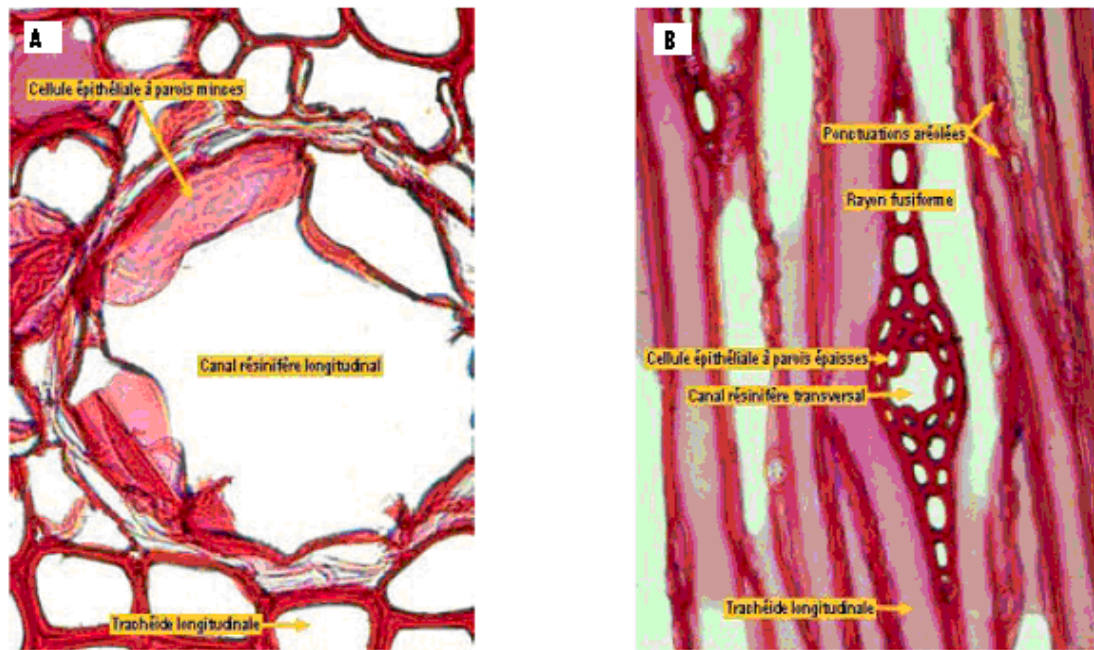


Figure 14: Canal résinifère (genre *Pinus*)

(A): canal résinifère longitudinal; (B): canal résinifère radial (Site 7)

1.4.5.5. Ponctuations

Lors de la différenciation cellulaire, des zones dans la paroi peuvent demeurer pecto-cellulosiques et subir (ou non) une hydrolyse partielle, pour permettre la formation des ouvertures qui assurent le passage de sève entre les cellules. Ces ouvertures s'appellent ponctuations, et existent dans les parois de tout type de cellules. Elles permettent la communication et donc le passage de la sève brute d'une trachéide à l'autre. Elles sont aréolées, lorsqu'elles concernent les tissus lignifiés et généralement simples quand elles sont en rapport avec les cellules de parenchyme (Boureau, 1956).

1.4.5.5.1. Ponctuations simples

Les ponctuations simples, dans le sens strict du terme, sont celles dont la cavité est limitée par un cylindre droit ou une surface canal de diamètre constant (figure 15). L'orifice de la ponctuation dans la cellule est alors limité par une courbe égale à la section de base. A ce type appartiennent les ponctuations simples entre cellules de parenchyme, qu'il s'agisse de parenchyme des rayons ou de parenchyme axial.

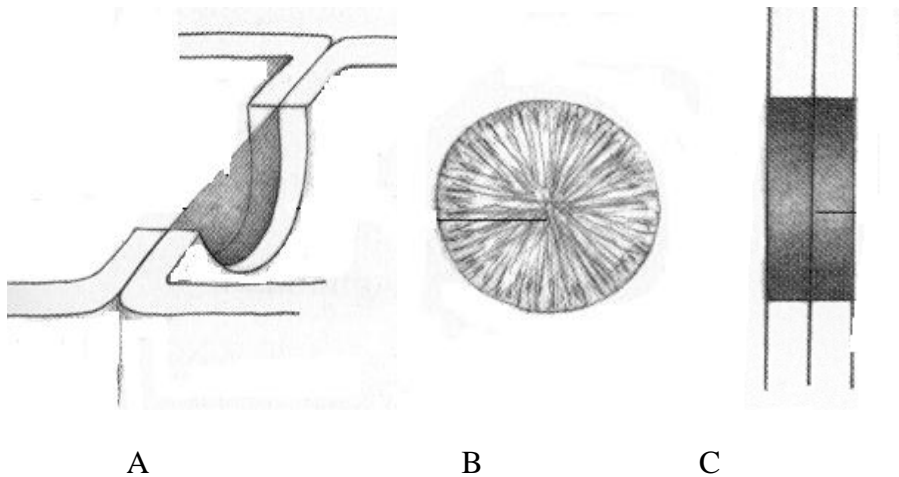


Figure 15: Ponctuation simple: entre deux cellules adjacentes (A), vue de face (B),
vue de profil (C) (Hoadley, 1990).

Dans les champs de croisement des cellules de parenchyme des rayons et des trachéides, on trouve des ponctuations qui doivent être rapprochées de ce type. La cavité de ces ponctuations est limitée le plus souvent par un tronc de cône ou de conoïde, et le contour de l'orifice de la ponctuation, diffère par sa forme et ses dimensions de celui de la section de base ou champ de la ponctuation. Cependant dans aucun cas, la lamelle moyenne n'est épaissie au centre du champ et la membrane secondaire ne forme pas de voûte limitant la cavité de la ponctuation, bien que ces ponctuations présentent en général le contour de l'orifice étant en projection verticale intérieur au contour du champ, une apparence aréolée. Elles sont fondamentalement distinctes des ponctuations aréolées proprement dites.

Le type de ponctuation varie en général dans une même couche annuelle, pour tendre vers le type picéoïde dans le bois final (Jacquiot, 1955).

1.4.5.5.2. Ponctuations aréolées

Presque toutes ces ponctuations sont situées du côté radial de la trachéide, elles s'étendent dans des rangées verticales. Ces ponctuations sont circulaires dans la plupart des cas, contrairement aux ponctuations simples localisées au niveau du plan radial. Les ponctuations aréolées peuvent être arrangées verticalement (sens longitudinal de la trachéide) d'une manière simple ou par paire (figure 16).

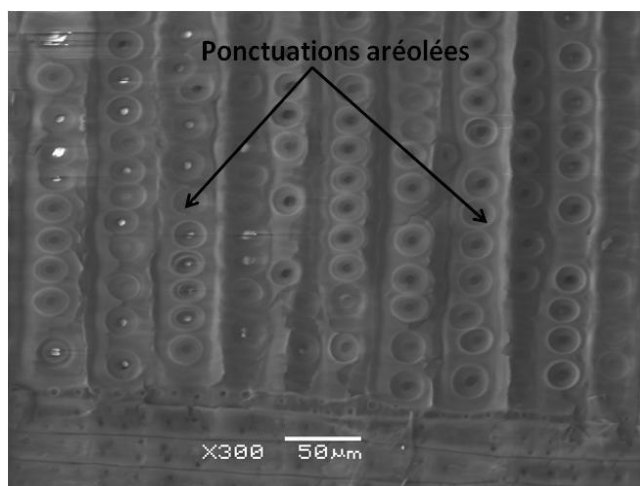


Figure 16: Ponctuations aréolées en coupe radiale (Elaieb *et al.*, 2012)

La membrane qui occupe le fond de la ponctuation porte en son centre le « torus » qui conserve normalement une position verticale (figure 17). Sous l'influence des variations de la pression, le torus peut s'appliquer contre l'une des ouvertures de la ponctuation et interdire, de la sorte, le passage de la sève brute d'une trachéide à l'autre. Dans ce cas les ponctuations aréolées peuvent être comparées à de petites valves qui se ferment de façon irréversible lors de la duraminisation ou au cours du séchage. La fermeture de ces ponctuations aréolées explique la non-imprégnabilité des bois parfaits duraminisés et de certaines essences à aubier non différencié. Par contre en position verticale, le torus supporté par la membrane permet le passage, par filtration, de l'eau et même des petites particules solides, sans difficulté, d'une cellule à l'autre (Créte *et al.*, 1968). Chez certaines espèces, ces ponctuations localisées au niveau des parois radiales des trachéides, peuvent être dépourvues de torus, elles deviennent parfois elliptiques ou bien encore rectangulaires à extrémités arrondies ou polygonales (Boureau, 1956).

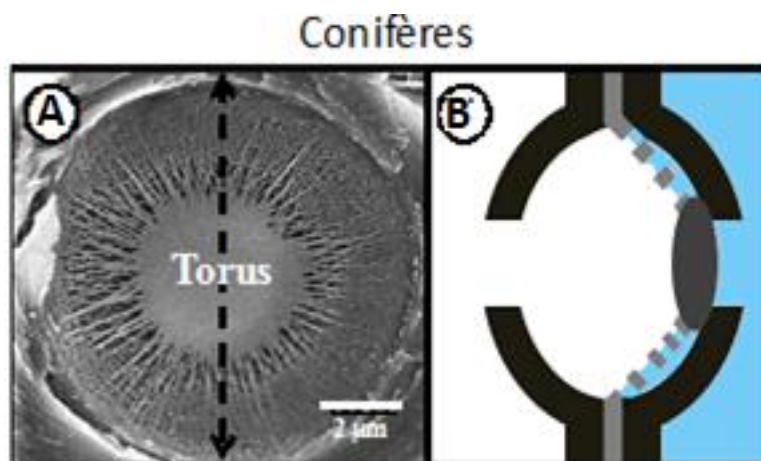


Figure 17: Coupe longitudinale (A) et transversale (B) d'une ponctuation chez les Conifères avec un torus au centre (Site 8)

1.4.5.5.3. Ponctuations semi-aréolés

Ce sont des ponctuations qui apparaissent entre des cellules de fonctions différentes (parenchyme et tissu conducteur); elles sont du type aréolé du côté des cellules de conduction (trachéide en cas des résineux et vaisseau en cas des feuillus), et du type simple du côté du parenchyme (figure 18). Dans l'arbre, ces ponctuations représentent le lien entre les cellules de conduction et cellules biochimiquement actives (Esau, 1977; Raven *et al.*, 1999).

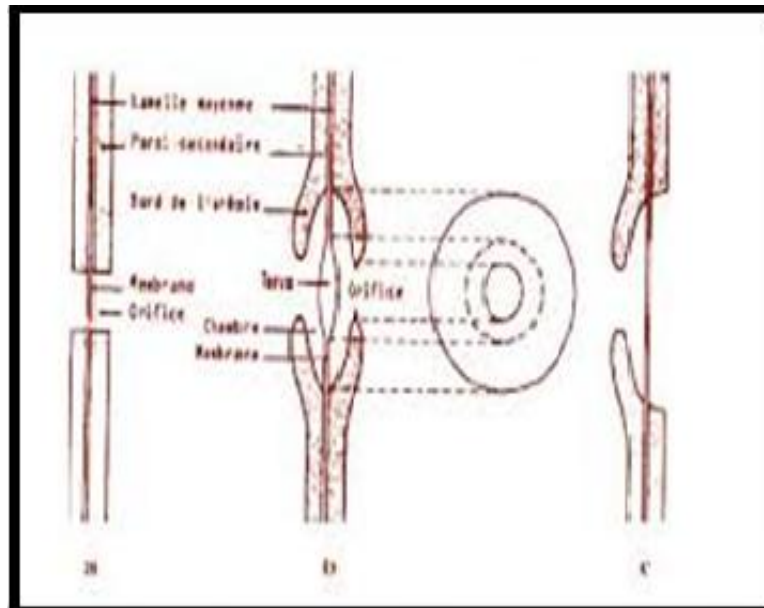


Figure 18: Ponctuation semi aréolée (plan C).
(Grosser, 1977 cités par Keller, 1994)

1.4.5.5.4. Ponctuations du champ de croisement

C'est le caractère le plus important, car ayant une grande valeur diagnostic pour la reconnaissance d'un bois d'une espèce, donnée par les ponctuations présentes dans les champs de croisement, entre les cellules de parenchyme des rayons et les trachéides verticales (Detienne, 1988). Le nombre, le type, la dimension et la forme de ces ponctuations peuvent caractériser un certain nombre de bois d'espèces différentes, ainsi que les conditions environnementales qui ont accompagnées le développement de l'arbre (DeMeijer *et al.*, 1998; Rijkaert *et al.*, 2001).

Les cinq principaux types des ponctuations du champ de croisement sont les suivants (Normand, 1972):

- Ponctuations fenestréformes (figure 19, a): elles sont larges et simples ou bien simples. Ces ponctuations ont la forme d'une fenêtre d'où leur nom. Elles occupent la plus grande partie du champ de croisement;
- Ponctuations pinoïdes (figure 19, b): les ponctuations sont généralement fines, simples ou avec une aréole très étroite. Elles sont assez petites, leur forme est variable;
- Ponctuations piceoïdes (figure 19, c): l'orifice de la ponctuation est étroit, distendu et débordé sur les contours de l'aréole;
- Ponctuations cupressoïdes (figure 19, d): l'orifice est rétréci, ovoïde relativement plus étroit que l'espace laissé de chaque côté entre orifice et aréole; il est entièrement compris dans l'aréole;
- Ponctuations taxodioïdes (figure 19, e): l'orifice de la ponctuation est grand, ovoïde à circulaire et plus large que l'espace laissé de chaque côté entre orifice et aréole. il est tangent en deux points au contour de l'aréole.

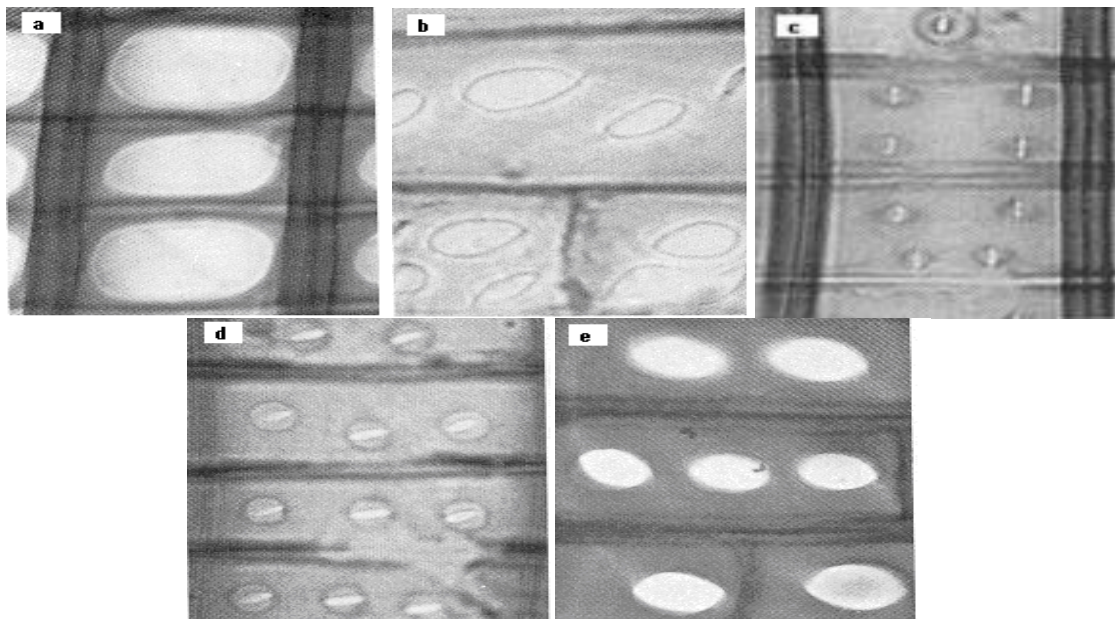


Figure 19: Ponctuations du champ de croisement. Fenestriiformes (a), pinoïdes (b), piceoïdes (c), cupressoïdes (d), taxodioïdes (e) (Hoadley, 1990).

1.4.5.6. Structures anormales

1.4.5.6.1. Canaux traumatiques

Ils se distinguent des canaux normaux par leur plus grande taille, leur disposition en séries tangentielle et par leurs cellules épithéliales épaisses et lignifiées. Dans certains cas, ils apparaissent comme de grosses poches remplies de résines. Ces canaux se rencontrent aussi bien dans les genres possédant des canaux normaux, comme dans ceux n'en ayant pas.

1.4.5.6.2. Bois de réaction

La production du bois de réaction est sensée résulté de la tendance d'une branche ou d'un tronc à contrebalancer la force induite par sa position incliné. Chez les conifères, le bois de réaction se développe à la partie inférieure de la portion inclinée; on parle alors de bois de compression. Il se forme à sa partie supérieure chez les angiospermes; et l'on parle alors de bois de tension (Raven *et al.*, 2003).

1.4.5.6.3. Bois de compression

Ce type de bois, appelé aussi bois rouge à cause de sa couleur, apparaît dans certains troncs en bandes concentriques, minces à très larges. Il est composé de trachéides à parois beaucoup plus épaisses et lignifiées (figure 20). Cet excès de lignification, à induction physiologique, se produit dans la zone du bois néoformé de la partie inférieur d'un tronc incliné (et des branches). Les cernes sont beaucoup plus épais du côté inférieur que du côté supérieur, le bois de compression est plus riche en lignine et plus pauvre en cellulose que le bois normal et son retrait au séchage est souvent au moins dix fois plus élevé que celui du bois normal, cette différence est souvent la cause de la courbure ou la torsion du planche (Raven *et al.*, 2003).

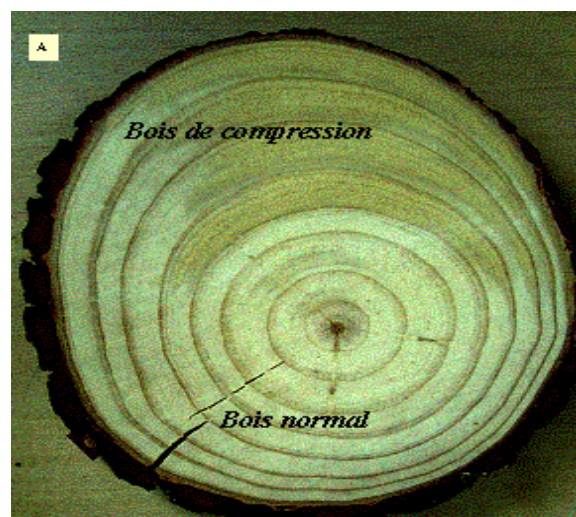


Figure 20: Bois de compression de résineux.

1.4.6. Structure et composition du bois feuillus

Dans l'histoire phylogénétique, les feuillus sont des végétaux plus récents et plus évolués que les résineux, le bois est plus complexe, les cellules plus spécialisées, le plan ligneux plus varié et l'identification des essences généralement plus facile (figures 21 et 22).

Les rôles de conduction de la sève et de soutien mécanique sont principalement assurés par des cellules différentes, les vaisseaux et les fibres de façon respective. (Jacquot et *al.*, 1973)

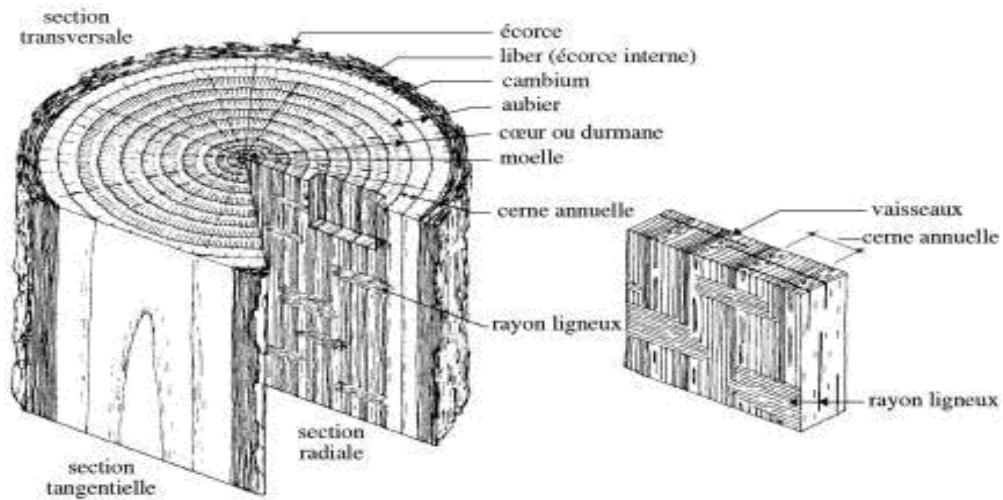


Figure 21: Représentation schématique d'un bois feuillu à zones poreuses (Lignum, 2019).

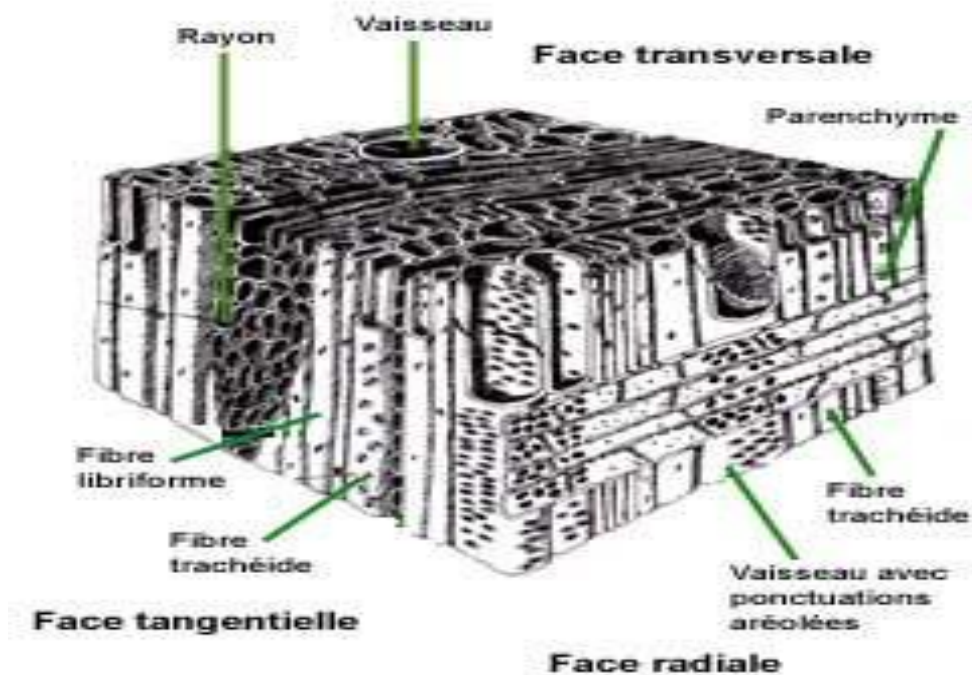


Figure 22: Plan ligneux d'un bois de feuillu (Site 10)

1.4.6.1. *Eléments fondamentaux*

Ce sont les vaisseaux, les fibres, le parenchyme et les rayons du bois. Entre chacun de ces éléments, il n'y a pas de cloison étanche. Si notre esprit donne aux vaisseaux un rôle de conduction et aux fibres un rôle de soutien, c'est par suite d'un souci de classification

physiologique mais les fibres, par exemple, ont, elles aussi, un rôle de conduction plus ou moins marqué et même un rôle de tissu de réserve. Entre chaque élément type, existent des termes de passage que révèle l'examen microscopique (Normand, 1972).

1.4.6.2. Cellules longitudinales

Les cellules longitudinales comprennent des vaisseaux, des fibres, des trachéides et des cellules parenchymes.

1.4.6.3. Vaisseaux

Ils assument le rôle de conduction chez les feuillus. Un vaisseau consiste en une série d'éléments de cellules qui sont unies pour former un tube longitudinal. Le passage de la sève entre deux vaisseaux voisins est assuré par: des ponctuations latérales, ainsi que par une ouverture à chaque extrémité appelée perforation. La superposition des vaisseaux forme de très longs tuyaux continus dans le bois (figure 23). A noter que les ponctuations qui relient deux vaisseaux latéralement adjacents, sont différentes des ponctuations aréolées. Ce sont essentiellement des ponctuations simples sans torus (Parviz *et al.*, 2005). Au niveau macroscopique, les vaisseaux ou pores interviennent fortement dans l'image du bois vus en section transversale par leur nombre, leur taille, leur disposition et leur groupement (Detienne, 1988). Le diamètre des vaisseaux varie d'une espèce à l'autre, ils sont pratiquement visibles à l'œil nu chez certaines espèces, mais on les distingue à peine à la loupe chez d'autres. Pour une même espèce, le diamètre des vaisseaux peut être grand dans le bois formé au début de saison et devenir plus faible dans le bois de fin de saison. C'est une essence à bois hétérogène, dans le cas contraire où le diamètre des vaisseaux varie peu du début à la fin de la saison, on parle de bois homogène (Boureau, 1954).

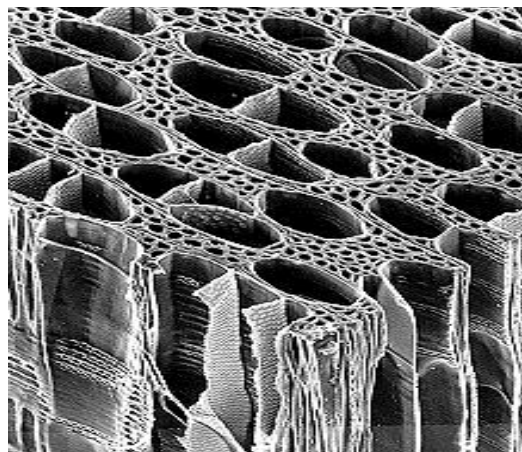


Figure 23: Ultrastructure d'un bois feuillus montrant des vaisseaux (Site 11)

Chez certaines essences, le cambium forme des vaisseaux de taille et de concentration plus importante au printemps. Ce sont les bois dits à zone initiale poreuse (figure 24, A). Les petits vaisseaux du bois d'été présentent généralement des dispositions particulières sur une coupe transversale.

La majorité des feuillus sont à zone diffuse (figure 24, C), car on ne distingue pas nettement le bois formé en été de celui formé au printemps. Un groupe intermédiaire comprend des essences dont le diamètre des vaisseaux diminue progressivement, en passant du bois initial au bois final. Ce sont les feuillus à zone semi-poreuse.

Chez les feuillus homogènes et à zone semi-poreuse (Figure 24, B), le diamètre des vaisseaux permet de caractériser le grain. Ainsi, les feuillus ayant des vaisseaux largement inférieurs à 50 μm sont des bois à grain très fin (olivier), alors qu'un bois comme le noyer, ayant des vaisseaux pouvant aller de 50 à 300 μm , est considéré comme un bois à grain grossier. Selon la norme française (NF B50-002), le grain est défini comme suit : « impression visuelle, produite par la dimension des éléments du bois et spécialement des vaisseaux ». Le grain est un critère d'identification, mais aussi d'utilisation des bois homogènes (Venet, 1974).

A travers un couple de ponctuations, point de moindre résistance des parois cellulaires, il peut y arriver une expansion d'une cellule parenchymateuse plus turgescente, au milieu du lumen d'un élément de vaisseau formant ce qu'on appelle thylle. Qu'il ne faut pas confondre avec thylloïde qui est la prolifération d'une cellule sécrétrice à l'intérieur d'un canal sécréteur. Les thylles sont produits plutôt dans les vaisseaux de gros diamètre, au moment de la duraminisation ou localement suite à une blessure ou une attaque de champignons (Trouy-Triboulot *et al.*, 2001).

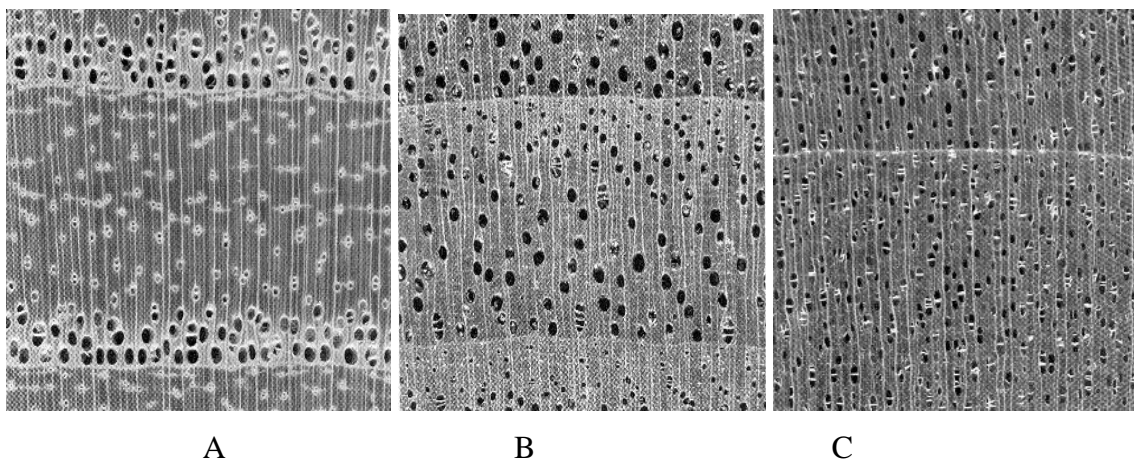


Figure 24: Classification selon les pores : bois à zone poreuse (A), bois à pores semi-poreux (B) et bois à pores diffus (C) (Hoadley, 1990).

1.4.6.4. Fibres

Les fibres sont des cellules allongées, aux parois généralement épaisses, et aux ponctuations réduites. Elles sont issues des cellules initiales fusiformes. Ce sont des cellules mortes et vides. Elles jouent nettement un rôle de soutien mécanique et permettent d'expliquer les différences de densité entre les bois tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif (figure.25).

Les bois denses possèdent des fibres à section étroite et à parois épaisses, alors que les bois moins denses, ont des fibres à lumen plus large et à parois plus fines. A l'intérieur d'une même espèce, c'est-à-dire à qualité de fibres relativement égale, le bois le plus dense, sera celui qui contient proportionnellement le plus de tissu fibreux (Trouy-Triboulot et Triboulot, 2001).

D'après Boureau (1957), on distingue:

- **Les fibres trachéides:** elles sont élancées à parois épaisses, rarement cloisonnées, ne renfermant jamais d'amidon, possédant souvent des épaississements spiralés et sont rarement gélatineuses;
- **Les fibres libriformes:** ces fibres assez allongées et à parois épaisses, sont souvent cloisonnées et dépourvues d'épaississements spiralés;
- **Les trachéides vasculaires:** elles ont la même forme qu'un élément de vaisseau, on les appelle éléments de vaisseaux imparfaits, car elles sont imperforées.
- **Les trachéides juxta-vasculaires :** ces trachéides courtes de forme irrégulière, placées à proximité des gros vaisseaux, peuvent être mélangées avec le parenchyme longitudinal avec lequel on peut les confondre;
- **Les fibres septées:** pourvues de cloisons transversales plus ou moins nombreuses. Ces fibres peuvent apparaître dans n'importe quelle région du bois secondaire.

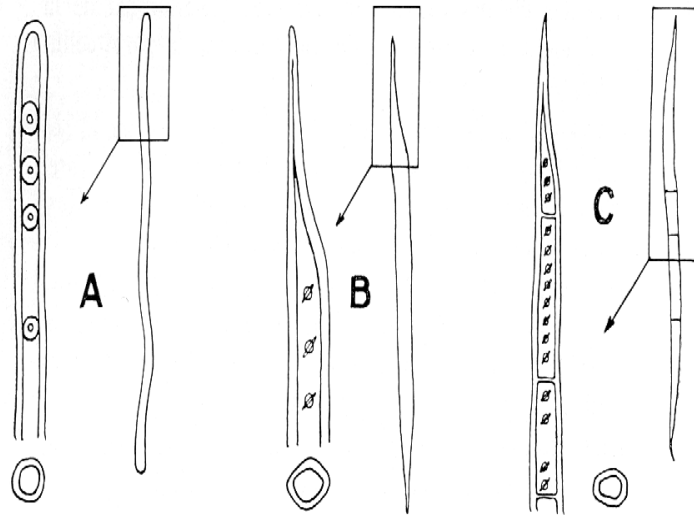


Figure 25: Fibre du bois

(A): Trachéides verticales; (B): Fibre-trachéides; (C): Fibre-trachéides septées.

(Normand, 1972).

1.4.6.5. Parenchyme vertical

Dans les bois, il existe deux catégories de parenchyme différentes, à la fois par leur origine et par leur orientation suivant l'axe de l'arbre: un parenchyme vertical, dont les éléments dérivant d'initiales fusiformes sont allongés dans le sens de l'axe (figure 26), et un parenchyme radial produit par des initiales spéciales (cellules mères des rayons) dont les éléments sont orientés horizontalement. Les cellules de parenchyme gardent longtemps leur protoplaste et restent physiologiquement actives. Leur rôle essentiel est la mise en réserve et la distribution de substances nutritives (hydrate de carbone). Pour cela leurs parois sont peu lignifiées et abondamment ponctuées. Leur activité cesse dans le bois parfait, duraminisé ou non. Notons que chez certaines espèces, le tissu parenchymateux vertical est absent, le stockage et la distribution des substances de réserve sont assurés par les fibres (Détienne, 1988). Par les images très variées qu'il donne, par son abondance ou sa rareté, le parenchyme contribue puissamment à caractériser le plan ligneux de chaque essence. Bien que sa disposition soit assez complexe à décrire, on distingue trois grandes catégories, le parenchyme apotrachéal (indépendant des vaisseaux), le parenchyme paratrachéal (associé aux vaisseaux) et le parenchyme en bande, catégories divisées elles-mêmes en plusieurs types.

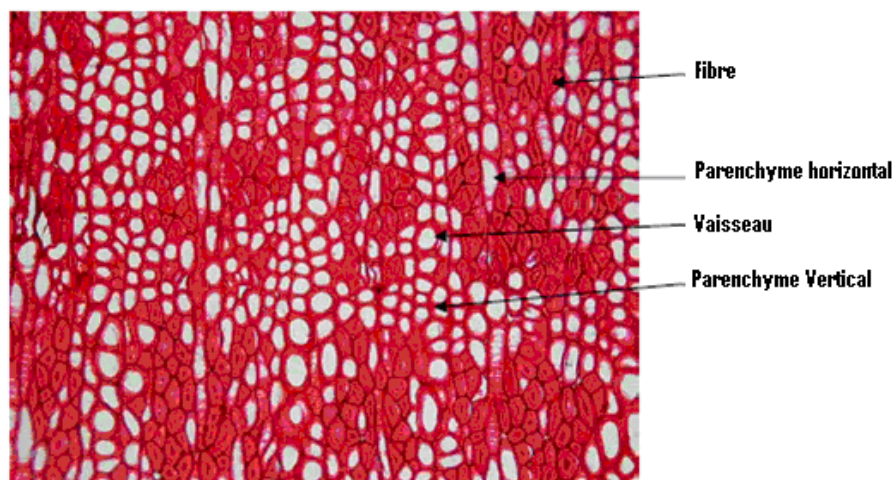


Figure 26: Coupe transversale d'un bois feuillus montrant le parenchyme vertical (Site 9)

1.4.6.5.1. Parenchyme apotrachéal

Il se présente sous forme de cellules isolées, dispersées dans le tissu fibreux, de cellules agglomérées tangentiellement en chaînette ou en lignes. Ces lignes peuvent apparaître à chaque succession de saisons végétatives. Elles sont alors appelés lignes terminales ou bien régulièrement nombreuses ou espacées dans l'accroissement saisonnier. Si ces lignes sont beaucoup plus nombreuses que les rayons, le parenchyme sera dit en échelle. Si leur nombre est approximativement équivalent, il sera dit en réseau. Les lignes peuvent être courtes ou longues, rectilignes ou sinueuses. Dans certains bois elles peuvent être très larges et apparaître à l'œil nu comme des bandes (Detienne, 1988).

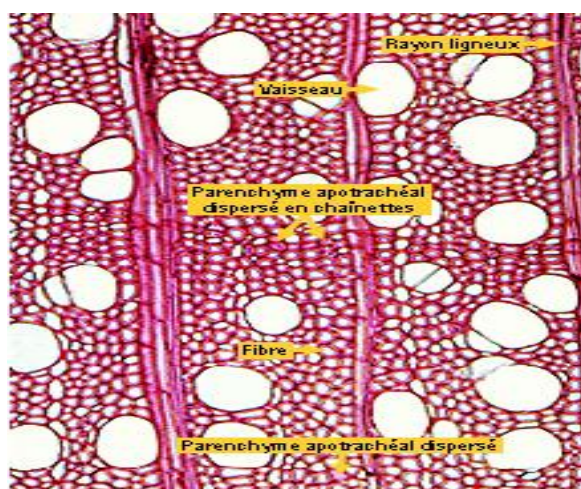


Figure 27: Coupe transversale montrant le parenchyme apotrachéal (genre *Quercus*) (Site 7).

1.4.6.5.2. Parenchyme paratrachéal

C'est le parenchyme qui est en association directe avec les vaisseaux. Il est désigné encore sous le nom de parenchyme juxta-vasculaire. Il varie avec quelques cellules en contact avec les vaisseaux. Il peut être vasicentrique car il forme autour des vaisseaux une gaine ou bien un manchon d'épaisseur variable circulaire ou ovale en coupe transversale (Fechtal *et al.* 1994), ou bien il s'étend tangentiellement de part et d'autre du vaisseau pour se former comme des ailes (parenchyme aliforme qui peut être unilatéral). Ces ailes peuvent être courtes (parenchyme en losange) ou longues, ou encore confluent, formant souvent des bandes irrégulières (Desch *et al.* 1996).

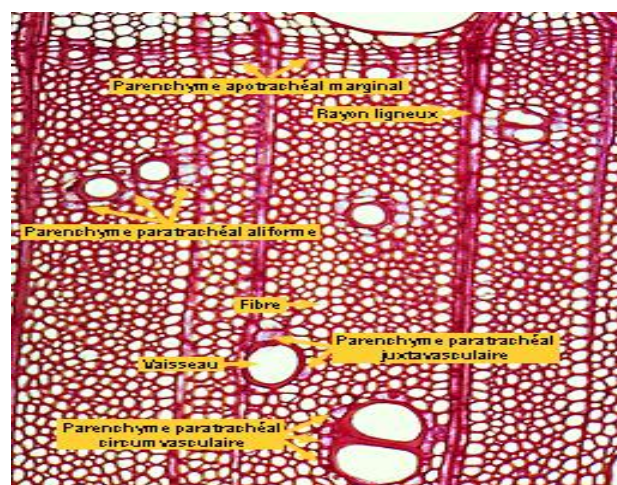


Figure 28: Coupe transversale montrant le parenchyme paratrachéal (genre *Quercus*) (Site 7).

1.4.6.5.3. Parenchyme en bandes

C'est un parenchyme axial formant des lignes ou des bandes concentriques, ces bandes de parenchyme peuvent être principalement indépendantes des vaisseaux. On parle dans ce cas de parenchyme apotracheal bandé, ou bien associé aux vaisseaux. On parle dans ce cas de parenchyme paratrachéal bandé ou les deux à la fois. Les bandes de ce parenchyme peuvent être ondulées, diagonales, droites, continues ou discontinues (Desch *et al.*, 1996).

1.4.6.6. Rayons ligneux

Le rayon ligneux est une lame de cellules de parenchyme de longueur indéfinie, perpendiculairement aux couches d'accroissements. Leur disposition est constante et assez régulière. Comme chez les conifères, ces cellules dérivent d'agrégats de cellules mères du cambium. Par division des cellules fusiformes du cambium, il se forme de nouvelles séries de

cellules mères qui donnent naissance à des rayons unisériés dans le cas d'un cloisonnement seulement horizontal, et des rayons multi-sériés dans le cas d'un cloisonnement à la fois horizontal et vertical (figure 29). Un rayon est dit homo-cellulaire quand il est formé de cellules d'un même type morphologique, soit toutes couchées, soit toutes dressées. Dans le cas contraire, il est dit hétérocellulaire (Jacquiot *et al.*, 1973; Dakak, 1997). Les rayons, outre leurs rôles de conduction dans le sens horizontal, assurent également, comme le parenchyme axial, le stockage et la distribution des substances de réserve.

A l'échelle macroscopique, les rayons contribuent à l'image spécifique du plan ligneux d'un bois par plusieurs caractères, à savoir: leurs fréquences exprimées en nombre par unité de surface (sur la section tangentielle) ou par unité de longueur (en section tangentielle ou transversale) et leurs hauteurs estimées sur la section tangentielle qui peut être exprimée en unité de longueur ou en nombre de cellules, comme pour la largeur ou sériation des rayons (c'est-à-dire largeur du rayon en nombre de cellules). De plus pour une même sériation, des rayons peuvent être larges ou étroits (Detienne, 1988).

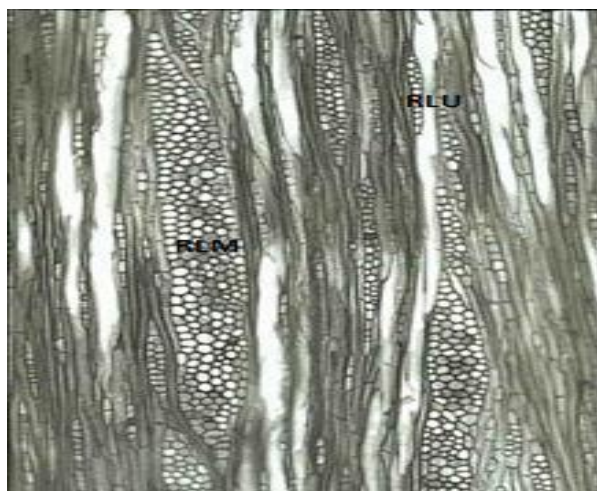


Figure 29: Coupe tangentielle d'un bois feuillu montrant des rayons ligneux unisériés (RLU) et multisériés (RLM) (Schoch *et al.*, 2004)

1.4.6.7. Thylls

Les thylls sont des proliférations d'une cellule de parenchyme adjacent à un vaisseau ou à une trachéide (figure 30). Elles sont dues à une turgescence plus grande existant dans une cellule de parenchyme voisine du vaisseau où l'air est présent. Leur apparition comme celle de la gomme, est en rapport avec les dimensions et les caractères des couples de ponctuations de la paroi commune au vaisseau et à la cellule du rayon (Boureau, 1957). Les thylls se comportent comme un véritable parenchyme de cicatrisation à l'intérieur des vaisseaux. Ils peuvent se reclouster dans la cavité envahie, et présenter une lignification plus au moins

accentuée de leurs parois. Leur présence dans le bois duraminisé est un caractère intéressant. A noter aussi bien au point de vue anatomique que technologique, puisqu'il pourra en résulter une gêne pour la diffusion des substances à travers les vaisseaux (Normand, 1998).

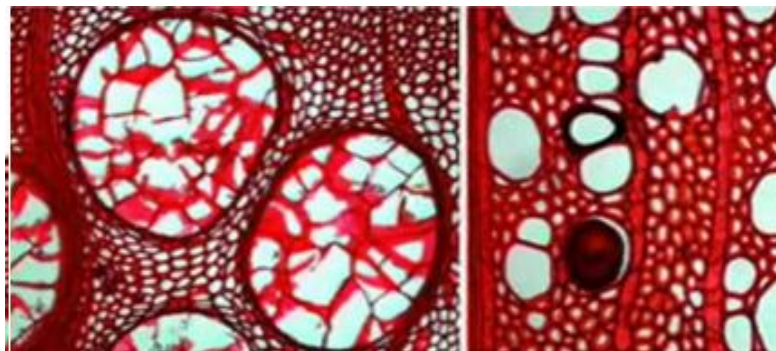


Figure 30: Coupe transversale montrant des thylles dans des vaisseaux (genre *Quercus*)
(Site 12)

1.4.6.8. Bois de tension des feuillus

Il provient d'une activité accrue du cambium à la partie supérieure de la branche ou du tronc et, comme pour le bois de compression des conifères, on le reconnaît à la présence des cernes de croissance excentriques (figure 31). Un examen microscopique de coupes du bois est nécessaire pour identifier le bois de tension avec précision. D'un point de vue anatomique, sa principale caractéristique est la présence des fibres gélatineuses, fibres peu ou pas lignifiées dans lesquelles une partie de la paroi secondaire a un aspect gélatineux. Si les grumes sont sciées lorsqu'elles sont encore vertes, le bois de tension provoquera des déchirures dans les faisceaux de fibres et donne aux planches un aspect laineux (Raven *et al.*, 2003).



Figure 31: Bois de tension des angiospermes (*Fraxinus* sp.). (Lloyd A. *et al.*, 2016)

1.4.6.9. Perforations

Ce sont des zones dépourvues de parois primaires et secondaires, les perforations sont de véritables trous dans la paroi cellulaire. La partie de la paroi qui possède une ou plusieurs perforations s'appelle plaque perforée (Raven *et al*, 2003). Ces perforations affectent généralement l'extrémité d'un élément de vaisseau et plus spécialement la cloison terminale plane qui, lorsque les éléments de vaisseaux sont immatures, leur est commune (Boureau, 1957).

D'après **Normand (1972)**, on a plusieurs types de perforation, à savoir :

► Perforation simple ou unique : ouverture simple, généralement grande et plus ou moins arrondie de la cloison perforée.

► Perforation multiple : paroi terminale perforée d'un élément de vaisseau avec deux ou plusieurs ouvertures qui, selon leur nombre, leur forme et leur disposition, caractérisent les perforations :

- ◆ Perforation en grille ou scalariforme: cloison perforée à ouvertures multiples allongées et parallèles. Les résidus de cloison entre les ouvertures s'appellent des échelons ou barreaux.
- ◆ Perforation foraminée : cloison perforée présentant un petit groupe d'ouvertures circulaires (comme chez *Ephédra*).
- ◆ Perforation en réseau ou réticulée: cloison perforée à ouverture multiples ayant l'aspect d'un filet (comme chez certains bignoniacées).

