

SOMMAIRE

PREAMBULE.....	06
INTRODUCTION GENERALE.....	11

CHAPITRE I : ETUDE BIOGEOGRAPHIQUE, TAXONOMIQUE ET ECOLOGIQUE DU CHENE VERT

I.1- PLACE DES CHENES DANS LA CLASSIFICATION	14
I.2- TAXONOMIE DU CHENE VERT.....	14
I.3 - REPARTITION GEOGRAPHIQUE.....	15
I.4 - ECOLOGIE DU CHENE VERT.....	16
I.4.1 - CARACTERES CLIMATIQUES.....	17
I.4.2 - CARACTERES EDAPHIQUES.....	17
I.4.3 - SITUATION ALTITUDINALE.....	17
I.4.4 - CORTEGE FLORISTIQUE DU CHENE VERT.....	18
I.5 - CONTRAINTES DE CROISSANCE.....	18
I.5. 1- CONTRAINTES ABIOTIQUES.....	18
I.5 .1.1- INCENDIE.....	18
I.5 .1.2- SUREXPLOITATION (BOIS DE CHAUFFAGE)	18
I.5.1.3- LA DEPOPULATION DE L'ESPACE RURAL.....	18
I.5.1.4- DEFRICHEMENT ET PASTORALISME.....	18
I.5.2- CONTRAINTES BIOTIQUES.....	19
I.5.2.1- INSECTES.....	19
I.5.2.2 - CHAMPIGNONS	19
I.5.2.3 – CUSCUTE.....	19

CHAPITRE II : CONSIDERATION GENERALES SUR LA ZONE D'ETUDE

II.1- PRESENTATION DU MILIEU FORESTIER.....	21
II.2- PLACE DES FORETS DANS LA WILAYA DE TLEMCEN.....	21
II.3 - ASPECT DES FORMATIONS FORESTIERES.....	22
II.3.1-FORETS DENSES	22
II.3.2- FORETS CLAIRES.....	22
II.3.3- MAQUIS DENSES.....	23
II.3.4 - MAQUIS CLAIRES.....	23
II.4 - PLACE DU CHENE VERT DANS LES MONTS DE TLEMCEN.....	23
II.5 - LE CLIMAT.....	24
II.5.1 - LES PRECIPITATIONS	25
II.5.1.1 - MOYENNES MENSUELLES.....	25
II.5.1.2- REGIME SAISONNIER DES PRECIPITATIONS.....	26
II.5.1.3- CONTINENTALITE PLUVIALE.....	26
II.5.2- LA TEMPERATURE.....	26
II.5.2.1- MOYENNE DES MAXIMA DU MOIS LE PLUS CHAUD « M »	27
II.5.2.2- MOYENNE DES MINIMA DU MOIS LE PLUS FROID « M »	27
II.5.2.3- TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE ET ANNUELLE.....	27
II.5.2.4 - AMPLITUDE THERMIQUE.....	28
II.5.2.5 - CONTINENTALITE THERMIQUE	28
II.5.3 - SYNTHESE CLIMATIQUE.....	28
II.5.3.1 - INDICE DE SECHERESSE ESTIVALE.....	28
II.5.3.2 - DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE.....	29
II.5.3.3 - QUOTIENT PLUVIOMETRIQUE ET CLIMAGRAMME D'EMBERGER.....	30
II.6-CONCLUSION.....	30

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES DU PLAN LIGNEUX DU CHENE VERT

III.1 -DEFINITION.....	32
III.2- STRUCTURE ANATOMIQUE DU BOIS DE CHENE	32
III.2.1- LA MACROSTRUCTURE.....	32

III.2.2-LA MICROSTRUCTURE.....	33
III.2.2.1-LA STRUCTURE DE LA PAROI.....	33
III.2.2.2 - LES PONCTUATIONS.....	34
III.2.2.3- LES VAISSEAUX.....	35
III.2.2.4-LES FIBRES.....	35
III.2.2.5- LE PARENCHYME LONGITUDINAL.....	35
III.2.2.6-LES RAYONS LIGNEUX.....	36
III.3- PLAN LIGNEUX DU BOIS DU CHENE VERT.....	36
III.3.1- DEFINITION.....	36
III.3.2 - ETUDE DU PLAN LIGNEUX.....	36
III.3.2.1- SECTION TRANSVERSALE.....	36
III.3.2.2 - SECTION RADIALE.....	37
III.3.2.3 - SECTION TANGENTIELLE.....	37
III.4 - OBJECTIF DE L'ETUDE DES CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES	38
III.4.1 -MATERIELS D'ETUDE.....	39
III.4.1.1 - MATERIEL VEGETAL.....	39
III.4.1.2 - MATERIEL TECHNIQUE	40
III.4.2 -METHODES D'INVESTIGATION.....	40
III.4.2.1- PREPARATION DES COUPES MICROSCOPIQUES.....	40
III.4.2.1.1 - LES PETITS BLOCS.....	40
III.4.2.1.2- RAMOLLISSEMENT DES PETITS BLOCS.....	40
III.4.2.2-REALISATION DES COUPES.....	40
III.4.2.3- PROCEDE DE TRAITEMENT DES COUPES.....	41
III.4.2.4 – MONTAGE DE COUPES.....	41
III.4.2.4.1 - COMPOSITION DE LA SOLUTION DE MONTAGE.....	41
III.4.2.4.2 - OPERATION DE MONTAGE.....	41
III.4.2.5 - LA MACERATION.....	42
III.4.2.5.1 - COMPOSITION DU REACTIF A UTILISER	42
III.4.2.5.2 - OPERATION DE MACERATION.....	42
III.4.2.6 - METHODES DES MESURES.....	42
III.4.2.6.1 - ECHANTILLONNAGE.....	42
III.4.2.6.2- MENSURATION DES ELEMENTS VASCULAIRES.....	43
III.4.2.6.3 – MENSURATION DES RAYONS LIGNEUX	44
III.4.2.6.4 - MENSURATION DES FIBRES.....	44
III.4.3 - MODELE D'ANALYSE DES BOIS FEUILLUS.....	44
III.4.3.1-ETUDE MACROSCOPIQUE.....	44
III.4.3.2 - ETUDE MICROSCOPIQUE.....	44
III.4.3.2.1 –VAISSEAUX.....	44
III.5 - RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	46
III.5.1- ETUDE MACROSCOPIQUE.....	46
III.5.2-ETUDE MICROSCOPIQUE.....	46
III.5.2.1- CARACTERES DESCRIPTIFS.....	46
III.5.2.2- CARACTERES QUANTIFICATIFS.....	49
III.6– INFLUENCE DE L'ANATOMIE SUR LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DU BOIS.....	54
III.6.1- ANATOMIE- PROPRIETES DU BOIS.....	54
III.6.2- ANATOMIE - INDICES PAPETIERS	56
III.6.3- CONCLUSION.....	56
III.7 - MODIFICATION DES CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES DES BOIS FEUILLUS	56
III.7.1- MODIFICATIONS ANATOMIQUES AVEC L'AGE.....	57
III.7.2-MODIFICATIONS ANATOMIQUES AVEC LES CONDITIONS DE CROISSANCE.....	57
III.7.3- RESULTATS ET INTERPRETATION DE LA FIXITE DU PLAN LIGNEUX DU CHENE VERT.....	58
III.7.3.1- INFLUENCE DE L'AGE SUR LE PLAN LIGNEUX.....	59
III.7.3.1.1- EVOLUTION LES VAISSEAUX.....	59
III.7.3.1.2-EVOLUTION DES RAYONS LIGNEUX.....	61
III.7.3.1.3- EVOLUTION DES FIBRES.....	62
III.7.3.1.4- CONCLUSION.....	63
III.7.3.2- INFLUENCE DES CONDITIONS DE CROISSANCE SUR LE PLAN LIGNEUX.....	63
III.7.3.2.1- CONDITIONS DE CROISSANCE ET VAISSEAUX.....	64

III.7.3.2.2- CONDITIONS DE CROISSANCE ET RAYONS LIGNEUX.....	64
III.7.3.2.3- CONDITIONS DE CROISSANCE ET LES FIBRES.....	65
III.7.3.3- INFLUENCE DES EXPOSITIONS SUR LE PLAN LIGNEUX.....	68

CHAPITRE IV : PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DU CHENE VERT

IV.1- COLLECTE DES ECHANTILLONS.....	67
IV.2 - PLAN DE DECOUPE DES EPROUVETTES	67
IV.3 -CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	69
IV.3.1- DETERMINATION DE L'HUMIDITE.....	69
IV.3.2 – MASSE VOLUMIQUE	70
IV.3.3– DETERMINATION DU RETRAIT VOLUMETRIQUE TOTALE (RVT)	72
IV.4 - CARACTERISTIQUES MECANIQUES.....	73
IV.4.1-CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE LA COHESION AXIALE.....	73
IV.4.1.1-ESSAI DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION AXIALE	73
IV.4.1.2 - ESSAI DE LA RESISTANCE A LA FLEXION STATIQUE.....	74
IV.4.1.3 - ESSAI DE LA RESISTANCE A LA FLEXION DYNAMIQUE OU RESILIENCE.....	76
IV.5-CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE LA COHESION TRANSVERSALE.....	77
IV.5.1-ESSAI DE LA RESISTANCE A LA TRACTION PERPENDICULAIRE AUX FIBRES.....	77
IV.5.2-ESSAI DE LA RESISTANCE AU FENDAGE.....	79
IV.5.3-ESSAI DE LA RESISTANCE AU CISAILLEMENT	80
IV.5.4- ESSAI DE DURETE DE FLANC CHALAI- MEUDON.....	81
IV.6 – CONCLUSION.....	82
IV.7- ETUDE COMPARATIVE.....	83

