

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

UNIVERSITE DE TLEMCCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

**Département des ressources forestières**



Laboratoire n°31 : Gestion Conservatoire de l'Eau, du Sol et des Forêts et Développement  
Durable des zones montagneuses de la région de Tlemcen

## **MEMOIRE**

Présenté par :

**Mlle BEKHTI Djalila**

En vue de l'obtention du

**Diplôme de Master en Foresterie**

Option : aménagement et gestion des forêts (AGF)

**Thème**

**Traits histologiques de l'adaptation des ligneux aux  
conditions du milieu**

Soutenu le **07/07/2021**, devant le jury composé de :

Président	Mr BENMAHIOUL.B.	Pr	Université de Tlemcen
Encadreur	Mr BERRICHI M.	Pr	Université de Tlemcen
Examineur	Mr BELLIFA M.	M.A.A	Université de Tlemcen

**Année universitaire 2020/2021**

# ***Remerciement***

Avant tout j'adresse mes remerciements à ALLAH, le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné pour la réalisation de ce travail.

Il est agréable au moment de présenter ce travail d'adresser mes remerciements à mon encadreur **Mr.BERRICHI Mohamed** Professeur à l'université de Tlemcen qui a bien voulu dirigé ce travail, pour tous ses conseils, et ses encouragements et qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance. Je souhaite aussi le remercier pour ses remarques pertinentes, et pour le temps qu'elle a consacré à ce travail. Et surtout pour son soutien indéfectible tout au long de notre parcours.

Je tiens à remercier également **Mr.BENMAHIOUL Benamar** Professeur à l'université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury et pour ses précieuses conseils méthodologique. Qu'il trouve ici ma respectueuse considération.

J'exprime mes remerciements et ma gratitude à **Mr. BELLIFA Mohammed** maître Assistant « A » à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'université de **ABOU BEKR BELKAID**, en particulière aux enseignants du Département de « Ressources Forestières », qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires », et à tous mes collègues de ma promotion.

*Djalila*

## **Dédicaces**

*Je dédie ce modeste travail*

*À mes chers parents « **Abdellatif** » et « **Djamila** »,  
pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,  
leur soutien et leurs prières tout au long de mes  
études, que dieu vous protège*

*A ma chère sœur «**Karima et Nadjet** » pour leurs  
encouragements permanents, et leur soutien moral*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de  
mon parcours universitaire*

*A tous mes adorables amies avec lesquelles j'ai  
partagé mes meilleurs moments. A tous mes collègues  
de la promotion de foresterie « 2016- 2021 ».*

*Enfin, A tous ceux qui j'aime et j'estime. Et à vous  
aussi*

*Merci d'être toujours là pour moi*

*Djalila*

## Liste des figures

Figure 1	Développement des cellules de xylème	5
Figure 2	le cambium vasculaire	6
Figure 3	Structure de résineux : vue schématique	8
Figure 4	Structure de résineux : vue au microscope électronique à balayage	8
Figure 5	Structure de feuillus : vue schématique	11
Figure 6	Structure de feuillus : vue au microscope électronique à balayage	11
Figure 7	Les éléments du vaisseau du bois	12
Figure 8	les deux types de parenchyme axial	13

## Liste des tableaux

Tableau 1	Influence de la pluviométrie sur la morphologie des vaisseaux	25
Tableau 2	Influence de l'étage bioclimatique sur la morphologie des vaisseaux	25
Tableau 3	Influence de la présence de la dépression sur la morphologie des vaisseaux	26
Tableau 4	Paramètres histologiques et disponibilité d'eau chez le peuplier noir	27
Tableau 5	Influence de la latitude sur la morphologie des vaisseaux	28
Tableau 6	Paramètres histologique et éclairement	29
Tableau 7	Évolution des éléments conducteurs chez le chêne vert avec l'âge	30
Tableau 8	Évolution des éléments conducteurs chez le pin d'Alep avec l'âge	31

## Liste des abréviations

**ANOVA**: Analyse de variance

**Cm** : Centimètre

**CV** : Coefficient de variation

**mm** : millimètre

**X** : Valeur moyenne

**µm** : micromètre

**Φ** : diamètre

**b. i** : bois initial

**b.f** : bois final

**v** : vaisseaux

**σ** : Ecart-type

**#ce**: différence

**m** : mètre

**Fig.** : figure

**Tab** : tableau

**%** : pourcent

**>** : Supérieur

**<** : Inferieur

# Sommaire

introduction	1
Chapitre 1 : structure anatomique des ligneux	3
I.1. Caractérisation du bois	4
I.2. Formation du bois	4
I.2.1. La division des initiales du cambium	5
I.2.2. L'élongation des nouvelles cellules	6
I.3. Régulateurs de la formation du bois	7
I.4. Structure anatomique du bois chez les résineux	7
I.4.1. Les trachéides	9
I.4.2. Les rayons ligneux	9
I.4.3. Les cellules de parenchyme	9
I.4.4. Les canaux résinifères	9
I.4.5. Propriétés des résineux	9
I.5. Structure anatomique du bois chez les feuillus	10
I.5.1. Définition	10
I.5.2. Anatomie des feuillus	10
I.5.2.1. Les Vaisseaux	11
I.5.2.2. Les fibres-trachéides	12

I.5.2.3. Les fibres libriformes	12
I.5.2.4. Les rayons ligneux	13
I.5.2.5. Parenchyme	13
I.5.3. Propriétés de bois feuillus	14
I.6. Les fonctions de bois	14
I.6.1. Le soutien	14
I.6.2. La conduction verticale de la sève brute.	15
I.6.3. comment la sève est transportée	15
Chapitre 2 : conditions de croissance et structure du bois	18
II.1. La variabilité de la structure du bois	18
II.2. Modifications anatomiques avec les conditions de croissance	19
II.3. Modifications anatomiques avec l'âge	21
II.4. Conclusion	22
Chapitre III : exemples de traits histologiques et conditions de croissances	24
III.1. L'évolution de la structure du plan ligneux avec les conditions de croissance	24
III.1.1. L'importance de la tranche pluviométrique sur les éléments conducteurs	24
III.1.2. L'influence de l'étage bioclimatique	25
III.1.3. L'influence de la disponibilité en eau par l'effet des dépressions	26

III.1.4. influence de la disponibilité en eau sous formes « irrigations »	27
III.1.5. L'influence de la latitude sur l'histologie du bois	28
III.1.6. Influence de l'éclairement sur le plan ligneux	28
III.1.7. Influence des expositions sur le plan ligneux	29
III.2. L'évolution de la structure du plan ligneux avec l'âge	29
III.2.1. Le cas du chêne vert	30
III.2.2. Le cas du pin d'Alep	31
III.3. Conclusion	32
Conclusion Générale	34
Références bibliographiques	35

**Résumé:** traits histologiques de l'adaptation des ligneux aux conditions du milieu

L'objectif de la présente recherche consiste à vérifier la conformité des travaux réalisés dans le laboratoire de la technologie du bois de l'université de Tlemcen avec la synthèse bibliographique sur cette thématique.

Les résultats prouvent que par rapport à la disponibilité en eau, la latitude et la tranche pluviométrique les éléments du bois dans sa partie initiale sont plus étroits en cas de la déficience en eau et en partant du Nord vers le Sud. L'ombrage et l'exposition n'ont pas un effet sur les dimensions du bois. De la moëlle à l'écorce, les éléments conducteurs des bois feuillus sont marqués par un accroissement en nombre ainsi qu'une augmentation du diamètre des pores. Les trachéides âgées sont épaisses et plus longues.

**Mots clés :** Xylogénèse ; structure ; adaptation ; vaisseaux ; trachéides,

**التلخيص :** السمات النسيجية لتكيف النباتات الخشنة مع الظروف البيئية

الهدف من هذا البحث هو التحقق من توافق العمل المنجز في مختبر تكنولوجيا الأخشاب بجامعة تلمسان مع التوليف البيولوجي حول هذا الموضوع.

تثبت النتائج أنه فيما يتعلق بتوافر المياه وخط العرض ونطاق هطول الأمطار ، فإن عناصر الخشب في جزئها الأولي تكون أضيق في حالة نقص المياه ومن الشمال إلى الجنوب. لا يؤثر التظليل والتعرض على أبعاد الخشب. من النخاع إلى اللحاء ، تتميز العناصر الموصلة للأخشاب الصلبة بزيادة في العدد بالإضافة إلى زيادة قطر المسام. القصبيات الأكبر سنا سميكة وأطول.

**الكلمات الرئيسية :** بنية؛ تكيف؛ أوعية؛ القصبات الهوائية ؛

**Abstract:** histological features of adaptation of ligneous plants to environmental conditions

The objective of this research is to verify the conformity of the work carried out in the wood technology laboratory of the University of Tlemcen with the bibliographic synthesis on this topic.

The results prove that in relation to the availability of water, the latitude and the rainfall range, the elements of the wood in its initial part are narrower in case of water deficiency and from North to South. Shading and exposure do not affect the dimensions of the wood. From marrow to bark, the conductive elements of hardwoods are marked by an increase in number as well as an increase in pore diameter. older tracheids are thick and longer.

**Keywords :** Xylogenesis ; structure ; adaptation ; vessels ; tracheids,

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## INTRODUCTION GENERALE

L'assise génératrice cambiale est formée de deux types de cellules, les unes sont radiales et courtes, elles sont à l'origine des éléments horizontaux du xylème et du phloème (parenchyme des rayons). Les autres initiales, sont fusiformes et longues, elles sont à l'origine des éléments verticaux du xylème et du phloème (cellules conductrices, fibres, cellules du parenchyme axial. Chez les résineux, leurs longueurs sont de 2,5 à 5 mm, leurs largeurs varient de 30 à 50 µm dans le bois initial et de 15 à 25 µm dans le bois final (Detienne, 1988). Chez les feuillus, les vaisseaux peuvent être longs de 1 mm et larges de 25 µm à 400 µm. Lors de la différenciation, les principaux facteurs qui, en agissant sur le fonctionnement du cambium au cours de la vie de l'arbre, peuvent engendrer un bois dont la structure, s'écartera du schéma-robot de son plan ligneux. Le nouveau schéma résulte d'un ensemble de caractéristiques anatomiques liés à l'espèce, à l'âge, à la provenance, au traitement sylvicole et particulièrement au milieu (Normand, 1998).

En effet, les influences internes et externes ont des effets différents ; l'âge, les conditions de la disponibilité en eau, la lumière, l'altitude, la latitude, l'exposition... ont un impact profond sur la dynamique saisonnière de la formation histologique pour montrer l'ensemble du processus de productivité des cellules cambiales au cours de l'année ou de la saison de croissance.

Parmi les fonctions du bois, la conduction est la fonction qui lie le végétal à son milieu. Elle est assurée différemment par les vaisseaux chez les feuillus et par les trachéides chez les résineux.