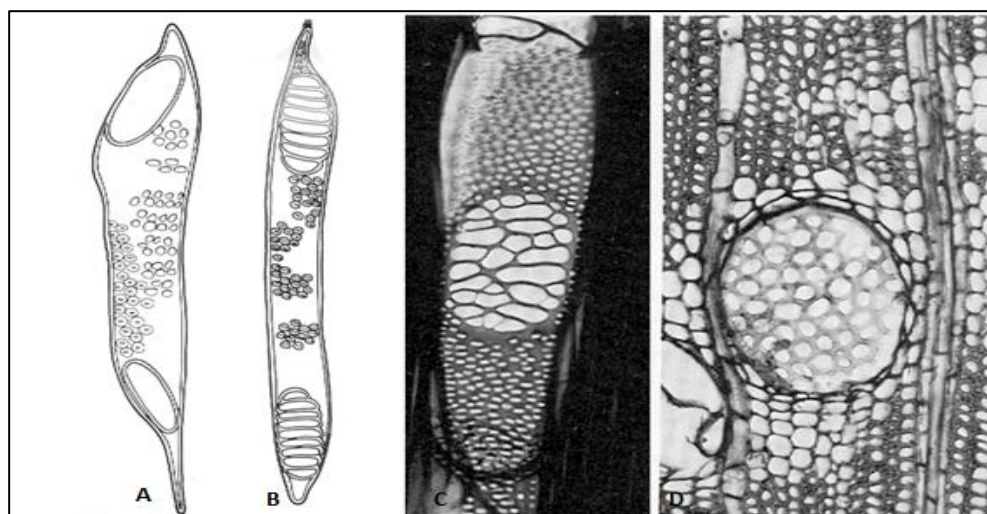


Figure 32 : Types de perforations : (A) Perforations simples; (B) perforations Scalariformes; (C) perforations réticulées et (D) perforations foraminées (IAWA, 1989).

1.4.7. Fixité du plan ligneux et variabilité des caractéristiques anatomiques

Cela signifie que pour une espèce déterminée nous retrouvons toujours un schéma-robot caractéristique de cette espèce. Ce schéma-robot pourra correspondre à une particularité anatomique d'un échantillon spécialement choisi pour représenter le type moyen de structure du bois de l'espèce. En fait, il tiendra compte d'un ensemble de caractéristiques anatomiques, qui par expérience, sont toujours liées entre elles, quelle que soit l'ampleur des variations enregistrées chez l'essence suivant l'âge, la provenance ou le traitement sylvicole (Normand, 1998). Certaines variations anatomiques sont en réalité des modifications de structure qui ont un caractère anormal ou pathologique; elles constituent des «défauts» formation de bois de réaction (bois de tension pour les angiospermes et bois de compression pour les gymnospermes). La variabilité dans le bois est un caractère qui intéresse aussi bien sa constitution anatomique que sa constitution chimique. Elle entraîne souvent pour la même espèce botanique une gamme de propriétés telle que ses emplois changeront et que la valeur économique de la marchandise ne sera pas du tout la même (Normand, 1998).

1.4.8. Loupe de thuya

C'est une excroissance de la souche se développant au niveau du collet et de la racine. Elle n'est enregistrée que chez quelques sujets dans certains peuplements. L'origine de cette boursouffure qui se manifeste au niveau du collet est encore mal déterminée. Certains auteurs interprètent ce phénomène comme étant une réaction physiologique de l'arbre aux diverses mutilations (blessures répétées, incendies, ...), par l'émission de bourgeons au niveau du collet (Boudy, 1950). Le bois dérivant de ces loupes, offre d'excellente qualité technologique qui est très recherché par la marqueterie artisanale. Ainsi, les loupes sont devenues très rares à cause de leur exploitation abusive dans les vieux peuplements, et même sur les jeunes recépages, ce qui a contribué à la diminution de la densité de ces forêts. Dans ces derniers temps, seuls le bois de feu, de perches et de mine, continue d'être exploité à un rythme moins important qu'il y a une trentaine d'années. Les rendements dépendent des conditions écologiques du milieu (Famiri, 2008).

1.5. ULTRA-STRUCTURE DE LA CELLULE LIGNEUSE

1.5.1. Description cytologique de la paroi de la cellule du bois normal

Les parois cellulaires du bois sont formées par des bio-polymères, soit la cellulose (40 - 50 %), soient les hémicelluloses (5 - 20 %) soit la lignine (20 - 30 %), et par les extractibles

(plus de 2 %), ces pourcentages peuvent changer selon l'espèce, les conditions climatiques, l'âge de l'arbre, etc. Ces polymères sont responsables des principales propriétés physiques et mécaniques du bois (Rowell, 1988; Saka, 2001). Une fois différenciée, la cellule ligneuse présente plusieurs parois ou couches constitutives plus au moins inégales en proportion, en distinguant:

1.5.1.1. Couche intercellulaire

La couche intercellulaire apparaît comme une fine membrane lors de la division de la cellule de cambium, pour séparation entre deux cellules filles, donc c'est sur cette couche que s'appuie la paroi primaire de chacune de ces deux cellules. Cette couche ou lamelle moyenne permet la cohésion entre les cellules. Elle est constituée de substances pectiques, fixant d'ailleurs du calcium, puis se charge de lignine au cours de la différenciation. La destruction de cette couche et, donc, la séparation des cellules, est possible par une attaque chimique (l'exemple de la fabrication de la pâte à papier par voie chimique), parfois des attaques par des champignons. Riche en substance pectique, cette couche sera fortement chargée en lignine au cours de la lignification (Trouy-Triboulot *et al.*, 2001)

1.5.1.2. Paroi primaire

La paroi primaire est une très fine couche colée sur la couche intercellulaire, elle est constituée par des micro-fibrilles de cellulose enchevêtrées dans lesquelles se déposent de la lignine, des substances pectiques et des hémicelluloses. Elle se forme à la fin de la division cellulaire, et elle est sous forme d'une très fine couche colée sur la couche intercellulaire. La texture lâche de cette paroi permet la communication entre les cytoplasmes des cellules voisines, à travers les ponctuations (Trouy-Triboulot *et al.*, 2001).

1.5.1.3. Paroi secondaire

La paroi secondaire, par sa structure et son volume, constitue la partie de la cellule ligneuse la plus résistante mécaniquement. Cette paroi vient se déposer sur la paroi primaire à la fin de la formation cellulaire (quand la cellule atteint sa dimension finale).

Les études cytologiques classiques distinguent au sein de cette paroi secondaire trois sous-couches superposées, appelées S1, S2 et S3, se déposant successivement au cours de la maturation, et se singularisant, non seulement par leur dimension et par leur composition chimique (proportion de macromolécules), mais aussi par l'inclinaison des micro-fibrilles par

rapport au grand axe cellulaire (Saka, 2001). Les micro-fibrilles peuvent être comparées à des cordes fabriquées à partir de fils ces fils étant ici de longues molécules de cellulose, polymère linéaire de β -glycopyranose (Trouy-Triboulot *et al.*, 2001).

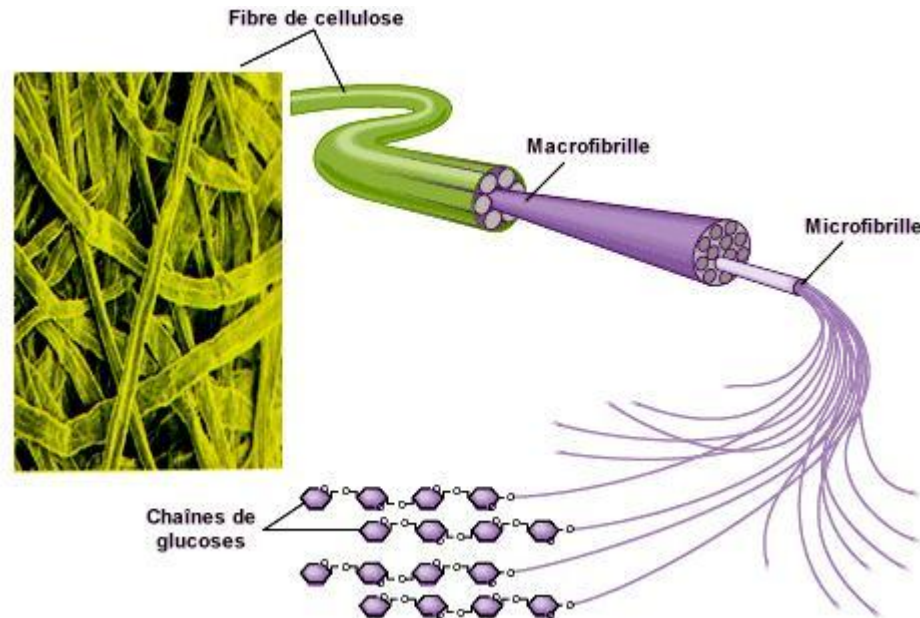


Figure 33: Représentation schématique des micro-fibrilles (Site 15)

Les caractéristiques des trois sous couches de la paroi secondaire sont les suivantes :

- ▶ La sous couche externe S1, formation intermédiaire entre la paroi primaire et les sous-couches plus internes de la paroi secondaire. L'angle des micro-fibrilles par rapport à l'axe de la cellule varie de 60° à 80° .
- ▶ La sous-couche centrale S2 est formée d'une organisation nettement plus dense de lamelles de micro-fibrilles de cellulose, quasi parallèles et inclinées d'un minimum de 5 degrés chez de nombreux résineux (Norimoto, 1996).
- ▶ La sous-couche interne S3, relativement mince, possède également une structure en lamelle ; mais les micro-fibrilles sont moins strictement parallèles entre elles que dans S2: l'inclinaison des micro-fibrilles y est de l'ordre de 60 à 90 degrés. (Figure 34).

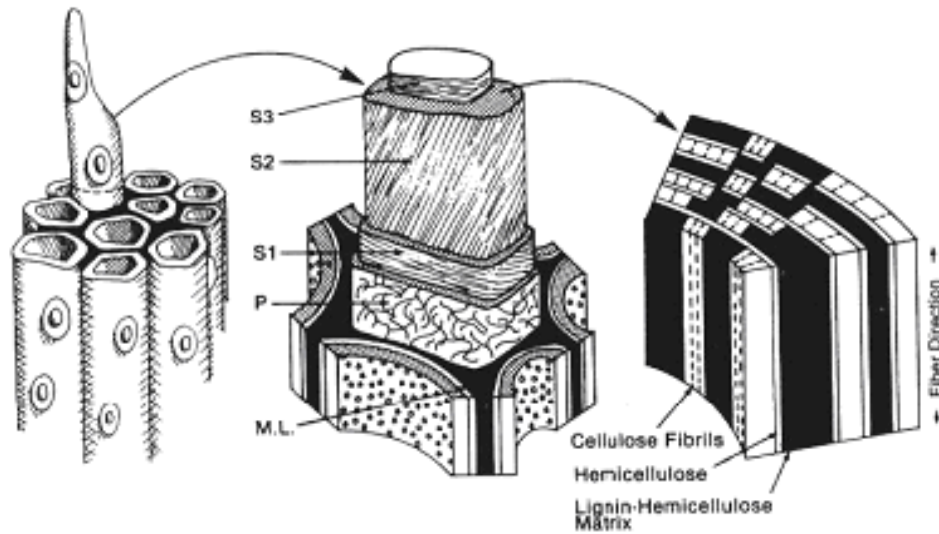


Figure 34: Illustration schématique de la morphologie des trachéides, la paroi secondaire et la relation avec la lignine, hémicellulose et la cellulose au niveau de la paroi secondaire de la trachéide. Le diamètre des cellules environ $25\mu\text{m}$. Avec S1-S3: paroi secondaire, P: paroi primaire, M.L.: lamelle moyenne (Kirk et Cullen, 1998).

1.6. COMPOSITION CHIMIQUE DU BOIS

Le bois est formé en majorité de trois différents composés macromoléculaires: la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. À ces polymères se rajoutent les extractibles et les substances minérales. Les pourcentages de ces différents constituants peuvent varier selon l'espèce, les conditions climatiques, l'âge de l'arbre et les sites de croissance et même la partie de l'arbre étudiée. La nature et l'agencement des différents constituants du bois sont à l'origine de ses différentes propriétés. La séparation et la caractérisation des différents constituants chimiques du bois sont difficiles, du fait de leur étroite association au sein des parois cellulaires. Bien que relativement proche, la composition chimique du bois de conifères et de bois de feuillus est légèrement différente (Fengel et Wengener, 1984).

1.6.1. Cellulose

C'est le composant polymérique principal des parois cellulaires et la plupart des polysaccharides abondants sur terre. La structure et la morphologie physique de cette molécule sont complexes et la détermination expérimentale précise de ses détails structuraux est difficile (O'Sullivan, 1997). Cependant il faut noter que la résistance mécanique des fibres de bois dépend de la géométrie de chaque type de cellulose (Bledzki *et al.*, 1999). La cellulose

est le principal constituant chimique des parois secondaires des cellules du bois (figure 35). Elle représente entre 40 et 50% du poids anhydre du bois. Son taux de cristallinité est compris entre 40 et 50 % de la matière sèche du bois et varie selon les essences. Au moment de la cristallisation. Les chaînes de cellulose s'assemblent pour former une fibrille de 1,2 à 4,8 nm de diamètre. Les fibrilles de cellulose s'agrègent pour former des micro-fibrilles d'une longueur de 2500 à 5000 nm et d'un diamètre 10 à 25 nm (Fengel et Wegener, 1984).

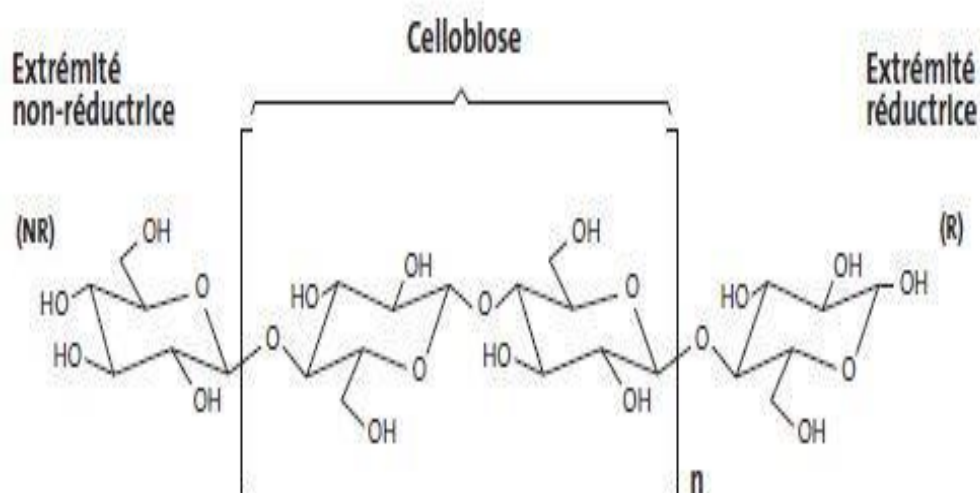


Figure 35: Structure de la cellulose (Stevanovic, 2014).

1.6.2. Hémicellulose

Les hémicelluloses sont définies comme des hétéro-polysaccharides présents dans les parois cellulaires des végétaux. Ces constituants chimiques du bois présentent une grande diversité de structure (Stevanovic et Perrin 2009). Contrairement à la cellulose, l'hémicellulose consiste en l'assemblage de plusieurs différentes unités de sucres et chaînes latérales substituées pour former un polymère de faible poids moléculaire plus soluble que la cellulose. La composition de ces hémicelluloses varie selon la nature du bois considéré: bois tendre, bois dur, bois de compression...etc. (Dekker, 1985). Le type d'hémicelluloses le plus abondant est constitué d'une chaîne de d-xylose sur laquelle se branche des chaînes de l-arabinose. C'est une matrice amorphe qui possède des propriétés hydrophiles (Roland et Robert, 1989). À l'instar de la lignine, les hémicelluloses sont intimement associées à la cellulose au niveau des parois. La chaîne principale des hémicelluloses peut être constituée par une succession de xylose comme les xylanes, ou de différents sucres comme le glucose et le mannose chez les glucomannanes. Sur les chaînes principales, viennent se greffer des

chaînes latérales constituées de sucres comme le galactose, l'arabinose et des acides uroniques (figure 36). Les résineux et les feuillus peuvent se différencier par les types d'hémicelluloses, mais aussi par des proportions relatives d'oses qui les constituent (Fengel et Wegener, 1984; Jodin 1994).

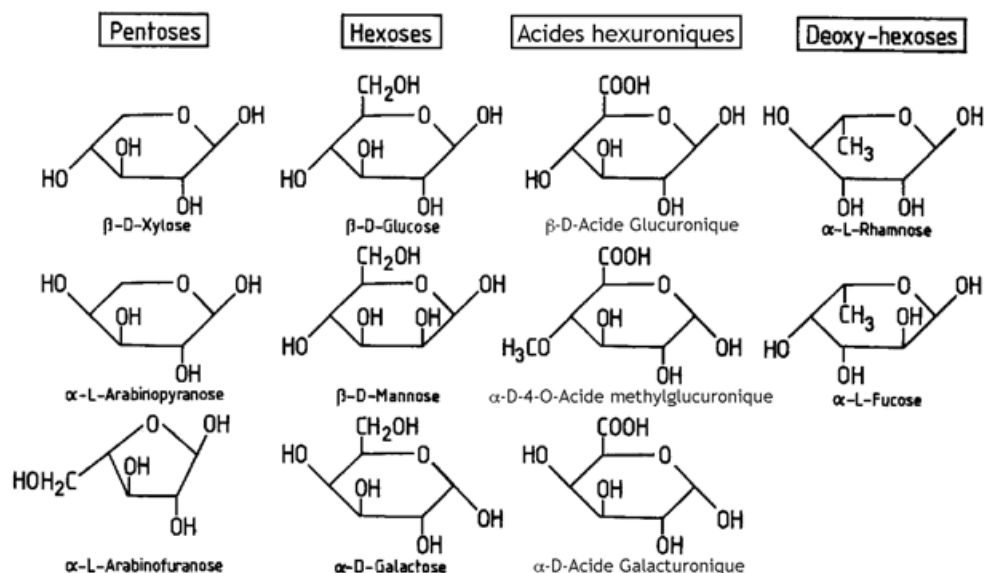


Figure 36: Différents monosaccharides constituant les hémicelluloses du bois (Stevanovic, 2014).

1.6.3. Lignine

La lignine est un polymère tridimensionnel à base de phénol synthétisé au niveau de la paroi cellulaire, résultant de la polymérisation oxydative des trois unités monomériques. Elle est surtout présente dans la lamelle moyenne des cellules du bois. Elle confère au bois sa rigidité, et favorise la résistance mécanique et la protection des cellules de bois contre les attaques et les infections fongiques (Nicole *et al.*, 1992).

La lignine étant différente selon les espèces, il est juste de parler des lignines plutôt que de la lignine. La lignine des résineux comprend principalement des unités guaiacyles (dérivant de l'alcool coniférylique), alors que celle des feuillus comprend à la fois des unités guaiacyles et syringyles (dérivant respectivement des alcools coniféryliques et sinapyliques) (figure 37). L'étude de la structure des lignines est difficile du fait de leurs relations avec les autres constituants de la paroi cellulaire. Les lignines ne peuvent être séparées des hémicelluloses et de la cellulose, qu'après des traitements enzymatiques ou chimiques, qui altèrent en partie son intégrité structurale (Fengel et Wegner 1984, Sjöström 1993).

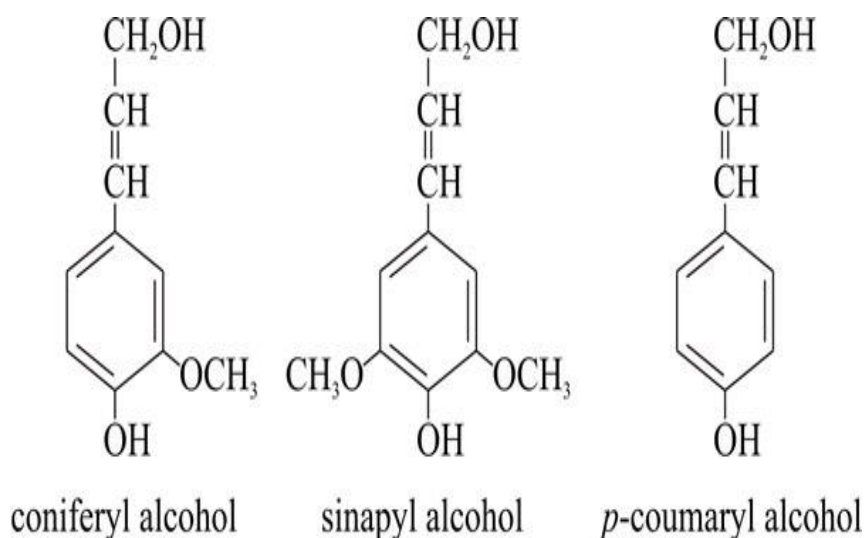


Figure 37: Structure chimique des alcools phényl-propanoïdes utilisés pour construire le polymère de lignine (Moore *et al.*, 2011).

1.6.4. Les extractibles

Mis à part les constituants structuraux du bois (cellulose, hémicelluloses et lignines), le bois contient une proportion importante de substances non ligno-cellulosiques, 2 à 10 %, voire 20 % chez certaines espèces (Rowe 1989). Il s'agit de substances protéiques et de matières de réserve (amidon, sucre, lipide) dites métabolites primaires dans les cellules vivantes, mais aussi une quantité parfois importante de métabolites secondaires appelés extractibles du bois et des composés minéraux. Toutefois, les métabolites primaires peuvent aussi se trouver parmi les extractibles.

Conclusion

Ce rappel bibliographique de différentes structures qui composent le bois nous a permis de décrire, tant qualitativement que quantitativement, les différents tissus, cellules et structures qui composent le bois et étudier ses propriétés physiques, mécaniques et chimiques. Le caractère d'espèce plus évoluée des feuillus, s'illustre dans la structure du bois par une différenciation cellulaire plus poussée, comparativement à la structure uniforme et régulière des résineux. Chez ces derniers, le bois est homoxylé ayant une structure anatomique simple, composée essentiellement de trois types de cellules : les trachéides longitudinales, les trachéides transversales, ainsi que divers types de parenchyme. Ces derniers comprennent le parenchyme de rayon, le parenchyme longitudinal et les cellules de parenchyme épithélial qui sécrètent la résine. Elles ceinturent les canaux résinifères longitudinaux et transversaux chez

les espèces qui en possèdent. A noter que la caractéristique essentielle du bois des gymnospermes est l'absence de cellules spécialisées dans la conduction de la sève brute, comme on en trouve chez les angiospermes. La sève brute circule dans les trachéides longitudinales qui remplissent le double rôle de soutien et de conduction, alors que chez les feuillus, deux types de cellules se partagent ces fonctions, les vaisseaux pour la conduction et les fibres libriformes pour le soutien. Le bois des angiospermes possède une structure plus complexe que celle des gymnospermes en ce qui a trait aux types de cellule, ainsi qu'à leur dimension, leur forme et leur disposition à l'intérieur du cerne annuel. Les rayons des angiospermes sont plus variables en largeur que ceux des gymnospermes, de sorte qu'on utilise leur largeur comme critère d'identification. De plus, les rayons des angiospermes peuvent contenir plus d'un type de cellules de parenchyme. Il est à noter que les propriétés du bois dépendent, non seulement de son anatomie, mais aussi de sa composition chimique à travers la nature des trois bio-polymères qui le constituent (cellulose, hémicelluloses et lignine) ainsi que de la présence des extractibles en plus ou en moins grande quantité selon les essences considérées. Dans ce cadre, les études sur le matériau bois nécessitent donc des différents niveaux d'observation en fonction du type de recherche envisagée. On trouve ainsi des recherches menées à l'échelle macroscopique, microscopique et même au niveau moléculaire.

CHAPITRE 2 : DESCRIPTION BOTANIQUE ET ECOLOGIQUE DE QUELQUES ESSENCES FORESTIERES PEUPLANT LE RIF ET LE MOYEN ATLAS

INTRODUCTION

Le Maroc, est l'un des pays les plus originaux du point de vue géographique, climatique et écologique et, par conséquent, parmi les plus intéressants sur le plan biologique et biogéographique. Plusieurs facteurs se sont conjugués pour offrir, à l'heure actuelle, une diversité floristique, faunistique et paysagère sans égal dans le bassin occidental de la Méditerranée. Aucun autre pays ne peut prétendre offrir sur une échelle géographique si restreinte, les milieux froid et glacial des hauteurs enneigées de l'Atlas qui culmine à plus de 4000m et les confins arides et chauds des hamadas désertiques du Sahara. Les formations forestières marocaines, à l'instar des forêts méditerranéennes, sont composées d'essences très hétérogènes, souvent claires et à structures très diverses. Leur répartition géographique reste liée aux bioclimats, à la topographie et à l'action anthropique. Ces formations sont en majorité domaniales et s'étendent sur une surface d'environ 9.037.714 ha (dont plus de 3 millions d'hectares de nappes alfatières), soit 12,7% du territoire national. Les superficies couvertes par les essences principales sont constituées par des résineux (40%), représentés principalement par le cèdre, le pin, le thuya et le genévrier. Les feuillus occupent environ 60% et sont essentiellement composés de chêne vert, chêne liège et d'arganier. Le bois de ces trois derniers feuillus et du thuya est travaillé comme bois d'œuvre par les artisans et ébénistes. Les pins sont valorisés comme bois de mine ou dans la fabrication des palettes et des caisses d'emballage (Khatabi, 1997).

Ce deuxième chapitre, sera exclusivement consacré à la présentation des zones d'échantillonnages, le Rif et le Moyen Atlas. Qui sont deux régions septentrionales globalement les plus riches en espèces. La description botanique des essences résineuses et feuillues étudiées feront aussi l'objet de notre étude, ainsi que leurs importances dans la vie des populations rurales du Rif et du Moyen Atlas, et leur utilisation dans les divers domaines industriels, économique et forestiers.

2.1. APPERCU SUR LES REGIONS DE RECOLTE (RIF ET MOYEN ATLAS)

2.1.1. Rif

De point de vue géologique, cette chaîne montagneuse marocaine d'aspect arquée à convexité tournée vers le Sud-ouest, forme la partie la plus septentrionale du Maroc. Elle s'étend sur à peu près 360 km de long et au plus de 80 km de large dans sa partie centrale. Cette chaîne caractérisée par un relief très accidenté, à versants longs et à fortes pentes est soumise à des érosions intenses (Benabid, 1982). Tous ses critères font du Rif un milieu qui a un intérêt biologique et bioclimatique exceptionnel.

Le Rif peut être subdivisé en trois parties :

- ◆ Le Rif occidental qui s'étend de la péninsule Tingitane jusqu'à la petite région de Ketama et est habité en grande majorité par les Jbala et Ghomara. Le territoire y est très accidenté avec de grandes montagnes et le climat est doux avec de fortes précipitations durant l'hiver. Cette partie rifaine se trouve à 600 m d'altitude et s'étend sur 4350 Km² et elle abrite les villes de Tanger, Tétouan et Chefchaouen.

- ◆ Le Rif central qui s'étend de la région de Ketama jusqu'aux environs de l'oued Kert. Il s'agit principalement d'une zone berbérophone, habitée par les Rifains, Sanhadja de Srayr et Jbala. Les principales villes de cette région sont Al Hoceïma, Targuist, Imzouren, Ketama et Taounate. Le territoire y est très accidenté avec de très hautes montagnes pouvant parfois même dépasser les 2400 mètres d'altitude (djebel Tidirhine). Les monts sont généralement enneigés en hiver et ce jusqu'aux mois de mars-avril.

- ◆ Le Rif oriental s'étend de l'oued Kert (Ait Said) jusqu'à la frontière algéro-marocaine. Ces principales villes sont Nador, Al Aroui, Zeghanghane, Selouane, Zaïo, et Ras El Ma. Le territoire est relativement plat, avec de grandes plaines notamment au Sud de Nador. Les montagnes n'y sont pas très hautes comparées à la partie Ouest du Rif, exceptés les monts Gourougou et de Kebdana. Il s'agit principalement d'une zone berbérophone, cependant on trouve un grand nombre d'arabophones à l'extrême et de la région autour des villes de Zaïo et de Berkane. (Mikdad et *al.* 2000)

De point de vue bioclimatique, les parties occidentale et centrale, exposées à la fois aux perturbations océaniques et méditerranéennes, sont très arrosées (jusqu'à 2000 mm d'eau par an vers Ketama), avec un enneigement prolongé au-dessus de 1800 mètres d'altitude (le djebel Tidirine est généralement enneigé de novembre à mars). Le Rif abrite le parc national de Talassemtane qui s'étend sur la dorsale calcaire dans le Rif centro-occidental, au Maroc septentrional, sur une superficie de 58950 ha. Un territoire très original qui s'individualise par

sa biodiversité et ses paysages remarquables. Avec son relief très accidenté caractérisant les montagnes rifaines, le Parc National de Talassemtane offre des paysages naturels de grande valeur patrimoniale à l'échelle de la méditerranée. Il englobe des vallées profondes et encaissées, creusées par les oueds à caractère torrentiel, des gorges aux falaises impressionnantes, des grottes abondantes et des sommets des montagnes en dômes ou en pics surplombant la ville de Chefchaouen. Le Rif est caractérisé par sa biodiversité floristique constitué d'espèces endémiques tels que l'*Abies maroccana* et le *Pinus nigra* et d'autres espèces telles que le *Cedrus atlantica*, *Tetraclinis articulata*, *Quercus* spp., *Pinus* spp. et faunistique comportant de nombreuses espèces endémiques remarquables et rares: macaque, loutre, lynx. (Site 16)



Figure 38: Carte topographique du Maroc montrant le Rif (Site 17)

2.1.2. Moyen Atlas

Le Moyen Atlas est une partie de la chaîne de l'Atlas qui couvre une partie du Maroc. C'est un massif qui s'étend sur 350 km de longueur et occupe une superficie de 2,3 millions d'hectares. Le massif couvre les régions d'Ifrane, Khénifra, Sefrou, Boulmane, Midelt et El Hajeb, mais aussi la moitié Sud des provinces de Taza et la moitié Nord de Beni Mellal. Cette masse de hautes terres est composée essentiellement de couches de roches calcaires à l'Ouest à environ 1000 à 1500 mètres d'altitude. Au Nord-Est, on retrouve des roches plissées à une altitude moyenne de 3000 mètres, mais aussi des plateaux volcaniques. Le Moyen Atlas a une riche biodiversité faunique et floristique. Le climat est relativement humide et froid en hiver. On y retrouve notamment des forêts de cèdres et de chênes verts couvrant le versant occidental, plus arrosé que le versant oriental.

Le Moyen Atlas qui abrite le Parc national d'Ifrane qui s'étend sur la portion occidentale du Moyen Atlas central, sur les territoires des provinces d'Ifrane et de Boulmane. Il se distingue par ses valeurs biologiques et écologiques, sa richesse forestière et la beauté exceptionnelle de ses paysages. Le site du parc constitue un véritable château d'eau. Les lacs naturels permanents Dayet Aoua et Aguelmam Afennourir, les sources, les rivières, constituent ses entités paysagères majeures. Au Maroc, il est considéré comme la zone forestière par excellence, marquée par la présence du cèdre de l'Atlas, espèce emblématique de cette aire protégée. (Site 16)

Du point de vue biodiversité faunistique, le parc national d'Ifrane recèle une grande richesse animale: 37 espèces de mammifères dont d'importantes populations de macaques, 140 espèces d'oiseaux dont certains rapaces rares ou menacés et une trentaine d'espèces d'amphibiens et de reptiles. Au niveau de ce parc, le patrimoine culturel se confond avec le patrimoine naturel, ce qui confère au site de grandes potentialités éco-touristiques. Étant situé au cœur du Maroc, le Moyen Atlas est une zone pluviométrique forte, il appartient d'ailleurs à quatre bassins hydrographiques: le bassin de Sebou, le bassin de Bouregreg, le bassin d'Oum Errabiaa qui se jettent dans l'océan Atlantique et le bassin de la Moulouya qui se jette lui aussi dans la méditerranée. Les points culminants du Moyen Atlas sont le djebel Bou-Naceur qui culmine à 3356 mètres, et le djebel Bouiblane qui atteint 3192 mètres d'altitude. (Site 16) et (Site 18).



Figure 40: Carte topographique du Maroc montrant le Moyen Atlas (Site 19)

2.2. ESPECES RESINEUSES

2.2.1. *Cedrus atlantica* (Manetti ex Endl), 1855 (*cèdre*)

2.2.1.1. Description botanique et écologie du cèdre de l'Atlas

Arbre de grande taille, pouvant atteindre 65 m de haut. Il a le tronc droit, le port pyramidal dans la jeunesse, avec des ramifications de premier ordre souvent dressées, puis devenant tabulaire chez les sujets âgés, le rhytidome d'abord gris clair, écailleux, puis brun crevassé, les rameaux longs, fins, gris, portant des feuilles isolées de 20-40 mm, des rameaux courts et nombreux, insérés sur les rameaux longs, portant des feuilles de 8-20 mm, nombreuses et réunies en rosette. Il a les feuilles en aiguilles sub-tétragones, aiguës, rigides, persistantes. Son inflorescence mâle est jaune et verdâtre quant à celle de la femelle est vert et pâle, dressées à l'extrémité des rameaux courts. Le cône cylindrique ou ellipsoïde est dressé, légèrement déprimé au sommet, brun marron, violacé à maturité. Les écailles sont minces et très serrées. Les graines sont de 10-15 mm, triangulaires (Benabid, 2000).



Figure 40: *Cedrus atlantica* (Site 20) et (Site 21).

Au Maroc, le cèdre de l'Atlas s'étend, en ambiance bioclimatique subhumide et humide, de l'étage méditerranéen supérieur froid dans le Moyen-Atlas, le Rif et les Aurès à l'étage oroméditerranéen extrêmement froid dans le Haut-Atlas, mais son optimum bioclimatique correspond à l'étage montagnard-méditerranéen entre 1600m et 2000m (Achhal et *al.* 1980).

L'originalité édaphique du cèdre de l'Atlas réside, tout particulièrement dans sa rusticité et son indifférence à la nature lithologique du sol. Le cèdre se rencontre sur des substrats et des sols variés: sur des basaltes, des marno-calcaires, des marno-schistes, des

dolomies, des calcaires dolomitiques, des schistes et des grès au Maroc; sur des grès blancs, des dolomies, des calcaires francs, des calcaires dolomitiques et des marnes en Algérie. Les types de sols rencontrés dans les cédraies sont du type fersiallitiques sur calcaires, rendzine magnésienne sur dolomie, andosolique sur basalte, ocre podzolique sur grès avec une richesse en matière organique et en fer. (Mhirit, 1982).

De point de vue économique et écologique, le cèdre est l'espèce la plus importante de la montagne méditerranéenne. Ainsi, la gestion des forêts de cèdre repose sur les principes fondamentaux de la sylviculture, à savoir: la conservation, la diversité et la pérennité du cèdre; ainsi que l'exploitation rationnelle des cédraies en vue de satisfaire les besoins de la communauté en bois d'œuvre, de service, de chauffage et en fourrage pendant la saison sèche (Benbarek M., 1985)

le bois du cèdre est utilisé principalement comme bois d'œuvre d'excellente qualité, bois de menuiserie extérieure et intérieure (plafonds sculptés, portes et portails, escaliers et parquets), bois de service, en ébénisterie (fabrication des meubles rustiques et des accessoires décoratifs) et dans la fabrication des crayons et des poteaux de lignes téléphoniques ou électriques. On en extrait aussi du goudron végétal. Ses feuilles utilisées en parfumerie et tannerie. (Site 20)

2.2.2. *Juniperus oxycedrus* (Linné, 1753) (Cade)

2.2.2.1. Description botanique et écologie

C'est un petit arbre de 3 à 5m pouvant atteindre exceptionnellement 15- 20m. Un rhytidome mince, grisâtre, se détachant en fines lanières avec des feuilles en aiguilles courtes, pointues, verticillées par trois, persistantes, vert bleuté, piquantes, de 25mm de long et portant sur la face supérieure deux bandes blanches de stomates. Ses fleurs mâles sont au milieu des jeunes rameaux, en petits sacs jaune rose. Quant aux fleurs femelles elles sont globuleuses et petites. Il a le cône à écailles charnues, soudées, rond et fermé à maturité, de 6-10 mm, vert puis rouge brun. Ses feuilles sont très raides et piquantes (Benabid, 2000). Il est disséminé et subordonné aux essences principales et très répandu en Afrique du Nord surtout en montagnes. Il ne forme pas de peuplements purs et se trouve en mélange avec d'autres essences. De plus Il est nettement circumméditerranéen, on le trouve depuis Madère en Portugal jusqu'en Iran, et joue un rôle utile de remplissage dans les forêts pauvres au Maroc, en Algérie et en Tunisie. Au Maroc, on le trouve dans l'Oriental, dans le Rif, dans le Plateau central, dans le Moyen Atlas et dans le Haut Atlas. Rare en plaines, il se trouve dans presque toutes les montagnes où il atteint la limite de la végétation forestière. Résistant au froid et à la

sécheresse, il relève de l'étage méditerranéen semi-aride mais il s'adapte très bien à l'étage subhumide du Moyen Atlas. Il est aussi indifférent à la nature du sol. (Site 22)



Figure 41: *Juniperus oxycedrus*: arbre, feuille et fruit. (Site 22)

Le bois genévrier oxycèdre peut servir pour la confection de perches très résistantes à la rupture, et de poteaux de mine. On en extrait un goudron végétal, l'huile de cade, qui est un produit médicinal fabriqué par distillation du vieux oxycèdres. (Site 22)

2.2.3. *Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast., 1892(*Thuja*)

2.2.3.1. Description botanique et écologie

C'est un arbre monoïque, capable de rejeter des souches dont le port est svelte, pyramidale pouvant atteindre les 15m (figure 43) et les cônes solitaires, 8 à 12mn de diamètre. Les tétragones sont constituées d'un verticille de quatre écailles ligneuses, deux graines petites par écaille avec poche de résine et ailes latérales (Benabid, 2000). Les feuilles en aiguilles bleutées (1-2 cm) sur les jeunes sujets et persistantes, opposées sur les sujets adultes. Le fût est généralement rectiligne ne dépassant pas les 5 à 6 m. L'écorce est très crevassée en forme d'un quadrillage serré (Boudy, 1952). Le système racinaire développé et puissant. Les rameaux sont dressés et minces, composés de petites branches plates, vertes, articulées selon la disposition des feuilles.



Figure 42: Thuya de Berbérie : arbre, feuille et fruit (Site 23)

Le thuya de Berbérie est endémique de la Méditerranée occidentale. Au Maroc l'aire de répartition du thuya est subdivisée en six grandes zones: zone Rifaine, zone du Maroc oriental, zone du moyen Atlas oriental, zone des vallées du plateau central, zone du moyen Atlas occidental et haut Atlas (piémonts Nord Atlasique, Revers Sud du haut Atlas, région d'Essaouira, haut Atlas occidental), et zone de l'anti Atlas (Fennane, 1987). Son aire marocaine actuelle est d'environ 60.7900 ha localisée principalement dans les étages semi-arides océaniques et maritimes, entre le niveau de la mer et 1500 m d'altitude.

Du point de vue écologique, le thuya est une essence thermophile et xérophile, peu exigeante en pluviométrie dont l'optimum se situe entre 350 et 500 mm. Il craint le froid, ainsi on ne le trouve pas aux hautes altitudes. C'est donc une essence de l'étage méditerranéen semi-aride doux, mais il peut déborder sur le subhumide. Il est l'essence la moins exigeante du point de vue sol, composition chimique et humidité mais redoute les sables mobiles et ne peut s'installer sur les dunes qu'après leur fixation (Quezel, 2000). Les anciennes observations de Boudy (1952) précisent que le thuya forme des peuplements purs, mais parfois on le trouve mélangé avec le chêne liège, le chêne vert, et/ou le pin d'Alep. Trois espèces résistantes à la sécheresse sont présentes dans le sous-bois des tétraclinaies, il s'agit de la lavande à feuilles dentées (*Lavandula dentata*), la germandrée de la section pollium (*Teucrium pollium* sensu lato), et les cistes (*Cistus villosus*, *Cistus monspeliensis*, ...) (Letreuch, 1991).

L'aire du thuya a fortement régressé sous l'effet de l'action anthropozoogène; heureusement, on arrive encore à trouver de beaux peuplements comme on peut assister

localement à une très bonne régénération. Le thuya réagit par une régénération naturelle qui se produit aisément si les conditions écologiques le permettent, et il rejette vigoureusement de souche lorsqu'il est coupé. C'est le seul conifère qui offre cette faculté de souche. C'est aussi l'unique essence forestière qui ne connaît pas d'ennemis parasites. Du point de vue physiologique, les phytocénoses à thuya se présentent comme des futaies de 10 à 15 m de hauteur, ou des taillis généralement denses de 6 à 8 m de hauteur, ou encore des futaies sur souches (H.C.E.F.L.C.D, 2013).

Très renommée depuis l'antiquité, la tétraclinaie est caractérisée par la diversité et la valeur de ses produits. Le bois de thuya est un très beau matériau susceptible d'être utilisé comme bois de menuiserie fine et d'ébénisterie, mais les dimensions recherchées à cet effet deviennent malheureusement de plus en plus rares. Sa principale utilisation se réduit à la production du bois de service, bois de mine, perches, etc. Il donne un bon bois de chauffage et son charbon est léger et d'assez bonne qualité. C'est aussi un espace de vie rurale dans lequel les populations assurent en permanence le pâturage pour le bétail. Les feuilles sont utilisées en tannerie et en médecine traditionnelle. Le bois de thuya peut se fendre facilement et résiste particulièrement bien à la pourriture. Le plus grand ennemi du thuya est sans conteste le feu d'incendie. Il arrive quand même à résister à ce fléau grâce à sa remarquable capacité de rejeter de souche même après incendie. Les défrichements, les mutilations graves et en particulier la récolte de la gomme sandaraque par gemmage sont aussi responsables de la disparition de certaines tétraclinaies. (Site 23)

2.2.4. *Pinus halepensis* Mill.1768 (*Pin d'Alep*)

2.2.4.1. Description botanique et écologie

C'est un arbre pouvant atteindre 25m de haut, à tronc souvent tortueux et branchu, à écorce gris argenté dans le jeune âge, à rhytidome d'abord écailleux, puis crevassé, à crêtes allongées plates grisâtres, brun roussâtre sur quelques éclats et dans les crevasses des arbres très vieux, couvert léger, à port d'abord conique puis étalé. Ses aiguilles sont fasciculées à 2, fines, flexibles de 0,8-1 mm d'épaisseur, 6-12 cm de long non piquantes. Le cône ovoïde conique sur un pédoncule ligneux de 1 à 2 cm, infléchi vers le bas du rameaux, écusson des écailles à ombilic saillant avec petit mucron, brun lustré ; graines de 5-7 mm de long, ailées, à bordures parallèles (Benabid, 2000).



Figure 43: *Pinus halepensis* : arbre, feuille et fruit (Site 24)

Au Maroc, le pin d'Alep couvre une superficie de 65 000 ha environ, répartie sur le versant méditerranéen au niveau du Maroc Oriental, du Rif Oriental, du Moyen Atlas, des montagnes de Debdou, de Melilia, dans le Grand Atlas Oriental et dans le Sud-Est de la Moulouya. Sur la côte atlantique, le pin d'Alep apparaît en petits îlots sporadiques le long des chaînes du couloir de Taza jusqu'aux montagnes d'Amez Miz au sud de Marrakech. Dans le Rif, le pin d'Alep trouve refuge sur les versants Est ou dans les cuvettes internes à l'abri de l'influence atlantique et de préférence sur des substrats calcaires ou marno-calcaires, jusqu'au voisinage de Ouezzane. Le massif le plus important est celui qui s'étend de Tilloughit jusqu'à Zaouia Ahensal (Belghazi, 1980).

Du point de vue écologique le pin d'Alep est un arbre de faibles exigences. Il est d'une grande rusticité et résiste assez bien à la sécheresse. Son optimum est situé dans le semi-aride tempéré, mais il pénètre largement dans le subhumide et dans les variantes fraîches et chaudes de ces deux bioclimats. Il est indifférent à la nature du substrat malgré une certaine préférence pour les affleurements schisteux ou marneux. Ses qualités écologiques et physiologiques (germination facile et croissance rapide) en font une très bonne essence de reboisement. Les

peuplements purs de pin d'Alep sont assez rares. Souvent, il entre en contact avec le thuya de Bérberie, le genévrier rouge, le chêne vert, le chêne-liège ou le chêne kermès, avec lesquels il forme des peuplements pré-forestiers ou pré-steppiques. Le contact avec le cèdre ou le pin maritime est très rare. (Site 16)

Il est utilisée comme bois de menuiserie, bois de service, bois de feu, charbon de bois, goudron. Il est aussi utilisé pour l'industrie papetière, pour l'énergie (les plus petits diamètres), pour la caisserie et pour l'emballage, voire la charpente (les plus gros diamètres). (Site 25)

2.2.5. *Pinus pinaster* Aiton, 1789 (*Pin maritime*)

2.2.5.1. Description botanique et écologie

C'est un arbre atteignant 20-40m dont le port est régulier et élancé, le rhytidome épais, d'abord rouge sombre et rugueux, puis irrégulièrement crevassé. Il a les rameaux forts, brun rouges, formant un verticille par an, les bourgeons ovoïdes, fusiformes, à écailles frangées de blanc, libres et réfléchies, non résineux. Les aiguilles sont fasciculées par deux, rigides, longues de 10-25 cm et épaisses de 2 -2,5mm, à extrémité pointue, de couleur vert sombre. Les fleurs mâles sont souvent groupées en verticilles (2-3 ou plus). Les cônes à peu près symétriques, conique allongé, de 8-20 cm de long, à écussons pyramidaux, brun rouge ou grisâtre, à carènes transversales marquées. Les Pédoncules aussi longs que le cône, et presque horizontal (Benabid, 2000).



