

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Thèse de Doctorat

Présentée par :

AKKAL ROZA

En vue de l'obtention du diplôme de **DOCTORAT - LMD** en :

Filière : Sciences et Génie des Matériaux

Spécialité : Sciences et Techniques du Bois et des Eco-Matériaux

Corrélation entre structure et propriétés physico- mécaniques de trois espèces algériennes (chêne Zéen, chêne Afarés et chêne Liège).

Devant le jury composé de :

CHEMANI	Bachir	Professeur	UMB Boumerdes	Président
DERRIDJ	Arezki	Professeur	UMM Tizi Ouzou	Directeur
AKNOUCHE	Hamid	Professeur	UMB Boumerdes	Co- Directeur
AIT SAID	Samir	MCA	UMM Tizi Ouzou	Examinateur
AIT AHSENE	Fetta	MCA	UMB Boumerdes	Examinatrice
BENOTMANE	Benamar	Professeur	UMB Boumerdes	Examinateur
ZERIZER	Abdellatif	Professeur	UMB Boumerdes	Invité

Année Universitaire 2023/2024

REMERCIEMENTS

« -Alors la soutenance, c'est pour quand ? »

Combien de fois aurais-je pu entendre cette phrase ! Exactement ? Je ne sais pas. En tous cas cette fois, après 9 années d'efforts, de réussites et de désillusions parfois (car rien ne fonctionne jamais comme on l'aurait imaginé), Cette longue relation entre ma thèse et moi a connu ses hauts et ses bas, mais j'y ai pris en grande majorité un plaisir énorme. Je présente enfin le fruit de mon travail.

Il m'était inconcevable de présenter ce manuscrit sans remercier celles et ceux qui ont contribué à l'accomplissement de ma démarche.

Je désire tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude accompagnée de l'expression de mon respect pour mes deux directeurs de thèse :

Pr DERRIDJ.Arezki pour avoir accepté de diriger mes travaux, ses conseils, ses multiples corrections et critiques qui ont permis à ce travail de prendre forme.

Pr AKNOUCHE Hamid que je ne remercierais jamais assez, pour sa collaboration, sa disponibilité, ses orientations, son support moral et technique, son encadrement, sa patience et sa confiance tout au long de ce travail de recherche. Ses précieux conseils, son expertise et son soutien inébranlable ont été d'une aide inestimable et ont grandement contribué à l'aboutissement de ce projet.

J'adresse ma profonde gratitude pour le Pr AKSAS. Hammouche le chef de département de génie des procédés à l'université de Boumerdes pour son soutien moral, sa disponibilité et des orientations.

Je remercie aussi tous les membres de mon jury, commençant par le Professeur Bachir CHEMANI qui a accepté d'évaluer cette thèse en tant que président, Pr Benamer BENOTMANE de l'université de Boumedès, Mr Samir AIT SAID maître de conférences à l'université de Tizi Ouzou et Mme Fetta AIT AHSENE maître de conférences à l'université de Boumerdes pour avoir accepté d'être examinateurs de cette thèse et je leur suis reconnaissante de l'intérêt qu'ils lui ont accordé.

Je remercie également les ingénieurs de laboratoire de l'URMPE qui sont toujours disponibles pour me rendre des services.

Evidemment je ne peux oublier de mentionner les personnes qui m'ont aidé pour la préparation de mes échantillons : Mr Rabah TRIAKI de l'atelier bois de l'université de Boumerdes et à tous les gens de MOBSCO, grâce à eux, j'ai pu avoir d'excellentes éprouvettes à tester.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Mme Fazia KROUCHI, maître de conférence à l'université de Tizi Ouzou, pour ton aide, ses conseils et orientations tout au long de ma démarche et une grande pensée pour le défunt, Mr MESSAOUDENE الله يرحمه, pour avoir mis à ma disposition la matière végétale dont j'avais besoin, que Dieu le bénisse de son paradis.

Je ne pourrai terminer ces remerciements sans y associer ma famille :

Tout au long de mes années d'études, ma très chère mère, mon mari et mes frères, m'ont toujours soutenu. Je voudrais ici leur exprimer mes plus profonds remerciements et leur dire combien je les aime.

Un très grand merci à celles et ceux que j'ai pu malencontreusement oublier et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DÉDICACES

A la mémoire de celui pour lequel je me donne toujours à fond pour que je sois la meilleure, mon cher père, que dieu le bénisse de son vaste paradis;

A la rose de tout les temps ma chère mère. Au pilier de ma vie, mon cher mari Said, et mes enfants Milissa, Iyad et Racim ;

A mes meilleurs au monde mes chers frères, ma belle sœur, mes nièces Thafat et Lina.

A Hayat, Loubna, Nadia, Assia, Farida et tous les ingénieurs des laboratoires de GP.

A mes meilleures amies, Dihia, Radia, Khalida et Amani.

A toute ma famille et ma belle famille.

Je dédie ce travail

Résumé :

Les chênes algériens constituent une ressource forestière importante, mais principalement composée de bois de diamètre réduit et souvent de qualité morphologique limitée. Par ailleurs, l'outil industriel du secteur du bois en Algérie, principalement orienté vers la transformation de bois importés d'Europe ou d'Afrique centrale, n'est pas adapté à la valorisation des essences locales.

Les travaux de recherche menés dans cette thèse visent une analyse approfondie de la typologie des chênes algériens. L'objectif est d'évaluer leurs caractéristiques physiques et mécaniques, d'identifier des perspectives de recherche prometteuses dans un contexte industriel cherchant à gagner des parts de marché, et de promouvoir l'exploitation des ressources forestières locales. Cette démarche présente un grand intérêt scientifique, notamment en comparaison avec la majorité des procédés de fabrication actuellement utilisés. Les essences sélectionnées ont été récoltées dans différentes stations afin d'évaluer l'influence et l'impact des variations des caractéristiques des stations sur les propriétés étudiées

Mots clés : chêne Zéen, chêne Afares, chêne Liège, propriétés physiques, propriétés mécaniques.

Abstract :

Algerian oaks represent a significant forest resource, but they mainly consist of small-diameter wood that often exhibits limited morphological quality. Additionally, the industrial equipment in the Algerian wood sector, primarily designed for processing imported timber from Europe or Central Africa, is not suited for the processing of local wood species.

The research conducted in this thesis aims to perform a detailed analysis of the typology of Algerian oaks. The objective is to assess their physical and mechanical properties, identify promising research opportunities in an industrial context seeking to increase market share, and promote the exploitation of locally available forest resources. This approach holds significant scientific value, particularly when compared to the majority of existing manufacturing processes.

The selected species were harvested from various locations to evaluate the influence and impact of site-specific characteristics on the studied properties.

Key words: Zéen oak, Afares oak, Liège oak, physical properties, mechanical properties.

ملخص :

تمثل أشجار البلوط الجزائرية موردا هاما للغابات ولكنها تتكون أساسا من خشب ذو قطر منخفض وغالبا ما يكون شكله سيئا. وفي الوقت نفسه، فإن الأداة الصناعية لقطاع الخشب في الجزائر مخصصة لتحويل الخشب المستورد من أوروبا أو إفريقيا الوسطى، وهي غير مهيأة لتحويل الخشب المحلي.

يهدف العمل البحثي لهذه الأطروحة إلى إجراء دراسة تفصيلية لتصنيف مورد البلوط الجزائري، من أجل تقييم خصائصه الفيزيائية والميكانيكية، وإيجاد وجهات نظر بحثية محفزة في سياق صناعي في انتظار الحصول على حصة من السوق، و استغلال الموارد الحرجية المتاحة محليا، وهو أمر مثير للاهتمام من الناحية العلمية مقارنة بالغالبية العظمى من عمليات التصنيع.

تم جمع الأنواع المستخدمة من عدة محطات بهدف تحديد مدى تأثير وأثر التغير في خصائص المحطة على الخصائص المدروسة.

الكلمات المفتاحية: بلوط الزين، بلوط الافاريس، بلوط الفلين، الخواص الفيزيائية، الخواص الميكانيكية .

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Distribution des forêts et maquis par type et par pays.

Tableau 1.2 : Principaux produits de la forêt méditerranéenne autres que le bois

Tableau 1.3 : Répartition des terres Algériennes

Tableau 1.4 : Les recettes forestières en Algérie pendant cinq ans

Tableau 2.1 : Composition chimique du bois des chênes Zeen et Afarès est fortement similaire

Tableau 2.2 Taux d'humidité de différents types de bois

Tableau 2. 3. Valeurs du retrait de quelques espèces de chênes

Tableau 2. 4. Propriétés mécaniques des différentes espèces de bois mesurées sur des éprouvettes d'humidité

Tableau 2.5: Description anatomique des bois de chênes

Tableau 3.1 : Comparaison de la densité de chênes méditerranéens, européens et nord-américains.

Tableau 3.2 Caractéristiques des stations (INRF AZaZga, direction des forêts Jijel, direction des forêts Bouira)

Tableau 4.1 : Résultats du taux d'humidité du chêne Liège

Tableau 4.2 : Résultats du taux d'humidité du chêne Afarès

Tableau 4.3 : Résultats du taux d'humidité du chêne Zéen

Tableau 4.4 : Résultats des retraits du chêne liège

Tableau 4.5 : Résultats des retraits du chêne Zéen

Tableau 4.6 : Résultats des retraits du chêne Afares

Tableau 4.7 : Classifications des retraits radial total et tangentiel total

Tableau 4.8 : Résultats des travaux Deret- Varcin 1983 ; Marchal 1995 ; Beaudoin 1996 ; Dautrebande 1989

Tableau 4.9 : Résultats de la Masse volumique

Tableau 4.10 : Résultats du module de YOUNG et de la contrainte de rupture du chêne Zeen et Afares

Tableau 4.11 : Résultats du module de YOUNG et de la contrainte de rupture du chêne

Tableau 4.12 : Récapitulatif des résultats du module de Young et des écarts type

Tableau 4.13 : Matrice de corrélation du chêne Liège

Tableau 4.14 : Matrice de corrélation du chêne Zeen

Tableau 4.15 : Matrice de corrélation du chêne Afares

Liste des figures

Figure 1.1 : Principe forêts en Algérie

Figure 2.1 : Résumé de la croissance primaire et secondaire d'un feuillu D'après L'encyclopédie Britannica , 1996

Figure 2.2. Organisation cellulaire des résineux et des feuillus (d'après Alliot et Breton dans AFNOR 1961).

Figure 2.3 : Structure d'une fibre (d'après Chanrion 2002).

Figure 2.4 : Coupe de la structure du bois.

Figure 2.5 : Illustration des différentes parties d'un tronc de chêne Zeen

Figure 3.1 : Carte du massif de Haizer

Figure 3.2 : Carte de l'Akfadou

Figure 3.3: Formations végétales dominantes des massifs forestiers de la wilaya de Jijel (source BNEDER, 2008).

Figure 3.4 : Préparation des éprouvettes pour la caractérisation physique

Figure 3.5 : Rondelle pour la caractérisation de l'humidité

Figure 3.6 : Eprouvettes d'essai de retrait

Figure 3.7 Tremper les éprouvettes dans l'eau jusqu'à saturation de la masse

Figure 3.8 Mesurer le poids des éprouvettes a l'aide d'une balance analytique

Figure 3.9 Mesurer les dimensions des éprouvettes avec un pied à coulisse et mentionner les résultats.

Figure 3.10 : Eprouvettes de la masse volumique

Figure 3.11 : Eprouvette de cisaillement

Figure 3.12 : Eprouvette de compression

Figure 3.13 : Essai de compression selon la norme NF B51 007

Figure 3.14 : Eprouvettes de flexion 4 points

Figure 3.15 : Essai de flexion

Figure 4.1 : Cartographie d'humidité de bois de chêne afares

Figure 4.2: Cartographie d'humidité de bois de chêne Zéen

Figure 4.3 : Cartographie d'humidité de bois de chêne Liège

Figure 4.4 :Retrait tangentiel du chêne afares

Figure 4.5 :Retrait longitudinal du chêne afaire

Figure 4.6 :Retrait radial du chêne afares

Figure 4.7 :Retrait tangentiel du chêne Zeen

Figure 4.8 :Retrait longitudinal du chêne Zeen

Figure 4.9:Retrait radial du chêne Zeen

Figure 4.10 :Retrait tangentiel du chêne liège

Figure 4.11 :Retrait longitudinal du chêne liège

Figure 4.12 :Retrait radial du chêne liège

Figure 4.13 : Essai de cisaillement du chêne Zéen de Iguer Safène

Figure 4.14 : Essai de cisaillement du chêne Zéen de Mhaga

Figure 4.15 : Essai de cisaillement du chêne Zéen de Jijel

Figure 4.16 : Essai de cisaillement du chêne Afares de Iguer Safène

Figure 4.17 : Essai de cisaillement du chêne Afares de Mhaga

Figure 4.18 : Essai de cisaillement du chêne Afares de Jijel

Figure 4.19 : Essai de cisaillement du chêne Liège de Haizer

Figure 4.20 : Essai de cisaillement du chêne Liège de Jijel

Figure 4.21 : Essai de compression du chêne Afares de Mhaga

Figure 4.22 : Essai de compression du chêne Afares de Iguer Safène

Figure 4.23 : Essai de compression du chêne Afares de Jijel

Figure 4.24 : Essai de compression du chêne Zeen de Mhaga

Figure 4.25 : Essai de compression du chêne Zeen de Iguer Safène

Figure 4.26 : Essai de compression du chêne Zeen de Jijel

Figure 4.27 : Essai de compression du chêne Liège de Haizer

Figure 4.28 : Essai de compression du chêne Zeen de Jijel

Figure 4.29 : Essai de flexion du chêne Afares de Iguer Safène

Figure 4.30 : Essai de flexion du chêne Afares de Mhaga

Figure 4.31 : Essai de flexion du chêne Zeen de Iguer Safene

Figure 4.32 : Essai de flexion du chêne Zeen de Mhaga

Figure 4.33 : Essai de flexion du chêne Liège de Haizer

Figure 3.34 : Coefficient de corrélation entre le module de Young et la masse volumique du chêne Afares

Figure 4.35 : Coefficient de corrélation entre le module de Young et la contrainte de rupture et les autres propriétés du chêne Afares

Figure 4.36: Coefficient de corrélation entre la masse volumique et les autres propriétés du chêne Afares

Figure 4.37 : Coefficient de corrélation entre le retrait longitudinal et les autres propriétés du chêne Afares

Figure 4.38: Coefficient de corrélation entre le retrait radial et les autres propriétés du chêne Afares

Figure 4.39: Coefficient de corrélation entre le retrait tangentiel et les autres propriétés du chêne Afares

Figure 4.40 : Coefficient de corrélation entre propriétés des stations et les autres propriétés du chêne Afares

Figure 4.41 : Coefficient de corrélation entre la masse volumique et les autres propriétés du chêne Zéen

Figure 4.42 : Coefficient de corrélation entre le retrait tangentiel et les autres propriétés du chêne Zéen

Figure 4.43 : Coefficient de corrélation entre le retrait longitudinal et les autres propriétés du chêne Zéen

Figure 4.44: Coefficient de corrélation entre le retrait radial et les autres propriétés du chêne Zéen

Figure 4.45 : Coefficient de corrélation entre le module de Young et la masse volumique du chêne Zéen

Figure 4.46 : Coefficient de corrélation entre le module de Young, la contrainte de rupture et les autres propriétés du chêne Zéen

Figure 4.47 : Coefficient de corrélation entre les propriétés des stations et les autres propriétés du chêne Zéen

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACES

RÉSUMÉ

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 6

CHAPITRE I :PRESENTATION DE LA FORÊT MEDITERRANEENNE ET LA FORÊT
ALGERIENNE

INTRODUCTION

I. PRESENTATION ET CARACTERISATION DE LA FORET MEDITERRANEENNE 10

1. Situation forestière en région méditerranéenne 10

2. Structure et organisation des écosystèmes forestiers 12

II. PRESENTATION ET CARACTERISATION DE LA FORET ALGERIENNE 16

1. Caractéristiques générales 16

2. Description de la forêt algérienne 16

2.1 Superficie forestière 17

2.2 Répartition géographique des principales essences forestières 18

3.Revenus de la forêt algérienne 19

3.1 : Le bois en Algérie 20

3.2. Débouchés des bois locaux 22

3.3. Marché du bois en Algérie 22

4.Facteurs influençant l'évolution de la forêt algérienne et menaçant son développement 23

4.1 Contraintes socioéconomiques 23

4.2 Les incendies 23

4.3 le surpâturage 24

5. LA STRATEGIE DE L'ALGERIE POUR LE DEVELOPPEMENT FORESTIER 24

CONCLUSION DU PREMIER CHAPITRE 26

CHAPITRE II : BOIS, CHENES, CARACTERISTIQUES ET FONCTIONNALITES

INTRODUCTION 28

1. Le matériau bois	28
2. Structure du bois	30
2.1 A l'échelle macroscopique	30
2.2 A l'échelle de la fibre	30
2.3 A l'échelle de la paroi cellulaire (ultrastructure)	31
3. Composition chimique du bois	32
4. Les propriétés techniques du bois	33
4.1 Propriétés physiques	33
4.2 Propriétés mécaniques	37
4.3 Propriétés chimiques	39
5. Présentations des chêne Afares, Zéen et chêne liège	40
5.1 Plan ligneux des bois de chênes	40
5.2 Description botanique, dendrologique et anatomique des bois utilisés	42
A. Aspects macroscopique	42
B. Caractères botaniques	43
6. Qualité technologiques et usage des bois de chêne	45
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODE	
I. PROVENANCE DES MATIERES	48
I.1 Station de HAIZER	48
I.2 Station d'AKFADOU	49
I.3 Station de Jijel	50
I.4 : Caractéristiques des stations de prélèvement	52
II.1 CARACTERISATION PHYSIQUE	52
II.1.1 préparation des éprouvettes	52
II.1.2 Détermination du taux d'humidité	53
II.1.3 Essai de retrait	54
II.1.4 La masse volumique	55
II.2 Caractérisation mécanique	56
II.2.1 Essai de cisaillement	56
II.2.2 Essai de compression	57
II.2.3 Essai de flexion statique 4 points	59
CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSIONS	
I. CARACTERISATION PHYSIQUE	64

I.1 Résultats de l'humidité	64
I.2. Résultats d'essai des retraits	66
I.3. Résultats de la masse volumique	71
II. CARACTERISATION MECANIQUE	72
II.1 résultats d'essai de cisailment	72
I.2. Résultats d'essai de compression	74
I.3. Résultats d'essai de flexion	76
III. MATRICES DES CORRELATIONS	80
CONCLUSION	95
CONCLUSION GENERALE	98
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction générale

Introduction générale

Les ressources forestières en Algérie se caractérisent par une variabilité associée aux grandes variations de climat d'est en ouest, et des régions sahariennes aux côtes méditerranéennes. Les bioclimats méditerranéens s'échelonnent depuis le bioclimat humide jusqu'au bioclimat saharien (Louni 1994).

Malgré cette diversité climatique associées à de très fortes variations de pluviosité dans l'espace et dans le temps conditionnant directement les conditions de croissance de la végétation, les forêts algériennes sont dominées par un nombre limité d'espèces ou de groupes d'espèces de plantation ou de forêt naturelle dont certaines sont fortement endémiques.

Par ordre décroissant de superficie, ces espèces sont les suivantes : pin d'Alep (*Pinus halepensis*), chêne liège (*Quercus suber*), eucalyptus (*eucalyptus*), chêne vert (*Quercus rotundifolia*), chêne zéen (*Quercus canariensis*), et le chêne afarès (*Quercus afares*), pin maritime (*Pinus pinaster*), et enfin le cèdre, essentiellement cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*).

Leurs potentialités et leurs perspectives de valorisation sont aussi très inégales et dépendent directement de la qualité de leur bois, sous tendue par la qualité des arbres sur pied.

Le chêne zéen et le chêne afarès sont des espèces à feuilles caduques, souvent associées au chêne liège qu'elles ont tendance à supplanter dans certaines stations fraîches. Les caractéristiques technologiques du bois des trois chênes sont proches : dureté, fort retrait de séchage et propriétés mécaniques élevées.

Compte tenu de la faible stabilité dimensionnelle de ces essences, l'usage de leur bois est limité à des pièces de forte section pour des emplois lourds et à faible valeur ajoutée : poteaux de mine, traverse de chemin de fer, charpente traditionnelle...(Ameels 1989 ; Berrichi 1993 ; Messaoudene et al 2008). Du fait de leurs similitudes, ces deux espèces sont donc souvent traitées de façon groupée dans les études forestières et technologiques.

Alors que l'écorce du chêne liège est très convoitée pour de multiples utilisations, le bois de ce dernier n'est pas exploité. En revanche pour les bois de chêne Zéen et Afarès, les chercheurs et praticiens dans le domaine de la forêt et du bois, s'accordent sur l'existence

Introduction générale

d'un fort potentiel technologique pour des applications industrielles et des créneaux de mise en marché multiples. Ainsi, la valorisation des bois de ces espèces en qualité de bois d'oeuvre mais également en produits dérivés.

Le présent travail a pour objet la caractérisation physico-mécanique du bois de trois espèces de chêne algériennes le chêne zeen, le chêne afares et le chêne liège, prélevées du massif de l'Akfadou (wilaya de Tizi Ouzou), du massif de Taza (wilaya de Jijel) et de la forêt Haizer (wilaya de bouira). Cette caractérisation a pour but d'apprécier les quantités de bois disponibles dans le cadre d'un aménagement durable des forêts algériennes, d'évaluer les qualités technologiques intrinsèques et la variabilité de ce bois, de lever un certain nombre de verrous technologiques freinant l'utilisation massive de ce bois en Algérie.

Avant d'envisager toute tentative de valorisation de ces essences, il est apparu important dans un premier temps de mieux cerner leurs caractéristiques technologiques de référence, caractéristiques physiques et mécaniques qui conditionnent directement les itinéraires techniques à adopter.

Parmi les caractéristiques physiques, la masse volumique et les retraits sont importants à étudier car ils expliquent en grande partie le futur comportement technologique des bois durant leur transformation puis après mise en œuvre.

La masse volumique constitue la caractéristique technologique de référence, la première à déterminer pour mieux cerner les possibilités de transformation puis de mise en œuvre de toute essence de bois quelle qu'en soit l'origine.

Cette propriété est reliée, plus ou moins étroitement, aux principales propriétés physiques et mécaniques du bois ainsi qu'à certaines caractéristiques de mise en œuvre.

L'étude des retraits de séchage contribue à mieux appréhender les mécanismes des mouvements de l'eau dans le bois, sorption et désorption, qui régissent le comportement des bois et leur stabilité dimensionnelle durant le séchage.

L'étude des caractéristiques mécaniques de référence, module d'élasticité longitudinal, contrainte de rupture en flexion et en compression, permet d'adapter les emplois en structure

Introduction générale

ou les pièces de bois sont fréquemment sollicitées en flexion statique suivant leur plus grande direction, parallèlement aux fibres, et en compression.

Les chênes qui font objet d'étude dans cette thèse ont été récoltés des stations forestières différentes et cela afin de déterminer l'effet de la station sur le changement des propriétés des bois.

Cette thèse est synthétisée en quatre chapitres :

- Le premier chapitre englobe une étude bibliographique relative à la description de la forêt Algériennes, ainsi qu'une présentation du matériau bois et ses propriétés.
- Le deuxième chapitre c'est une présentation des trois chênes Algérien, qui font l'objet d'étude de cette thèse.
- Le troisième chapitre prend en considération les différentes techniques expérimentales introduites dans notre recherche, à savoir :
 - La caractérisation physico-mécanique des bois de chênes ;
- Le quatrième chapitre résume tout les résultats issus de la caractérisation physico-mécanique ainsi leurs interprétations.

Cette thèse est finalisée par une conclusion générale ainsi que des recommandations sur d'éventuelles orientations et sur d'autres utilisations du bois de chênes.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA

FORÊT MÉDITERRANÉENNE

ET LA FORÊT ALGÉRIENNE

Introduction :

La forêt représente une composante importante des territoires en région méditerranéenne. Elle contribue de façon significative au développement rural, à la réduction de la pauvreté et à la sécurité alimentaire des populations locales. Elle est à la fois une source de bois, de liège, d'énergie, de nourriture, de revenus et de multiples autres biens et services environnementaux : biodiversité, alimentation en eau, espaces récréatifs et accueil du public, stockage de carbone etc. Elle a une importance cruciale pour de nombreux secteurs économiques des régions concernées : agriculture et alimentation, conservation des eaux et des sols, fourniture d'eau potable, tourisme, énergie (FAO 2013).

I. Présentation et caractérisation de la forêt méditerranéenne

1. Situation forestière en région méditerranéenne :

Il est indéniable que les vastes étendues de forêts denses ne sont pas typiques des paysages méditerranéens. Les forêts méditerranéennes ne représentent que 1,5 % de la superficie totale boisée de la planète, mais les forêts des pays riverains de la Méditerranée ont joué et continuent de jouer un rôle crucial dans le développement de ces civilisations.

Les forêts méditerranéennes sont essentielles pour l'activité économique. Comme partout ailleurs, les forêts méditerranéennes fournissent des produits essentiels à l'activité économique. Néanmoins, dans cette région, le bois d'œuvre est moins prépondérant et il existe de nombreux produits variés, tels que les fruits et l'écorce (liège), le caoutchouc, les résines et le fourrage qui contribuent à la diversification de l'économie. La protection des sols et de leur fertilité, la protection des cultures contre le vent et la régulation des ruissellements de surface par les forêts et les terres boisées sont peut-être des fonctions écologiques les plus importantes des arbres et des forêts. Même si la relation étroite entre l'homme et la forêt a parfois assuré sa stabilité, elle a souvent été déséquilibrée et nuisible pour les forêts connues pour leur fragilité.

Les forêts ont joué un rôle crucial dans la vie des populations, contribuant ainsi à la prospérité des diverses civilisations de la région méditerranéenne. Elles sont tout aussi vitales aujourd'hui, et elles devraient pouvoir continuer à offrir des produits et des services indispensables à l'avenir.

La dégradation des ressources a été causée par une exploitation irrationnelle pendant des siècles, avec des rythmes variables en fonction des vicissitudes de l'histoire et des civilisations qui ont surgi dans le bassin méditerranéen. La croissance démographique en Afrique du Nord et au Proche-Orient a provoqué une surexploitation et une détérioration rapide des ressources forestières. Au nord de la Méditerranée, Les incendies, la spéculation foncière et de plus en plus d'activités de loisir difficiles à contrôler ont un impact sérieux sur les ressources. Dans un tel cas comme dans l'autre, l'impact sur l'environnement est une préoccupation majeure pour les pouvoirs publics et le grand public.

Malgré les multiples problèmes de développement des zones forestières méditerranéennes, qui sont à la fois économiques, sociaux et politiques, Il est crucial de se souvenir du potentiel physique et biologique important de l'environnement méditerranéen. Avec une aire géographique considérable (81 millions d'hectares), les écosystèmes forestiers méditerranéens ont des caractéristiques générales en rapport avec leur écologie et à leur histoire ainsi que des différences régionales marquées attribuables au contexte physique et humain. Cependant, ils partagent des éléments essentiels : leur fragilité, leur instabilité et leur caractère souvent détérioré.

Généralement, les pays méditerranéens sont répartis en deux grands groupes: le groupe du nord et le groupe du sud et de l'est. Dans le premier groupe, qui se trouve sur le continent européen, la région côtière est peu peuplée et les forêts empiètent sur les terres abandonnées par l'agriculture. Il y a principalement des forêts privées mal exploitées car elles ne sont pas rentables. L'urbanisation et le tourisme exercent une forte pression sur ces pays, et les incendies sont le principal facteur de dégradation ou de destruction. De plus, des concentrations urbaines excessives génèrent de la pollution et d'autres effets nuisibles, ce qui accroît les risques de dégradation de l'environnement.

Dans le deuxième groupe, la forte croissance démographique, la forte densité rurale, les niveaux de vie et les revenus relativement bas, ainsi que la forêt à dominante publique, sont des facteurs qui rendent les activités sylvopastorales vitales pour les populations riveraines.

Cela met les espaces naturels sous forte pression. La surexploitation du bois de feu, les défrichements pour l'agriculture et le surpâturage sont les principales raisons de la dégradation et de la déforestation, qui se traduisent par l'érosion des sols et la désertification.

2. Structure et organisation des écosystèmes forestiers

Les forêts méditerranéennes s'étendent actuellement sur environ 81 millions d'hectares, représentant 9,4 pour cent de la superficie totale de la région, ce qui représente une portion considérablement réduite par rapport à leur ancienne extension. Le tableau 1.1 présente la distribution des forêts et maquis par type et par pays.

Tableau 1.1 : Distribution des forêts et maquis par type et par pays (FAO, 2010).

Pays	Forêts			Autres terre boisées		Autres terre		% de la surface totale des forêts du bassin méditerranéen
	Surface totale (x1000ha)	(x1000ha)	% de la surface totale	(x1000ha)	% de la surface totale	1000ha	% de la surface totale	
Espagne	49919	18173	36	9574	19	22171	44	21
France	55010	15954	29	1618	3	37438	68	19
Turquie	76963	11334	15	10368	13	55261	72	13
Italie	29411	9149	31	1767	6	18495	63	11
Maroc	44630	5131	11	631	1	38868	87	6
Bulgarie	10864	3927	36	0	0	6937	64	4.6
Grèce	12890	3903	30	2636	20	6351	49	4.6
Portugal	9068	3456	38	155	2	5457	60	4.1
Serbie	8746	2713	31	410	5	5623	64	3.2
Bosnie	5120	2185	43	549	11	2368	46	2.6
Croatie	5592	1920	34	554	10	3118	56	2.3
Algérie	238174	1492	1	2685	1	23399	98	1.8
Slovénie	2014	1253	62	21	1	740	37	1.5
Tunisie	15536	1006	6	300	2	1423	92	1.2
ARYM	2543	998	39	143	6	1402	55	1.2
Albanie	2740	776	28	255	9	1709	62	0.9
Syrie	18378	491	3	35	0.002	1785	97	0.6
Monténégro	1382	467	34	277	20	627	45	0.5
Libye	175954	217	0.001	330	0.002	1754	100	0.3
Chypre	924	173	19	214	23	537	58	0.2
Liban	1023	137	13	106	10	780	76	0.2
Jordanie	8824	98	1	51	1	8676	98	0.1
Egypte	99545	70	0.000	20	0.000	9945	100	0.1
Autres	686	25	4	0	0	661	96	0.1
Total	773171	69248	551	32732	165	5847	1778	100

NB :

Autres pays : Andorre, Gibraltar, Vatican, Malte, Monaco, Palestine et Saint Marin.

ARYM : Ancienne république yougoslave de Macédoine

Les écosystèmes forestiers méditerranéens sont composés de :

1. Des forêts couvrant plus de 70 millions d'hectares (FAO 2010)
2. D'autres terres boisées couvrant près de 33 millions d'hectares et étroitement reliées à des zones urbaines et agricoles.