CHAPITRE V : ETUDE PAPETIERE DU CHENE VERT

V.1-CHOIX DU PROCEDE.....	85
V.1.1-CONDITIONS GENERALES D'ESSAIS.....	85
V.1.2-PARAMETRES DE LA CUISSON.....	86
V.2 -LA PATE BRUTE.....	86
V.3 -LA PATE BLANCHIE.....	87
V.4 - LE RAFFINAGE.....	88
V.5 - LA MISE EN FORMETTE.....	89
V.6 - PROPRIETES PHYSIQUES, MECANIQUES ET OPTIQUES DU PAPIER.....	89
V.6.1- PROPRIETES PHYSIQUES.....	90
V.6.1.1- GRAMMAGE.....	90
V.6.1.2- L'EPaisseur	90
V.6.1.3- LA MAIN.....	90
V.6.1.4 - LA POROSITE.....	91
V.6.2- PROPRIETES MECANIQUES.....	93
V.6.2.1- RESISTANCE A LA RUPTURE.....	93
V.6.2.2- ALLONGEMENT.....	94
V.6.2.3- RESISTANCE A LA DECHIRURE.....	94
V.6.2.4 - RESISTANCE A L'ECLATEMENT.....	94
V.6.2.5 - RESISTANCE AU PLIAGE.....	95
V.6.3 - PROPRIETES OPTIQUES.....	97
V.7 - EVALUATION DES QUALITES PAPETIERES DU CHENE VERT.....	99
V.8- CONCLUSION.....	100

CONCLUSION GENERALE.....	102
---------------------------------	------------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	115
---	------------

ANNEXES

PREAMBULE :

ETAT DE LA QUESTION DES CARACTERISTIQUES DENDROMETRIQUES DU TAILLIS DE CHENE VERT

Si d'une part on qualifie le charbon de bois de chêne vert d'excellent et d'autre part d'un très mauvais bois d'œuvre, il y a certainement entre les deux un éventail d'utilisation de ce bois qu'il faut explorer. La situation de cette espèce, n'est pas du tout la même, en rive Nord méditerranéenne. En Algérie, cette formation forte de 700 000 hectares a le mérite incroyable d'exister car elle constitue avant tout la base du paysage, une protection des sols incontestable et un élément des plus précieux de résistance aux incendies en raison d'un sous bois restreint.

En dehors des belles futaies qu'il faut précieusement conserver, son état de taillis actuel pose de grands problèmes de sylvicultures. C'est là une véritable question de mise en valeur que l'on doit résoudre et non pas seulement la question des taillis. C'est une problématique de mise en valeur des massifs forestiers qui se pose à plus ou moins longue échéance où toutes les éventualités doivent être envisagées (Letreuch 1995).

L'utilisation rationnelle de cette espèce fait partie des possibilités de mise en valeur.

Cependant la connaissance du matériel sur pied de ces « forêts » dégradées a été complexe au départ, car ces taillis ne pouvaient pas être cubés par des formules classiques comme en la matière.

La confection de manches d'outils pelles et pioches..., nous a amené à élaborer une formule préalable de cubage en vue d'aménager les 5000 hectares de la zone pilote de la forêt de Hassasna de la wilaya de Saida (Letreuch 1981). Pour ce qui concerne les Monts de Tlemcen , il nous a paru important de faire état des caractéristiques dendrométriques du taillis de chêne vert.

A l'issue de la détermination des aptitudes technologiques du bois des taillis de chêne vert, et par conséquent de ses éventuels emplois, une question s'impose en relation avec les possibilités de production de ce type de peuplement. C'est une question à laquelle il a été largement répondu (Berrichi 1993). Cette question se heurte à l'absence d'une méthodologie de référence. A cet égard, une rétrospective bibliographique succincte sur la production des taillis s'impose. Certains auteurs, ont fait l'effort d'établir des tarifs de cubage propre aux taillis. Ainsi Rolland et Cabannes (1981) ont mis au point une méthode de cubage simplifiée pour les taillis de chêne vert au centre régional de propriété forestière du Languedoc-Roussillon. Cette méthode repose essentiellement sur le coefficient de forme du peuplement, la surface terrière et la hauteur moyenne du peuplement. Auclair et Metayer (1980) ont appliqué une méthodologie particulière pour estimer la biomasse aérienne des taillis de charme, de bouleau et de chêne rouvre. Barbero et Loisel (1980) estiment la production du chêne vert du Moyen Atlas marocain en stères.

C'est en fonction de toutes ces données et en fonction de situations diverses et reconnues que se pose le problème de l'utilisation de ce type de taillis, sans omettre les impératifs socio-économiques de la région.

Nous avons choisi la forêt de Mizab, comme *zone d'application du tarif de cubage*. La forêt de Mizab d'une étendue de 1485 hectares, constitue une partie intégrante de la sous zone Hafir- Beni Boussaid de la zone des Monts de Tlemcen de l'Ouest algérien. Les principales caractéristiques sont :

- : moyenne des minima « 4.2°C »

Nous avons pris en considération, la forme elliptique de la cépée et nous avons essayé de trouver parmi les ses caractéristiques, celles qui expriment au mieux son volume. A cet effet, trois placettes ont été choisies.

- Superficie : 0.4 ha (100 m x 40 m)
- Exposition : Nord – Nord Ouest
- Altitude : 1300 m
- Nombre de cépée : 174
- Végétation : *Quercus rotundifolia lamk*, *Arbutus unedo L*, *Juniperus oxycedrus L*,
Genista tricuspidata Brot, *Amplodesma mauritanica (Pioret) sur et schinz*, *Calycotome spinosa L*, *Asparaqus acutifolius L*, *Vibrunum tinus L*, *Daphne gniduiim L*.

- Superficie : 0.3 ha (100 m x 30 m)
- Exposition : Nord – Nord Est
- Altitude : 1310 m
- Nombre de cépée : 118
- Végétation : *Quercus rotundifolia lamk*, *Juniperus oxycedrus L*, *Asparagus acutifolius L*,

Amplodesma mauritanica (Pioret) sur et schinz, *Cistus salvifolius* L, *Viburnum tinus* L, *Phylleria angustifolia* L, *Lavandula staechas* L, *Plantago albimans* L.

c) Taillis haut et claire

- Superficie : 0.3 ha (100 m x 30 m)
- Exposition : Nord – Nord Est
- Altitude : 1340 m
- Nombre de cépée : 93

Végétation : *Quercus rotundifolia* lamk, *Stipa tenacissima* L, *Thymus ciliatus* L, *Chamaerops humilis* L, *Genista tricuspidata* Brot, *Amplodesma mauritanica* (Pioret) sur et schinz, *Cistus salvifolius* L, , *Lavandula staechas* L, *Calycotome spinosa* L.

La superficie totale des trois placettes est de un « 01 » hectare, le nombre total des cépées est de 385. Rondeux (1972) préconise pour la construction des tarifs de cubage locaux, un minimum d'arbres de 30 à 50. Dans ce travail, nous avons retenu 50 cépées, choisies dans les différentes classes de hauteurs et de circonférence les plus représentatives de l'état du peuplement. Le chiffre de 50, nous paraît suffisant pour l'étude des corrélations nécessaires. La répartition des cépées par classe de circonférences et de hauteurs

		Hauteur de la cépée(m)						total
		1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	+6	
Circonf à 1.30m (m)	1- 3		8	3	3	2		16
	3- 5	1	4	5	4	1	1	17
	5- 7		6	2				8
	7- 9		1	3	2			6
	+ 9		3					3
total		1	22	13	9	3	1	50

Les cinquante (50) cépées échantillons, ont fait l'objet des mesures suivantes :

- **Nbr** : nombre de brins par cépée
- **C_{1.30}** : circonférence de la cépée à 1m 30 cm(m)
- **H** : hauteur de la cépée (m)
- **DG_{1.30}** : grand diamètre de la cépée à 1 m 30 cm(m)
- **DP_{1.30}** : petit diamètre de la cépée à 1 m 30 c m(m)
- **C_{bGD}** : circonférence à la base du plus gros brin (m)
- **P** : poids de la cépée

Le poids de la cépée est obtenu par pesée du brin après sa coupe à ras du sol et à la découpe de 2 cm de diamètre.

Le traitement des données a été effectué à la chaire de statistiques et d'informatique de l'Université Agronomique de Gembloux (Belgique). Celui-ci, nous informe sur la corrélation entre le poids de la cépée et les paramètres cités ci-dessus.

	P	H	C_{1.30}	DG_{1.30}	DP_{1.30}	Nbr	C_{bGD}
P	1	0.61	0.71	0.59	0.40	0.06	0.21
H		1	0.77	0.07	0.22	0.06	0.77
C_{1.30}			1	0.09	0.07	0.08	0.03
DG_{1.30}				1	0.85	0.38	0.09
DP_{1.30}					1	0.38	0.07
Nbr						1	0.07
C_{bGD}							1

La corrélation entre le poids de la cépée et les paramètres de la cépée, fait ressortir les liens suivants :

- Le poids de la cépée est bien corrélé aux paramètres mesurés, à l'exception du nombre de brins et circonférence à la base du plus gros brin.
- La circonférence à 1.30m ($r = 0.71$), la hauteur ($r = 0.61$) et le grand diamètre ($r = 0.59$) sont les variables les mieux corrélées avec le poids de la cépée.
- La hauteur de la cépée est fortement corrélée à la circonférence à 1.30m ($r = 0.77$). Dès lors l'utilisation de la circonférence ou de la hauteur dans une régression linéaire devrait mener à des résultats forts semblables. L'apport d'une variable supplémentaire lorsqu'elle est introduite dans l'équation, ne réduit pas obligatoirement la variabilité de la variable (dans notre cas, le poids de la cépée). Le volume est le rapport du poids de la cépée à l'état vert et la densité du bois mesurée au même taux d'humidité, qui est de 1.17 kg/dm^3 (Dilem, 1995).

L'équation de cubage qui présente le meilleur ajustement est de type :

$$\text{Log } V = 0.873 + 1.3204 \text{ Log } H + 0.7380 \text{ Log } DG$$

- **Log V** : logarithme décimal du volume
- **Log H** : logarithme décimal de la hauteur
- **Log DG** : logarithme décimal du grand diamètre de la cépée

Dans cette équation, le coefficient de détermination multiple (r^2) est de 0.55. À ce propos Nanson (1967) le qualifie de bonne corrélation (r^2 varie de 0.50 à 0.60).

La densité moyenne des cépées à l'hectare est de 261, la cépée comporte en moyenne 09 brins. L'application de cette équation de cubage a donné un volume sur pied de 21.55 m³ par hectare et une production de 0.67 m³/ha/an.

C'est dans cet esprit que nous avons voulu aborder toute la question de la valorisation du bois du chêne vert, de ses aptitudes technologiques, car ainsi les gestionnaires seront dans l'obligation de tout mettre en œuvre, pour rendre cette formation économiquement intéressante dans le respect de l'écologie.