Figure 44: *Pinus pinaster* : arbre, feuille et fruit (Site 24)

Le pin maritime est une espèce méditerranéo-atlantique. Au Maroc, ses surfaces naturelles ne dépassent pas 12000 ha, répartis entre le Rif (montagnes de Chefchaouen, de Ketama, etc.), le Moyen-Atlas (aux environs d'Ifrane, de Bou Iblane, de Bou Nacer, etc.) et le Haut-Atlas, surtout oriental. Du point de vue altitudinal, il monte depuis le littoral (Tangérois) jusqu'à 2200 m dans le Haut-Atlas. Le pin maritime se rencontre principalement dans le subhumide et l'humide tempérés, frais et froids en général sur des marnes et des calcaires. Sa grande plasticité lui permet de s'associer à beaucoup d'autres arbres comme le cèdre, le chêne vert, le chêne kermès, le genévrier rouge, le genévrier oxycèdre, etc. (Site 16).

Le *Pinus pinaster* est utilisé en bois de menuiserie, de service, de caisserie et assez bien utilisé en reboisement. L'huile essentielle de pin maritime bio est utilisée en médecine traditionnelle et en pharmacologie, elle est recommandée en cas de toux, de congestion et d'infections respiratoires. Elle est conseillée pour les douleurs musculaires et articulaires: rhumatismes, gouttes, sciatiques...etc. (Site 26)

2.3. ESPECES FEUILLUS

2.3.1. *Olea europaea* Linné., 1753 (*Olivier*)

2.3.1.1. Description botanique et écologie

C'est un arbre dont la taille peut atteindre les 15 à 20 m, mais généralement ne dépasse pas les 3 à 7m de hauteur afin de faciliter l'entretien de l'arbre et la récolte des fruits (figure 46). Ses branches sont tortueuses, ses rameaux arrondis à feuilles oblongues et lancéolées. Il a le tronc noueux, au bois dur et dense, lisse gris, puis gris verdâtre jusqu'à la deuxième année environ. Il prend une teinte gris foncée presque noire. Cependant, sous l'action d'animaux de pâture, ou dans des zones extrêmement ventées, ou exposées aux embruns, il conserve une forme buissonnante, de défense et maintient la forme d'une boule compacte et impénétrable, lui donnant l'aspect d'un buisson épineux. Dans la plupart des modes de culture, les feuilles sont opposées, ovales allongées, portées par un court pétiole, coriaces, entières, enroulées sur les bords, d'un vert foncé luisant sur la face supérieure et d'un vert clair argenté avec une nervure médiane saillante sur la face inférieure. Le feuillage est persistant et les feuilles vivent en moyenne trois ans puis jaunissent et tombent, principalement en été.

En cas de sécheresse, les feuilles sont capables de perdre jusqu'à 60 % de leur eau, de réduire fortement la photosynthèse et de fermer les stomates permettant les échanges gazeux pour réduire les pertes en eau par évapotranspiration, permettant ainsi la survie de l'arbre au détriment de la production fructi-florale.

Les fleurs sont blanches avec un calice, deux étamines, une corolle à quatre pétales ovales, et un ovaire de forme arrondie qui porte un style assez épais et terminé par un stigmate. Cet ovaire contient deux ovules. Les fleurs sont regroupées en petites grappes de dix à vingt, poussant à l'aisselle des feuilles au début du printemps sur les rameaux âgés de deux ans. La plupart des oliviers sont auto-fertiles, c'est-à-dire que leur propre pollen peut féconder leurs propres ovaires. La fécondation se fait principalement par l'action du vent et la période de fertilité ne dure qu'une petite semaine par année. S'il ne pleut pas trop durant cette période, 5 à 10 % des fleurs produiront des fruits pour une bonne production.

Le fruit est une drupe dont la peau (épicarpe) est recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau (la pruine), avec une pulpe (mésocarpe) charnue riche en matière grasse stockée durant la lipogenèse. D'abord vert, il devient noir à maturité complète. Le noyau très dur, osseux, est formé d'une enveloppe (endocarpe) qui se sclérifie l'été à partir de la fin juillet, et contient une amande avec deux ovaires, dont l'un est généralement stérile et non-fonctionnel; cette graine (rarement deux) produit un embryon, qui donnera un nouvel olivier si les conditions sont favorables. (Site 27)



Figure 45: *Olea europaea* : arbre; feuille et fruit (Site 28)

De point de vue superficie, l'olivier occupe une surface de 560.000 ha dont 220.000 ha en zone irriguée (Haouz, Tadla, Souss-Massa, Moulouya, Nador, Boulemane, Oujda, El Kelaâ, Marrakech, Chichaoua, Bénimellal, Ouarzazate, Tafilalet, Figuig et Essaouira), 200.000 ha en zone de montagne (Chefchaouen, Taounate, Taza, Tanger, Tétouan, Azilal, Khénifra et Al Hoceima), 100.000 ha en zone bour favorable (Sefrou, El Hajeb, Fès, Meknès, Sidi Kacem, Gharb, Loukkos et Benslimane) et 40.000 ha dispersés entre Safi, Settât, Khémisset et Khouribga. D'une manière générale, l'olivier se trouve dans les plaines et basses

montagnes de tout le Maroc non aride, surtout sur substrats calcaires, marneux ou argileux occupant les étages bioclimatiques semi-arides et perhumide dans l'étage Infra Méditerranéen (Site 27)

L'olivier est utilisé en tant que plante médicinale, en particulier pour ses feuilles qui ont un effet diurétique, hypotenseur et entrent dans la composition de spécialités pharmaceutiques. Pour les pharmacologues c'est l'oleuropéine qui est hypotensive et dans une moindre mesure des composés tri-terpéniques dérivés de l'acide oléanique. La feuille d'olivier est également antidiabétique et des études cliniques confirment son indication pour prévenir l'athérosclérose (Site 29).

2.3.2. *Quercus rotundifolia* Lam. 1785 (chêne vert)

2.3.2.1. Description botanique et écologie

C'est un arbre pouvant atteindre 25m de haut dont le tronc est court, tortueux, pouvant atteindre jusqu'à 1 à 2 m de diamètre. Les branches sont très ramifiées. Les feuilles sont persistantes plus de deux ans et variables. Elles sont plus au moins ovales ou lancéolées ou rondes, entière ou dentées. Ces feuilles sont d'une couleur vert sombre et brillantes; elles sont peu rugueuses dessus, mates, sombre et très pubescentes dessous. Le pétiole de 0.6 à 1.5 cm, de 7 à 10 paires de nervures. Les fleurs mâles sont en chatons jaune d'or et les femelles sont solitaires, d'un périanthe à 6 divisions et 4 stigmates. Les glands sont oblongs cylindriques, pointus, plus au moins doux, à maturation annuelle (Benabid, 2000).



Figure 46: *Quercus rotundifolia* (chêne vert) : arbre, fruits et feuilles (Site 30)

Au Maroc, le chêne vert est la première essence forestière par sa surface (1.479.410 ha) et par sa production en bois de feu. Par ailleurs, ses rôles écologiques et socio-économiques sont partout très importants. Présent dans toutes les régions non arides du pays. La tranche altitudinale se situe entre 300m et 2.700m. Normalement, il occupe une place intermédiaire entre le thuya de Berbérie à la base et le cèdre ou le genévrier thurifère au sommet mais il peut parfois former la limite supérieure de la végétation forestière comme c'est le cas dans le Haut-Atlas (Saksaoua) où le thurifère est absent.

Le chêne vert est répandu dans les bioclimats humide et subhumide, localement semi-aride, tempérés, frais et froids, sur tous les types de substrats. Ses peuplements sont très hétérogènes, mais les Chênaies vertes pures ne sont pas rares. De par sa plasticité écologique, sa résistance aux mutilations et son grand dynamisme, il est très présent dans le quotidien des forestiers, des exploitants et des populations rurales...etc. (eauxetforets.gov.ma, 2019).

Le *Quercus rotundifolia* est utilisé comme bois d'œuvre, de service, d'industrie, de chauffage, excellent charbon de bois. Le chêne vert est utilisé en médecine depuis l'antiquité pour ses vertus médicinales. L'écorce séchée et pilée a toujours été employée, en cas d'affection gastrique et intestinale. Très riche en tanin, l'écorce du chêne contient également une résine, des substances amères et des pectines. Cette écorce possède des propriétés astringentes, stomachique et anti-inflammatoire. Elle est aussi employée en médecine moderne comme anti-diarrhéique, pour traiter les gastro-entérites ainsi que pour soigner les inflammations de la peau et des muqueuses (Site 31).

2.3.3. *Quercus faginea* Lamarck (chêne zéen)

2.3.3.1. Description botanique et écologie

C'est un arbre pouvant dépasser les 30m de hauteur dont le fût peut atteindre 20m avec écorce épaisse, écailleux, gris ou brun et dont le gland est ovoïde-oblongs, jaune pâle de 2,5 cm de long, diamètre inclus au 1/3 ou au 1/5 dans une cupule écailleuse hémisphérique à écailles ovales ou triangulaires, un peu lancéolées, pédoncule très court. Ces feuilles sont coriaces, tardivement caduque, à bord souvent révoluté et ondulé de forme très variable, vert brillant dessus, épais gris duveteux dessous avec petits poils étroites, court ou allongées avec pétiole poilu de 1 à 2cm. Il a le limbe à nervure latérale rarement intercalaires et les chatons femelles groupés sur un court pédoncule (Benabid, 2000).



Figure 47: *Quercus faginea* (arbre, fruit et feuilles). (Site 32)

Au Maroc, les forêts du chêne zéen couvrent environ 17.000 ha. La majeure partie de ses peuplements est localisée dans le Rif. Au Moyen-Atlas, il couvre d'un seul tenant 900 ha dans la forêt de Jaâba. On le trouve également dans d'autres localités, mais avec moins d'importance. Dans le Haut-Atlas et le Plateau Central, où les conditions climatiques lui sont moins favorables, il est localisé en taches dans les ravins à bilan hydrique relativement favorable. En général, le chêne zéen est présent dans les variantes tempérée et fraîche du bioclimat humide, mais il s'aventure, avec un rôle souvent subordonné, dans les peuplements forestiers de la variante froide. Il peut aussi se développer dans le subhumide frais, et il n'est pas absent de l'humide chaud. Le chêne zéen a une plus grande sensibilité aux précipitations qu'aux températures. Il est, par contre, indifférent à la nature physico-chimique du sol. Son déterminisme est surtout bioclimatique (Achhal *et al.*, 1980). En ce qui concerne l'altitude, le chêne zéen s'étend depuis le bord de mer (Tangérois) jusque vers 1900m dans le Haut-Atlas (Takharkhourt) mais il ne forme des peuplements importants que dans la tranche altitudinale comprise entre 1300m et 1600m. Ses groupements s'encartent dans plusieurs étages de végétation depuis le thermo-méditerranéen jusqu'au supra-méditerranéen. Mais c'est dans ce dernier qu'il peut représenter « un véritable climax général » (Achhal *et al.*, 1980).

Quant à leur appartenance phyto-sociologique, les zénaies du thermo-méditerranéen et du méso-méditerranéen sont classées dans les *Quercetea ilicis*, alors que celles du supra-méditerranéen se rattachent aux *Quercetea pubescentis* (Benabid, 1982).

Le bois de chêne zéen est utilisé dans la confection des traverses de chemin de fer, des bois de mine, en bois d'industrie et de chauffage. Son bois est un bon combustible. Il est

également utilisé pour des constructions légères. C'est une espèce utile pour la restauration des sols. Ses feuilles et ses glands, qui arrivent à maturité avant ceux du chêne vert, sont utilisées pour nourrir le bétail. (Site 32)

2.3.4. *Ceratonia siliqua* Linné, 1753 (*Caroubier*)

2.3.4.1. *Description botanique et écologie*

Le caroubier est un arbre mesurant de cinq à sept mètres de hauteur et pouvant atteindre exceptionnellement quinze mètres. Le tronc est gros et tordu, l'écorce brune et rugueuse. La frondaison, abondamment fournie, forme un houppier large. Sa longévité peut atteindre 200 ans. Les feuilles, grandes de douze à trente centimètres, alternes, persistantes, sont composées, paripennées et comptent de trois à cinq paires de folioles. De forme ovale, celles-ci sont coriaces, vert sombre luisant au-dessus, tirant sur le rouge sur leur face inférieure. Les fleurs, très petites, constituées d'un calice pourpre sans corolle, sont réunies en grappes axillaires cylindriques. Elles apparaissent du mois d'août au mois d'octobre. Les fruits, appelées « caroubes » sont des gousses pendantes de dix à trente centimètres de long sur un et demi à trois centimètres de largeur, d'abord vertes, elles deviennent brun foncé à maturité en juillet de l'année suivante. Elles sont coriaces et épaisses. Les graines du caroube sont brunes, de forme ovoïde aplatie, biconvexes et très dures. Elles sont séparées les unes des autres par des cloisons pulpeuses. On en compte de quinze à vingt par gousse. La pulpe jaune pâle contenue dans les gousses est farineuse et sucrée à maturité. Comestible, au goût chocolaté, la taille et le poids de ces graines étant assez réguliers, elles ont servi d'unité de mesure dans l'antiquité. Leur nom est à l'origine du carat (emprunté à l'arabe « qirât ») qui représentait le poids d'une graine de caroube, dans le commerce des pierres précieuses. (Site 33)



Figure 48: *Ceratonia siliqua* : arbre, feuille et fruit (Site 33)

De point de vue production, Le caroubier est cultivé dans les pays méditerranéens, notamment en Espagne et en Italie du sud (la Sicile). Le Maroc est le deuxième pays producteur mondial de caroubes.

Au Maroc, le caroubier occupe une superficie de 30.000 ha. Il est localisé dans les plaines et les moyennes montagnes du Rif, du Moyen Atlas, du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas et sous des bioclimats de type humide, subhumide, semi-aride et aride côtier à variantes chaude et tempérée. Il est souvent en association avec l'olivier, le lentisque, le thuya ou l'arganier. Le principal peuplement spontané du caroubier est localisé dans les régions de Tafachna et Aît Ishaq (province de Khénifra) entre 600 et 1000m d'altitude, en association avec d'autres espèces forestières. (Site 34)

Le caroubier est cultivé depuis longtemps pour divers usages. Ses fruits sont comestibles et sucrés. On tire du caroube deux principaux produits:

- ◆ La farine, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est employée surtout en agro-alimentaire et pour la production industrielle d'alcool par fermentation.
- ◆ La gomme, extraite de l'endosperme blanc et translucide de la graine, est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire, pharmaceutique (principalement contre les diarrhées), cinématographique, textile et cosmétique.

Le caroubier est souvent utilisé pour lutter contre l'érosion des sols, comme brise vent et comme arbre ornemental compte tenu de sa couronne sphérique, et de son feuillage persistant, dense et brillant. Son bois est très apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon. L'écorce et les racines sont employées dans le tannage (Site 34).

Conclusion :

De point de vue botanique, ce chapitre nous a permis de décrire les caractéristiques morphologiques des espèces récoltées, de collecter des informations relatives à l'origine des échantillons, objet de notre étude, de constater que les formations forestières marocaines, à l'instar des forêts méditerranéennes, sont composées d'essences très hétérogènes, souvent claires et à structures très diverses. Il nous a permis aussi de découvrir la richesse de la flore marocaine actuelle qui est formée d'un mélange complexe d'espèces aux origines biogéographiques variées et plus ou moins anciennes. Les peuplements forestiers, situés en majeure partie dans les différents étages bioclimatiques semi-arides, subhumides et humides, sont composés d'essences naturelles de feuillus (*Olea europaea*, *Quercus rotundifolia*, *Quercus faginea*, *Ceratonia siliqua* ...) et de résineux (*Cedrus atlantica*, *Tetraclinis*

articulata, *Pinus pinaster*, *Pinus halepensis*, *Juniperus oxycedrus*,...), de structure très diverses. Leur répartition géographique reste liée aux bioclimats, à la topographie et à l'action anthropique. D'une manière général, le bois fait l'objet d'une grande variabilité selon les essences et selon la répartition géographique dans le monde, d'où l'intérêt d'une étude comparative entre les principaux types de bois d'œuvre commercialisés au Maroc, permettant aux utilisateurs de bien reconnaître le type et la qualité du bois à l'œil nu, afin d'éviter toute confusion possible lors de l'achat de bois d'une espèce forestière précise. Ainsi, cette description botanique sera consolidée par une étude macroscopique et microscopique des espèces échantillonnées, et ceux, vis-à-vis de l'étroite relation qui relie ces trois études, relation qui est basée sur l'identification des caractères de base des échantillons étudiés, permettant ainsi de mettre en évidence la variabilité cellulaire au sein de la même espèce et l'effet de la station sur les caractères anatomiques et sur la qualité du bois destiné à la commercialisation.

CHAPITRE 3. MATIERE, MATERIEL ET METHODOLOGIE ADOPTE POUR L'OBTENTION ET EXAMEN DES COUPES ANATOMIQUES

3.1. MATIERE VEGETALE

Il s'agit du bois composant les principales essences forestières naturelles résineuses et feuillues du Maroc, appartenant aux parcs nationaux du Rif et du Moyen atlas respectivement le parc national de talassemtane et celui d'ifrane. Ces derniers sont caractérisés par leurs larges extensions forestières, par leurs biodiversités éco-systémique et paysagères et par leurs forêts qui constituent une ressource économique importante pour la population rurale.

La matière, objet de cette étude, est prélevée d'arbres d'espèces originaires des dites parcs. Elle est employée à de multiples usages sous différentes formes comme combustible, ce qui est sa première utilisation au niveau mondial, comme bois d'œuvre (charpente, déroulage, sciage, etc.) et dans l'isolation thermique (faible conducteur thermique), etc. En industrie papetière le bois constitue la matière première essentielle pour la fabrication du papier, il est très recherché grâce à sa richesse en cellulose.

3.1.1. Espèces récoltées

3.1.1.1. Espèces résineuses

Cinq espèces résineuses ont été à la fois récoltées du Moyen Atlas et du Rif. Ce sont:

- Le *Cedrus atlantica*,
- Le *Juniperus oxycedrus*,
- Le *Pinus halepensis*,
- Le *Pinus pinaster*
- Le *Tetraclinis articulata*.

3.1.1.2. Espèces feuillues

Quatre espèces feuillues ont été à la fois échantillonnées du Moyen Atlas et du Rif, à savoir:

- L'*Olea europaea* (olivier);
- Le *Quercus rotundifolia* (chêne vert);
- Le *Quercus faginea* (chêne zéen);
- La *Ceratonia siliqua* (caroubier).

3.1.2. Loupe et bois du tronc de thuya

Il s'agit d'échantillons de loupes de thuya de Bérbérie orientés selon certaines directions et de rondelles du bois du tronc de thuya (figure 49).



Figure 49: parties du bois de thuya étudiées: (a) le bois du tronc et la loupe (b)

3.2. MATERIEL DU TERRAIN

Trois outils ont été utilisés durant les travaux de terrain, il s'agit :

► Scie à ruban ou circulaire: pour préparer des rondelles, des sections et des barrettes du bois.

► Ponceuse électrique: afin d'éliminer les rugosités dues à la lame de scie et polir la surface du bois.

► fiches d'échantillonnages qui recueillent toutes les informations botaniques, taxonomiques et dendrométriques de chaque échantillon récolté, ainsi que les données écologiques et géologiques qui caractérisent le lieu de récolte (voir modèle d'une fiche de prélèvement ci-dessous et annexe A)

Tableau 1: Modèle de Fiche d'échantillonnage

Cèdre de l'Atlas		
Nom latin de l'espèce	<i>Cedrus atlantica</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Chouihate	Azrou
Bioclimat	Perhumide	Méditerranéen humide à variante froide
Précipitation	1800 mm/ an	860 mm/ an
Type de substrat	Calcaire	
Taillis ou futaie	Futaie	
Fut incliné ou droit	Droit	

3.3. MATERIEL DE LABORATOIRE

Le travail au laboratoire nécessite un certain type d'appareils jugés très utiles pour la réalisation et l'observation macroscopique et microscopique des coupes de bois, à noter :

- Microtome à glissière.
- La loupe optique et la loupe à main (x10).
- Microscope optique doté d'un appareil photo.
- balance numérique de précision (0,001g) et étuve.



Figure 50: Matériel pour la préparation des coupes anatomiques.

3.4. MATERIEL ET PRODUIT DE PREPARATION DES COUPES ANATOMIQUES

Avant leurs observations au microscope et leurs montages entre lame et lamelle, les coupes anatomiques doivent être soumises à une série de traitements chimiques qui visent à colorer spécifiquement les parois cellulaires :

- ◆ Hydratant: eau distillée.
- ◆ Hypochlorite de sodium.
- ◆ Solution alcoolique du phloroglucinol (1g phloroglucinol dans 100 ml d'éthanol à 96 %).
- ◆ Colorant: safranine (solution aqueuse à 1%).
- ◆ Solution d'acide chlorhydrique concentrée (50% HCl) utilisée pour les coupes de la loupe de thuya.
- ◆ Lame et lamelle: lame de verre (76 x 26 mm) et lamelle (26 x 26 mm).

Attention, le phloroglucinol et l'HCl sont corrosifs, alors il faut travailler proprement et éviter d'inhaler les fumées en utilisant une pince pour manipuler les coupes minces.

3.5. METHODOLOGIE

3.5.1. Méthodologie de préparation des sections du bois

Les échantillons de bois sont prélevés sous forme de rondelles. Ces dernières sont extraites d'arbres abattus en cours d'exploitation. Nous avons choisi un arbre sain, droit, sans attaque parasitaire, se trouvant dans un site de même densité de peuplement. Dans le cas du thuya, nous avons choisi un arbre qui présente une excroissance bien développée (loupe).

Les rondelles issues du tronc de l'arbre doivent avoir les épaisseurs et les orientations suivantes :

- 4cm d'épaisseur pour les rondelles destinées à l'étude macroscopique.
- 1 à 1,5cm d'épaisseur pour les rondelles destinées à l'étude microscopique, afin d'en extraire des barrettes (figure 51). Chaque barrette sera découpée en plusieurs cubes de 1cm³ à l'aide d'un couteau et d'un marteau.

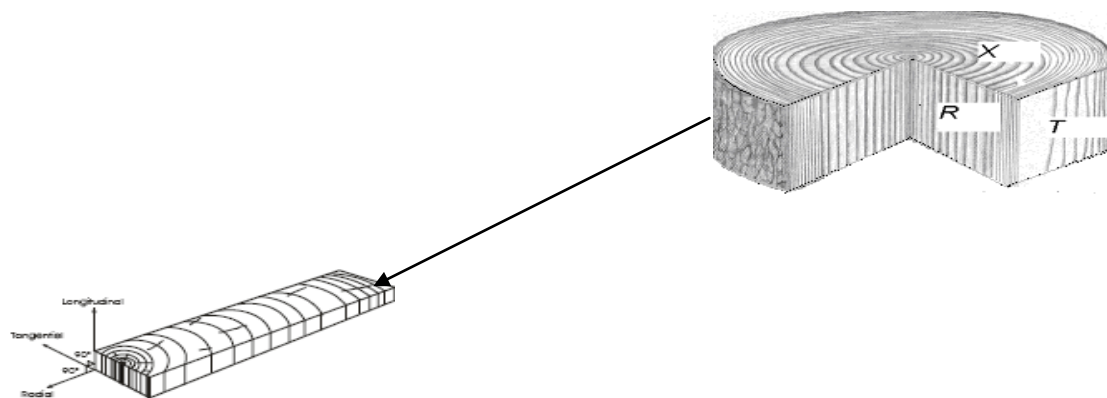


Figure 51: Echantillon et barrette destinés à l'étude macroscopique et microscopique.

X: face transversale. R: face radiale. T: face tangentielle.

→ Pour l'orientation et section des rondelles (figure 52), ci-dessous :

- La section transversale doit être sciée perpendiculairement au fil du bois avec une scie.
- La section radiale est obtenue, en exécutant un deuxième trait de scie qui passe à travers un rayon ligneux et elle est perpendiculaire aux cernes annuels.
- La section tangentielle est obtenue, en sciant perpendiculairement à la section radiale et tangentiellement aux cernes annuels.

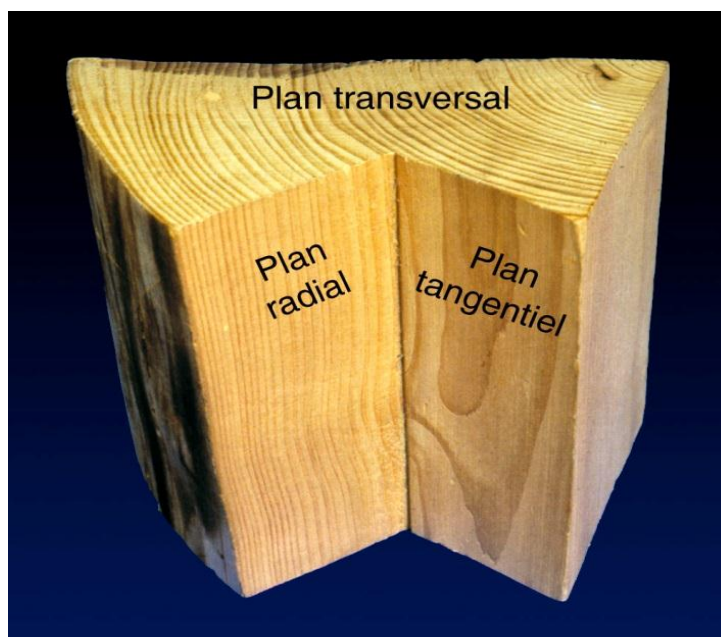


Figure 52: Model de section des rondelles et cubes de bois (Site 35)

3.5.2. Technologie de préparation des sections du bois de la loupe

Ne connaissant pas à priori le réseau de symétries matérielles du bois de la loupe de thuya, nous l'avons supposé identique à celui du bois de thuya. Un repérage, selon les directions (R, T, L) correspondant d'une part à la direction longitudinale de l'arbre (L) et d'autre part aux directions radiale et tangentielle, a été adopté lors de la récolte (figure 53).

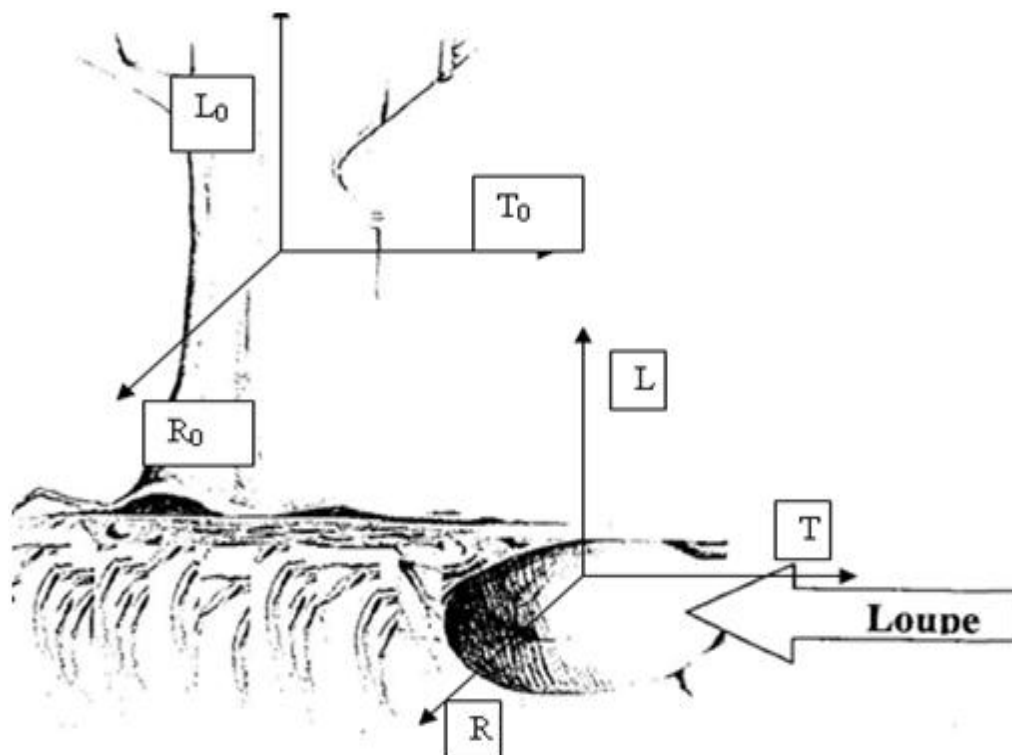


Figure 53: Schéma d'affectation des axes d'anisotropie à la loupe de thuya

Afin de déterminer les plans principaux d'anisotropie de cette dernière, différentes types d'éprouvettes normalisées sont confectionnées suivant les axes principaux obtenus par des rotations successives de $\pi/6$ par rapport au référentiel de base R (e_l , e_r , e_t) dans le plan transverse (figure 54).

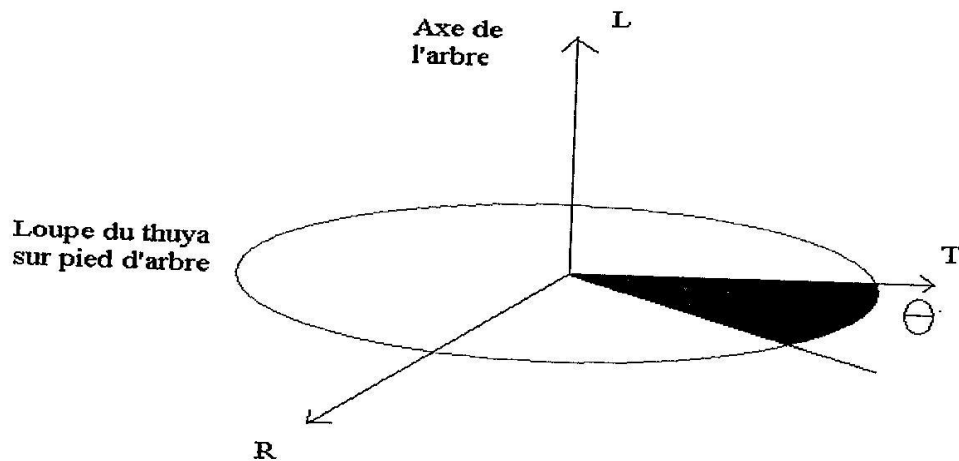


Figure 54: Schéma de confection des éprouvettes en fonction des angles

3.5.3. Etude macroscopique

Dans cette étude, on se basera sur l'observation (à l'œil nu ou bien à la loupe à main) de certains caractères anatomiques visibles sur la rondelle issue du tronc et sur des éprouvettes de bois (figure 55).

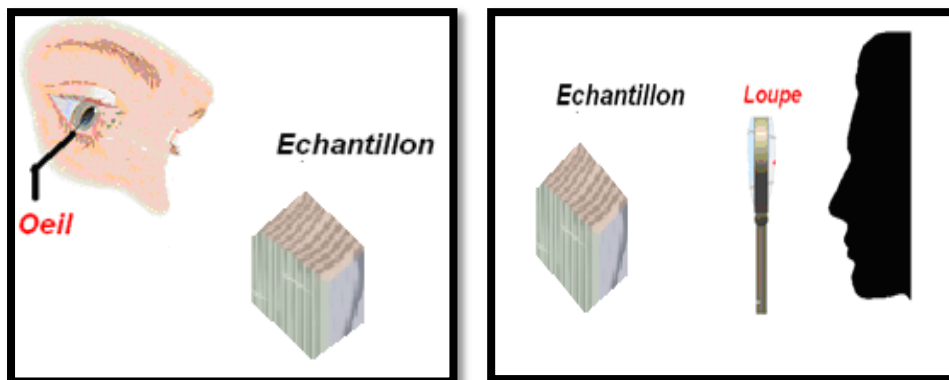


Figure 55: Technique d'observation macroscopique du bois.

Pour une telle observation, on prépare le bois en lui donnant une forme cubique de 1 à 2cm de côté. Le bois est scié perpendiculairement au fil (section transversale), puis un deuxième trait de scie est exécuté à 1 ou 2 cm de côté du précédent, et perpendiculairement à lui. Avec une scie on fend suivant le plan radial, c'est-à-dire en plaçant le tranchant dans le sens du rayon; on fend ensuite les trois autres côtés du cube à l'emplacement choisi. On obtient ainsi un cube dont les faces correspondent aux plans principaux de la structure du bois (figure 56).

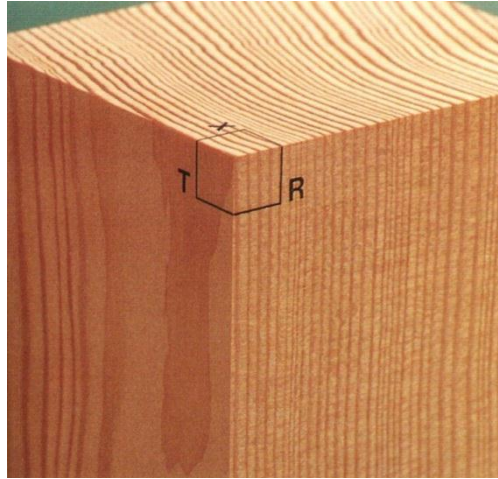


Figure 56: Méthode de section des cubes de bois (Site 36)

Dans le cas de la loupe de thuya, l'étude commence par l'appréciation visuelle de la forme générale de cette excroissance, puis l'observation à l'aide d'une loupe à main ou à grossissement de certains caractères anatomiques visibles sur des cubes de bois, issus de cette excroissance et orientés selon des directions considérées (figure 57).



Figure 57: Section d'une loupe de thuya.

À partir des échantillons réservés à l'étude macroscopique, les caractères suivants sont à identifier. Il s'agit donc de :

► ***Cernes annuels***

Ce caractère qui permet au forestier d'estimer la vitesse de croissance d'un peuplement d'arbres d'une espèce forestière, ainsi que l'âge d'un arbre abattu, est considéré comme un facteur de qualité, au cours de l'utilisation industrielle des bois d'arbres abattus. Pour cela, la révélation de la régularité et le degré d'apparence de ces éléments, s'avèrent très intéressants. Ce caractère permet aussi aux anatomistes l'étude de l'effet de l'âge sur la longueur des trachéides.

► ***Largeur des cernes***

C'est un caractère qui varie d'une espèce à l'autre et parfois au sein de la même espèce, il permet de déterminer les conditions climatiques qui régnaient au moment de la croissance de l'arbre. Ce caractère permet aussi aux anatomistes, la révélation des variations qui concernent la taille des éléments cellulaires et la nature des rayons pour une même espèce, de bois provenant d'arbres trop jeunes ou d'arbres trop vieux, en rapport avec la largeur des couches d'accroissement.

► ***Formes des rayons ligneux***

C'est un caractère qui peut fournir des indications sur les caractéristiques mécaniques et technologiques du bois et qui sont liées parfois à la provenance.

► ***La texture***

La texture exprime le rapport entre la largeur de la zone du bois final rapporté à la largeur totale du cerne annuel ($LBF / LBI + LBF$). Cette notion n'a de sens que pour les essences feuillues hétérogènes et les résineux chez lesquels on distingue une différence entre le bois initial et le bois final

► ***Canaux résinifères***

C'est un caractère spécialement réservé au bois résineux, et qui est parfois spécifique à un genre d'espèces résineuses déterminées, et qui a une influence sur la qualité technologique du bois.

► *Section des trachéides et des pores*

Ces deux caractères qui ne peuvent être mis en évidence qu'à la forte loupe, conduisent souvent à identifier d'une manière précoce, la classe d'une espèce anonyme récoltée (résineux ou feuillus).

► *La couleur du bois*

En première approche, la prise en compte de la couleur du bois permet d'orienter l'identification d'un échantillon de bois. La couleur s'examine à la lumière du jour, en faisant varier l'angle d'incidence des rayons lumineux, afin de faire ressortir les différences éventuelles d'éclat entre les diverses catégories de tissus composant le bois, la couleur du bois est relativement difficile à définir avec précision, étant donné les diverses causes responsables de la variation de cette couleur tel que : l'évolution avec l'âge, l'influence de la station, les anomalies éventuelle, l'exposition à l'air, à la lumière, à la chaleur, l'étuvage et le séchage etc.

► *L'Odeur*

Caractère sensitif, qui caractérise et parfois spécifie certaines espèces récoltées, par exemple : le cèdre, le thuya, le genévrier et certains bois tropicaux. Certains bois ont une odeur caractéristique qui peut être plus ou moins agréable. L'odeur résulte de la présence de composés volatiles au niveau du duramen ou de l'action de champignons, bactéries ou moisissures. Cette odeur est généralement plus prononcée sur du bois frais. Chez les résineux, l'odeur résulte de la présence de résine tant dans l'aubier que dans le duramen.

► *La densité*

La densité du bois est le rapport entre une masse de matière ligneuse (plus ou moins imbibée d'eau et qui varie continuellement en fonction du degré d'humidité) et un volume constitué par la matière ligneuse et des pores. (Sesbou, 2003)

La densité diffère d'une espèce à une autre, même, suivant les provenances. C'est un critère intéressant, non seulement pour l'identification des bois, mais, surtout, pour conduire à une appréciation de leurs propriétés mécaniques et technologiques (Venet, 1974).

La densité calculée est la densité basale ou infradensité. Elle est définie comme étant le rapport entre le poids anhydre (P_o) et le volume saturé (V_s) d'un échantillon :

$$D \text{ (g/ cm}^3\text{)} = P_o/V_s$$

La méthode qu'on a utilisée pour la détermination de l'infradensité est celle de la saturation intégrale, découverte par Keylwerth (1954). Cette méthode est fondée sur la

découverte de Stamm (1929), qui a montré que la matière ligneuse qui forme les parois cellulaires du bois a une densité plus ou moins constante d'environ 1530 g/dm³ ; elle ne nécessite dans ces conditions que des mesures de poids à l'état saturé, puis, à l'état anhydre et permet d'éviter des mesures de volumes toujours délicates pour les échantillons de faible taille, tels que ceux auxquels nous nous intéressons (carottes). On a pris comme nombre d'échantillons 5 carottes, alors l'infradensité de chaque carotte est calculée en utilisant la formule ci-dessous, après on calcule la moyenne des infradensités trouvées.

$$Db \text{ (g/cm}^3\text{)} = Po / Vs = Po / (Vml + Pm - Po) = Po / ((Po/1,53) - Po + Pm) = 1 / ((Pm/Po) - 0,347)$$

Po: poids de l'échantillon à l'état anhydre;

Pm: poids de l'échantillon saturé;

Vs: volume de l'échantillon à l'état saturé ;

Vml: volume de la matière ligneuse.

Donc tout ce qu'il nous reste à faire, c'est de mesurer les poids Pm et Po. Pour avoir le poids saturé, nous avons placé nos échantillons (cubes), pendant quatre jours dans un conteneur rempli d'eau. Après, ils ont été pesés avec une balance de 0.001g de précision. Les échantillons doivent être bien essuyés avant chaque pesée, pour éviter la surestimation du poids.

Le poids anhydre est obtenu après séjour des cubes pendant deux jours, à l'étuve réglée à une température de 104°C. Les cubes ainsi retirés un par un de l'étuve, sont pesés rapidement, afin d'éviter toute reprise d'humidité de l'échantillon anhydre.

3.5.4. Etude microscopique

3.5.4.1. Protocole utilisé pour la préparation des coupes au microtome

Cette opération varie avec l'état de dessiccation du bois et sa dureté. D'une façon générale, il est moins difficile d'exécuter une bonne coupe dans un bois resté à l'état vert que dans un bois sec puis saturé d'eau. Le cube du bois est placé dans de l'eau bouillant doucement. Cette opération a un double but, chasser l'air de la cavité du bois et ramollir les parois. Dans cette étape la durée d'ébullition est déterminée en fonction de la dureté du bois choisi.

3.5.4.2. Exécution des coupes

Avant l'exécution des coupes, le réglage et l'ajustement du microtome ainsi que l'angle que fait le couteau de ce dernier avec l'horizontal, doivent se faire au préalable.

a. Coupe transversale

Pour une telle coupe, la carotte doit être disposée horizontalement sur le bloc du microtome de telle sorte que la direction du fil du bois soit verticale et perpendiculaire à la direction du couteau et de la glissière.

b. Coupe radiale

La carotte reste toujours dans le plan horizontal comme pour la coupe transversale. Cependant elle doit subir une rotation de 90° dans un sens ou dans l'autre.

c. Coupe tangentielle

La carotte est disposée verticalement. Les coupes sont réalisées sur la section circulaire de la carotte.

Plusieurs passages sont généralement nécessaires avant que le couteau commence à enlever une coupe mince et régulière. La récupération des coupes doit se faire doucement. Pour cela, chaque coupe doit être récupérée soigneusement à l'aide d'une pince et trompée ensuite dans une boîte de Pétri remplie d'eau distillée.

3.5.4.3. Coloration et montage des coupes

Les coupes ainsi obtenues sont traitées de la façon suivante :

- un trempage d'abord, dans la safranine pour visualiser toutes les parties lignifiées du bois, pendant 30 secondes à 1 minute;
- un bon rinçage à l'eau distillée suit cette étape;
- un passage dans trois bains successifs à base d'alcool éthylique durant 30 min, 15 min et 5min, afin d'éliminer les excès de colorants non fixés aux coupes et de les déshydrater;
- un trempage dans le xylène, pendant 1h30min permet d'achever la déshydratation des coupes.

Les coupes sont ensuite mises à sécher à l'air libre sur du papier Joseph. Une fois qu'elles commencent à se décoller, on met du baume de Canada sur une lame de verre, on y dépose la coupe puis on couvre par la lamelle. Puis, pour éviter des bulles d'air, on appuie sur la lamelle pour sortir l'excès du baume de Canada enfin on laisse durcir à l'étuve à 60°C, pendant 48 heures.

La figure (58) décrit d'une façon schématique les différentes étapes de l'étude d'un échantillon de bois, depuis la confection des coupes au microtome jusqu'à l'observation des coupes au microscope.

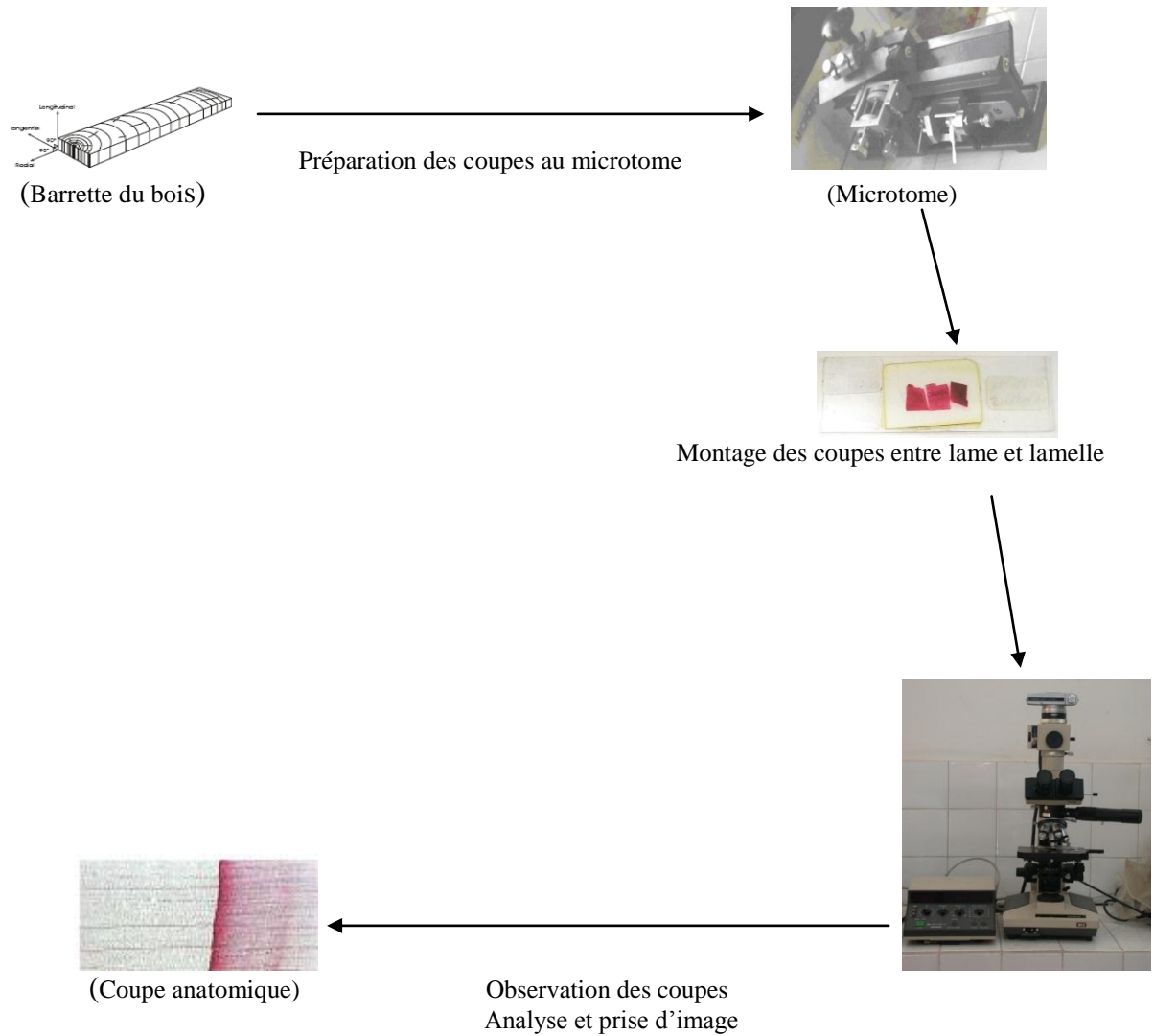


Figure 58: Illustration du protocole de préparation, montage et observation des coupes anatomiques.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

INTRODUCTION

Ce chapitre est réservé à la présentation et l'analyse des résultats obtenus. Il recueillera toutes les données macroscopiques et microscopiques obtenues des échantillons des bois récoltés du Rif et du Moyen Atlas, ainsi que de la loupe du bois de thuya. A l'échelle macroscopique, les résultats et leurs interprétations portent sur l'observation des paramètres de l'ensemble des échantillons d'espèces, objet de notre étude. En ce qui concerne la microscopie, l'analyse des résultats se basera, dans un premier temps, sur la description et la quantification des éléments du plan ligneux dans leurs diversités, et par la suite on tentera d'apporter certaines réponses sur les variations anatomiques observées des éléments du bois, en fonction de la provenance et de l'angle de coupe de l'échantillon dans le cas de loupe de thuya.