Les écosystèmes forestiers sont répartis en différents groupes de végétation (Quézel, 1976) comme suit:

1. Les feuillus, principalement des chênes :

- A.** La forêt sclérophylle de chêne à feuilles persistantes : *Quercus Ilex* (chêne vert), *Q. Suber* (chêne liège), *Q. Coccifera* (chêne kermès), *Q.Calliprinos* (chêne de palestine), *Q. Ithaburensis* (chêne du mont Thabor, feuilles semi persistantes) ;
- B.** A feuilles caduques (les forêts caducifoliées) : *Q.Pubescens* (chêne pubescent), *Q Cerris* (chêne chevelu), *Q. Pyrenaica* (chêne tauzin), *Q.Toza* (chêne brosse) de chêne zeen, de chêne afarès, de chêne du Liban, de chêne tauzin, de charme, de frêne et rarement de hêtre;.

- 2. Les conifères :** principalement *pinushalepensis* (pin d'alep), *P. Brutia* (pin de calabre), *P.Pinea* (pin parasol, appelé aussi pin pignon), *P.Pinaster* (pin maritime), et des espèces du genre *Juniperus* (Genévrier).

3. Les peuplements arborés de l'étage oroméditerranéen de genévriers arborescents et de xérophytes épineux.

4. Les forêts de montagne ou de haute altitude, de cèdres, de pins noirs et de sapins; les forêts de montagne ou de haute altitude, de cèdres, de pins noirs et de sapins (FAO 2013)

Les forêts méditerranéennes se caractérisent par leur grande diversité biogéographique, historique, climatique et physiologique, tout en étant sujettes à l'instabilité et à la vulnérabilité liées à l'environnement méditerranéen et à l'activité humaine.

La forêt méditerranéenne se divise en deux catégories principales : les produits végétaux ligneux et non ligneux, ainsi que les produits animaux. Une troisième catégorie, appelée « intégrés », concerne les produits liés à l'écosystème, au tourisme et à la société. (Baldini,

1993). Le tableau 1.2 présente la classification des produits forestiers méditerranéens et leur relation avec les secteurs économiques formels tels que l'industrie et les marchés urbains, ainsi que les secteurs informels tels que les intérêts des populations locales, les activités de village, la consommation familiale, etc.

TABLEAU 1.2 : Principaux produits de la forêt méditerranéenne autres que le bois

Production	Produits	Secteur économique	
		Formel	Informel
1. forestière	- Liège	+	+
	- Résine	+	+
	- Fruits (glands, caroubes, etc.)	+	+
2. végétale	- Fruits sauvages		+
3. en majorité herbacée	- Plantes médicinales	+	+
	- Plantes aromatiques commercialisables	+	+
	- Fleurs sauvages	+	+
	- Asperges, etc.		+
4. mycologique	- Champignons comestibles	+	+
	- Truffes		+
5. zoologique	- Miel doux	+	+
	- Miel amer	+	+
6. animale	- Gibier	+	+
	- Sylvopastoralisme	+	+
7. liée à l'écosystème et au tourisme	- Environnement	+	+
	- Paysage	+	+

I. Présentation et caractérisation de la forêt algérienne:

L'Algérie est une partie essentielle du bassin méditerranéen, l'un des berceaux des plus anciennes civilisations au monde et l'une des régions où les ressources naturelles (faune, sol, végétation) ont été abondantes. Avec une superficie de 2 388 millions de km², l'Algérie est le plus vaste pays méditerranéen. Elle est bordée au nord par la mer Méditerranée sur une distance de 1280 km.

1. Caractéristiques générales

La situation géographique et la physionomie de la forêt algérienne la rendent méditerranéenne, ce qui est indéniable. Cet ensemble d'arbres est constamment en bataille contre l'homme, le feu et les troupeaux. C'est ainsi que l'arbre s'adapte en s'enracinant. Cet état d'équilibre est conditionné par les variations du milieu physique et humain. La forêt de lumière, dans son ensemble thermophile, abrite un bois puissant et envahissant, créant ainsi une concurrence entre les deux strates. Sa résistance biologique et écologique la positionne parmi les essences principales, ce qui lui garantit une certaine pérennité. La sylve algérienne est formée essentiellement de trois types de formations végétales : la forêt, le maquis et la broussaille.

Les peuplements se présentent de façon irrégulière, on observe des arbres de tailles et d'âges différents. Il est donc très rare de trouver un peuplement régulier. Forêt de production ou de protection, la forêt algérienne, malgré son exploitation ne s'est jamais prétendue être une forêt de haute production sylvicole. Elle joue le rôle de protection et de récréation. Mais l'ambition exige que la production suive son rôle grâce à un aménagement, une conduite des peuplements adéquate et des expérimentations menées sur le terrain dont l'objectif est d'utiliser à bon escient le produit forestier.

2. Description de la forêt algérienne

Milieu naturel, fragile et perturbé, la forêt ne pourra se développer que si les gestionnaires forestiers prennent conscience de sa conservation en tenant compte de son importance écologique et économique. En considérant les critères bioclimatiques, l'Algérie présente tous les bioclimats méditerranéens en allant de l'humide au saharien. Les zones semi - arides

présentent des aspects bien particuliers tant par les espèces qui les constituent, conifères essentiellement, présents également en dehors de ces zones, mais aussi par la structure des formations végétales qu'elles déterminent et qui sont en fait presque toujours des formations arborées, souvent claires, à sous-bois de type matorral répondant plutôt à des structures pré-forestières, voire pré-steppiques (Abissaleh Barbero, Nahal et Quezel, 1976).

2.1. Superficie forestière

Les travaux de Maire en 1925 repris par Peyerimhoff en 1941 et Kadik, 1987 ont montré que la surface primitive s'élève à 7.318.000 ha contre 2.91.000 ha actuellement. Le taux de boisement est donc passé de 27,17 % à 11 %. L'actualisation de ces chiffres s'est menée par le bureau national des études forestières qui met au point l'Inventaire National Forestier (Plusieurs régions ont déjà été inventoriées).

Boudy en 1955 montre que la superficie forestière est de 3.800.000 ha. Les forestiers algériens publient en 1966 que l'étendue forestière (forêts + maquis) est de 3.300.000 ha et Quezel en 1985 : 3.000.000 ha. Ces valeurs doivent être considérées avec beaucoup de réserves, ce qui est intéressant est d'avoir une idée la plus générale possible. La surface forestière productive est faible, elle représente 17% de la superficie totale des forêts, 21 % sont susceptibles d'être améliorés et 62% sont des forêts dégradées. Le processus de dégradation s'accélère de plus en plus, ceci fera disparaître nos belles forêts.

Selon les dernières données du ministère de l'agriculture (1992, 1997, 2000) les 238 millions d'hectares du territoire algérien sont répartis comme indiqué dans le tableau (1.3).

Les terres utilisées par le secteur agricole occupent 40 millions d'hectares soit 17% de l'ensemble du territoire et se subdivisent comme suit :

- 31 million d'hectares sont utilisés comme pacages et parcours et constituent le domaine essentiel du pastoralisme en Algérie.
- Huit millions d'hectares représentent la surface agricole utile (SAU) et se répartissent en terres labourables (93% de la SAU) et en cultures pérennes (7% de la SAU). Sur plus de 75% de la SAU, la pluviométrie reste une contrainte importante pour le développement des cultures.
- Les formations forestières couvrent 4.2 million d'hectares (Ghai et Lahouati 1997).

- Les steppes à alfa assurent la transition entre les groupements forestiers et les groupements steppiques. Les surfaces occupées par l'alfa étaient de 5 millions d'hectares au début du siècle, elles sont passées à moins de 3 millions d'hectares au début des années 2000 et couvrent aujourd'hui moins de 2 millions d'hectares.

L'importante dégradation des nappes alfatières est due à leur exploitation intensive car l'alfa constitue la matière première de la pâte à papier ; cette ressource est aussi utilisée par le secteur artisanal traditionnel pour la vannerie (Nedjraoui 1990, Kadi-Hanifi1998)

Les terres improductives qui représentent 80% du territoire algérien sont localisées essentiellement dans les régions sahariennes.

Tableau 1.3 : Répartition des terres Algériennes (FAO,2003)

Vocation des terres	SAU	Pacage et parcours	Terres alfatières	Terres forestières	Terres improductives	Total
Superficie (10 ³ ha)	8227	31054	2916	4196	191331	238174
% de la superficie totale	3.5%	13.1%	1.2%	1.8%	80.3%	100%

SAU : surface agricole utile

2.2. Répartition géographique des principales essences forestières (BNEDER, 2009):

Les essences principales se répartissent en forêts d'intérêt économique constituées de résineux (pin d'Alep, pin maritime et cèdre) et de feuillus (chêne zeen, afares et eucalyptus) (fig. 1).

Les forêts de protection sont composées de chêne vert, thuya et genévrier.

L'essence prédominante est le pin d'Alep qui occupe 1 158 533 ha et se rencontre principalement dans les zones semi arides. Le chêne liège avec 349 218 ha se localise principalement dans le nord-est du pays. Le chêne Zeen avec 43 922 ha occupent les milieux les plus frais dans la subéraie. Les cèdres sont éparpillés sur 32909 ha en îlots discontinus dans le tell central et les Aurès. Le pin maritime est naturel dans le nord-est du pays et couvre 28 490 ha. Les Eucalyptus introduits dans le nord et surtout dans l'est du pays occupent 29 355 ha et les divers 68 391 ha (Bneder, IFN, 2009).

- Les forêts de Pin d'Alep sont localisées dans les Wilayas des Sidi Bel Abbès, Saïda, Tiaret, Relizane, Chlef, Ain Defla, Tipaza, Blida, Médéa, Bouira, Bordj Bou Arréridj, Djelfa, M'Sila, Batna, Khenchela, Tébessa;
- Les forêts de Chêne liège sont concentrées dans les Wilayas de Boumerdes, Tizi Ouzou, Bejaia, Jijel, Skikda, Annaba, Tarf, Guelma, Souk Ahras;
- Les forêts de Chêne zéen et Afarès dans les Wilaya de Bejaia, Jijel et Guelma, Souk Ahras et Taref;
- Les forêts de Cèdre sont concentrées dans les Wilayas de Batna, Khenchela et disséminées en petites tâches dans les Wilayas de Tissemsilt, Blida et Tizi Ouzou;
- Les forêts de Pin maritime existent dans les Wilaya de Bejaia, Skikda, Jijel et Annaba où elles colonisent les forêts de Chêne liège.

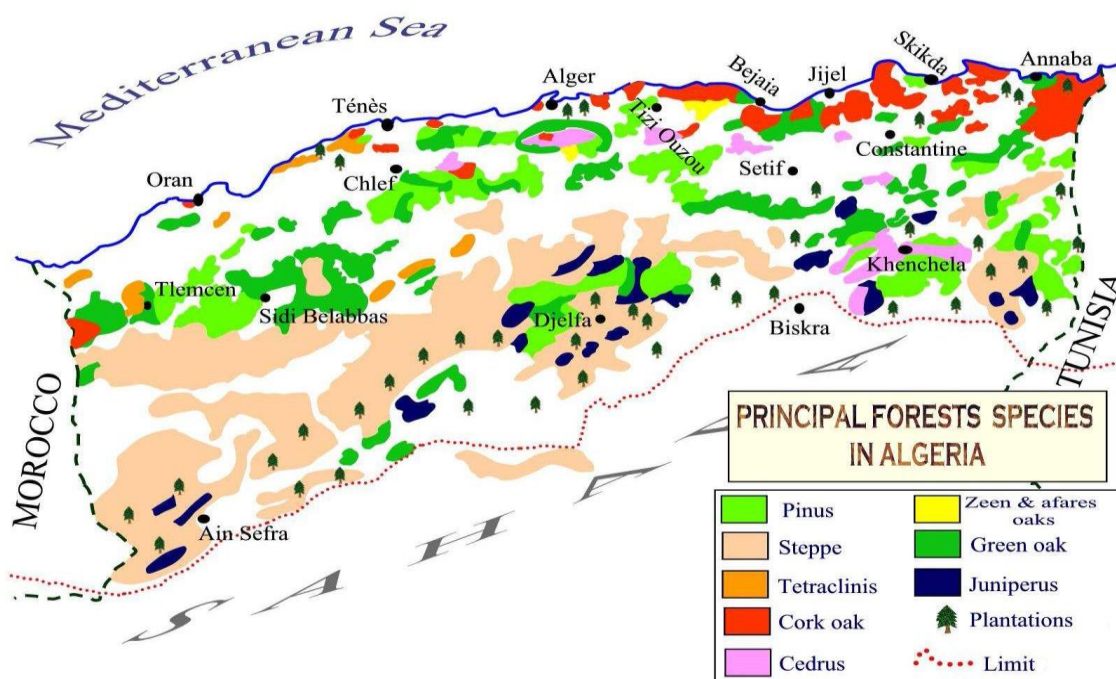


Figure 1.1 : Principe forêts en Algérie

3. Revenus de la forêt algérienne :

La forêt algérienne, est à l'origine de revenus assez conséquents qui proviennent de ventes de bois et de liège, de la commercialisation de l'alfa et des autres produits ainsi que de diverses amodiations (vides labourables, tranchées-pare-feu cultivées, etc...), les chiffres mentionnés dans le rapport d'études prospective du secteur forestier en Afrique réalisé en 2000, montre bien les recettes dégager par les différentes activités forestières (FOSA), initiée par

l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture (FAO, 1998) entre l'année 1993 et 1998, comme le montre le tableau 1.4 suivant :

Tableau 1.4 : Les recettes forestières en Algérie pendant cinq ans

	Recettes 1993	Recettes 1994	Recettes 1995	Recettes 1996	Recettes 1997	Recettes 1998
Exploitation de bois	64 878 068.12	41 543 997.02	46 395 035.53	57 653 494.50	54 535 197.51	90 498 518.17
Récolte de liège	4 142 769.35	3 908 160.00	19 590 725.50	289 035 121.71	241 281 937.50	465 443 05.09
Récolte d'Alfa	72096 000.00	3 840 140.40	4 548 111.60	5 007 691.60	10 203 740.40	5 279 314.80
Exploitation de produits divers	16804227.56	4 863 200.10	10 165 867.99	23 430 844.44	9 916 523.30	12 951 656.85
Total exploitation	157921 066.03	54 155 497.52	80 699 740.62	375 127 152.25	315 937 398.71	574172 564.91
Amodiation	17 012 260.26	14 868 207.16	26 445 768.83	36 668 098.93	43 376 987.43	32 402 754.10
Contravention	11 168 398.12	26 051 580.60	10 084 177.62	19 445 482.34	23 234 616.80	20 075 712.68

Le tableau montre que pendant cinq ans, les recettes forestières en Algérie ont triplé dans le cas des exploitations de bois.

3.1 : Le bois en Algérie

La possibilité annuelle globale, toutes catégories confondues, s'élève à environ 1200 000 m³ selon l'inventaire des terres et forêts de l'Algérie réalisé en 1984. (Kennouche.s UMBB 2016).

L'accroissement moyen annuel s'élèverait donc à peine à 1m³/ ha/ainsi l'on considère la superficie occupée par les forêts productives. Les peuplements de pin d'Alep renferment plus de 80% de la possibilité totale annuelle, le reste est fourni par les eucalyptus, le chêne Zeen et le chêne Afares. La superficie des forêts ayant fait l'objet d'études d'aménagement s'élève à près d'un million d'hectares toutes essences confondues (y compris les peuplements artificiels d'eucalyptus).

Ces forêts représentent une possibilité annuelle d'environ 460 000 m³. La production du bois a suivi un rythme très irrégulier depuis l'indépendance (Faible de 1963 à 1990), celle-ci a connu une augmentation sensible à partir de 1991 culminant en 1993 avec 240 000 m³. Cette

augmentation est essentiellement due aux moyens humains et matériels mis en œuvre par le secteur pour une meilleure prise en charge des plans de gestion

Ces dernières années, on enregistre un accroissement sensible des besoins nationaux en bois et, parallèlement, une régression des importations, ce qui engendre des tensions sur le marché.

Cette situation a contraint les pouvoirs publics à encourager l'exploitation des ressources locales. Le secteur des forêts devra désormais améliorer son niveau de participation au développement de l'économie nationale. C'est ainsi qu'il se fixe l'objectif de mobiliser annuellement durant les années à venir plus de 500 000m³ de bois, l'objectif étant, bien entendu, la réalisation de la possibilité globale de plus d'un million de m³/an. La production de bois de forêts aménagées et non aménagées.

Le volume total annuel récoltable peut paraître important comparé aux quantités de bois habituellement mobilisées, mais reste cependant réaliste. Il doit être compris dans l'optique de forêts régularisées et aménagées et n'est donc envisageable qu' long terme pour l'ensemble des superficies actuellement boisées. (Kennouche, UMBB 2016)

En l'absence de plan de gestion, l'exploitation de bois au niveau des forêts non aménagées concerne principalement des coupes de vieux bois, des éclaircies et des coupes sanitaires (forêts de pin d'Alep). Des coupes d'assainissement dans les forêts incendiées sont également effectuées. Il faut signaler, cependant, que la part des produits provenant de ces forêts ne représente qu'une faible proportion de la production totale de bois. Par conséquent la production de bois des forêts naturelles provient des essences suivantes par ordre décroissant : pin d'Alep, chêne zéen, chêne afares, cèdre, pin maritime. Le pin d'Alep fournit environ 70% de la production totale de bois, mais seulement 20% de bois d'œuvre. L'eucalyptus est essentiellement cultivé pour le bois de trituration. La production des chênes, du cèdre et du pin maritime est à 30% environ destinée à usage en bois d'œuvre. Globalement, la production de ce type de bois n'excède pas 30% de la production nationale de bois alors que le bois de trituration en représente 50 à 60%. (Kennouche, UMBB 2016)

3.2. Débouchés des bois locaux

Le bois du pin d'Alep, de loin le plus répandu, est de qualité moyenne. Ses principaux débouchés sont la menuiserie, la charpente et le coffrage. Les bois d'eucalyptus, qui est exploité généralement à courte rotation (10ans), est destiné à la trituration. Le bois de chêne zéen, connu pour avoir une densité et dureté élevées, était essentiellement utilisé pour la confection de traverses de chemins et rarement en ameublement. Le bois de cèdre est quant à lui utilisé en ébénisterie.

3.3. Marché du bois en Algérie :

L'Algérie a importé pour 434 millions de dollars de bois en 2009, soit une baisse de 14.64% par rapport à 2008 (508.44 millions de dollars), selon les chiffres du Centre National de l'Informatique et des Statistiques (Cris). La réduction de cette facture est due à la substitution du bois par d'autres produits, comme le PVC et l'aluminium, notamment dans le secteur du bâtiment.

Le pays importe en moyenne pour 300 à 320 millions de dollars de bois annuellement, selon une étude française du marché du bois en Algérie, pour des besoins d'investir dans ce créneau.

L'industrie du bois réalise en moyenne un chiffre d'affaires de pas moins de 12 milliards de dinars, indique-t-on de même source.

Localisant la provenance du bois importé par l'Algérie, l'étude indique : « Une part importante des importations de bois tendre (résineux) provient des pays nordiques (Finlande ou Suède) ou de Russie. Le chêne et le hêtre sont importés d'Europe, les bois tropicaux d'Afrique et d'Asie. » et les exportations françaises de bois à destination de l'Algérie ont diminué de 29% en 2003. Actuellement, la France est le 7eme pays fournisseur de l'Algérie et occupe moins de 5% de parts de marché.

Annuellement, la demande est estimée à 1.5 million de mètres cubes alors que la production locale ne peut satisfaire que 15% de cette demande, cela a fait que l'importation du bois avait enregistré des facteurs astronomiques, jusqu'à 508.44 millions de dollars en 2008, en raison des besoins notamment dans le cadre des chantiers initiés par l'Etat, le secteur du bâtiment avec la réalisation d'un premier programme quinquennal 2005-2009 de plus million de logements suivi d'un autre programme 2010-2014 d'un million de logements sans parler des constructions du privé.

4. Facteurs influençant l'évolution de la forêt algérienne et menaçant son développement

La forêt algérienne souffre aujourd'hui de plusieurs handicaps majeurs, dont un des principaux est le taux élevé d'incendies dont la prévention reste difficile par manque d'analyses de leurs causes et de leurs effets réels. Le surpâturage constitue aussi une menace permanente pour le couvert forestier.

La dégradation des zones forestières nationales atteindrait un rythme de 45000 à 50000 hectares par an, toutes formes de dégradation confondues, mais à 90% causée par les incendies de forêts (DGF 1997). D'autres facteurs de dégradation sont liés à la pauvreté du monde rural qui est à l'origine du surpâturage, des coupes de bois illicites à des fins domestiques, et de l'extension des terrains cultivés à la lisière des forêts. L'absence d'une gestion moderne sur le terrain contribue aussi à l'état actuel de dégradation des forêts qui porte atteinte au maintien et à la durabilité du patrimoine forestier national (Mate 2003).

4.1 : Contraintes socioéconomiques

(Ferka 2006) analyse et distingue dans son travail trois faits socioéconomiques à l'origine de la dégradation du couvert forestier :

- Le faible développement des activités non agricoles, particulièrement industrielles ;
- La croissance encore forte de la population rurale ;
- L'exigüité des terres agricoles disponibles.

La combinaison de ces trois faits socioéconomiques est à l'origine d'une pression des populations rurales sans ressources ou à ressources très limitées sur les forêts et surtout sur les terres dites « à vocation forestière ».

4.2 : Les incendies

L'analyse temporelle des feux durant les années passées a montré que sur la période 1985-2010, 42555 feux au total ont parcouru une superficie forestière de 910 640 hectares, ce qui correspond à une moyenne annuelle de 1 637 feux et 35 025 hectare de surface brûlée.

Le nombre des incendies varie suivant les années, entre un minimum de 595 feux en 1989 et un maximum de 3 439 feux en 2010 (Meddour- Sahar 2012, DGF 2007).

4.3 : le surpâturage

Le surpâturage est associé à un broutage excessif de la végétation et des jeunes plants forestiers qui bloque toute régénération, épuise les ressources disponibles, dégrade les parcours et les soumet à l'érosion.

Dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du nord, le surpâturage est généralement considéré comme une cause essentielle de la dégradation des écosystèmes naturels (Le Houerou 1968 ; Montero et Canellas 1998 ; Benabdeli 1996 ; Ghazi et Lahouati 1997).

5. La stratégie de l'Algérie pour le développement forestier :

Afin de développer la forêt algérienne et de trouver les solutions permettant une meilleure contribution du secteur forestier au développement du pays, de nombreux travaux, études et projets de recherche ont été menés à bien. Des moyens humains et financiers ont été mis à disposition pour atteindre cet objectif.

Les grands projets de l'administration forestière qui s'inscrivent dans le cadre de la stratégie de l'Etat pour atteindre ses objectifs sont les suivants (Ferka 2006) :

- Le cadastre forestier national : l'opération cadastrale a été mise en œuvre en l'an 2000, elle consiste à délimiter, borner, cartographier et planimétrer la propriété forestière et alfatière.
- L'inventaire forestier national : il a été initié en 2000, organisé et structuré autour des actions suivantes
 - La mise en place d'un système d'information géographique (SIG) permettant le stockage et la mise à jour des données collectées ;
 - L'établissement d'un plan national de développement forestier et alfatier.
- Le plan national de reboisement : il est utile de rappeler que le taux de reboisement actuel est de 16% pour le nord de l'Algérie, alors que la norme généralement admise se situe entre 20 et 25%. Tous les reboisements qui ont été effectués depuis 30 ans ont pratiquement échoué. Il se sont révélés non rentables financièrement et ne peuvent aujourd'hui être qualifiés de reboisement de protection ni de production (Letreuch 2001).

Considérée comme une nécessité impérieuse par le plan national de développement, la politique de reboisement a souvent été considérée comme une utopie, les reboisements ne s'improvisant pas et nécessitant des moyens de mise en place et de suivi dans le temps (Greco 1966).

A cet effet, l'état a engagé en 2003 un plan de reboisements 'étalant sur 10 ans (2003-2013) consistant en la plantation de 3 millions d'hectares supplémentaires (Zerrouk 2006).

Parmi les principaux objectifs de la stratégie de l'état l'extension et la préservation du barrage vert sont à nouveau relancées.

- L'aménagement des périmètres du bassins versant : les territoires menacés par les effets néfastes du ruissellement et de la torrentialité couvrent 12 millions d'hectares dont la moitié sur les versant les plus sensibles à l'érosion. Des études ont été menées afin de déterminer les moyens à mettre en œuvre pour protéger et restaurer les douze millions d'hectares de terres menacées par l'érosion (Ferka 2006, DGF 2007).
- Le développement des zones de montagne : le développement de l'agriculture des montagnes s'intègre parfaitement dans le développement rural (des activités agropastorales orientées essentiellement sur l'arboriculture rustique-olivier, figuier, etc. (Ferka 2006).
- Le renforcement du cadre institutionnel forestier et juridique : l'amélioration des capacités d'intervention de l'administration forestière par le renforcement de sa base scientifique et technologique et mla mise en place d'un système d'information et de statistique efficace.
L'amélioration de la législation forestière par l'étude, la révision, l'amendement et l'adaptation de la loi régissant le secteur des forêts et le renforcement des activités de recherche forestière (DGF 2007).

Grace à des ratifications, l'administration forestière a pu s'engager dans sa stratégie de développement forestière à travers le Plan National de Reboisement (PNR), la création d'aires protégées et le Programme d'Action National (PAN) de lutte contre la désertification. De plus, dans le cadre de la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique, l'Algérie

(Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement) a élaboré une stratégie nationale et un plan d'action définissant les mesures générales pour la conservation in situ et l'utilisation durable de la biodiversité sur son territoire. Toutes ces actions traduisent la volonté de l'état de protéger des ressources et de respecter des engagements envers la communauté internationale (Document DGF 2007 ; Ferka 2006).

Conclusion :

La forêt méditerranéenne en général et la forêt Algérienne en particulier sont aujourd'hui menacées notamment par les effets du changement climatique, l'augmentation des feux de forêts, la sécheresse, le surpâturage et de manière générale la pression démographique.

La forêt Algérienne se situe davantage dans un rôle de protection que de production alors que les besoins en bois vont en augmentation.

Cependant, durant la dernière décennie, des actions ont été conduites à l'échelle nationale et internationale pour tenter de freiner le phénomène de dégradation forestière au niveau national.

En Algérie, une stratégie forestière a été mise en place ayant pour objectifs la définition d'une démarche et des actions prioritaires à mettre en œuvre pour le développement futur du secteur des forêts et de la nappe alfatière (objectif 2030), en prenant en compte notamment des évolutions futures des facteurs de risque tant interne qu'externes.

CHAPITRE II

BOIS, CHÊNES,

CARACTÉRISTIQUES ET

FONCTIONNALITÉS

Introduction :

En Algérie, les chênes (Zeen, Afarès, vert, liège et kermès) représentent un capital forestier important couvrant des superficies étendues notamment dans le Nord et le Nord-Est, avec un taux avoisinant les 40 % de la forêt Algérienne (Alatou, 1994), et dont 48 000 ha reviennent aux chênes Zeen et Afarès, selon les données de la direction générale des forêts (DGF. 2007). Le chêne Zeen (*Quercus canariensis* Willd.) et le chêne Afarès (*Quercus afares* Pomel) (avec le chêne liège (*Quercus suber* L.)) sont les principaux peuplements de la forêt d'Akfadou en kabylie et de la forêt de Guerrouch à Jijel et peuvent fournir un volume considérable de bois d'oeuvre et de bois d'industrie.

1. Le matériau bois

Le terme « bois » est défini par la norme [NF B 500-003, 1985] : « ensemble de tissus résistants secondaires (de soutien, de conduction et de mise en réserve) qui forment les troncs, branches et racines des plantes ligneuses. Issu du fonctionnement du cambium périphérique, il est situé entre celui-ci et la moelle. ».

Le bois est un matériau aux caractéristiques variables à cause de son origine naturelle. On distingue deux grandes familles : la famille de conifères (résineux) et celle des feuillus.

Le bois, issu de l'arbre, est un matériau complexe. Il est produit par le biais de la photosynthèse. Les feuilles produisent du glucose à partir du CO₂ de l'air et de la lumière du soleil. Ce glucose est ensuite transporté jusqu'aux cellules où il sert de nourriture et de matière pour la construction de nouvelles cellules. Ce mode de croissance est très sensible aux conditions climatiques, ce qui explique naturellement que le bois soit un matériau aussi hétérogène. Le tronc croît de manière concentrique. Des couches de cellules nouvelles sont formées entre l'écorce et le bois déjà existant par division cellulaire du cambium (Figure 2.1).

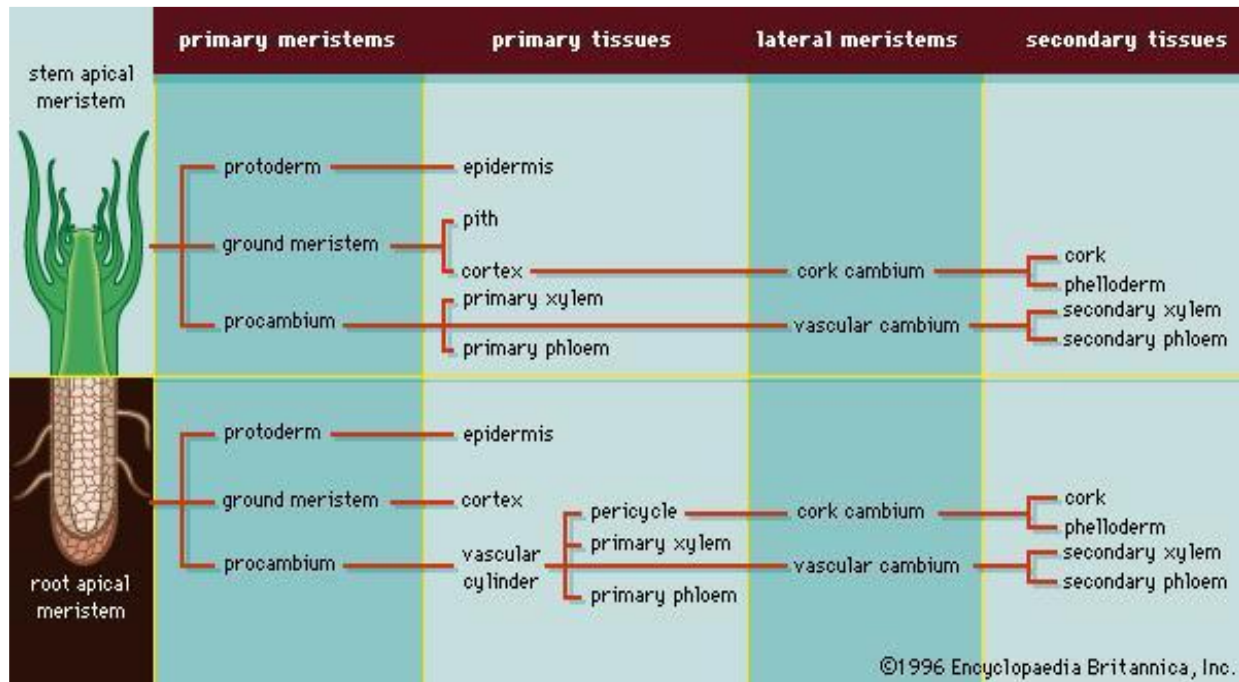


Figure 2.1 : Résumé de la croissance primaire et secondaire d'un feuillu D'après
L'encyclopédie Britannica , 1996

La structure et la composition chimique des cellules ainsi créées vont dépendre de la saison et des conditions météorologiques. Il en résulte que les cellules du bois d'été sont plus sombres, plus dures et ont des parois plus épaisses que les cellules de bois de printemps. Le cerne annuel est constitué par une couche de bois de printemps et une couche de bois d'été.