Dans des conditions différentes à celles où l'arbre est dans son apogée de développement, ce travail sous une forme d'une synthèse bibliographique tente de quantifier le changement opéré dans le schéma robot d'un plan ligneux soumis à de nouvelles conditions. Dans de nouvelles conditions de déficience de l'un des éléments nécessaires à la croissance, l'arbre peut subir des pertes élevées de conductivité du xylème, pouvant nuire à son existence. Récemment, en méditerranée le dépérissement du *Quercus. ilex* a été signalé dans de nombreux endroits dans des sites naturels en Italie, suggérant que les conditions météorologiques extrêmes, telles que des conditions estivales extrêmement chaudes et sèches, pourraient être parmi les raisons de son déclin (Balzano et al., 2021).

A travers, cette analyse bibliographique, et pour répondre à la problématique comment l'élément ligneux réagit avec son milieu, on va développer un premier chapitre sur le

fonctionnement des assises génératrices, dans le second chapitre, on va mettre au point par cette analyse bibliographique, la relation qui existe entre le schéma robot du plan ligneux et les conditions de croissance. Dans le troisième chapitre, on présente des cas de la variabilité du plan ligneux testé au laboratoire du département des ressources forestières de l'université de Tlemcen affecté par un paramètre de croissance et son opposé.

**CHAPITRE I**  
**STRUCTURE ANATOMIQUE DES**  
**LIGNEUX**

## **Chapitre 1 : structure anatomique des ligneux**

Une plante ligneuse est une plante qui produit du bois comme tissu structurel. Les plantes ligneuses sont habituellement des arbres, des arbustes ou des lianes. Il s'agit généralement de plantes vivaces dont les tiges et les racines sont renforcées avec du bois produit à partir du xylème secondaire (Passas, 2008).

Le dictionnaire littéraire français définit le bois comme un ensemble de tissus plus ou moins dure formant la masse principale du tronc et des racines des arbres et des arbrisseaux.

### **I.1. Caractérisation du bois**

Selon Haddad (1990) le bois se caractérise par :

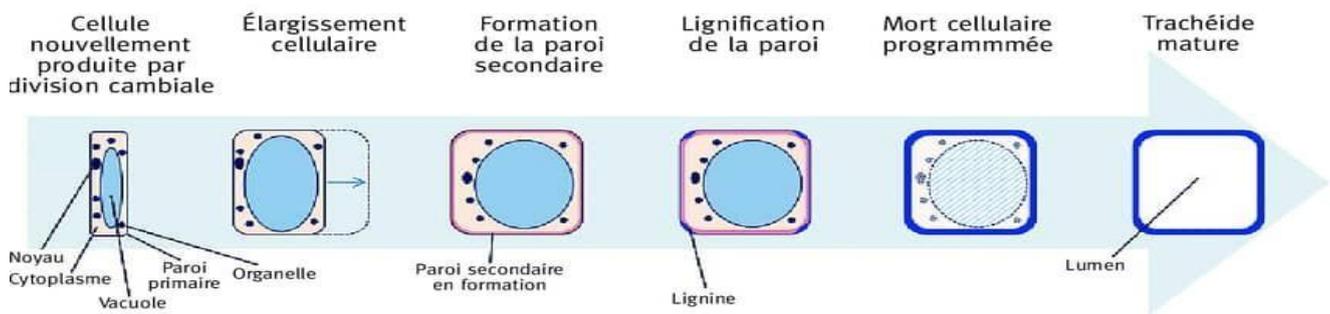
- Une faible densité entre 0,1 et 1,3 ;
- Une très bonne résistance dans le sens longitudinal ;
- Une interaction prononcée avec l'humidité, facteur essentiel des propriétés physiques et mécaniques et des caractéristiques dimensionnelles ;
- Une bonne résistance à l'oxydation, mais une faible résistance à l'action biodégradable des organismes vivants ;
- Une forte porosité 20 à 90% due au caractère cellulaire de ces matériaux.

### **I.2. Formation du bois**

Le bois est un matériau naturel issu des arbres utilisé dans le chauffage, la construction, l'ameublement, la fabrication d'outils et d'objets artistiques. Son mode de formation et sa structure microscopique expliquant ses propriétés remarquables. Les cellules du bois se différencient en édifiant une paroi secondaire composée en partie de lignine. Cette paroi permet des transferts intercellulaires par des amincissements (ponctuations) ou par de véritables perforations (Roger, 2015).

Roignant (2018) définit le bois comme un tissu constitué d'un ensemble de types cellulaires différents qui assurent diverses fonctions dans l'arbre ; de la conduction de la sève au soutien mécanique en passant par le stockage de réserves, l'élaboration et la transformation chimique des substances. La différenciation, la structure, la fonction et l'agencement des tissus constituent une science qui relève de l'anatomie du bois (Détienne, 1988).

La formation du bois (Fig.1) dénommée aussi la xylogénèse comporte deux principales étapes : (a) la division des initiales du cambium et (b) l'élongation des nouvelles cellules (Plomion et al, 2001).

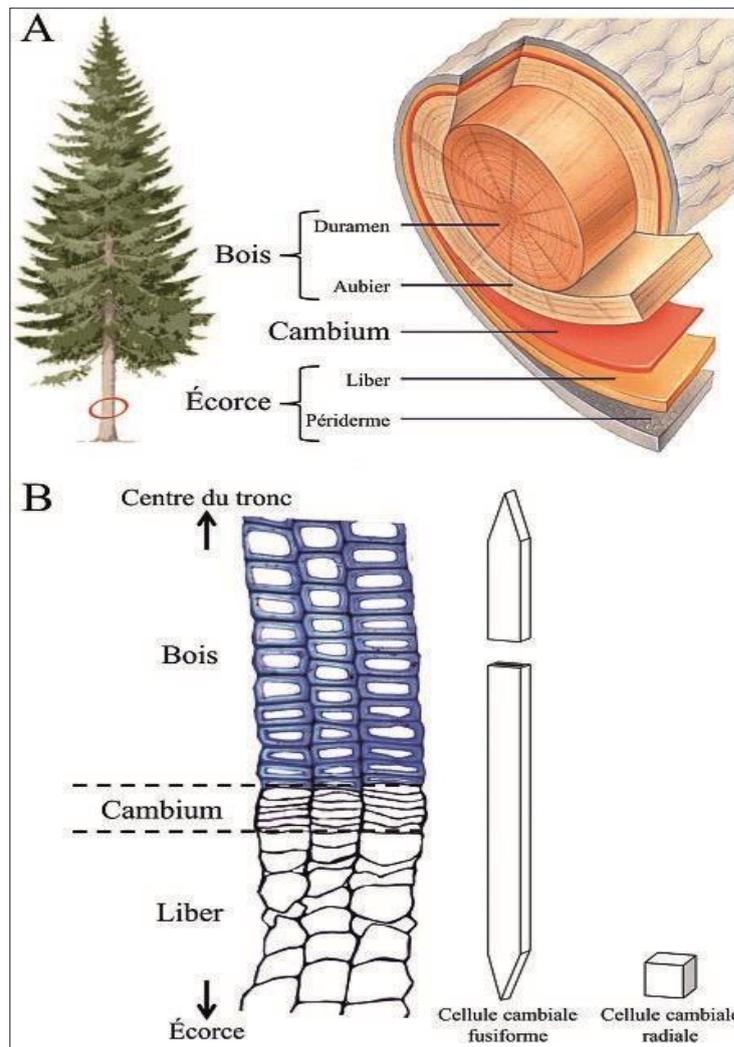


**Figure 1** : Développement des cellules de xylème (Plomion et al, 2001)

### 1.2.1. La division des initiales du cambium

Le bois est issu du fonctionnement vers l'intérieur de l'assise génératrice cambiale. Cette assise connue aussi sous le nom du cambium est composée de deux types de cellules méristématiques indifférenciées, appelées initiales, qui sont hautement vacuolisées, organisées en files radiales, et qui peuvent se distinguer par leur taille et leur forme (Fig.2) (Larson, 1994; Lachaud et al, 1999) :

- les initiales fusiformes et longues, elles sont à l'origine des éléments verticaux du xylème et du phloème (cellules conductrices, fibres, cellules du parenchyme axial). Leurs longueurs est de 200  $\mu\text{m}$  à plusieurs mm, leurs diamètres varie de 5-10  $\mu\text{m}$  ;
- les initiales radiales et courtes, elles sont à l'origine des éléments horizontaux du xylème et du phloème (parenchyme des rayons). De forme cubique ( $\approx 40 \mu\text{m}$  de longueur et de diamètre).



**A:** aspects macroscopique de la genèse du bois.

**B:** aspects microscope de la genèse du bois

**Figure 2 :** le cambium vasculaire (Lachaud et al, 1999)

### 1.2.2. L'élongation des nouvelles cellules

Selon Lachaud et al (1999) la xylogénèse est plus importante du côté du xylème, les cellules passent par une phase d'expansion pour atteindre leurs dimensions définitives. Cette expansion est plus accentué cher les éléments conducteurs alors que chez les fibres qui assurent le rôle de soutien chez les feuillus, l'expansion est plus prononcée dans le sens axiale (Roignant, 2018).

Selon Vieira et al (2009) La section transversale (lumen) des trachéides, est positivement corrélée à la disponibilité de l'humidité au moment de la formation des cellules.

### **I.3. Régulateurs de la formation du bois**

La xylogénèse est contrôlé par différents régulateurs :