INTRODUCTION GENERALE

Si dans les pays à anciennes traditions forestières, tout est mis en œuvre pour produire un bois de haute qualité technologique, il n'en n'est pas de même dans la zone méditerranéenne, où le problème se pose d'une toute autre manière. En raison de l'aridité du climat et de l'état de dégradation, les forêts dans leur grande majorité sont pauvres. Elles appellent de façon urgente à la mise au point de modèles de sylviculture et de méthodes d'aménagement avec tout le cortège d'impératifs nécessaires à la gestion intensive des peuplements.

En Algérie, la foresterie de manière générale, demeure à l'étape de l'acquisition de connaissances du fonctionnement des biocénoses en vue de leurs valorisations. Concomitamment à tout cela, la valorisation des produits forestiers constitue un axe de travail prioritaire dans la relation « forêt-industrie ». La forêt de Terni est assez représentative d'une formation dominante dans les Monts de Tlemcen de l'ouest algérien : la chênaie verte joue un rôle écologique remarquable et arrive à se maintenir dans la limite des espaces asylvatiques des Monts de Tlemcen et les espaces steppiques.

Le cortège floristique de la chênaie verte laisse apparaître des signes d'une évolution régressive décrite par Le Houerou (1980). Cette dégradation catastrophique écologique et économiquement pour une bonne partie de la couverture végétale se poursuit entre autre par le peu d'intérêt porté à cette formation végétale. Les seules explications plausibles à ce constat sont la mauvaise qualité technologique et les quantités de produits offerts par le taillis de chêne vert qualifiés de dérisoires et sans intérêt économiques. Jolain (1961) ; Perrin (1964) ; Dupont (1982) et bien d'autres auteurs confirment que le taillis de chêne vert, ne connaît que deux utilisations classiques : bois de chauffage et bois de charbon.

Les conditions actuelles de croissance du chêne vert, ont favorisé un bois qui porte beaucoup de défauts et qui limite ses applications industrielles immédiates. L'étude des aptitudes technologiques de son bois, constituera une démonstration de l'utilité économique de cette espèce, dont les retombées écologiques de réhabilitation de cette formation végétale dans le bassin méditerranéen, ne sont plus à démontrer.

Il est rare que l'on fasse appel aux propriétés intrinsèques du bois définissant objectivement sa qualité technologique, permettant ainsi de présenter des éléments au sylviculteur, afin qu'il puisse conduire convenablement un peuplement. Depuis plusieurs décennies, des technologues se sont penchés sur ce problème. Parmi les pionniers dans ce domaine, il faut signaler Barner et Knidge en Allemagne, Erickson et Larson aux Etats Unis d'Amérique, Keller et Polge en France, Leclercq et Fouarge en Belgique.

Le bois issu de la futaie de chêne vert au Maroc selon Fechtal et al.(1997) se travaille généralement sans difficultés particulières et présente un usinage régulier avec les outils destinés au bois durs et mi-durs. Des essais réalisés par Famiri(2005), sur le tranchage du bois de chêne vert de futaie au Maroc, ont montré que les meilleurs rendements sont obtenus

pour une durée d'étuvage de 96 heures et un mode de tranchage sur dosse. Le tranchage sur quartier permet la production de placage très figurés.

Marchal(1989) a montré, qu'une coupe de bois des chênes méditerranéens de 2/10 mm d'épaisseur est envisageable industriellement sans difficultés, avec un angle de dépouille élevé (4 à 5 °) et un étuvage préalable entre 60 et 80°C. Baba (1989) a montré que la valorisation du chêne vert futaie, par sciage, peut être envisagée, en installant des unités de sciage à base, de scie mobile à caractère semi-industriel dans des régions où la disponibilité de la ressource est significative. Selon Fechtal et al(1997) le mode de débit qui convient au mieux est le débit sur quartier. Baba (1989) exprime, l'inaptitude du bois de chêne vert futaie du Maroc à être utilisé en lamellé-collé extérieur et dans la fabrication des panneaux de bois massifs en raison du faible rendement « matière-grume ».

Ben Amor (1998) pour la valorisation en parquet et en tournerie des chênaies vertes, a montré que les produits obtenus sont de couleur claire, de grain fin et d'aspect très figurés. Le rendement « matière-grume » est faible et varie de 9 à 13%.

C'est dans ce contexte que nous avons choisi le sujet de ce Doctorat, dont le point central se focalise autour de la détermination des aptitudes technologiques du bois de chêne vert de la région de Tlemcen de l'Ouest algérien. En effet, cette approche nous semble fort utile dans la démonstration de l'utilité économique du chêne vert.

En ce qui nous concerne, nous avons choisi l'espèce, d'abord parce qu'elle présente dans la région de Tlemcen un intérêt, tant du point de vue forestier, qu'écologique ou économique, ensuite parce que le chêne vert est détrôné comme ressources potentiellement ligneuses, étant donné que et à défaut d'éléments précis, la qualité du bois porte sur des critères le plus souvent relatifs à l'aspect de la grume ou du bois.

Les critères technologiques sont affectés par plusieurs facteurs, la littérature présente un grand nombre de travaux qui montre l'influence de la structure anatomique sur les propriétés technologiques. Parmi ces travaux Leclercq(1981) a constaté que la résistance à la compression axiale est influencée positivement par la proportion, la longueur et l'épaisseur des parois des fibres les moins poreuses et négativement par le diamètre des fibres.

Jodin(1994) signale que les propriétés mécaniques augmentent avec une augmentation de la densité du bois. Cette dernière dépend de la proportion relative des fibres par rapport aux éléments cellulaires, notamment les vaisseaux, ainsi que l'épaisseur de leur paroi.

La teneur en eau du bois exerce une grande influence sur les propriétés technologiques. Les propriétés mécaniques d'un bois sec à l'air chutent de 2 à 4% lorsque sa teneur en eau augmente de 1%. Reneaud et al (1996) signalent qu'avec un faible taux de déformation, les échantillons saturés sont moins rigides que les échantillons secs.

Les critères technologiques recherchés doivent être limités et rapides à mesurer.

Tout au long de la présente recherche, nous allons répartir les critères technologiques, en deux volets ; le premier volet comporte des paramètres d'usinage et le second volet conçoit des paramètres quantitatifs.

Les paramètres d'usinage sont des critères pris en considération en faveur du rendement au sciage, au tranchage ou au déroulage. Même si nous n'avons pas déterminé cet aspect par des tests, on peut par le biais de mesures des paramètres quantitatifs, avoir une idée précise sur les rendements cités.

Les paramètres quantitatifs sont nombreux, ils relèvent :

- D'analyse anatomique du plan ligneux et son effet d'abord sur les propriétés physiques et mécaniques et par la suite sur d'autres propriétés, telles que : la durabilité, l'homogénéité, la texture, la conductibilité, grain, structure, fil....
- D'analyse des propriétés mécaniques et physiques.
- D'analyse de possibilités papetières.

Ce vaste champ d'études de la multitude d'expressions anatomiques, nous a poussés à étudier la notion de la variabilité du plan ligneux d'une même espèce, suivant les conditions de croissances liées à la station et à l'âge de l'arbre. Une mise au point, sur la variabilité intrinsèques est aussi abordé dans le volet « anatomie », pour savoir, dans quelle mesure un prélèvement quelconque de bois, peut-il conditionner l'anatomie d'une essence. En ce qui concerne, la liaison entre la largeur du cerne et la qualité du bois, celle-ci n'est pas traitée, du fait que Venet(1986) n'a pu établir une relation constante chez les chênes et le frêne, sur tout, dans le cas des peuplements naturels.

Notre étude comporte un préambule et cinq chapitres. Le préambule comporte une analyse succincte sur la production des taillis avec la présentation de l'établissement de l'équation de cubage arrêté lors du magister sur la production du taillis du chêne vert. Le premier chapitre fait le point sur l'étude biogéographique, taxonomique et écologique du chêne vert. Le second chapitre représente une synthèse générale sur la zone d'investigation.

Le troisième chapitre fait ressortir l'approche adoptée pour l'investigation anatomique avec comparaisons des résultats aux normes Afnor.

Le quatrième chapitre représente les tests physiques et mécaniques réalisés conformément aux normes Afnor. De la même façon le cinquième chapitre traite le volet papetier.

Les différents résultats et les différentes liaisons entre les propriétés technologiques seront progressivement introduits tout au long de la présentation des résu

CHAPITRE I

ETUDE BIOGEOGRAPHIQUE, TAXONOMIQUE ET ECOLOGIQUE DU CHENE VERT

I.1- PLACE DES CHENES DANS LA CLASSIFICATION

Les chênes appartiennent, à l'ordre des fagales et à la famille des fagacées. L'ordre des fagales, comprend des végétaux de grandes tailles, à feuilles simples et à floraison monoïque. Les autres familles de cet ordre, sont les bétulacées (bouleau et aulne) et les corylacées (noisetier et charme). Dans la famille des fagacées on distingue les genres *Fagus*, *Castanea*, *Quercus*,...

Les chênes habitent, presque tout l'hémisphère Nord, depuis les régions tempérées froides jusqu'à l'Equateur. En Afrique, ils sont limités à sa partie Nord.

Les caractères les plus apparents, qui permettent habituellement de comparer et de distinguer les chênes sont tirés de la cupule. On peut, ainsi séparer, la section des chênes chevelus (section *cerris*) qui comprend le chêne kermès, le chêne afares et le chêne liège et la section des chênes à cupule lisse (section *lepidobalanus* – *balanus*) qui comprend le chêne rouvre, le chêne pédonculé, le chêne zeen et le chêne vert.

I.2- TAXONOMIE DU CHENE VERT

Dénommé le chêne vert, *Quercus ilex* L ou bien *Quercus rotundifolia* Lamk, a interminablement constitué un problème taxonomique. Au XVIII^{ème} siècle une première distinction basée, sur le type de gland (amer ou doux) est tentée par Lamarck et Desfontaines. Par la suite, Schwartz et Rothmaler cités par Del Villar (1947) fondent la différence entre les deux espèces sur les caractères morphologiques des feuilles, celles du *Quercus ilex* L, sont plus longues, et rejettent son existence au Maghreb. Del Villar (1947) souligne, qu'au niveau d'un même arbre, peut exister un polymorphisme foliaire d'où la nécessité d'intégrer d'autres éléments plus fiables. Cette ambiguïté a conduit les botanistes à conserver la désignation du *Quercus ilex* L pour toute la méditerranée.