Les cernes les plus jeunes, situés vers l'extérieur du tronc, forment l'aubier. C'est dans cette partie que circulent l'eau et la sève. Les cernes les plus anciens sont situés au centre du tronc, dans le **cœur** (duramen). Dans le cœur, les cellules responsables de la circulation de la sève sont bouchées. La résistance mécanique et la durabilité (résistance aux agents de la pourriture) du cœur sont plus élevées que celles de l'aubier.

Enfin, la composition chimique et la structure des cellules dépendent fortement de l'essence. On distingue deux grandes catégories d'essences : les feuillus (**Angiospermes**) et les résineux (**Gymnospermes**).

2. Structure du bois

2.1. A l'échelle macroscopique

L'examen attentif d'un morceau de bois révèle une structure fibreuse, constituée de cellules allongées orientées suivant la longueur du tronc (Figure 2.2).

Ces cellules sont appelées **fibres** chez les feuillus et **trachéides** chez les résineux.

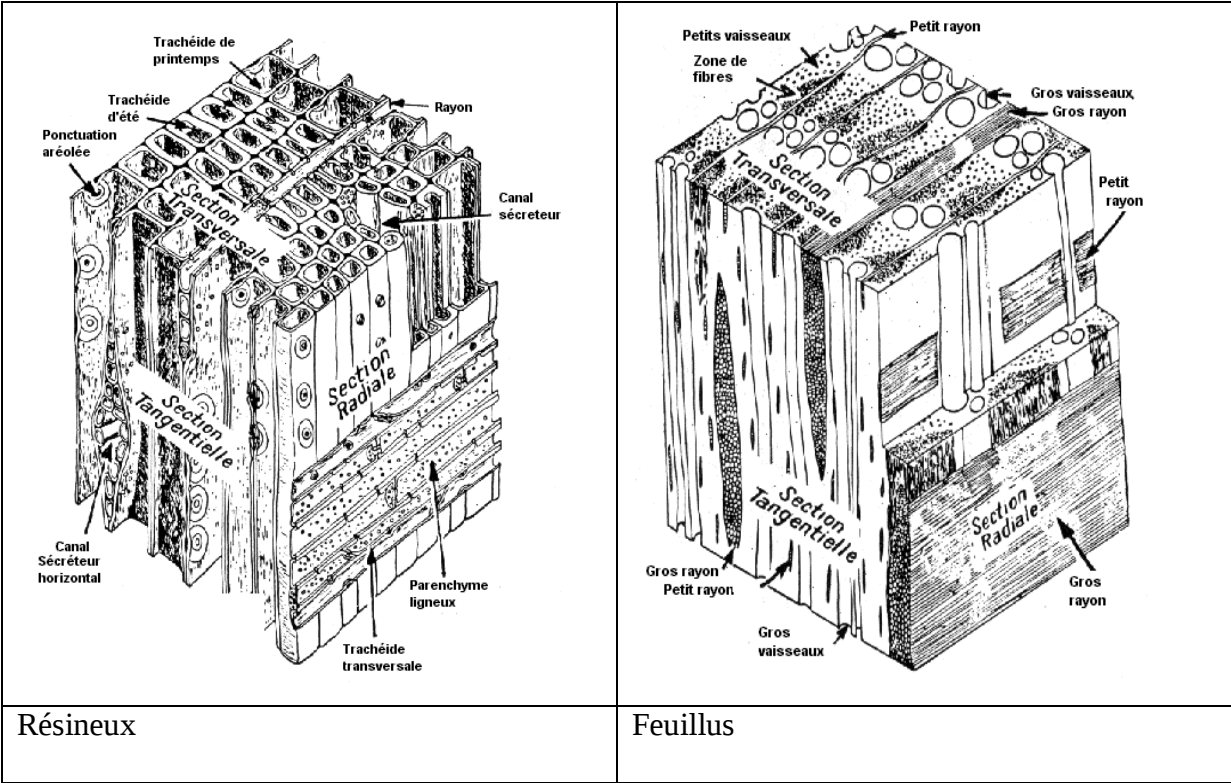


Figure 2.2. Organisation cellulaire des résineux et des feuillus (d'après Alliot et Breton dans AFNOR 1961).

D'autres types de cellules sont également présents. Les rayons, orientés horizontalement dans la direction radiale, sont destinés au stockage et à la distribution de nourriture. Les rayons sont présents chez les feuillus et chez les résineux. Chez les feuillus, les vaisseaux sont à la circulation verticale de la sève. Chez les résineux, des canaux sécréteurs horizontaux et verticaux sont présents.

2.2. A l'échelle de la fibre

Chaque fibre ou trachéide est constituée de deux parois : une paroi primaire (P1) très fine (0,1µm), et une paroi secondaire (P2). La paroi secondaire est elle-même constituée par trois couches : S1 (0,1 à 0,35 µm), S2 (1 à 10 µm), et S3 (0,5 à 1 µm). Notons que S2 représente

environ 80% du volume de la cellule. L'intérieur de la fibre est creux : c'est le lumen. Il contient de l'eau et des extractibles.

Les fibres sont liées entre elles par une paroi appelée lamelle mitoyenne (LM) (Figure 2.3).

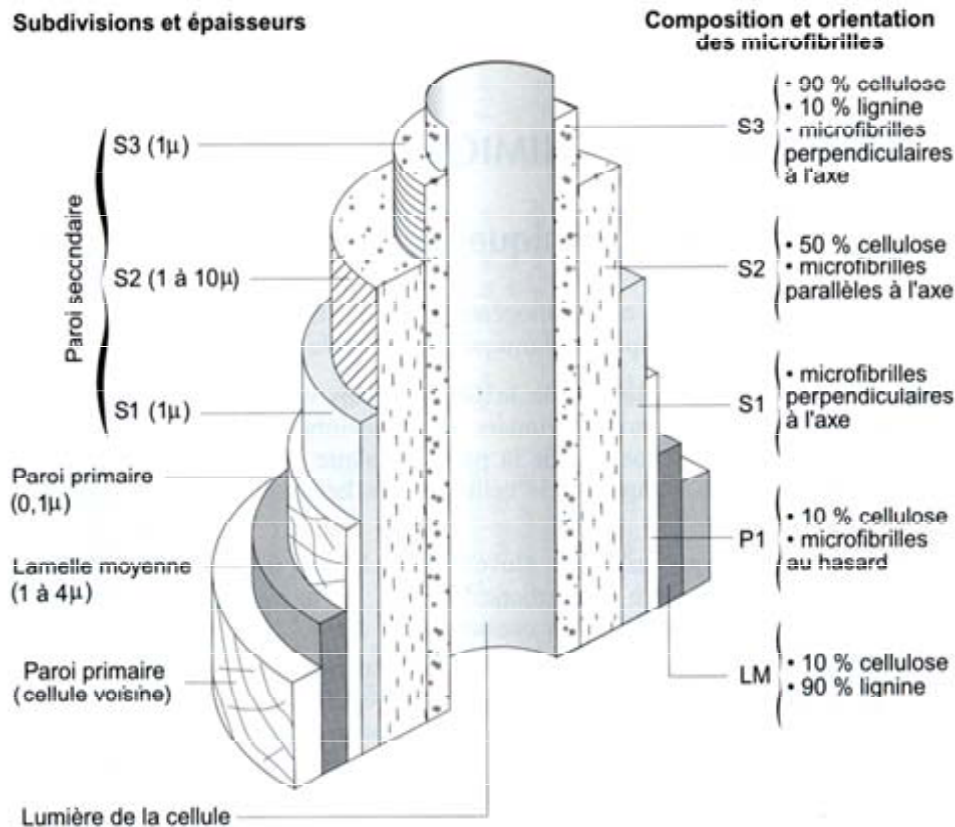


Figure 2.3 : Structure d'une fibre (d'après Chanrion 2002).

2.3. A l'échelle de la paroi cellulaire (ultrastructure)

Chacune des couches de la fibre peut être à son tour considérée comme un matériau « composite ». Ce composite est formé par des microfibrilles de cellulose orientées par rapport à l'axe de la fibre et plongées dans une matrice amorphe et isotrope. L'orientation des microfibrilles change d'une paroi à l'autre

Elles sont en faible concentration et orientées de manière aléatoire dans LM et dans P1. Dans S2, elles font un angle important avec l'axe de la fibre pour les couches S1 et S3. Dans S2, leur quantité est importante et elles présentent un angle donné avec l'axe de la fibre (de 0 à 50°).

Cet angle peut varier d'un échantillon à l'autre. Comme S2 représente 80% du volume de la cellule, l'orientation des micros fibrilles dans S2 va avoir une importance primordiale sur les propriétés élastiques du bois à l'échelle macroscopique

3. Composition chimique du bois

La matière du bois est concentrée essentiellement dans les parois des cellules qui le constituent, ces parois cellulaires du bois sont formées par des bio-polymères soit la cellulose, les hémicellulose, la lignine et les extractibles. Ces polymères sont responsables des principales propriétés physiques et mécaniques du bois [Rowell, 1988 et Saka, 2001]. La cellulose est un polymère avec un grand nombre de résidus anhydro-glucose linéairement combinés avec des liens β -1,4 et partiellement formée de cristaux, ce qui donne au bois la majeure partie de sa résistance mécanique. Sa partie cristalline présente un diamètre de 50 à 100 Å et sa partie non cristalline est appelée région amorphe [Kollmann et Côté, 1968].

La résistance mécanique des fibres de bois dépend de la géométrie de chaque type de cellulose [Bledzki et Gassan, 1999]. Les hémicelluloses sont des composés de plusieurs sucres différents incluant les hexoses et les pentoses et leur composition diffère dépendant de l'espèce de bois ; elle constitue la matrice amorphe dans laquelle on retrouve la cellulose.

La composition chimique du bois varie selon l'essence, mais également selon de multiples paramètres tels que la nature du sol, les conditions de croissance, l'âge de l'arbre ou la période d'abattage. La composition chimique du bois des chênes Zeen et Afarès est fortement similaire (tableau. 2. 1) (haddadou 2015).

Tableau 2.1 : composition chimique du bois de chêne Afares et chêne Zeen (Haddadou2015)

Taux %	Chêne Zeen	Chêne Afarès
Cellulose	41.39 $\pm$ 0.40	39.46 $\pm$ 0.33
Hémicellulose	29.66 $\pm$ 0.02	30.83 $\pm$ 0.07
Lignine	19.37 $\pm$ 0.29	20.13 $\pm$ 0.42
Extractibles	6.30 $\pm$ 0.06	6.82 $\pm$ 0.01
Cendres	2.93 $\pm$ 0.01	2.36 $\pm$ 0.01

- **La cellulose**, qui est un polymère du glucose de degré de polymérisation environ 15 000. Elle se trouve à 70 ou 80 % sous forme cristalline dans le bois. La cellulose est considérée

comme le constituant du bois le plus stable chimiquement et thermiquement. Elle joue un rôle primordial dans la tenue mécanique de la paroi cellulaire des fibres du bois

- **Les hémicelluloses**, qui sont aussi des polysaccharides. Leur degré de polymérisation varie de 150 à 200 et elles sont sous forme amorphe. Ce sont les constituants du bois les plus hydrophiles, qui peuvent gonfler de manière importante en fixant des molécules d'eau.

- **Les lignines**, qui sont des polymères organiques tridimensionnels présents sous forme amorphe.

- L'eau et **les extractibles** (molécules minérales ou organiques de faible masse moléculaire) sont généralement contenus dans les lumens des cellules.

Les propriétés de chacun de ces constituants vont influencer de manière importante les propriétés macroscopiques du bois. Il est donc nécessaire de les détailler.

4. Propriétés techniques du bois

Les propriétés techniques du bois sont la conséquence de sa structure et de sa composition chimique. Ces deux caractéristiques dépendent d'abord de l'essence. Mais pour une même essence des différences importantes se manifestent suivant les conditions d'existence de l'arbre qui, en modifiant sa nutrition, réagissent sur la formation de son bois. On attribue, dans le commerce et l'industrie du bois, une grande importance à sa provenance : en indiquant le lieu où a poussé l'arbre producteur, on évoque l'ensemble des conditions d'existence tenant au climat, au sol, au peuplement. Pour le bois, la provenance est influencée par les conditions d'existence du végétal dont il dérive suivant les forêts, le bois d'une même essence est de qualité inégale ; les conditions de peuplement contribuent à déterminer cette qualité. En modifiant la manière dont on traite la forêt, on peut donc maintenant améliorer, ou inversement, amoindrir la valeur du bois qu'elle produit.

4.1 . Propriétés physiques

Une bonne connaissance des propriétés physiques du bois (la densité, l'hygroscopicité, la rétractabilité, l'anisotropie) permet de définir son comportement mécanique. Les propriétés physiques du chêne Zeen dépendent des caractéristiques propres de l'arbre (Messaoudene, 2008). Il en résulte une hétérogénéité relative à la densité, particulièrement au niveau des limites de cernes, ainsi que pour les autres propriétés.

a. Humidité :

Le bois est un matériau hygroscopique ; il est susceptible de perdre ou reprendre de l'humidité en fonction de la température et surtout de l'humidité relative de l'air ambiant. (NF-B 51-004).

En général, la teneur en eau est maximale dans les racines, moindre dans les branches et minimale dans le tronc. La quantité d'eau est évaluée par rapport au poids du bois anhydre selon la formule suivante :

$$H\% = (Ph - P0) / P0 \quad (II - 1)$$

Ph : poids humide du bois P0 : poids anhydre du bois 164 H% : taux d'humidité.

Le tableau 2.2 suivant représente les taux d'humidité de différents types de bois (NF-B 51-004).

Tableau 2.2 : taux d'humidité des différents types de bois selon la norme NF-B51-004

Bois saturé	30 %
Bois mi –sec	23 – 30 %
Bois commercial	18 – 22 %
Bois sec à l'air	13 – 17 %
Bois desséché	13

b. Densité :

La « densité » du bois, que l'on devrait plutôt appeler masse volumique, est le rapport entre la masse du bois et son volume à une humidité quelconque. Le rapport entre la masse et le volume saturé en eau ou « volume vert » de l'échantillon définit l'infradensité du bois. Le bois étant un matériau hygroscopique, son poids et son volume changent en fonction des pertes et des gains d'humidité ce qui donne des valeurs différentes de densité en fonction de la teneur en humidité du bois. La densité de référence est calculée à 12% d'humidité désignée par D12. La connaissance de la densité est indispensable compte tenu de ses relations avec d'autres propriétés telles que la rétractabilité et les résistances mécaniques (résistance à la flexion, résistance au choc) du bois. La densité du bois est largement influencée par sa structure. Chez les feuillus, elle dépend de la proportion relative des fibres par rapport aux éléments

cellulaires, notamment les vaisseaux, ainsi que de l'épaisseur propre de leur paroi cellulaires (Keller, 1994).

Chez les feuillus à bois hétérogène, comme le chêne zéen, le chêne liège, l'augmentation en épaisseur des couches porte sur le bois d'été plus dense. A l'inverse des résineux, la densité est d'autant plus élevée que les couches sont plus larges. Chez les feuillus et résineux à bois homogène, comme le chêne vert, l'Arganier, le Thuya, où la différence est peu marquée entre bois de printemps et d'été, la densité est indépendante des couches annuelles dont la largeur est sans effet.

Les variations d'épaisseur et de composition chimique des membranes, conséquences des conditions d'existence, modifient aussi la densité. C'est ainsi qu'à égalité d'essence, les arbres ayant crû dans des climats chauds et lumineux donnent du bois plus lourd.

Enfin la densité n'est pas la même dans les divers parties de l'arbre : le bois de la base du tronc est plus lourd que celui de la partie moyenne. La densité est une propriété importante du bois ; elle intervient dans le transport, dans l'étude des propriétés mécaniques et dans l'appréciation du bois de chauffage.

Infradensité du bois :

L'infradensité du bois ou la densité théorique minimale (correspondant à la masse volumique basale) est définie comme étant le rapport entre la masse anhydre (M_0) de l'échantillon et son volume saturés suivant l'équation suivante :

$$P \text{ (Kg/m}^3\text{)} = M_0/V_s \quad (II -2)$$

c. Rétractabilité (variation dimensionnelle)

La stabilité dimensionnelle est un facteur très important pour le déroulage de bois. Plus le bois est stable, plus il se déforme moins et se transforme mieux. Un bois stable présente de faibles changements dimensionnels et une faible tendance à se déformer (Torelli, 1995, Choong, 1998).

Le retrait et le gonflement traduisent la capacité des dimensions du bois à changer en lien avec son taux d'humidité. Les dimensions du bois sont stables lorsque son taux d'humidité est au-dessus du point de saturation des fibres, mais varient lorsque le taux d'humidité change en dessous de ce point : le bois se rétracte lorsque les parois cellulaires perdent de l'eau, il gonfle lorsque les parois cellulaires gagnent de l'eau.

Ces retraites et gonflements peuvent entraîner la déformation, le fendage ou l'éclatement des morceaux de bois. Trois types de variations dimensionnelles peuvent être distingués, suivant

les directions : la direction axiale ou longitudinale, la direction tangentielle et la direction radiale. On définit alors le retrait total par le rapport de la variation de dimensions entre le bois sec et le bois au point de saturation des fibres sur la dimension du bois sec. Le retrait longitudinal est le plus faible (dans le sens des fibres du bois) de l'ordre de 0,1 % et est négligeable.

Le retrait radial est plus important mais reste limité par la présence des rayons ligneux, il est de l'ordre de 5 % en moyenne. Enfin, le retrait tangentiel est le plus important car aucune cellule n'est orientée dans ce sens, il est de l'ordre de 10 % en moyenne.

En général, les deux espèces de bois de chêne Zeen et Afarès présentent un retrait important par rapport aux autres chênes méditerranéens et européens (tableau 2. 3). Mais il faut néanmoins préciser que le retrait total du bois de chêne Zeen, de l'ordre de 20 %, est plus important que celui de bois de chêne Afarès, estimé à 18 %, ce qui explique l'instabilité du bois de type Zeen comparé au type Afarès. Selon (Mesaoudenne ,2008), les valeurs de retrait axial, généralement négligeables, ne diffèrent pas significativement entre les deux chênes.

Les retraits tangentiel et radial sont estimés respectivement à 9,6% et 5,2% pour le chêne Afarès et 14,3% et 7,3% pour le chêne Zeen, ce qui le qualifie de bois à fort retrait. Cependant, le rapport du retrait tangentiel au retrait radial (anisotropie) équivaut 2, ce qui présume une bonne stabilité dimensionnelle comparée à celle des autres chênes (tableau.2. 3).

Tableau 2. 3. Valeurs du retrait de quelques espèces de chênes

Espèces de chênes	Retrait Axial (%)	Retrait tangentiel (%)	Retrait Radial (%)	Retrait Volumétrique total %	Anisotropie	Référence
<i>Q. canariensis</i>	0.3	14.3	7.3	20.6	2.0	Messaoudene (2008)
<i>Q. afares</i>	0.15	9.65	5.51	18.41	1.9	Dautrebande (1989)
<i>Q. ilex</i>	0.1	10.3	4.7	14.9	2.2	Marchal (1995)
<i>Q. marcocarpa</i>	-	6.0	4.2	-	2.0	Beaudoin (1996)
<i>Q. alba</i>	-	5.4	4.7	-	3.8	Beaudoin (1996)
<i>Q. rubra</i>	-	6.7	3.6	12	4.0	Beaudoin (1996)

4.2. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du bois décrivent le comportement du bois lorsqu'il est soumis à diverses sollicitations (force, couples, etc.). Une particularité technologique du bois est sa très forte anisotropie mécanique. Il est même possible d'affirmer qu'il n'y a pas deux morceaux de bois parfaitement identiques, chacun ayant ses propres défauts naturels. Aussi, les performances d'une pièce de bois varient en fonction de différents facteurs tels que la densité et le taux d'humidité. Les caractéristiques mécaniques de diverses essences de bois (Sell et Kropf, 1990) sont exposées dans le tableau 2. 4.

a. Résistance à la flexion

En physique (mécanique), la flexion est la déformation d'un objet sous l'action d'une charge. Elle se traduit par une courbure. Dans le cas d'une poutre, elle tend à rapprocher ses deux extrémités (prend une flèche croissante et se rompt). Si la rupture est survenue rapidement (sans que la flèche soit considérable), le bois est dit cassant ou raide ; Si la rupture est précédée par une forte déformation de la pièce, le bois est dit flexible ou tenace. L'essai de flexion d'une poutre est un essai mécanique utilisé pour tester la résistance en flexion, laquelle est essentiellement requise pour les bois de construction.

Tableau 2. 4. Propriétés mécaniques des différentes espèces de bois mesurées sur des éprouvettes d'humidité $H\% = 12\%$ à 15% (Sell et Kropf, 1990).

Essence	Résistance à la flexion (f) [N/mm ²]	Résistance au cisaillement [N/mm ²]	Résistance au choc [Nm/cm ²]	Dureté Brinell [N/mm ²]	
				// aux fibres	⊥ aux fibres
Chêne	86 à 108	9.3 à 11.5	5.0 à 7.4	50 à 65	23 à 42
Douglas	70 à 100	7.0 à 10.2	3.7 à 6.0	39 à 49	17 à 20
Epicéa	65 à 77	5.0 à 7.5	4.0 à 5.0	31	12 à 14
Hêtre	90 à 125	7.7 à 10.0	8.0 à 12.0	71	28
Peuplier	54 à 76	5.0 à 7.0	3.8 à 4.9	25 à 33	10 à 15
Pin sylvestre	79 à 100	7.2 à 11.2	4.0 à 7.0	39 à 41	14 à 23
Bouleau	120 à 144	11.8 à 14.2	7.5 à 10.0	48	21 34

b. Résistance à la compression :

Soit dans le sens parallèlement aux fibres axiales, soit dans le sens perpendiculaire (transversal). Elle augmente avec la densité. Le rapport de la résistance à la densité ou cote de qualité, est plus fort pour les résineux que pour les feuillus : avec un poids modéré, ces bois possèdent une résistance élevée et, en chargeant peu les murs, assurent le maximum de solidité aux charpentes. (Bohan 2009).

c. Résistance au choc :

Dans bien des cas, le bois est exposé à subir des efforts temporaires et brusques, des chocs, des vibrations (manches d'outils, pièces de carrosserie, de machines,...). La propriété lui permettant de résister à ces efforts brusques est la résistance au choc ou résilience. Elle est très peu influencée par l'humidité, à l'inverse des autres propriétés. Les bois résistant mal au choc sont dits fragiles ; ceux qui résistent bien sont dits résilients.

d. Aptitude au fendage :

On l'appelle aussi fissibilité ; c'est la faculté du bois à se diviser longitudinalement sous l'influence d'un coin. C'est une propriété essentielle pour les bois débités pour la fente (lattes, échelas, merrains). Elle diminue avec l'humidité et dépend avant tout des caractères de structure et des conditions de vie de l'essence. Certains bois sont très fissiles : Sapin, Epicéa et surtout le Châtaignier ; les chênes : chêne Zeen en Afrique du Nord sont fissiles.

e. La dureté :

Elle est la résistance du bois à la pénétration d'un corps étranger est très importante en tant que facilité du travail du bois à l'aide d'outils, pénétration des clous et vis, résistance à l'usure. Elle intervient en première ligne dans la classification commerciale des bois en bois durs et bois tendres ou bois blancs. Elle est proportionnelle à la densité. Elle se manifeste différemment selon le mode d'action de l'outil attaquant le bois : outil raclant (scie), coupant (rabot), ou perforant (clou). On distingue en Afrique du Nord des bois très durs : chêne vert, Arganier, Thuya, Tizra ; des demis durs : chêne liège, chêne zeen, Eucalyptus, Pins, Cèdre ; on n'y trouve pas de bois tendres. (Berrichi, 2011). Le bois de chêne Zeen une dureté une dureté Monnin permettant de le classer parmi les bois durs (Lamrioui, 1999).

4.3. Propriétés chimiques :

D'importants usages industriels ou domestiques du bois dérivent de ses propriétés chimiques, telle sont les industries de la cellulose, la distillation, la carbonisation, l'usage pour le chauffage.

Les éléments du bois sont essentiellement constitués par la cellulose associée à une forte proportion de lignine. Il y a en moyenne 50% de cellulose, 20 à 30% de lignine et 30à20% des hémicelluloses. (Amirou, 2013)

Le bois contient en outre certains produits de sécrétions, tels que les résines chez les résineux, les tanins chez les feuillus et enfin des matières minérales constituant les cendres. La composition chimique est très importante surtout pour les industries de transformation.

a. Durabilité

C'est la propriété du bois de résister plus ou moins aux actions destructives, spécialement à celles des champignons et des insectes. Cette durabilité est la conséquence de la composition chimique ; la présence de résines et des tanins augmente la durabilité ; au contraire l'existence de matières de réserves comme l'amidon, exerce une influence défavorable. Les produits de sécrétion se trouvent principalement dans le bois parfaits et les matières de réserves étant concentrées dans l'aubier, la durabilité est surtout grande pour les espèces à bois parfait distinct. On peut à cet égard classer les bois nord-africains comme il suit :

- Bois très durable : Cèdre, Thuya, Genévrier, Cyprès de l'Atlas, l'Arganier
- Bois durable : Chêne zeen, Chêne vert
- Bois moyennement durable : Chêne liège, Pin d'Alep, Pin maritime, Eucalyptus. A l'air libre ; (Berrichi, 2011)

La durabilité est d'autant plus grande que l'atmosphère est plus sèche. Les conditions les plus mauvaises sont réalisées pour les bois au contact du sol ; traverses de chemin de fer, poteaux. Sous l'eau, le bois peut se conserver longtemps mais l'échelle de durabilité est alors différente de celle de l'air libre.

5. Présentations des chêne Afares, Zéen et chêne liège :

Les chênes Afares et Zeen sont souvent difficiles à séparer l'un de l'autre quant aux surfaces qu'ils occupent. Ils cohabitent souvent en voisinage ou en mélange dans des conditions comparables.

Le chêne Afares monte cependant beaucoup plus haut en altitude : c'est un arbre essentiellement calcifuge, qui peut supporter des conditions plus sèches que son associé. Le chêne Zéen quant à lui est présent là où il y a du chêne liège. C'est un arbre se plaisant en moyenne montagne, peut exigeant quant à la nature du sol mais qui a besoin d'au moins 800 mm d'eau pour satisfaire ses besoins. (Kennouche, 2016).

Dans la zone des conditions climatiques et géologiquement optimum, il est très vigoureux. Il en arrive même à envahir et éliminer les peuplements de chênes lièges présents dans ces régions.

Le chêne liège est facile à distinguer à cause de son écorce spécifique (liège) et il est le seul chêne qui est capable de construire cette écorce extérieure.

Les peuplements du chêne liège se présente en mélange avec ceux des chênes Afares et Zéen.

5.1 Le plan ligneux des bois de chênes

Les éléments constitutifs du bois sont orientés soit parallèlement soit perpendiculairement à un axe de symétrie matérialisé par la moelle.

Ils sont organisés dans trois directions de références longitudinale ou axiale (L), radiale (R) et tangentielle (T). Cette organisation laisse prévoir une importante anisotropie du bois pour un grand nombre de ses propriétés physique, mécanique et technologique.

Tableau 2.5 : Description anatomique des bois de chênes

Type cellulaires du bois de chêne		Localisation dans le cerne	Rôle dans l'arbre	Propriétés liées pour l'utilisateur
Eléments de vaisseaux		-vaisseaux de très gros diamètre dans le bois initial ; Vaisseaux de très petit diamètre dans le bois final, en plages	Conduction de la sève brute ascendante ; Cellules à parois minces	Zone du bois à faible densité et à faible propriétés mécaniques. Porosité ; Perméabilité mais étanchéité lorsque envahissement par les thylls.
Fibres		En plages dans le bois final	Soutien Résistance mécaniques ; Verticalité des tiges et de l'angle des branches Cellules des parois	Zone de bois forte densité et forte propriétés mécaniques ; Rétractibilité élevées ; Peuvent présenter le caractère « bois de tension » Confère une nuance sombre à la couleur du bois en section transversale.
Parenchymes	Longitudinal	Diffus, tangentiel ou associé aux vaisseaux	Biochimique ; Rôle important dans duraminisation	Zone de bois à faible densité ; Propriétés : chimiques (ellagitanins), durabilité, à l'origine des thylls
	Radial	Rayons ligneux unisériés et plurisériés	Comme ci-dessus plus conduction radiale	Zone de bois à forte densité ; Propriétés comme ci-dessus plus zone préférentielle de rupture (débit par fente, fentes au séchage ; Rôle dans la rétractabilité

Pour comprendre la structure du bois, il est recommandé de l'étudier à l'aide de trois coupes perpendiculaires (figure 2.4).

- (a) Coupe transversale perpendiculaire à l'axe de la tige ;
- (b) Coupe radiale longitudinale dans un plan passant par la moelle ;
- (c) Coupe tangentielle longitudinale dans un plan excentré et parallèle à l'axe de tige.