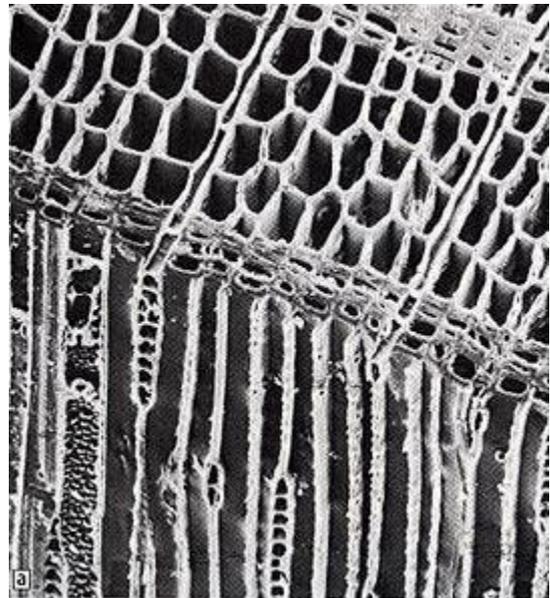
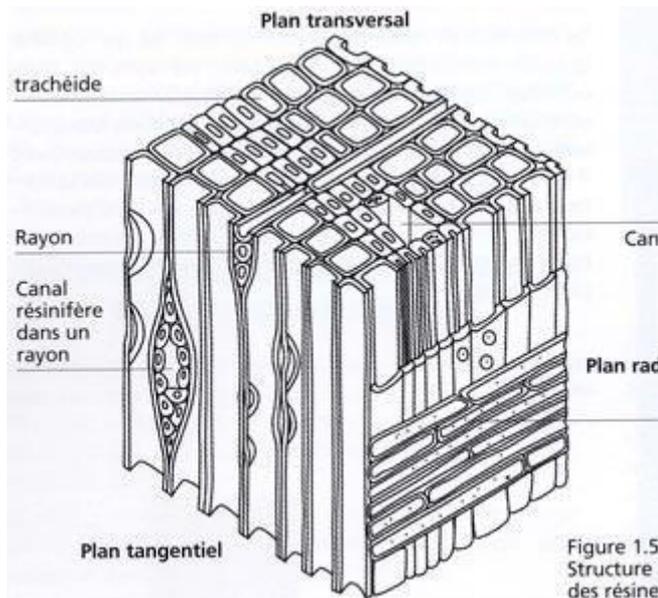
- Régulation de l'activité cambiale : le taux de la division cellulaire est contrôlé par des facteurs génétiques et environnementaux (Ursache et al., 2013). Des facteurs liés à la transcription des gènes et l'implication des phytohormones semblent agir sur l'activité cambiale, Nilson et al. (2008) signalent qu'une perturbation de la signalisation de l'auxine entraîne une réduction de la division cellulaire et par conséquent de la croissance radiale exprimée par la diminution des dimensions des éléments du bois. Love et al. (2009) ont indiqué qu'un traitement par l'éthylène du peuplier stimulait la division cellulaire du cambium ;
- Régulation de l'expansion cellulaire et de la caractérisation du xylème selon Carlsbecker et al. (2010) ont montré le rôle de certaines protéines dans la régulation de l'expression des fibres du phloème, de la zone cambiale et surtout de développement du xylème. L'atténuation de l'expression (mi ARN 165/166) entraîne une réduction de la production du xylème et des tissus lignifiés (Kim et al., 2005). Des phytohormones comme l'auxine et la gibbérelline sont considérées comme régulateurs importants dans la formation du bois. Mauriat et Moritz (2009) signalent leurs importances dans l'allongement de fibres et le développement du xylème chez le peuplier tremble ;
- Effet des facteurs environnementaux sur l'expansion cellulaire : la régulation de l'expansion cellulaire que ce soit chez les feuillus ou chez les résineux résulte du fonctionnement de l'assise génératrice libéro-ligneuse qui est très dépendante des conditions de croissance des arbres forestiers (Keller, 1993).

### **I.4. Structure anatomique du bois chez les résineux**

L'anatomie des bois résineux (conifères, ou plus exactement «gymnospermae», du grec «dont la graine est nue») se distingue dans son principe même de celle des feuillus, apparus plus tard dans l'histoire phylogénétique (lignum, 2010)

Le tissu fondamental est constitué de cellules nommées trachéides. Celles qui sont situées dans le bois initial remplissent en premier lieu une fonction conductrice et sont pourvues, à cet effet, de nombreuses ponctuations aréolées, qui servent à l'échange de la sève brute (ascendante) entre deux cellules et fonctionnent comme des valves à membrane. Les trachéides du bois final ont des parois plus épaisses et un diamètre plus petit. Elles constituent principalement le tissu de soutien (lignum,2010).

La structure des bois de résineux est assez simple comme l'illustre les figures 3 et 4 :



**Figure 3** : schéma de la structure générale du bois chez les résineux (passas, 2008).

**Figure 4** : ultrastructure du bois chez les résineux. Vue au microscope électronique à balayage (passas, 2008).

### **I.4.1. Les trachéides**

Les bois de conifères, comme ceux de toutes les gymnospermes, sont constitués par des cellules verticales à ponctuations aréolées, appelées trachéides. On retrouve de tels éléments cellulaires effilés et ponctués dans de nombreuses espèces d'angiospermes dicotylédones (ex. : chêne) (Borredon et al, 2021). Les trachéides longitudinales constituent environ 90 % du volume du bois des résineux (Campredon, 1969 ; Harrington, 1998).

### **I.4.2. Les rayons ligneux**

Les rayons ligneux sont constitués de cellules de parenchyme qui peuvent être accompagnées ou non de trachéides horizontales selon les essences. Les rayons ligneux sont toujours orientés dans le sens radial (Passas, 2008).

### **I.4.3. Les cellules de parenchyme**

Les cellules de parenchymes permettent la circulation de la sève dans le sens radial mais elles peuvent également jouer un rôle de stockage des nutriments (Passas, 2008).

### **I.4.4. Les canaux résinifères**

Un canal résinifère est une cavité tubulaire, de longueur variable, formée par une ou plusieurs couches de cellules de parenchyme dont la plus interne est sécrétrice. Ces cellules sécrètent une oléorésine dans la lumière du canal.

### **I.4.5. Propriétés des résineux**

Les résineux se caractérisent par les propriétés suivantes \* :

- **Utilisations:** Les résineux sont le plus souvent utilisés dans le bois de dimension pour la charpente de construction, le bois à pâte pour le papier et les produits en feuilles, y compris les panneaux de particules, le contreplaqué et les panneaux de fibres de bois.
- **Densité :** Les résineux sont généralement plus légers et moins denses que les feuillus.
- **Taux de croissance :** Les résineux poussent rapidement par rapport à la plupart des feuillus, une des raisons pour lesquelles ils sont moins chers

\* : <https://www.greelane.com/fr/science-technologie-math%C3%A9matiques/animaux--nature/difference-between-hardwood-softwood-trees-1341883/> consulté le 13.02.2021)

## **I.5. Structure anatomique du bois chez les feuillus**

### **I.5.1. Définition**

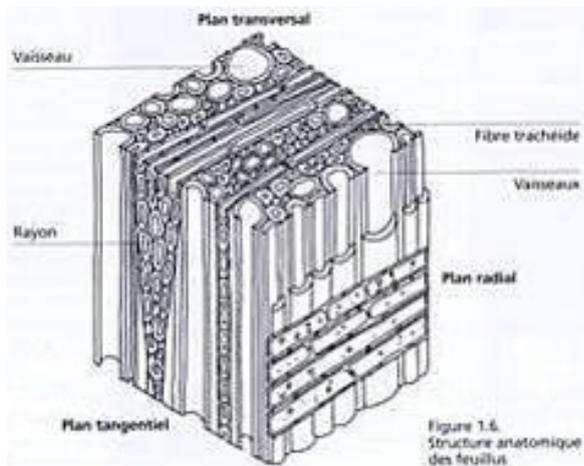
Le bois feuillus est plus évolué et il présente dans sa structure une diversité plus grande que celle du bois des résineux. Par exemple, chez les résineux, les trachéides longitudinales jouent les deux rôles de soutien et de conduction alors que chez les feuillus, les trachéides n'assurent que la fonction de conduction, le soutien étant assuré par un autre types de cellules qui s'appellent les fibres (Dunaud, 2006).

### **I.5.2. Anatomie des feuillus**

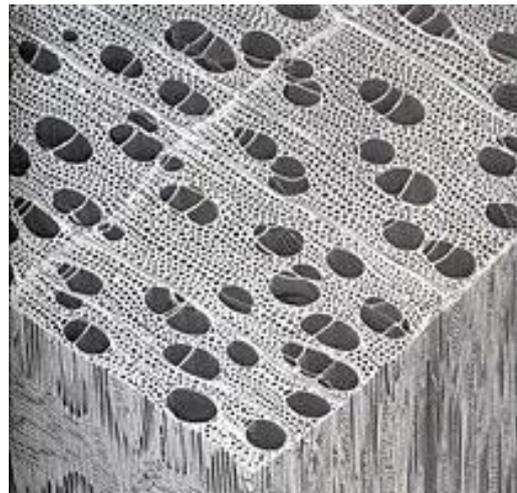
L'anatomie des feuillus est plus complexe que celle des bois résineux. Durant l'évolution, les cellules des bois feuillus se sont plus fortement différenciées. Les cellules longitudinales se sont spécialisées en éléments vaisseaux et en fibres (Lignum, 2010).

Les vaisseaux remplissent la fonction conductrice de la sève brute (ascendante). Lors de leur croissance, leurs extrémités se juxtaposent et leurs parois cellulaires sont perforées par de grandes ouvertures de la taille de leur diamètre formant ainsi un long «tuyau» continu. Selon les espèces, la taille des vaisseaux est tellement grande qu'ils deviennent visibles à l'œil nu sous formes de pores. La paroi des vaisseaux est parsemée de ponctuations aréolées, qui servent à l'échange de la sève brute (ascendante) entre deux vaisseaux et fonctionnent comme des valves à membrane. Les fibres constituent le tissu de soutien. Elles sont de très petit diamètre, possède une paroi cellulaire très épaisse et n'ont quasiment plus de lumen (Lignum, 2010).

L'organisation des feuillus est plus complexe que celle des résineux. En effet, la conduction de la sève et le soutien de l'arbre ne sont pas réalisés par les mêmes cellules (figure 5 et 6) :



**Figure 5** : schéma de la structure générale du bois chez les feuillus (passas, 2008).



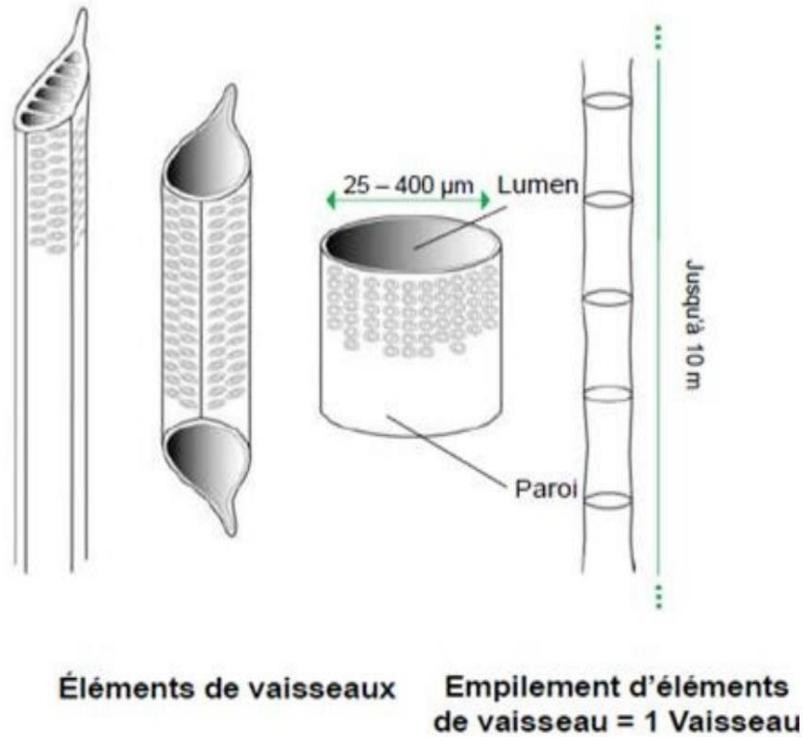
**Figure 6** : ultrastructure du bois chez les feuillus. Vue au microscope électronique à balayage (passas, 2008)

### I.5.2.1. Les Vaisseaux

Les vaisseaux sont des cellules de forme cylindrique dont l'axe est parallèle à celui de l'arbre, placées les uns à la suite des autres, formant des canicules continus (Chaplet et al, 1991), permettant le transport de la sève chez le feuillus. Ils sont implantés de manière longitudinale dans le bois et peuvent être ou non juxtaposés. L'évolution de la taille des vaisseaux et de leur répartition au cours d'un cerne annuel dans le bois permet de classer les feuillus en trois classes (Passas, 2008).