A noter qu'après la description anatomique, nous essayons de donner une explication de la variabilité anatomique constatée au niveau du bois des espèces végétales étudiées, et ce en se basant sur leurs provenances.

Pour la loupe de thuya, chaque échantillon est identifié et analysé en fonction du degré de l'angle de coupe 0° , 15° , 30° , 45° , 60° et 75° , par rapport au référentiel de base R (e_1 , e_r , e_t) dans le plan transverse.

Dans une autre approche, et en raison de ses divers domaines d'utilisation et d'une demande croissante en permanence sur le bois, la reconnaissance des essences du bois impose aux utilisateurs, d'apprendre à déterminer le type de bois à l'œil nu et à partir d'échantillons d'une certaine dimension. Pour cela, dans ce chapitre, nous présenterons aussi les photos prises de l'échantillon du bois étudié, lesquelles concernent, d'une part la macrostructure (photos de l'écorce, de la face transversale de la rondelle du bois de l'espèce récoltée et photos de la loupe de Thuya) et d'autre part, les photos de la microstructure prises aux coupes observées dans les trois plans d'anisotropie du bois (transversal, radial et tangentiel), à travers d'un appareil photos numérique indépendant ou bien celui branché au microscope.

4.1. ESPECES RECOLTEES DU RIF ET DU MOYEN ATLAS

4.1.1. Groupe des résineux

Pour l'ensemble des résineux récoltés, toutes les informations macroscopiques tirées de l'observation de la face transversale des rondelles du bois déjà préparée, sont regroupées dans les tableaux 2 et 3. À signaler que les caractères macroscopiques non révélés à l'œil nu, sont vérifiés à la loupe. Pour les photos comparatives de la macrostructure se référé à l'annexe (B).

Tableau 2: Quelques caractères macroscopiques du bois des espèces résineuses étudiées

Espèces	Provenance	Aubier (A.)	Duramen (D.)	Couleur	Densité
<i>Cedrus atlantica</i>	Rif	Distinct		(A.): Brun clair (D.): Brun jaunâtre	0,611
	Moyen Atlas	Peu distinct		(A.): Blanc jaunâtre (D.): Brun jaunâtre	0,642
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Rif	Distinct		(A.): Blanchâtre (D.): Brun foncé	0,704
	Moyen Atlas			(A.): Jaune blanchâtre (D.): Rouge rosâtre	0,628
<i>Tetraclinis articulata</i>	Rif	Distinct		(A.): Brun clair (D.): Marron foncé	0,728
	Moyen Atlas			(A.): Blanc jaunâtre (D.): Rouge brun	0,575
<i>Pinus halepensis</i>	Rif	Non distinct		Brun clair	0,464
	Moyen Atlas			Blanc	0,512
<i>Pinus pinaster</i>	Rif	Distinct		(A.): Brun clair (D.): Jaune sombre	0,598
	Moyen Atlas			(A.): Blanc grisâtre (D.): Orange	0,539

Tableau 3: Etude macroscopique de la face transversale des rondelles du bois des espèces résineuses étudiées.

Espèces	Provenance	Cernes annuels		Rayons ligneux	Canaux résinifères	Section des trachéides
		Degré d'apparence	Régularité			
<i>Cedrus atlantica</i>	Rif	Visible à l'œil nu	irréguliers	Apparent, à la loupe	Non apparent	Apparente, à la loupe
	Moyen Atlas		réguliers	Apparent, à l'œil nu	apparent	Non apparente
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Rif		irréguliers	Apparent, à la loupe	Non apparent	Apparente, à la loupe
	Moyen Atlas		réguliers		Absent	Non apparente
<i>Tetraclinis articulata</i>	Rif		irréguliers	Apparent, à l'œil nu	Non apparent	Apparente, à la loupe
	Moyen Atlas		irréguliers	Apparent, à la loupe	Absent	Non apparente
<i>Pinus halepensis</i>	Rif		réguliers	Apparent, à la loupe	Apparent, à la loupe	Apparente, à la loupe
	Moyen Atlas		réguliers	Apparent, à l'œil nu	Apparent, à l'œil nu	
<i>Pinus pinaster</i>	Rif		réguliers	Oui, à la loupe	Apparent, à la loupe	
	Moyen Atlas		réguliers		Apparent, à l'œil nu	

4.1.2. Groupe des feuillus

Les plans ligneux des feuillus sont complexes que ceux des résineux. La diversité des structures anatomiques observées, qui tendent vers la spécialité, des échantillons récoltés permet une identification facile des espèces étudiées.

Comme pour le groupe des résineux, les tableaux 4 et 5 ci-dessous, regroupent le maximum d'informations qui concernent les caractères macroscopiques, tirés de l'observation de la face transversale des rondelles des bois des essences récoltées. Pour les photos comparatives de la macrostructure se référer à l'annexe (B).

Tableau 4: Quelques caractères macroscopiques du bois des espèces feuillues étudiées

Espèces	Provenance	Aubier (A.)	Duramen (D.)	Couleur	Densité
<i>Olea europaea</i>	Rif	Non distinct		Brun clair	0.718
	Moyen Atlas	Distinct		(A.): jaune rosâtre (D.): Brun foncée	0.671
<i>Quercus rotundifolia</i>	Rif	Non distinct		Brun très clair	0.849
	Moyen Atlas	Distinct		(A.): blanchâtre (D.): jaune brun	0.625
<i>Quercus faginea</i>	Rif	Distinct		(A.): Brun clair (D.): Brun foncée	0.868
	Moyen Atlas			(A.): blanc grisâtre (D.): blanchâtre	0.651
<i>Ceratonia siliqua</i>	Rif	Non distinct		Brun jaunâtre	0.787
	Moyen Atlas	Distinct		(A.): blanc jaunâtre (D.): brun rougeâtre	0.602

Tableau 5: Etude macroscopique de la face transversale des rondelles du bois des espèces feuillues étudiées.

Provenance	Espèces	Cernes annuels		Rayons ligneux	pores	
		Degré d'apparence	Régularité			
Rif	<i>Olea europaea</i>	Visible à l'œil nu	irréguliers	Visible à la loupe	Visible à la loupe	
Moyen Atlas			Réguliers	Visible à la loupe		
Rif	<i>Quercus rotundifolia</i>		réguliers	Visible à l'œil nu		Visible à l'œil nu
Moyen Atlas						
Rif	<i>Quercus faginea</i>					
Moyen Atlas						
Rif	<i>Ceratonia siliqua</i>	À peine visible à l'œil nu	irréguliers	Non apparents	Non apparents	
Moyen Atlas		Non apparent	Non apparent		-----	

4.2. ETUDE DETAILLEE DE CHAQUE ESPECE

4.2.1. Espèces résineuses

4.2.1.1. *Cedrus atlantica*

4.2.1.1.1. *Cedrus atlantica* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à bois mi-lourd, à odeur forte et remarquable. L'aubier est distinct du duramen, d'une couleur brune claire pour l'aubier et brune jaunâtre pour le duramen. Les accroissements annuels sont visibles à l'œil nu et irréguliers. La section des trachéïdes et des des rayons ligneux est visible à la loupe, ces derniers sont disposés d'une manière rectiligne, les canaux résinifères sont absents (tableaux 2 et 3). L'écorce de couleur grise foncée à aspect lisse et luisant peut se fissurer en écailles de petites dimensions (figure 59). La densité basale est de 0,611.

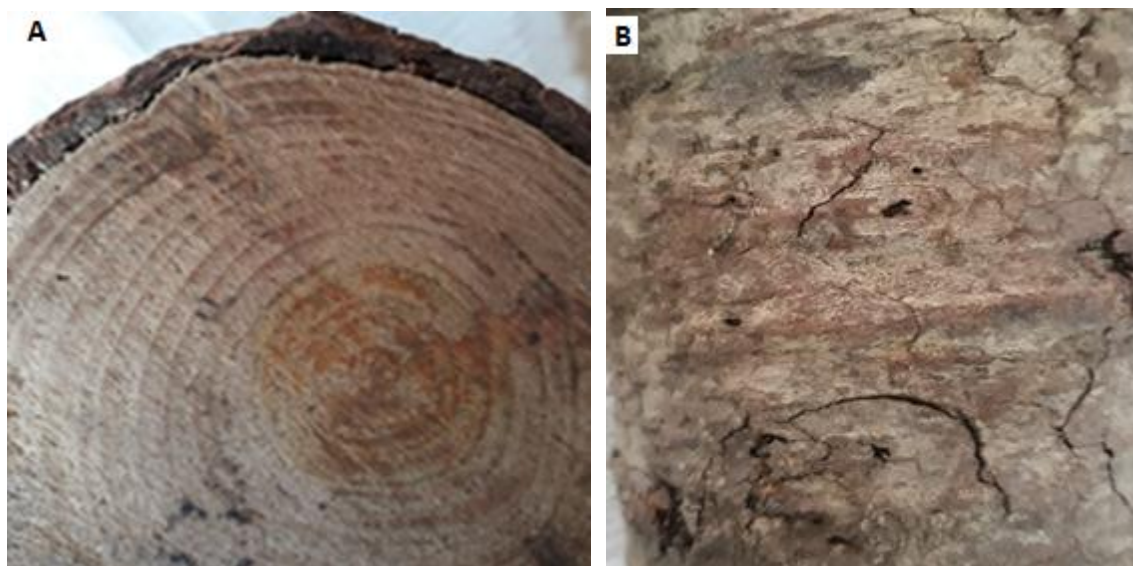


Figure 59: Bois du cèdre de l'Atlas.

(A): Face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

En coupe transversale (CT), la structure du bois de cèdre révèle un passage progressif du bois initial vers le bois final, avec une absence complète de canaux résinifères longitudinaux (figure 60, A). L'analyse de la partie radiale du plan ligneux de ce résineux (figure 60, B) révèle que chaque cellule du champ de croisement peut renfermer deux, trois jusqu'à quatre ponctuations de petites tailles, disposées en deux étages. Au niveau du même champ de croisement, nous constatons la présence de deux sortes de ponctuations:

cupressioïde et taxodioïde. Enfin, Au niveau tangentielle, le cèdre possède des rayons ligneux homogènes, unisériés, renfermant des cellules de formes arrondies de l'ordre de 2 à 7 cellules par unités de longueur du rayon ligneux. Ces rayons sont, pour la plupart, rectilignes. La coupe tangentielle ne montre aucune trace des canaux sécréteurs horizontaux, ce qui prouve leur absence (figure 60, C et D).

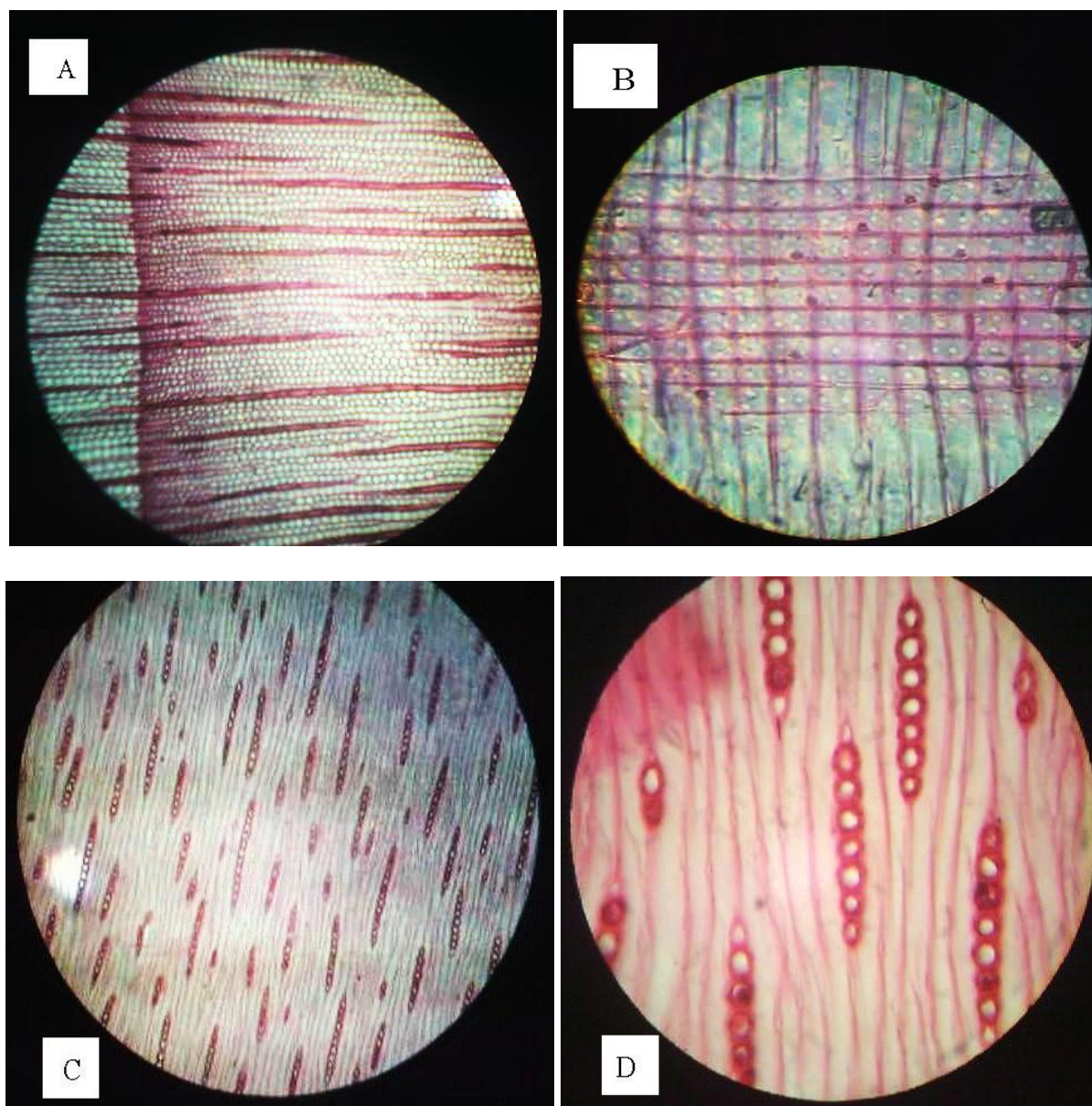


Figure 60: Section microscopique du bois de cèdre du Rif.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx200);
(C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.1.1.2. *Cedrus atlantica* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique.

C'est une espèce à aubier distinct, blanc jaunâtre, le duramen est jaune brun clair. La proportion aubier et celle du duramen est approximativement égale. Les cernes annuels sont étroits, inégaux, réguliers à contour sinueux et non parallèles. Les rayons ligneux moyennement denses sont plus clairs que les autres tissus, continus et rectilignes et à maillure visible par leur éclat et leur couleur brune au niveau radial (figure 61).



Figure 61: Bois du cèdre de l'Atlas provenant du Moyen Atlas.

(A): Ecorce, (B): Face transversale de la rondelle.

b. Description microscopique

C'est une espèce caractérisée par la présence de gros canaux résinifères traumatiques, à cellules bordantes petites et à parois épaisses. Le passage du bois initial au bois final est progressif avec une section des trachéides hexagonales (figure 62, A). Au niveau radial, les ponctuations du champ de croisement sont de trois types: pinoïdes, picéoides et cupressoides disposées à l'ordre de 2 à 4 par champ de croisement (figure 62, B et B1). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont unisériés, avec présence de quelques rayons plurisériés, munis de gros canaux traumatiques transversaux, d'une hauteur de 2 à 18 cellules (figure 62, C et C1).

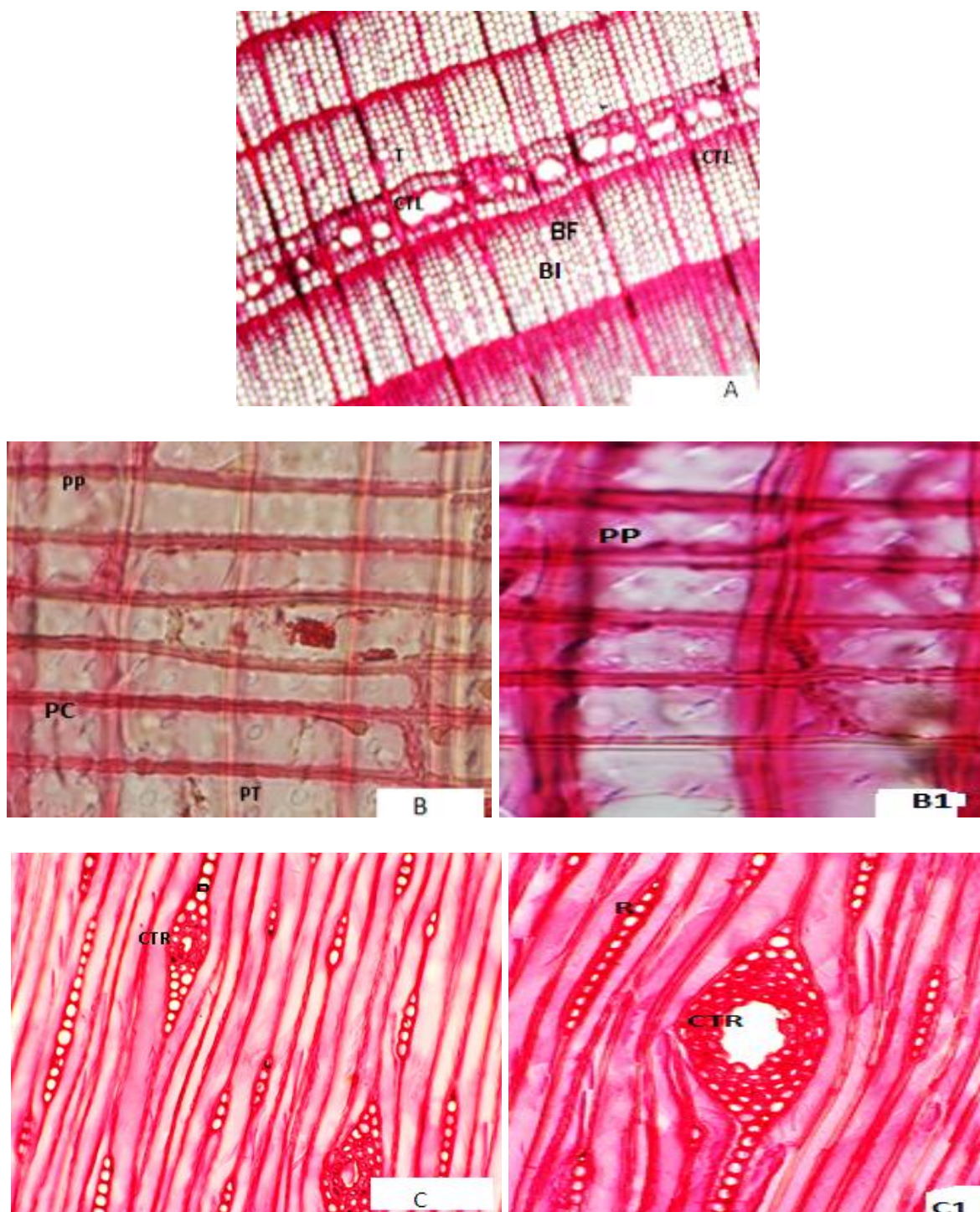


Figure 62: Section microscopique du bois de cèdre du Moyen Atlas.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B) et (B1): Coupe radiale (Gx400);

(C) et (C1): Coupe tangentielle (Gx200).

*BI: bois initial; BF: bois final; T: trachéide; CTL: canal résinifère traumatique longitudinal.
R: rayon ligneux; CTR: canal traumatique radial; PC: ponctuation cupressoïde,
PT: ponctuation taxodioid, PP: ponctuation picéoid..*

4.2.1.2. *Juniperus oxycedrus* (genévrier oxycède)

4.2.1.2.1. *J. oxycedrus* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à bois lourd, à odeur forte et remarquable. L'aubier est distinct de couleur blanchâtre quant au duramen est de couleur brune foncé. Les accroissements annuels sont visibles à l'œil nu et irréguliers. Les rayons ligneux sont visibles à la loupe (figure 63). L'écorce est de couleur marron foncée et sombre, facilement détachable et possède l'aspect de petites plaques fines et minces. La densité basale est de 0,704.

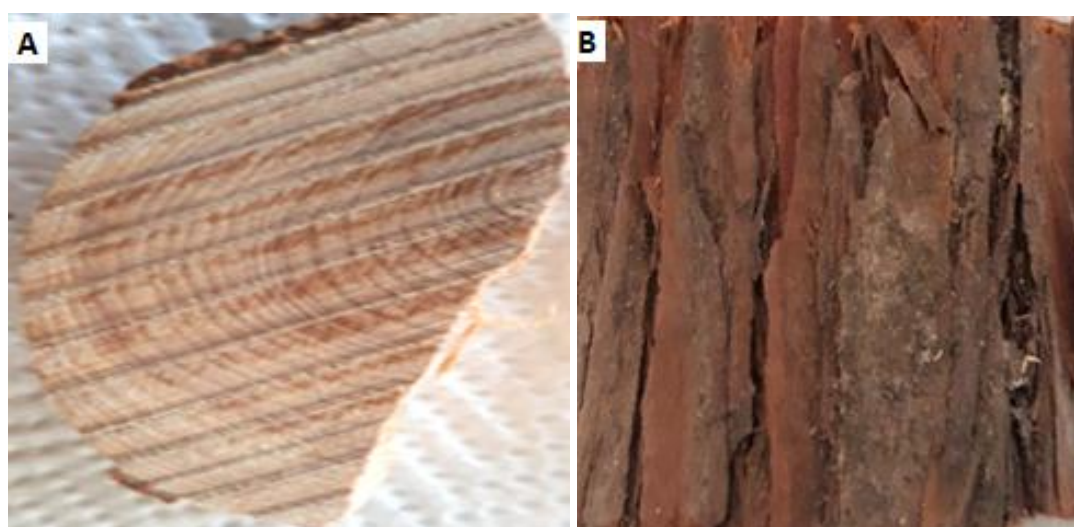


Figure 63: Bois du genévrier oxycède « provenance du Rif ».

(A): Face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, la structure du bois de genévrier oxycède est marquée par le passage brutal du bois initial vers le bois final avec l'absence totale de canaux résinifères verticaux (figure 64, A). Au niveau radial, les cellules du champ de croisement montrent des ponctuations de petites tailles, piceoïdes et disposées en deux étages, chaque cellule de ce champ peut renfermer deux à quatre ponctuations (figure 64, B). Enfin l'observation de la coupe tangentielle révèle des rayons ligneux homogènes, unisériés renfermant des cellules de formes ovales de l'ordre de 2 à 11 cellules par unité de longueur du rayon (figure 64, C et D).

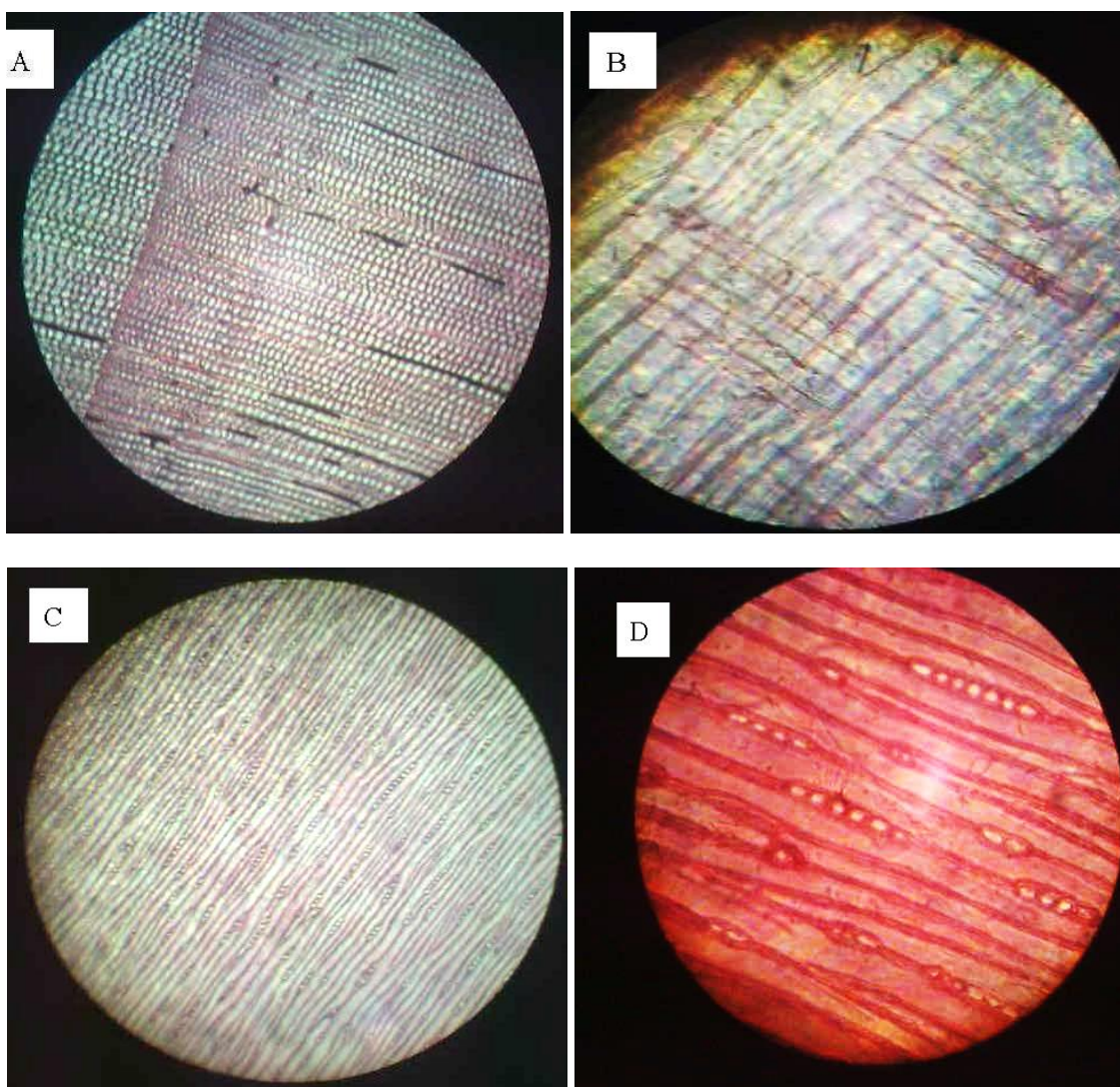


Figure 64: Section microscopique du Genévrier oxycède « provenance du Rif ».

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx200);

(C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.1.2.2. *J. oxycedrus* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à aubier distinct, jaune blanc, duramen rouge rosé. Les cernes annuels sont moyennement larges, inégaux, réguliers et à contour sinueux. Les rayons ligneux sont jaunes plus clairs que les autres tissus, discontinus, fins, peu visibles à la loupe, pas de canaux résinifères. Il est important de signaler que l'aubier est deux fois plus important que le duramen (figure 65).

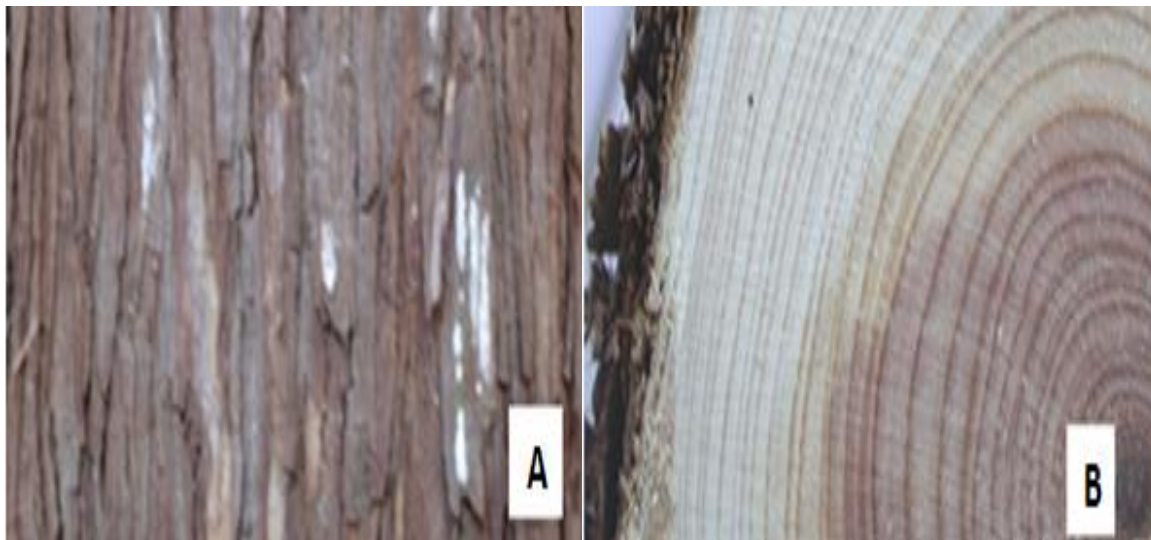


Figure 65: Bois du genévrier oxycède « provenance du Moyen Atlas ».

(A): Ecorce; (B): Face transversale de la rondelle.

b. Description microscopique

Cette espèce est marquée par le passage progressif du bois initial au bois final. Elle est dépourvue de canaux résinifères. Le parenchyme axial est présent et contient des substances colorées (figure 66 A et A1). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont unisériés, d'une hauteur moyenne de 6 à 10 cellules (figure 66, B). Au niveau radial les ponctuations du champ de croisement sont de type cupressoides et taxodioides, disposées de 1 à 3 par champ de croisement. La présence des trachéides transversales est remarquable. Les ponctuations sur la paroi des trachéides axiales sont aréolées, grandes à orifice ovale et disposées en une seule rangée (figure 66 C).

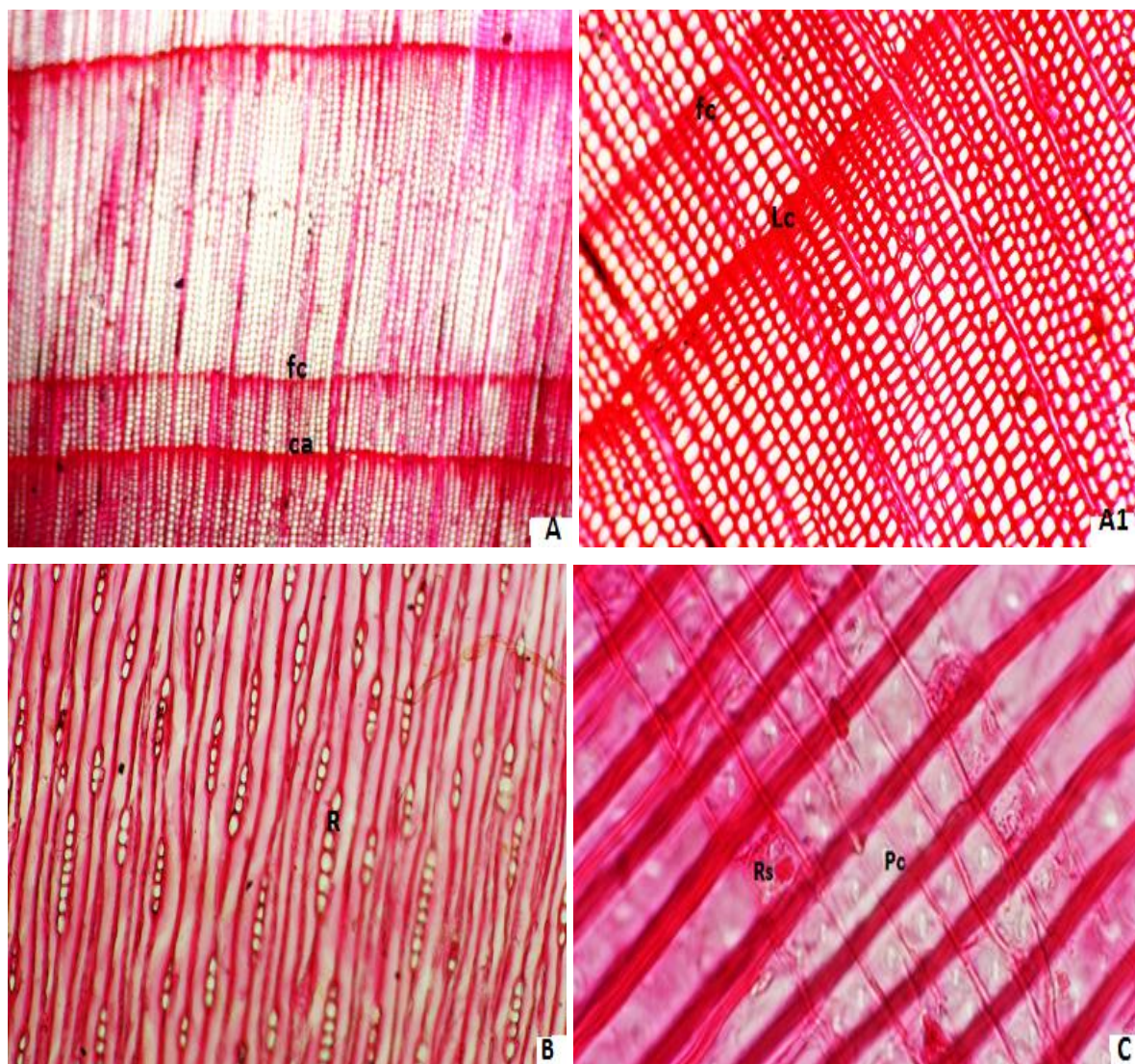


Figure 66: Section microscopique du Genévrier oxycèdre « provenance du MA ».

(A) et (A1): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx200);

(C): Coupe radiale (Gx200).

fc: faux cerne; *ca*: cerne annuel; *Lc*: limite de cerne; *R*: rayon ligneux;
Pa: ponctuation aréolée; *Pc*: ponctuation cupressoïde; *Rs*: réserves.

4.2.1.3. *Tetraclinis articulata* (thuya de Berbérie)

4.2.1.3.1. *T.articulata* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à bois lourd, à odeur résineuse forte et remarquable. Les cernes annuels sont visibles à l'œil nu et irréguliers. L'écorce est de couleur brune rougeâtre parfois grise rougeâtre, mince, fibreuse et se séparant en lanières étroites. L'aubier est distinct d'une couleur brune claire. Le duramen est de couleur marron foncé (figure 67, A). La section des trachéides est apparente à la forte loupe, contrairement aux canaux résinifères non apparents même à la loupe. Les rayons ligneux sont visibles à l'œil nu. La densité basale est d'une valeur égale à 0,728.

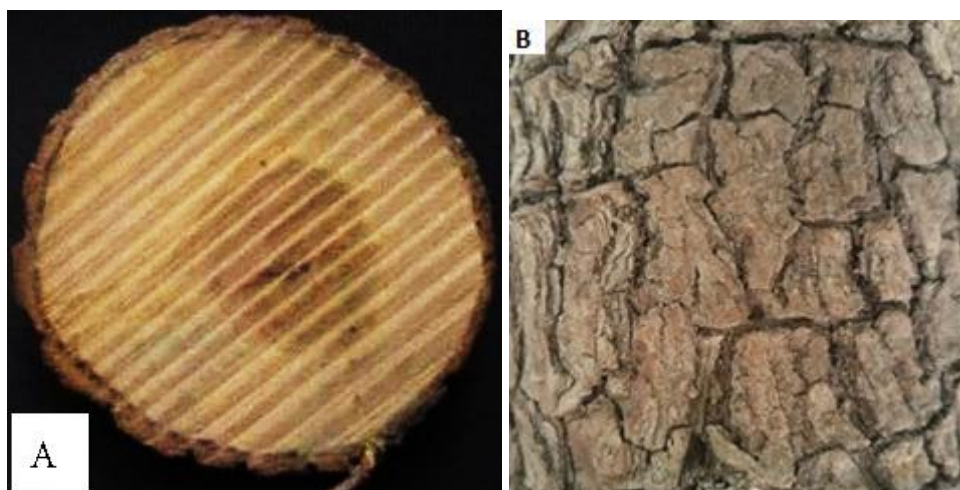


Figure 67: Bois du thuya « provenance du Rif ».

(A): face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

C'est une espèce à structure anatomique simple, marquée par une brutalité de passage du bois initial vers le bois final, avec absence des canaux sécréteurs verticaux et horizontaux (figure 68, A). Au niveau radial, les ponctuations du champ de croisement sont de petites tailles, piceoïdes, décelables uniquement au fort grossissement, chaque cellule du champ renferme une, deux jusqu'à quatre ponctuations disposées en deux étages (figure 68, B). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes unisériés et bisériés, composés de cellules arrondies de l'ordre de 2 à 08 cellules par unité de longueur du rayon, à noter que les rayons bisériés sont moins fréquents que les rayons unisériés. Les canaux résinifères horizontaux sont pratiquement absents (figure 68 C et D).

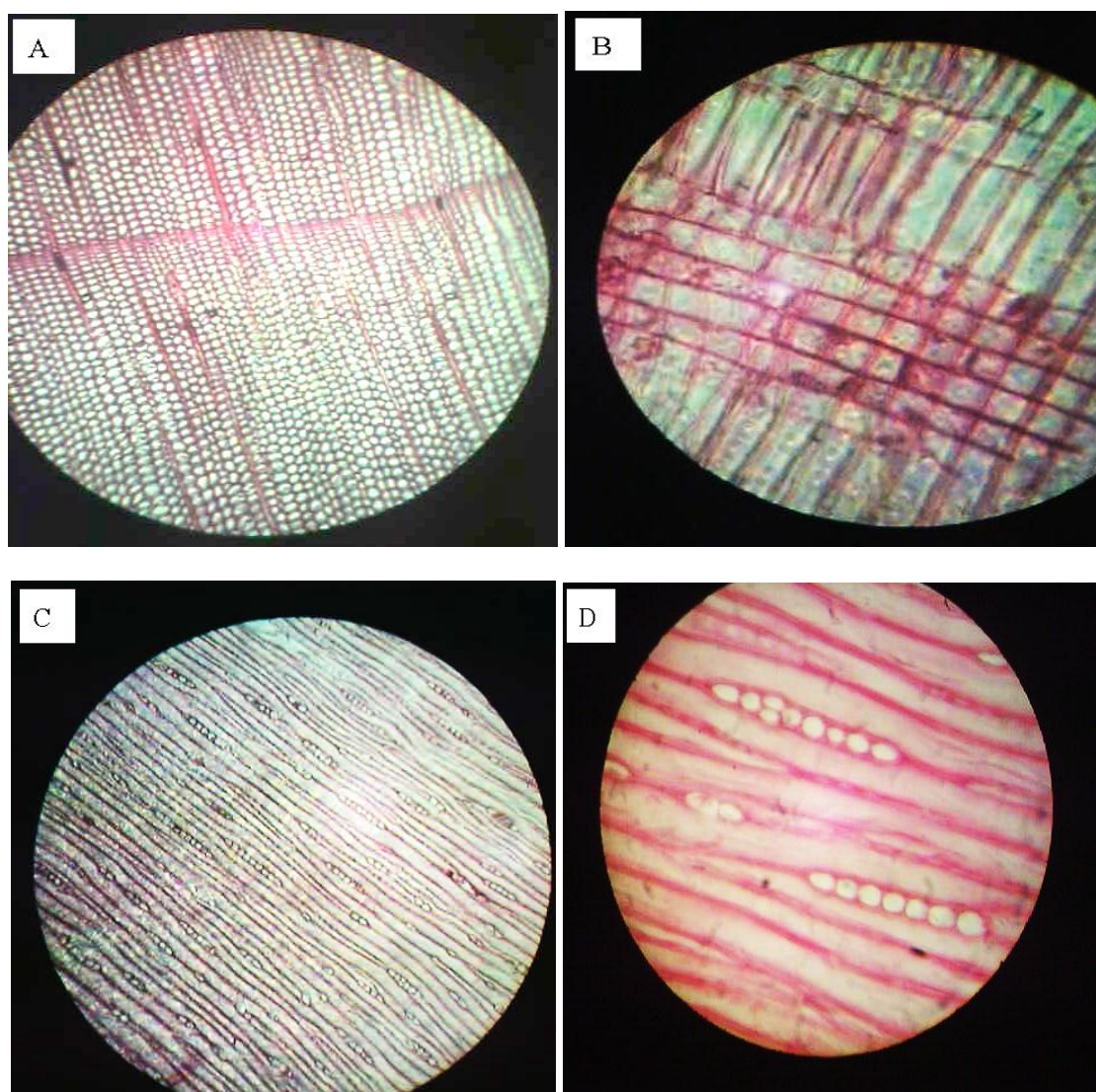


Figure 68: Section microscopique du thuya« provenance du Rif».

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx200);
 (C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.1.3.2. *T. articulata* "Provenance du Moyen Atlas "

a. Description macroscopique

C'est une espèce à aubier distinct, blanc jaunâtre et duramen rouge brun. Les cernes annuels sont moyennement larges, inégaux, irréguliers et à contours sinueux. Les rayons ligneux sont peu visibles, très fins, discontinus et un peu flexueux. L'absence des canaux résinifères est remarquable (figure 69).



Figure 69: Bois du thuya de Berbérie « provenance du Moyen Atlas ».

(A): Ecorce; (B): sections transversale.

b. Description microscopique

C'est une espèce dépourvue de canaux résinifères mais à cellules de parenchyme axial contenant des substances colorées. Au niveau transversale, le passage du bois initial au bois final est brutal (figure 70, A). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes, unisériés, de l'ordre de 4 à 7 cellules de haut (figure 70, B). Au niveau radial, les ponctuations du champ de croisement sont cupressoides, disposées en 1 à 2 par champ de croisement avec absence de trachéides transversales. Les Ponctuations sur la paroi des trachéides axiales sont aréolées et à orifice ovale. Le Parenchyme du rayon est riche en réserves (figure 70, C et C1).

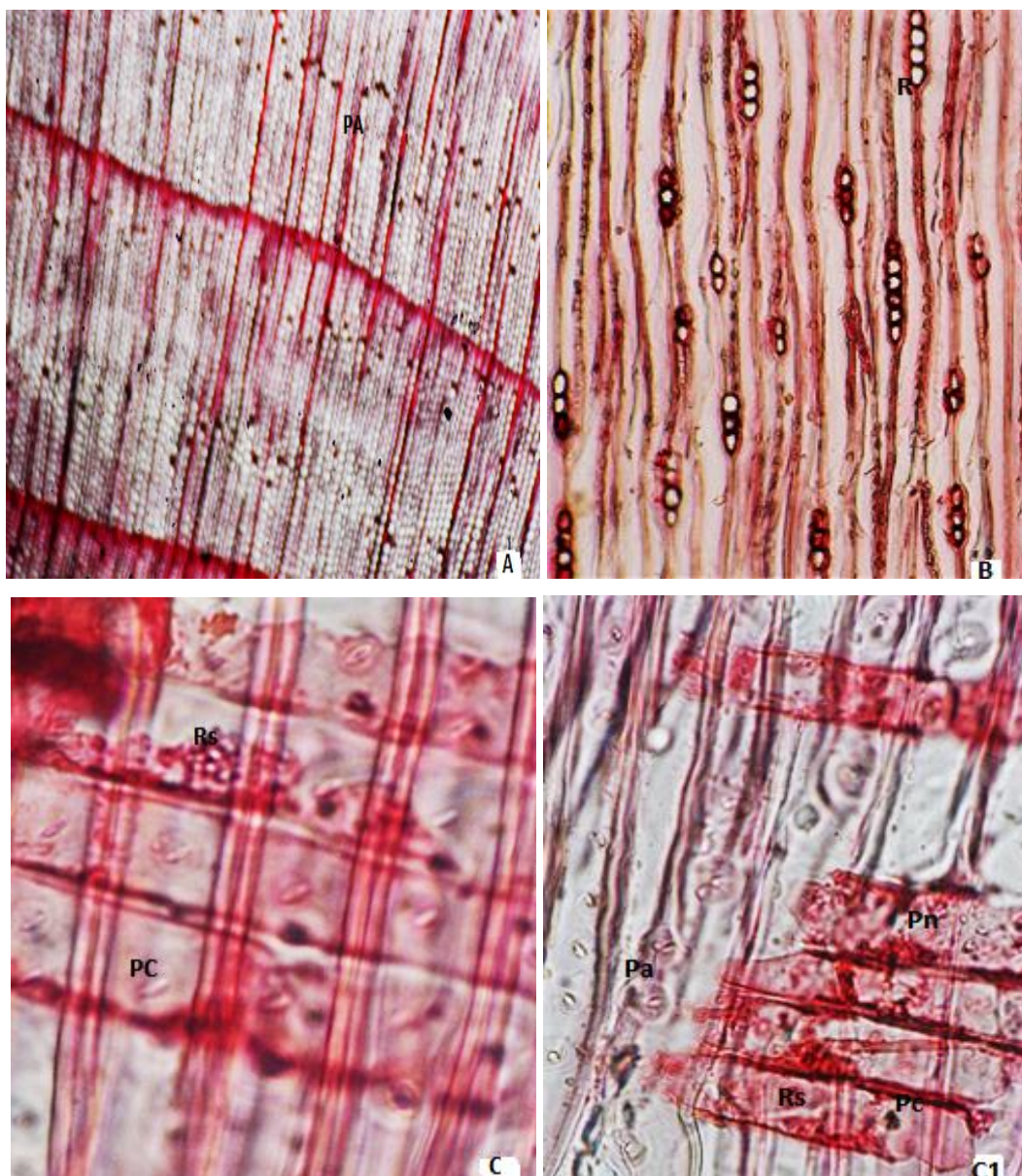


Figure 70: Section microscopique du thuya « provenance du Moyen Atlas ».