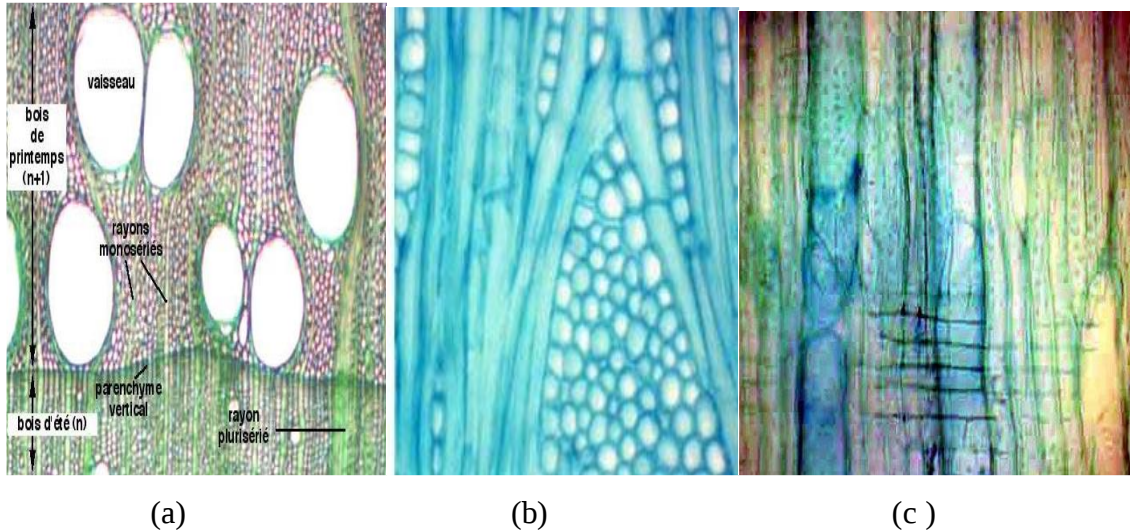


Figure 2.4 trois coupes perpendiculaires d'un tronc du bois

L'observation d'un cerne annuel en coupe transversale montre qu'il est constitué de deux zones bien distinctes :

- Une zone initiale poreuse, le bois de printemps, constituée essentiellement de gros vaisseaux qui sont formés avant la mise en place des feuilles [Huber, 1935] ; [Wareing, 1951] ; [Breda et Granier, 1996] et entourés de trachéides centriques.

Selon [Nepveu, 1994], la largeur du bois initial moyenne varie de 0.5 à 1.2mm chez les deux espèces ;

- Une zone finale, le bois d'été, elle est généralement constituée de tissus plus denses que la zone initiale : plages de fibres, de parenchymes et de petits vaisseaux.

On observe aussi des rayons ligneux disposés radialement : les uns de petites dimensions (les rayons ligneux unisériés) ; les autres de grandes dimensions (les rayons ligneux plurisériés).

5.2. Description botanique, dendrologique et anatomique des bois utilisés

A. . Aspect macroscopique

Le bois des espèces de chênes Zeen et Afarès , est connu par son hétérogénéité, et sa structure très forte. Le bois de chêne Zeen est très dense, de couleur claire, de droit fil, à grain assez fin et de durabilité naturelle moyenne. La résistance aux chocs est excellente (Messaoudene *et al.*, 2009). Quant au bois de chêne Afarès, il est rouge-brun avec un aubier très abondant.

La figure 2. 5 montre la section transversale des troncs d'arbre du chêne Zeen, où trois parties principales sont distinctes : l'écorce, l'aubier et le duramen.



Figure 2.5 : Illustration des différentes parties d'un tronc de chêne Zeen

L'écorce : Il s'agit du revêtement extérieur du tronc et des branches d'un arbre. C'est une couche protectrice. Chez le chêne Afarès l'écorce est plus épaisse avec un aspect externe et plus rugueux assurant la protection des parties intérieures. Chez le chêne Zeen elle est moins épaisse et présente des fissures de couleur brun gris. En revanche le chêne Liège présente une écorce plus épaisse que les deux autres espèces (le liège).

L'aubier : représente les zones d'accroissement récemment formées avec des cellules vivantes avec des réserves en matière nutritives. De par sa composition, il est moins durable soumis aux attaques d'insectes xylophages et de champignons lignivores.

Le duramen : contrairement à l'aubier, le duramen est la partie du xylème physiologiquement inactive suite à la duraminisation, qui s'accompagne de la mort des cellules de parenchyme et le dépôt des extractibles sur les parois cellulaires, responsables de sa couleur sombre et de son odeur.

B. Caractères botaniques

Le chêne Zeen (*Quercus canariensis*) est une espèce monoïque pouvant atteindre plus de 30m de hauteur et un diamètre de 2m à 1,30m du sol. Son écorce est profondément fissurée de couleur brun foncé. Ses jeunes rameaux sont tomenteux. Ces feuilles sont obovales ou lancéolées et plus ou moins auriculées à la base. Le limbe forme 10 à 12 paires de lobes mucronées, régulières, arrondies ou obtuse. A nervure principale saillante à la face inférieure, elles ont une longueur de 5 à 20cm et une largeur de 4 à 12cm, caduque début printemps (partiellement, certaines feuilles le sont en hiver). Les glands subsessiles à maturité annuelle

sont inclus pour un tiers environ dans une cupule recouverte d'écailles lancéolées, planes, imbriquées et longues tout au plus de 5-6mm. Sa longueur varie de 20 à 40mm et son diamètre de 10 à 15mm.

Le chêne Liège *Quercus suber* (L) décrit par en 1753 est rattaché au sous-genre *Cerris* qui regroupe les chênes à cupule chevelue. L'originalité de cette espèce est de produire une écorce épaisse le «liège », matériau assez unique pour ses propriétés physiques, chimiques et esthétiques. C'est un descendant de la flore Pliocène supérieur

Le chêne liège est une espèce très polymorphe quand à ses caractères botaniques
- présentent de grandes variations.

- **Le port:** *Quercus suber*, arbre de taille moyenne, pouvant atteindre 20 à 25 m mais souvent il ne dépasse pas 15m. Quand il pousse à l'état isolé le tronc est court, les grosses branches étalées. En peuplement massif, le tronc est plus droit, plus long et l'insertion des branches donne un port plus proche du fuseau.

- **Les rameaux :** ils sont sinueux, tomenteux et verdâtres à leur jeune âge, puis brun clair avec des lenticelles marquées

- **Les feuilles:** elles présentent un polymorphisme très marqué. Elles sont alternes, généralement coriaces, plus ou moins dentées, vert-brillant et présentent une pubescence sur la face inférieure. Elles sont persistantes entre 2 et 3 ans

- **Fleurs et fécondation:** Les fleurs mâles ou chatons apparaissent en bouquets en Avril ou Mai, à l'extrémité des pousses de l'année précédente. Les fleurs femelles poussent isolées ou en groupes de trois maximum sur les rameaux de l'année en cours. Leur cupule protectrice se retrouvera sur les futurs glands. Bien que monoïque comme tous les chênes, le *Quercus suber* **est essentiellement allogame, c'est-à-dire que les fleurs d'un individu sont fécondées** par du pollen provenant d'autres individus

- **Le fruit:** Le gland, fruit du chêne liège, est trapu et arrondi au sommet, longueur est comprise entre 2,5 et 3 cm. Les premiers glands apparaissent vers l'âge de 15 ans. A l'automne, les glands tombent sur le sol et au printemps suivant, les premières chaleurs activent le gland encore humide des dernières pluies d'hiver et la germination commence. Les cotylédons gorgés d'eau font éclater l'enveloppe du gland d'où s'échappe le jeune chêne ou plantule.

Le chêne Afarès est un chêne à feuilles caduques, elles sont dentées, l'écorce ressemble à celle du chêne liège mais son liège est fragile et sec. Il fructifie tous les deux ans ; son bois est

caractérisé par un : retrait axiale de 0.15, un retrait tangentiel 9.65 et retrait radial de 5.17 et un retrait volumétrique total de 18.41, il est utilisé pour la menuiserie, c'est un bon combustible. Cette espèce recouvre environ 10.000 ha en Kabylie et à l'Est de l'Algérie (Jijel, Guelma et Souk Ahras) est un arbre de 1^{ère} grandeur (il peut atteindre 30 m de hauteur).

- **Taille et port** : arbre pouvant atteindre 25 à 30 mètres, au port [fastigié](#) étant jeune puis devenant pyramidal en se terminant en dôme arrondi.

- **Feuilles** : 7-14 cm sur 4-6, oblongues lancéolées ; arrondies à la base, apex légèrement atténué ; bord à 8-12 paires de dents triangulaires à court mucron, et à sinus arrondis ; vertes et luisantes dessus avec quelques poils stellaires ; dessous à tomentum gris blanchâtre court, surtout le long des nervures ; tombent à la fin de l'hiver ; 8-15 paires de nervures latérales.

- **Fleurs** : absent

- **Fruits** : glands de 4 cm, par 1 à 3 ou plus sur un court pédoncule de 1 cm ; inclus au 1/3 dans une cupule ressemblant à celle de Q. cerise ; mûr en 1 an.

- **Ecorce, rameaux, bourgeons** : écorce rugueuse, un peu liégeuse, profondément fissurée ; rameaux d'abord tomenteux, devenant glabres ; bourgeons terminaux tomenteux entourés de stipules persistantes.

- **Habitat et culture** : rustique ; toutes terres ; croissance rapide.

Il faut noter que le chêne Afares est considéré comme un hybride entre le chêne Zeen et le chêne Liège.

6. Qualité technologiques et usage des bois de chêne

En vue macroscopique, les bois de chênes présentent de gros rayons ligneux multi-sériés et de petits rayons unisériés, à l'origine d'une belle maillure du bois lorsqu'ils sont débités en quartiers.

La zone de bois initial se caractérise par de gros vaisseaux alignés en bandes tangentielles et isolés les uns des autres. En revanche, le bois final est formé de vaisseaux nettement plus petits et de taille variable. Les fibres sont très nombreuses dans le bois final, irrégulièrement réparties et à trajet rectiligne-oblique. Aujourd'hui, les avis sur la qualité du bois de ces chênes sont variables et parfois contradictoires. La majorité des forestiers considère, sans

argument scientifique, les bois de chêne Zéen et Afares comme étant de qualité médiocre et leurs accordent très peu d'intérêt [Messaoudene et al, 2009]. A cet effet, les résultats des essais effectués par le centre technique forestier tropical en 1970 montre que les bois possèdent des qualités intéressantes incontestables : ils sont de couleur claire, de droit fil, à grain assez fin et de durabilité naturelle moyenne. D'autres remarques peuvent être résumées comme suit :

- Etant peu abrasif, leurs usinage est relativement facile en utilisant des machines assez puissantes et des outils de coupe modernes.
- Le séchage est très difficile, tant que les bois sont humides, il y a risque de fentes importantes interdisant tout débit large. Le séchage naturel, bien conduit, donne de bons résultats contrairement au séchage artificiel qui donne lieu à de graves difficultés.

Dans les travaux de récents [Messaoudene et al, 2009] confirment que le bois du chêne Zéen est situé dans la catégorie des bois à forts retraits, nerveux à très nerveux et mi-lourds à lourds. La sévérité de ces contraintes physiques dévalorise le bois de cette essence. Les résultats d'autres études sur le chêne zéen sont à mentionner. Lamrioui (1999) a étudié l'usinabilité du bois de chêne zeen. Kennouche (2016) a établi une cartographie de densité de 2 espèces, le chêne zeen et le chêne afarès par analyse densitométrique moyennant un scanner à rayons X. Haddadou (2015) a étudié les propriétés anatomiques des deux espèces, le chêne zeen et le chêne afarès, leur propriétés physico-chimiques et a procédé à l'extraction de la cellulose pour des utilisations comme membranes. La durabilité de ces mêmes espèces a été également étudiée, montrant que ces dernières sont peu à moyennement durables vis à vis de la photodégradation qui se manifeste par un changement de couleur (Ouadou 2017). Benbrahim (2019, 2021) a étudié la valorisation par déroulage des espèces de chêne zeen et le chêne afarès en panneaux de lamibois (LVL).

CHAPITRE III

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Provenance des matières :

Les bois de chêne Zeen, chêne afares et chêne liège sont prélevés du massif de l'Akfadou (wilaya de Tizi Ouzou), du massif de Taza (wilaya de Jijel) et de la forêt Haizer (wilaya de bouira). 4 arbres considérés comme matures et ayant de 8 à 12 m de hauteur et ayant un diamètre compris entre 25 à 40mm ont été sélectionnés. L'âge des arbres est estimé entre 20 et 40 ans, bien qu'il ne soit pas précisément connu. Ces arbres sont considérés comme matures et constitués principalement de bois adulte.

I.1 Station de HAIZER :

La zone forestière de Haizer se situe dans la partie nord-est de la wilaya de Bouira, la commune compte 21 villages et s'étend sur une superficie de 8900 ha, avec une densité de 206 habitants par Km².

La forêt de Haizer a une altitude de 772 mètres. Elle est située au sud-ouest de [Tanagoumt](#), au sud de La Dent du Lion(figure 3.1)

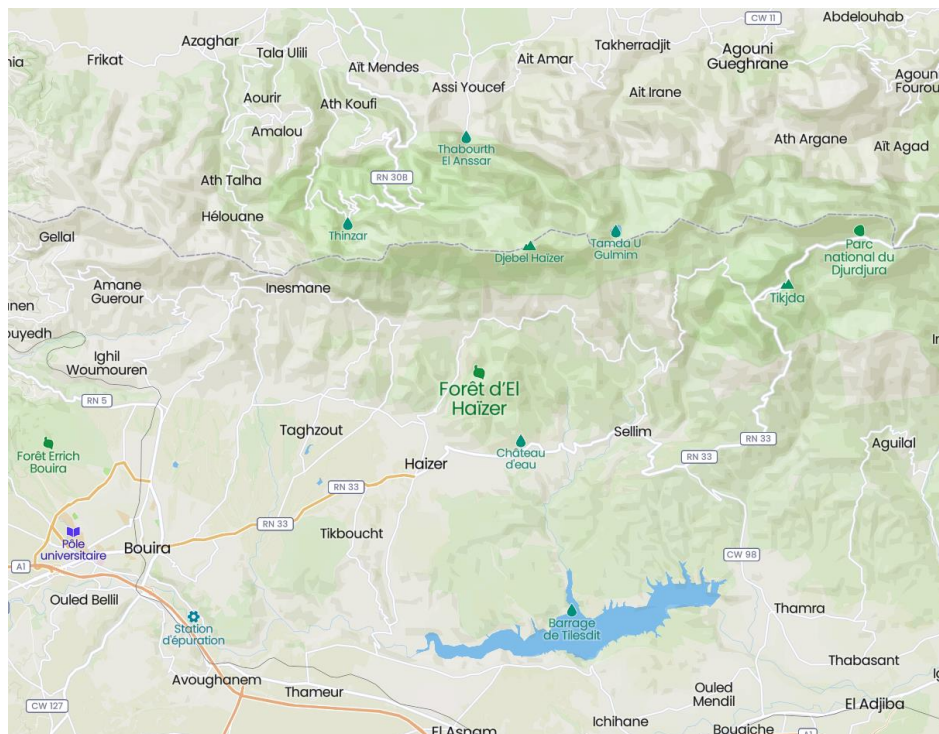


Figure 3.1 : Carte du massif de Haizer

I.2 Station d'Akfadou :

La forêt de l'Akfadou, située à 160 km environ à l'est d'Alger et distante de 20 km de la mer, dépend administrativement des départements de Bejaïa et de Tizi-Ouzou. Le massif forestier s'étend sur une superficie d'environ 11 000 ha, soit 18 % de la chênaie caducifoliée d'Algérie (figure 3.2). Son orographie est assez compliquée : elle s'articule autour d'une succession de lignes de crête globalement orientées nord-est et sud-ouest. Généralement, le relief est assez accidenté (pentes de 15 % à 45 %), notamment dans sa partie sud-orientale, l'altitude de l'Akfadou variant de 800 m à 1 646 m. Le climat est de type humide à variante tempérée (Messaoudène, 1989).

La forêt d'Akfadou est constituée essentiellement de peuplements de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.), de chêne afarès (*Q. afares* Pomel) et de chêne liège (*Quercus suber* L.). Ces peuplements présentent une mosaïque d'âges divers. Le chêne zéen est l'essence dominante jusqu'à 1 646 m d'altitude, où il occupe environ 45 % de la superficie boisée. Le chêne afarès abonde sur quelques lignes de crête, les versants sud et sud-ouest et les terrains caractérisés par des sols plus ou moins argileux.

Le plus souvent, il est situé au-dessous de 1 250 m d'altitude. Les peuplements purs occupent environ 15 % de la surface boisée. Les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne afarès se retrouvent partout dans les zones de transition. Il en est de même pour les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne liège, limités à une altitude de 1 100 m. Ces peuplements mixtes couvrent environ 25 % de la zone boisée. Quant au chêne liège à l'état pur, il occupe 15 % de la zone périphérique de l'Akfadou. De gros chênes zéens et afarès, âgés de plus de 500 ans, sont présents dans de nombreux sites. Ces individus témoignent de l'origine ancestrale de la chênaie de l'Akfadou.

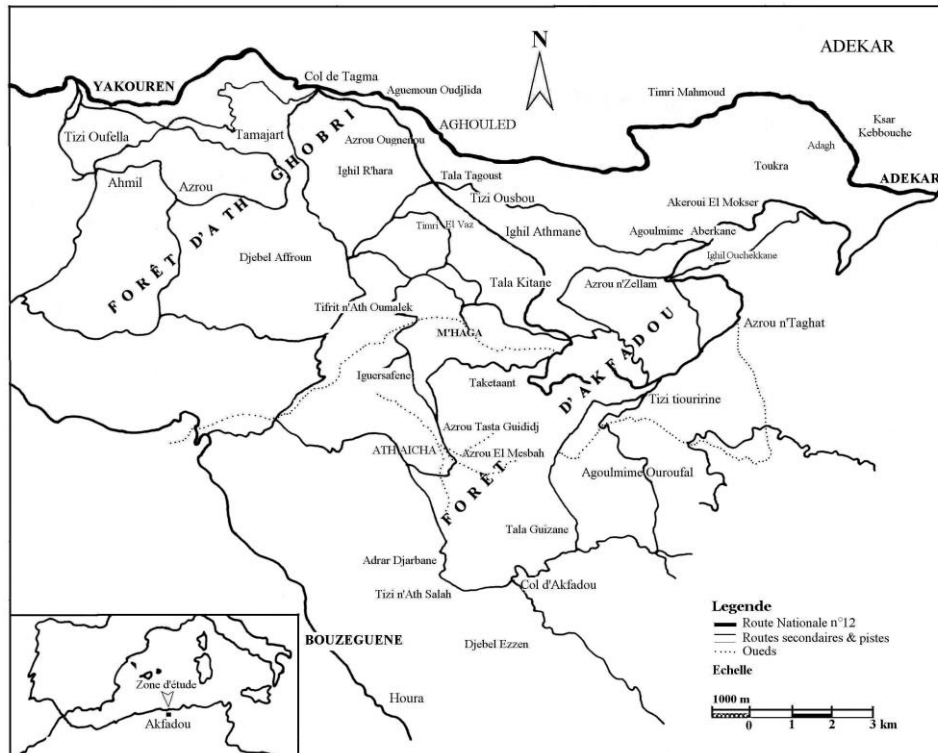


Fig.1: Situation géographique de la zone d'étude

Fig.1: Geographical situation of the study area

Figure 3.2 : Carte de l'Akfadou (IRNF Azazga)

I.3 Station de Jijel :

Etendue sur 130878.5 ha, soit 54% de territoire de la wilaya de Jijel, la forêt est un élément essentiel et structurant de la région. Cette forêt, à la densité variable, est néanmoins inégalement répartie, elle se concentre surtout à l'Ouest et au sud de la wilaya. Le chêne liège est omniprésent, en altitude il se mélange toutefois, au chêne Zéen et au chêne Afares puis petit à petit leur cède la place. Il disparaît également sur les versants calcaires en exposition sud, remplacé par le chêne vert et le pin d'Alep.

Les forêts de la wilaya de Jijel sont composées essentiellement de chênes liège, la forêt juxtapose en fait, deux formations principales : les vieilles futaies pures et plus ou moins denses, et les boisements beaucoup plus clairs souvent mixtes et plus jeunes. Les premières représentent 65% de l'espace sylvicole, leur taux de recouvrement est généralement supérieur à 75%, et la hauteur moyenne des arbres avoisine 9 mètres. Les seconds disséminés à travers tout l'espace forestier, forment un peuplement où les arbres ne dépassent pas 7 mètres.

Les boisements de chêne liège couvrent quasiment toutes les échines montagneuses, les hauts et les bas versants ; leur composition floristique qui a connu un cycle récessif sous l'effet des incendies répétés et le surpâturage connaît actuellement une nette évolution. Grâce en effet à un abandon de l'espace sylvicole durant plus de dix ans, une certaine remontée biologique a été enregistrée.

Le chêne liège est omniprésent, en altitude il se mélange toutefois, au chêne zéen et au chêne afarès, puis petit à petit leur cède la place. Il disparaît également sur les versants calcaires en exposition sud, remplacé par le chêne vert et le pin d'Alep (Tatar, 2008).

La répartition des superficies forestières par essence fait ressortir une certaine diversité dans la composition des peuplements forestiers qui ont été cartographiés sur le terrain (figure. 3.3). Le chêne liège constitue toutefois l'essence dominante et occupe près de 79 % des superficies forestières totales. Les peuplements de chêne zéen occupent un peu plus de 14% de la superficie forestière totale et constituent de ce fait la seconde essence de par son importance. Le reste des forêts est composé d'essences pures ou mélangées de chêne vert, de chêne afarès et de pin maritime (Bneder, 2008).

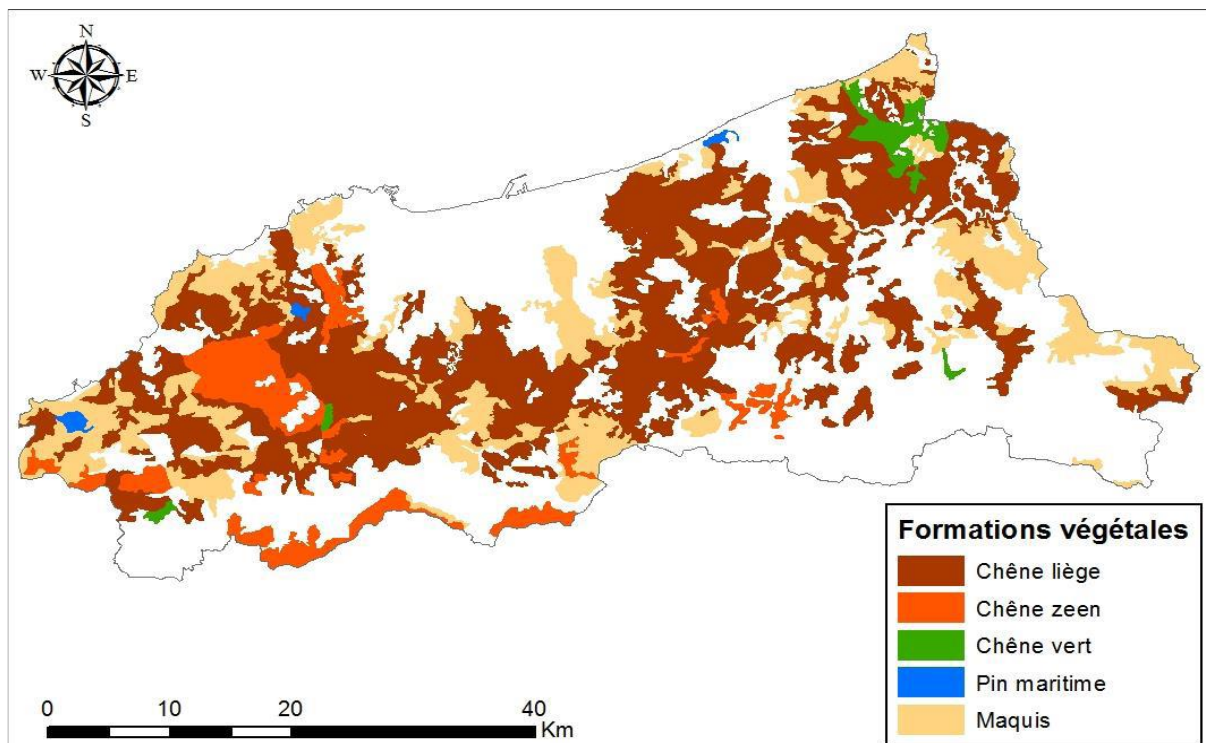


Figure 3.3 : Formations végétales dominantes des massifs forestiers de la wilaya de Jijel (source Bneder, 2008).

I.4 : Caractéristiques des stations de prélèvement

Le tableau suivant résume les caractéristiques des stations de prélèvement

Tableau 3.1 : Caractéristiques des stations (INRF Azazga, direction des forêts Jijel, direction des forêts Bouira)

Station	Haizer	Igher Safène	M'hagua	Jijel
caractéristique				
Altitude (m)	772	900	800	1121
Densité / ha	220	650	500	130
Pente %	20	50	25	40
Diamètre moyen (cm)	22.8	25.3	32.3	33.7
Hauteur moyenne (m)	12.5	11.80	19.70	20.23
Recouvrement %	40	60	75	54.56
Age moyen (ans)	25	40	27	28
Largeur des cernes (mm)	1.9	2.10	1.10	2.3

II.1. Caractérisation physique

II.1.1 préparation des éprouvettes

Tous les essais physiques et mécaniques de la préparation des éprouvettes au déroulement des essais ont été réalisés au laboratoire de physique et mécanique des matériaux de (URMPE - l'UMBB).

Les grumes ont été conditionnées dans l'eau dans un bassin pendant 10 jours. Après conditionnement, les grumes sont récupérées, tracées transversalement afin d'obtenir une bonne orientation des cernes, puis découpées à l'aide d'une scie à table en billons d'environ 50mm d'épaisseur. Ces derniers vont servir pour la confection des différentes éprouvettes devant servir aux essais physiques et mécaniques et dont les dimensions sont spécifiées par les normes en vigueur.

Avant essai, les éprouvettes ont été stabilisées en salle climatisée à 20 °C et 65 % d'humidité relative (taux d'humidité théorique du bois de 12 %) durant 25 jours (NF b 51-003 1985).

Pour la caractérisation physique de l'humidité, on a préparé des rondelles de 40 mm d'épaisseur (figure3.5), et pour les essais de retrait et de la masse volumique, on a préparé des cubes de (20*20*20) mm. (figure 3.6)



Figure 3.4 : Préparation des éprouvettes pour la caractérisation physique

II.1.2 détermination du taux d'humidité :

La détermination de la répartition de l'humidité dans le bois massif consiste à déterminer le rapport de la masse des cubes en état humide et sec.

Les rondelles sont découpées en petits cubes (40*40*40) mm selon la norme (NF B 51-004)-1985, repérés, séchés à 103 C⁰ jusqu'à l'état anhydre (figure 3.5). Les masses à l'état humide et à l'état anhydre permettent de calculer l'humidité de l'éprouvette selon la formule :

$$H\% = (M_h - M_0) / M_0 * 100 \quad (III-1)$$



Figure 3.5 : Rondelle pour la caractérisation de l'humidité

Un programme numérique a été utilisé pour présenter la répartition de l'humidité sur les rondelles (cartographie) des bois de chêne Zéen, Afares et chêne liège.

II.1.3 Essai de retrait :

Les éprouvettes ont été préparées selon la norme (NF –B 51-006) pour chaque essences avec les dimensions (20*20*20). (figure 3.6)

Les étapes de mise en œuvre pour la détermination du retrait sont les suivantes :

- Tremper les éprouvettes dans l'eau jusqu'à saturation de la masse (figure 3.7) ;
- Mesurer le poids des éprouvettes a l'aide d'une balance analytique (figure 3.8) ;
- Mesurer les dimensions des éprouvettes avec un pied à coulisse et mentionner les résultats. (Figure 3.9)

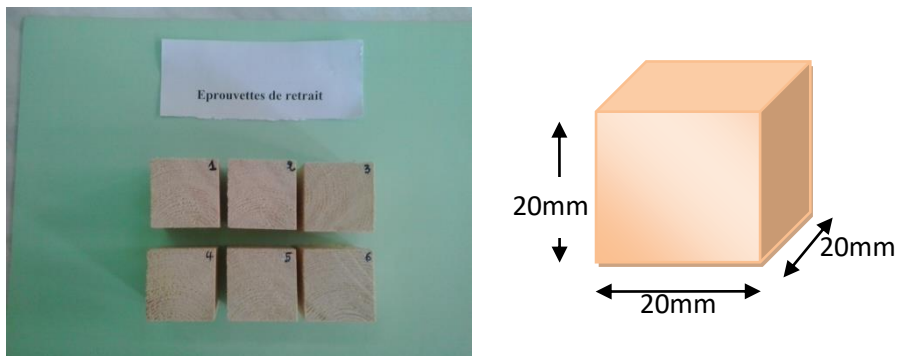


Figure 3.6 : Echantillons d'essai de retrait

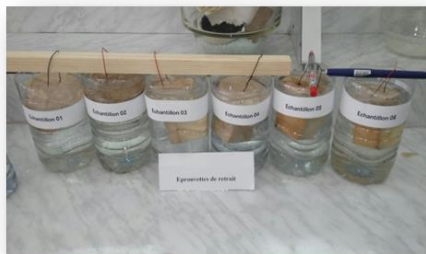


Figure 3.7 : Cubes immergés dans des flacons d'eau distillée

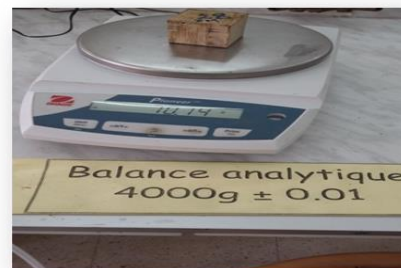


Figure 3.8 Pesée des cubes



Figure 3.9 Mesure des dimensions des cubes

Quatres éprouvettes de chaque essence sont prélevées. La formule de calcul du retrait est

$$R = [(Rh-Ro)/Rh]*100 \quad (III-2)$$

tel que :

Rh : dimension (mm) de l'éprouvette à l'état saturé (humide) selon le sens désiré (longitudinal, tangentiel, radial) ;

Ro : dimension (mm) de l'éprouvette à l'état anhydre selon le sens désiré (longitudinal, tangentiel, radial) ;

II.1.4 : La masse volumique :

Les essais pour déterminer la masse volumique ont été réalisés sur des éprouvettes avec des dimensions (20*20*20) mm selon la norme NF B 51-005 de 1985, les éprouvettes ont été conservées dans des chambres climatiques de 20C⁰ et 67% d'humidité jusqu'à la stabilisation de leurs masse.



Figure 3.10 : Eprouvettes d'essai pour déterminer la masse volumique

La densité du bois de chêne Zeen, mesurée sur 576 éprouvettes est en moyenne $883 \pm 25 \text{ kg/m}^3$ (Messaoudene, 2008), dépassant celle du bois de chêne Afarès qui est $827 \pm 38 \text{ kg/m}^3$. (Haddadou, 2015).

Le tableau 3.1 montre les valeurs de la densité pour différents chênes dont le chêne Zeen et le chêne Afarès qui sont classés parmi les plus denses.

Tableau 3. 1. Comparaison de la densité de chênes méditerranéens, européens et nord-américains.