La masse volumique des vaisseaux sont en général comprises entre 450 et 1250 kg/m<sup>3</sup> à 12% d'humidité (Merlin, 2011).

**Figure 7 :** Les éléments du vaisseau du bois (Cuny, 2015).



### **I.5.2.2. Les fibres-trachéides**

Les fibres-trachéides ne sont présentes que pour certaines essences (le châtaignier par exemple) et ont une double fonction de conduction de la sève et de soutien de l'arbre (Normand, 1972).

### **I.5.2.3. Les fibres libriformes**

Les fibres libriformes sont des éléments rangés longitudinalement, dans le sens de l'axe de l'arbre. Elles ne participent qu'au soutien de l'arbre. Elles ne comportent donc pas de ponctuation. Leur forme est fusiforme (Passas, 2008).

### **I.5.2.4. Les rayons ligneux**

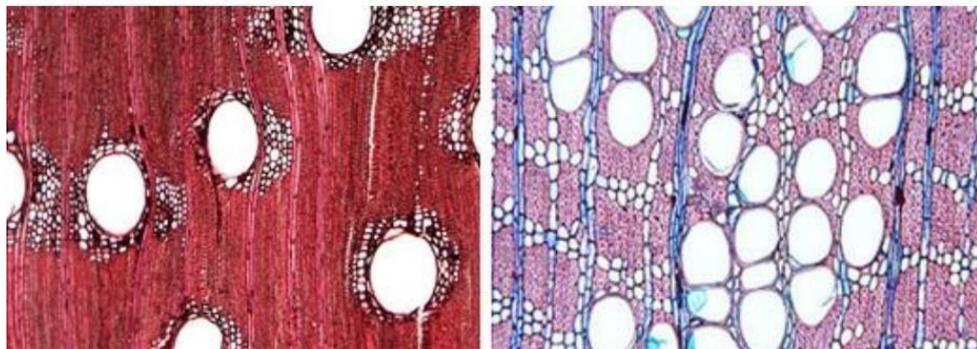
Orientés dans le sens radial, ne sont composés que de cellules de parenchyme. Ils peuvent être soit homogènes soit hétérogènes en fonction de l'arrangement des cellules qui les composent. Un rayon est dit homogène si toutes les cellules de parenchyme sont couchées (Détienne, 1988). D'après Venet (1986), les rayons ligneux sont des cellules de réserve à parois épaisses et lignifiées, qui accompagnent le tissu vasculaire. Ces cellules participent

en outre à la fonction de soutien, leur orientation est transversale et rayonnante en partant de l'axe longitudinal de l'arbre.

### **I.5.2.5. Parenchyme**

Les parenchymes sont des cellules généralement petites, parallélépipédique et leur paroi est généralement lignifiée. Ce sont les éléments vivants du bois, elles contiennent donc encore un noyau et du protoplasme. Doin (1964) distingue :

- Un parenchyme radial : orienté horizontalement, ce sont les rayons. En gros, le parenchyme dérive des initiales fusiformes du cambium ; les rayons, d'initiales spéciales appelées « cellules-mères des rayons ».
- Un parenchyme axial : dont les éléments sont plus ou moins allongés verticalement, c'est le véritable parenchyme dont on distingue le parenchyme orotrachéal dont les cellules sont indépendantes des pores et le parenchyme paratrachéal où les cellules sont liées aux vaisseaux (Fig.08).



**Figure 08** : les deux types de parenchyme axial (Desch et Dinwoodie, 1981)  
(à gauche): parenchyme paratrachéal en losange; (à droite) : parenchyme apotrachéal en chainettes.

### **I.5.3. Propriétés de bois feuillus**

Le bois feuillus se caractérise par les propriétés suivantes \* :

- Utilisations : le bois des essences de bois dur est le plus couramment utilisé dans les meubles, les planchers, les moulures en bois et les placages fins. .
- Densité : les feuillus sont généralement plus denses et plus lourds que les résineux.
- Taux de croissance : Varie, mais tous poussent plus lentement que les résineux, une des principales raisons pour lesquelles ils sont plus chers.

## **I.6. Les fonctions de bois**

Le bois connu aujourd'hui est le fruit de plusieurs millions d'années d'évolution qui ont façonné une structure parfaitement adaptée à la prise en charge de ces différentes fonctions. Ainsi, il est constitué de plusieurs types de cellules qui ont une forme et une disposition inextricablement reliées à leur (s) fonction (s). Par exemple, certaines de ces cellules sont très allongées, vides et entourées de parois secondaires rigides et imperméables : elles forment des petits tuyaux disposés dans les sens des axes des arbres et sont ainsi idéalement conçues pour la conduction de la sève brute (Roger,2015).

D'après Venet (1986) et Normand (1998) pour la plante, Le bois a deux rôles fondamentaux :

### **I.6.1. Le soutien**

Pour les plantes de grande taille (arbres mais aussi arbustes et buissons), le bois constitue une armature de soutien. Il suffit d'observer un tronc d'arbre ou une bille de bois pour en être persuadé

### **I.6.2. La conduction verticale de la sève brute.**

Le xylème représente le tissu conducteur de la sève brute. Chez les plantes de petite taille (plantes herbacées ou jeunes germinations), le xylème primaire, contenant un nombre réduit d'éléments conducteurs (trachéïdes ou vaisseaux) suffit amplement pour faire monter la sève de quelques dizaines de centimètres. Chez les plantes ligneuses et en particulier chez les arbres, le volume de sève nécessaire est important et s'accompagne du développement très important du xylème secondaire ou bois. Ceci résout bien le problème du volume de sève à transporter mais pas celui de la hauteur.

\* : <https://www.greelane.com/fr/science-technologie-math%C3%A9matiques/animaux--nature/difference-between-hardwood-softwood-trees-1341883/> (consulté le 13.02.2021)

### 1.6.3. Comment la sève est transportée

- La capillarité

La première idée qui vient à l'esprit est de faire intervenir les forces de capillarité. En effet, chez les angiospermes, le diamètre des vaisseaux est inférieur au millimètre et les éléments de vaisseaux mis bout à bout (par des perforations complètes) constituent un tube continu. De plus, leur paroi lignifiée est hydrophobe qui limite les pertes latérales par diffusion. Cependant, chez les gymnospermes, les trachéides ont une longueur limitée et sont reliées entre elles par de simples ponctuations (la sève est obligée de traverser une paroi cellulosique). La simple capillarité est incapable d'expliquer la montée de la sève sur plusieurs mètres, voire sur plusieurs dizaines de mètres.

- La cohésion des molécules d'eau

Les molécules d'eau entretiennent des relations inter-moléculaires qui permettent à une colonne d'eau située dans un tube capillaire de ne pas se "rompre". Cette propriété de l'eau est fondamentale pour expliquer la montée de la sève.

- La poussée racinaire

Pour qu'il y ait conduction, il faut qu'il existe une entrée et une sortie. L'entrée s'effectue au niveau des jeunes racines grâce à la surface absorbante importante réalisée par la multiplicité des poils absorbants ou par l'existence d'un feutrage de champignons symbiotiques (mycorhizes). L'absorption de l'eau, dans les conditions standards, s'effectue spontanément par suite de la différence de potentiel hydrique entre l'extérieur et l'intérieur de la racine. La charge de l'eau et des substances dissoutes de la racine vers le système conducteur nécessite par contre des processus actifs (au niveau de l'endoderme des racines). Ces processus provoquent une charge sous pression en bas de la colonne de sève. Cependant, cette "poussée racinaire" semble insuffisante pour permettre la montée de la sève à de grandes hauteurs.

- L'aspiration foliaire

En fait, c'est la transpiration des feuilles qui semble être le moteur principal de la sève brute. Les pertes d'eau par la transpiration ne sont pas néfastes (sauf en cas de grande sécheresse) mais au contraire permettent de créer une différence de potentiel hydrique entre le haut et le bas de

la colonne de sève. Ceci d'ailleurs ne peut se réaliser que grâce aux propriétés remarquables de l'eau (cohésion des molécules). Il est difficile de réaliser une expérience simple pour montrer le rôle de l'aspiration foliaire dans un arbre de 30 mètres de haut mais ce phénomène est universel et peut être mis en évidence facilement sur une plante herbacée. Choisissons des fleurs coupées blanches comme des lis par exemple. Comme elles sont coupées, il n'y a plus de système d'absorption racinaire. Plaçons les fleurs dans une solution colorée et recouvrons une des fleurs par un sac en plastique qui bloque la transpiration des pétales en créant localement une atmosphère saturée en vapeur d'eau.

**CHAPITRE II**

**CONDITIONS DE CROISSANCE ET**

**STRUCTURE DU BOIS**

## **Chapitre II : conditions de croissance et structure du bois**

Le mot adaptation vient du latin « adaptare ». Il est défini comme un ensemble d'ajustements ou de changements dans le comportement, la physiologie ou la structure d'un organisme lui permettant de devenir plus apte à vivre dans un environnement défini (Briat,2020). Les échanges gazeux entre les feuilles et le milieu sont essentiels. D'un point de vue anatomique, les stomates s'ouvrent et se ferment pour permettre ces échanges, en fonction de paramètres environnementaux comme la température, la luminosité ou l'hygrométrie. Le fonctionnement des stomates et la photosynthèse sont deux paramètres importants qui participent à l'adaptation des plantes à leur environnement, en particulier pour l'adaptation à la sécheresse ou chez les plantes vivants dans des zones arides \*<sup>1</sup>. Les plantes, ont donc évolué pour s'adapter à des conditions environnementales contrastées dans l'espace et fluctuantes dans le temps.

### **II.1. La variabilité de la structure du bois**

Un plan ligneux d'une espèce déterminée présente un schéma-robot caractéristique. Ce schéma pourra correspondre aux spécificités adaptées d'un échantillon spécialement choisi pour représenter le type moyen de structure du bois de l'espèce. 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).

L'état vivant des structures végétales implique une notion de variation : la variabilité est une caractéristique inhérente chez les ligneux. Chez le bois, la variation est un phénomène qui intéresse aussi bien sa constitution anatomique que sa constitution chimique. Les principaux facteurs qui, en agissant sur le fonctionnement du cambium au cours de la vie de l'arbre, peuvent engendrer un bois dont la structure, s'écartera du schéma-robot de son plan ligneux.