C'est plus tard, que Quezel (1979), puis Babero et Loisel (1980) reprennent la conception de Lamarck et distinguent sur la base de caractères morphologiques et surtout bioclimatiques, deux espèces différentes. C'est ainsi que Dahmani (1984), dans son étude sur les groupements à chêne vert dans les Monts de Tlemcen montre, qu'à travers les mesures effectuées sur les feuilles, qu'il s'agit d'une espèce proche du *Quercus rotundifolia* Lamk. Cependant, les tests statistiques en grande partie non concluants sur les paramètres morphologiques étudiés; longueur du pétiole, longueur du limbe, largeur du limbe, le rapport de la longueur à la largeur du limbe, le nombre de paire de nervures et la présence de la bordure dentée, amènent l'auteur à proposer d'autres critères d'identification au niveau anatomique, physiologique et génétique.

En ce qui nous concerne, nous retiendrons:

- *Quercus rotundifolia* Lamk, à rameaux tortueux et à feuilles courtes se localise en, Afrique du nord et sur une bonne partie de l'Espagne et la France méditerranéenne, où il occupe les étages semi-aride, Sub-humide et humide tempéré, frais, froid et même très froid au Maroc.

- *Quercus ilex* L, caractérisé par des feuilles plus longues avec un plus grand nombre de nervures, colonise toute la méditerranée centrale, dans les variantes fraîches et froides de l'étage bioclimatique humide.

Au-delà des caractères morphologiques analysés par les auteurs cités, qui permettent de distinguer les deux espèces. Les aspects morphologiques ; le port droit de *Quercus ilex* L et le port buissonnant de *Quercus rotundifolia* Lamk, ne nous semblent pas être retenus. Le traitement sylvicole, étant en effet souvent déterminant dans la variabilité phénotypique des individus.

I.3 – REPARTITION GEOGRAPHIQUE

L'aire du chêne vert comme l'indique la fig. 01, occupe une grande partie du bassin méditerranéen. Cette espèce constitue avec son abondance, l'un des arbres les plus importants (Peyerimhof, 1941). Il se trouve, principalement dans la partie occidentale de la région méditerranéenne (Salmon 2004). En Afrique du Nord Boudy (1955) et Letreuch (1991) mentionnent que, Le chêne vert, figure parmi les essences les plus prépondérantes du patrimoine forestier, où il forme le fond de la forêt de montagne. L'importance du chêne vert au Maroc (1 342 000 hectares) a été soulignée par Emberger (1939) et plus récemment par Achhal (1980). En Tunisie, le chêne vert couvre 83 000 hectares, il se rencontre, en sous étage de la forêt de pin d'Alep et à l'état pur sous forme de médiocre taillis. Il caractérise la continentalité (Shoenenberger, 1967). En Algérie, le chêne vert s'étend sur tout le Nord et couvre 700.000 hectares, du littoral à l'Atlas saharien et de la frontière marocaine à la frontière tunisienne (Letreuch, 1995).

La limite septentrionale de son aire de distribution, semble résulter de la concurrence avec des espèces mieux adaptées, plutôt que d'une inadaptation écologique qu'édaphique Barbero et al., (1992).

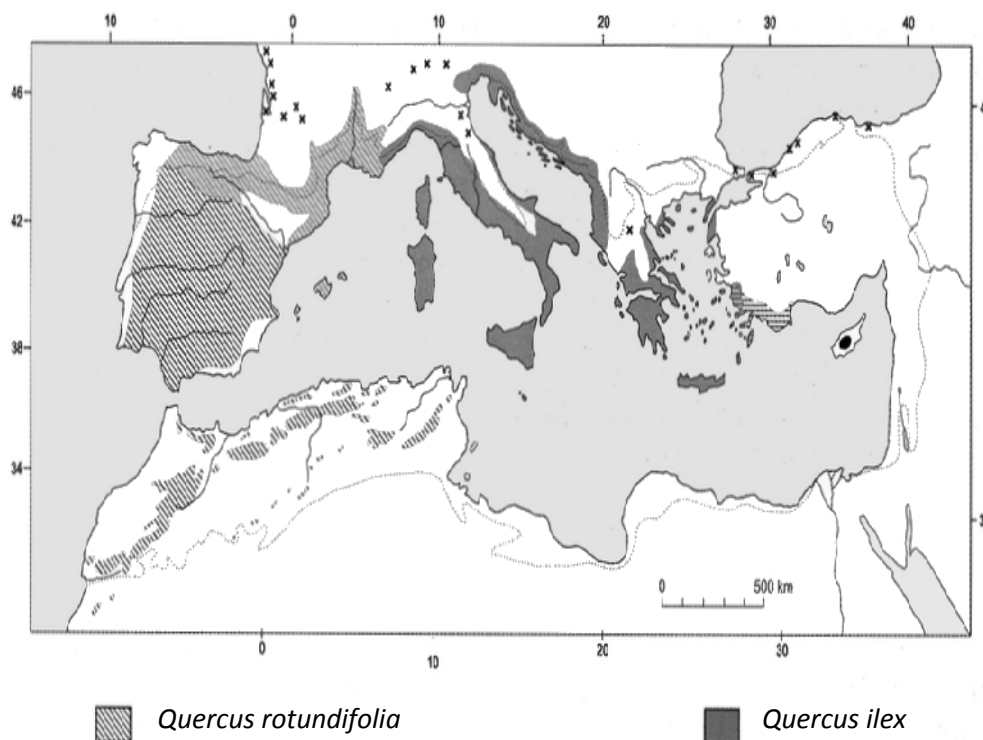


Figure 01 : Distribution du *Quercus rotundifolia* et du *Quercus ilex* dans son aire géographique méditerranéenne. Michaud et al.,(1995)

En Algérie, le chêne vert est l'une des essences forestières les plus importantes. Boudy (1950) et Letreuch (1991) repris par les différents travaux relatifs à la répartition du chêne vert en Algérie estiment, que celui-ci occupe 700 000 hectares.

A l'Est, on le trouve dans Djebel Aures, où il est, en mélange avec le pin d'Alep, tel est le cas de de la forêt de Belezma, de Bou-Arif de Sgag et de l'Oued Fedala.

Au centre du pays où il est en concurrence avec le pin d'Alep ; il recouvre les versants de l'Atlas méridien en taillis dégradés. Il forme des taillis médiocres dans les régions de Tablat et Sour-El Ghoulan, par contre à Tenès, il est possible de trouver de belles futaies qu'il faut bien traiter afin de les conserver. C'est en Oranie que sont localisées les plus importantes yeuseries, dans les régions de Tiaret, Frenda et Saida en forêt de Sdamas et de Hassasna en taillis dégradés. Le chêne vert forme de vieilles futaies dans la région de Tlemcen.

I.4 – ECOLOGIE DU CHENE VERT

L'une des principales raisons du succès du chêne vert en zone méditerranéenne, réside dans sa remarquable résistance aux contraintes écologiques et en particulier hydriques. Le chêne vert présente un certain nombre de traits biologiques lui permettant de survivre et de continuer à fonctionner pendant les périodes de sécheresse. Ainsi, en plus d'un enracinement profond, le chêne vert peut répondre à une forte sécheresse par le développement d'une surface évapotranspirante limitée qui est en relation avec la faible réserve hydrique des sols sur lequel il pousse (Barbero et al., 1992). Au cours d'événements climatiques fortement défavorables, le chêne vert maintient l'ouverture des stomates à des potentiels hydriques très

négatifs (Acherar et *al.*, 1991). L'ensemble de ces réponses à la sécheresse, permet au chêne vert, de maintenir une certaine croissance malgré le ralentissement important de l'activité physiologique (Delillis et Fontanella, 1992).

I.4.1 – Caractères climatiques

Le chêne vert, réputé essence plastique, montre une aptitude, à s'accommoder de conditions climatiques variées, lui permettant ainsi, de couvrir plusieurs zones à étages bioclimatiques différents. Dans l'étage semi-aride, il représente le type xérophile de la chênaie verte, localisée en Algérie, dans les Aurès et les montagnes du Sud-oranais, mais c'est dans les étages Sub-humide et humide qu'il connaît son plein développement en peuplement, surtout dans la partie occidentale de l'Algérie. (Dahmani, 1984).

Vis-à-vis de la température, le chêne vert supporte une variation de « m » allant de -3°C à +7°C, sa limite inférieure extrême est de -15°C. Il résiste à des températures maximales « M » pouvant atteindre 42°C (Dahmani, 1997). Une étude de résistance thermique des feuilles de chêne vert effectuée par Trabaud et Methy (1994) montre que l'exposition à des extrêmes thermiques (-20°C durant moins de deux heures et +50°C durant 30 mn) n'altère pas leur capacité photosynthétique. Cette résistance est liée à la sclérification qu'elles acquièrent après le premier mois.

Quant aux précipitations, il admet une tranche pluviométrique annuelle variant de 384 à 1462 mm (Sauvage 1969). Selon Barry et al., (1976) le chêne vert peut se contenter d'un minimum de 250mm.

Les auteurs qui se sont intéressés à la répartition du chêne vert, s'accordent tous pour retenir le climat comme facteur déterminant.

I.4.2 – caractères édaphiques

Du point de vue édaphique, il paraît également comme essence la plus plastique. Il semble être indifférent à la composition chimique du substrat, car présent sur tous les types de substrat, sauf sur sols compacts, asphyxiants ou saturés, où ses racines ne peuvent pénétrer (Pons et Vernet, 1971 ; Achhal, 1975). Ceci, semble résulter de l'absence de compéon des espèces plus dynamiques (Milière, 1986). Dans un sol profond, le chêne vert établit un pivot par contre dans un sol superficiel, ces racines tracent et l'arbre devient buissonnant (Regimbeau 1979). Les adaptations sont de ce point de vue extraordinaire.

La répartition du chêne vert, est ainsi essentiellement tributaire des caractères climatiques (Maire, 1926., Achhal, 1980., Barbero & Loisel, (1980).