Espèces de chênes	Densité à 12 % d'humidité (kg/m ³)	Infradensité	Référence
<i>Q. canariensis</i>	883	667	Messoudene (2008)
<i>Q. afares</i>	827	716	Haddadou (2015)
<i>Q. ilex</i>	944	729	Marchal (1995)
<i>Q. marcocarpa</i>	653	-	Beaudoin (1996)
<i>Q. alba</i>	676	-	Beaudoin (1996)
<i>Q. rubra</i>	612	-	Beaudoin (1996)

II.2. Caractérisation mécanique

La détermination des propriétés mécaniques des bois est de première importance pour tous les emplois et structure, tant pour les bois massifs que pour les produits dérivés.

Quels que soient ces domaines d'utilisation, il est nécessaire de connaître les propriétés mécaniques du matériau ainsi que son comportement sous différentes sollicitations, ceci afin d'utiliser le bois dans les meilleures conditions (Avalé 1984).

Ces caractéristiques sont déterminées suivant des protocoles définis dans des normes spécifiques à chacune des sollicitations envisagées.

II.2.1 : Essai de cisaillement

La contrainte de rupture en cisaillement définit la résistance du bois au glissement des fibres les unes par rapport autres dans le plan considéré (longitudinal-radial ou longitudinal-tangentiel).

L'essai de cisaillement a été effectué selon la procédure définie dans la norme NF EN 314-1 en utilisant une machine d'essai universelle Zwick de type Z250 piloté par un ordinateur équipé de logiciel test Xpert V9.0.

L'objectif de l'essai est d'étudier la résistance du bois suivant un mode de sollicitation en cisaillement ; ce mode de sollicitation est fréquent dans tous les emplois en structure.

Les éprouvettes doivent être centrées dans le dispositif de serrage afin que la charge puisse être transmise de la machine d'essai à la surface de cisaillement par l'intermédiaire des extrémités des éprouvettes, ceci sans sollicitations transversale ; un glissement est permis uniquement au début de la mise en charge. Le serrage est réalisé sur les faces. L'application d'une charge à vitesse constante est nécessaire pour que la rupture se produise en 30 ± 10 secondes.

Pour chaque essence 4 à 8 éprouvettes ont été préparées pour cet essai.

Les éprouvettes ont été débitées avec les dimensions finales de 150*20*10 mm. (figure3.11)



Figure 3.11 : Epreuve de cisaillement

La résistance au cisaillement f_v , exprimée en Newton par millimètre carré (N/mm^2), est obtenue en utilisant la formule suivante :

$$f_v = F/(b*a) \quad (III-3)$$

F: charge de rupture de l'éprouvette (N) (force appliquée) ;

b : hauteur de cisaillement (mm) ;

a : largeur de cisaillement (mm).

II.2.2. Essai de compression

La résistance à la compression axiale correspond à la résistance du bois suivant la direction parallèle aux fibres jusqu'à la rupture des éprouvettes.

L'essai de compression uni-axiale est effectué suivant la norme française NF B 51-007 (09-1985).

Pour chaque essence, 4 à 8 éprouvettes ont été utilisées.

Le bois a été tout d'abord séché jusqu'à une humidité voisine de 20 % afin de rester proche du degré d'humidité souhaité.

Les dimensions finales des éprouvettes sont (60x20x20) mm. Les dimensions ont été mesurées avec un pied à coulisse numérique comme stipulé ce qui nous donne une précision de 0,01 mm.



Figure 3.12 : Eprouvettes de l'essai de compression

Les essais de compression axiale ont été réalisés sur une presse de capacité maximale 100kN, disposant de deux plateaux dont l'un est muni d'une rotule comme présenter sur la figure 3.13



Figure 3.13 : Essai de compression selon la norme NF B51 007

Un effort continu est appliqué avec une vitesse constante de déplacement de la traverse mobile de 5mm/min de façon à atteindre l'effort maximal après 1 à 2 minutes de chargement. Durant l'essai, l'évolution de la charge a été enregistrée jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

La presse est équipée d'une base, de deux colonnes verticales, et d'une plaque supérieure fixée à la traverse mobile, et d'un mécanisme de contrôle. Un élément de plus faible diamètre est vissé à la plaque supérieure pour faciliter le positionnement et le centrage de l'échantillon tandis qu'un joint hémisphérique de grand rayon rend cette plaque facilement orientable pour tenir compte du manque de parallélisme des faces mises en contact.

La presse est pilotée par un ordinateur, le logiciel Control permet d'actionner la presse et d'enregistrer les données après chaque essai. Ce logiciel d'acquisition de données permet de créer un fichier de données brutes constitué des valeurs de charges et de déformations.

La formule suivante nous a permis de calculer les valeurs de résistance à la compression :

$$\sigma_c = p / (a*b) \quad (\text{III-4})$$

p : charge maximale (N) ;

a et b : dimensions de la section transversale de l'éprouvette (mm).

II.2.3. Flexion statique 4 points

L'essai de flexion est un test mécanique quasi statique. C'est un essai indépendant du temps (comme le choc, la dureté...). Il permet de caractériser des propriétés mécaniques du matériau étudié. Il est très facile à mettre en œuvre (absence de système de fixation d'éprouvette, géométrie simple de l'échantillon), et il reproduit assez bien les sollicitations courantes auxquelles sont soumis les matériaux testés.

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation et la résistance à la rupture d'un matériau posé sur deux appuis avec une application d'un effort. Il s'agit d'imposer à une éprouvette normalisée une déformation, à vitesse constante, et de mesurer la résistance à la flexion. Cet essai nous a permis de déterminer le module d'élasticité longitudinal et la contrainte à la rupture.

Les essais de flexion statique ont été réalisés selon Norme française NF B51-008 (1987) «Bois – Essai de flexion statique- détermination de la résistance à la flexion statique de petites

éprouvettes sans défaut», sur une machine universelle de model Zwick 250 kN piloté à un ordinateur équipé du logiciel test Xpert V9.0.

Le banc d'essai est constitué d'une traverse mobile avec deux appuis cylindriques horizontaux de 30 mm de diamètre, la distance séparant leurs axes est de 320 mm. Le banc contient aussi une rotule comportant deux cylindres horizontaux de 55 mm de diamètre et dont les axes sont distants de 160 mm. La charge de flexion est répartie symétriquement en deux charges égales équidistantes des appuis du banc de flexion.

Les dimensions finales de 320mm x 20mm x 20mm ont été respectées à +/-0,1 et les écarts de dimensions ont été pris en compte dans les calculs. (Ce mode de prélèvement reste en accord avec la norme NF B51 003.

Les dimensions ont été mesurées avec un pied à coulisse numérique comme stipulé ce qui nous donne une précision de 0,01 mm



Figure 3.14 : Echantillons de flexion 4 points

Nous avons disposé les échantillons comme le montre le schéma ci-dessous avec un écart de 160 mm entre les 2 cylindres supérieurs et de 320 mm pour les cylindres inférieurs.



Figure 3.15 : Essai de flexion 4 points

Pour chaque essai, l'évolution de la force a été enregistrée et la mesure de la contrainte à la rupture a été effectuée avec un déplacement de la traverse à une vitesse constante de 5mm/min jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La charge maximale appliquée P a été enregistrée.

Le calcul des module de Young après l'exploitation des courbes force-déplacement sur Excel tel que on choisi deux points dans la partie linéaire de la courbe et à partir desquels on détermine la pente.

Le calcul du module de Young en flexion quatre points se fait comme suit :

$$E_L = [P * (I-a) * (2I + 2Ia - a^2)] / [8 * b * h^3 * f] \quad (\text{III-5})$$

E_L : module d'élasticité en flexion (MPa) ;

P : charge totale de flexion (N) ;

I : distance entre les axes des appuis cylindriques (mm) ;

a : distance entre les axes des têtes de chargement (mm) ;

b : largeur de l'éprouvette (mm) ;

h : hauteur de l'éprouvette (mm) ;

f : flèche en milieu de l'éprouvette (mm).

Contrainte de la rupture : elle est déterminée de façon standard sur des bois à 12% d'humidité selon une procédure normalisée. La contrainte de rupture en flexion statique est en fonction de la force maximale atteinte à la rupture de l'éprouvette ($P_{\max}$), rupture qui peut être franche ou progressive.

La contrainte de rupture σ_F , exprimée en MPa, a été déterminée avec l'équation ci-dessous en se référant à la norme B51-008 (1987).

$$\sigma = [3 * P * (I - a)] / [2 * b * h^2] \quad (\text{III-6})$$

σ_F : contrainte de rupture en flexion (MPa) ;

P : charge totale de flexion (N) ;

I : distance entre les axes des appuis cylindriques (mm) ;

a : distance entre les axes des têtes de chargement (mm) ;

b : largeur de l'éprouvette (mm) ;

h : hauteur de l'éprouvette (mm) ;

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET

DISCUSSIONS

1. Résultats de l'humidité :

La cartographie de la distribution du taux d'humidité a été réalisée sur des disques de grumes des trois chênes.

Les résultats de détermination du taux d'humidité des cubes découpés à partir de trois disques de bois de chêne afares présentés sur la cartographie d'humidité (figure 4.1 et 4.3), montrent des zones plus humides au centre des disques correspondant au duramen. Les zones moins humides recouvrent la périphérie des disques correspondant à l'aubier.

La cartographie d'humidité du chêne Zéen montre un profil différent de celui du chêne Afares. Sur les disques du chêne Zéen, l'aubier et le duramen ne se distinguent pas de point de vue taux d'humidité. (Figure 4.2)

Chez le chêne liège le profil est pratiquement identique avec le chêne afares avec une humidité moyenne de 36%. (figure 4.3).

Le taux d'humidité moyenne du chêne liège est le plus faible, avec 74.63% , suivant ceux du chêne afares avec 83.12 et du chêne zeen avec 90.22%.

Les valeurs de l'ensemble des taux d'humidité mesurés ne présentent pas des variations significatives entre les stations des prélèvements ce qui montre que l'effet station est non significatif.

A. profil d'humidité de chêne Afares

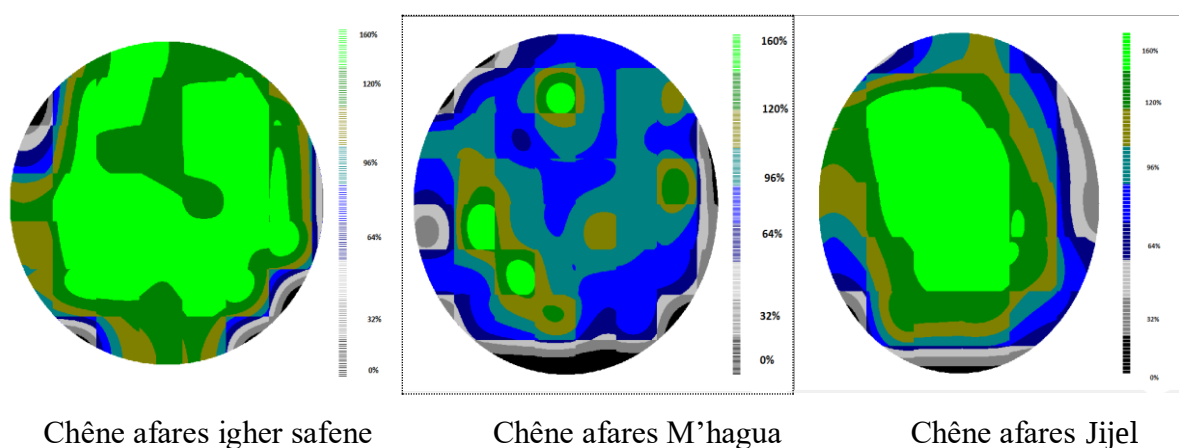


Figure 4.1: cartographie d'humidité de bois de chêne afares

B. profil d'humidité du chêne Zéen

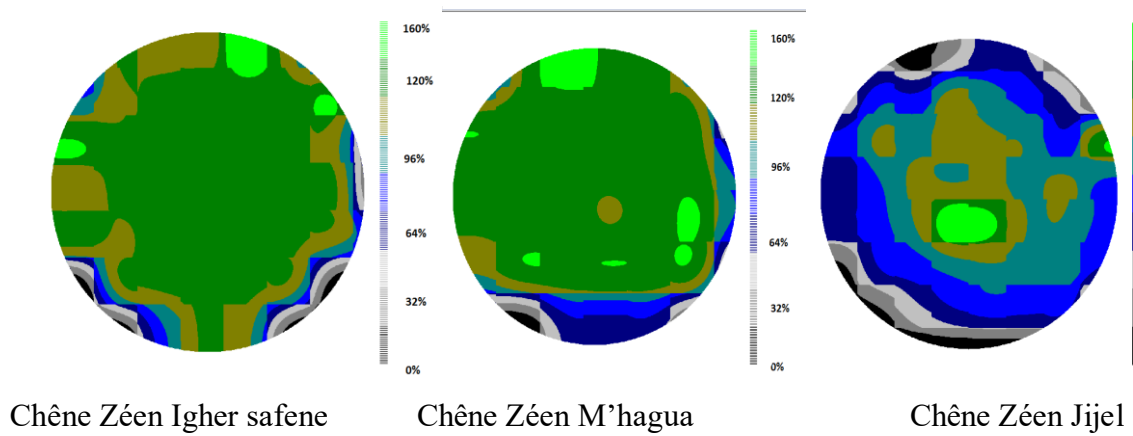


Figure 4.2: cartographie d'humidité de bois de chêne Zéen

C. profil d'humidité du chêne liège :

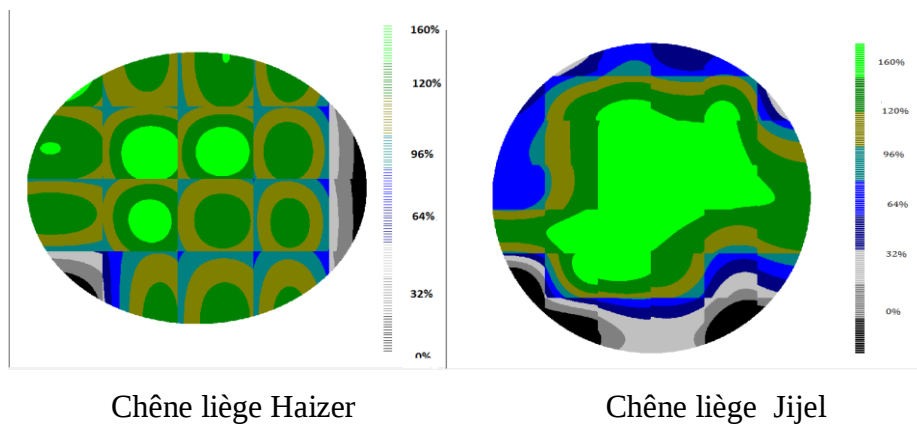


Figure 4.3 : Cartographie d'humidité de bois de chêne Liège

I.2. Résultats d'essai des retraits

Les résultats des retraits sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 4.4 : Résultats des retraits du chêne liège

		Haizer	Ecart type	Jijel	Ecart type
Retrait tangential %	arb1	8,22	0,707	6,86	0,5201
	arb2	7,23		7,22	
	arb3	6,55		7,65	
	arb4	7,68		8,06	
Retrait longitudinal %	arb1	1,05	0,500	1,22	0,370
	arb2	2,04		2,03	
	arb3	1,95		1,98	
	arb4	1,23		1,75	
Retrait radial %	arb1	7,36	0,381	6,33	0,545
	arb2	7,45		7,15	
	arb3	8,21		7,65	
	arb4	7,66		6,98	

Tableau 4.5 : Résultats des retraits du chêne Zéen

		Iguer sefene	Ecart type	Mhaga	Ecart type	Jijel	Ecart type
retrait tangential	arb1	9,64	1,195	7,02	0,821	6,22	1,896
	arb2	6,94		8,87		3,65	
	arb3	7,32		8,23		7,45	
	arb4	7,84		7,45		7,86	
retrait longitudinal	arb1	1,95	0,319	0,89	0,234	1,01	0,421
	arb2	2,22		1,42		1,99	
	arb3	1,86		1,04		1,56	
	arb4	1,45		0,97		1,78	
retrait radial	arb1	8,26	0,557	7,37	1,438	4,58	1,283
	arb2	8,86		4,75		7,5	
	arb3	7,56		5,23		6,56	
	arb4	7,89		7,54		7,03	

Tableau 4.6 : Résultats des retraits du chêne Afares

		Iguer sefene	Ecart type	Mhaga	Ecart type	Jijel	Ecart type
Retrait tangential	arb1	8,96	0,794	7,24	0,469	6,89	0,745
	arb2	7,22		8,32		8,65	
	arb3	7,36		8,12		7,55	
	arb4	8,03		7,86		7,36	
Retrait longitudinal	arb1	1,96	0,321	1,2	0,541	1,46	0,252
	arb2	1,78		2,36		2,03	
	arb3	2,32		1,52		1,84	
	arb4	1,56		1,23		1,95	
Retrait radial	arb1	7,98	0,343	7,65	0,406	7,03	0,252
	arb2	8,23		6,98		7,64	
	arb3	7,65		6,79		7,25	
	arb4	8,45		7,48		7,34	

Les qualifications du retrait tangential et du retrait radial sont définies en utilisant les classes suivantes : (NF-B 51-006)

Tableau 4.7 : Classifications des retraits radial total et tangential total

Classes de retrait radial total	Classes de retrait tangential total
$R_r \leq 3.8\%$ retrait faible	$R_t \leq 6.5\%$ retrait faible
$3.8 \leq R_r \leq 6.5\%$ retrait moyen	$6.5 \leq R_t \leq 10\%$ retrait moyen
$R_r \geq 6.5\%$ retrait élevé	$R_t \geq 10\%$ retrait élevé

Les résultats des tableaux 4.4, 4.5 et 4.6 montrent que :

- Le chêne liège présente un retrait longitudinal compris entre (1.56 et 1.74%), un retrait tangential moyen (7.22-7.44%) et un retrait radial élevé compris entre (7.03-7.67%) ;
- Le chêne Zéen présente un retrait longitudinal compris entre (1.08 et 1.87%), un retrait tangential moyen (6.29-7.93%) et un retrait radial élevé compris entre (6.22-8.14%) ;
- Le chêne Afares présente un retrait longitudinal compris entre (1.57 et 1.90%), un retrait tangential moyen (7.61-7.89%) et un retrait radial élevé compris entre (7.22-8.07%) ;

Les fortes amplitudes du retrait radial, associées aux écarts significatifs entre les retraits radial et tangentiel, expliquent les contraintes majeures rencontrées durant le séchage.

Ces résultats montrent que pour ces essences, une attention toute particulière devra être portée à cette opération si l'on veut obtenir en final des produits sciés et qui répondent aux attentes et aux besoins des opérations de la filière de deuxième transformation.

Les valeurs de l'ensemble des retraits mesurés ne présentent pas des variations significatives entre les stations des prélèvements ce qui montre que l'effet station est non significatif.

Ces valeurs de retraits sont intéressantes à comparer à celles disponibles dans la littérature.

Ainsi, (Messoudene et al 2008) ont déterminé les caractéristiques physiques de chêne Zéen issus de huit stations forestières différentes ; ils concluent que le retrait axial et l'anisotropie de retrait sont les deux paramètres dont la variabilité est la plus élevée et que l'effet station n'apparaît significatif au seuil de 5% que pour ces deux paramètres. Des résultats similaires de forts retraits ont été trouvés par Derbal 2015 pour le chêne Zéen et Afares.

La comparaison de nos résultats à ceux obtenus pour d'autres chênes du pourtour méditerranéen (Deret- Varcin 1983 ; Marchal 1995 ; Beaudoin 1996 ; Dautrebande 1989), ou de chênes européens ou d'Amérique du nord montre que le chêne liège, chêne Afares et chêne Zéen ont des retraits les plus élevés.

Le tableau suivant reprend les résultats obtenus par différents auteurs sur différentes espèces de chênes.

Tableau 4.8 : Résultats des travaux Deret- Varcin 1983 ; Marchal 1995 ; Beaudoin 1996 ; Dautrebande 1989

Essence	Retrait radia total (%)	Retrait tangentiel total (%)
Q. canariensis	6.58	16.45
Q. afares	6.96 (moyenne aubier –duramen	12.96 (moyenne aubier –duramen
Q. ilex	4.7	10.3
Q. pubescens	4.5	9.1
Q. sessiliflora	3.4	13
Q. pedunculata	3.15	12.5
Q. marcoparpa	4.2	5.4
Q. alba	4.7	6.0

les courbes suivantes présentent l'évolutions des retraits des bois selon les trois directions.

A. Courbes des retrait du chêne afares :

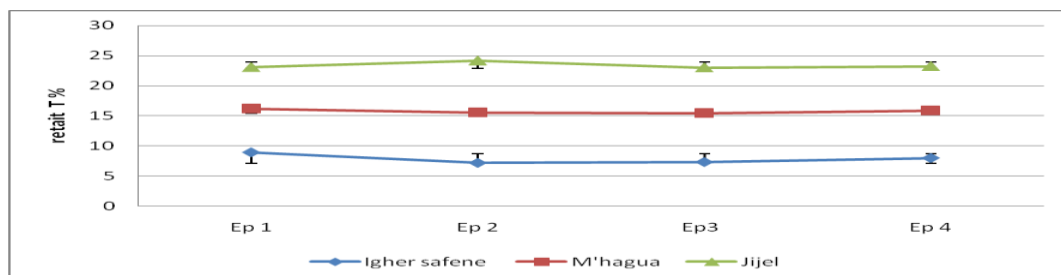


Figure 4.1 :Retrait tangentiel du chêne afares

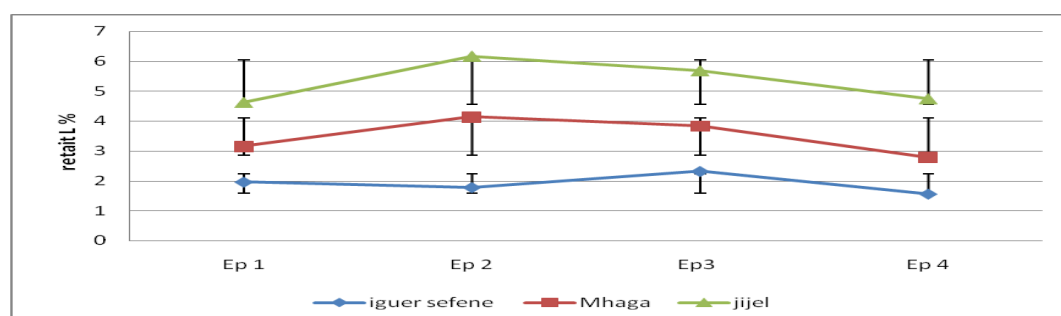


Figure 4.2 :Retrait longitudinal du chêne afares

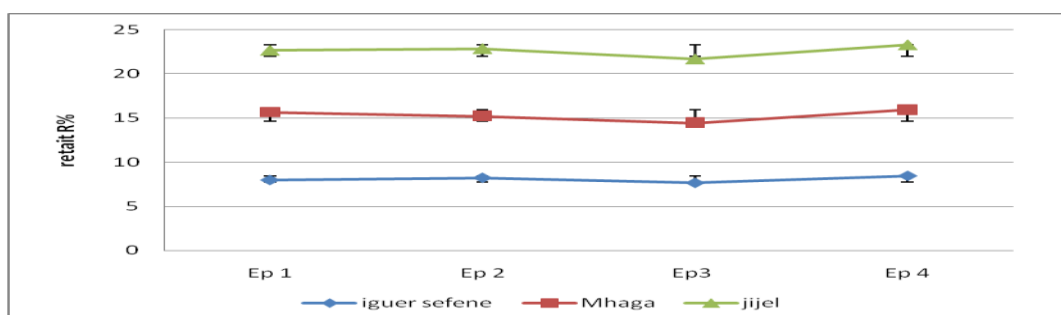


Figure 4.3 :Retrait radial du chêne afares

B. Courbes des retrait du chêne Zeen:

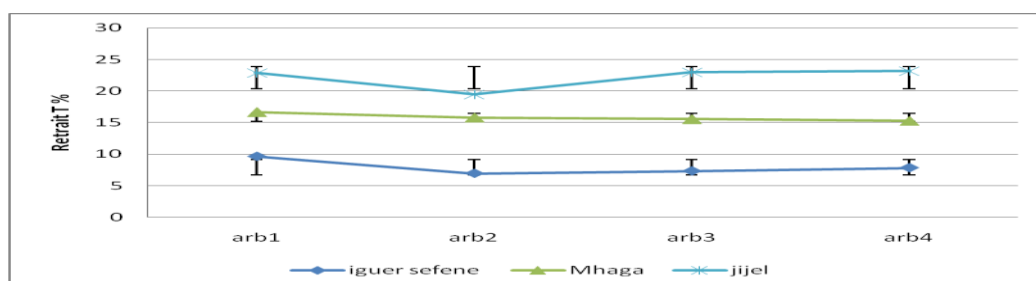


Figure 4.4 :Retrait tangentiel du chêne Zeen

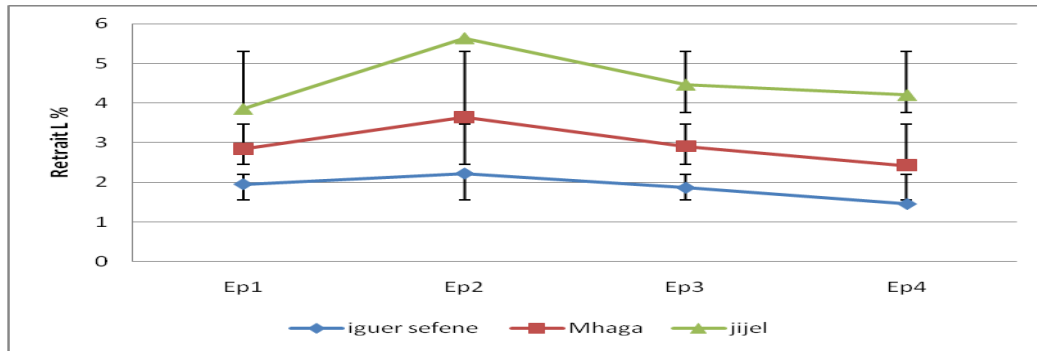


Figure 4.5 :Retrait longitudinal du chêne Zeen

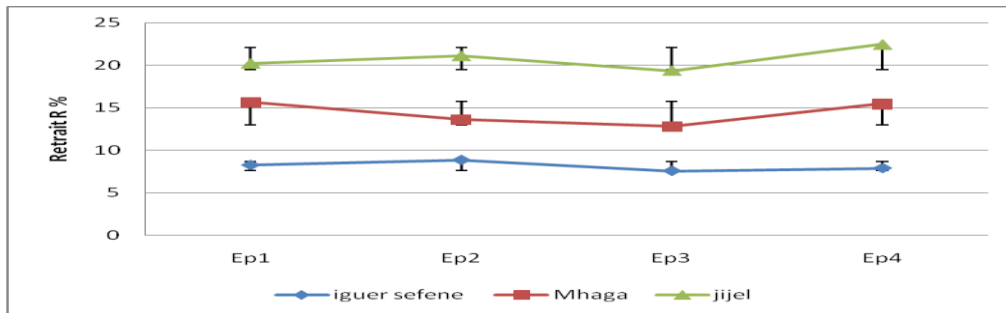


Figure 4.6: Retrait radial du chêne Zeen

C.Courbes des retrait du chêne Liège :

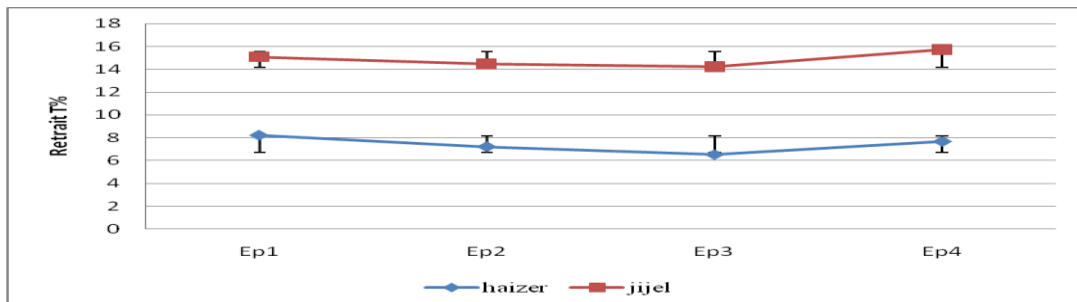


Figure 4.7 :Retrait tangentiel du chêne liège

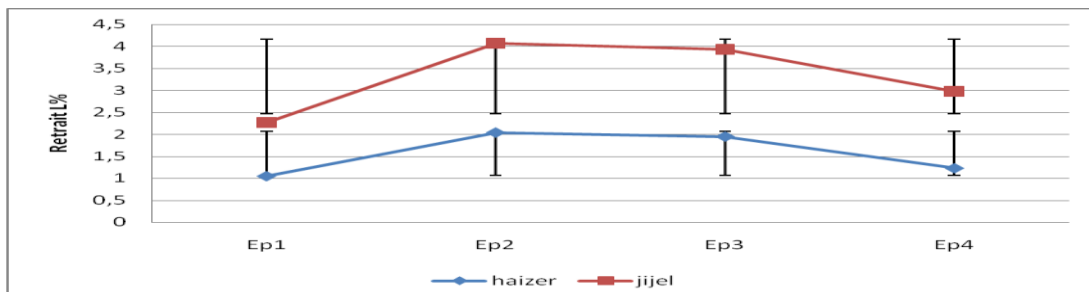


Figure 4.8 :Retrait longitudinal du chêne liège

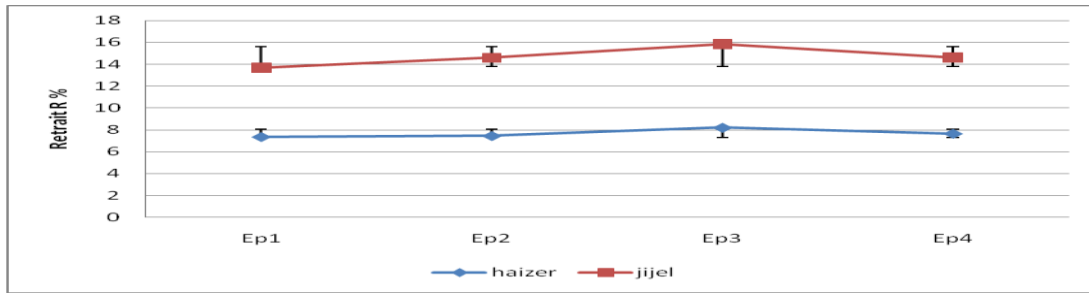


Figure 4.9 :Retrait radial du chêne liège

I.3. Résultats de la masse volumique

Les tableaux suivants mentionnent les résultats de la masse volumique pour les trois chênes :

Tableau 4.9 : Résultats d'essai de la Masse volumique (Kg/m³)

Station		Iguersafene	Mhagua	Jijel
Chêne Afares	Ep 1	956,14	930,54	988,82
	Ep 2	987,65	857,34	879,54
	Ep 3	902,14	874,22	1003,54
	Ep 4	889,14	965,23	912,03
Station		Iguersafene	Mhagua	Jijel
9Chêne Zéen	Ep 1	956,23	988,01	960,24
	Ep 2	1077,21	977,44	945,48
	Ep 3	923,45	1065,23	1020,55
	Ep 4	1045,02	960,73	1001,36
Station		Haizer		Jijel
Chêne Liège	Ep 1	812,56		845,62
	Ep 2	845,32		795,18
	Ep 3	789,32		956,84
	Ep 4	841,03		789,96

Selon la norme NF B 51-005 /1985 la mesure de la masse volumique à 12% d'humidité classe les bois comme suit :

MV < 500 Kg/m ³ bois très léger	650 < Mv < 800 Kg/m ³ bois mini lourds
500 < Mv < 650 Kg/m ³ bois léger	800 < Mv < 950 Kg/m ³ bois lourds
MV > 950 Kg/m ³ bois très lourds.	