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx200);

(C) et (C1): Coupe radiale (Gx400).

PA: parenchyme axial; *R:* rayon ligneux *Pn:* parenchyme noduleux;

PC: ponctuation cupressoïde; *Rs:* réserves; *Pa:* ponctuation aréolée.

4.2.1.4. *Pinus halepensis* (pin d'Alep)

4.2.1.4.1. *P. halepensis* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à odeur résineuse forte, à bois léger de couleur brun clair. L'aubier et le duramen sont non distincts (arbre jeune); les accroissements annuels sont visibles à l'œil nu et réguliers. L'écorce est lisse, grise au début, puis épaisse et crevassée tournant au rouge brun dès que l'arbre atteint un âge avancé. La section des trachéides est apparente à la loupe. La densité basale est égale à 0,464.

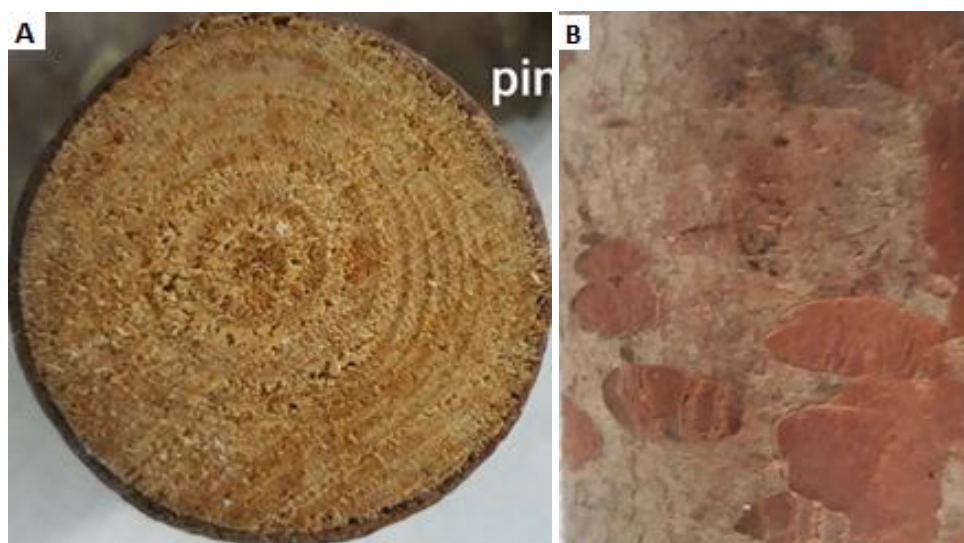


Figure 71: Bois du pin d'Alep « provenance du Rif ».

(A): Face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, la structure du bois du pin d'Alep montre une progressivité du passage du bois initial vers le bois final, avec la présence remarquable des canaux résinifères verticaux (figure 72 A). Au niveau radial, les ponctuations du champ de croisement sont de type taxodioïde, de tailles moyennes, chaque cellule du champ renferme deux ou trois ponctuations disposées en deux étages (figure 72 B). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes, unisériés composés de cellules rectangulaires de l'ordre de 2 à 6 cellules par unité de hauteur du rayon. Cette coupe est marquée par la présence de canaux résinifères horizontaux peu nombreux (figure 72, C et D).

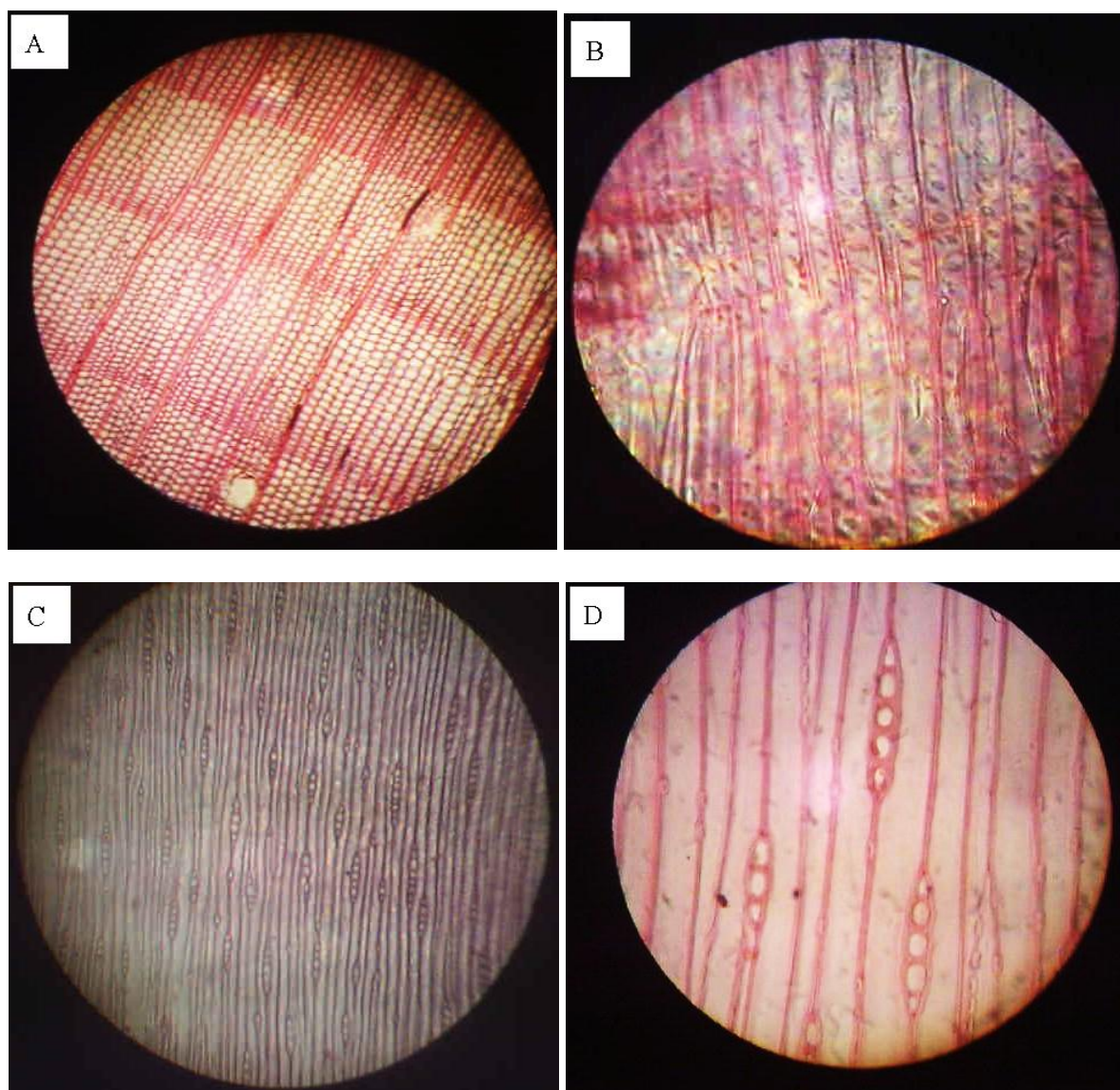


Figure 72: Section microscopique du pin d'Alep « provenance du Rif ».

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx200);
 (C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.1.4.2. *Pinus halepensis* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à aubier et duramen non distincts. Les cernes annuels sont très larges, inégaux, réguliers et à contour circulaire. Les rayons ligneux sont nombreux visibles par leur maillure à éclat foncé et plus clair que la matrice. Ils sont aussi discontinus, droits et un peu flexueux. Les canaux résinifères sont visibles à l'œil nu mais moins gros que ceux du pin maritime (figure 73).

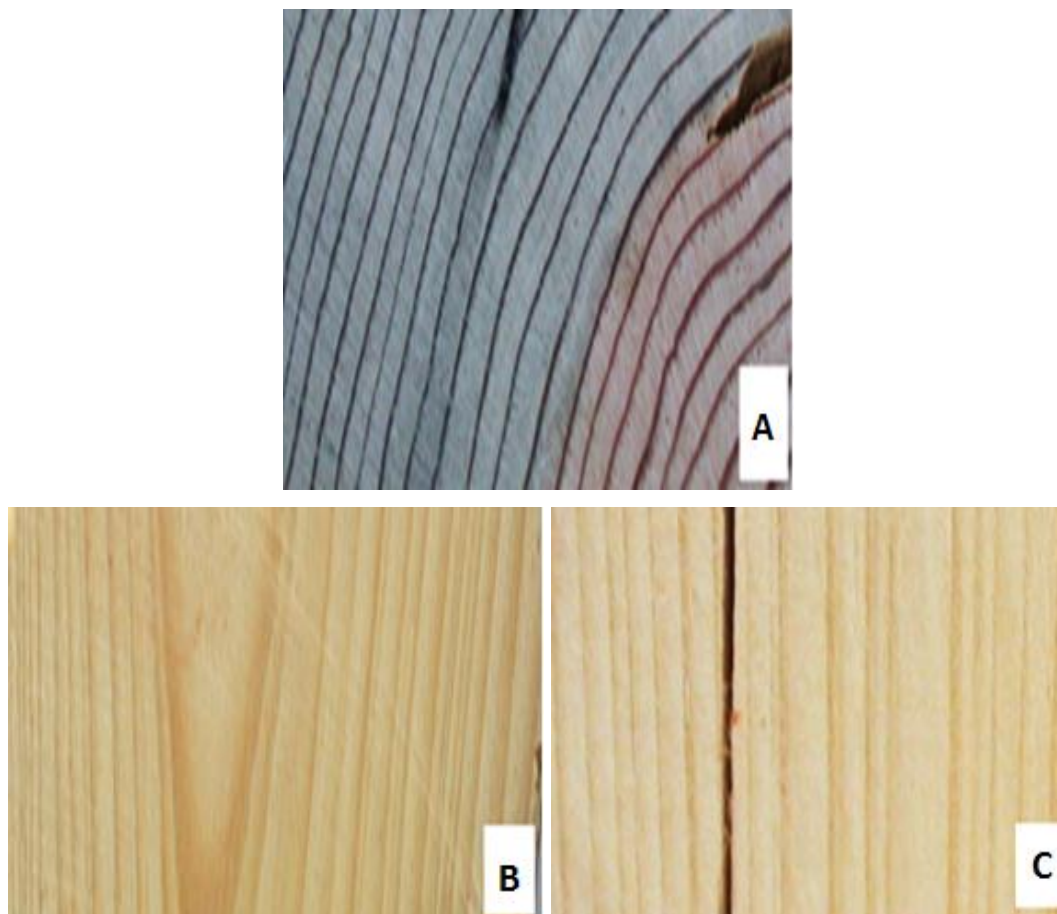


Figure 73: Bois du pin d'Alep « provenance du MA»
Section transversale (A) ; (B) tangentielle et (C) radiale.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, l'observation des coupes réalisées au microtome montre de gros canaux résinifères, à grandes cellules bordantes de paroi mince. Le passage du bois initial au bois final est brutal (figure 74, A). Au niveau tangential, les rayons ligneux sont unisériés, homogènes, composés de 2 à 12 cellules et contenant des canaux résinifères transversaux (figure 74, B). Au niveau radial, les ponctuations du champ de croisement sont de deux types: pinoides et cupressoides, disposées en deux étages. Les Ponctuations aréolées sont grandes disposées en une seule rangée sur les trachéides axiales (figure 74, C).

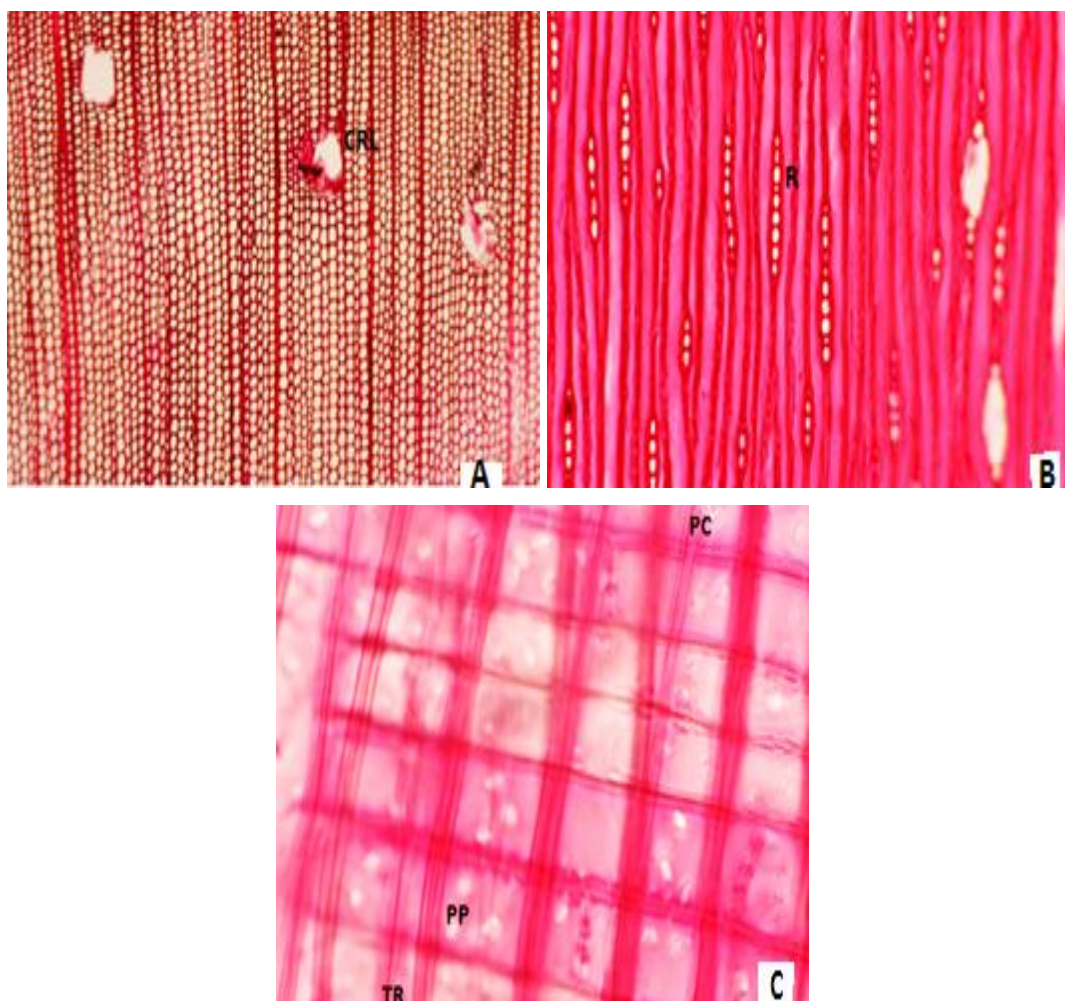


Figure 74: Section microscopique du pin d'Alep du Moyen Atlas.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx100);

(C): Coupe radiale (Gx400).

CRL: canal résinifère longitudinal. R: Rayon ligneux ; TR: trachéide radiale ;

PP: ponctuation pinoïde; PC: ponctuation cupressoïde.

4.2.1.5. *Pinus pinaster* (pin maritime)

4.2.1.5.1. *P. pinaster* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

C'est une espèce qui possède une écorce épaisse, fissurée, sombre, très crevassée et pouvant porter de grands bourgeons résinifères caractéristiques, de couleur rouge violet au niveau inférieur de l'arbre, rose orange à rouge ferrugineux au niveau supérieur de l'arbre (figure 75, B). Le bois est de poids mi-lourd, à odeur forte, à aubier et duramen légèrement

distincts, avec une portion d'aubier plus importante que celle du duramen, d'une couleur brun clair pour l'aubier et jaune sombre pour le duramen. Les accroissements annuels sont visibles à l'œil nu et réguliers. Les rayons ligneux et les canaux résinifères sont visibles à la loupe. La section des trachéides est apparente à la forte loupe.

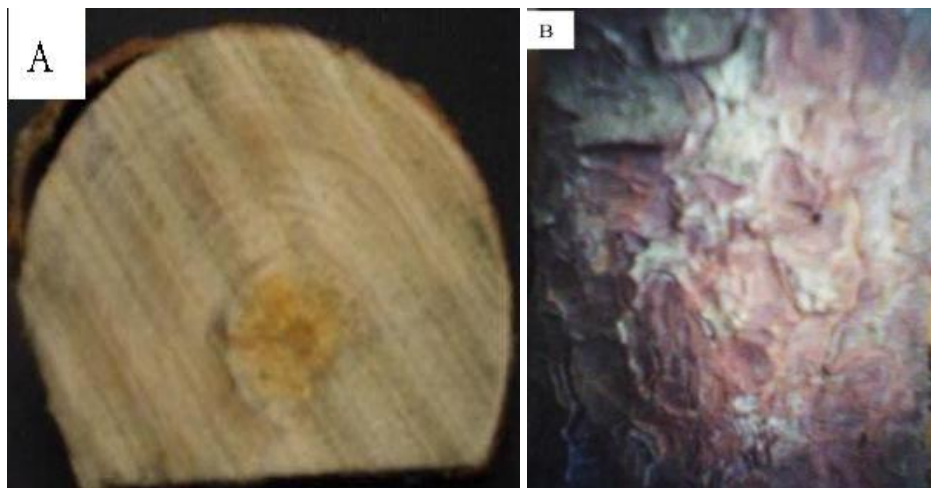


Figure 75: Bois du pin maritime de la région du Rif.
(A): Face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, la structure du bois du pin maritime se caractérise par le passage progressif du bois initial vers le bois final, avec une forte présence des canaux résinifères longitudinaux (figure 76, A). Au niveau radial, le champ de croisement montre des ponctuations piceoïdes, chaque cellule de ce champ renferme une, deux à quatre ponctuations disposées obliquement (figure 76, B). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes, unisériés et composés de 2 à 09 cellules. Les canaux résinifères horizontaux sont présents (figure 76, C et D).

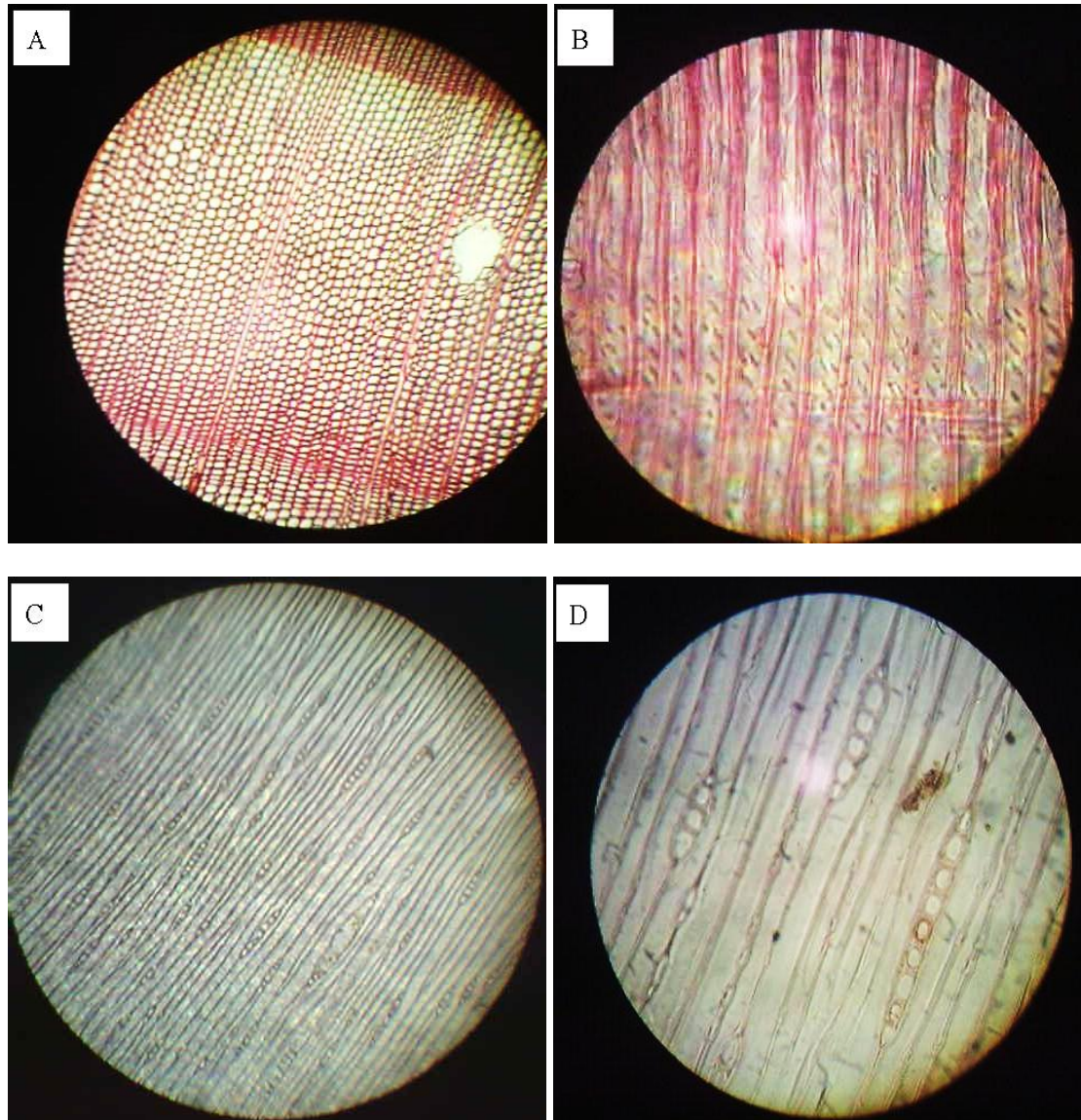


Figure 76: Section microscopique du pin maritime de la région du Rif.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx200);
(C): Coupe tangentielle(Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.1.5.2. *Pinus pinaster* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à aubier bien distinct, blanc grisâtre et à duramen orange, avec une proportion d'aubier très importante par rapport au duramen. Les cernes annuels sont très larges, réguliers et à contour sinueux, et à limite non parallèle. Les rayons ligneux sont nombreux, unisériés, plus clairs que les autres tissus, denses mais à hauteur faible, discontinus et droits. Les canaux résinifères normaux visibles à l'œil nu, sont gros et localisés dans la limite du bois initial et dans le début du bois final (figure 77).

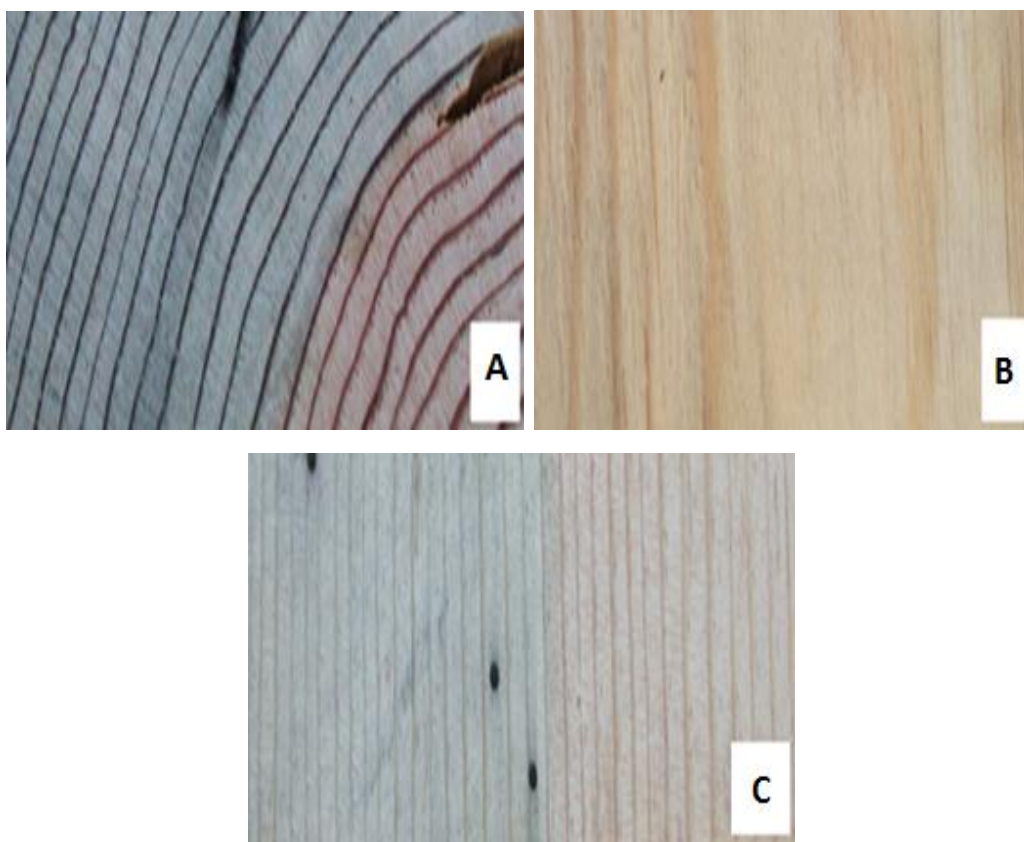


Figure 77: bois du Pin maritime « provenance du Moyen Atlas ».

(A): Section transversale; (B): Section tangentielle et (C): Section radiale.

b. Description microscopique

C'est une espèce qui présente de gros canaux résinifères à grandes cellules bordantes à paroi mince. Le passage du bois initial au bois final est progressif, la limite des cernes est nette grâce aux quelques rangées de trachéides de bois final aplaties et à parois épaisses (figure 78 A). Au niveau tangential, les rayons ligneux sont unisériés de hauteur moyenne de

8 à 12 cellules avec canaux résinifères radiaux et trachéides transversales marginales (figure 78, B). Au niveau radial, les ponctuations du champ de croisement sont pinoïdes, disposées en une seule rangée de 2 à 4 ponctuations par champ de croisement (figure 78, C et C1).

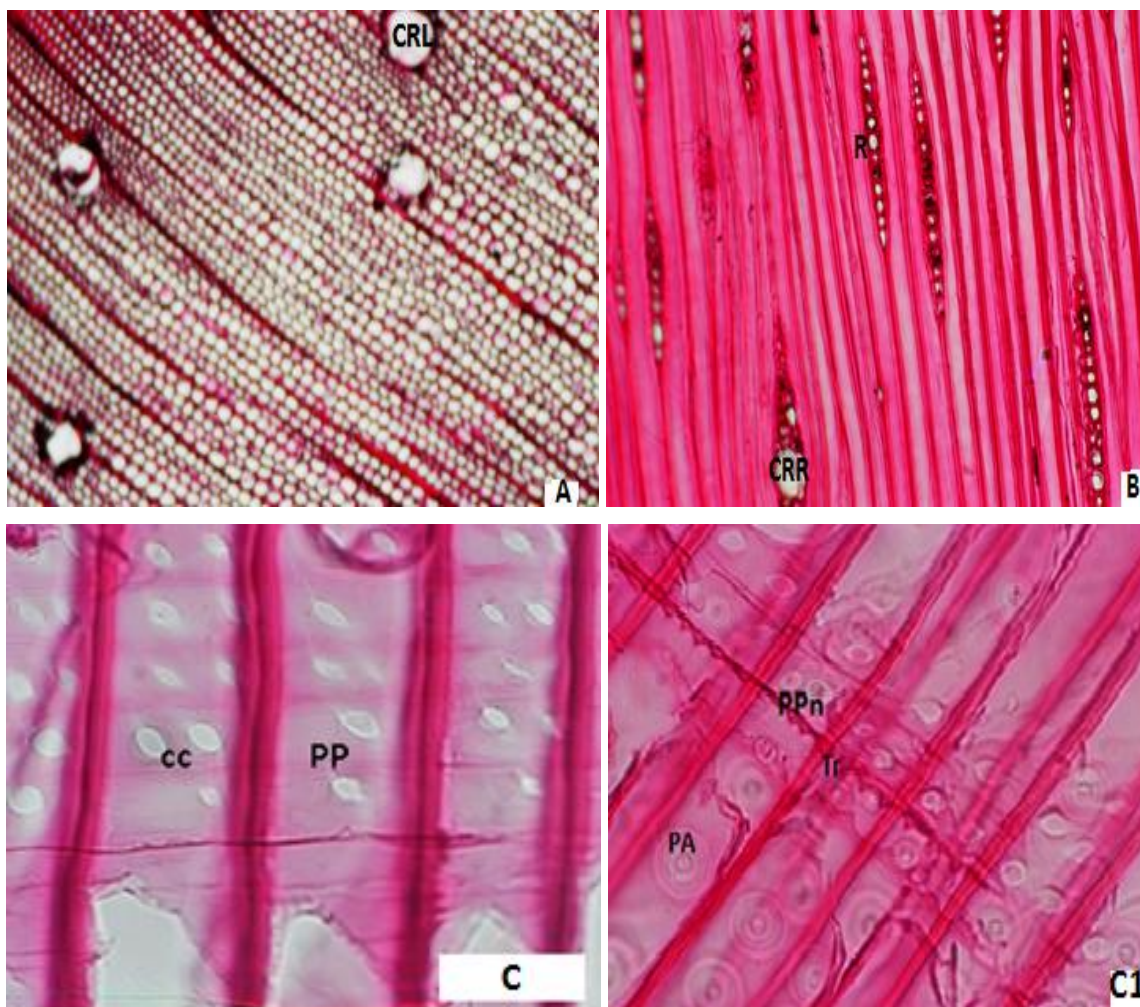


Figure 78: Section microscopique du pin maritime du Moyen Atlas.

(A) et (A1): Coupes transversales (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx200);

(C) et (C1): Coupe radiale (Gx400).

Ta: trachéide axiale ; *Tr*: trachéide radiale à paroi dentée; *R*: rayon ligneux;
PA: ponctuation aréolée; *CRL*: canal résinifère longitudinal;
CRR: canal résinifère radial; *R*: Rayon ligneux; *cc*: champ de croisement;
PPn : ponctuation Pinoïde.

4.2.2. Espèces Feuillus

4.2.2.1. *Olea europaea* (Olivier)

4.2.2.1.1. *O.europaea* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

Cette espèce à bois très lourd, se caractérise par un bois à cernes annuels visibles à l'œil nu et irréguliers. L'aubier et le duramen sont non distincts. La couleur du bois est brun clair. Cette espèce est enveloppée par une écorce lisse, mince de couleur gris verdâtre, gris cendré au fur et à mesure que l'arbre atteint un âge avancé. Son écorce perçoit le moindre choc mécanique et se déchire facilement, l'épiderme devient épais, crevassé et peut se détacher en plaque (figure 79, B). Les pores sont apparents à la loupe de même pour les rayons ligneux.

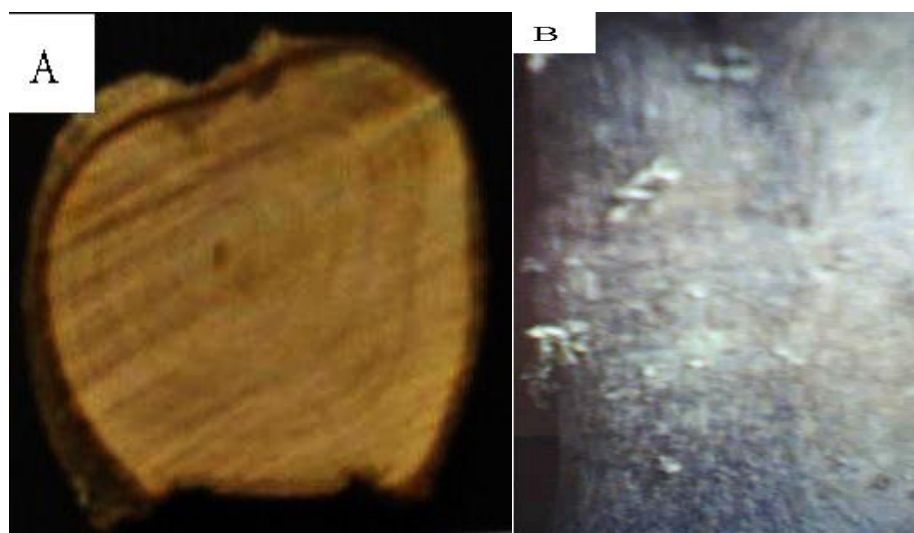


Figure 79: Bois de l'oléastre de la région du Rif:

(A): Face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, l'observation de la structure du bois de l'olivier révèle que les vaisseaux conducteurs de la sève brute ou bien les pores sont nombreux, répartis d'une manière semi diffuse et groupés pour la plupart par unité de deux, trois jusqu'à quatre pores. Certains de ces pores contiennent des inclusions ou bien présentent des excroissances en leur lumière, preuve de la présence des thylles. Ces derniers sont moins fréquents. Le parenchyme paratrachéal n'est jamais abondant mais il est présent d'un seul côté du vaisseau tandis que le parenchyme apotrachéal est absent (figure 80, A). Au niveau radial, le parenchyme axial et les cellules couchées sont présents. Les perforations sont simples et les cellules dressées sont

présentes (figure 80, B). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont hétérogènes et bisériés, chaque rayon renferme des cellules de petites et de grandes tailles de l'ordre de 2 à 15 cellules par unité de hauteur du rayon ligneux. Les cellules du milieu sont arrondies, tandis que l'extrémité du rayon ne contient qu'une seule cellule facilement décelable par sa forme triangulaire pointue (figure 80, C et D).

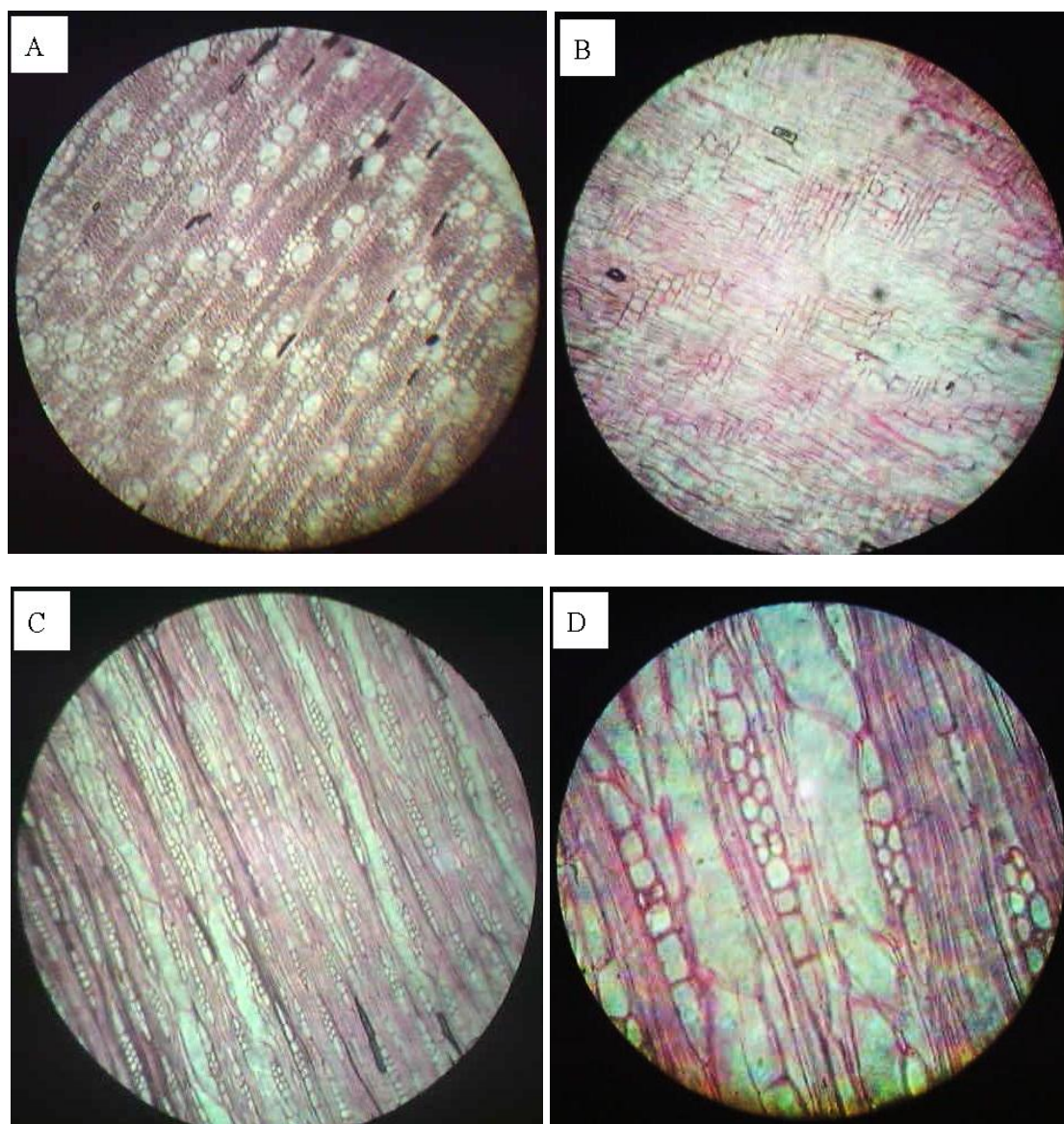


Figure 80: Section microscopique d'*Olea europaea* de la région du Rif.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx100);
(C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.2.1.2. *Olea europaea* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à bois homogène, à aubier et duramen distincts, d'une couleur jaune rosâtre pour l'aubier et brune très foncée pour le duramen, avec une proportion d'aubier importante par rapport au duramen. Les cernes annuels sont larges, inégaux et réguliers à contour circulaire, avec une limite non parallèle. Les rayons ligneux sont continus, fins et blancs apparent à la loupe de même que pour la section des pores (figure 81).



Figure 81: Bois d'oléastre « provenance du Moyen Atlas ».

(A): Ecorce; (B): Face transversale de la rondelle ; (C): Face tangentielle. (D): Face radiale

b. Description microscopique

C'est une espèce qui présente des pores de forme ovale, très petits et nombreux, dispersés d'une manière semi diffuse et disposés en files radiales de 2 à 4 cellules. Le parenchyme longitudinal paratrachéal circumvasculaire anastomosé, et apotrachéal dispersé (figure 82 A1 et A2). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont hétérogènes, larges et peu nombreux, uni et multi-sériés, les rayons unisériés sont composés de 8 cellules par hauteur du rayon ligneux et les multi-sériés sont composés de 2 cellules en largeur et de 8 à 15 cellules en hauteur (figure 82, B). Au niveau radial, nous remarquons des perforations uniques, les

cellules couchées centrales, les cellules marginales, hautes, dressées et carrées sont présentes (figure 82, C1 et C2).

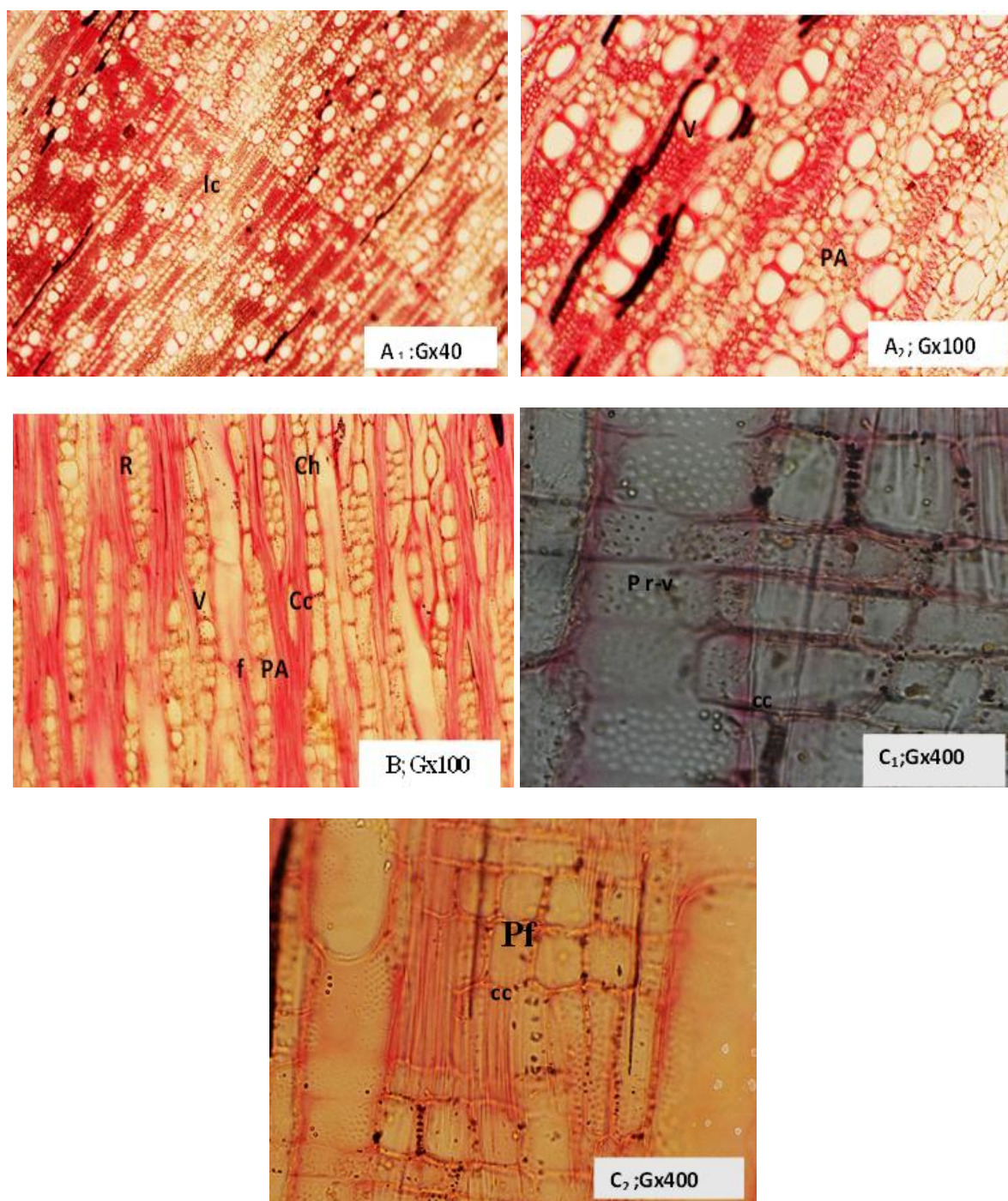


Figure 82: Section microscopique d'*Olea europaea* « provenance du Moyen Atlas »

(A₁ et A₂): Coupe transversale (Gx40 et Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx100);

(C₁ et C₂): Coupe radiale (Gx400).

V: vaisseau; *R*: rayon ligneux; *PA*: parenchyme axial; *Pr-v*: ponctuations rayon- vaisseau;

Pf: perforation; *f*: fibres; *cc*: champ de croisement; *Ch*: cellules hautes;

Cc: cellules courtes.

4.2.2.2. *Quercus rotundifolia* (chêne vert)

4.2.2.2.1. *Q. rotundifolia* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

Cette espèce est marquée par une écorce de couleur vert pâle et gris vert foncé à noirâtre chez les vieux sujets, elle présente un aspect crevassé et riche en tanins (figure 83 B). Le bois est très lourd d'une densité = 0,849. L'aubier et le duramen sont non distincts de couleur brune très claire. L'odeur du bois est faible. La section des pores est apparente à la loupe et celle des rayons ligneux à l'œil nu. Les accroissements annuels sont réguliers.

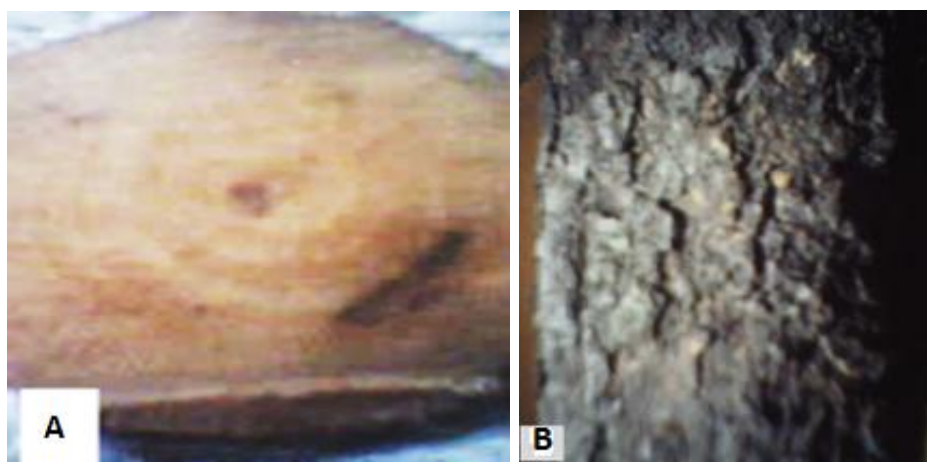


Figure 83: Bois du chêne vert de la région du Rif.
(A): Face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, l'observation de la structure du bois de cette espèce montre des pores peu nombreux, répartis d'une manière semi diffuse, avec présence des thylls (figure 84, A). La partie radiale du chêne vert se distingue par le type de perforation des vaisseaux qui sont des perforations en réseaux, et par l'abondance du parenchyme axial. Les cellules couchées et les cellules dressées sont présentes (figure 84, B). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes et unisériés, chaque rayon renferme des cellules de formes rectangulaires de l'ordre de 19 cellules, la seule particularité décelée à ce niveau est la présence de grands rayons compacts (figure 84 C et D).