I.4.3 – Situation altitudinale

En France, le chêne vert colonise les plaines et les collines, alors qu'en Afrique du Nord, il est considéré comme une essence de montagne. Il n'apparaît pas au dessous de 400m d'altitude ou il est éliminé par les essences de plaine de l'association *Oléo-lenticetum* (Boudy, 1952).

En Algérie et plus précisément dans l'Atlas tellien, le chêne vert apparaît à partir de 400m d'altitude et monte jusqu'à 1700m (Maire, 1926., Quezel, 1976). Dans les Aurès ses limites altitudinales oscillent entre 1200 et 1900m et entre 1500 et 2200m dans l'Atlas saharien (Letreuch, 1995).

I.4.4 –Cortège floristique du chêne vert

Barry et al.,(1976) soulignent que le chêne vert, dans l'étage Sub-humide évolue vers le stade forêt, alors qu'il tend vers la steppe en semi-aride. Du point de vue floristique, Boudy (1952) distingue les groupements l'étage bioclimatique humide et Sub-humide (région de Tlemcen et du Moyen Atlas) et ceux du semi-aride (Oranie, Atlas saharien et le Maroc).

Dans les Monts de Tlemcen la végétation accompagnatrice est dominée par le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), le petits houx (*Ruscus aculeatus*), le smilax (*Smilax aspersa*), le ciste de Montpellier (*Cistus monspeliensis*), l'aubépine, le nerprun, le pistachier térébinthe (*Pistacia terebinthus*), le lentisque, la bruyère arborescente, l'arbousier, la viorne, le chèvrefeuille et la filaire intermédiaire (*Phillyrea media*) (Ben Abdelli, 1996).

I.5 - Contraintes de croissance

I.5. 1- Contraintes abiotiques

I.5 .1.1- Incendie

D'après (Boudy, 1950), le chêne vert est moins nuisible à l'action du feu. Dans les futaies, où le sous bois est peu dense et de faibles dimensions, le feu, ne fait, le plus souvent que passer et se contente de flamber les arbres.

Dans les jeunes taillis, de cépées très touffues et dont le substratum est souvent recouvert d'un tapis assez épais de feuilles sèches : le feu cause parfois des dommages assez important. Les souches ne sont pas tuées et donnent ultérieurement de nombreux drageons.

En cas de taillis âgés, les dégâts sont peu importants, le feuillage est grillé, certains petits rejets de la souche sont brûlés, mais l'ensemble de la cépée est peu atteint.

I.5 .1.2- Surexploitation (bois de chauffage)

Le processus de carbonisation, qui était fréquent en région européenne est aujourd'hui quasiment stoppé, alors qu'il est encore actif en Afrique du Nord où la chênaie verte paie un lourd tribut à ce mode d'exploitation.

I.5 1.3- La dépopulation de l'espace rural

La dépopulation de l'espace rural, a eu pour conséquence la désorganisation de toutes les pratiques d'utilisation de l'écosystème « yeuseraie ».

I.5.1.4- défrichement et pastoralisme

Les territoires de la yeuseraie, étaient souvent soumis à des pratiques culturelles ; Le blé semé sur les bonnes terres de bas-fonds, l'avoine et l'orge plantés en complément entre les chênes verts. Les années de déficit fourrager, les arbres sont émondés et leur feuillage donné aux bêtes. Ces pratiques font par excellence, de la forêt un territoire de parcours animalier. Par ailleurs, Bellon et al.,(1996) signalent que la yeuseraie, en offrant entre 150 à 200 unités fourragères par hectares est intégrée facilement, dans le calendrier alimentaire du bétail. Il est évident que ces territoires appelés aussi Dehesas demandent à être organisés, entretenus et complantés en espèces fourragères adaptées si l'on veut produire de viande (Letreuch, 1995)

I.5.2- Contraintes biotiques

I.5.2.1- Insectes

Le chêne vert est très sensible à *Lymantria dispar* qui provoque la défoliation des chênes (Boudy, 1950).

Il est sensible à un bupreste (*Coroebus bifasciatus*), dont les galeries creusées dans le bois des charpentières se terminent par une double boucle circulaire: les branches atteintes dépérissent, sèchent sur pied et se brisent sous l'action du vent.

En plus, il y a un coléoptère du genre « *Balaninus* » qui attaque les glands des chênes.

I.5.2.2 - champignons

Parmi les champignons dépréciant fortement la croissance du chêne vert on distingue en général :

- *Polypores dryadens* : occasionne la pourriture blanche au pied des chênes
- *Microsphaera quercina* : Oïdium ou « blanc des chênes » ralentissant la croissance des feuilles et entravant l'élaboration chlorophyllienne.

I.5.2.3 - Cuscute

Parmi les végétaux nuisibles au chêne vert, (Boudy, 1950) cite Cuscute (*Cuscuta monogyna*) qui s'attaque aux jeunes taillis, ces derniers sont tués au bout d'une année ou deux années.

CHAPITRE II

CONSIDERATION GENERALES SUR LA ZONE D'ETUDE

II.1- PRESENTATION DU MILIEU FORESTIER

Les forêts dans la Wilaya de Tlemcen s'étendent sur une superficie de 209 230 hectares, soit 22.30 % de la superficie totale de la Wilaya. Ce taux de boisement fait considérer la région parmi les grandes zones forestières de l'Ouest algérien. Cependant la dégradation est très prononcée.

Les principales essences et leurs superficies, selon la conservation des forêts de la Wilaya de Tlemcen (1985), sont les suivantes :

- Chêne vert : 90 000 hectares, soit 43 %
- Chêne liège : 2 000 hectares, soit 0.95 %
- Pin d'Alep : 86 000 hectares, soit 41.1 %
- Thuya de berberie : 16 700 hectares, soit 7.98 %
- Genévrier oxycèdre : 13 000 hectares, soit 6.21 %

II.2- place des forêts dans la Wilaya de Tlemcen

Les Monts de Tlemcen occupent une superficie totale de 304 800 hectares, soit 32.43 % de la Wilaya, dont 157 520 hectares, soit 16.79 % sont à vocation forestière. Le tableau 08, illustre la répartition des essences forestières pour zone homogène établie pour le B.N.E.D.E.R (1979).

En l'absence d'un inventaire détaillé et actualisé, nous avons utilisé les statistiques du BNEDER, sachant très bien qu'elles peuvent être entachées d'erreurs. Celles-ci nous servent de comparaison et ne modifient en rien le travail de recherche présenté. L'inventaire satellitaire précisera d'avantage ces statistiques.

Tableau 01 : Répartition des essences forestière pour zone

ZONES		Superficies Totales (hectares)	Superficies forestières (hectares) %		Principales essences
Monts des Traras		100 200	19 430	9.7	Pin d'Alep Eucalyptus thuya.
Piémonts côtiers		42 700	2 130	1.1	Pin d'Alep Eucalyptus thuya chêne liège genévrier
Plaines telliennes		211 000	6 240	3.1	Chêne vert Pin d'Alep Cyprés
Monts de Sebba-Chiouch		30 800	580	0.3	Pin d'Alep
Monts de Tlemcen	versant-Nord	172 000	86 340	43.3	chêne liège Chêne vert Chêne zeen thuya
	versant-Sud	132 800	71 180	35.7	Pin d'Alep Chêne vert genévrier thuya ALFA
Hautes plaines steppiques		248 400	13 590	6.8	Pin d'Alep Chêne vert thuya genévrier ALFA
Total Wilaya		937 900	199 490	100	/

B.N.E.DE.R (1979).

Le commentaire que nous pouvons faire sur la base du tab.01, est le suivant :

- 157 200 hectares, soit 79 % de la Superficies foresèr e sont si tué s dans la zone montagneuse des Monts de Tlemcen, avec 43% sur le versant-Nord et 36% sur le versant-Sud.
- 19 430hectares, soit 9.7% dans les Monts des TRARAS
- Le reste est répartir dans les zones de Plaines et piémonts

Les principaux massifs forestiers en versant-Nord et versant-Sud des monts de Tlemcen peuvent être dénommé aussi :

- Monts de Tlemcen, versant-Nord : Khemis, Hafir, Béni Boussaid, Ouled Mimoun, Zerdab, Azails (Nord).
- Monts de Tlemcen, versant-Sud : Azails (sud), Merbeuh, Ouled Nihar-Gheraba, Djebel Ourgla, Djebel Assas.

II.3 - ASPECT DES FORMATIONS FORESTIERES

Une analyse faite à partir de la carte d'occupation du sol établie à base de photo-aériennes de l'année 1971 et selon le B.N.E.D.E.R (1979) nous montre l'état général de la superficie à vocation forestière du versant-Nord des Monts de Tlemcen (tab.02).

Tableau 02: Nature des formations forestières

ZONES		versant-Nord		versant-Sud	
Nature des formations		Superficies (ha)	%	Superficies (ha)	%
Forêts	Denses	15 320	17.74	9 870	13.86
	Claire	13 560	15.70	26 250	36.68
	Total	28 880	33.44	36 120	50.54
Maquis	Denses	16 190	18.75	4 220	5.93
	Claire	38 880	45.03	26 320	36.97
	Total	45 070	63.78	30 540	42.90
Reboisement		2 390	2.77	4 520	6.35
Total		86 340	100	71 180	100

B.N.E.D.E.R (1979).

Le tab. 02, indique bien que, les forêts représentent 41.26 % des terres forestières, soit 65 000 hectares sur un total de 157 520 hectares des terres forestières des Monts de Tlemcen. Le taux de reboisement est faible dans les deux zones.

II.3.1-Forêts denses

Les forêts denses occupent 25 190 hectares et représentent 15.99 % de la Superficie forestière actuelle, leur localisation est la suivant :

- Dans les monts de Tlemcen-Nord : elles se localisent sur boudure Sud occidentale (forêts de Béni Boussaid, forêts de Khemis).
- Dans les Monts de Tlemcen-Sud : elles sont réparties en tache dans toutes les zones des Azails et de Merbeuh.

II.3.2- Forêts claires

Les forêts claires occupent 39 180 hectares et représentent 25.27 % de la superficie forestière actuelle, leur localisation est la suivante :

- Dans les Monts de Tlemcen-Nord : elles se distribuent en petites taches dans toutes les zones (forêts de Béni Boussaid, forêts de Ain Es Souk et dans la forêt de Sidi Hamza).
- Dans les Monts de Tlemcen-Sud : Les forêts claires se répartissent à l'Est, au centre et à l'Ouest de la zone (forêts de Merbeuh, Djebel Assas et Ouled Nehar-Gheraba).