Les essais de la masse volumique ont été effectués sur 20 éprouvettes (soit 5 éprouvettes pour chaque disque) pour chaque essence.

D'après les résultats du tableau 4.9, le chêne Zéen comme bois lourds à très lourds, le chêne Afares comme bois lourds à très lourds et le bois du chêne liège est classé comme bois lourds. Les résultats ne montrent pas une grande variabilité entre les stations de prélèvement dont l'effet station n'est pas significatif pour les essences étudiées.

II. Caractérisation mécanique :

1. Résultats d'essai de cisaillement

Les courbes présentent l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement durant les essais de cisaillement (4.10, 4.11, 4.12).

On note que ces échantillons présentent un comportement identique du début de chargement (zone élastique) jusqu'à la rupture totale.

Les valeurs moyennes trouvées pour la contrainte à la rupture et le module de cisaillement sont respectivement 502 MPa et 5.14 MPa pour le chêne Zeen, 465 MPa et 5.26 MPa pour le chêne Afares et 422 MPa et 5.02 MPa pour le chêne liège. Ces résultats concordent avec les résultats de la littérature, Tischler et Berrichi ont obtenu des modules de cisaillement qui sont 4.5 Kg/cm² et 9.032 Kg/cm² respectivement, et la valeur de la contrainte à la rupture de cisaillement trouvé par Thibaut qui est de 79.2 Kg/cm².

Courbe force – déplacement pour l'essai de cisaillement du chêne Zéen

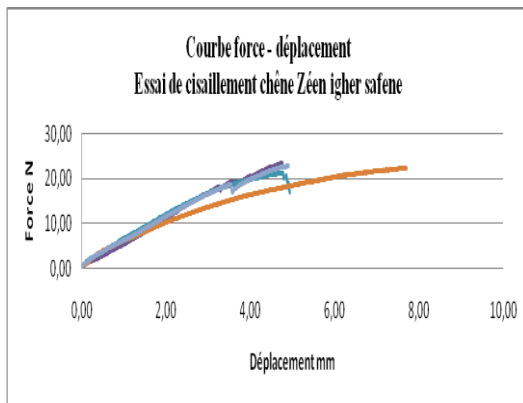


Figure 4.10 : chêne Zeen de Iguer Safène

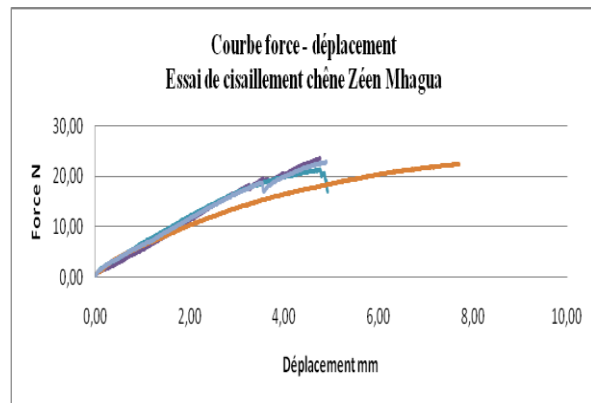


Figure 4.11 : chêne Zeen de Mhaga

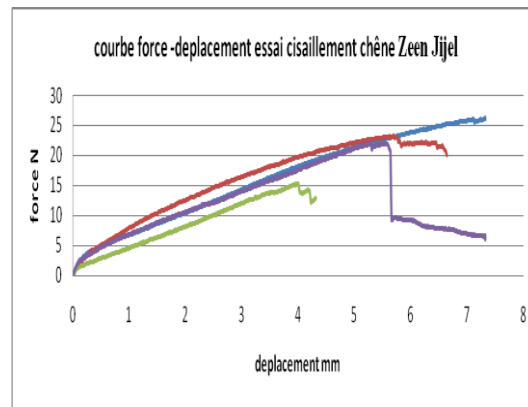


Figure 4.12 : chêne Zeen de Jijel

Courbe force – déplacement pour l'essai de cisaillement du chêne Afares

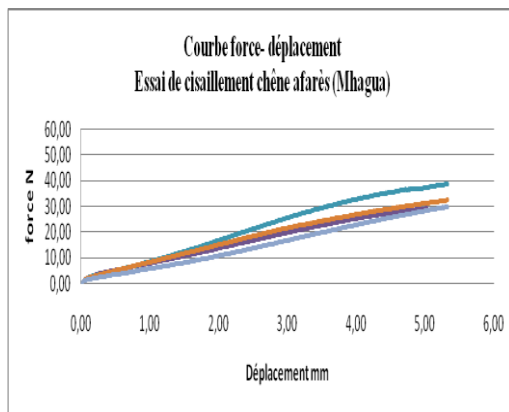


Figure 4.13 : chêne Afarès de Iguer Safène

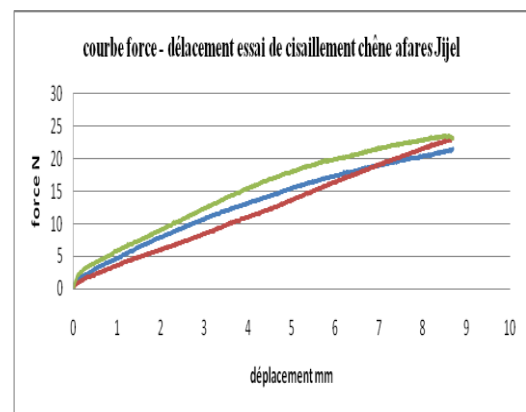


Figure 4.14 : chêne Afarès de Mhaga

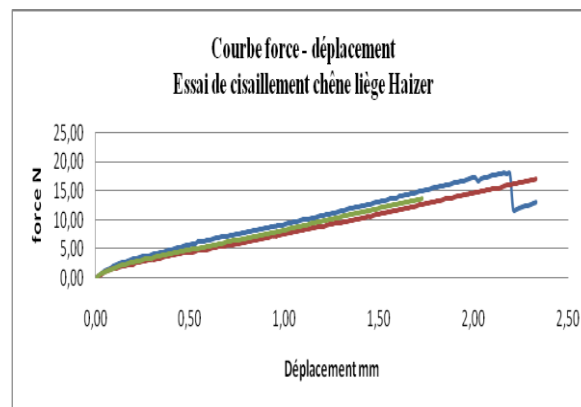


Figure 4.15 : chêne Afarès de Jijel

Courbe force – déplacement pour l’essai de cisaillement du chêne Liège

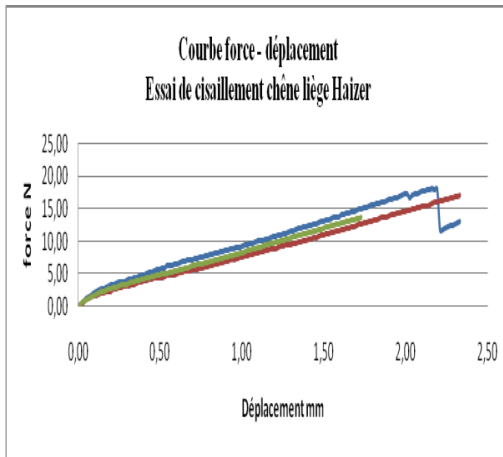


Figure 4.16 : chêne Liège de Haizer

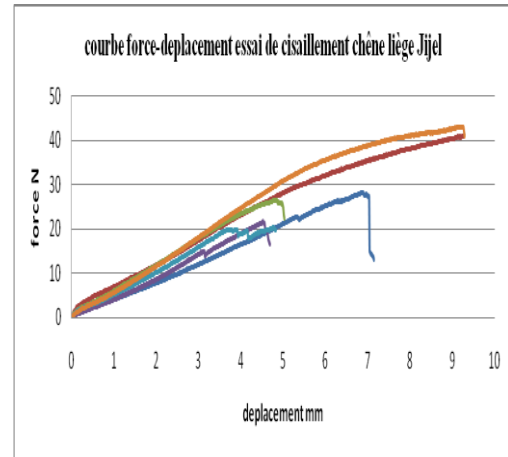


Figure 4.17 : chêne Liège de Jijel

2. Résultats d’essai de compression :

Après l’analyse des courbes force-déplacement pour chaque essence on remarque un comportement identique sur toute les courbe tel que :

Durant la première phase élastique le matériau reste sain sans dommage au niveau de ces cellules.

Durant la deuxième phase de flambement, les cellules subissent un écrasement graduel.

La troisième phase de consolidation correspond à l’écrasement progressif des parois cellulaires.

Courbe de force-déplacement de l’essai de compression du chêne Afares

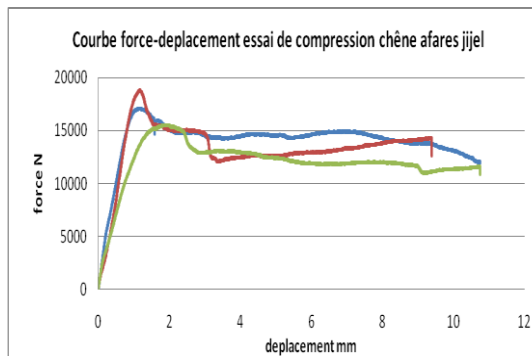


Figure 4.18 : chêne Afares de Mhaga

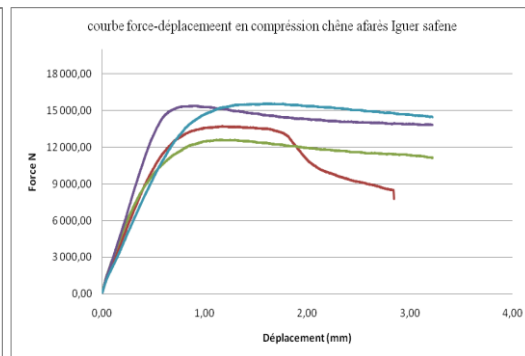


Figure 4.19 : chêne Afares de Iguer Safène

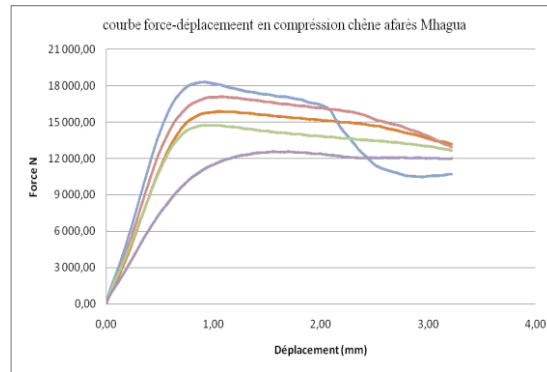


Figure 4.20 : chêne Afares de Jijel

Courbe de force-déplacement de l'essai de compression du chêne Afares

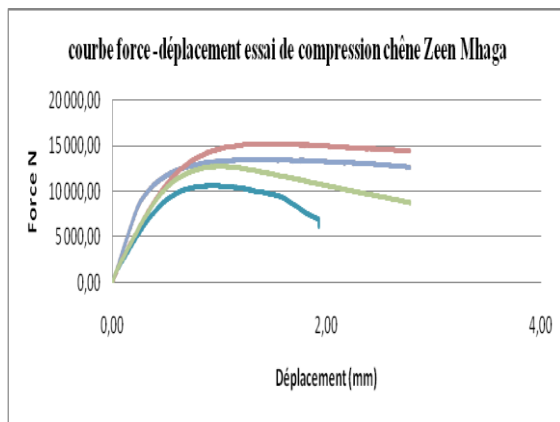


Figure 4.21: chêne Zeen de Mhaga

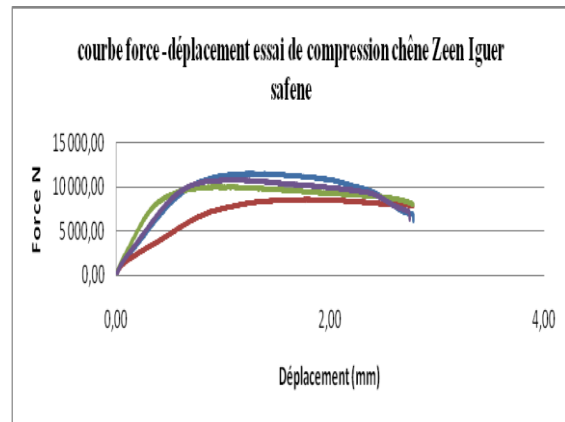


Figure 4.22: chêne Zeen de Iguer Safène

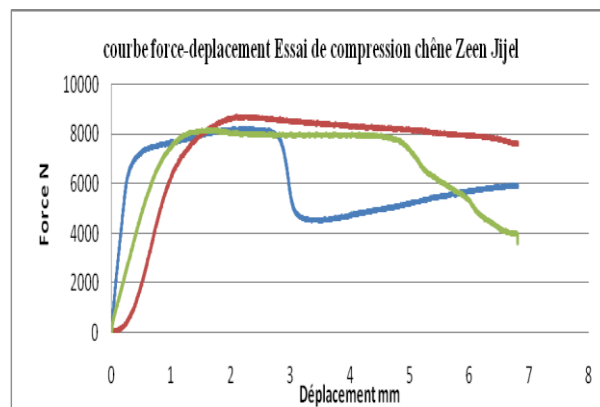


Figure 4.23 : chêne Zeen de Jijel

Courbe de force-déplacement de l'essai de compression du chêne Afares

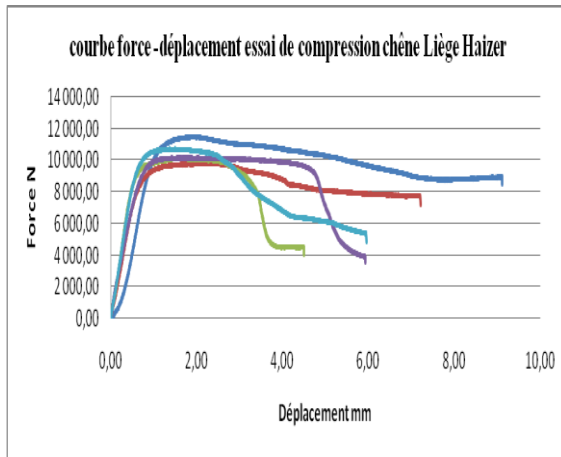


Figure 4.24 : chêne Liège de Haizer

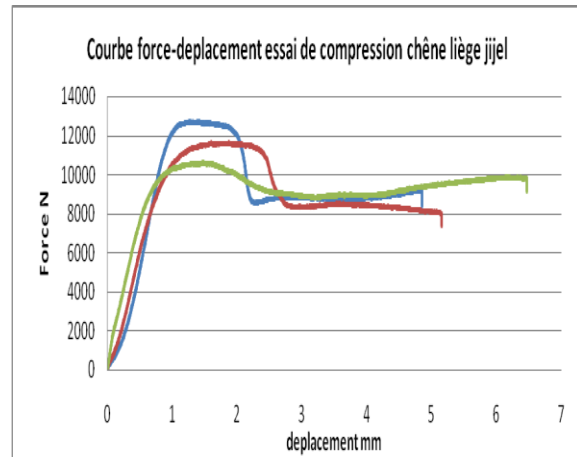


Figure 4.25 : chêne liège de Jijel

Nous avons obtenu une contrainte de compression de 43.12 MPa pour un effort de rupture moyen de 1985.75 N pour le chêne liège, de 47.70 MPa pour un effort de rupture moyen de 3220.58 N pour le chêne Afares et de 65.07 MPa pour un effort de rupture moyen de 2019.62 N pour le chêne Zéen.

Les trois essences se situent à la limite entre une résistance faible et une résistance moyenne (seuil à 45MPa).

Le chêne Zéen est le plus résistant ce qui corrobore les résultats obtenus pour la masse volumique et les autres propriétés mécaniques.

La faible valeur de la contrainte du chêne liège et du chêne Afares peut être expliquée par la structure anatomique du bois et la nature de leur porosité qui influent directement sur la résistance mécanique suivant la direction longitudinale.

3. Résultats d'essai de flexion à quatre points :

L'objectif de l'essai de flexion quatre points est de déterminer la résistance et la rigidité flexionnelle d'éléments en bois.

Les résultats du module de Young et la contrainte à la rupture sont mentionnés dans les tableaux qui suivent :

Tableau 4.10 : Résultats du module de Young et de la contrainte de rupture du chêne Zeen et Afares (MPa)

		Iguer sefene	Ecart type	Mhaga	Ecart type	Jijel	Ecart type
Chêne Zeen	module de Young	6461,1	271,535	8682,22	1054,891	4293,41	1150,501
		6634,58		7384,94		6526,08	
		6980,6		9807,02		6147,13	
		7021,32		7894,25		6875,41	
	contrainte de rupture (MPa)	68,92	40,730	151,43	11,883	66,02	10,975
		105,03		148,96		92,03	
		11,13		175,31		78,19	
		87,25		158,96		84,24	
Chêne Afares	module de Young	8792,56	798,89	7685,45	779,151	7892,53	822,172
		7231,58		7388,32		9624,08	
		8562,04		9210,33		8403,68	
		7463,95		8025,54		9410,32	
	Contrainte de rupture (MPa)	187,01	13,959	152,47	23,650	178,35	24,989
		163,22		165,28		138,14	
		189,74		133,68		145,25	
		194,55		190,02		189,55	

Tableau 4.11 : Résultats du module de Young et de la contrainte de rupture du chêne liège

		Haizer	Ecart type	Jijel	Ecart type
Chêne liège	module de Young	7564,23	597,728	5689,34	929,443
		7945,28		6984,26	
		6548,87		6897,45	
		7153,46		7958,32	
	contraite de rupture (Mpa)	67,56	12,386	68,79	8,446
		89,74		85,56	
		94,26		66,78	
		75,54		72,36	

Les modules de Young moyen des trois chênes sont comme suit :

Tableau 4.12 : récapitulatif des résultats du module de Young et des écarts type

Chêne	Module de Young moyen(MPa)	Ecart type moyen (MPa)
Zeen	5960.507	1265.043
Afares	8832.652	455.923
Liège	6882.345	297.421

Les mesures de la contrainte de rupture en flexion et du module d'élasticité longitudinal montrent que les trois chênes présentent des résultats cohérents avec ceux obtenus pour la masse volumique, ce qui indique que les chênes possèdent des propriétés mécaniques élevées

Ces résultats confirment les réelles potentialités d'utilisation de ces essences dans des structures, offrant une très large gamme d'applications. Cependant, ces potentialités doivent être nuancées, car elles doivent tenir compte des caractéristiques de stabilité des bois.

Les courbe force-déplacement de l'essai de flexion quatre sont présentées ci-après :

Courbe de force-déplacement de l'essai de flexion du chêne Afares

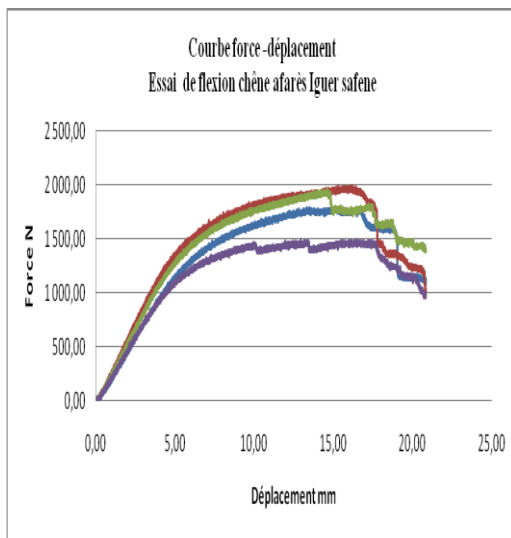


Figure 4.26 : chêne Afares de Iguer Safène

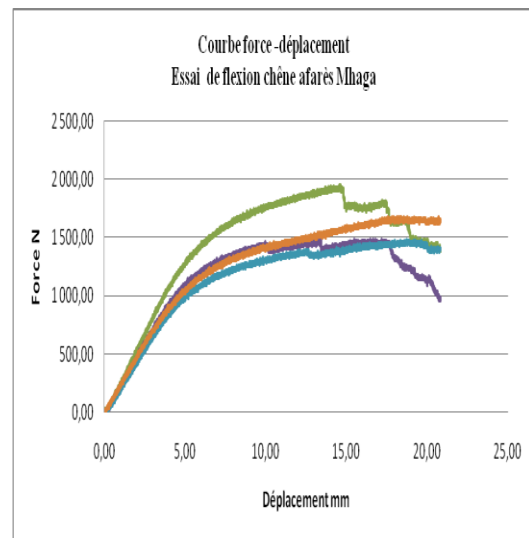


Figure 4.27 : chêne Afares de Mhaga

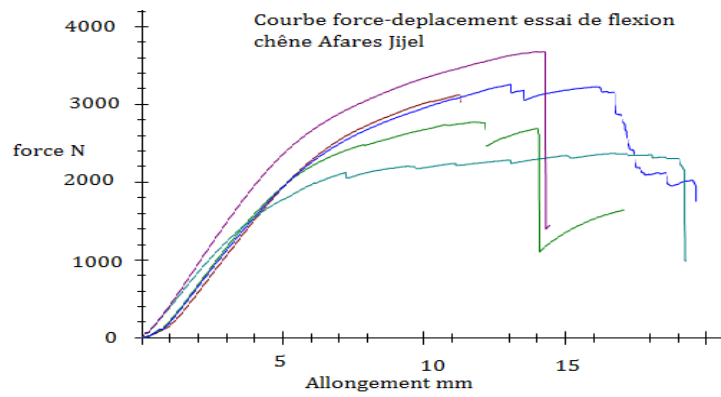


Figure 4.28 : chêne Afares de Jijel

Courbe de force-déplacement de l'essai de flexion du chêne Zeen

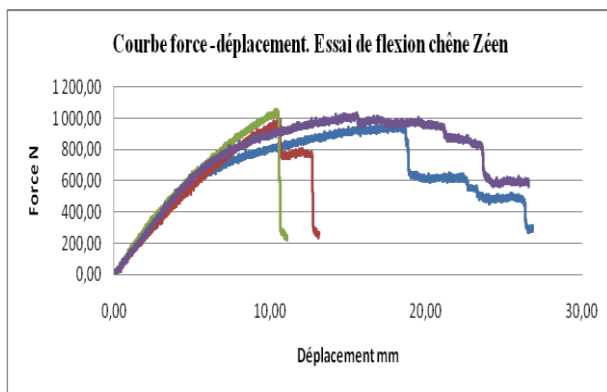


Figure 4.29 : chêne Zeen de Iguer Safene

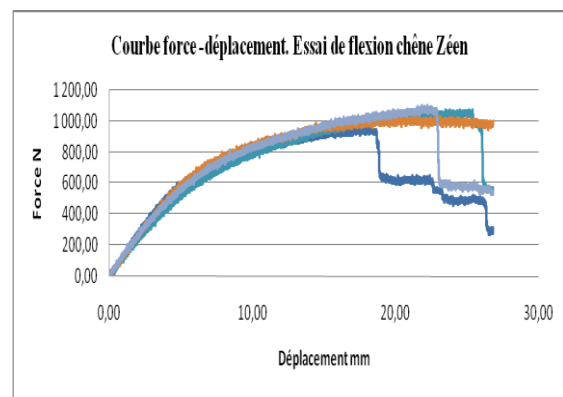


Figure 4.30 : chêne Zeen de Mhaga

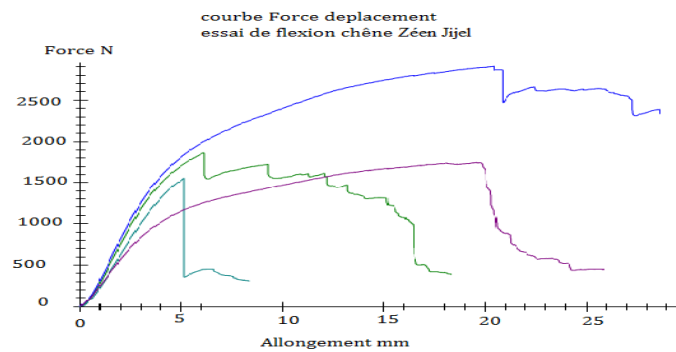


Figure 4.31 : chêne Zeen de Jijel

Courbe de force-déplacement de l'essai de flexion du chêne Liège

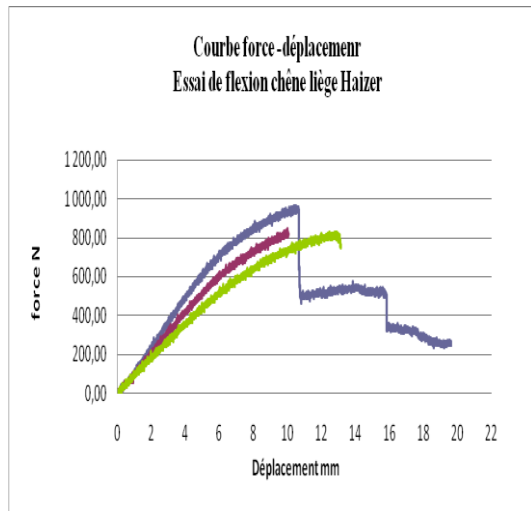


Figure 4.32 : chêne Liège de Haizer

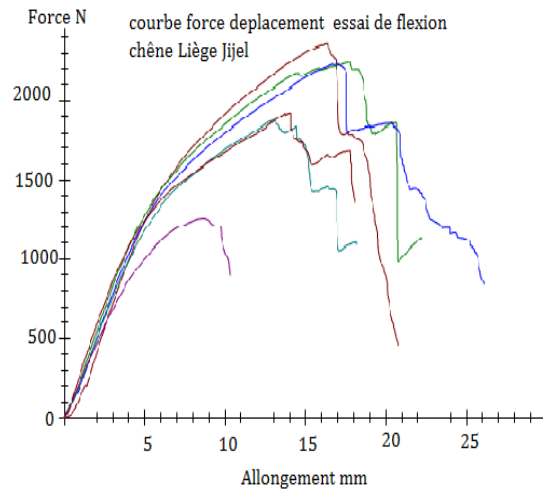


Figure 4.33 : chêne Liège de Jijel

Les graphes force-déplacement enregistrés pour les trois essences présentent des profils tout à fait conventionnels, avec une première phase d'augmentation linéaire de la charge appliquée, suivie d'une phase non linéaire jusqu'à atteindre la charge maximale correspondant à la rupture. Les résultats montrent des variations faibles entre les stations de prélèvement, indiquant que l'effet de la station n'apparaît pas significatif.

III. matrices des corrélations

Des matrices de corrélation ont été réalisées afin de déterminer les coefficients de corrélation entre les résultats obtenus sur chaque propriété testée.

La matrice de corrélation est un tableau permettant de définir les corrélations entre les variables, (les relations entre les variables), elle montre si un ensemble de données change aura un effet sur d'autres données.

Dans notre cas, la matrice définit l'effet du changement des stations sur les caractéristiques physiques et mécaniques.

Les matrices des corrélations sont présentées dans ce qui suit pour chaque chêne.