Les variations de structures sont mises en évidence, soit par une analyse macroscopique (grain, la texture ; proportion des différents tissus ligneux) soit par une analyse microscopique pour la dimension des éléments cellulaires ou la structure des rayons.

Cette variation de la structure du bois en fonction des facteurs du milieu est à l'origine de la variabilité entre les arbres d'une même espèce en affectant la taille des cellules ou la proportion respective des tissus ligneux.

\*1 : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/mouvements/nasties-stomate.htm>

## II.2. Modifications anatomiques avec les conditions de croissance

Parmi les facteurs environnementaux susceptibles de varier, la rareté de l'eau exprimée par une augmentation de la température ou une réduction de la disponibilité en eau ont été identifiées comme les principaux facteurs affectants la croissance, le développement et la productivité des plantes (GIEC, 2018). La sécheresse est en effet un facteur de stress important et peut conduire à des réponses physiologiques et structurelles pour maintenir des relations hydriques équilibrées (Martinez-Vilalta et al., 2009).

Les travaux de Kramer (1964) ; Sass et Eckstein, (1992) ; Aussenac et al. (1995) et Corcuera et al. (2004) mettent en évidence que la disponibilité de l'eau, la température et la lumière affectent les dimensions, le nombre des cellules et les changements du diamètre moyen de vaisseaux. Flechter (1975) a montré que les années sèches produisent des vaisseaux de petite taille et que la taille du vaisseau doit diminuer lorsque la disponibilité de l'eau est faible. Les auteurs cités par Hroš et Vavrčik (2014) soutiennent que la taille des vaisseaux est principalement contrôlée par la disponibilité de l'eau au temps de la formation des vaisseaux et par la température en Méditerranée. Tout en mentionnant l'absence de relation entre la taille des vaisseaux et les couches de croissance annuelle dans le bois adulte chez le *Quercus robur* et *Quercus petraea*. Huber (1993) a montré une corrélation faible mais significative entre la surface individuelle des pores et le maximum des températures des mois de la formation des vaisseaux.

Selon Sperry (2000), dans les bois des milieux xériques, les épaissements hélicoïdaux augmentent la résistance mécanique qui peut être également garantie par la présence de vaisseaux à parois très épaisses et à lumière étroite. Les bois xéromorphes sont généralement caractérisés par un nombre accru de vaisseaux étroits. En conditions sèches, la redondance des cellules conductrices permet le transport de l'eau malgré la désactivation d'une partie du tissu (Carlquist, 1975)

DeSoto et al. (2011) ont observé qu'en direction Nord-Sud, les plantes feuillues réduisent la lumière cellulaire très probablement comme stratégie d'adaptation pour faire face à la sécheresse. Des tendances similaires se retrouvent parmi les espèces de conifères des sites arides. Selon le même auteur, des résineux poussant à des altitudes plus élevées développent des diamètres moyens de trachéides plus gros (23,2 µm contre 19,5 µm). Selon Ziaco et al.(2013), des résineux comme *Picea engelmannii* ; *Pinus flexilis* ; *Pinus longaeva* ; *Pinus monophylla* du versant Sud, avaient un diamètre de trachéide et une épaisseur de paroi

plus petits que les espèces du versant Nord. D'après Hacke et al (2001) ; Sperry et al. (2005) des trachéides plus étroites sont considérées comme plus résistantes au manque d'eau.

En région méditerranéenne, Martín et al. (2004) rapportent que le *Pinus sylvestris* dans la péninsule ibérique développe des longueurs plus importantes des trachéides avec une sévérité croissante de la sécheresse. De nombreuses espèces arbustives des écosystèmes semi-arides et arides méditerranéens ont un bois spécialisé pour une conductivité élevée lorsque l'eau est disponible (Carlquist, 1988). Dans la flore méditerranéenne, la première preuve empirique de la relation positive entre le groupement des vaisseaux et la résistance à la cavitation a été rapportée pour sept espèces d'Acer. Lens et al. (2011) ont mis une relation positive entre la disposition des vaisseaux et la résistance à la sécheresse pour sept espèces d'Acer. En cas de manque d'eau, un vaisseau dans le groupe embolise et les vaisseaux avoisinants maintiennent la voie conductrice. Presque le même rôle peut être joué par les trachéides des résineux.

La disponibilité des ressources en eau du sol en tant qu'habitats sont des éléments déterminants dans l'identité et de l'activité des plantes. L'utilisation du concept de traits permet de rendre compte d'une part de la capacité de certaines plantes à survivre et persister dans un environnement donné ou de connaître leurs évolutions (Freschet et al., 2018).

La mesure des critères morphologiques simples des éléments conducteurs : diamètre moyen, nombre par unité de surface et de longueur reflètent le fonctionnement éco physiologique des arbres (Fletcher (1975), Gasson (1987) et Guilley et Nepveu (2003). Un certain nombre de facteurs supplémentaires pourrait expliquer le changement de taille de ces éléments. Prat et al. (2007) et Barij et al (2007) ont montré que la structure du xylème dépend fortement de l'environnement local d'un arbre. Selon Wheeler et al. (2005), dans les environnements arides et semi-arides, la taille des vaisseaux peut également être limitée par la nécessité de l'aspiration de gaz à travers les pores. L'adaptation à la sécheresse se développe grâce à des processus d'acclimatation par des changements au niveau structurel du bois pour limiter les besoins en eau ou en augmentant l'accessibilité à la source d'eau en développant les racines (Klein et al. 2011 ; Rigling et al. 2013).

Une étude concernant l'influence des points cardinaux sur la longueur des fibres et des trachéides a mis en évidence le rôle de l'éclairement du tronc. Chez des Résineux et les Feuillus tempérés et tropicaux, les fibres du côté ensoleillé sont nettement plus courtes que celles situées du côté resté dans l'ombre. Les différences étaient de 50 microns avec les Feuillus, à 350 microns avec les Résineux. Pour un même cerne, on a noté une différence plus grande dans le bois final que dans le bois initial, suivant les conditions d'éclairement du tronc.

Chez les Résineux ou les Feuillus qui ont été gemmés pour recueillir l'oléorésine du bois, on note des modifications de structure à la suite des saignées. Chez la *Shorea robusta* une Diptérocarpacée asiatique qui donne une sorte de dammar, les modifications portent sur de nombreux points. Il y a augmentation du nombre des vaisseaux, réduction de leur largeur, et modification dans leur disposition.

### **II.3. Modifications anatomiques avec l'âge**

De nombreux chercheurs ont montré que, de la moëlle à l'écorce, la longueur des éléments vasculaires et le diamètre des vaisseaux augmentaient très rapidement pendant quelques années, puis gardaient à peu près les mêmes dimensions tout en variant légèrement avec les conditions du milieu. Selon Leclercq (1981), les éléments du bois ont tendance à augmenter de taille pendant plusieurs années jusqu'à ce qu'ils atteignent un développement plus ou moins stable. Dans ce sens, certains auteurs prétendent que le bois des Résineux atteint sa structure définitive vers l'âge de 40 ou 50 ans, tandis que le bois des Feuillus l'atteindrait plus tôt, c'est-à-dire vers 10-20 ans. En fait cela varie beaucoup avec les essences : ainsi pour le Hêtre elle est entre 30 et 40 ans. Cependant, Gasson (1987) et Barij (2006) ont démontré que la taille des vaisseaux augmente avec l'âge sans évoqué la notion de la stabilisation. Dans le cas de *Quercus petraea*, Helinska-Raczowska (1994) a noté des vaisseaux plus larges et moins nombreux pour le bois initial dans la zone externe et des vaisseaux plus nombreux et plus gros dans la zone externe du bois final. Detienne (1988) et Normand (1998) ont noté pour les vaisseaux des feuillus, une croissance en nombre et une augmentation en diamètre des pores avec l'âge.

Chez des Résineux, l'effet de l'âge sur les dimensions des trachéides a plus d'importance que la largeur des couches d'accroissement dans les quinze premières années. Desch et Dinwoodie, (1996) estimaient qu'après 50 ans, l'effet de l'âge était moins important que la largeur des cernes.

## **II.4. Conclusion**

Dans le chapitre 3, des exemples d'application sur le comportement histologique de certains bois feuillus et résineux testés au laboratoire par rapport aux conditions de croissance ou par rapport à l'âge vont être cités. Les résultats tirent leurs références de la pertinence du fond documentaire disponible actuellement par rapport aux moments antérieurs de la réalisation des travaux.

**CHAPITRE III**

**EXEMPLES DE TRAIT**

**HISTOLOGIQUES ET CONDITIONS DE**

**CROISSANCES**

## **Chapitre III : exemples de traits histologiques et conditions de croissances**

Dans ce chapitre, des cas de réponses histologiques du plan ligneux aux conditions du milieu vont être présentés sur la base d'une synthèse de travaux entamés au sein du département des ressources forestières de l'université de Tlemcen. L'exemple de l'influence des conditions du milieu va faire objet d'une présentation au cas par cas par la suite, l'évolution du plan ligneux avec l'âge sera abordée en un second temps.

### **III.1. L'évolution de la structure du plan ligneux avec les conditions de croissance**

L'influence des conditions du milieu sur le plan ligneux de certaines espèces feuillues a été abordée dans certaines études réalisées par le laboratoire de la technologie du bois du département des ressources forestières de l'université de Tlemcen. Dans la majorité des cas, les différentes formes de la disponibilité en eau ou de son hostilité ont été au centre d'intérêt. Comme c'est le cas de :

- L'importance de la tranche pluviométrique sur les éléments conducteurs (Berrichi, 2010);
- L'influence de l'étage bioclimatique (Chelda, 2015) ;
- L'influence de la disponibilité en eau : l'effet des dépressions (Kada Medjahed ; 2018) ; irrigations (Boukhari, 2017) ;
- L'influence de la latitude (Merkati, 2018) ;
- Influence de l'éclairement sur le plan ligneux (Djaouadi, 2017);
- Influence des expositions sur le plan ligneux (Zaidi, 1997) ;

#### **III.1.1. L'importance de la tranche pluviométrique sur les éléments conducteurs**

Pour tester l'importance de la tranche pluviométrique sur les éléments conducteurs, deux échantillons de bois d'âge équivalent (15<sup>ème</sup> -19<sup>ème</sup> accroissements) issus de deux la rondelle ont fait objet de mesure du diamètre des vaisseaux dans la zone du bois initial et dans la zone du bois final ainsi que le nombre de vaisseaux par unité de surface.

Les deux arbres, ont été récoltés en avril 2007. La zone de prélèvement des échantillons de la rondelle « 1 » est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle entre 1936 et 1940 de 708.2mm. La zone de prélèvement des échantillons de la rondelle « 2 » est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle de 620.22mm pour une période comprise entre 1978 et 1982.

D'après Berrichi (2010), l'influence des tranches pluviométriques sur la morphologie des vaisseaux a donné les résultats suivants (tab.1).