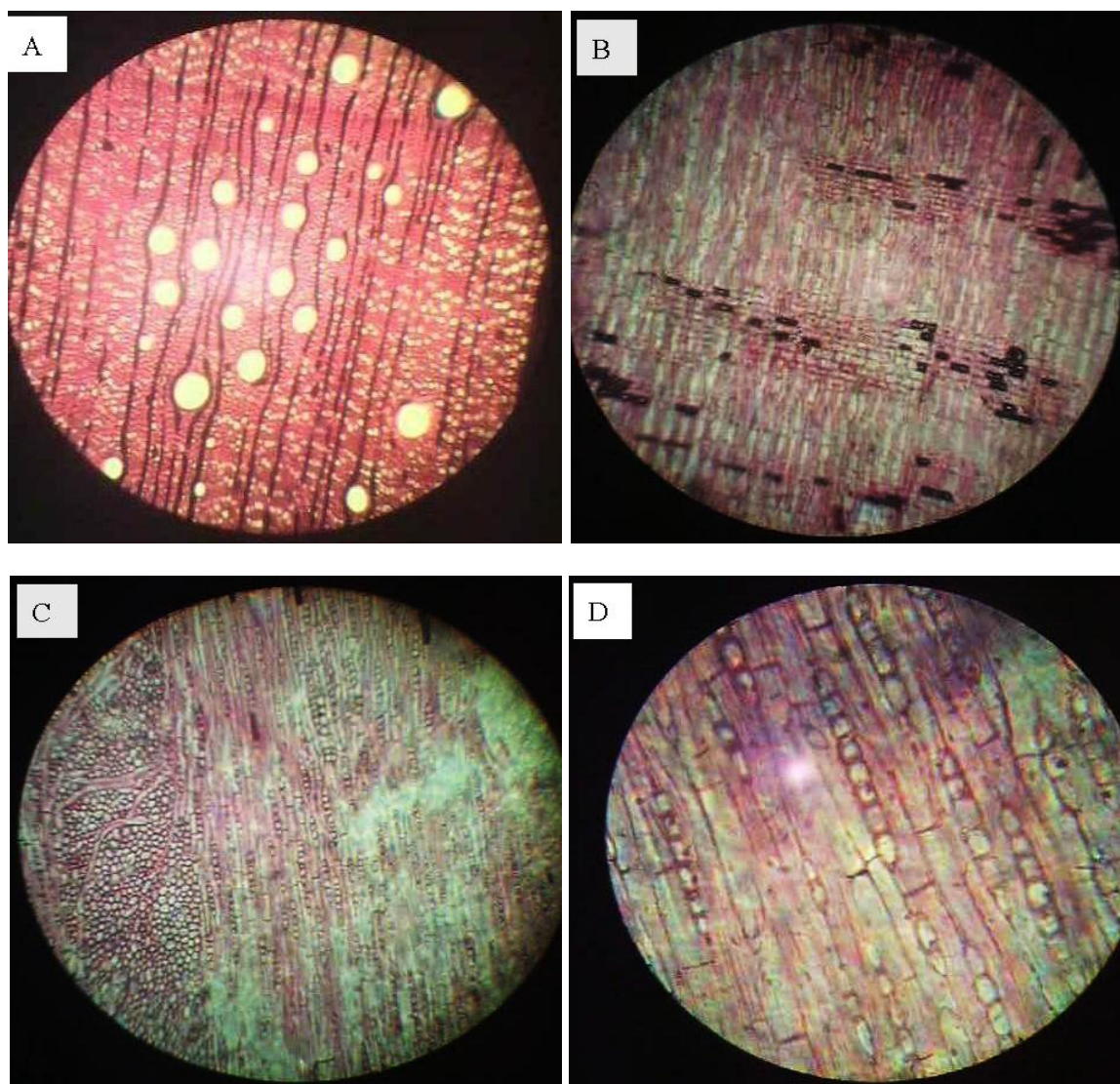


Figure 84: Section microscopique du chêne vert du Rif.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx100);
 (C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.2.2.2. *Q. rotundifolia* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à aubier et duramen peu distincts, d'une couleur blanche pour l'aubier et jaune brun pour le duramen, avec une proportion du duramen plus importante que celle de l'aubier. Les cernes annuels sont inégaux, larges, réguliers et à contour sinueux, avec une limite non parallèle. Les rayons ligneux sont plus foncés que les autres tissus et sont apparents à la loupe de même pour la section des pores (figure 85).



Figure 85: Bois du chêne vert du Moyen Atlas

(A): Ecorce; (B): Face transversale de la rondelle.

b. Description microscopique

C'est une espèce qui présente de gros pores de section ovale, peu nombreux, presque toujours isolés, comportant parfois des thylles et dispersés d'une manière semi diffuse (figure 86 A et A1). La limite des cernes n'est visible que par la différence de diamètre des pores du bois initial et du bois final. Le Parenchyme juxtavasculaire et apotrachéal sont présents en couches. Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont fins, homogènes de deux type unisériés et multisériés, d'une hauteur de l'ordre de 8 à 18 cellules par unité de hauteur du rayon ligneux (figure 86 B et B1) ; Au niveau radial, nous remarquons des perforations simples, les fibres libriformes sont présentes, les Ponctuations rayon-vaisseau sont simples, à ouvertures grandes et orientées verticalement, le parenchyme axial est présent (figure 86 C, C1 et C2).

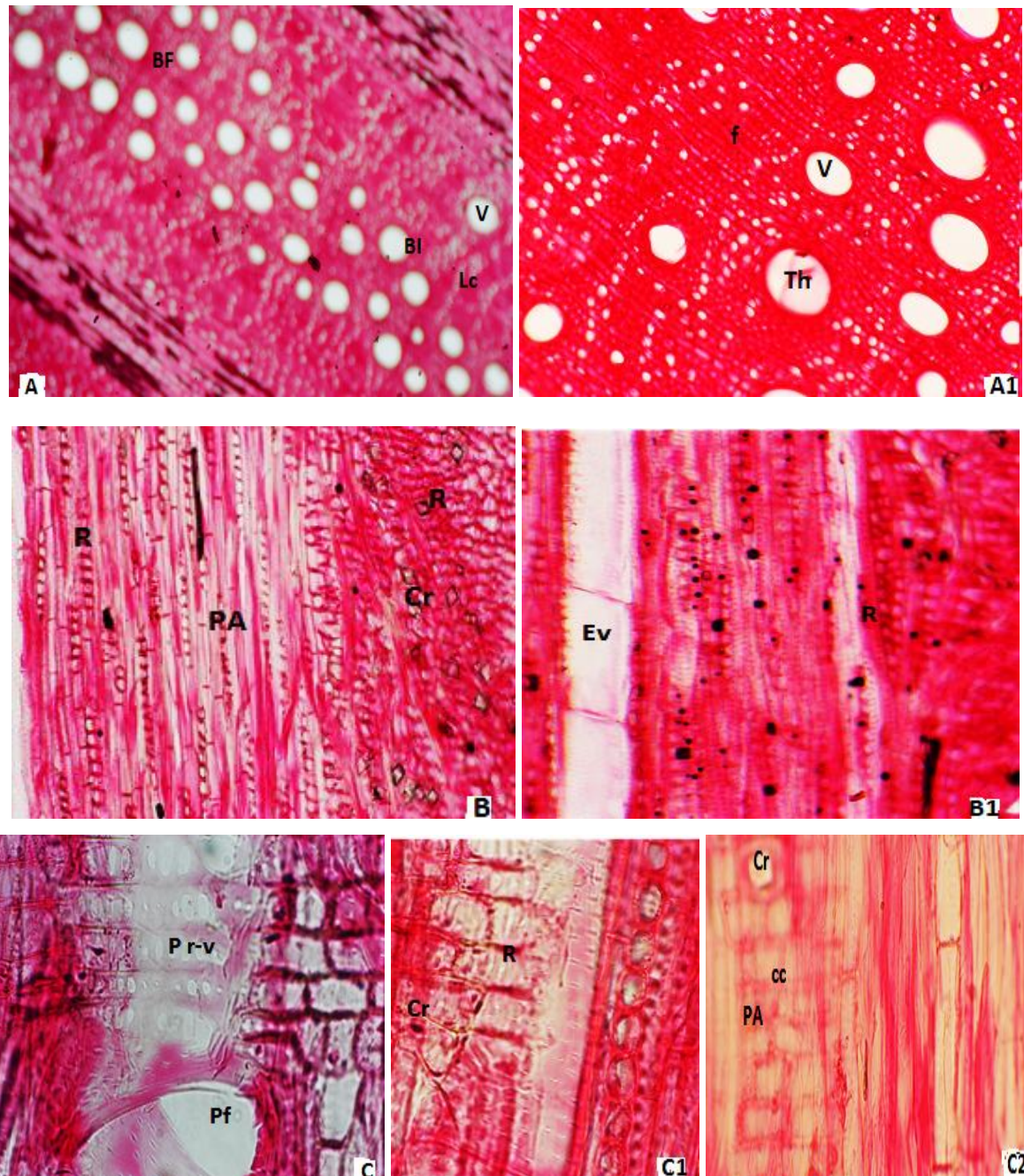


Figure 86: Section microscopique du chêne vert du Moyen Atlas.

(A1 et A2): Coupes transversales (Gx100); (B et B2): Coupes tangentielles (Gx100);

(C, C1 et C2): Coupes radiales (Gx400).

V: vaisseau; lc: limite de cernes; R: rayon ligneux; PA: parenchyme axial; Pr-v: ponctuations rayon- vaisseau; Pf: perforation unique; cr :cristaux ; BF :bois initial ;BF :bois final; Lc: limite de cernes; R: rayon ligneux; PA: parenchyme axial; Pr-v: ponctuations rayon- vaisseau; Th: thylles; Pf:perforation unique ; cr :cristaux ; fl :fibre libriforme; BI :bois initial ;BF :bois final; cc: champ de croisement

4.2.2.3. *Quercus faginea* (chêne zéen)

4.2.2.3.1. *Quercus faginea* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à écorce sombre, d'une couleur grise verdâtre et qui peut se fissurer en lanières (figure 87, B). Le bois est très lourd d'une densité basale de 0,868. L'aubier et le duramen sont légèrement distincts d'une couleur brune claire pour l'aubier et brune foncée pour le duramen ; les accroissements annuels sont apparents à l'œil nu et réguliers de même pour rayons ligneux ; la section des pores est apparente à la loupe.



Figure 87: Bois du chêne zéen du Rif.

(A): Face transversale de la rondelle; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, le bois du Chêne zéen révèle une structure assez typique et remarquable par rapport à celle du chêne vert. Ceci se manifeste par le fait que cette structure se distingue largement par ses pores nombreux, de gros calibre, répartis en zones poreuses et disposés radialement. Les thylls sont abondants et le parenchyme paratrachéal présent entourant les vaisseaux (figure 88, A). Au niveau radial, la présence du parenchyme axial et les cellules couchées est remarquable de même pour les cellules dressées (figure 88, B). Au niveau tangentiel, nous constatons la présence de trois types de rayons ligneux: des rayons unisériés nombreux, d'autres bisériés mais moins fréquents que les unisériés et les rayons multisériés. Les deux types de rayons ligneux sont homogènes composés chacun de cellules de forme arrondie allant de 3 à 10 cellules par hauteur du rayon. Les grands rayons compact sont présents interrompu par d'autres multi-sériés intermédiaires (figure 88 C et D).

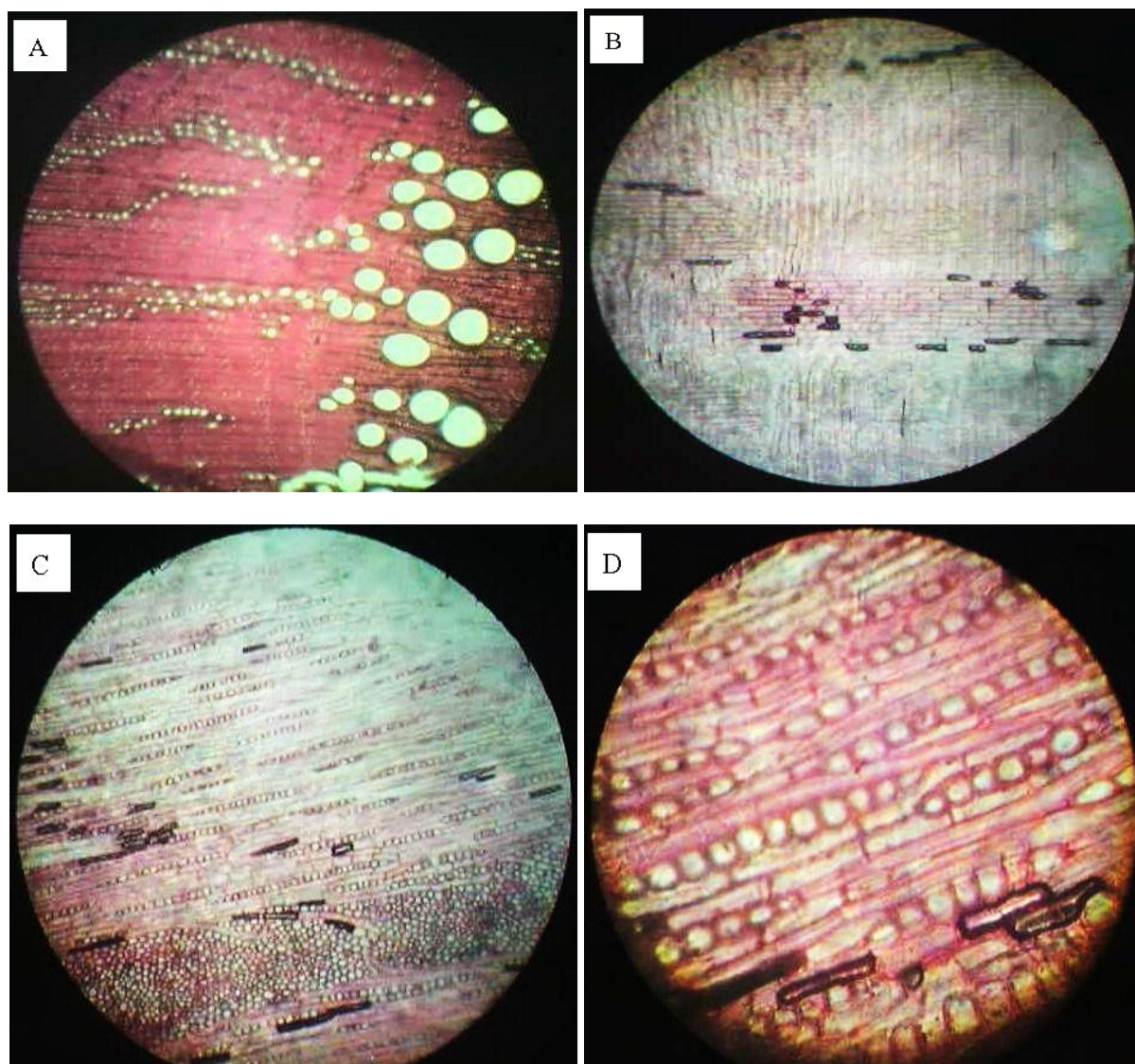


Figure 88: Section microscopique du chêne zéen de la région du Rif.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx100);
 (C): Coupe tangentielle (Gx100) ; (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.2.3.2. *Quercus faginea* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à aubier et duramen légèrement distincts, d'une couleur blanche grisâtre pour l'aubier et blanche pour le duramen, avec une proportion du duramen plus importante que celle de l'aubier. Les cernes annuels sont de largeur moyenne, un peu inégaux, réguliers, à contour peu flexueux, avec une limite non parallèle. Les rayons ligneux sont blancs et plus clairs que les autres tissus, ils sont gros ou fins, discontinus et un peu flexueux apparents à l'œil nu.

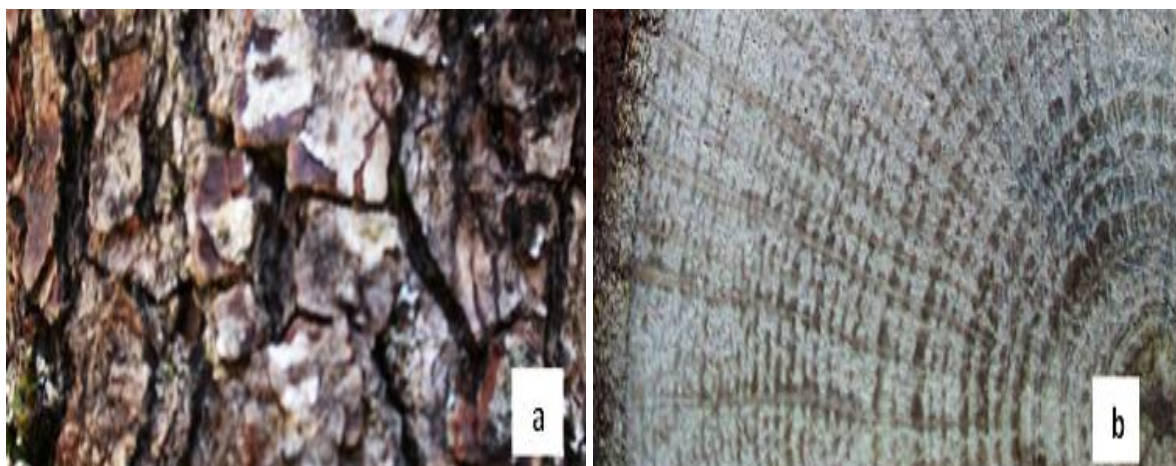


Figure 89: Bois du Chêne zéen du Moyen Atlas:

(A): Ecorce; (B): Face transversale de la rondelle.

b. Description microscopique

C'est une espèce à bois hétérogène qui présente des pores très gros, de section ronde, moyennement nombreux, isolés et comportant des thylles répartis en zones poreuses. Les vaisseaux du bois d'été sont disposés en flammes radiales ou en lignes radiales et flexueuses. Le parenchyme longitudinal paratrachéal est aliforme anastomosé et apotrachéal, dispersé en couches. La limite des cernes est visible grâce à la différence importante du diamètre des pores du bois initial et du bois final (figure 90 A et A1). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes, unisériés et multi-sériés. Les rayons unisériés sont composés de 08 à 12 cellules par hauteur du rayon ligneux et les multi-sériés sont larges et hauts de 15 à 20 cellules (figure 90, B). Au niveau radial, nous remarquons des perforations simples avec la présence d'un parenchyme axial et radial qui est lisse, les ponctuations rayon-vaisseau sont nombreuses, simples et à ouvertures grandes orientées horizontalement (figure 90 C1, C2 et C3).

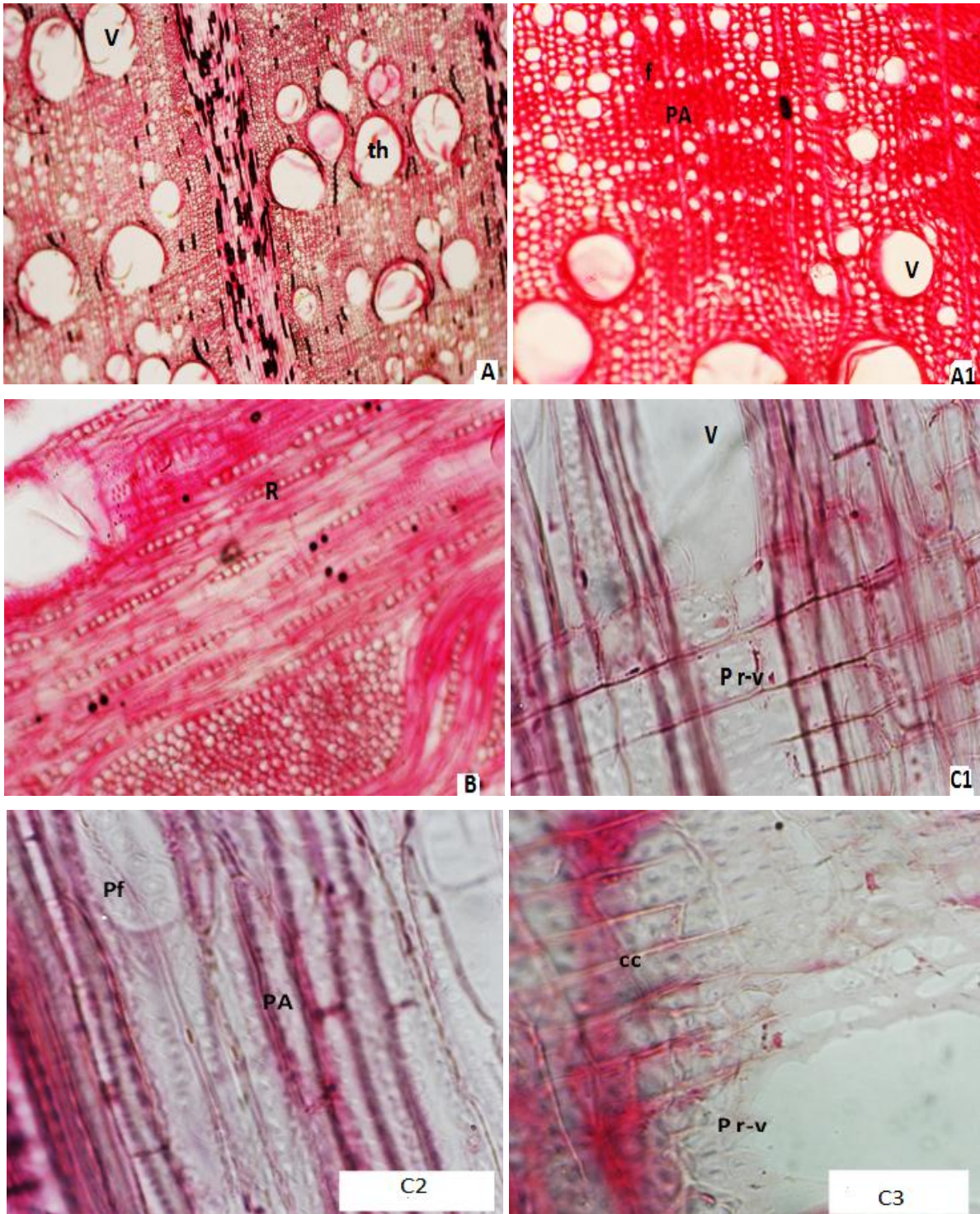


Figure 90: Section microscopique du chêne zéen du Moyen Atlas.

(A1) et (A2): Coupes transversales (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx100) ;

(C1), (C2) et (C3): Coupes radiales (Gx400)

V: vaisseau; R: rayon ligneux; Pr-v: ponctuations rayon- vaisseau; PA: parenchyme axial;

Pf: perforation; th: thylles; f: fibres; cc: champ de croisement.

4.2.2.4. *Ceratonia siliqua* (caroubier)

4.2.2.4.1. *Ceratonia siliqua* "Provenance du Rif"

a. Description macroscopique

C'est une espèce qui possède une écorce mince, rugueuse et dure. Le bois est très lourd d'une densité basale de 0,787, à odeur faible et à aubier et duramen non distincts, de couleur brun jaunâtre ; les accroissements annuels sont apparents à l'œil nu et irréguliers. La section des pores et celle des rayons ligneux sont non apparentes (figure 91).

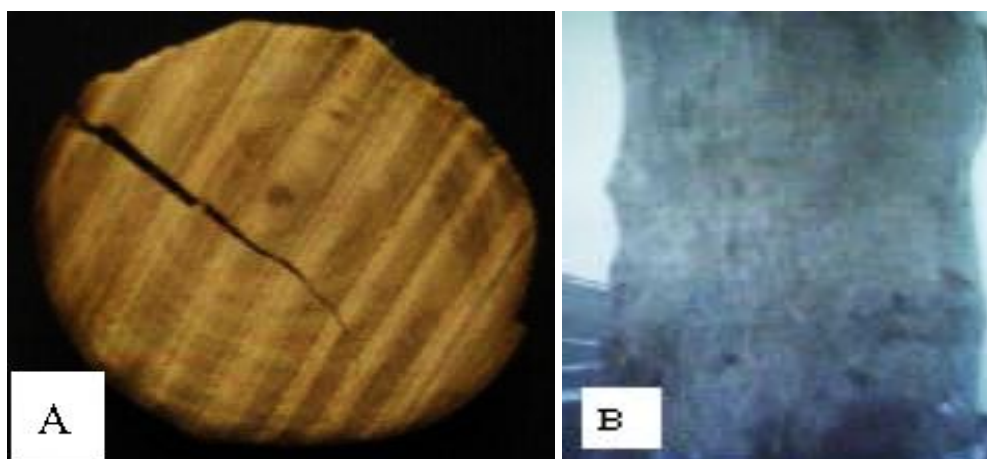


Figure 91: Bois du caroubier du Rif

(A): Face transversale de la rondelle ; (B): Ecorce.

b. Description microscopique

Au niveau transversal, l'observation de la structure du bois du caroubier, montre une répartition des pores d'une manière diffuse, ces derniers peu nombreux sont localisés et groupés par unité de 2, 3 jusqu'à 5 pores. L'absence des thylles est nettement décelée alors que le parenchyme paratrachéal entoure complètement certains vaisseaux (figure 92, A). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes, deux sortes de rayons ligneux sont présents: les rayons bisériés et les rayons multisériés alors que les rayons unisériés sont totalement absents. Chaque rayon (figure 92 B et C) est composé de cellules de formes arrondies d'un nombre de 5 à 30 cellules par hauteur du rayon et trois à quatre cellules par largeur du rayon (le cas des rayons ligneux multisériés). L'analyse de la coupe radiale montre la présence des cellules couchées et du parenchyme axial, les perforations qui réunissent les éléments du vaisseau sont simples et les cellules dressées sont présentes.

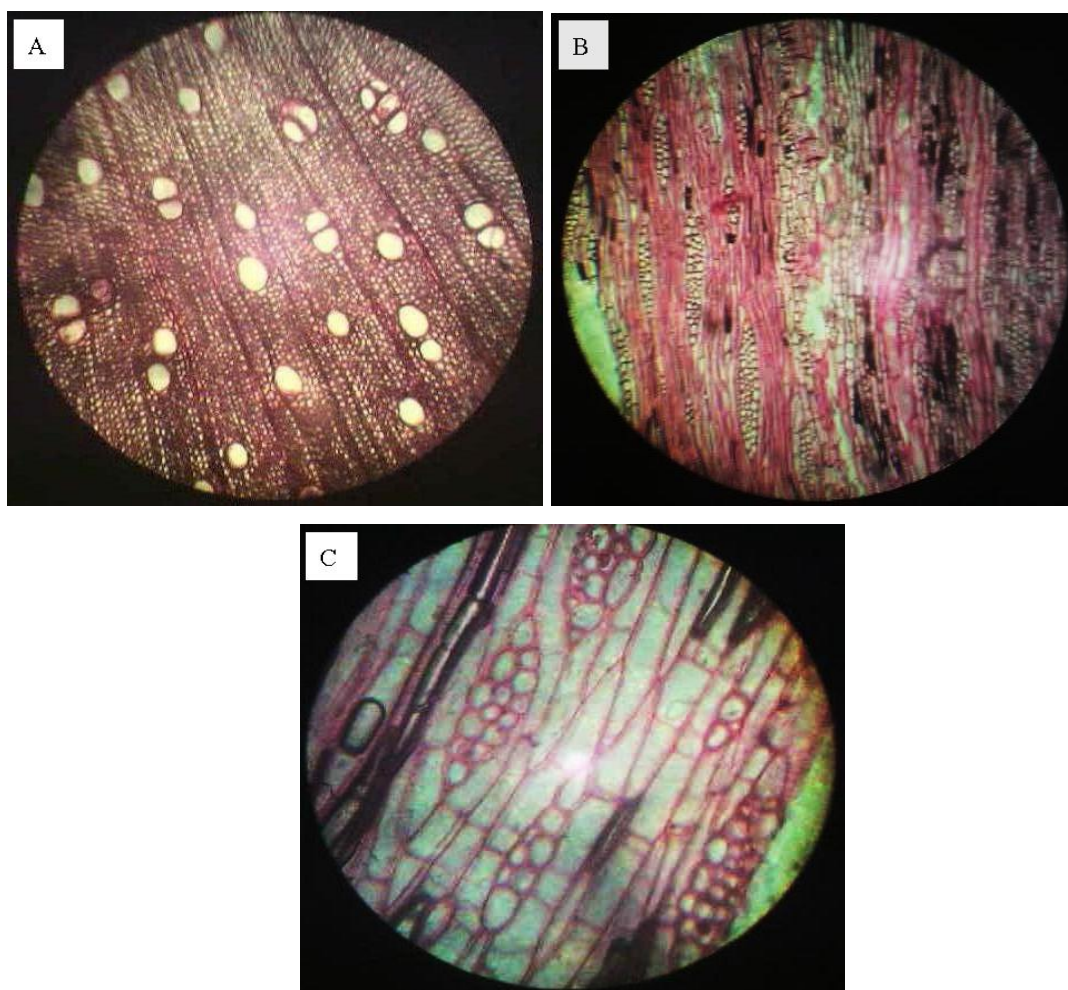


Figure 92: Section microscopique du caroubier du Rif.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx100);
(C): Coupe tangentielle (Gx200).

4.2.2.4.2. *Ceratonia siliqua* "Provenance du Moyen Atlas"

a. Description macroscopique

C'est une espèce à aubier et duramen légèrement distincts, d'une couleur blanche jaunâtre pour l'aubier et brun rougeâtre pour le duramen, avec une proportion du duramen plus importante que celle de l'aubier. Les cernes annuels sont de largeur moyenne à contours flexueux, inégaux et réguliers, avec une limite non parallèle. Les rayons ligneux sont flexueux, jaunes et discontinus, d'une couleur similaire à celle de la matrice, ce qui les rend peu visibles.

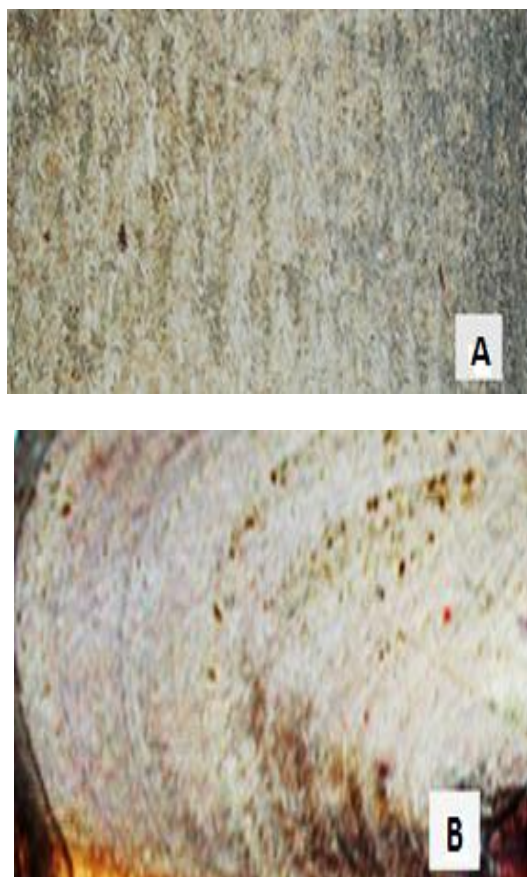


Figure 93: Bois du caroubier du Moyen Atlas.

(A): Ecorce; (B): Face transversale de la rondelle.

b. Description microscopique

C'est une espèce à bois homogène qui présente des pores de taille moyenne, de forme circulaire ou ovale, répartis d'une manière semi diffuse, isolés ou groupés par 2 ou 3 en files radiales. Le parenchyme longitudinal paratrachéal aliforme et apotrachéal en bandes (figure 94 A et A1). La limite des cernes n'est pas facilement reconnaissable. Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont de deux types homogènes et hétérogènes, unisériés et multi-sériés. Les rayons multi-sériés sont larges de 3 à 5 cellules et hauts de 6 à 20 cellules. Ces rayons ligneux sont à extrémité aigüe (figure 94, B). Au niveau radial, nous remarquons la présence de cellules couchées et dressées courtes et de cellules carrées (figure 94 C, C1 et C2).

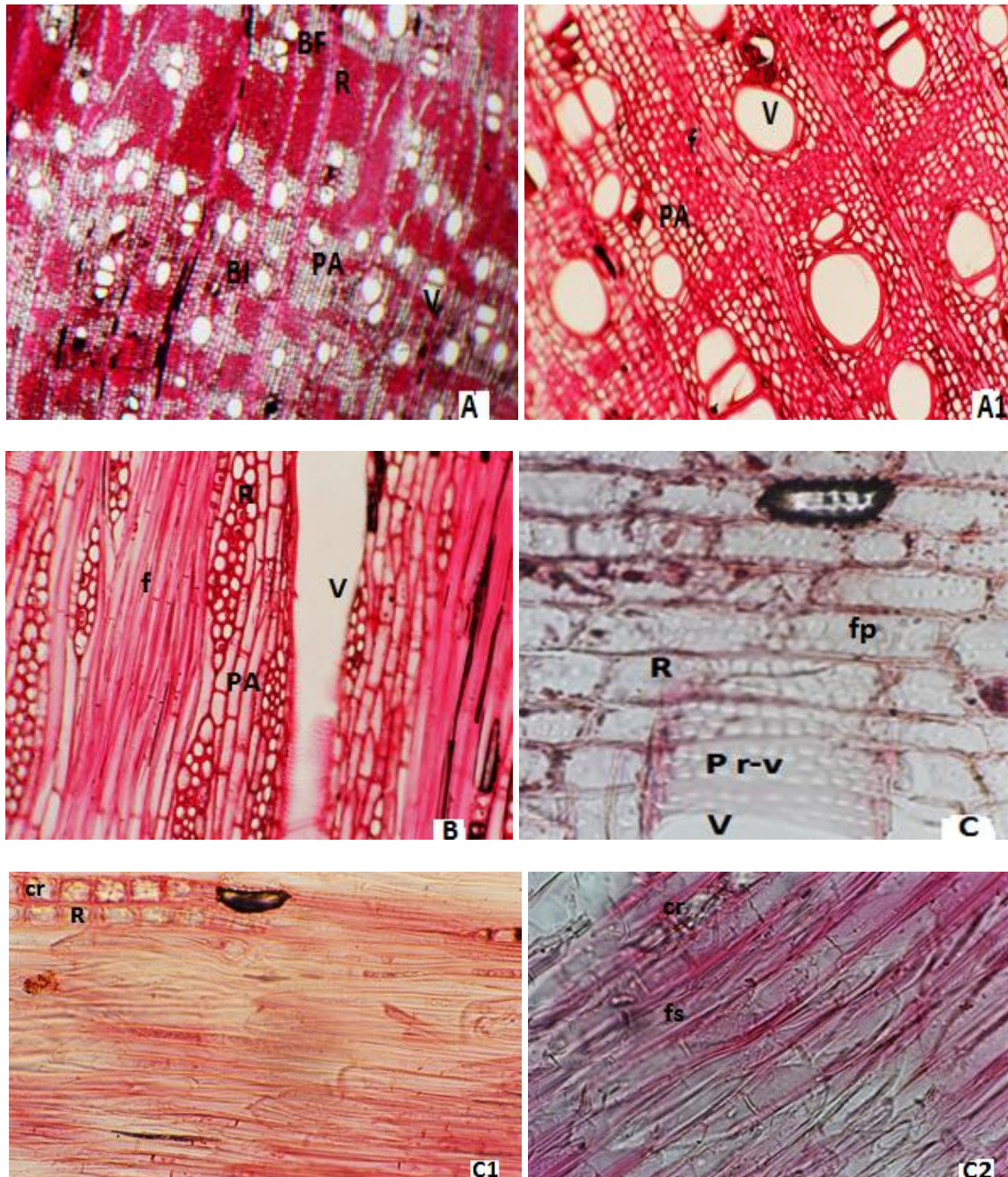


Figure 94: Section microscopique du caroubier du Moyen Atlas.

(A) et (A1): Coupes transversales (Gx40 et Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx100);

(C), (C1) et (C2): Coupe radiale (Gx200).

BI: bois initial; BF: bois final; V: vaisseau; R: rayon ligneux; PA: parenchyme axial;

Pr-v: ponctuations rayon- vaisseau; fp: fines ponctuations du parenchyme;

cc: champ de croisement; f: fibres; fs: fibres septées; cr: cristaux.

4.3. INTERPRETATION DES ETUDES MACROSCOPIQUES ET MICROSCOPIQUES DES BOIS RESINEUX

Au niveau macroscopique, nous constatons qu'à part le *Pinus halepensis*, toutes les essences résineuses présentent un aubier et duramen distincts. La seule différence se manifeste au niveau de la couleur du bois. Ce dernier caractère est relativement difficile à définir avec précision étant donné les diverses causes responsables de sa variation comme l'évolution avec l'âge, l'influence de la station, les anomalies éventuelles...etc. Concernant les accroissements annuels, l'étude comparative de la face transversale des rondelles de bois a révélé que toutes les essences étudiées présentent des cernes annuels visibles à l'œil nu. Les cernes sont repartis d'une manière régulière pour la plupart des espèces résineuses en provenance du Moyen Atlas (MA) à l'exception du thuya, et d'une manière irrégulière pour les espèces en provenance du Rif, excepté les deux espèces du genre *Pinus* à cernes réguliers. Ce dernier caractère permet de subdiviser les espèces étudiées en deux groupes (à cernes réguliers et irréguliers). Nous pouvons considérer les cernes, comme un critère sur lequel on peut s'appuyer pour mettre en évidence l'effet des conditions climatiques sur la structure anatomique des bois résineux étudiés car c'est un caractère qui dépend strictement des conditions écologiques qui règnent dans la station à l'intérieur de laquelle l'espèce s'est développée. Ces conditions qui pourraient varier d'une année à l'autre au sein de la même région et qui serviraient parfois à déterminer la provenance de l'échantillon étudié. Pour les canaux résinifères, nous constatons que seul le cèdre originaire du Moyen atlas et les espèces similaires qui appartiennent au genre *Pinus* présentent des canaux résinifères apparents à la loupe. Pour les rayons ligneux, nous remarquons qu'à part le thuya originaire du Rif, le cèdre et le pin d'Alep originaires du Moyen atlas qui montrent des rayons ligneux à peine visibles à l'œil nu. Toutes les autres espèces nécessitent une observation à la forte loupe pour déceler ce caractère. Concernant la section des trachéides, elle permet de trancher entre un bois résineux et un bois feuillus.

Au niveau microscopique, le plan ligneux du cèdre de la provenance du Moyen Atlas, présente presque les mêmes caractéristiques anatomiques que le cèdre étudié de la région du Rif. La seule différence se manifeste dans la présence des canaux résinifères traumatiques, et le type de ponctuation du champ de croisement localisé au niveau radial du cèdre de la région du Moyen Atlas. Cette variabilité intra-spécifique inscrite au sein du bois de cette espèce pourrait être expliquée par des facteurs internes (âge, ...), et par des facteurs externes comme le climat (perhumide dans le Rif et Méditerranéen humide à variante froide dans le Moyen

atlas; le Rif est plus arrosé que le Moyen atlas: 1800 contre 860 mm/ an), l'altitude et la latitude, le sol, la position de l'arbre dans le peuplement ainsi que le traitement sylvicole.

L'étude comparative du bois du genévrier oxycèdre révèle que les échantillons récoltés du Rif et du Moyen atlas, présentent un plan ligneux assez similaire, avec une différence qui se manifeste au niveau transversal. Le genévrier originaire du Rif est marqué par un passage brutal du bois initial au bois final, contrairement à celui de la provenance du Moyen atlas. Cette variabilité anatomique inscrite au sein de ces deux échantillons appartenant à la même espèce pourrait être expliqué par une reprise brutale de l'activité cambiale, due aux facteurs écologiques propres à la station, facteurs externes comme le bioclimat (humide dans le Rif et semi-aride à variante Tempérée dans le MA) ainsi que les quantités des précipitations reçues au cours de l'année, avec une moyenne de précipitation annuelle de 1100mm dans le Rif contre 442mn dans Moyen atlas, s'ajoute à cela la nature de substrat calcaire dans le Rif et dolomie et basalte au niveau du moyen atlas.

Concernant le Thuya: le plan ligneux de ce résineux de la provenance du Moyen Atlas, il présente presque les mêmes caractéristiques anatomiques que celui de la région du Rif. La seule différence se manifeste au niveau radial, et précisément dans le type de ponctuations du champ de croisement, qui sont piceoïdes au niveau de Thuya de la provenance du Rif et cupressoïde au niveau de l'échantillon du Moyen atlas. De même pour cette essence, cette variabilité est due aux facteurs environnementaux propres à la station et qui se manifestent dans les conditions climatiques: subhumide dans le Rif et semi-aride à variante tempérée dans le Moyen atlas sans oublier la nature du substrat.

Le cas du pin d'Alep est similaire à celui du genévrier oxycèdre. La différence se manifeste au niveau transversal. Le plan ligneux du *Pinus halepensis* de la provenance du Moyen atlas montre un passage brutal du bois initial au bois final, contrairement à celui de la région du Rif, qui montre un passage progressif. Cette variabilité anatomique inscrite au sein de ces deux échantillons appartenant à la même espèce, est expliquée par une reprise brutale de l'activité cambiale, due aux facteurs écologiques propre à la station, notamment les facteurs exogènes concernant la nature du substrat (calcaire dans le Rif, dolomie et basalte dans le MA). La moyenne annuelle de précipitation dépasse les 1400 mn dans le Rif et se limite à 440 mm dans le Moyen atlas à bioclimat semi-aride à variante tempérée.

Concernant le *Pinus pinaster*, le plan ligneux de l'espèce issue du Moyen Atlas, présente presque les mêmes caractéristiques anatomiques que celle récolté de la région du Rif. La seule différence se manifeste au niveau radial, dans le type de ponctuation du champ de croisement. Ces dernières sont piceoïdes au niveau de l'échantillon en provenance du Rif et pinoides au

niveau de celui de la provenance du Moyen atlas. Et comme dans le cas expliqué pour le Thuya, cette variabilité est due aux facteurs environnementaux propres à la station, variabilité liée aux conditions climatiques: humide dans le Rif, et semi-aride à variante tempérée dans le Moyen atlas en plus de la nature du substrat, sans oublier la position de l'arbre dans le peuplement et le traitement sylvicole.

4.4. INTERPRETATION DES ETUDES MACROSCOPIQUES ET MICROSCOPIQUES DES BOIS FEUILLUS

Au niveau macroscopique, l'observation des faces transversales des échantillons des espèces étudiées permet de constater que toutes les essences originaires du Moyen Atlas présentent un aubier et un duramen distincts, à l'opposé de celles originaires du Rif et le cas de *Quercus faginea*. Cet aubier est non durable, généralement de couleur claire, moins foncée que le duramen et facilement dégradé par les champignons lignivores et les larves d'insectes xylophages. Il est imprégnable, ce qui permet de lui conférer une durabilité artificielle qui autorise son emploi dans certains usages. En ébénisterie et menuiserie à base de feuillus, l'aubier est généralement éliminé pour des raisons esthétiques par motif de différence de couleur avec le duramen. Concernant les accroissements annuels, l'observation de la face transversale des rondelles du bois des essences découpées révèle que l'ensemble des espèces feuillues étudiées présentent des cernes visibles à l'œil nu, excepté le caroubier. L'analyse de la régularité de ces cernes montre que toutes les espèces feuillues en provenance du Moyen atlas présentent sans exception des accroissements annuels réguliers. Cette régularité est en relation étroite avec les paramètres écologiques du milieu de vie des arbres étudiés tels que : la sylviculture appliquée au peuplement ainsi que les conditions climatiques. Il est à noter que la notion de cerne de croissance permet un langage commun entre les sylviculteurs et les utilisateurs du bois. Les premiers cherchent, pour des raisons économiques, à produire du bois le plus rapidement possible, ce qui implique la formation de cernes larges, alors que les seconds, sont attentifs aux caractéristiques mécaniques et dès lors recherchent des bois à cernes étroits. Dans le cas de la densité basale, nous remarquons que tous les échantillons issus du Rif sont caractérisés par un bois lourd. Pour les rayons ligneux, nous constatons que seules les deux espèces appartenant au genre *Quercus* présentent des rayons ligneux bien visibles à l'œil nu tandis que chez les autres espèces les rayons ligneux sont soit décelables à la loupe ou bien non apparents. Tel est le cas du caroubier dont les rayons ligneux ont un rôle important en matière d'esthétique. En effet, ils présentent souvent une différence de couleur et d'éclat par rapport aux autres tissus adjacents, cette différence est plus marquée en section

radiale. Leur figuration à la surface du bois des essences feuillues est tantôt recherchée, tantôt peu appréciée. Elle est parfois plus claire, parfois plus foncée que celle du reste du bois. Leur éclat en section radiale est presque toujours plus brillant que celui du reste du bois. Pour les pores, nous constatons qu'à part le caroubier, les autres espèces feuillues étudiées montrent des pores visibles à la loupe. Ce dernier caractère permet de nous renseigner sur les conditions pluviométriques caractérisant les régions de production.

Au niveau microscopique, l'oléastre en provenance du Rif partage presque les mêmes caractéristiques anatomiques que celle de la provenance du Moyen Atlas, avec un plan ligneux presque similaire. La seule variation se manifeste au niveau transversal, marquée par l'absence du parenchyme apotrachéal chez l'*O.europaea* de la région du Rif, et la présence de ce parenchyme réparti d'une manière dispersée au niveau de celle récolté du Moyen atlas. Le parenchyme est un tissu de réserve des hydrates de carbone permettant leurs redistributions. Il semble jouer un rôle dans les propriétés et le comportement du matériau-bois, mais reste encore méconnu à ce jour. La variabilité anatomique présente au sein de ces deux échantillons appartenant à la même espèce, peut être tributaire des facteurs environnementaux (sol argileux au niveau du Rif et calcaire au niveau du MA, précipitation annuelles et bioclimat) liés à la provenance de cette espèce.