II.3.3- Maquis denses

Les maquis denses occupent 20 410 hectares et représentent 12.95 % de la Superficies forestière actuelle, ils sont réparties dans les Monts de Béni Boussaid et Khemis des Monts de Tlemcen-Nord et dans les forêts des Azails situées dans les Monts de Tlemcen-Sud.

II.3.4 – Maquis claires

Les maquis denses constituent malheureusement une vaste formation, qui occupe 65 200 hectares, soit 41.39%. Ce type de maquis à une localisaon beaucoup moins précise. On le rencontre dans les forêts de Béni-Boussaid. , Hafir, Khemis et Zerdeb des Monts de Tlemcen-Nord et dans les forêts de Sebdou et de Meurbah des Monts de Tlemcen-Sud.

II.4 - PLACE DU CHENE VERT DANS LES MONTES DE TLEMCEN

Les Monts de Tlemcen correspondent à la zone forestière du chêne vert occidental (Boudy, 1952). En effet ; c'est dans la forêt de Mouley Slissen, que s'arrête l'aire d'expansion du pin d'Alep et commence la zone du chêne vert. Il constitue à ce niveau d'importants massifs allant de Sebdou à la frontière Algéo-marocainne (Letreuch, 1991). La superficie qu'il occupe dans Les Monts de Tlemcen, serait de 82 000 hectares, soit 41,1% de la superficie forestière totale de la wilaya (Berrichi,1993).

Dans la partie Est des Monts de Tlemcen, le chêne vert en formations très dégradée domine. Au Nord Ouest, il constitue des formations mixte avec le thuya. A l'Est, il forme un sous bois du pin d'Alep. Au Sud Ouest, en ambiance plus humide, Il s'associe au chêne zeen et au chêne liège. Sur le flanc Sud, il entre en contact avec la steppe à alfa.

D'un autre point de vue, comme dans de nombreuses autres régions, les peuplements forestiers de chêne vert, dans les Monts de Tlemcen sont très pauvres en raison de la dégradation anthropique très accentuée.

Le plus souvent, il s'agit d'un taillis où le pâturage s'y est exercé pendant de nombreuses années. La consistance du peuplements es très irrégulières et faible dans l'ensemble. Ce sont pour la plupart des taillis entre-ouverts et parfois largement clairiérés. Ces cépées comprennent de nombreux rejets auxquels se mêlent des drageons.

le chêne vert, à l'état pur dans les monts de Tlemcen, couvre 57 430 hectares répartis sur les localités indiquées dans le tab.03.

Tableau 03 : Localisation du chêne vert pur dans les Monts de Tlemcen

localités	Superficies (ha)	Etat
Khemis	19 495	Bon état
Ouled Nehar-Gheraba	12 100	//
Azails	8 987	Etat moyen
Beni- Boussaid	5 082	//
Sidi- Djillali	4 550	//
Titmoken	2 315	Dégradé
Kef	1 750	Bon état
Taffesra M'Ramet	1 138	Dégradé
Zedegua	500	Maquis
Bouchouk	352	Dégradé
Maaziz	282	Reboisement
Ain-Fezza	243	Maquis
Ain Ghoraba	221	Dégradé
Ain-Merdja	215	Dégradé
Sebra	155	Maquis
Total	57 430	/

B.N.E.D.E.R (1979)

Sur les 32 570 hectares restants, le chêne vert se mélange à d'autres espèces, en grande partie dégradée (tab. 04).

Tableau 04 : Formations en mélange avec chêne vert dans les Monts de Tlemcen

Espèce mélangée au chêne vert	localités	Superficies (ha)
Thuya de berberie	Sidi- Medjahed I	6 265
	Sidi- Medjahed II	2 065
	Beni-Snous	30
Chêne liège	Zarifet	1 085
	Hafir	185
Pin d'Alep et le Thuya	Merbeuh	5 074
	Zerdab	2 383
	Ain Essouk	1.245
	Chouley	1.025

B.N.E.D.E.R (1979)

Le chêne vert, se présente aussi dans les Monts de Tlemcen, sous forme de broussailles en mélange avec Thuya de berberie et le genévrier dans la forêt de Sidi- Medjahed II.

II.5 – Le climat

Nous allons tout au long de ce travail, particulièrement lors de l'étude de l'évolution des éléments microscopiques, faire appel aux paramètres climatiques anciens et récents. Les données s'étalent sur deux périodes, l'une ancienne qui s'étend sur 25 ans (1913- 1938)

extraite du climat d'Algérie de Seltzer (1946), l'autre récente depuis 1961 à 2004 qui est fournie par l'office National de la Météorologie (O.N.M). La collecte des échantillons, s'est achevée en 2005, A cet effet, on s'est limité aux données météorologiques de 2004.

Les échantillons de bois ont été prélevés de la région de « Chaabat Boualem », située au Sud de la ville de Terni « partie intégrante des monts de Tlemcen-versant Nord ». la région est délimitée par les coordonnées suivantes :

- $38^{\circ}62'45'' < \text{Latitude} < 38^{\circ}70'48'' \text{ N}$
- $1^{\circ}17'45'' > \text{Longitude} > 1^{\circ}25'22'' \text{ W}$

Nous avons utilisé les données climatiques de la station de Mefrouche, qui est la plus proche à la région d'étude. La station est à une altitude de 1100m, elle est localisée dans le barrage de Mefrouche. Sa longitude est de $1^{\circ}16' \text{ W}$, la latitude est de $38^{\circ}51' \text{ N}$

II.5.1 – Les précipitations

L'existence de la Sierra Nevada espagnole et de l'Atlas marocain qui sont à la faveur de l'Est algérien, défavorisent la tranche pluviométrique de la partie occidentale de l'Algérie. Les Monts de Tlemcen reçoivent en moyenne une tranche pluviométrique annuelle de 500 à 800 mm.

II.5.1.1 – Moyennes mensuelles

Le tab.05, donne les caractéristiques climatiques des moyennes mensuelles des précipitations de la station de Mefrouche.

Tableau 05: Caractéristiques des moyennes mensuelles des précipitations (mm)

période	J	F	M	A	M	J	Ju	A	S	O	N	D	Total
1913-1938	83.2	101	93.2	72.3	65.5	27.7	2.2	5.6	26.6	57.7	92.2	81	708.2
1961-2004	76	75.3	103	82.9	62.2	16.7	4	3.3	23.2	45.5	63.9	71.3	627.3

Seltzer (1946) et l'O.N.M(2005)

Le tab. 05, montre une variation des hauteurs pluviométriques des précipitations mensuelles moyennes, d'une période à l'autre. La période sèche qui correspond aux trois mois consécutifs ayant un minimum pluviométrique, s'étale sur Juin, Juillet et Aout, est similaire dans les deux périodes, seulement, Juin était plus pluvieux dans l'ancienne période (+40%). Par contre, la période pluvieuse est variable. Elle correspond :

- Aux trois mois consécutifs de Janvier, Février et Mars de l'ancienne période (1913 - 1938). Avec un total de 277.4 mm de pluie.
- Aux trois mois consécutifs de Janvier, Février et Mars de la période récente (1961- 2004). Avec un total de 254 mm de pluie, moins de 10 % par rapport à l'ancienne période.

La comparaison entre les deux périodes est marquée par :

- des précipitations moyennes annuelles qui ont diminué de 12 % durant la période « 1961-2004 »
- un cumul des trois mois, qui précède la période pluvieuse, où, on enregistre, une baisse de 22 % actuellement.

II.5.1.2- Régime saisonnier des précipitations

Le tab.06, présente les caractéristiques climatiques Régime saisonnier des précipitations dans la zone d'étude.

Tableau 06 : Régime saisonnier des précipitations dans la zone d'étude

Saison								Type	
Hiver		Printemps		Eté		Automne			
P. ₁ [*]	P. ₂ ^{**}	P. ₁ [*]	P. ₂ ^{**}	P. ₁ [*]	P. ₂ ^{**}	P. ₁ [*]	P. ₂ ^{**}	P. ₁ [*]	P. ₂ ^{**}
265	222.9	231	243.2	36	23.8	177	133.1	HPAE	PHAE

P.₁^{*} : ancienne période, P.₂^{**} : période actuelle.

Seltzer (1946) et l'O.N.M(2005)

Le régime de type HPAE en ancienne période, se transforme en type PHAE actuellement. La répartition saisonnière des pluies, comme l'indique le tab.06, montre que les précipitations les plus importantes, sont localisées en hiver et au printemps. Les pluies de la période récente sont tardives.

II.5.1.3-Continentalité pluviale

La continentalité pluviale, est définie comme étant la concentration estivale des précipitations. Elle est mesurée par le coefficient « C » d'Angoi, qui correspond au rapport des précipitations des six mois les plus chauds, aux précipitations des six mois les plus froids, (Daget, 1977).

Le coefficient « C » est respectivement, de 0.35 pour l'ancienne période et de 0.32 pour la période actuelle. Les deux périodes présentent une valeur de « C » inférieure à « 1 » correspondant à des climats océaniques ou méditerranéens.

II.5.2- La température

La température constitue un paramètre essentiel, de déroulement de diverses fonctions physiologiques et de détermination du climat. De nombreux auteurs reconnaissent aux facteurs thermiques, une influence certaine sur la répartition et la vie des espèces.

Alcaraz (1977) considère la valeur de « m = +1°C », comme facteur de seuil, dans la répartition du chêne vert, du pin d'Alep et du thuya.

II.5.2.1- Moyenne des maxima du mois le plus chaud « M »

Le tab. 07, donne les caractéristiques climatiques de la température moyenne maximale de la zone d'étude.