**Tableau 1.** Influence de la pluviométrie sur la morphologie des vaisseaux

	Rondelle		F (5 %)		
	1	2	f.obs	f.the	≠ce
Φ vaisseaux b.i (µm)	138.5	109.7	1.83	1,96	DS
Φ vaisseaux b.f (µm)	64.4	75.79	0.38	1,96	DNS
v/ mm <sup>2</sup>	16.36	17,58	4.17	1,96	DNS

Φ : diamètre ; **b. i** : bois initial ; **b.f** : bois final ; **v** : vaisseaux ; **≠ce** : différence ; **DS** : différence significative

Le tableau 1 montre que le diamètre des vaisseaux ou le lumen du bois initial augmente à la faveur de la tranche pluviométrique lors de son passage d'une moyenne annuelle de 708.2 mm à une moyenne de 620.22 mm Le diamètre des vaisseaux en bois final ainsi que la fréquence des vaisseaux n'obéissent pas à cette règle en matière de dimensions et tranche pluviométrique.

### III.1.2. L'influence de l'étage bioclimatique

D'après Chelda (2011), les éléments conducteurs chez le chêne vert soumis à l'effet de deux étages bioclimatiques différents se présentent comme suit (tab.2).

**Tableau 2.** Influence de l'étage bioclimatique sur la morphologie des vaisseaux

	Etage. Bio		F	P
	S-A	S.H		
Ø vaisseaux b.i (µm)	90.92	99.4	8.02	0.005
Ø vaisseaux b.f (µm)	52.88	55.1	2.57	0.109
v/ mm <sup>2</sup>	13,16	15.04	1.91	0.089

Ø : diamètre ; **b. i** : bois initial ; **b.f** : bois final ; **v** : vaisseaux.

Le tableau 2 montre que dans un climat plus frais et plus arrosé, les vaisseaux sont plus développés et plus nombreux. Le traitement statistique « ANOVA2 », montre que le climat a un effet significatif sur le diamètre des vaisseaux du bois initial ( $P = 0,005 < 0,05$ ). Le climat n'a aucun effet sur le diamètre des vaisseaux du bois final ( $P = 0,109 > 0,05$ ) et la densité des vaisseaux par unité de surface ( $P = 0,089 > 0,05$ ).

Les résultats de Chelda (2011) montrent que dans les conditions de déficiences climatiques, les vaisseaux chez le chêne vert en régime de futaie ou de taillis deviennent « fins ».

### III.1.3. L'influence de la disponibilité en eau par l'effet des dépressions

Des échantillons du bois d'*Atriplex canescens* ont été prélevés de deux sites en fonction de la présence ou l'absence de la dépression « zone d'accumulation d'eau ». Les résultats donnés par Kada Medjahed (2018) figurent dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Influence de la présence de la dépression sur la morphologie des vaisseaux

Paramètres histologiques	sans dépression		avec dépression		Test [Z]		
	X	$\sigma$	X	$\sigma$	Obs	crit	
Ø pores bois initial ( $\mu\text{m}$ )	103,1				3,45	1,96	(****)
	9	15,61	112,22	21,01			
Ø pores bois final ( $\mu\text{m}$ )	37,05	15,02	47,26	14,28	4,92	1,96	(****)
V /mm <sup>2</sup>	9,96	1,93	15,15	2,35	13,15	1,96	(****)

Ø : diamètre ; **obs** : valeur observée ;  $\sigma$  : Ecart-type ; **crit** : valeur critique ; **v** : vaisseaux.

Le tableau 3 montre qu'en présence de la dépression, les vaisseaux du bois initial et ceux du bois final ainsi que leurs fréquences sont plus développés. Une analyse de variance (ANOVA) a révélé l'existence d'une différence très significative ( $P < 0.0001$ ) entre les caractères histologiques étudiés. En situation d'indisponibilité d'eau, l'*Atriplex canescens*, les vaisseaux deviennent moins nombreux avec une réduction de 25 % (1/4). En bois initial et en bois final, ils sont respectivement moins ouverts de l'ordre de 10% et 20%.

### III.1.4. influence de la disponibilité en eau sous formes « irrigations »

Des échantillons du bois du peuplier noir (*populus nigra* L.), ont été analysée par Boukhari (2015) dans deux stations, la première station est située près de la forêt de Zarifet et la seconde dans la zone urbaine de Tlemcen où les arbres sont soumis à un système d'irrigation en intermittence. Le tableau 4 synthétise le résultat des paramètres dans chacune des deux stations.

**Tableau 4.** Paramètres histologiques et disponibilité d'eau chez le peuplier noir

Paramètres histologiques	Sans irrigation		avec irrigation		Anova		
	X	$\sigma$	X	$\sigma$	F.val	P.val	≠ce
Ø pores bois initial ( $\mu\text{m}$ )	46.8						
	3	11.25	65.20	8.56	2.24	0.005	**
Ø pores bois final ( $\mu\text{m}$ )	35.6	7.59	42.656	7.49	0.87	0.607	/
V /mm <sup>2</sup>	10.65	1.47	9.150	1.65	0.67	0.678	/

Ø : diamètre ; crit : valeur critique ; v : vaisseaux ;  $\sigma$  : Ecart-type ; X : Valeur moyenne.

Le tableau 4 montre que dans le cas d'un apport supplémentaire d'eau par irrigation favorise significativement le développement du diamètre du vaisseau. Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) présente une valeur de P value > 0,05 dans le cas du diamètre de vaisseaux de bois final, le cas du nombre de vaisseaux par mm<sup>2</sup>. On peut conclure que dans notre intervalle de confiance on accepte H0, il montre l'absence de différence significative entre les deux situations. Dans le cas du diamètre des vaisseaux du bois initial, la valeur du P value est < 0,05, et on peut déduire que les vaisseaux du peuplier noir de dans le cas d'apport en eau d'irrigation présentent un diamètre significativement plus grand.

### III.1.4. L'influence de la latitude sur l'histologie du bois

Des échantillons du bois du pistachier de l'atlas ont été analysés dans deux endroits différents : le premier est situé au nord de la wilaya de Tlemcen et le second dans la zone Sud de la même wilaya par Merkti (2018), les résultats sont comme suit :

**Tableau 5.** Influence de la latitude sur la morphologie des vaisseaux

Caractéristique	Valeur anatomique		I Z I		P-value	≠ce
	Nord	Sud	obs	cri		
Ø pores bois initial (µm)	270	58	20.4 8	1.96	< 0.0001	(****)
Ø pores bois final (µm)	61	29	12.9 2	1.96	< 0.0001	(****)
V /mm <sup>2</sup>	82	152	11.6	1.96	< 0.0001	(****)

Ø : diamètre ; **obs** : valeur observée ; **crit** : valeur critique ; **v** : vaisseaux.

Le tableau 5 montre l'existence d'une différence très hautement significative, de ce fait, on peut dire que la station influe sur les caractères histologiques du bois du pistachier d'Atlas. Les caractéristiques histologiques du bois du pistachier d'Atlas sont nettement développées dans le Nord en matière de diamètre des vaisseaux du bois initial et celui du bois final. Par contre, on remarque une forte présence de vaisseaux dans le Sud.

### III.1.5. Influence de l'éclaircissement sur le plan ligneux

Des échantillons du bois du peuplier blanc (*Populus alba* L.), ont été prélevés de deux sites en fonction de la présence ou l'absence de l'éclaircissement. Les résultats donnés par Djaouadi (2017) figurent dans le tableau 6.

**Tableau 6.** Paramètres histologique et éclaircissement

Caractéristique	Valeur anatomique				≠ce
	Eclair	Ombre	F.val	P.val	
Ø pores bois initial (µm)	97,67	100,6	0.55	0.495	//
Ø pores bois final (µm)	60.9	62,33	0.43	0.511	//
V /mm <sup>2</sup>	100.1	97.02	0.19	0.66	//

Ø : diamètre ; obs : valeur observée ; crit : valeur critique ; v : vaisseaux

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) présente une valeur de P. value > 0.05. On rejette H1 et on accepte H0 ; on peut conclure que la station n'influe pas sur les caractères histologiques.

### III.1.6. Influence des expositions sur le plan ligneux

L'influence des expositions sur le plan ligneux est étudiée par la comparaison de la structure anatomique de quatre échantillons de bois d'âge équivalente du 15<sup>ème</sup> au 19<sup>ème</sup> accroissement (Zaidi, 1997), prélevés de la même rondelle, selon les quatre points cardinaux : Nord, Sud, Est et Ouest. Les critères marqués par leurs expositions sont :

- Les rayons multi sériés sont plus larges en expositions Sud ;
- Les fibres les plus longues se trouvent en exposition Ouest ;
- Les fibres les plus larges se trouvent en exposition Nord ;

Les observations n'ont pas révélées un caractère spécifique quant à l'effet de l'exposition sur les éléments conducteurs.

## III.2. L'évolution de la structure du plan ligneux avec l'âge

Deux espèces, les plus emblématiques du panorama forestier de la région de Tlemcen ont fait objet d'étude de mémoires de graduation et d'une publication. Boumehdi (1996) et Berrichi et al (2016) se sont intéressés au cas du chêne vert. Sirat (2000) a suivi le cas du pin d'Alep.

### III.2.1. Le cas du chêne vert

L'influence de l'âge sur les éléments conducteurs a été étudiée par la position radiale des échantillons dans les accroissements ; à savoir : la zone interne et la zone externe des deux rondelles de deux arbres. L'arbre « 1 » est d'une hauteur de 5.50 m et d'un diamètre à 1.30 de 19 cm. L'arbre « 2 » possède une hauteur de 4.20 m et un diamètre à 1.30 m de 10.2 cm. Dans l'arbre 1, la tranche interne correspond au (15<sup>ème</sup>-19<sup>ème</sup> accroissements) et la tranche externe correspond quant à elle aux (56<sup>ème</sup> - 60<sup>ème</sup>) accroissements. La tranche interne de l'arbre « 2 » est dans la même zone d'accroissement (15<sup>ème</sup>-19<sup>ème</sup> accroissement) et la zone externe est dans la tranche (28<sup>ème</sup>-32<sup>ème</sup>) accroissements. Les résultats de cette démarche confirmés par Berrichi et al. (2016) ont été comme suit (tab. 7) :

**Tableau 7.** Évolution des éléments conducteurs chez le chêne vert avec l'âge

	Arbre	Zone		F (5 %)		
		Intern	Extern	f.obs	f.the	≠ce
Φ vaisseaux b.i (µm)	Arbre 1	138.0	212.9	10.2	1,96	DS
	Arbre 2	109.7	130.5	2.83	1,96	DS
Φ vaisseaux b.f (µm)	Arbre 1	64.4	81.78	4.03	1,96	DS
	Arbre 2	75.79	83.34	2.83	1,96	DS
v/ mm <sup>2</sup>	Arbre 1	16.36	23.32	5.06	1,96	DS
	Arbre 2	17.58	19,52	2.30	1,96	DS

Φ : diamètre ; b. i : bois initial ; b.f : bois final ; v : vaisseaux ; ≠ce : différence

Le tableau 7 montre que les mesures sont d'un niveau acceptable du point de vue analyse statistique, toutes les mesures sont d'une différence significative entre la zone interne et la zone externe. De ce fait, on peut conclure que les vaisseaux avec l'âge et dans les deux cas deviennent plus gros en bois final et dans la zone du bois initial et plus nombreux.