Le Chêne vert provenant du Rif présente un plan ligneux presque similaire à celui récolté de la région du Moyen atlas. La seule différence réside dans le type des perforations. Ces dernières sont en réseaux au niveau du chêne du Rif, et simple au niveau du chêne de la provenance du Moyen atlas, étant donné que les stations de récolte des échantillons étudiés partagent presque les mêmes conditions bioclimatiques, à l'exception de la quantité de précipitations annuelles (le Rif est plus arrosé que le moyen atlas). La variabilité présente au sein de ces deux échantillons appartenant à la même espèce de provenance précitée, pourrait être tributaire des facteurs anthropiques tels que : le traitement sylvicole, l'intensité d'éclaircie, la fertilisation, etc.

Le chêne zéen en provenance du Rif, partage presque les mêmes caractéristiques anatomiques que celui de la provenance du Moyen atlas, avec un plan ligneux presque similaire. Les seules variations se manifestent au niveau tangentiel dans la hauteur des rayons ligneux. On pourrait conclure que la variabilité anatomique inscrite au sein de ces deux échantillons appartenant à la même espèce, peut être due aux facteurs écologiques propres à la station, variabilité liée aux conditions climatiques (perhumide dans le Rif et Méditerranéen humide à variante froide dans le MA). La moyenne des précipitations annuelle dépasse les 1600mm dans le Rif contre 860mm dans Moyen atlas et la nature du substrat (calcaire dans le

MA et grés au niveau du Rif) sans oublier la position de l'arbre dans le peuplement et le traitement sylvicole.

Le caroubier en provenance de la région du Rif, présente les mêmes caractéristiques anatomiques que celui de la région du Moyen atlas. La seule différence réside dans la répartition des pores au niveau transversal; dans le cas de cette essence, les deux stations de récolte partagent les mêmes conditions bioclimatiques. Cette variabilité intra-spécifique constatée au niveau du bois de ces deux échantillons, est expliquée par des facteurs internes (modifications anatomiques avec l'âge marquées par la présence de thylls, qui sont nombreux au niveau du caroubier de la région du Rif, ...), variabilités anatomiques liées aux conditions de croissance, à la nature du sol (argileux dans le MA et calcaire dans le Rif) ainsi que le traitement sylvicole.

Conclusion :

D'une manière général, les résultats émanant de cette première partie expérimentale du travail, permettent de conclure d'une part que le plan ligneux du bois des essences étudiées reste constant, quel que soit le type de provenance, qui est la conséquence génétique de l'espèce, et d'autre part que la variabilité constatée entre les provenances des essences similaires étudiées, est une caractéristique inhérente au matériau-bois. Elle est influencée par des facteurs endogènes liés à l'essence elle-même (l'âge, la phénologie de l'arbre, le type de peuplement, la fructification, la quantité et la qualité des semences, le pouvoir de dissémination, la capacité de germination, etc.) et par des facteurs exogènes qui sont liés à l'environnement de l'espèce d'une manière générale. Ces facteurs peuvent être rangés en deux catégories: les facteurs abiotiques tels que le climat régional, le substrat géologique, l'exposition, l'altitude et la latitude, la pente, la position de l'arbre dans le peuplement, ainsi que les conditions édaphiques (type de sol, traitement sylvicole, litière, tassement, profondeur...etc.) et les facteurs biotiques de l'environnement qui sont représentés par les différents prédateurs dont les insectes, les oiseaux, les rongeurs, les mammifères sauvages, l'homme et ses troupeaux. Cette variabilité, affecte au niveau de la macrostructure: la régularité et la largeur des cernes, la couleur du duramen, l'odeur et la densité alors que sur le plan microscopique :

- Chez les essences résineuses étudiées, la différence réside surtout dans le passage brutal du bois initial au bois final, dans le cas du genévrier oxycèdre et *Pinus halepensis*, la hauteur des rayons ligneux en section tangentielle, la présence des canaux résinifères

traumatiques, au niveau du cèdre du Moyen Atlas et le type des ponctuations du champ de croisement observées au niveau radial chez *Pinus pinaster* et le thuya.

- Chez les essences feuillues étudiées, la différence réside surtout dans la répartition des pores au niveau transversal, observé chez le caroubier, la hauteur et la forme des rayons ligneux en section tangentielle, ainsi que la présence des rayons multi-sériés et le type de perforation observé au niveau radial du chêne vert.

4.5. Etude macroscopique spécifique du bois du tronc de thuya et de la loupe

Les caractères macroscopiques du bois de la loupe et du bois de tronc du thuya sont regroupés dans les tableaux 6 et 7 ci-dessous.

Tableau 6: Quelques caractères macroscopiques du bois de la loupe et du bois de tronc de thuya.

Type de bois	Aspect	Aubier (A.)	Duramen (D.)	Couleur	Odeur
<i>Bois de tronc</i>	Futaie	Distinct		(A.) : Brun claire (D.) : Marron foncé	Forte
<i>Bois de la loupe</i>	Amorphe	Non distinct		Brun foncé	Résineuse forte

Tableau 7: Etude macroscopique de la face transversale d'une rondelle du bois de thuya et du plateau de la loupe

Type de bois	Cernes annuels	Rayons ligneux	Canaux résinifères	Section des trachéides
<i>Bois de tronc</i>	Irréguliers et visibles à l'œil nu	Apparents à l'œil nu	Non apparents	Apparente à la loupe
<i>Bois de la loupe</i>	Irréguliers, très fins et visibles à l'œil nu			

D'après les caractères décelés à l'échelle macroscopique (Tab.6 et 7), nous constatons que le bois de la loupe et le bois du tronc de thuya, partagent presque les mêmes caractéristiques. Les différences se manifestent dans l'aubier et le duramen visibles au niveau du tronc de l'arbre producteur de cette excroissance, ainsi que la forme générale du tronc, comparé à

l'aspect externe de la loupe, qui présente une structure amorphe et une odeur résineuse forte assez remarquable.

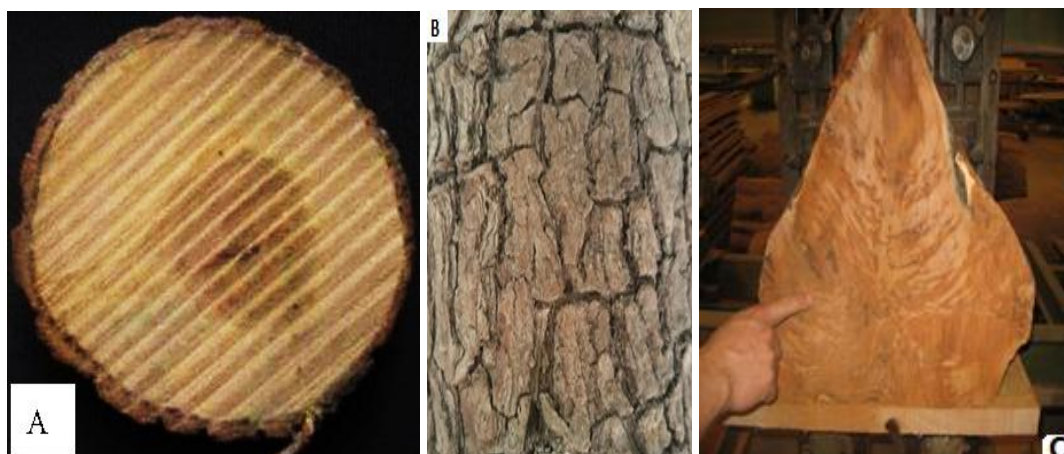


Figure 95: Bois du tronc de thuya.

(A): face transversale de la rondelle; (B): Ecorce; (C): Loupe de thuya.

4.6. Etude microscopique spécifique du bois du tronc de thuya et de la loupe

4.6.1. Bois du tronc

Au niveau transversal, la structure du bois de thuya est tout aussi simple. Elle est marquée par une brutalité du passage du bois initial vers le bois final, avec absence des canaux sécréteurs verticaux (figure 96, A). Au niveau radial, le champ de croisement montre des ponctuations de petites tailles, piceoïdes, décelables uniquement au fort grossissement. Chaque cellule du champ renferme 01, 02 jusqu'à 04 ponctuations disposées en deux étages (figure 96, B). Au niveau tangentiel, la structure du bois du thuya s'individualise par la présence de deux sortes de rayons ligneux: des rayons unisériés et des rayons bisériés. Ces derniers sont homogènes composés de cellules arrondies de l'ordre de 2 à 14 cellules par hauteur du rayon, à noter que les rayons bisériés sont moins fréquents que les rayons unisériés. Les canaux résinifères horizontaux sont pratiquement absents (figure 96, C et D).

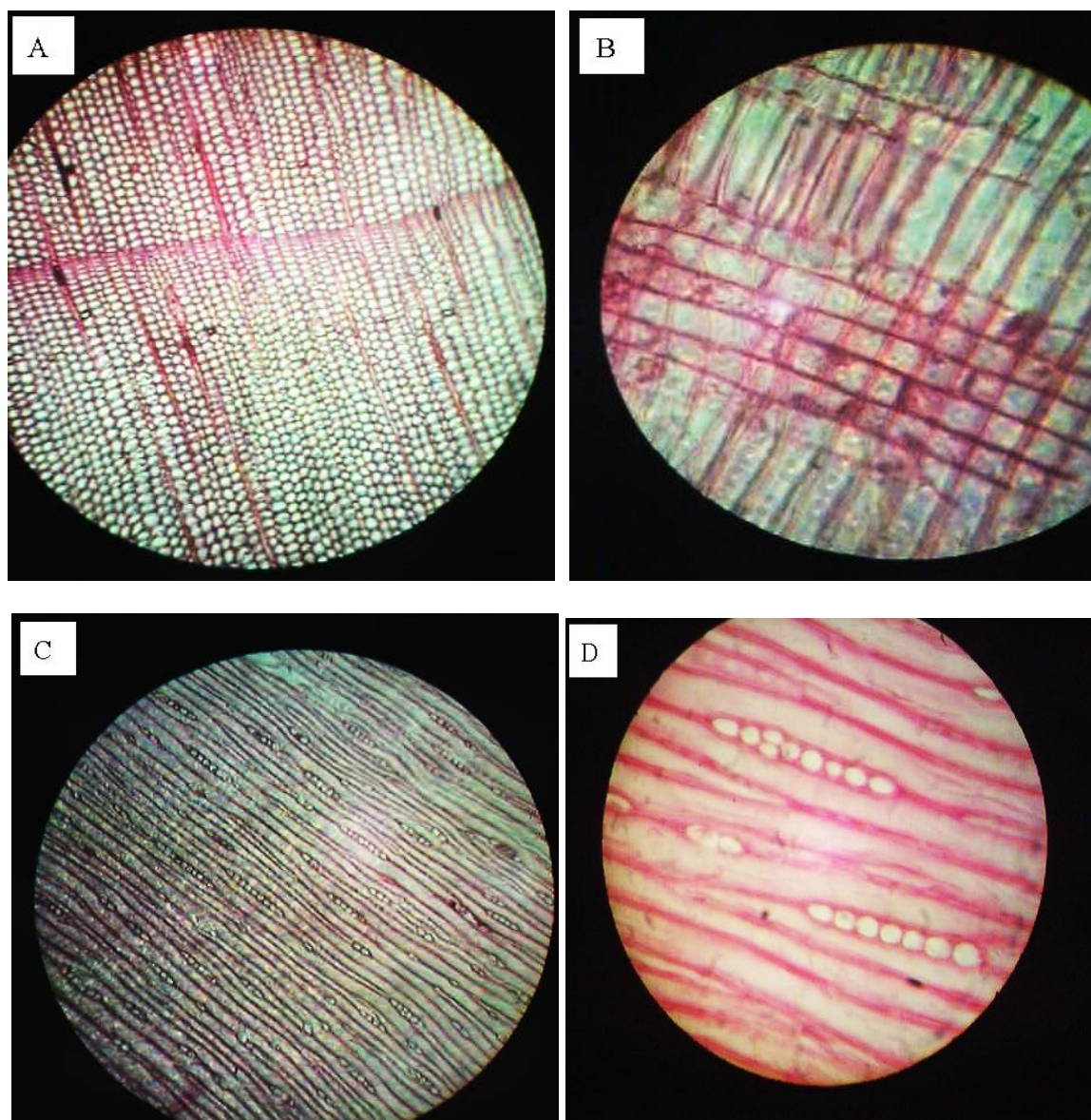


Figure 96: Sections microscopiques du bois de thuya.

(A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe radiale (Gx200);

(C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200).

4.6.2. Bois de la loupe

Ci-dessous les résultats émanant des coupes réalisées sur les cubes de bois issus de la loupe de thuya et orientés selon des directions proposées :

4.6.2.1. Angle 0°

Au niveau transversal, la structure du bois est marquée par le passage brutal du bois final vers le bois initial avec l'absence totale des canaux résinifères verticaux. Les trachéides sont à contours arrondies (figure 97, A). L'observation de la coupe tangentielle révèle des

rayons ligneux homogènes, unisériés et bisériés, renfermant des cellules de forme ovale de l'ordre de 2 à 11 cellules par unité de longueur du rayon. Les canaux résinifères horizontaux sont absents (figure 97 B et C). Au niveau radial, chaque cellule du champ de croisement renferme une seule ponctuation de taille moyenne et de type pinoïde (figure 97 D et E).

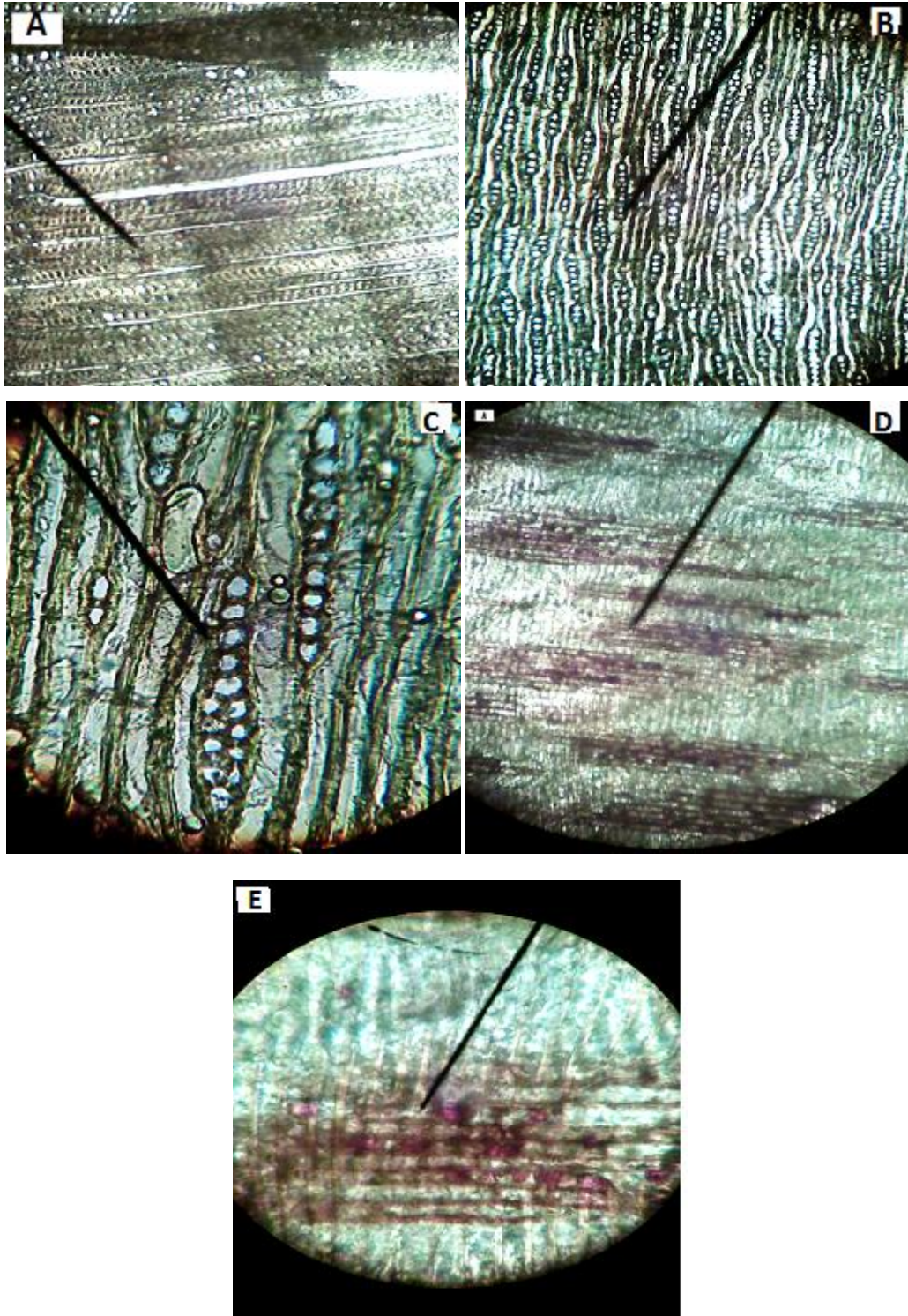
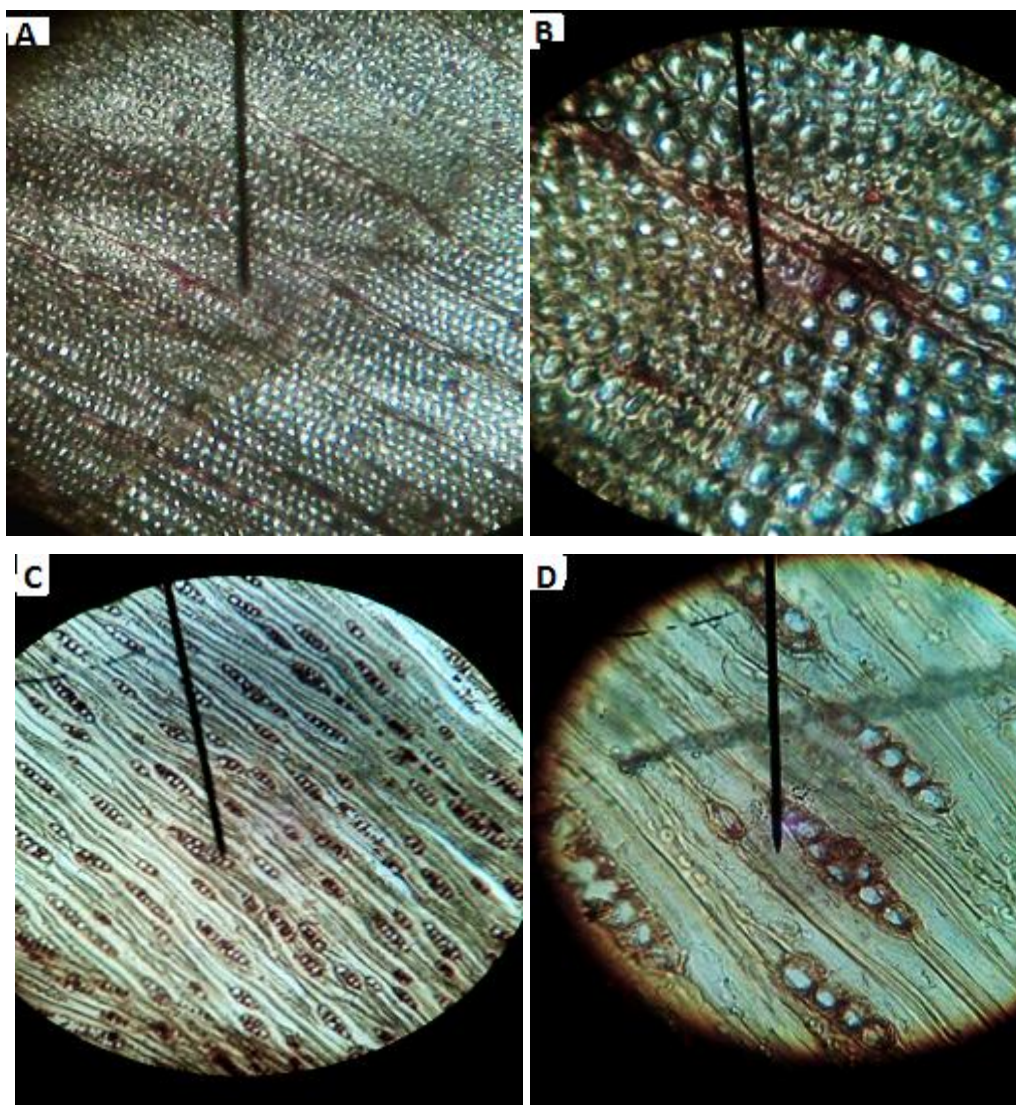


Figure 97: Coupes anatomiques "0 degré" du bois de la loupe de thuya. (A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx100); (C): Coupe tangentielle (Gx200); (D): Coupe radiale (Gx100) et (E): Coupe radiale (Gx200).

4.6.2.2. Angle 15°

En coupe transversale, l'observation de la structure du bois montre une limite bois final et bois initial nette et distincte, avec une faible portion du bois final par rapport au bois initial et une absence totale des canaux sécréteurs longitudinaux.

Les trachéides ont un contour arrondi (figure 98 A et B). Au niveau tangentiel, nous remarquons une forte concentration des rayons ligneux, homogènes, unisériés et bisériés, renfermant des cellules de formes ovales de l'ordre de 2 à 10 cellules par hauteur du rayon. Les canaux résinifères horizontaux sont absents (figure 98 C et D). L'analyse de la partie radiale montre un champ de croisement incomplet, chaque cellule renferme une seule ponctuation de taille moyenne (figure 98 E et F).



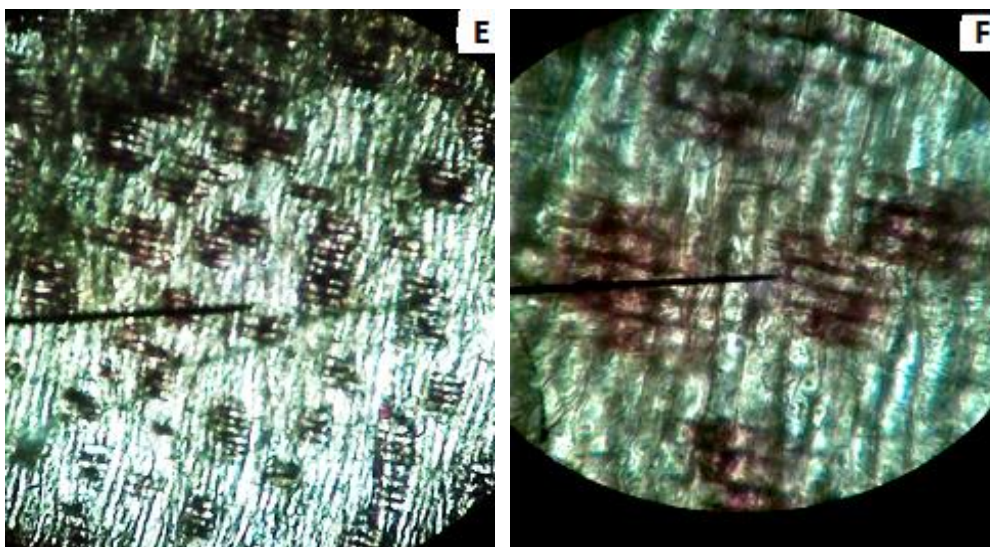


Figure 98: Coupes anatomiques "15 degré" du bois de la loupe de thuya.
 (A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe transversale (Gx200); (C): Coupe tangentielle (Gx100); (D) coupe tangentielle (Gx200); (E) Coupe radiale (Gx100); (F): Coupe radiale (Gx200).

4.6.2.3. Angle 30°

Au niveau transversal, la structure du bois est marquée par des trachéides à contour légèrement arrondi, avec une fine couche de bois final. La limite du bois final et du bois initial est bien distincte. Les canaux sécréteurs verticaux sont absents (figure 99 A et B). Au niveau tangentiel, la structure du bois s'individualise par la présence de deux sortes de rayons ligneux : des rayons unisériés et des rayons bisériés moins fréquents que les premiers. Les rayons bisériés sont homogènes composés de cellules arrondies de l'ordre de 3 à 13 cellules par hauteur du rayon. Les canaux résinifères horizontaux sont pratiquement absents (figure 99 C et D). Au niveau radial, le champ de croisement montre des ponctuations de petites tailles, décelables uniquement au fort grossissement. Chaque cellule du champ renferme une à deux ponctuations, champ de croisement incomplet (figure 99 E, F et G).

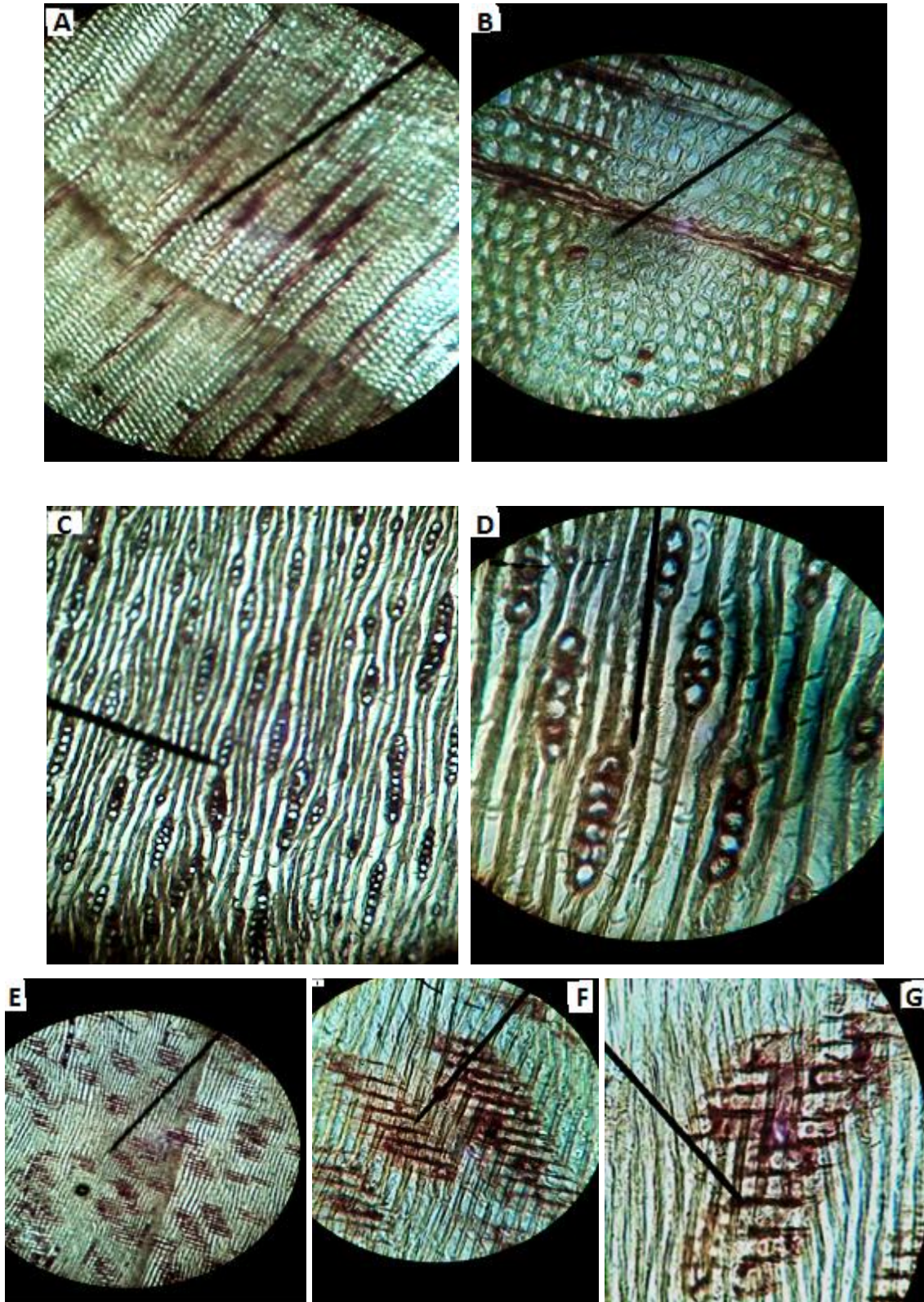


Figure 99: Coupes anatomiques "30 degré" du bois de la loupe de thuya.
 (A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe transversale (Gx200);
 (C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200);
 (E): Coupe radiale (Gx100); (F) et (G): Coupes radiales (Gx200).

4.6.2.4. Angle 45°

Au niveau transversal, la structure du bois montre des trachéides à contour légèrement arrondi, avec une portion du bois final plus importante que celle localisée au niveau des angles de coupe précédents. Les canaux résinifères verticaux sont absents (figure 100, A et B). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes, unisériés et bisériés et composer de cellules arrondies de l'ordre de 3 à 7 cellules par hauteur du rayon (figure 100, C et D). Au niveau radial, l'observation de la coupe révèle un champ de croisement complet, avec la présence d'une à deux ponctuations par cellule, ponctuations décelables au fort grossissement (figure 100, E et F).

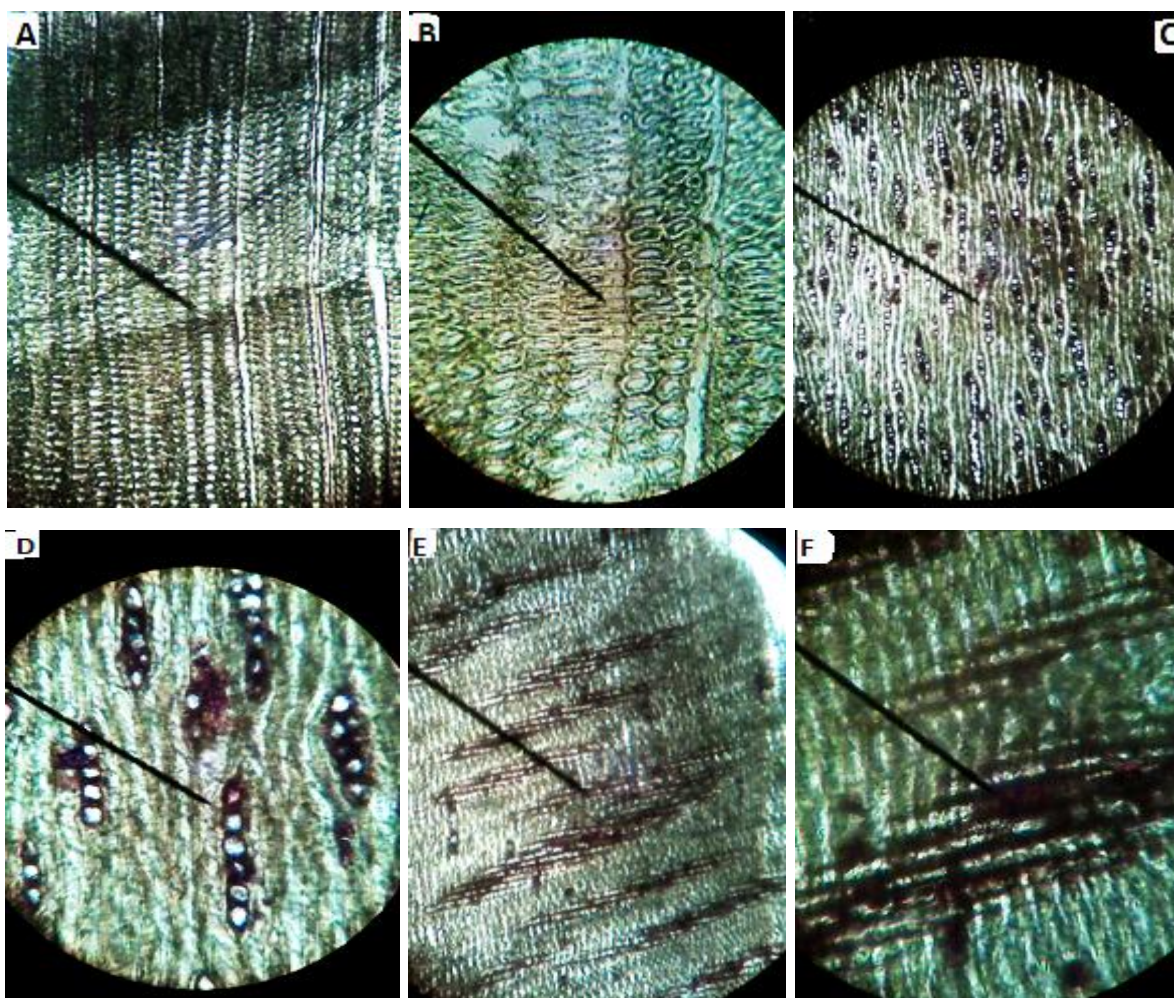


Figure 100: Coupes anatomiques "45 degré" du bois de la loupe de thuya.
 (A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe transversale (Gx200);
 (C): Coupe tangentielle (Gx100); (D): Coupe tangentielle (Gx200);
 (E): Coupe radiale (Gx100); (F): Coupe radiale (Gx200).

4.6.2.5. Angle 60°

Au niveau transversal, la structure du bois se caractérise par une limite bois initial et bois final qui n'apparaît pas, avec une très faible portion du bois final, comparé aux autres angles de coupe. Les trachéides sont à contours arrondis et les canaux résinifères longitudinaux sont absents (figure 101 A et B). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont homogènes, unisériés d'une hauteur qui peut atteindre 16 cellules. Les canaux résinifères horizontaux sont absents (figure 101 C et D). Au niveau radial, le champ de croisement est complet, avec des cellules bien organisées, chaque cellule renferme une seule ponctuation de type pinoïde (figure 101 E et F).

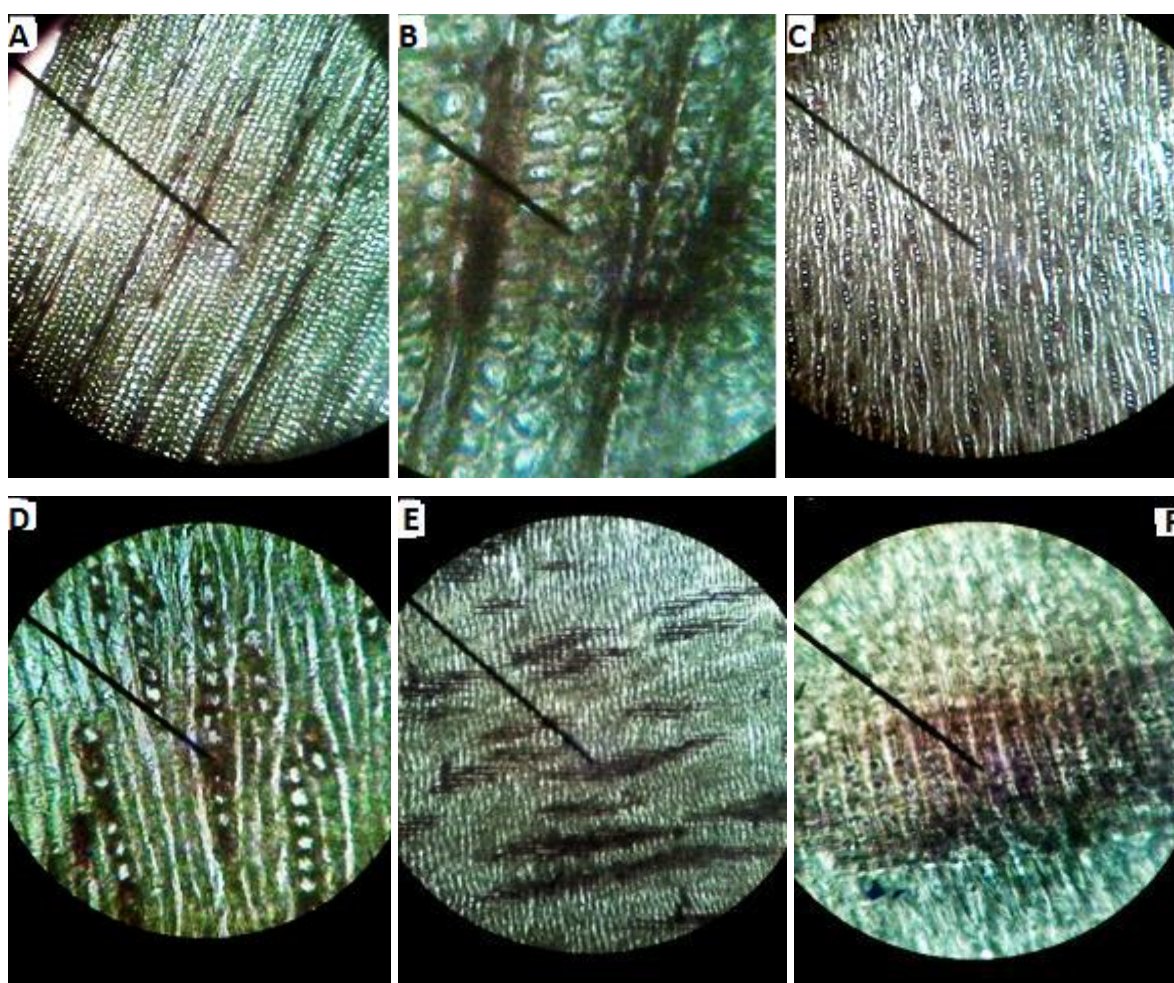


Figure 101: Coupes anatomiques "60 degré" du bois de la loupe de thuya.

- (A): Coupe transversale (Gx100) ; (B): Coupe transversale (Gx200);
 (C) Coupe tangentielle (Gx100); (D): coupe tangentielle (Gx200);
 (E): Coupe radiale (Gx100); (F): Coupe radiale (Gx200).

4.6.2.6. Angle 75°

Au niveau transversal, la structure du bois montre des trachéides à contour arrondi, avec une portion bois final très importante comparé aux autres angles de coupure, la limite bois initial et bois final est nette et distincte. Les canaux sécréteurs verticaux sont absents (figure 102, A). Au niveau tangentiel, les rayons ligneux sont moins fréquents que ceux décelés dans les autres angles de coupe. Ces derniers sont homogènes et unisériés composés de cellules arrondies de l'ordre de 3 à 16 cellules par unité de longueur du rayon. Les canaux résinifères horizontaux sont pratiquement absents (figure 102 B et C). Au niveau radial, le champ de croisement est complet avec des cellules biens organisées. Chaque cellule renferme une seul ponctuation de petite taille, de type pinoïde, décelable uniquement au fort grossissement (figure 102, D et E).

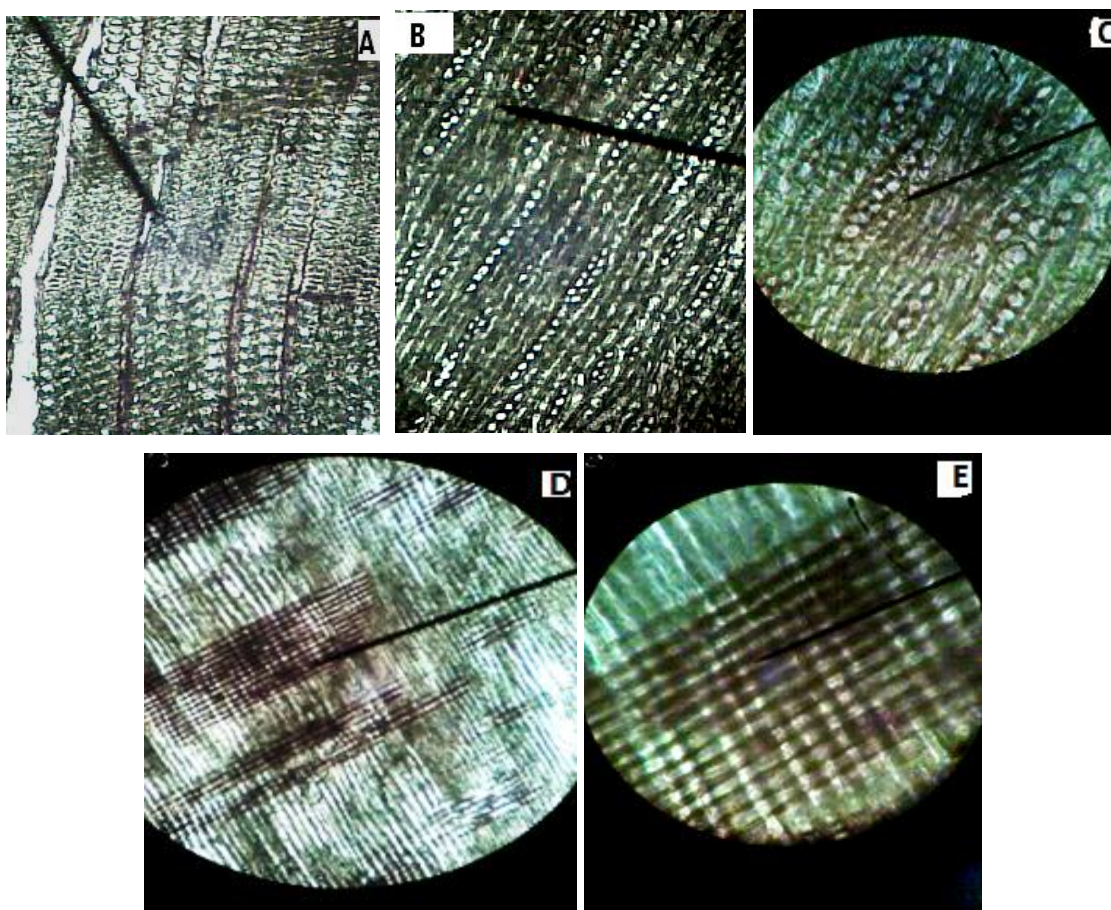


Figure 102: Coupes anatomiques "75 degré" du bois de la loupe de thuya.
 (A): Coupe transversale (Gx100); (B): Coupe tangentielle (Gx100);
 (C): Coupes tangentielles (Gx200); (D): Coupe radiale (Gx100);
 (E): Coupe radiale (Gx200).

Conclusion :

Au niveau macroscopique, nous constatons que bien que le bois de thuya et celui de la loupe proviennent du même arbre, ils possèdent tous deux une structure morphologique différente, visible à l'œil nu; cette différence porte surtout sur :

- L'aspect externe de la loupe, qui présente une structure amorphe;
- La forme des cernes de croissances, qui est circulaire au niveau de la face transversale de la rondelle du bois du tronc, sinueux et très fins sur le plateau de la loupe;
- La présence d'un aubier et d'un duramen distincts au niveau du bois du tronc. Ce caractère est absent au niveau de la loupe;
- La couleur plus foncée de la loupe, due à la présence des excroissances sur la loupe.

La caractéristique commune qui réunit le bois issue de l'arbre de thuya et le bois issue de la loupe c'est l'odeur résineuse forte. Cette odeur est due:

- Au niveau du Thuya dépourvu de canaux résinifères, à la présence de résine, tant dans l'aubier que dans le duramen. La présence de cette résine peut être expliquée par le fait que l'écorce peu épaisse de thuya, contient des canaux résinifères où circule cette matière dite gomme sandaraque qui a été longtemps exploitée dans la région d'Essaouira. Cette exploitation, souvent anarchique, est l'une des origines des mutilations de nombreux peuplement. Ce produit est exporté en totalité à l'étranger pour être utilisé dans la fabrication des vernis de luxe et en pharmacie.
- Au niveau de la loupe, l'origine de l'odeur résineuse peut être expliquée d'après Normand (1998), par la présence de poches et des canaux à oléorésines désignant les espaces cellulaires ou intercellulaires dans lesquels s'accumulent des substances de composition chimique différentes en dehors de la cavité cellulaire, soit dans l'épaisseur de la membrane, soit dans des espaces intercellulaires. La présence de tels éléments (poche de résine) dans le bois des espèces qui ne possèdent pas des canaux résinifères est un caractère accessoire de première importance au point de vue de la reconnaissance bien que les cellules, les poches, ou les canaux ne fassent pas partie des éléments essentiels du plan ligneux. Quand la cavité dans laquelle s'accumulent les corps présente une dimension notablement plus grande que les éléments cellulaires. Nous sommes en présence d'une poche. Ces poches sont habituellement sous la dépendance de traumatisme ou de blessures à un niveau quelconque du bois et sont quelquefois en liaison avec de véritables canaux à gommés résines.

L'analyse des coupes microscopiques, révèle que le bois du tronc de thuya et du bois de la loupe présente un plan ligneux fixe. Les différences décelées, se manifestent au niveau de la forme des cellules composant les deux types de bois. Sur le plan transversal, les trachéides au niveau de la loupe sont de formes arrondies tandis qu'au niveau du bois du tronc, ces trachéides ont une forme rectangulaire bien définie. Au niveau radial, la loupe présente un champ de croisement compact et discontinu, en fonction des angles de coupes choisies, contrairement à celui localisé au niveau du bois du tronc.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus à l'issue de ce travail de recherche à double objectifs visant, d'une part la description et la compréhension de la variation des propriétés anatomiques au sein des essences de la même espèce, en fonction de leurs provenances; et d'autre part la détermination anatomique des axes principaux d'anisotropie qui conditionnent le mode de coupe de la loupe de thuya, ont permis dans un premier temps de mettre en évidence l'effet que joue le lieu de croissance dans la variabilité des structures anatomiques du bois d'espèces issues de deux différentes provenances: le Rif et le Moyen Atlas, de dégager dans un deuxième temps, les similarités existantes entre les essences étudiées et de confirmer la notion de fixité du plan ligneux. L'exploitation des données recueillies, a permis dans une première approche de ce travail, de constater que :

♦ Au niveau macroscopique, la variabilité d'aspect et de structure, constatée à travers l'analyse anatomique comparative des différents prélèvements réalisés sur les essences résineuses et feuillus récoltées, réside dans:

- le degré d'apparence et de régularité des cernes annuels;
- la largeur du bois final, la couleur de l'aubier et du duramen;
- L'odeur;
- la densité du bois.