Tableau 07 : Température moyenne maximale (°C) de la zone d'étude

période	J	F	M	A	M	J	Ju	A	S	O	N	D	Moy
1913-1938	9.9	11.5	13.8	16.7	20.9	26.3	32.4	32.9	27.4	21.8	14.5	11.2	20.1
1961-2004	10.7	12.9	14.4	16.3	19.6	25.9	29.1	29.7	25.4	21.7	14	11	19.2

Seltzer (1946) et l'O.N.M(2005)

L'analyse du tab.07, montre que la période la plus chaude se situe en Aout ; elle est de 32.9°C dans l'ancienne période et de 29.7°C actuellement. Si on considère, la saison estivale comme étant les trois mois les plus chauds, on remarque que durant l'ancienne période, la saison estivale était formée de « Juillet - Aout – septembre », conforme à une situation littorale. Durant la nouvelle période, la saison estivale, s'est transformée, elle est prématurée et débute à partir de juin. Durant la nouvelle période on assiste à une saison estivale précoce « Juin – Juillet – Aout ».

II.5.2.2- Moyenne des minima du mois le plus froid « m »

Le tab.08, présente les caractéristiques climatiques température moyenne minimale de la zone d'étude.

Tableau 08: Température moyenne minimale (°C) de la zone d'étude

période	J	F	M	A	M	J	Ju	A	S	O	N	D	Moy
1913-1938	1.9	2.6	3.8	5.8	9.4	13	18.4	18.7	14.7	10.1	5.7	2.4	20.1
1961-2004	2.6	3.9	5.9	5.3	8.6	14.3	16.6	16.8	15.2	10.1	5.3	3.4	19.2

Seltzer (1946) et l'O.N.M(2005)

Le tab.08, montre que janvier est le mois le plus sévère. La période froide s'étale de Novembre-Décembre à Mars- Avril. Si on se réfère à la classification de Emberger (1939), nous pouvons dire que la zone d'étude présente une variante thermique fraîche « 0°C < m < 3°C »

II.5.2.3- température moyenne mensuelle et annuelle

Le tab.09, présente les caractéristiques climatiques température moyenne mensuelle et annuelle de la zone d'étude

Tableau09 : Température moyenne mensuelle et annuelle (°c) de la zone d'étude

période	J	F	M	A	M	J	Ju	A	S	O	N	D	Moy
1913-1938	5.9	7.1	8.8	11.2	15.2	19.6	25.4	25.8	21.1	16	10.1	6.8	14.5
1961-2004	6.7	8.5	10.6	10.9	14.3	20.2	22.5	22.9	20.4	18.9	11.7	8.9	14.7

Seltzer (1946) et l'O.N.M(2005)

Si l'on considère les variations mensuelles de la température moyenne, comme s'est indiquée dans le tab.09; Janvier reste le mois le plus froid et Aout le mois le plus chaud. Quant

à la température moyenne annuelle « T » est utilisée avec la température moyenne des minima du mois le plus froid « m », comme critère de définition des étages de végétation (Daget, 1977., Donadieu, 1977).

Pour la zone d'étude, ces deux paramètres thermiques définissent l'étage de végétation Méso-méditerranéen à variante fraîche, en raison d'un « T » des deux périodes compris entre 12°C et 16°C et de « m » des deux périodes compris entre 0°C et 3°C.

II.5.2.4 – amplitude thermique

Ce paramètre est utilisé pour mesurer la continentalité, selon la classification thermique de Debrach(1953), la zone d'étude présente une amplitude thermique « M – m » de 31 pour l'ancienne période et de 27.1 pour la présente période. Par conséquent, la zone d'étude appartient au climat semi-continental ($25^{\circ}\text{C} < M - m < 35^{\circ}\text{C}$).

II.5.2.5 – continentalité thermique

Elle correspond à la concentration estivale de la température, c'est une combinaison de continentalité pluviale et thermique. D'après Daget (1977), la zone d'étude se rattachera au climat méditerranéen semi-continental, moyennement contrasté.

II.5.3 – synthèse climatique

La synthèse des climatiques permet de connaître la répartition et le comportement des différentes associations végétales et animales.

II.5.3.1 – indice de sécheresse estivale

Afin caractériser le climat méditerranéen, cet indice est utilisé en complément du régime pluviométrique. Il est exprimé par le rapport de la pluviosité estivale « PE » à la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M ».

Tableau10 : Indice de sécheresse « is » estivale de la zone d'étude

période	PE (mm)	M (°C)	Is
1913-1938	33.9	32.9	1.03
1961-2004	24	29.7	0.81

Seltzer (1946) et l'O.N.M(2005)

Pour mieux distinguer le climat méditerranéen du climat océanique, selon Daget(1977) l'indice de sécheresse estivale ne doit pas dépasser « 5 ». Le tab. 10, montre que la zone d'étude se caractérise par une sécheresse estivale bien marquée.

II.5.3.2 – diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) permet de calculer, la durée de la saison sèche sur une seule représentation graphique. A cet effet, les auteurs ont confronté la courbe des pluies (courbe ombrique) à la courbe des températures (courbe thermique) pour en déduire Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.

L'examen de la fig. 02, montre que pour la zone d'étude de Terni la séquence sèche est bien précisée, qu'il s'agit de la période ancienne ou récente. Cette période s'étale sur 4 mois de Juin à Septembre.

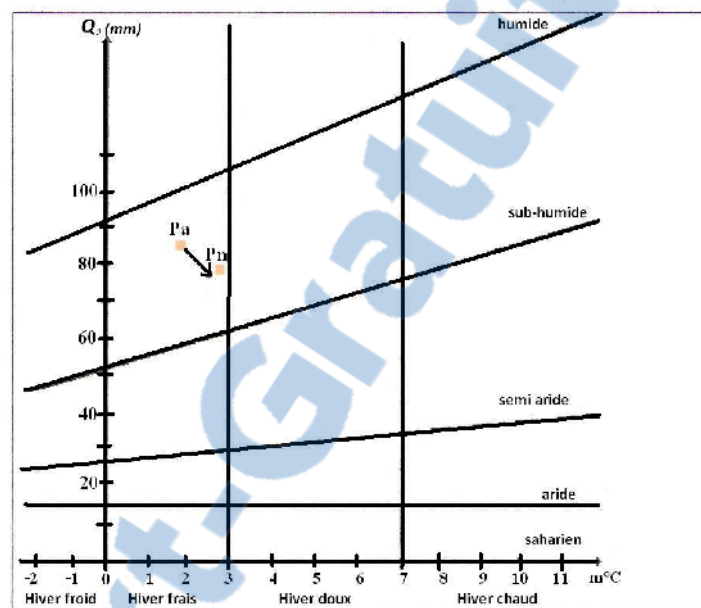


Figure 02 : Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger de la zone d'étude

III.5.3-Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Bagnouls et Gaussen (1953) ont défini comme mois sec, celui où la somme des précipitations moyennes exprimées en (mm) est inférieure au double de la température moyenne de ce mois ($P < 2T$).

Ils proposent un modèle de représentation graphique où ils juxtaposent les températures et les précipitations. La sécheresse se manifeste alors lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous de cette dernière (fig.03).

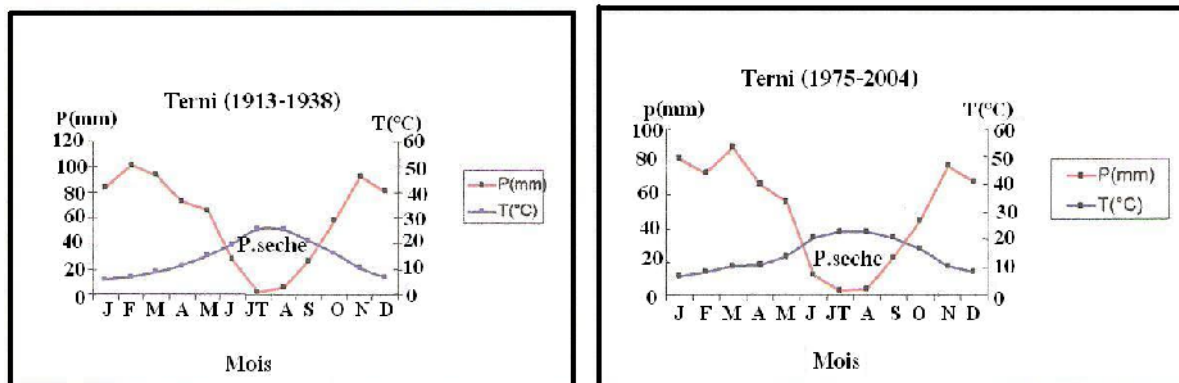


Figure 03: Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1953)

II.5.3.3 – quotient pluviométrique et climagramme d’Emberger

Cet indice est le plus fréquemment utilisé pour caractériser le bioclimat méditerranéen et notamment en Afrique du Nord. Le quotient pluviométrique « Q_2 » est déterminé par la formule établie par Emberger.

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

- P : moyenne des précipitations annuelles (mm)
- M : moyenne des maxima du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.2$)
- m : moyenne des minima du mois le plus froid ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.2$)

Dans la fig.02, nous avons placé, la zone d’étude dans le climagramme d’Emberger, selon les valeurs de « Q_2 » et de « m » calculées pour chaque période.

Tableau 11 : Situation climatique de zone d’étude.

Période	P (mm)	M ($^{\circ}\text{C}$)	m($^{\circ}\text{C}$)	Q_2	Etage bioclimatique
1913-1938	708.5	32.9	1.9	84.3	Sub-humide moyen à hiver frais
1961-2004	625.5	29.7	2.6	79.7	Sub- humide inferieur à hiver frais

Seltzer (1946) et l’O.N.M(2005)

Le tab.11, de la situation climatique de la zone d’étude, place la zone d’étude dans l’étage bioclimatique Sub-humide à hiver frais, toutefois, on remarque que la période récente, passe au sous- étage inferieur par rapport à l’ancienne période qui était moyen.

II.6- conclusion.

Cette étude climatique de la zone d’étude de Terni, met en évidence un climat de type méditerranéen, semi continental moyennement contrasté. La température moyenne annuelle et la température moyenne des minima du mois le plus froid définissent l’appartenance de la zone d’étude à l’étage de végétation Mésoméditerranéen à variante

fraiche. Mis à part le sous- étage qui passe du moyen à inférieur, le climagramme d'EMBERGER définit un étage bioclimatique Sub-humide à variante thermique fraîche.

Une première lecture des données météorologiques, nous indique une baisse de pluviométrie de 10% et surtout une hausse de 30 % dans la température moyenne minimale de la zone d'étude. Ce changement est, est déjà signalé par de nombreux auteurs pour la région occidentale de l'Algérie. (Benabadji et al., 2000 ; Quezel, 2000 ; Bouazza et al., 2001).