Cette situation est conforme à la bibliographie. Au centre, le bois nommé «Juvénile» est caractérisé par des éléments conducteurs marqués par un accroissement en nombre ainsi qu'une augmentation du diamètre des pores en relation avec une diminution du tissu fibreux (Venet, 1986 ; Détienne, 1988 ; Normand 1998).

### III.2.2. Le cas du pin d'Alep

L'influence de l'âge sur les éléments conducteurs a été étudiée par la position radiale des échantillons dans les accroissements radiaux prélevés à une de 3 mètres ; à savoir : la zone interne (5<sup>ème</sup> -8<sup>ème</sup>), une zone médiane (30<sup>ème</sup> -35<sup>ème</sup>) et la zone externe (45<sup>ème</sup> - 59<sup>ème</sup>) d'une rondelle de pin d'Alep âgée de 62 ans récoltée en 1999 de la forêt domaniale de Tlemcen . Les seuls résultats retrouvés de ce suivi (Sirat, 2000) sont représentés dans le tableau 8.

**Tableau 8.** Évolution des éléments conducteurs chez le pin d'Alep avec l'âge

	Zone			F (5 %)		
	Intern	Médian	externe	f.obs	f.thé	≠ce
Lg trachéides (µm)	2191	2632	3505	27,96	3.02	DS
Ep Paroi (µm)	3.66	4.46	5.08	28.80	3.02	DS

≠ce : différence ; obs : valeur observée ; thé : théorique

Les paramètres relatifs à la longueur des trachéides et à l'épaisseur de leur paroi illustrent une nette augmentation dans le sens radial. De ce fait, les trachéides âgées sont épaisses et plus longues. Cette analyse en matière de la longueur des trachéides est en conformité avec les travaux de Makinen et al. (2008) qui ont démontré que les trachéides du bois juvénile sont plus courtes et leur longueur augmente progressivement en allant de la moelle vers l'écorce. En matière de la largeur du lumen, même si la démarche expérimentale de Sirat (2000) n'avait pas abordé cet aspect, Cyriac (2015) le diamètre et la longueur des trachéides augmentaient de la moelle vers l'écorce chez les résineux, mise à part chez le pin gris où il a constaté que le diamètre des trachéides a d'abord augmenté pendant les huit premières années, avant de diminuer vers l'écorce. Zhang et Koubaa (2009) et Mvolo et al. (2015) ont observé que durant les premières années de la croissance radiale, la longueur et le diamètre des trachéides manifestent un accroissement rapide qui tend à être graduel dans la zone médiane jusqu'à atteindre une taille maximale vers l'écorce.

D'après Dinwoodie (1994), chez les Résineux, l'effet de l'âge sur les dimensions des trachéides a plus d'importance que la largeur des couches d'accroissement dans les quinze premières années. Et qu'après 50 ans, l'effet de l'âge était moins important que la largeur des cernes sur les dimensions des trachéides.

### **III.3. Conclusion**

En général, l'adaptation au milieu peut être obtenue au moyen de diverses combinaisons de traits anatomiques du bois. L'absence ou la faible expression d'un trait spécifique peut être compensée par l'apparition d'autres caractéristiques adressées au même but ; par exemple, une plus grande épaisseur de la paroi peut compenser une diminution dans les éléments conducteurs.

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Dans l'étude des traits histologiques du plan ligneux, la variation est une manifestation qui affecte aussi bien sa constitution anatomique que sa constitution chimique. Les principaux paramètres qui, en agissant sur la xylogénèse du cambium au cours de la vie de l'arbre, peuvent engendrer un bois dont la structure peut s'écarter du schéma-robot de son plan ligneux. Cette variation de la structure du bois en fonction des facteurs du milieu est à l'origine de la variabilité entre les arbres d'une même espèce en affectant la taille des cellules ou la proportion respective des tissus ligneux.

Parmi les facteurs environnementaux susceptibles de varier, la disponibilité de l'eau exprimée par une son abondance ou sa rareté ; l'augmentation ou la réduction de la température ; l'importance de la tranche pluviométrique ; l'altitude, la latitude, l'ombrage ou tout simplement l'âge ont été identifiées comme les principaux facteurs affectants la croissance, le développement et la productivité des plantes.

Les travaux du laboratoire de la technologie des ligneux du département des ressources forestières de l'université de Tlemcen et sur la base d'une bibliographie conçue dans cette thématique mettent en évidence que la disponibilité de l'eau, la tranche pluviométrique, la lumière ... affectent les dimensions, le nombre des cellules et les changements du diamètre moyen des vaisseaux ou des trachéides. Kada Medjahed (2018) a montré qu'en situation d'indisponibilité d'eau, les vaisseaux de *Atriplex canescens* deviennent moins nombreux avec une réduction de 25 % ( $\frac{1}{4}$ ). D'après Boukhari (2015), les vaisseaux du bois initial du peuplier noir de dans le cas d'apport en eau d'irrigation présentent un diamètre significativement plus grand. Berrichi et al. (2016) ont montré que le diamètre des vaisseaux du bois initial augmente à la faveur de la tranche pluviométrique lors de son passage d'une moyenne annuelle de 708.2 mm à une moyenne de 620.22 mm. Les résultats de Chelda (2011) montrent que dans les conditions de déficiences climatiques, les vaisseaux chez le chêne vert en régime de futaie ou de taillis deviennent « fins ». Merkati (2018) a démontré que les caractéristiques histologiques du bois du pistachier d'Atlas sont nettement développées dans le Nord par rapport au Sud en matière de diamètre des vaisseaux du bois initial et celui du bois final.

Les cas contrastés de l'influence de l'un des milieux sur le schéma-robot des espèces étudiées mériteraient d'être repris. Le premier but recherché à travers cette démarche est de mettre au profit le matériel récent, parce que même si la démarche de la réalisation des coupes est restée la même, les techniques de quantification ont bénéficié de l'apport de logiciel. C'est pour cette raison qu'on souhaite la reprise de certains cas, où l'effet du paramètre testé sera appuyé par l'apport de ces logiciels dans la quantification et l'uniformité de l'observation. Le second objectif, c'est d'écarter l'erreur qui peut provenir de l'opérateur, un paramètre suivi chronologiquement par deux opérateurs différents conduirait à des résultats certainement différents.

L'examen de quelques facteurs qui diffuseront au mieux l'influence d'autres paramètres méritera d'être repris dans un cadre plus étendu de la recherche post-Master.

# **RÉFÉRENCES**

## **BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

- **Aussenac, G., Granier, A., Et Breda, N.,** 1995. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, 1 : 54-62.
- **Barij, N., Stokes, A., Bogaard, T., Van Beek, R.,** 2007. Does growing on a slope affect tree xylem structure and water relations ? *Tree Physiol* , 27, 757–764.
- **Balzano, A., Čufar, K., De Micco, V.,** 2021. Xylem and Phloem Formation Dynamics in *Quercus ilex* L. at a Dry Site in Southern Italy. *Forests*. 188
- **Berrichi, M.,** 2010. Détermination des aptitudes technologiques du bois de *quercus Rotundifolia* Lamk et possibilités de valorisation. Thèse de doctorat. Univ Tlemcen. 149p.
- **Berrichi, M., Benabdelli, K., Haddad, A.,** 2016. Radial evolution of vascular elements in the oak *Quercus ilex* L. wood. *Journal of forest science*, 62 : 463–469.
- **Boukhari, I.,** 2016. Contribution à l'étude de l'effet de la station sur les caractéristiques histo-morphologiques du peuplier noir (*Populus nigra* L.) dans la région de Tlemcen ,Mém, Master ,Forest,univ,Tlemcen,63+Annexes.
- **Campredon, J.,** (1969). "Le bois", 4<sup>ème</sup> édition, N° 382, Ed. Presses universitaires de France.
- **Carlquist, S.,** 1975. Ecological strategies of xylem evolution. Berkeley, University of California Press : 259 p
- **Carlquist, S.,** 1988 : Comparative wood anatomy, systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer Verlag, 436 p
- **Carlsbecker, A., Lee, J Y., Roberts, C J., Dettmer, J., Lehesranta, S., Zhou, J., et al.,** 2010. Cell signalling by microRNA165/6 directs gene dose-dependent root cell fate. *Nature* 465 : 316.
- **Chaplet, J., Dirc, D., Ozanne, G., Rayzal, M., et Serment MM.,** 1991. Bois : mode d'emploi et préservation. Ed CTBA .Paris, 175p
- **Chelda, L.,** 2011. Contribution à l'étude de l'effet du climat et du régime sylvicole sur la qualité du bois de chêne vert (*Quercus rotundifolia*) DES MONTS DE TLEMEN. Thèse, Magister. Univ Tlemcen. 124p.

- **Corcuera, L., Camarero, J J., Gil-Pelegri n, E.,** 2004. Effects of a severe drought on *Quercus ilex* radial growth and xylem anatomy. *Trees*, 18, 83–92.
- **Cuny, H.,** 2015. La formation du bois. Cours M1 Page.89p
- **Desch, H E., et Dinwoodie, J M.,**1981. Timber: its structure, properties and utilisation. 6thEdition, Macmillan London
- **Desch, H. E., et Dinwoodie, J. M.** 1996. TIMBER : Structure, Properties, Conversion and Use. 7th edn. McMillan Press Ltd.,UK. 306pp
- **DeSoto, L., De la Cruz, M., Fonti, P.,** 2011. Intra-annual patterns of tracheid size in the Mediterranean tree *Juniperus thurifera* as an indicator of seasonal water stress. *Can. J. For. Res.* 41 1280–1294. 10.1139/X11-045
- **Dettienne, P.,** 1988 : Cours illustre d’anatomie du bois. CIRAD. Paris. 47p.
- **Dettienne, P.,** 1988. Cours illustrée d’anatomie du bois. CTFT, Paris, 47p.
- **Djaouadi, S.,** 2017. Contribution à l’étude de l’effet de la station sur les caractéristiques histo-morphologiques du peuplier blanc «*Populus alba L.*» dans la région de Tlemcen, Mém, Master, forest, univ Tlemcen. 68 + Annexes.
- **Doin, G.,** 1964. Anatomie des plantes vasculaire. Tome I et II, b /4210.
- **Dunaud, L E.,** 2006.Analyses vibratoires et acoustiques du déroulage .Thèse de doctorat. ENSAM. Paris.222p+Annexes
- **Dunwoodie, J M.,** 1994. Personal communication, Building Research Esv. Garston, Watford. U K.
- **Flechter, J M.,** 1975. Relation of abnormal earlywood in oak to dendrochronology and climatology. *Nature* 254, 506-50
- **Freschet, G T., Violle, C., Roumet, C., Et Garnier, E.,** 2018. Interactions entre le sol et la végétation : structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol. Les sols au cœur de la zone critique :  cologie (eds P. Lemanceau & M. Blouin), pp. 83-99. ISTE editions, London, UK. »
- **Gasson, P.,** 1987. Some implications of anatomical variations in the wood of Pedunculate oak (*Quercus robur L*) including comparisons with Common beech (*Fagus silvatica L*). *IAWA* vol 8, n  2, 149-166
- **GIEC.,** 2018. Global Warming of 1,5 C. Summary for Policymakers, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32p
- **Guilley., Nepveu.,** 2003 : Interprétation anatomique des composantes d’un modèle mixte de densité du bois chez le Chêne sessile (*Quercus petraea Liebl*) :  ge du cerne

compté depuis la moelle, largeur de cerne, arbre, variabilité interannuelle, duraminisation. *Ann. For. Sci.*, 60 (4), pp. 331-346.