Résultats et discussions

	H arb1	H arb2	Mv arb1	Mv arb2	RTarb 1	RTarb 2	RLarb 1	RLarb 2	RRarb 1	RRarb 2	MY arb1	MY arb 2	Cr arb1	Cr arb2	Altitud e (m)	Pente %	Densité des arbres/ha	Diamètr e moyen (cm)	Hauteur moyenne (m)	Recouvremen t %	Age moyen	LC (mm)
H arb1	1																					
H arb2	-1	1																				
Mv arb1	-1	1	1																			
Mv arb2	1	-1	-1	1																		
RTarb1	1	-1	-1	1	1																	
RTarb2	1	-1	-1	1	1	1																
RLarb1	-1	1	1	-1	-1	-1	1															
RLarb2	1	-1	-1	1	1	1	-1	1														
RRarb1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1													
RRarb2	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1												
MY arb1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1											
MYarb2	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1										
Cr arb1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1									
Cr arb2	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1								
Altitude (m)	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1							
Pente %	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1						
Densité des arbres/ha	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1					
Diamètre moyen (cm)	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1				
Hauteur moyenne (m)	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1			
Recouvremen t %	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1		
Age moyen	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	

Tableau 4.13 : Matrice de corrélation du chêne Liège

Résultats et discussions

Tableau 4.14 : Matrice de corrélation du chêne Zeen

	H1	H2	H3	M V 1	Mv 2	Mv 3	RT 1	RT 2	RT 3	RL 1	RLarb 2	RL 3	RR 1	RR 2	RR 3	M Y 1	MY 2	MY 3	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Altitud e (m)	Pent e %	Densité des arbres/h a	Diamètr e moyen (cm)	Hauteur moyenn e (m)	Recouvreme nt %	Age moye n	LC (mm)
H 1	1,0 0	0,5 9	0,9 8	- 0,1 5	0,9 7	0,6 9	0,9 6	0,6 0	- 0,1 6	0,8 3		0,3 9	0,9 5	0,3 5	0,4 5	0,4 7	0,0 9	0,1 9	0,0 0	0,1 9	- 0,4 3	-0,65	0,42	0,96	-0,94	-0,91	0,23	0,85	- 0,13
H 2	0,5 9	1,0 0	0,4 1	- 0,8 9	0,7 7	0,9 9	0,7 8	0,3 0	- 0,8 9	0,9 4	0,95	0,9 7	0,3 0	0,9 7	0,9 9	0,4 4	0,7 6	0,6 9	0,8 1	0,6 9	0,9 8	0,24	0,98	0,35	-0,82	-0,87	-0,66	0,93	0,73
H 3	0,9 8	0,4 1	1,0 0	0,0 6	0,8 9	0,5 3	0,8 9	0,7 5	0,0 4	0,6 9	0,11	0,1 9	0,9 9	0,1 5	0,2 6	0,6 4	0,2 9	0,3 9	0,2 0	0,3 9	0,2 4	-0,79	0,23	1,00	-0,86	-0,80	0,42	0,72	- 0,33
Mv 1	- 0,1 5	- 0,8 9	0,0 6	1,0 0	- 0,3 9	0,8 2	- 0,4 0	0,7 0	1,0 0	- 0,6 8		- 0,9 7	0,1 7	- 0,9 8	- 0,9 5	0,8 1	0,9 7	0,9 4	0,9 9	0,9 4	0,9 5	-0,66	- 0,96	0,12	0,46	0,55	0,93	-0,65	- 0,96
Mv 2	0,9 7	0,7 7	0,8 9	- 0,3 9	1,0 0	0,8 5	1,0 0	0,3 7	- 0,4 1	0,9 4	0,54	0,6 1	0,8 4	0,5 8	0,6 7	0,2 3	0,1 7	0,0 7	0,2 6	0,0 7	0,6 5	-0,43	0,64	0,86	-1,00	-0,98	-0,03	0,95	0,13
Mv 3	- 0,6 9	- 0,9 9	- 0,5 3	- 0,8 2	- 0,8 5	1,0 0	- 0,8 6	0,1 6	0,8 2	- 0,9 8	-0,90	- 0,9 3	- 0,4 3	- 0,9 2	- 0,9 6	0,3 1	0,6 6	0,5 8	0,7 2	0,5 8	0,9 5	-0,10	- 0,95	-0,47	0,89	0,93	0,55	-0,97	- 0,63
RT1	0,9 6	0,7 8	0,8 9	- 0,4 0	1,0 0	0,8 6	1,0 0	0,3 7	- 0,4 2	0,9 5	0,55	0,6 2	0,8 3	0,5 9	0,6 7	0,2 2	0,1 8	0,0 8	0,2 6	0,0 8	0,6 6	-0,43	0,65	0,86	-1,00	-0,99	-0,04	0,96	0,14
RT2	0,6 0	- 0,3 0	0,7 5	0,7 0	0,3 7	0,1 6	0,3 7	1,0 0	0,6 9	0,0 5	-0,58	- 0,0 5	0,8 2	- 0,5 4	- 0,4 4	0,9 9	0,8 5	0,9 0	0,8 0	0,9 0	0,4 6	-1,00	- 0,47	0,79	-0,30	-0,20	0,92	0,08	- 0,87
RT3	- 0,1 6	- 0,8 9	0,0 4	1,0 0	- 0,4 1	0,8 2	- 0,4 2	0,6 9	1,0 0	0,6 9	-0,99	- 0,9 7	0,1 6	0,9 8	0,9 5	0,8 0	0,9 7	0,9 4	0,9 9	0,9 4	0,9 6	-0,64	- 0,96	0,11	0,84	0,56	0,92	-0,66	0,99
RL1	0,8 3	0,9 4	0,6 9	- 0,6 8	0,9 4	0,9 8	0,9 5	0,0 5	- 0,6 9	1,0 0	0,79	0,8 4	0,6 1	0,8 2	0,8 8	0,1 1	0,4 9	0,4 0	0,5 6	0,4 0	0,8 7	-0,11	0,86	0,65	-0,97	-0,99	-0,36	1,00	0,45
RL2	0,3 1	0,9 5	0,1 1	- 0,9 9	0,5 4	0,9 0	0,5 5	0,5 8	- 0,9 9	0,7 9	1,00	1,0 0	0,0 1	1,0 0	0,9 9	0,7 0	0,9 2	0,8 8	0,9 5	0,8 8	0,9 9	0,52	0,99	0,04	-0,61	-0,68	-0,86	0,77	0,91
RL3	0,3 9	0,9 7	0,1 9	- 0,9 7	0,6 1	0,9 3	0,6 2	0,5 0	- 0,9 7	0,8 4	1,00	1,0 0	0,0 8	1,0 0	1,0 0	0,6 3	0,8 8	0,8 3	0,9 2	0,8 3	1,0 0	0,45	1,00	0,13	-0,67	-0,74	-0,81	0,82	0,86

Résultats et discussions

RR1	0,9 5	0,3 0	0,9 9	0,1 7	0,8 4	- 3	0,4 3	0,8 2	0,8 6	0,1 1	0,6 1	-0,01	0,0 8	1,0 0	0,0 4	0,1 5	0,7 2	0,3 9	0,4 9	0,3 1	0,4 9	- 3	0,1 3	-0,86	0,12	1,00	-0,79	-0,73	0,52	0,64	- 0,43
RR2	0,3 5	0,9 7	0,1 5	- 8	0,5 8	- 2	0,9 9	0,5 4	0,5 8	0,9 2	0,8 2	1,00	1,0 0	0,0 4	1,0 0	0,9 9	0,6 6	- 0	0,9 5	0,8 4	0,9 5	0,8 0	1,0 0	0,48	1,00	0,09	-0,64	-0,72	-0,83	0,80	0,88
RR3	0,4 5	0,9 9	0,2 6	- 5	0,6 7	- 6	0,9 6	0,6 7	0,4 4	0,9 5	0,8 8	0,99	1,0 0	0,1 5	0,9 9	1,0 0	0,5 7	0,8 5	0,7 9	0,8 9	0,7 9	1,0 0	0,38	1,00	0,20	-0,72	-0,79	-0,76	0,86	0,83	
MY 1	0,4 7	- 4	0,4 4	0,8 1	0,2 3	0,3 1	0,2 2	0,9 9	0,8 0	0,1 1	-0,70	- 3	0,6 2	0,7 6	0,6 7	0,5 0	1,0 2	0,9 6	0,9 8	0,8 6	0,9 6	0,5 9	- 9	-0,98	- 0,60	0,69	-0,15	-0,05	0,97	-0,08	- 0,94
MY2	0,0 9	- 6	0,7 9	0,2 7	0,1 7	0,6 6	0,1 8	0,8 5	0,9 7	0,4 9	-0,92	- 8	0,8 9	0,3 0	0,9 5	0,8 2	0,9 0	1,0 9	0,9 9	1,0 0	0,9 9	0,8 6	- 6	-0,81	- 0,87	0,04	0,25	0,34	0,99	-0,46	- 1,00
MY 3	0,1 9	- 9	0,6 9	0,3 4	0,9 7	0,0 8	0,5 8	0,0 8	0,9 0	0,9 4	0,4 0	-0,88	- 3	0,4 9	0,8 5	0,7 9	0,9 6	0,9 9	1,0 0	0,9 8	1,0 0	0,8 0	- 0	-0,87	- 0,81	0,44	0,15	0,25	1,00	-0,37	- 1,00
Cr 1	0,0 0	- 1	0,8 0	0,2 9	0,9 6	0,2 2	0,7 6	0,2 0	0,8 9	0,9 6	0,5 6	-0,95	0,9 2	0,3 1	0,9 4	0,8 9	0,8 8	1,0 0	0,9 8	1,0 0	0,9 8	0,9 0	- 0	-0,76	- 0,91	0,27	0,33	0,42	0,97	-0,53	- 0,99
Cr2	0,1 9	- 9	0,6 9	0,3 4	0,9 7	0,0 8	0,5 8	0,0 8	0,9 0	0,9 4	0,4 0	-0,88	- 3	0,4 9	0,8 5	0,7 9	0,9 6	0,9 9	1,0 0	0,9 8	1,0 0	0,8 0	-0,87	- 0,81	0,44	0,15	0,25	1,00	-0,36	- 1,00	
Cr 3	- 3	- 8	- 4	0,2 5	0,9 5	0,6 5	0,9 6	0,6 6	0,4 6	0,9 6	0,8 7	-0,99	1,0 0	0,1 3	1,0 0	1,0 0	0,5 9	0,8 6	0,8 0	0,9 0	0,8 0	1,0 0	- 0	-0,40	- 1,00	-0,18	0,71	0,77	0,78	-0,85	- 0,84
Altitude (m)	- 5	0,6 4	- 9	- 6	- 3	- 0	- 4	- 3	- 1,0	- 0,6	0,1 1	0,52	0,4 5	0,8 6	0,4 8	0,3 8	- 8	- 1	- 7	0,8 6	0,8 7	- 0	0,4 0	1,00	0,41	-0,83	0,36	0,27	-0,89	-0,14	0,84
Pente %	0,4 2	0,9 8	0,2 3	0,9 6	0,6 4	0,9 5	0,6 5	0,4 7	0,9 6	0,8 6	0,99	1,0 0	0,1 2	1,0 0	1,0 0	1,0 0	0,6 0	- 7	0,8 1	0,8 1	0,9 1	0,8 1	- 0	0,41	1,00	0,17	-0,70	-0,77	-0,78	0,84	0,84
Densité des arbres/ha	0,9 6	0,3 5	1,0 0	0,1 2	0,8 6	0,4 7	0,8 6	0,7 9	0,1 1	0,6 5	0,04	0,1 3	1,0 0	0,0 9	0,2 0	0,6 9	0,3 5	0,4 4	0,2 7	0,4 4	0,1 8	- 8	-0,83	0,17	1,00	-0,82	-0,76	0,48	0,67	- 0,39	
Diamètre moyen (cm)	- 4	0,9 2	- 6	0,8 6	0,4 0	1,0 9	0,8 0	1,0 0	0,3 8	0,4 7	0,9 7	-0,61	0,6 7	0,7 9	0,6 4	0,7 2	0,1 5	0,2 5	0,1 5	0,3 3	0,1 5	0,7 1	0,36	- 0,70	-0,82	1,00	1,00	0,11	-0,97	- 0,21	
Hauteur moyenne (m)	- 1	- 7	- 0	0,8 5	0,5 8	0,9 3	0,9 9	0,2 0	0,5 6	0,9 9	-0,68	- 4	0,7 3	0,7 2	0,7 9	0,7 5	0,0 4	0,3 5	0,2 5	0,4 2	0,2 5	0,7 7	- 0,27	- 0,77	-0,76	1,00	1,00	0,21	-0,99	- 0,31	

Résultats et discussions

Recouvrement %	0,23	-0,66	0,42	0,93	-0,03	0,55	-0,04	0,92	0,92	-0,36	-0,86	-0,81	0,52	-0,83	-0,76	0,97	0,99	1,00	0,97	1,00	0,78	-0,89	-0,78	0,48	0,11	0,21	1,00	-0,33	-0,99
Age moyen	0,85	0,93	0,72	0,65	0,95	0,97	0,96	0,08	0,66	1,00	0,77	0,82	0,64	0,80	0,86	0,08	0,46	0,37	0,53	0,36	0,85	-0,14	0,84	0,67	-0,97	-0,99	-0,33	1,00	0,42
LC (mm)	0,13	0,73	0,33	0,96	0,13	0,63	0,14	0,87	0,96	0,45	0,91	0,86	0,43	0,88	0,83	0,94	1,00	1,00	0,99	1,00	0,84	0,84	-0,39	-0,21	-0,31	-0,99	0,42	1,00	

Tableau 4.15 : Matrice de corrélation du chêne Afares

	H1	H2	H3	M V 1	Mv 2	Mv 3	RT 1	RT 2	RT 3	RL 1	RLarb 2	RL 3	RR 1	RR 2	RR 3	M Y 1	MY 2	MY 3	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Altitud e (m)	Pent e %	Densité des arbres/h a	Diamètr e moyen (cm)	Hauteur moyenn e (m)	Recouvreme nt %	Age moye n	LC (mm)
H 1	1,0 0																												
H 2	0,5 9	1,0 0																											
H 3	0,9 8	0,4 1	1,0 0																										
Mv 1	- 0,1 5	- 0,8 9	0,0 6	1,0 0																									
Mv 2	0,9 7	0,7 7	0,8 9	0,3 9	1,0 0																								
Mv 3	- 0,6 9	- 0,9 9	- 0,5 3	- 0,8 2	- 0,8 5	1,0 0																							
RT1	0,9 6	0,7 8	0,8 9	0,4 0	1,0 0	0,8 6	1,0 0																						
RT2	0,6 0	0,3 0	0,7 5	0,7 0	0,3 7	0,1 6	0,3 7	1,0 0																					
RT3	- 0,1 6	- 0,8 9	0,0 4	1,0 0	0,4 1	0,8 2	0,4 2	0,6 9	1,0 0																				
RL1	0,8 3	0,9 4	0,6 9	0,6 8	0,9 4	0,9 8	0,9 5	0,0 5	0,6 9	1,0 0																			
RL2	0,3 1	0,9 5	0,1 1	0,9 9	0,5 4	0,9 0	0,5 5	0,5 8	0,9 9	0,7 9	1,00																		
RL3	0,3 9	0,9 7	0,1 9	0,9 7	0,6 1	0,9 3	0,6 2	0,5 0	0,9 7	0,8 4	1,00	1,0 0																	
RR1	0,9 5	0,3 0	0,9 9	0,1 7	0,8 4	0,4 3	0,8 3	0,8 2	0,1 6	0,6 1	-0,01	0,0 8	1,0 0																

Résultats et discussions

Age moyen	0,8 5	0,9 3	0,7 2	- 5	0,9 5	- 7	0,9 6	0,0 8	- 6	1,0 0	0,77	0,8 2	0,6 4	0,8 0	0,8 6	- 8	- 6	- 7	- 3	- 6	- 5	-0,14	0,84	0,67	-0,97	-0,99	-0,33	1,00	
LC (mm)	- 0,1 3	- 0,7 3	- 0,3 3	- 0,9 6	- 0,1 3	- 0,6 3	- 0,1 4	- 0,8 7	- 0,9 6	- 0,4 5	0,91	0,8 6	- 0,4 3	0,8 8	0,8 3	- 0,9 4	- 1,0 0	- 1,0 0	- 0,9 9	- 1,0 0	- 0,8 4	0,84	0,84	-0,39	-0,21	-0,31	-0,99	0,42	1,00

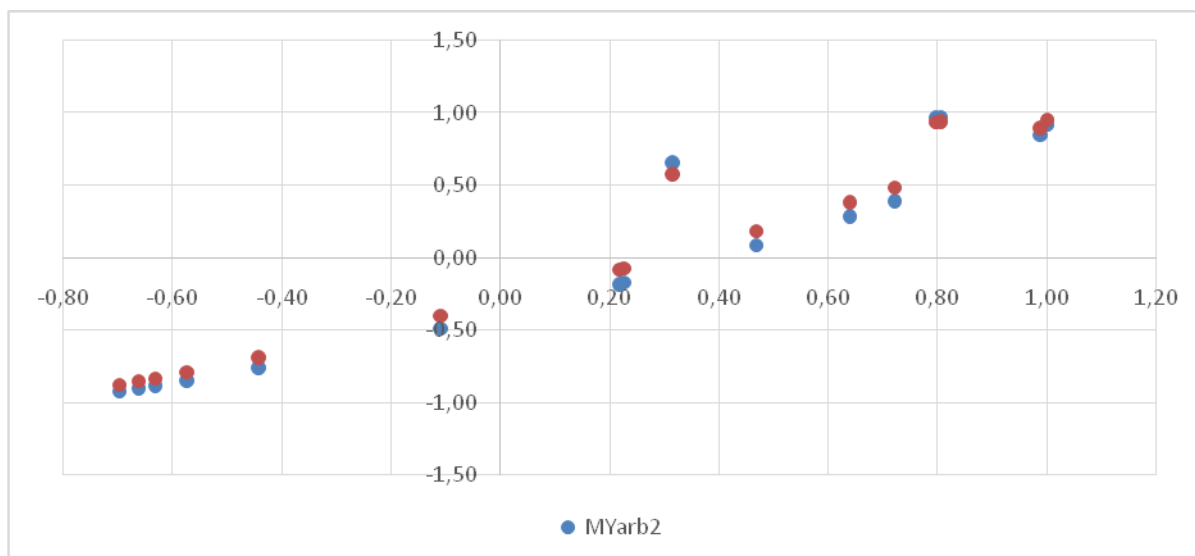


Figure 4.34 : Coefficient de corrélation entre le module de Young et la masse volumique du chêne Afares

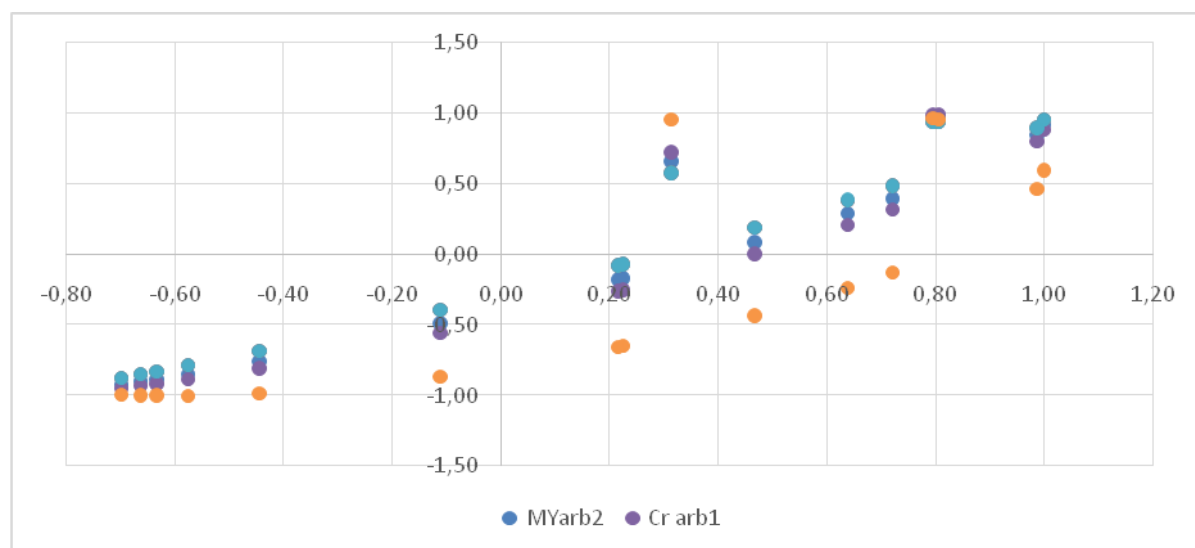


Figure 4.35 : Coefficient de corrélation entre le module de Young et la contrainte de rupture et les autres propriétés du chêne Afares

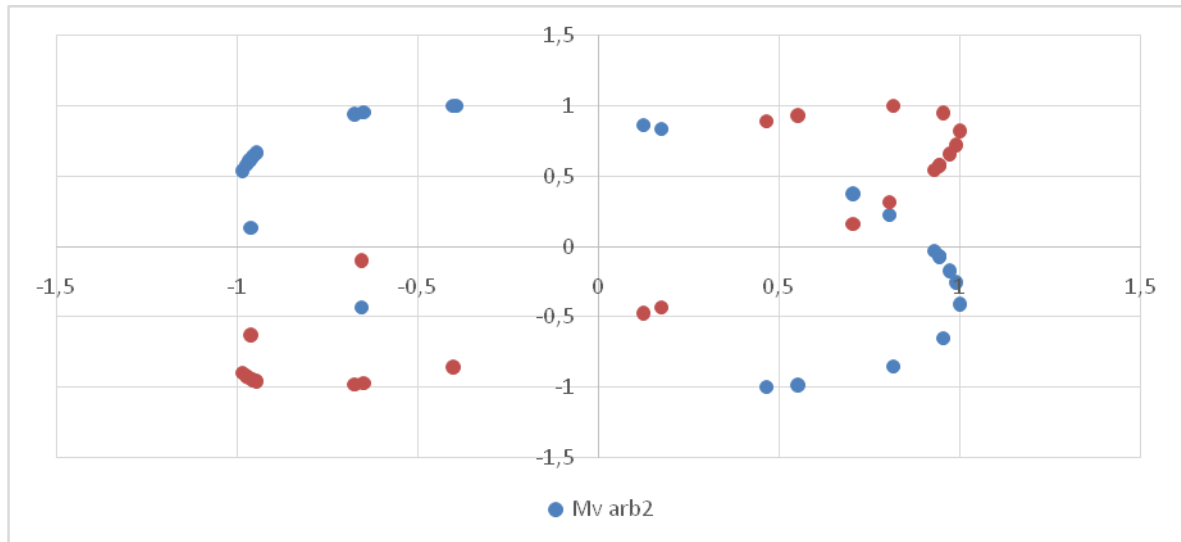


Figure 4.36 : Coefficient de corrélation entre la masse volumique et les autres propriétés du chêne Afares

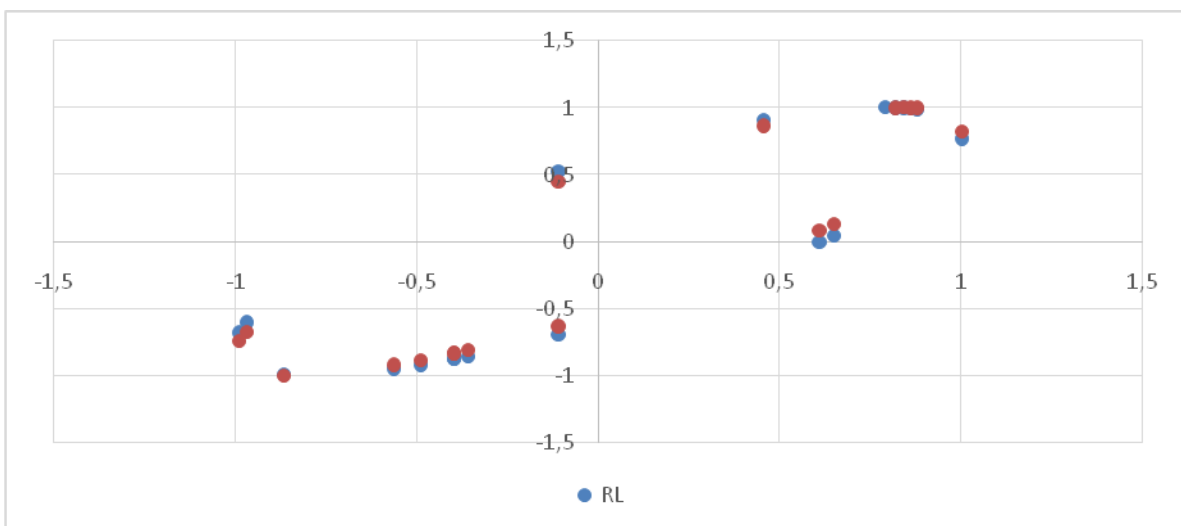


Figure 4.37 : Coefficient de corrélation entre le retrait longitudinal et les autres propriétés du chêne Afares

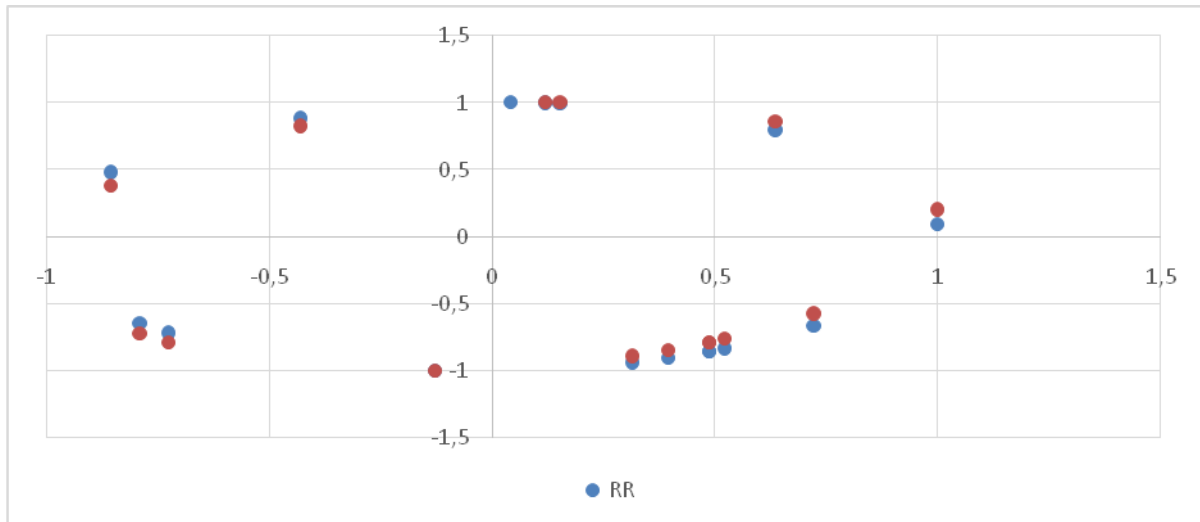


Figure 4.38: Coefficient de corrélation entre le retrait radial et les autres propriétés du chêne Afares

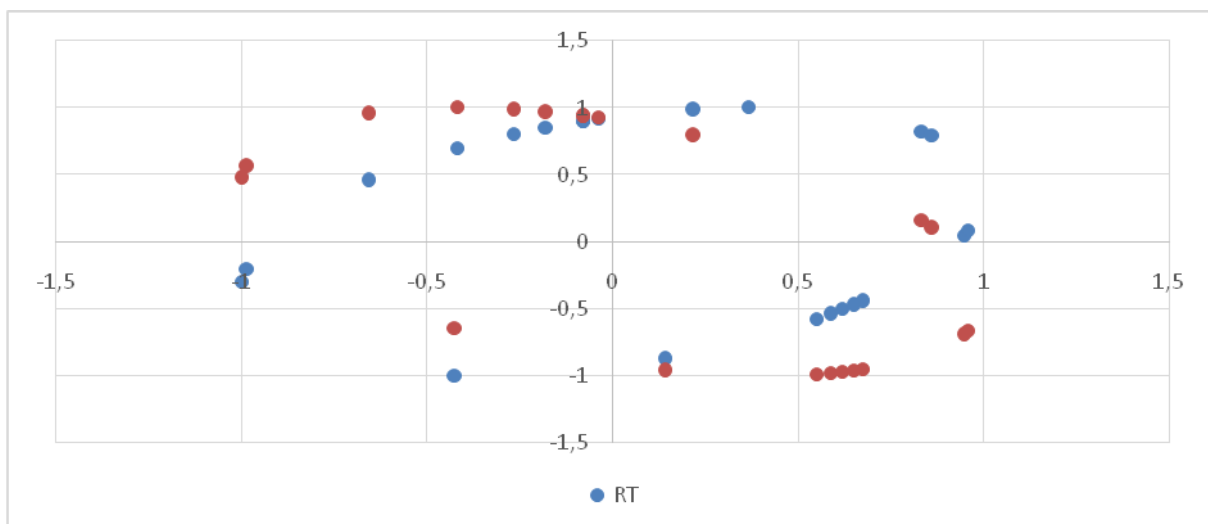


Figure 4.39: Coefficient de corrélation entre le retrait tangentiel et les autres propriétés du chêne Afares

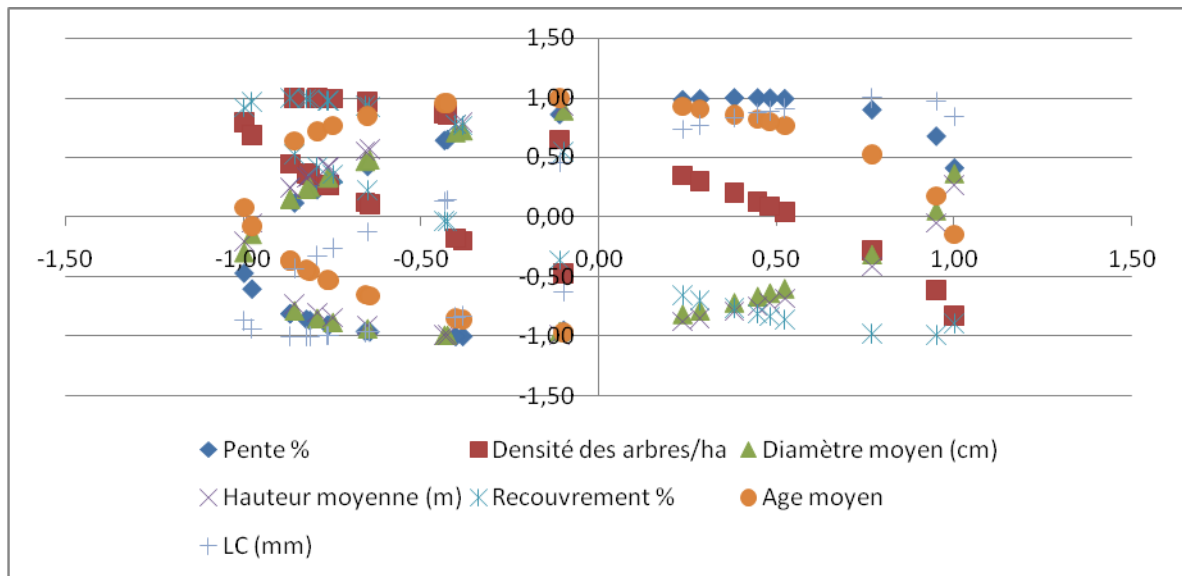


Figure 4.40 : Coefficient de corrélation entre propriétés des stations et les autres propriétés du chêne Afares

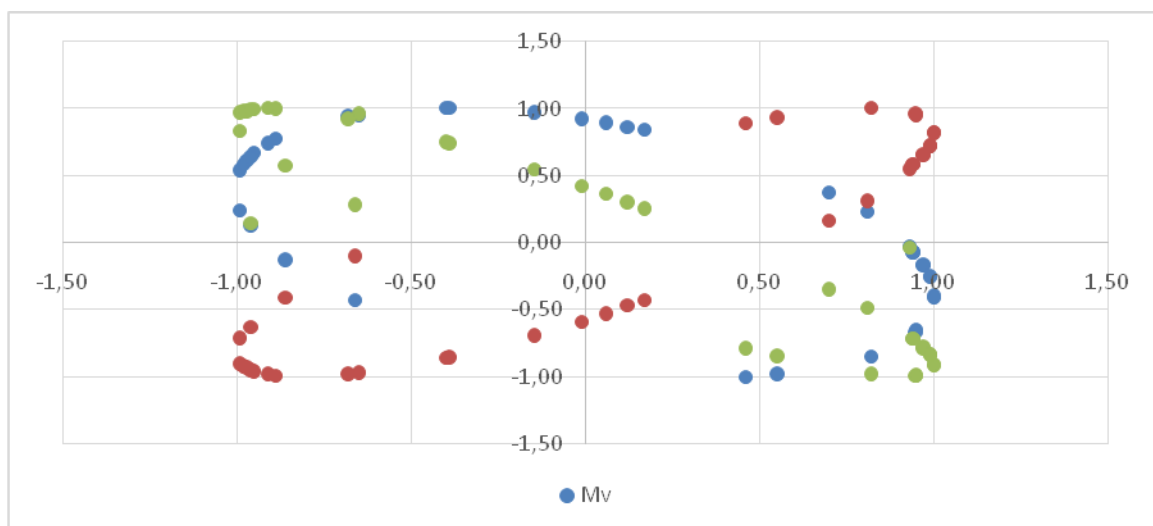


Figure 4.41 : Coefficient de corrélation entre la masse volumique et les autres propriétés du chêne Zéen