Ces caractéristiques varient au sein des échantillons appartenant à la même espèce en provenance des deux régions précitées. Cette variabilité au sein des individus de la même espèce, est expliquée par la présence des facteurs du milieu, notamment l'altitude en relation direct avec le type du climat, la nature du substrat dont la composition agit d'une manière direct sur la capacité de rétention d'eau du sol et influe ses réserves hydriques. Ce substrat qui peut être ou pas riche en substances minérales, nécessaires pour la croissance et le développement de la plante. La quantité des précipitations annuelles reçue par la station, l'exposition et les opérations sylvicoles, tous ces facteurs interviennent d'une manière directe, dans la croissance et le développement de l'essence considérée et sont donc responsables des variabilités observées. Quant au déterminisme biologique de la couleur du bois, très peu de résultats existent dans la littérature. La variabilité de la couleur du bois est due, surtout, à l'influence de plusieurs facteurs, d'abord des facteurs liés à l'aspect interne du bois, c'est à

dire sa structure anatomique, sa composition chimique et à l'aspect externe lié surtout à la forme et à la vigueur de l'arbre. Puis les facteurs relatifs à l'environnement, aux traitements sylvicoles et à l'âge.

♦ Au niveau microscopique, chez les résineux, nous constatons que les essences originaires des provenances précitées et appartenant à la même espèce partagent presque les mêmes caractéristiques anatomiques. Les seules différences décelées, se manifestent dans:

- le passage brutal du bois initial au bois final observé chez le genévrier oxycèdre de la provenance du Rif et le Pin d'Alep de la provenance du Moyen Atlas, caractéristiques non décelable respectivement chez le genévrier oxycèdre originaire du Moyen Atlas et le Pin d'Alep originaire du Rif;

- La présence des canaux résinifères traumatiques, observés chez le cèdre de la provenance du Moyen Atlas et leurs absences au niveau du plan ligneux du cèdre originaire du Rif;

- Le type des ponctuations du champ de croisement qui sont pinoïdes et picéoides chez le cèdre du Moyen Atlas et taxodioïdes chez le cèdre du Rif.

A noter que le plan ligneux du thuya de la provenance du Moyen Atlas présente presque les mêmes caractéristiques anatomiques que celui de la région du Rif. La seule différence se manifeste dans le type de ponctuation du champ de croisement, de même pour le pin maritime provenant du Moyen Atlas et celui de la région du Rif.

Chez les essences feuillues et comme dans le cas des résineux, nous constatons que les essences feuillues originaires des régions précitées et appartenant à la même espèce, partagent presque les mêmes caractéristiques anatomiques. Les seules différences observées dans la structure anatomique, résident dans: le type de perforations, qui sont simples au niveau du plan ligneux du chêne vert du Moyen Atlas et en réseau dans celui du Rif. Le chêne zéen en provenance du Rif présente un plan ligneux presque similaire à celui issue du Moyen Atlas, mais avec quelques variations légères qui se manifestent dans la hauteur des rayons ligneux, de même pour l'olivier du Moyen Atlas et l'olivier du Rif. Enfin dans le cas du caroubier, les échantillons en provenance du Rif présentent un plan ligneux presque similaire à ceux de la provenance du Moyen Atlas. La seule différence réside dans la répartition des pores au niveau transversal.

On peut conclure pour cette première partie de notre travail que :

◆ Le bois de chaque espèce d'arbre, est toujours constitué par des cellules de même nature, groupées de la même façon. C'est pourquoi on peut dire que, pour une essence donnée, le plan ligneux est constant.

◆ Etant fixé génétiquement, le plan ligneux des bois ne varie pas à l'intérieur d'une espèce et apparaît généralement sous la même forme à l'intérieur d'une même famille botanique. Ce qui explique la similarité de ce plan observée au sein des échantillons appartenant à la même espèce. Cette fixité signifie que pour une espèce déterminée, un schéma robot caractéristique de cette dernière est toujours retrouvé. Le schéma robot, correspond aux particularités anatomiques d'un échantillon, spécialement choisi, pour représenter le type moyen de structure du bois de l'espèce. En fait, il tiendra compte d'un ensemble de caractéristiques anatomiques qui sont toujours liées entre elles, quelle que soit l'ampleur des variations enregistrées chez l'essence suivant l'âge, la provenance ou le traitement.

◆ Les variations constatées au niveau de la structure anatomique de certaines essences pourraient être attribuées à la station. Cette dernière serait à l'origine des variabilités observées au niveau du plan ligneux des essences appartenant à la même espèce par l'influence qu'elle exerce, notamment sur la progressivité du passage du bois initial au bois final, sur le diamètre des pores, sur l'aspect de la paroi des cellules de parenchyme, sur le type de perforation, sur la densité du bois et sur l'odeur et la couleur de l'aubier.

En général, la variabilité dans le bois, est un phénomène qui intéresse aussi bien sa constitution anatomique, que sa constitution chimique. Cette variabilité entraîne souvent pour la même espèce botanique une gamme de propriétés, telle que ses emplois qui changeront, et dont la valeur économique de la marchandise ne sera pas du tout la même.

Il est à noter que la variabilité est une caractéristique inhérente au matériau-bois. Elle est influencée par des facteurs internes, tel que l'âge et par des facteurs externes, notamment le climat, l'altitude et la latitude, le sol, la position de l'arbre dans le peuplement et le traitement sylvicole, susceptibles d'induire des variations plus ou moins marquées dans le plan ligneux. Ces modifications anatomiques d'origine physiologique permettent d'expliquer les variations observées au sein d'une espèce, voire au sein d'un individu, des propriétés physiques et mécaniques.

La seconde partie du travail entrepris dans le cadre de cette thèse, a permis de mieux connaître la structure et l'anatomie du bois de la loupe de thuya. Cette ressource naturelle, qui joue un rôle économique et social important pour le secteur artisanal marocain, et la mise au point d'un procédé d'identification anatomique des axes principaux d'anisotropie, qui

conditionnent le mode de coupe de ce bois, dont les ressources au Maroc diminuent de façon très significative.

Les premiers éléments de réponse tirés de cette deuxième partie de ce travail, permettent de conclure que :

◆ À l'échelle macroscopique, la loupe se caractérise par sa morphologie externe et par son bois dense à odeur forte remarquable.

◆ À l'échelle microscopique, l'investigation des données tirées de l'analyse comparatif des coupes, réalisées sur le bois de la loupe permettent de conclure que ce bois se caractérise par :

- ✓ Des trachéides de forme arrondie, différentes de celles observées chez l'arbre de thuya à trachéides de formes rectangulaires;
- ✓ Une anisotropie transverse légère, où les différences de la structure anatomique, varient légèrement entre les angles de coupe proposés (0° , 15° , 30° , 45° , 60° et 75°), variations qui se manifestent dans la portion du bois final et le contour des trachéides.
- ✓ Tous les angles étudiés, présentent un plan transverse isotrope et un seul axe de symétrie, ce qui permet de conclure que le bois de la loupe de thuya est à anisotropie transverse.
- ✓ Le bois de la loupe de thuya présentant ce type d'anisotropie transverse et qui se manifeste surtout au niveau radial, permettra l'orientation de coupe toute en améliorant le rendement matière.

On peut en conclure d'une part que le bois de la loupe possède une structure différente de celle du bois du tronc de thuya; et d'autre part que la loupe, a un comportement quasi isotrope très différent du bois du tronc à comportement anisotrope, même si les deux sont produites par le même arbre.

En perspectives de ce travail, nous recommandons d'abord de :

- ✓ travailler sur le bois d'autres espèces forestières naturelles de la région du Rif et du Moyen Atlas, non étudiés dans le présent travail.
- ✓ diminuer le nombre d'espèces et augmenter le nombre de provenances.
- ✓ orienter les prochaines recherches sur l'explication des facteurs du milieu, qui peuvent influencer sur les caractéristiques anatomiques du bois.

Concernant la loupe de thuya, qui offre d'excellentes qualités esthétique et technologiques. Elle fournit un placage moucheté, très prisé aussi bien par le marqueteur que par le consommateur. Cette ressource naturelle est devenue très rare à cause de son exploitation abusive dans les vieux peuplements; et même sur les jeunes recépages. Ce qui a contribué à la diminution de la densité des forêts de thuya. Pour cela il serait intéressant d'approfondir l'étude, sur certains aspects que nous n'avons pas abordés, nous recommandons :

- ✓ d'étudier l'effet des facteurs exogènes dans le processus de formation de loupe de thuya afin de déterminer les facteurs qui stimulent la formation de la loupe.
- ✓ De travailler sur le développement des nouvelles technologies appropriées à la transformation de la loupe.
- ✓ faire une étude comparative entre les loupes de différentes provenances (Rif, Maroc oriental, Moyen Atlas occidental (Essaouira), Plateau central, ...) afin d'expliquer sur quels critères objectifs se fondent les choix des artisans marqueteurs et ébénistes qui préfèrent travailler des loupes provenant de la région d'Essaouira plutôt que celles provenant d'autres régions.
- ✓ développer une technique du tranchage de la loupe de thuya, afin de limiter les déchets et favoriser la cohésion du bois à l'usage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aloni, R. et M. H. Zimmermann, 1983:** The control of vessel size and density along the plant axis. A new hypothesis. *Différentiation*, Springer-Verlag. 203 – 208pp.
- Achhal A., Akabli O., B Arbero M., Benabid, A., Mhirit O., Peyre C., Quezel P. et Rivas-Martinez S. 1980:** A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia Mediterranea*, 5 pp. 211 -249.
- Aznag A., 2005:** Caractérisation Anatomique du Bois de Quelques Essences Naturelles du Rif (Parc National de Talassemtane, Chefchaouen), Mémoire de DESA, Faculté des Sciences de Rabat-Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs (ENFI), Salé, 105 pp.
- Belghazi B. 1980:** Contribution à l'étude de quelques facteurs de production d'une forêt de *Pinus halepensis* Mill. (Forêt de Tamga) en vue de son aménagement. Mémoire de 3ème cycle, option Eaux et Forêt. IAV Hassan II, Rabat. 92 p + annexe.
- Benabid, A. 1982:** Etude phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). Thèse Doc. Es sciences. Université de Marseille. 199 p + annexes
- Benabid, A. 2000:** Flore et écosystème du Maroc, Evaluation et préservation de la biodiversité, Edition *Ibis Press*, Paris, France, 259 p.
- Benbarek, M. 1985:** Productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) et construction des tables de production des cédraies du Rif. Mémoire de 3èm, cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, p. 1 24.
- Bledzki, A. K. et Gassan, J. 1999:** Composites Reinforced with Cellulose Based Fibers. *Prog. Polym. Sci.* 24. 221-274.
- Boudy P. 1950:** Economie Forestière Nord-Africaine. Monographie et Traitement des Essences, Tome II, Fascicule II, Edition La rose, Paris, France, pp. 529-638.
- Boudy, P. 1952 :** Guide du forestier en Afrique du nord, *Maison rustique*, Paris, France, 505p.
- Boureau, E. 1954:** Anatomie végétale, l'appareil végétatif des phanérogames, Edition La rose, Paris, France, 330 pp.

- Boureau, E. 1956:** Anatomie végétale, Tome II, *Presse universitaire de France*, Paris, nb. pp. 22 – 254 pp.
- Boureau, E. 1957:** Anatomie végétale, Tome II, *Presse universitaire de France*, Paris, nb. pp. 34– 752 pp.
- Brown, H. P., A. J. Panshin and C. C. Forsaith.1949:** Text book of wood technology, volume 1, *Mcgraw-hill book company*, Newyork, USA, 652p.
- Campbell, N. et J. B. Reece. 2006:** Biologie, 2ème édition, De Boeck Université, USA, 1482 pp.
- Chakir, A. 1999:** Contribution à l'étude de la consommation de bois d'œuvre de thuya par la marqueterie dans la ville d'Essaouira". Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc.
- Crète, P. et J. L. Guignard. 1968:** Précis de botanique, morphologie des plantes vasculaires. Reproduction, systématique des bryophytes, des ptéridophytes et des gymnospermes, Tome 1, *Masson et Cie*, Paris, France, 358p.
- Dakak, J. E. 1997:** Etude anatomique des rayons ligneux chez les grands érables, variabilité intra et inter-espèces. Diplôme d'études Approfondies en Sciences du Bois à l'INRA, 29 p + annexes
- Dekker, R. F. H. 1985:** Biodegradation of hemicelluloses. In. Higuchi, T. (ed.). Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components. Academic Press, Orlando, pp. 505-533.
- De Meijer, M.,Thurich, K. et Militz, H. 1998:** Comparative study on penetration characteristics of modern wood coatings, *Wood Sci. and Tech.*, 32.347-365.
- Desch, H. et M. Dinwoodie 1996:** *Timbre structure properties conversion and use* 7th edition, McMillan press LTD. USA. 332 PP
- Detienne, P. 1988:** Cours illustré d'anatomie du bois, Centre Technique Forestier Tropical (CTFR), CIRAD, Nagent sur-Marne, France, 48pp.
- Deysson, G. 1967:** Organisation et classification des plantes vasculaires. Organisation générale, Tome 2, *Société d'édition d'enseignement supérieur*, Paris, France, 345p.
- EL Alami, S. 2013:** Contribution à la caractérisation physique et mécanique et à la valorisation par le séchage du bois de la forêt marocaine cas des eucalyptus et la loupe de thuya. Thèse Doctorat. Faculté des Sciences. Rabat- Maroc. 129 p

- Essau, K. 1977:** Anatomy of the seed plants, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, USA.
- Famiri, A. 2008:** Projet PRAD N°P 08-08 CRF-CIRAD.
- Fechtal, M. et A. Ahmed, 1994:** Les eucalyptus du Maroc, CNCA, Rabat, Maroc, 345p.
- Fengel, D. et Wegener, G. 1984:** Wood. Chemistry, ultrastructure, reactions. De Gruyter, Berlin.
- Fennane M. 1987:** Etude phytoécologique des Tetracliniaies Marocaines. Thèse de doctorat. Université de Droit d'Economie et des Sciences d'Aix Marseille. Faculté des Sciences et techniques de Saint Jérôme. 150pp.
- Fukatsu, E., Tamura, A., Takahashi, M., Fukuda, Y., Nakada, R., Kubota, M., et Kurinobu, S. 2011:** "Efficiency of the indirect selection and the evaluation of the genotype by environment interaction using Pilodyn for the genetic improvement of wood density in *Cryptomeria japonica*" Journal of Forest Research, 16(2), 128-135.
- Hadjadj, K. 2016:** Étude de la productivité du thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata* Vahl Mast.) dans l'ouest algérien dans la perspective de développement durable. Thèse de Doctorat en Foresterie, Univ. de Tlemcen, 185 p.
- Hillis, W. E. 1987:** Heartwood and Tree Exudates. Springer series in wood sciences, *Springer - Verlag*, Berlin, Deutschland, 268p.
- H. C. E. F. L. C. D. 2013:** Etat des ressources génétiques forestières. Rapport national. Projet TCP/RAB/3303-BABY 2. Maroc. 38 p.
- Idrissi bakhat S., 2005:** Caractérisation Anatomique du Bois de Quelques Essences Naturelles du Moyen atlas, Mémoire de DESA, Faculté des Sciences de Rabat-Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs (ENFI), Salé, 167 pp.
- Jacquot C., Tremard Y. et Dirol D., 1973:** Atlas d'anatomie des bois des angiospermes, tome 1 texte, Centre Technique du Bois, Paris, France, 175 p.
- Jane, F. W. 1956:** The structure of wood, *McMillan Company*, newyork, USA, 427p.
- Jodin, P. 1994:** Le bois matériau d'ingénierie. Association pour la recherche sur le bois en Lorraine. École nationale du génie rural, des eaux et des forets, Nancy, France.
- Keller, R. 1994:** La constitution du bois. Association pour la recherche sur le bois en Lorraine, Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Nancy, France, 433p.

- Khatabi A. 1997:** Filière bois au Maroc. Production forestière, exploitation et valorisation. Terre et Vie, 29.
- Kirk, T. K. et Cullen, D. 1998:** Enzymology and molecular genetics of wood degradation by wood degrading fungi. In. Young, R. A. et Akhtar, M. (eds.). Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry, John Wiley & Sons, New York, pp. 273-307.
- Kozlowski, T. T. et Pallardy, S. G. 1997:** Physiology of woody plants, second edition, Academic Press, San Diego, CA.
- Lachaud, S., A. M. Catesson et J. L. Bonnemain. 1999:** Structure and functions of the vascular cambium. C. R. Acad. Sci, Paris, France, 322pp-650pp.
- Lemire T. 1996:** Structure du bois vue par deux arbres de la forêt d'Hagenau. *Pinus sylvestris* et *Quercus robur* 1-10 pp.
- Lecompte, M. 1969:** La végétation du Moyen Atlas central. Travaux de l'institut scientifique et de la Faculté des Sciences, Rabat, Maroc, 33p.
- Letreuch, B. 1991:** Les reboisements en Algérie et leur perspective d'avenir. Vol. I. O. P. U, Alger. 294 pp.
- Longuetaud, F., Leban, J. M., Mothe, F., Kerrien, E. et Breger, M. O. 2004:** Automatic detection of pith on CT image of spruce logs, Computers and Electronics in Agriculture, pp 107-119.
- Luong, M. P. 2005:** Tenue mécanique du matériau bois et de ses assemblages. Laboratoire de Mécanique des Solides, CNRS UMR 7649, Ecole polytechnique, Plaisseau, France.
- Mhirit O. 1982:** Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. Ann. Rech. Forest. Maroc. Tome 22. p. 502.
- Mikdad A., E. Josef, A. Abiba, B. Abdelwahed, Youssef Bokbot, H. Reiner, L. Jörg et M. Touria, 2000:** Recherches historiques et proto-historiques dans le Rif oriental (Maroc) - Rapport préliminaire, Institut national des sciences de l'archéologie et du patrimoine, vol. 20, p. 109-158 .
- Nicole, M. R., Geiger, J. P. et Nandris, D. 1992:** Defence of angiosperm roots against fungal invasion. In. Blanchette, R. A. & Biggs, A. R. (Eds.). Defence mechanisms of Woody Plants against Fungi. Springer-Verlag, Berlin, pp. 181-206.

- Norimoto, M. 1996:** Viscoelastic properties of chemically modified wood. in Hon, D. N. -S. (ed.). Chemical Modification of Ligno-cellulosic Materials.M. Dekker. New York. p. 311-330.
- Normand, D. 1972:** Manuel d'identification des bois tropicaux, Tome 1. C. T. F. T, 271pp.
- Normand, D. 1998:** Manuel d'identification des bois commerciaux, Tome 1, Généralités, 2ème édition, CIRAD, Montpellier, France, 171pp.
- O'Sullivan, A. C. 1997:** Cellulose. The structure slowly unravels. Cellulose 4, 173-207.
- Parviz Navi et Higer, F. 2005:** Comportement thermo-hydrromécanique du bois, PPUR, Presse polytechnique, 298 PP
- Polge H., 1964 :** Délimitation de l'aubier et du bois de cœur par analyse densitométrique de clichés radiographiques. Annals of Forest Science, 21 (4) : 605-623.
- Quezel P. 2000:** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb Méditerranéen. Ibis Presse. Edit. Paris, 117 p.
- Raven, P., F. Evert et H. Curtis, 1981:** Biology of Plants, New York, N. Y., Worth Publishers, 3rd edition, USA, pp 641.
- Raven, P., F. Evert et S. E. Eichhorn. 1999:** Biology of Plants, 6th ed., W. H. Freeman, New York, USA.
- Raven, P., F. Evert, E. Eichhorn et Bouharmont, J. 2003:** Biologie végétale, Traduction de la 6ème édition, De Boeck Université, USA, 968 pp.
- RijKaert, V., Stevens, M., de Meijer, M. et Militz, H. 2001:** Quantitative assessment of the penetration of water-borne and solvent-borne wood coatings in scots pine sapwood, Holz als Roh-und Werkstoff, 59. 278-287.
- Ritter, M. A. 1990:** Timbers bridges; chapitre 3: Proprieties of wood and structure of wood products, 62 pp; Forest service, United States, Department of agriculture.
- Roland, J. C. et Robert D. 1989:** Biologie végétale, caractéristiques et stratégies évolutives des plantes, Tome I. Organisation cellulaire. Doin éditeur.
- Rowe, J. W. 1989:** Natural Products of Woody Plants Book T. II. Berlin Heidelberg, New York.
- Rowell, R. M. 1988:** Wood Science Seminar. Stabilization of the Cell Wall. East Lansing, Mich. Michigan State University. p. 53-63.

- Saka, S. 2001:** Chemical Composition and Distribution. In Wood and Cellulosic Chemistry .Ed. David N. -S. Hon, Nobuo Shirashi. M. Dekker. New York. p. 51-81.
- Sesbou A., 2003:** cours de science du bois, destiné aux étudiants de la 5^{ème} année valorisation, école nationale forestière d'ingénieurs.
- Stevanovic, T. J. et D. Perrin. 2009:** Chimie du bois. 1ère édition. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse. 241pp.
- Sundberg, U. 1957:** L'écorçage mécanique du bois, *FAO / EFC*, Genève, Suisse, 141p.
- Sjöström, E. 1993:** Wood Chemistry – Fundamentals and Applications. 2. Ed. San Diego, USA, Academic Press. 293pp.
- Taylor, A. M., Gartner, B. L., Morrell, J. 1. et Tsunoda, K. 2006:** Effects of heartwood extractive fractions of *Thuja plicata* and *Chamaecyparis nootkatensis* on wood degradation by termites or fungi. " Journal of Wood Science, 52(2), 147-153.
- Trouy-Triboulot M. et Triboulot P. 2001:** Matériau bois, Structure et caractéristique, Article C925, Volume CA, ENSTIB, Nancy, France
- Venet J., 1974:** Identification et classification des bois français, ENGREF, Centre de Nancy, France, 208 p.
- Verbelen, J. P., K. Vissenberg et S. Kerstens. 2001:** Cell expansion in the epidermis. microtubules, cellulose orientation and the wall loosening enzymes. University of Antwerp (UIA), Belgium. J. Plant physiol. 158. 537-543pp.
- Wagenfuhr, R., 1980:** Anatomy des Holzes, 2nd edition, Veb, Fachbuchverlag, Leipzig, Deutschland.
- Zimmermann, M. H. 1983:** Xylem structure and the ascent of sap. Springer-verlag, New York, USA.
- Zobel, B. J. et Van Buijtenen, J. P. 1989:** Wood variation. Its causes and control. Springer, Berlin. 363 p.

Sources webographies consultées :

Site 1 : www.viagallica.com, consulté le 22/11/2019.

Site 2 : <http://anatomievegetale.uqac.ca/photodefinition/Duramen.gif> , consulté le 17/12/2019.

Site 3: (https://mffp.gouv.qc.ca/forets/echo-foret/mai2001/feuillelet/savoir/images/tronc_1.jpg, consulté le 17/12/2019.

Site 4 : foreska.com, 2019

- Site 5 : [SCD_T_2011_0027_CHAOUCH.pdf/2019](#)
- Site 6 : [cndb.org](#), 2019
- Site 7: [xylo.sbf.ulaval.ca](#) , consulté le 10/09/2019
- Site 8: https://www.jardinsdefrance.org/wp-content/uploads/jdf_medias/images/JdF623/ponctuation,2019).
- Site 9: [www.bois-darbre-de-foret-20.websself.net](#) , consulté le 30/11/2019.
- Site 10: [fr.readkong.com](#) , consulté le 09/10/2019.
- Site 11 : [projects.ncsu.edu](#), consulté le 09/10/2019.
- Site 12: [www.telesavoirs.eu/programme.php?ID=76](#)) , consulté le 17/10/2019.
- Site 13 : ([babel.cegep-ste-foy.qc.ca](#)), consulté le 07/11/2019
- Site 14 : [researchgate.net](#), consulté le 04/10/2019.
- Site 15 : <http://www.mabiologie.com/2016/11/definition-cellulose.html>, consulté le 14/10/2019.
- Site 16 : <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=1078&uid=89>, consulté le 16/10/2019
- Site 17 : <https://www.wmaker.net/siwel/photo/art/default/5809009-8660082.jpg?v=1377955785>, consulté le 17/11/2019.
- Site 18 : [www.aventure-berbere.com](#), consulté le 14/10/2019.
- Site 19 : [www.gite-randonnees-moyen-atlas.com/wp-content/uploads/2015/03/map_carte_moyen_atlas.jpg](#) /consulté le 14/10/2019.
- Site 20: <https://agronomie.info/fr/wp-content/uploads/2016/11/cedre-atlas-huile-essentielle-1.jpg>
- Site 21: <https://inpn.mnhn.fr/photos/uploads/webtofs/inpn/1/131481.jpg> consulté le 13/06/2020
- Site 22 : (<https://marocatlantis.org/le-genevrier-oxycedre>, consulté le 03/03/2019).
- Site 23 : (<https://marocatlantis.org/le-thuya-dhesperie>. Consulté le 02/03/2019)
- Site 24 : <https://www.quelleestcetteplante.fr/catalogue.php>, Consulté le : 02/03/2019)
- Site 25 : <https://ecologie.ma/pins-maroc/> consulté le 04/03/2019
- Site 26: <https://www.laboratoirealtho.fr/fr/pin-maritime-bio>, consulté 24/03/2019
- Site 27: [agrimaroc.net/bulletins/btta_105.pdf](#)/ consulté 24/03/2019
- Site 28 : <https://www.officetourismemaroc.com/src/img/information/la-culture-de-olivier-au-maroc-flore-marocain-afrique.png> , consulté le 16/11/2019.
- Site 29 : <https://www.ecologie.ma/lolivier>, consulté le 16/11/2019.
- Site 30 : <https://marocatlantis.org/chene-vert-atlante/>, consulté 16/11/2019.
- Site 31 : ([ecologie.ma/ chène vert](#), consulté 16/11/2019).
- Site 32: [marocatlantis.org / le-chêne –vert](#), consulté le 03/03/2019
- Site 33 : ([ecologie.ma/le-caroubier](#), consulté le 16/11/2019).
- Site 34 : [agrimaroc.net/bulletins/btta_153.pdf](#), consulté 24/03/2019
- Site 35 : [www.delta-intkey.com/citeswood/images/square_fr.jpg](#), consulté le 21/12/2019
- Site 36 : <https://careforwood.files.wordpress.com/2014/09/p13.jpg>, consulté le 21/12/2019.

Annexe A: Fiches de prélèvement des échantillons

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Cèdre de l'Atlas

Cèdre de l'Atlas		
Nom Latin de l'espèce	<i>Cedrus atlantica</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Chouihate	Azrou
Bioclimat	Perhumide	Méditerranéen humide à variante froide
Précipitation	1800 mm/ an	860 mm/ an
Type de substrat	Calcaire	
Taillis ou futaie	Futaie	
Fut incliné ou droit	droit	

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Thuya de Bérberie

Thuya de berbérie		
Nom Latin de l'espèce	<i>Tetraclinis articulata</i>	
Région de récolte	PNTLS	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Oued laou	Ain Leuh
Bioclimat	Subhumide	Semi aride à variante Tempérée
Précipitation	650 mm / an	442 mm/an
Type de substrat	Calcaire	Argile
Taillis ou futaie	Taillis	
Fut incliné ou droit	incliné	

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Pin maritime

Pin maritime		
Nom Latin de l'espèce	<i>Pinus pinaster</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Jbel kherbouch (Assifane)	Aghbalou- laârbi
Bioclimat	Humide	
Précipitation	1600 mm / an	430 mm/an
Type de substrat	Calcaire	
Taillis ou futaie	Futaie	
Fut incliné ou droit	droit	

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Pin d'Alep

Pin d'Alep		
Nom Latin de l'espèce	<i>Pinus halepensis</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Ametrasse	Ain Leuh
Bioclimat	Humide supérieure	Semi aride à variante Tempérée
Précipitation	1600 mm / an	442 mm/an
Type de substrat	Calcaire sur marne	Argile
Taillis ou futaie	Futaie	
Fut incliné ou droit	droit	

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Genévrier oxycède

Genévrier oxycède		
Nom Latin de l'espèce	<i>Juniperus oxycedrus</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Ain tassemlal	Ain Leuh
Bioclimat	Humide inférieur	Semi aride à variante Tempérée
Précipitation	1100 mm / an	442 mm/an
Type de substrat	Calcaire	Argile
Taillis ou futaie	Futaie	
Fut incliné ou droit	Incliné	

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Chêne vert

Chêne vert		
Nom Latin de l'espèce	<i>Quercus rotundifolia</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Tazaout	Azrou
Bioclimat	Humide	Méditerranéen humide à variante froide
Précipitation	1200 mm / an	860 mm/ an
Type de substrat	Calcaire	
Taillis ou futaie	Taillis	Futaie
Fut incliné ou droit	incliné	droit

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Chêne zéen

Chêne zéen		
Nom Latin de l'espèce	<i>Quercus faginea</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Jbel khezana	Azrou
Bioclimat	Prehumide	Méditerranéen humide à variante froide
Précipitation	1800 mm / an	860 mn/ an
Type de substrat	Grés	calcaire
Taillis ou futaie	Futaie	
Fut incliné ou droit	droit	

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Olivier

Olivier		
Nom Latin de l'espèce	<i>Olea europaea</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Tazaout	Ain Leuh
Bioclimat	Humide	humide à variante fraîche
Précipitation	1200 mm / an	865 mm / an
Type de substrat	Calcaire	Argile
Taillis ou futaie	Taillis	
Fut incliné ou droit	incliné	

Modèle de Fiche d'échantillonnage : Caroubier

Caroubier		
Nom Latin de l'espèce	<i>Ceratonia siliqua</i>	
Région de récolte	Rif	Moyen Atlas
Lieu de récolte	Akchour	Ain Leuh
Bioclimat	Humide inférieur	humide à variante fraîche
Précipitation	700 mm / an	865 mm / an
Type de substrat	Calcaire	Argile
Taillis ou futaie	Futaie	
Fut incliné ou droit	incliné	

***Annexe B: Photos récapitulatives de la
macrostructure des espèces résineuses et
feuillues étudiées***

◆ Photos récapitulatives de la macrostructure des espèces résineuses étudiées (tableau 2):

- Cèdre de l'atlas: (A) provenance du Rif ; (B) : provenance du Moyen Atlas.



- Genévrier oxycèdre : (A) provenance du Rif ; (B): provenance du Moyen Atlas.



- Thuya de Berbérie: (A) provenance du Rif; (B): provenance du Moyen Atlas.



- Pin d'Alep: (A) provenance du Rif ; (B) : provenance du Moyen Atlas.

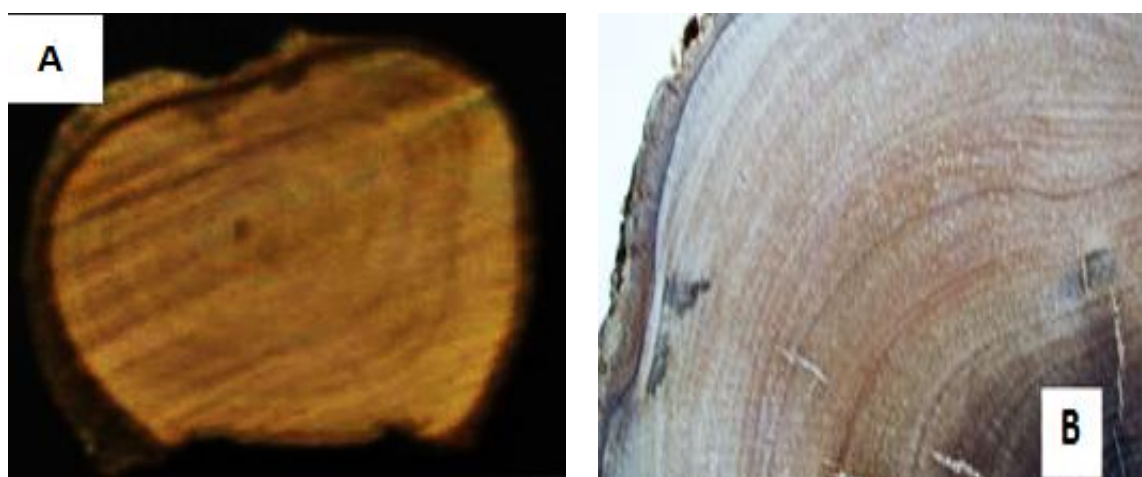


- Pin maritime: (A) provenance du Rif ; (B) : provenance du Moyen Atlas

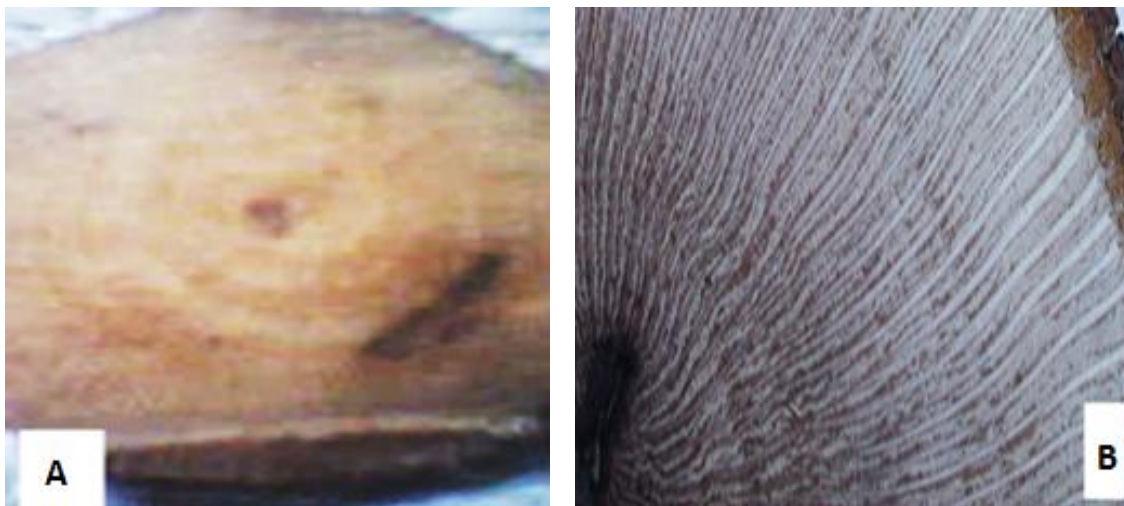


- ♦ Photos récapitulatives de la macrostructure des espèces feuillues étudiées (tableau 4) :

- Olea europea: (A) provenance du Rif; (B): provenance du Moyen Atlas.



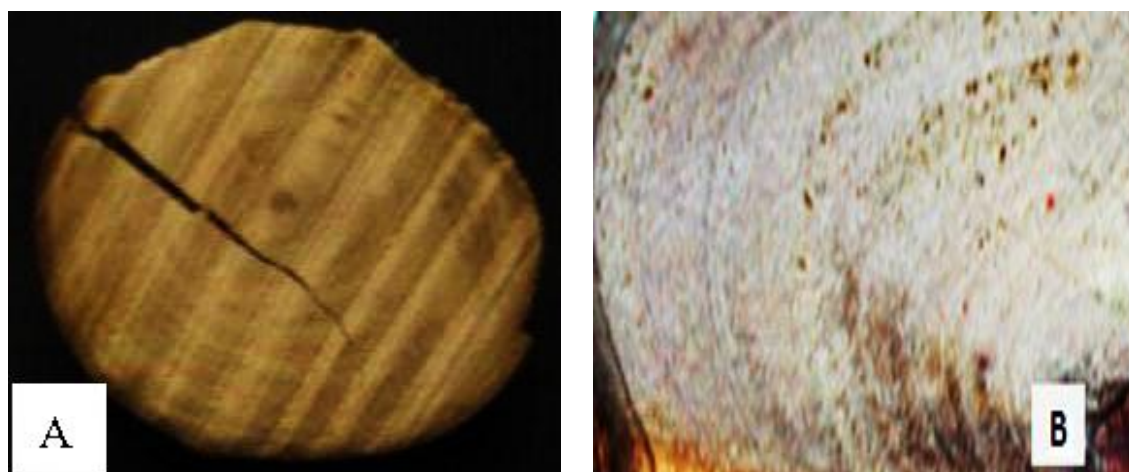
- Chêne vert: (A) provenance du Rif ; (B): provenance du Moyen Atlas.



- Chêne zéen: (A) provenance du Rif ; (B): provenance du Moyen Atlas.



- Caroubier : (A) provenance du Rif ; (B) : provenance du Moyen Atlas.



***Annexe C: Tableaux récapitulatifs de
l'anatomie des espèces récoltées par
provenance***

**Tableau 8: Récapitulatif de l'étude microscopique de la coupe transversale
« Résineux - Rif » (Aznag, 2005)**

Espèces	Passage du Bois finale ou bois initial	Canaux résinifères verticaux	
		présents	absent
<i>Cedrus atlantica</i>	Progressive	Non	Oui
<i>Juniperus oxycedrus</i>	brutale	Non	Oui
<i>Tetraclinis articulata</i>	brutale	Non	Oui
<i>Pinus halepensis</i>	Progressive	Nombreux	Non
<i>Pinus pinaster</i>	Progressive	Nombreux	Non

**Tableau 9 : Récapitulatif de l'étude microscopique de la coupe radiale
« Résineux-Rif » (Aznag, 2005)**

Espèces	Nombre de ponctuation	Grandeur de ponctuation	Type de ponctuation	Disposition de ponctuation
<i>Cedrus atlantica</i>	2, 3 à 4	Petites décelables au fort grossissement	Cupressioides et taxodioides	Ponctuation groupe en deux étages
<i>Juniperus oxycedrus</i>	2 à 4	Petites décelables au fort grossissement	Piceoides	Ponctuation groupe en deux étages
<i>Tetraclinis articulata</i>	1, 2 à 4	Petites décelables au fort grossissement	Piceoides	Ponctuation dispose en deux étages
<i>Pinus halepensis</i>	2 ou 3	moyennes décelables au moyen grossissement	taxodioides	Ponctuation groupe en deux étages
<i>Pinus pinaster</i>	1, 2 à 4	moyennes décelables au moyen grossissement	Picéoides	Ponctuations disposées obliquement

Tableau 10 : Récapitulatif de l'étude microscopique de la coupe tangentielle « Résineux -Rif » (AZNAG, 2005)

Espèces	Rayons ligneux								Canaux résinifères horizontaux	
	homogène	hétérogène	unisériés	bisériés	Multi-sériés	Nb.C/H	Nb.C/L	Formes de cellules	Présents	Absents
<i>Cedrus atlantica</i>	Oui	Non	Oui	Non	Non	3 à 39	1	Arrondie	Non	Oui
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Oui	Non	Oui	Non	Non	2 à 11	1	Ovale	Non	Oui
<i>Tetraclinis articulata</i>	Oui	Non	Oui	Oui	Non	2 à 14	1 à 2	Arrondies	Non	Oui
<i>Pinus halepensis</i>	Oui	Non	Oui	Non	Non	2 à 9	1	rectangulaires	Oui	Non
<i>Pinus pinaster</i>	Oui	Non	Oui	Non	Non	9	1	rectangulaires	Oui	Non

Nb.C/H : nombre de cellules par unité de hauteur du rayon ligneux

Nb.C/L : nombre de cellules par unité de largeur du rayon ligneux

Tableau 11: Récapitulatif de l'anatomie des bois espèces Résineux étudiées « Moyen Atlas » (Idrissi Bakhat, 2005)

Espèces	Canaux résinifères normaux	Trachéides radiales	Ponctuations de champ de croisement	particularités
Cèdre	Absents, les traumatiques sont à cellules bordantes petites et à paroi épaisse	Rares	Pinoïdes, picéoides et cupressoides	Présence de parenchyme cicatriciel
Pin maritime	A cellules bordantes grandes à paroi mince	Marginales à paroi dentée.	pinoïdes	Présence de faux rayons
Pin d'Alep	A cellules bordantes grandes à paroi mince	Centrales ou marginales à paroi dentée.	Pinoïdes, cupressoides.	Présence de faux cernes
Genévrier oxycèdre	Absents	Marginales à paroi dentée.	Cupressoides, taxodioides.	Présence de parenchyme axial en bandes. Présence de faux cernes.
Thuya	Absents	Absentes	Cupressoides avec quelques-unes taxodioides	Présence de parenchyme axial disséminé. Parenchyme radial à paroi noduleuse

Tableau 12 : Récapitulatif de l'étude microscopique de la coupe transversale « Feuillus - Rif » (Aznag, 2005)

Espèces	Répartition des pores	Densité des pores	thylle	Parenchyme paratrachéal	Parenchyme apotrachéal	Particularités
<i>Olea europaea</i>	Semis diffus	Nombreux	Présent	Présent mais d'une seule côte	Absent	Pores groupes en 2, 3 à 4 pores
<i>Quercus rotundifolia</i>	Semis diffus	Nombreux	abondant	Absent	Présent	_____
<i>Quercus faginea</i>	Zones poreuses	Nombreux	abondant	Présent entourant les vaisseaux	Absent	Pores disposés radialement
<i>Ceratonia siliqua</i>	Zones poreuses	Peu nombreux	Absent	Présent entourant les vaisseaux	Absent	Pores groupes en 2, 3 à 5 pores

Tableau 13: Récapitulatif de l'étude microscopique de la coupe radiale « Feuillus - Rif » (Aznag, 2005)

Espèces	Cellules couchées	Cellules dressées	Type de perforation	Parenchyme axial
<i>Olea europaea</i>	Présentes	Absentes	Simple	Présent
<i>Quercus rotundifolia</i>	Présentes	Absentes	En réseau	Présent
<i>Quercus faginea</i>	Présentes	Absentes	-----	Présent
<i>Ceratonia siliqua</i>	Présentes	Absentes	Simple	Présent

Tableau 14: Récapitulatif de l'étude microscopique de la coupe tangentielle « Feuillus - Rif » (Aznag, 2005)

Espèces	Rayons ligneux								Particularités
	homogène	hétérogène	unisériés	bisériés	Multi-sériés	Nb.C/H	Nb.C/L	Formes de cellules	
<i>Olea europaea</i>	Non	Oui	Non	Oui	Non	2 à 15	2	Cellules de l'extrémité triangulaire pointue	Rayon renferment de grandes et petites cellules
<i>Quercus rotundifolia</i>	Oui	Non	Oui	Non	Non	19	1	Rectangulaire	Présence de grand rayon compact
<i>Quercus faginea</i>	Oui	Non	Oui	Oui	Non	4 à 45	1 à 2	Arrondie	Présence de grands rayons compacts avec rayon multisériés intermédiaires
<i>Ceratonia siliqua</i>	Oui	Non	Non	Oui	Oui	5 à 30	3 à 4	Arrondie	_____

Nb.C/H : nombre de cellules par unité de hauteur du rayon ligneux

Nb.C/L : nombre de cellules par unité de largeur du rayon ligneux

Tableau 15: Récapitulatif de l'anatomie des bois des espèces feuillues étudiées « Moyen Atlas » (Idrissi BakKhat, 2005)

Espèces	Largeur des rayons ligneux (nombre de cellules)	Type de perforations des vaisseaux	Epaississements spiralés dans les vaisseaux
Chêne vert	1 ou de 15 à 30	Unique	Absents
Chêne zèen	1 ou de 12 à 36	Unique	Absents
Oléastre	1 ou 2	Unique	Absents
Caroubier	1 ou de 3 à 5	Unique	Absents

Résumé

Cette étude constitue une contribution à la promotion du secteur du bois au Maroc. Le premier objectif de ce travail vise à mettre en évidence l'influence des facteurs écologiques sur la variabilité anatomique intra-spécifique de certaines essences forestières du Maroc en vue d'une utilisation rationnelle de leur bois. Le deuxième objectif concerne la valorisation des produits à base de loupe de thuya, à travers l'identification anatomique de ses principaux axes d'anisotropie, qui conditionnent le mode de coupe. Afin d'atteindre le premier objectif, nous avons d'abord mené une étude anatomique comparative de la structure interne du bois de neuf espèces récoltées à la fois du Rif et du Moyen Atlas; Dans un premier temps, nous avons présenté la description macroscopique des sections de rondelles de bois issues des échantillons choisis; puis ensuite l'étude microscopique des coupes anatomiques, réalisées à l'aide d'un microtome, sur les trois faces du plan ligneux. Les résultats ont montré que l'environnement des essences, appelé aussi station, a un effet assez significatif sur la structure anatomique. Le second objectif de notre travail concerne la loupe de thuya. L'analyse comparative des coupes anatomiques des éprouvettes normalisées, confectionnées suivant les axes principaux des référentiels ont montré que ce bois présente une anisotropie transverse légère.

Mots-clefs (5): essences de bois du Rif et du Moyen Atlas, loupe de thuya, sens d'orientation, analyse macroscopique et microscopique du bois, influences écologiques.

Abstract

This study constitutes a contribution to the promotion of the timber sector in Morocco. The first objective of this work aims to highlight the influence of ecological factors on the intra-specific anatomical variability of certain forest species in Morocco for the rational use of their wood. The second objective concerns the enhancement of products based on thuja burl, through the anatomical identification of its main axes of anisotropy, which condition the cutting method. In order to achieve the first objective, we first carried out a comparative anatomical study of the internal structure of the wood of nine species collected from both the Rif and the Middle Atlas; First, we presented the macroscopic description of the sections of wood discs from the selected samples; then the microscopic study of the anatomical sections, made using a microtome, on the three faces of the woody plane. The results showed that the environment of the species, also called the station, has a fairly significant effect on the anatomical structure. The second objective of our work concerns the thuja burl. The comparative analysis of the anatomical sections of the standardized specimens, made along the main axes of the reference systems, showed that this wood has a slight transverse anisotropy.

Key Words (5): Rif and Middle Atlas wood species, thuja burl, sense of orientation, macroscopic and microscopic analysis of wood, ecological influences.