- **Hacke, U G., Sperry, J S., Pockman, W T., Davis, S D., Mcculloh, K A.**, 2001. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Springer-Verlag. Oecologia*, 126 :457-461
- **Haddad, A.**, 2008. Etude des caractéristiques anatomiques, chimiques et papetières du bois de Thuya de Berberie( *Tetraclinis articulata* Vahl). Thèse doctorat. Univ Tlemcen. 139p
- **Harrington, J J., Booker, R., Et Astley, R J.**, 1998. Modelling the elastic properties of softwood (Part I : The cell-wall lamellae). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56 : 37-41.
- **Helinska-Raczkowska.**, 1994 . Variation of vessel lumen diameter in radial direction as an indication of the juvenile wood growth in oak (*Quercus petraea* Liebl) . *Ann. For. Sci.* 51 (1994) 283-290
- **Hroš, M., Vavrčík, H.**, 2014. Comparison of earlywood vessel variables in the wood of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. Growing at the same site. *Dendrochronologia*, 32 : 284–289.
- **Huber, F.**, 1993. Déterminisme de la surface des vaisseaux du bois des chênes indigènes (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.). Effet individuel, effet de l'appareil foliaire, des conditions climatiques et de l'âge de l'arbre. *Annals of Forest Science*, 50 : 509–524.
- **Kada Medjahed, I.**, 2018. Etude histo-morphologique d'*Atriplex canescens* dans la zone steppique de la Wilaya de Tlemcen, Mém, Master, univ Tlemcen. 56p
- **Keller, R.**, 1994. La constitution du bois. Chapitre 1 de l'ouvrage « Le bois matériau L'alimentation et le développement de ces insectes. Thèse. Bio, Ann, Univers, Orléans, 179p.
- **Kim, J., Jung, J H., Reyes, J L., Kim, Y S., Kim, S Y., Chung, K S.**, 2005. microRNA Directed cleavage of *ATHB15* mRNA regulates vascular development in *Arabidopsis* Inflorescence stems. *Plant J* 42 : 84–94.
- **Klein, T., Cohen, S., Yakir, D.** 2011. Hydraulic adjustments underlying drought resistance of *Pinus halepensis*. *Tree Physiology*, 31, 637–648.
- **Kramer, P.J.**, 1964. The role of water in wood formation. In : Zimmermann M.H. (ed.) : *The Formation of Wood in Forest Trees*. New York, Academic Press : 519–532.

- **Lachaud, S., Catesson, A M., and Bonnemain, J L.,** 1999. Structure and functions of the Vascular cambium. *Comptes Rendus Académie Sci – Ser III – Sci Vie* 322 : 633–650.
- **Larson, P R.,** 1994. The vascular cambium : development and structure. Springer-Verlag
- **Leclercq, A.,** 1981. Influence entre la structure anatomique du bois du hêtre ( *Fagus sylvatica* L) et ses propriétés physiques et mécaniques. *Bulletin de Recherches Agronomiques de Gembloux.* 16 (I) : 3-26.
- **Lens, F., Sperry, J., Christman, M., Choat, B., Rabaey, D., Jansen, S.,** 2011. Testing hypotheses that link wood anatomy to cavitation resistance and hydraulic conductivity in the genus *Acer*. *New Phytologist* 190 : 709–723
- **Love, J., Björklund, S., Vahala, J., Hertzberg, M., Kangasjärvi, J., and Sundberg, B.,** 2009. ethylene is an endogenous stimulator of cell division in the cambial meristem of *Populus*. *Proc natl Acad Sci* 106 : 5984–5989.
- **Martin, K., Aitken, K E H., Et Wiebe, K L.,** 2004. Nestsites and nest webs for cavity-nesting communities in interior British Columbia, Canada : nest characteristics and niche partitioning. *Condor* 106 :5–19.
- **Martinez-Vilalta, J., Cochard, H., Mencuccini, M., et al.,** 2009. Hydraulic adjustments of Scots pine across Europe. *New Phytologist* 184 : 353-364.
- **Mauriat, M., and Moritz, T.,** 2009. Analyses of GA20ox- and GID1-over-expressing aspen Suggest that gibberellins play two distinct roles in wood formation. *Plant J* 58 : 989–1003
- **Merkati, S N.,** 2018. L’effet de la provenance sur les caractéristiques histomorphologique Du Pistachier d’Atlas ( *Pistacia atlantica* Desf.). Mém, Master, univ Tlemcen. 46 p.
- **Merlin, S T.,** 2011. Contribution à l’étude du séchage des bois tropicaux au Cameroun : Aspects caractérisation, modélisation multi-échelle et simulation. Le cas des bois d’ayous (*triplochiton scleroxylon*) et d’ébène(*diospyros crassiflora*). Thèse Doctorat. Univ Yaounde. 219p.
- **Mvolo, C S.,** 2015. étude et modélisation de la variation de la qualité du bois basées sur les propriétés anatomiques, physiques et la croissance du bois chez l’épinette blanche (*Picea glauca* (moench) voss) et le pin gris (*Pinus banksiana* lamb). thèse, doc, univ québec. 209 p.

- 
- **Mvolo, C S., Koubaa, A., Beaulieu, J., Cloutier, A., et Mazerolle , M J., 2015.** «Variation in Wood Quality in White Spruce (*Picea Glauca* (Moench) Voss). Part I. Defining the Juvenile-Mature Wood Transition Based on Tracheid Length». *Forests*, vol. 6, p. 183-202.
- **Nilsson, J., Karlberg, A., Antti, H., Lopez-Vernaza, M., Mellerowicz, E., Perrot-Rechenmann, C., et al., 2008.** Dissecting the molecular basis of the regulation of wood formation by auxin in hybrid aspen. *Plant Cell* 20 : 843–855.
- **Normand, D., 1972.** Manuel d'identification des bois commerciaux, Tome 1 généralités. Centre technique forestier tropical (ed.), France, 171p
- **Normand, D., 1998.** Manuel d'identification des bois commerciaux. 2<sup>ème</sup> Ed. CIRAD. Montpellier. CEDEX .France.175p.
- **Normand, D., 1998.**Manuel d'identification des bois commerciaux. 2<sup>nd</sup> Ed. Paris, CIRAD. 175p.
- **Plomion, C., Leprovost, G., and Stokes, A., 2001.** Wood formation in trees. *Plant Physiol* 127: 1513–1523.
- **Pratt, R B., Jacobsen, A L., Ewers, F W., Davis, S D., 2007.** Relationships among xylem transport, biomechanical and storage in stems and roots of nine Rhamnaceae species of the California chaparral. *New Phytologist* 174 : 787-798.
- **Rigling, A., et al., 2013.** Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. *Global Change Biology* 19 :229–240.
- **Roignant, R., 2018.** Biologie de développement du bois en réponse à des sollicitations mécaniques environnementales. *Biologie végétale*. Univ Clermont Auvergne. Français.
- **Sass, U., et Eckstein, D., 1992.** The annual vessel area of beech as an ecological indicator, *Proc. Tree Rings and Environment, Lundqua Report* 34 : 281-285.
- **Sirat, A., 2000.** Variabilité radiale et axiale des caractéristiques anatomiques chez les résineux : cas du pin d'Alep. Mém, ingénieur d'état en foresterie, univ Tlemcen. 98p.
- **Sperry, J S., 2000.** Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agric. Forest Meteor* 104 :13-23.
- **Sperry, J S., Hacke, U G., et Wheeler, J W., 2005.** Comparative analysis of end wall resistance in xylem conduits. *Plant, Cell & Environment* 28 : 456–564.
- **TROUY, M C., 2015.** Anatomie du bois – Formation, fonctions et identification. Edition : Quæ. Paris. 186 p

- **Ursache, R., Nieminen, K., and Helariutta, Y., 2013.** Genetic and hormonal regulation of cambial development. *Physiol Plant* 147p : 36–45.
- **Vieira, D L M., Holl, K D., et Peneireiro, F M., 2009.** Agro-successional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Restoration Ecology*, 17(4) :451–459.
- **Venet, J., 1986.** Identification et classement des bois Français. ENGREF, Nancy, 308
- **Wheeler, J W., Sperry, J S., HackE, U G., et Hoang, N., 2005.** Intervessel pitting and cavitation in woody Rosaceae and other vesseled plants: a basis for a safety vs. efficiency trade-off in xylem transport. *Plant, Cell & Environment* 28: 800–812.
- **Zaidi, A., 1997.** Influence des expositions sur les caractéristiques du bois des feuillus : cas du chêne vert. Mém, ingénieur d'état en foresterie, univ Tlemcen. 68p.
- **Zhang, S Y., Koubaa, A., 2009.** Les résineux de l'Est du Canada : Écologie forestière, caractéristiques, transformation et usages. In : FPIinnovations (ed) Publication spéciale—SP-526<sup>E</sup>. FPIinnovations-Forintek-Division, Québec, pp 1–28.
- **Ziaco, E., Biondi, F., Rossi, S., Deslauriers, A., 2013.** Quantifying cambial activity of high-elevation conifers in the Great Basin, Nevada, USA, Fall Meeting, Abstract ID 1795104. American Geophysical Union, San Francisco, California, USA
- <https://www.greelane.com/fr/science-technologie-math%C3%A9matiques/animaux--nature/difference-between-hardwood-softwood-trees-1341883/> consulté le 13.02.2021
- L'anatomie des résineux, 2010 [www.lignum.ch](http://www.lignum.ch)
- PASSAS, R. 2008. Caractéristique de la morphologie de la fibre. <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/tutoriel/morphologie-fibres-bois/page03.htm> consulté le 01.02.2021.
- Résineux – Dictionnaire environnement [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/resineux.php4](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/resineux.php4) consulté le 13.02.2021
- ROGER, P. 2015. Le bois, formation et structure. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-bois-formation-structure-475> consulté le 24.03.2021