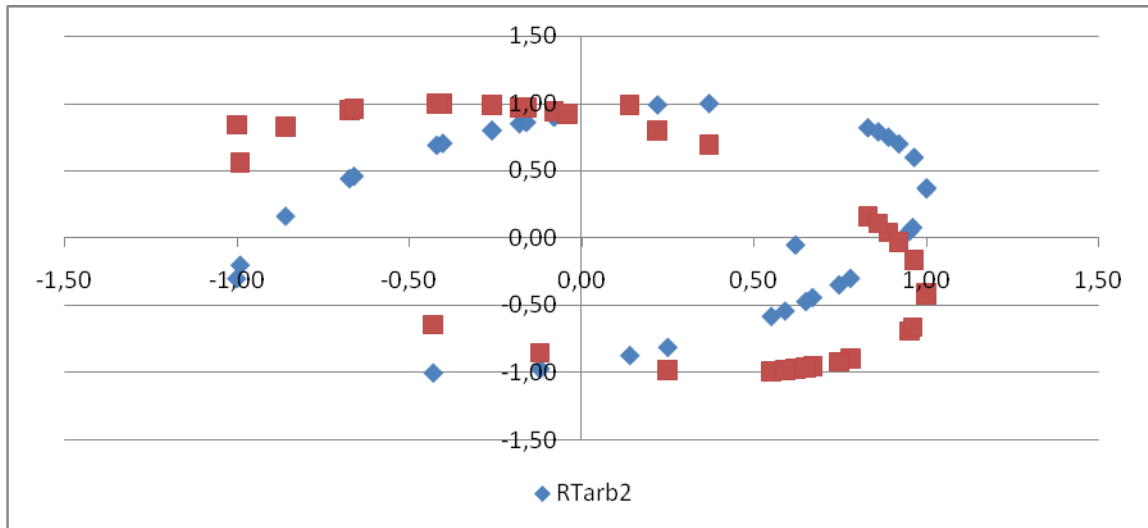


Figure 4.42: Coefficient de corrélation entre le retrait tangentiel et les autres propriétés du chêne Zéen

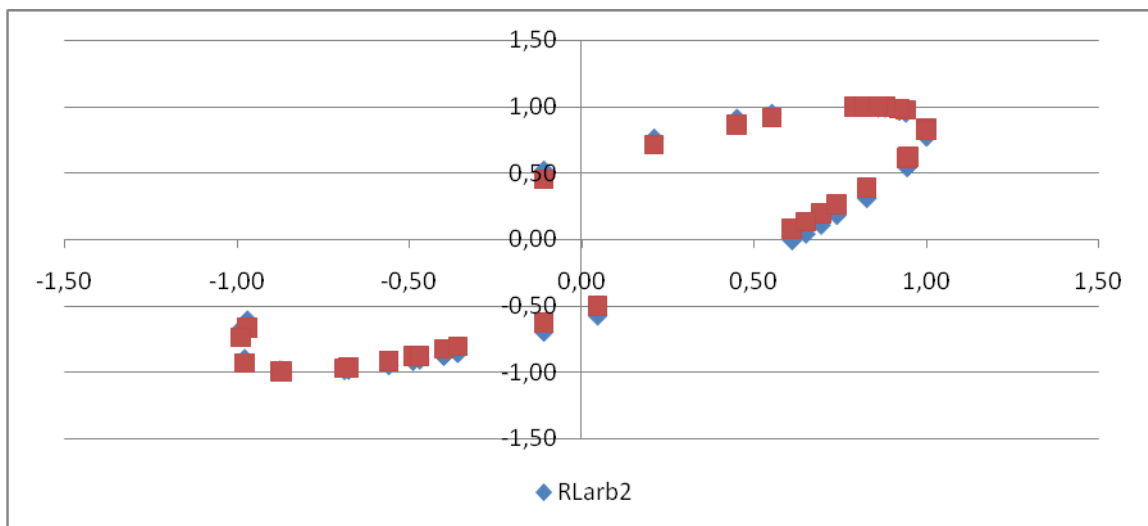


Figure 4.43 : Coefficient de corrélation entre le retrait longitudinal et les autres propriétés du chêne Zéen

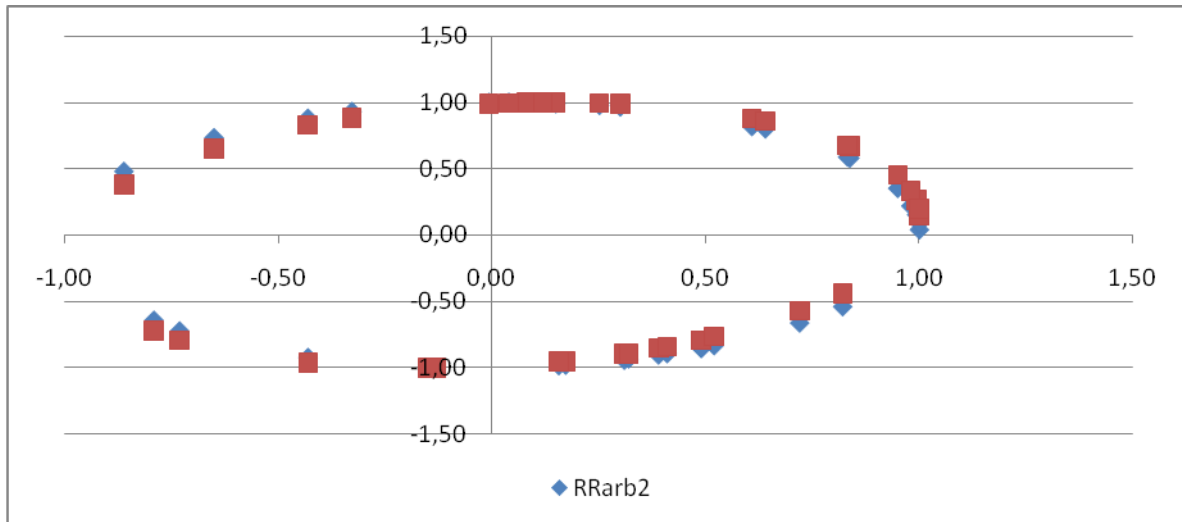


Figure 4.44: Coefficient de corrélation entre le retrait radial et les autres propriétés du chêne Zéen

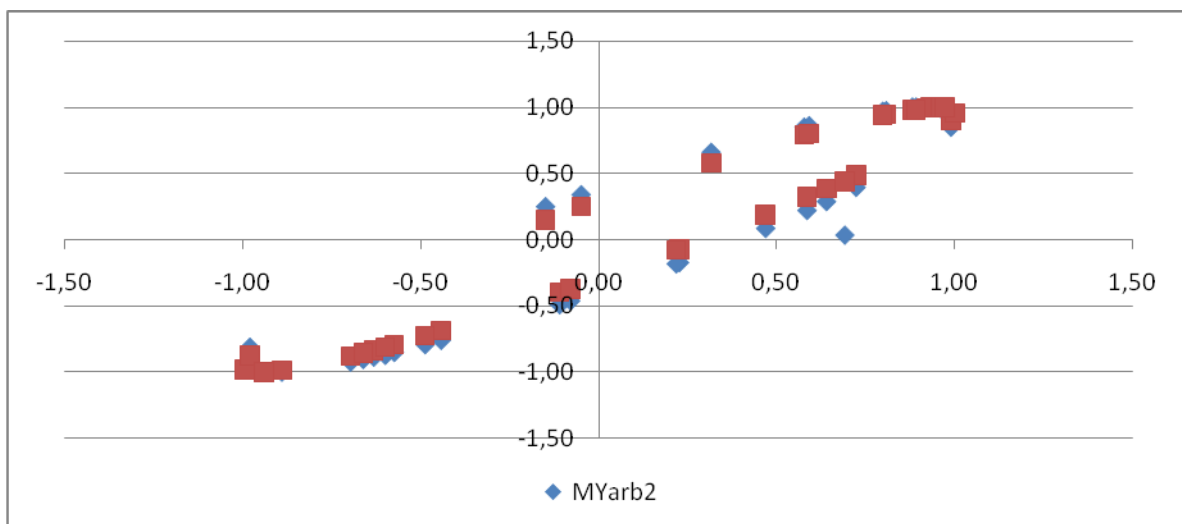


Figure 4.45 : Coefficient de corrélation entre le module de Young et la masse volumique du chêne Zéen

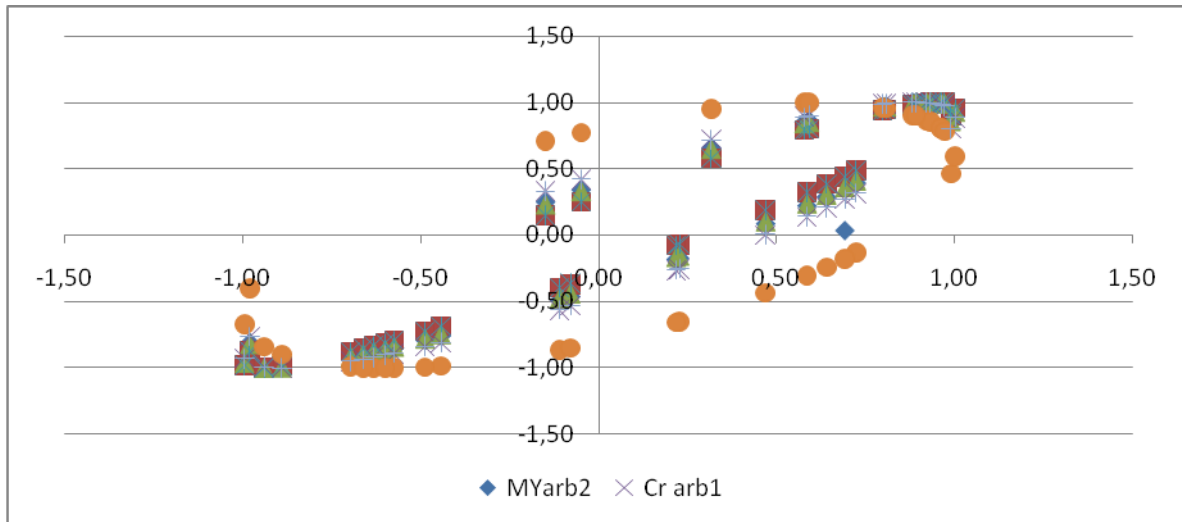


Figure 4.46 : Coefficient de corrélation entre le module de Young, la contrainte de rupture et les autres propriétés du chêne Zéen

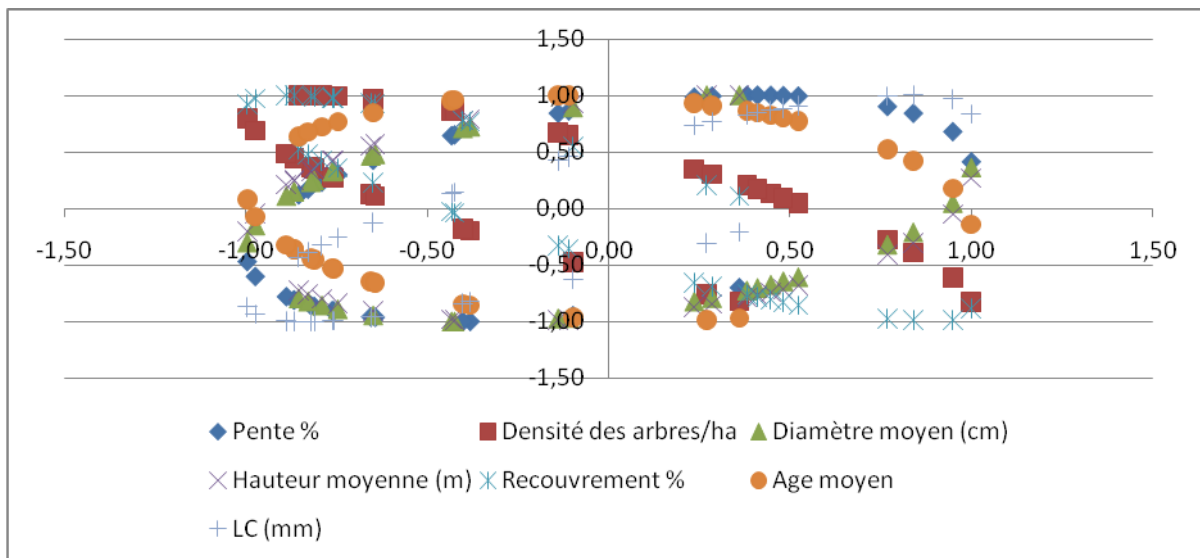


Figure 4.47 : Coefficient de corrélation entre les propriétés des stations et les autres propriétés du chêne Zéen

D'après les résultats mentionnés dans les matrices de corrélations, on note des corrélations dispersées entre les résultats des propriétés physicomécaniques des bois du chêne Zeen et Afares dans même espèce ou entres deux espèce étudiées (différente station).

On note des bonnes corrélations du module de Young obtenus par l'essai de flexion quatre points et la, masse volumique avec un coefficient de corrélation de 0.81 pour le chêne Zeen et

0.94 pour le chêne Afares. (Zhang, 1997) a trouvé des corrélations significatives estimées à 0.61.

Des corrélations significatives entre la masse volumique et le retrait tangentiel sont estimées à 0.75 pour le chêne Zéen et à 0.82 pour le chêne Afares.

Plusieurs auteurs ont noté les corrélations entre la densité et les autres propriétés physico-mécaniques ainsi que les opérations de transformation. Aussi la densité des bois est proportionnelle à l'humidité des bois verts. Harris et al, (1988) note dans ses travaux que l'humidité des bois vert diminue en fonction de la densité. Les travaux de (Joyet et Aléon, 1998) ont abouti à de fortes corrélations entre la densité des bois de chênes.

Peu de travaux sont rencontrés dans le cas de bois de chêne algérien, Messaoudene (2008) note une moyenne obtenue de l'évaluation de la densité des bois de chêne Zéen.

Les résultats des corrélations confirment que les trois essences présentent des propriétés mécaniques élevées et leur utilisation reste limitée par leur faible stabilité dimensionnelle.

L'effet station n'apparaît significatif pour l'ensemble de propriétés étudiées.

Conclusion :

L'objectif principal de ce chapitre était la qualification des trois essences testées par rapport à leurs propriétés physiques et mécaniques et montrer l'effet de la station sur ces propriétés.

La finalité était d'évaluer le niveau de variabilité de ces propriétés sachant que cette variabilité constitue toujours un handicap pour la valorisation d'une essence forestière sous forme de bois d'œuvre.

Les mesures de la masse volumique ont montré que le chêne Zéen et le chêne Afares sont classés comme bois lourds à très lourds, et le bois du chêne liège est classé comme bois lourds.

Un retrait radial élevé est observé chez le chêne liège, le chêne Afares et le chêne Zéen, un retrait tangentiel moyen chez les trois essences. Ces caractéristiques doivent être prises en compte lors du choix de l'utilisation de ces bois.

Les trois chênes présentent des difficultés lors du séchage, ce comportement est montré par les retraits linéaires très élevés, tant suivant la direction radiale que tangentielle, ce qui

nécessite un séchage délicat et lent avec des risques de fentes et de collapse. Ces résultats confirment la faible stabilité dimensionnelle des trois chênes.

Les résultats obtenus pour les caractéristiques mécaniques confirment ceux obtenus pour les caractéristiques physiques.

Les résultats des propriétés mécaniques très élevées obtenus pour les trois chênes concordent avec ceux de la masse volumique.

L'ensemble de ces résultats confirment les réelles potentialités d'utilisation en structure de ces deux essences pour une très large gamme d'emplois. Ces potentialités sont cependant à moduler car elles doivent prendre en compte les caractéristiques de stabilité du matériau.

L'utilisation des trois chênes reste limitée et doit tenir compte de leur faible stabilité dimensionnelle.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

Le but du travail consistait à étudier les propriétés physiques et mécaniques du bois des chênes Algériens, chêne zéen, chêne afarès et chêne liège, et de rendre compte de ses qualifications afin de mieux les valoriser.

Les chênes étudiés ont été récoltés des forêts d'Akfadou, Jijel et Bouira, dans l'objectif de déterminer l'effet station sur les propriétés physiques et mécaniques.

Un retrait radial élevé est observé chez le chêne liège, le chêne Afares et le chêne Zéen, un retrait tangentiel moyen chez les trois essences. Ces caractéristiques doivent être prises en compte lors choix de l'utilisation de ces bois.

Les trois chênes sont des essences qui présente des difficultés de séchage, ce comportement est expliqué par les retraits linéaires très élevés, tant suivant la direction radiale que tangentielle et à la forte différence de retraits linéaires transverse (retrait tangentiel – retrait radial). Ces résultats confirment la faible stabilité dimensionnelle des trois chênes.

Les résultats des caractéristiques mécaniques confirment ceux obtenus pour les caractéristiques physiques, elles s'avèrent très satisfaisante vue les valeurs du module de Young ainsi que la contrainte de rupture par flexion.

L'étude a été faite sur plusieurs stations de prélèvement répartie sur trois forêts Algérienne dans le but de connaître l'influence du changement des caractéristiques de la station sur les propriétés du bois des chênes, et cela nous permet de conclure que pour l'ensemble des propriétés étudiées, l'effet station n'apparaît pas significatif.

Perspectives :

Cette étude sera plus complète si l'on intègre un certain nombre de recommandations, qui peuvent être prises en charge par des équipes de recherche dans le domaine de la valorisation des ressources forestières. Elles se résument à :

- ✓ **Diversification des sites d'étude** : Il serait bénéfique d'étudier le bois de chêne provenant de plusieurs stations écologiques afin d'analyser l'impact des facteurs environnementaux sur les propriétés du bois.
- ✓ **Prise en compte des paramètres environnementaux** : Les caractéristiques du bois peuvent être influencées par des facteurs tels que le climat, le type de sol .Il est donc important d'intégrer ces variables dans l'étude pour mieux évaluer la qualité du bois selon les stations.
- ✓ **Test d'usinabilité** : Il serait pertinent d'évaluer l'usinabilité des bois des différentes stations pour déterminer si certaines stations produisent des bois plus adaptés à l'usinage
- ✓ **Valorisation économique** : inclure une évaluation économique, en comparant les coûts de récolte, de transformation et de valorisation des bois issus de différentes stations. Cela permettrait de déterminer quelles stations offrent les meilleures opportunités économiques pour la filière bois.
- ✓ **Suivi à long terme** : Afin de mieux comprendre les évolutions des propriétés du bois au fil du temps, il serait utile de mettre en place un suivi à long terme des chênes issus de différentes stations, en tenant compte des évolutions climatiques et des pratiques sylvicoles.
- ✓ **Collaboration avec des experts en foresterie et en transformation du bois** : Pour une valorisation optimale, il est essentiel de collaborer avec des experts en foresterie, en transformation du bois et en marchés, afin de s'assurer que l'étude s'inscrit dans une démarche réaliste et applicable à l'industrie.
- ✓ **Sensibilisation à la durabilité** : Dans l'optique d'une gestion forestière durable une étude doit intégrer des critères écologiques et durables pour s'assurer que les pratiques de valorisation respectent l'environnement et les ressources naturelles.

VALORISATION DES RÉSULTATS

Publication :

R.Akkal; H.Aknouche ; F.Krouchi ; A.Derridj « Valorisation et études des propriétés mécaniques et physiques du bois de chêne Afarès en Algérie (ALJEST) <https://www.aljest.net/index.php/aljest/article/view/947>

Communication :

R.Akkal; H.Aknouche ; F.Krouchi ; A.Derridj

International conference on sustainable natural resources management under global change, Hammamet Tunisia. <http://www.sdinrgref2019.tn>

R.Akkal; H.Aknouche ; F.Krouchi ; A.Derridj « Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et physiques du bois de chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd) en Algérie : effet de la station », 1ST national conférence on mechanics and materials, NCMM2023/ Boumerdes-Algeria, 06 -07 December 2023.

R.Akkal; H.Aknouche ; F.Krouchi ; A.Derridj Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et physiques du bois de chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd) en Algérie : effet de la station .National seminar entitled Environnement et gestion durable (SNEGD 23), Relizane Algeria 2023

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

Ackermann F, 1995. Influence du type de station forestière sur les composantes intracernes de la densité du bois du chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) dans les chênaies de l'Adour et des plateaux basco-béarnais. *Annales des Sciences Forestières*, 52 (6) : 635-652.

Ameels M., 1989. Étude des propriétés technologiques et anatomiques de *Quercus canariensis* Willd. dans les massifs forestiers de l'Akfadou et Béni Ghobri en Algérie. Mémoire ingénieur, université de Louvain, Belgique.

Almeida G. ; 2006. Influence de la structure du bois sur ses propriétés physico-mécaniques à des teneurs d'humidité élevées. Thèse de doctorat

Beaudoin M., 1996. Propriétés physico-mécaniques du bois. In : Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada, p. 1301-1309.

Benbrahim Zouheyr 2022, Valorisation par déroulage du bois de deux espèces de chêne, *Quercus canariensis* et *Quercus afares*, en matériaux de structure de type LVL.

BNEDER (Bureau national d'étude pour le développement rural), 2009. Plan national de développement forestier (PNDF). Rapport de synthèse nationale, Alger, Algérie, 87pp.

Berrichi.M, 1993, contribution à l'étude de la production et de la qualité du bois de trois espèces du genre *Quercus* : chêne vert, chêne liège, chêne Zéen.

Courtoisier F., 1976. Étude des relations entre stations et qualité du bois de chêne en forêt de Bride et Saint-Jean. Mémoire 3^e année de l'École nationale des ingénieurs des travaux des eaux et forêts, Nancy, France, 48 p.

CTFT (centre technique forestier tropical), 1970. Résultats des essais effectués sur les chênes zéen et afares d'Algérie, adresse : 45 bis, avenue de la belle Gabrielle, 94 NOGENT sur Marne. Centre centrale de coopération économique.

Dautrebande G., 1989. Étude anatomique et technologique de Quercus afares Pomel de Grande Kabylie(Algérie). Mémoire ingénieur, université de Louvain, Belgique, 87 p.

Deret-Varcin E., 1983. Étude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pédonculés et intermédiaires) en forêt de Morimond. Annales des Sciences Forestières, 40 (4) : 373-398.

DGF (Direction générale des forêts), 2007. Politique forestière nationale et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières, Alger, Algérie.

DGF, 2000. Etude prospective au secteur forestier en Algérie, Alger, Algérie, 86pp.

FAO, 2013. Etat des forêts méditerranéennes. Contributeurs : Marion Breins, Dominique Legros, Edouard Michel, Plan Bleu, France.

FAO 2010. Evaluation des ressources forestières mondiales 2010. Rapport national, Algérie.

FAOSTAT, 2013. Annuaire statistique de la FAO- Algérie. Rome, Italie.

Forest Products Laboratory, 1999. Wood Handbook. Wood as an engineering material. general technical. Rreport FPL – GTR -113. Department of agriculture, forest service, forest products laboratory. Madison, WI EU, 463pp.

Ghazi A et Lahouati R, 1997 – Algérie 2010. Sols et ressources biologiques. Inst Nat. Etudes de stratégie Globale. 38-45 pp.

Greco J , 1966. L'érosion, la défense et la restauration des sols. Le reboisement en Algérie. Pub. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, 393pp.

Guitard D ; 1994. Comportement mécanique du bois, le bois matériau d'ingénierie, Arbolor, Editor.1994, Nancy, 91 -122pp.

Guitard, D. 1987. Mécanique du matériau bois et composites. Cepadues Editions. Toulouse, France.

Haddadou Imane 2015, Etude des propriétés des membranes celluloses issues de différentes espèces de bois algériens

Hafida El Haouzali, 2009. Déroulage du puplier : effets cultivars et stations sur la qualité des produits dérivés, thèse de doctorat d'état, l'Ecole nationale supérieure d'arts et métiers.

Hamliche A, 1978. Etude des relations entre le milieu stationnel et les caractéristiques dendrométriques de *Quercus Merbeckii* Dur. Sur versant nord de la forêt de l'Akfadou ouest. Mém .ing.agr. INA, El Harrach.

Haynes WM, 2012. Handbook of chemistry and physics. CRC Press.

Hernandez, R.E. 1989, influence des composantes secondaires et du contrefil sur les propriétés physicomécaniques des bois tropicaux. Thèse de Ph.d. département des sciences du bois et de la forêt, université Laval, Québec, 186pp.

Hernandez R.E. 1983, relations entre l'état de sorption et la résistance du bois d'érable à sucre en traction tangentielle. Thèse de M.Sc, département d'exploitation et utilisation des bois, université Laval, Québec, 77pp.

Joyet P, Aléon D, 1998, drying and non symmetric drying of semi industrial 13mm and 27 mm thick solid wood pieces.

Ouadou Yasmina, 2017. Contribution à l'étude de la durabilité du bois Algérien, cas: Chêne zeen, Chêne afarès et Pin maritime

Kadik B, 1987. Contribution à l'étude de pin d'Alep en Algérie, dendrométrie morphologie. Office des publications universitaires (OPU) Alger .580pp.

Kaouane, 1987. Analyse dendrométrique d'un peuplement de chêne Zéen dans la forêt de Guerrouch (Jijel). Mémoire d'ingénieur INA, EL Harrach, Alger.

Keller ;1994. La constitution du bois, in e bois matériau d'ingénierie, Arbolor, Editor, Nancy.

Kennouche.S 2015, Caractérisation et valorisation des bois de chêne en vue d'une utilisation dans le secteur de la construction.

Lamrioui Akila 1999, contribution à l'étude de la caractérisation technologique du chêne Zeen (*Quercus Canariensis* Willd) et qualification de ses états de surface après usinage.

Langbour P, Gerard J, Guibal D, Mahlani K, 2011. Caractérisation technologique et valorisation en bois d'œuvre du pin d'Alep de la région Provenance-Alpes –Côte d'Azur. Forêt méditerranéenne, 32 (2).

Letreuch B.N,2001. De la nécessité d'établir des stratégies de reboisement en Algérie sur la base de la biodiversité. Revue Ecosystème n°1, Vol 1.

Le Houerou H.N ; 1968. La désertification du Sahara septentrional et des steppes.

Le Houerou H.N ; 1993. Changements climatiques et désertisation. Rev. Sécheresse ; vol4.

Louni.D ; les forêts algériennes, revue forêt méditerranéenne, pp 59-63.

Leclercq, A ; 1981. Relation entre la structure anatomique du bois de hêtre et ses propriétés physiques et mécaniques. Bulletin de recherche agronomique de Gembloux.

Loubinoux, B and G. Kilbertus ; 1994. La préservation du bois techniques et produits de préservation. In Le Bois Matériau d'Ingénierie, Arbolor, Editor,1994.

Leandro Passarini, 2015. Etude du comportement des bois au dessus et au dessous du point de saturation des fibres. Thèse de doctorat en science du bois philosophie, université Laval, Québec, Canada.

Marchal Rémy., 1995. Propriétés des bois de chêne vert et de chêne pubescent (Q. ilex et Q. pubescens Willd.). Première partie : caractéristiques physiques. Revue Forêt Méditerranéenne, 16 (4) : 425-438.

Marchal. Rémy ; 1989, valorisation par tranchage et déroulage des bois de chênes méditerranés (Quercus ilex, Quercus pubescences, Quercus suber), thèse de doctorat, institut national polytechnique de lorraine, Nancy.

Meddour Shar O, Derridj A, 2012. Bilan des feux de forêts en Algérie: analyses patio-temporelle

Messaoudène.M, Tafer.M, Loukkas.A, Marchal.R,2009, étude de quelques propriétés physiques du bois du chêne Zéen de la forêt de Ait Ghobri (Algérie).Bois et forêts des tropiques, CIRAD de Montpellier.

Messaoudène.M et al 2008 ; propriétés physiques de bois de chêne Zéen de la forêt de Ait Ghobri (Algérie).Bois et forêts des tropiques,2008.

Messaoudène.M, 2008. Stratégie d'aménagement et de développement durable de la forêt de l'Akfadou : état actuel, potentialités et prespectives. Institut national de la recherche forestière station régionale.

Ministère de l'agriculture, 1992. Le secteur agricole et les perspectives de sa promotion et de son développement : rapport régional.

Ministère de l'agriculture 1997. Données macro-économiques sur l'agriculture algérienne : perspectives 1996-2000.

Ministère de l'agriculture 2000. Plan national de développement agricole –L'agriculture dans l'économie nationale.

Nepveu G, 1987. Propositions pour l'étude des relations entre stations et qualité du bois. Nancy, France, Inra, Srqb, document à distribution limitée, 17 p.

Nepveu G, Madesclaire A., 1986. Variabilité de quelques critères de la qualité du bois chez l'érable sycomore et le merisier sur les plateaux calcaires de Lorraine. Nancy, France, Inra, Cnrf, Srqb, document à distribution limitée, 60 p.

Norme française NF B51-004 (09-1985) «Bois – Détermination de l'humidité»

Norme française NF B51-005 (09-1985) «Bois – Détermination de la masse volumique»

Norme française NF B51-006 (09-1985) «Bois- Détermination du retrait»

Norme européenne EN 314-1 (2005) pour l'essai de cisaillement.

Norme française NF B51-007 (09-1985) «Bois – Essai de compression axiale»

Norme française NF B51-008 (1987) «Bois – Essai de flexion statique- détermination de la résistance à la flexion statique de petites éprouvettes sans défaut».

R. Keller Des. Caractéristiques nouvelles pour l'étude des propriétés mécaniques des bois : les composantes de la densité. Station de Recherches sur la Qualité des Bois, Centre national de Recherches forestières, 54 - Nancy Institut national de la Recherche agronomique.

Rabhi Kh, 2011. Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd) dans la forêt d'Akfadou (Tizi Ouzou) ; effet de la station. Mémoire de magister en foresterie. Université abou bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

S.Amirou, I.Haddadou « contribution à la détermination de quelques caractéristiques des bois de chênes (cas de la station de l'Akfadou) UMBB.

S.Kennouche , A.Zerizer, A.Aknouche “caracterization of Algerians oak wood by X-ray Tomographyscanner and free softwareimage” wood research, 59 (2)2014

S.Kennouche , A.Zerizer, A.Aknouche “Elaboration et caractérisation mécaniques des panneaux en LVL à base de bois de chênes algériens, ACMA 2012.

S.Kennouche , A.Zerizer, A.Aknouche “ identification par exploration micro densitométrique et dendrométrie des chênes Zeen et Afares issus du massif de l’Akfadou, Mai 2014.

Tafer M., 2000. Contribution à l’étude de la variabilité stationnelle de la qualité du bois de *Quercus canariensis* Willd. dans la forêt de Béni-Ghobri (Tizi-Ouzou). Thèse magister, université M. M. Tizi-Ouzou, Algérie, 92 p.

Tatar Hafiza 2012, Production forestière, exploitation et valorisation en Algérie.

Voulgaridis E. V., Passialis C. N., 1995. Characteristics and technological properties of the wood of mediterranean evergreen hardwoods. *Revue Forêt Méditerranéenne*, 16 (1) : 3-12.

Zerrouk D , 2006. La forêt algérienne face aux caprices du temps. *El Watan*, le quotidien indépendant.

Zouheyr Benbrahim, Benamar Benotmane, Abdellatif Zerizer, Louis Denaud & Remy Marchal Experimental study of the effect of soaking temperature on the peeling parameters of two oak species (*Quercus canariensis* Willd. and *Quercus afares* Pomel).