Nous savons que plusieurs écoles s'affrontent en matière climatique et que certains paramètres ne sont plus d'actualités. C'est toute la question du changement climatique qui est posé (Benabdeli, 1996) où c'est la végétation qui est déterminante. Nous avons voulu volontairement du moins à titre indicatif étudié le climat de la zone où nous avons effectué les prélèvements.

CHAPITRE III

CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES DU PLAN LIGNEUX DU CHENE VERT

Le bois est une matière organisée, formée par la juxtaposition des cellules ou fibres, celles-ci naissent de divisions multiples se produisant dans l'arbre, au niveau de l'assise génératrice ou cambium situé sous l'écorce. L'assise génératrice est une couche de cellules du méristème, capable de se multiplier et de s'accroître. Elle fonctionne, essentiellement vers l'intérieur et dans la direction radiale. En période d'activité, la circonférence de la tige augmente, et en conséquence l'assise génératrice est obligée de s'étendre en surface, par division cellulaires dans le sens tangentiel (Venet, 1986).

Le résultat du fonctionnement de l'assise génératrice cambiale apparaît nettement en examinant la section transversale d'une tige à structure secondaire, en particulier le fonctionnement radial, centripète, ayant donné naissance au bois. Au printemps, au début de la période de végétation circule l'eau et les matières nutritives, il se forme alors des tissus lâches, riches en éléments conducteurs par lesquels se fait la montée de la sève. Ces tissus constituent le bois de printemps ou le bois initial. Dans les mois qui suivent ce sont les tissus les plus serrés, les plus denses et les plus fibreux, qui constituent le bois d'été ou bois final. Lorsque l'automne arrive, puis l'hiver, l'arbre passe une période de repos, la croissance en diamètre s'arrête. Elle reprendra au printemps suivant, par une nouvelle formation du bois initial qui tranchera nettement sur le bois final de l'année précédente (Campredon, 1980).

Chez les feuillus, les vaisseaux qui se forment au printemps sont plus larges (le bois est plus clair) pour permettre la montée de la sève; à l'automne, les vaisseaux sont plus étroits et les fibres plus nombreuses (le bois est plus sombre). Cette alternance de zones claires et sombres forme les cernes annuels (Popov, 1980)

III.1 -DEFINITION

Il existe plusieurs définitions du bois; Prat (2004) le définit, comme un matériau obtenu à partir du tronc et des branches des arbres et qu'il possède des propriétés chimiques, physiques et mécaniques. Pour les biologistes, le bois est le xylème qui assure la conduction de la sève brute chez les plantes ligneuses. D'autres auteurs le considèrent comme un ensemble de tissus composé de fibres, de vaisseaux, de parenchyme et de trachéides.

Selon Detienne (1988), le bois est un ensemble de tissu de consistance plus ou moins dur formant la masse principale du tronc des arbres. C'est un matériau organisé et hétérogène dont la formation s'est étendue sur de nombreuses années. D'après Keller (1994), le bois est un ensemble de tissus d'origine secondaire à parois lignifiées, résultant du fonctionnement vers l'intérieur de l'assise génératrice cambiale.

III.2- STRUCTURE ANATOMIQUE DU BOIS DE CHENE

Les arbres sont constitués de différent type de cellules qui sont assemblés dans le bois et l'écorce suivant une véritable architecture, dont le plan diffère d'une essence à l'autre, ce qui confère à chaque espèce des propriétés différentes (Detienne, 1988).

III.2.1- La macrostructure

Le bois forme l'essentiel du tronc et des branches, il est constitué de deux parties concentriques plus ou moins distinctes, qui sont l'aubier et le duramen. La largeur des accroissements indique la vitesse de croissance plus ou moins distinctes suivant les essences et les conditions de croissance. Le bois formé au début d'année de végétation, plus ou moins foncé, correspond au bois final ou bois d'été.

III.2.2-La microstructure

La masse du bois des chênes comporte quatre types de cellules, ce qui donne une structure complexe (Campredon, 1980).

III.2.2.1-La structure de la paroi

Selon Deenne (1988) , Lors de la genèse des cellules par division, une couche mitoyenne de nature pectique se forme, puis le protoplasme des cellules sécrète une paroi primaire de cellulose de part et d'autre de cette couche mitoyenne. L'ensemble formé par les deux parois primaires et la couche mitoyenne est souvent appelée lamelle mitoyenne. Par la suite, à la différenciation de la cellule, apparaît la paroi secondaire, mince, épaisse ou très épaisse, composée de trois couches successives:

- La couche externe « S1 » : de 1000 à 2000 Å d'épaisseur, elle serait elle-même composée de trois à quatre couches dont les microfibrilles disposées en hélice, se croiseraient d'une couche à une autre.
- La couche moyenne « S2 » : est la plus épaisse, c'est elle qui est responsable de la variation de l'épaisseur de la paroi. Cette couche est elle-même formée de nombreuses couches.
- La couche interne « S3 » : est la plus interne des trois couches, elle est très mince. Certains auteurs ont tendance à la considérer comme paroi tertiaire.
-

III.2.2.2 - Les ponctuations

Ce sont des ouvertures minuscules dans la paroi, faisant communiquer des cellules adjacentes. Quand deux ponctuations se correspondent dans les parois de deux cellules voisines, l'ensemble devrait être appelé un couple de ponctuations. Le terme de ponctuation désigne la dépression dans la paroi d'une cellule mais peut être utilisé, à la rigueur, pour désigner un couple de ponctuations complémentaires de même nature ; il doit être évité, cependant, lorsque les deux ponctuations du couple sont de types différents.

Les ponctuations des cellules ligneuses peuvent se présenter sous des aspects divers, mais elles auront toujours deux composantes essentielles: la cavité de la ponctuation et la membrane de la ponctuation. La cavité est l'espace compris à l'intérieur de la ponctuation depuis la membrane jusqu'à la lumière de la cellule; c'est en fait un trou à travers la paroi secondaire. La membrane et la lamelle moyenne (paroi primaire plus couche mitoyenne) qui ferme extérieurement la ponctuation.

Les ponctuations sont divisées en deux grands types :

- La ponctuation simple : c'est une ponctuation dont la cavité a un diamètre constant, de la membrane jusqu'à son orifice.
- La ponctuation aréolée : c'est une ponctuation dont la cavité est plus large au niveau de la membrane qu'à l'orifice. L'élargissement de cette cavité s'appelle chambre de la ponctuation. L'orifice du canal peut avoir le même diamètre que ce canal ou peut être étiré.

Ces deux types de ponctuations, peuvent être associés et présentent des aspects particuliers:

- Lorsqu'une ponctuation simple d'une cellule fait face à une ponctuation aréolée de la cellule voisine, l'ensemble est appelé « ensemble de ponctuation semi-aréolé ».
- Lorsqu'une ponctuation n'a pas de correspondante dans la paroi de la cellule voisine, elle est dite « ponctuation borgne ».

III.2.2.3- Les vaisseaux

Les vaisseaux constituent le système de conduction de la sève brute; ils sont d'aspect et de dimension très variés (Huber, 1935 ., Zimmermann, 1983 & Gartner, 1995). Les vaisseaux communiquent entre eux par des perforations.

Les vaisseaux sont groupés en 1 à 5 rangées au début du cerne dans le bois initial (Sachse, 1984 ; Collardet & Besset, 1992), leur diamètre tangentiel peut atteindre 400 µm (Grosser, 1977; Fengel & Wegener, 1989); voire 500 µm (Jacquot et al ., 1973). Les gros vaisseaux sont généralement au bout de quelques années obstrués par des thylles à parois minces (Jacquot et al ., 1973) et les petits ont souvent une disposition spécifique due à leur localisation et organisation en plages ou en flammes radiales (Bakour, 2003).

Granier et al.,(1994) ont montré que les petits vaisseaux du bois final peuvent fonctionner plusieurs années et certains gros vaisseaux des cerne les plus extérieurs peuvent même redevenir fonctionnels. La perte de conductivité s'accompagne généralement par l'obstruction progressive des vaisseaux par les thylles (Vansteenkiste & Breda, 2002).

III.2.2.4-Les fibres

Ce sont des éléments diversement ponctués, plus long que les autres éléments, et aux extrémités effilées, ils jouent un rôle essentiel de soutien et de conduction (Detienne, 1988). Leur paroi peut être épaisse, elle confère alors au bois une grande solidité: c'est le bois dur. Si elle est mince, le bois est tendre: c'est le bois appelé « bois blanc » (Venet, 1986).

III.2.2.5- Le parenchyme longitudinal

C'est un tissu qui peut accumuler les réserves, les restituer et les transformer; il joue un rôle essentiel dans le processus de duraminisation qui fait passer le bois de son rôle fonctionnel (aubier) à son état inerte de bois parfait (duramen) (Keller, 1994).

Dans le bois final, il est disposé de manière dite « apotrachéale » En section transversale, les cellules sont isolées ou dispersées ou en chaînettes ou encore forment des couches tangentielles larges d'une à deux cellules entre les rayons (Casperson, 1967 ; Venet, 1974 ; Carlquist, 1988 ; Detienne, 1988).

Dans le bois initial, on trouve fréquemment du parenchyme « paratrachéal » associé aux vaisseaux (Schweingruber, 1978 ; Detienne, 1988).

III.2.2.6-Les rayons ligneux

Les rayons ligneux sont des cellules de réserve à parois épaisses et lignifiées, qui accompagnent le tissu vasculaire. Ces cellules participent en outre à la fonction de soutien, leur orientation est transversale et rayonnante en partant de l'axe longitudinal de l'arbre (Venet, 1974). La hauteur et la largeur sont particulièrement visibles en section tangentielle et la longueur en section radiale. En section transversale, les rayons ligneux se présentent sous forme de lignes radiales (Bakour, 2003).

Tableau 12: Contribution des principaux types cellulaires constituant le plan ligneux de chêne à différentes propriétés du bois

Types cellulaires du bois de chêne		Localisation dans le cerne	Rôle dans l'arbre
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.
fibres		- en plages dans le bois final.	-soutien. -résistance mécanique. -maintien de la verticalité des tiges et de l'angle des branches. -cellules à parois épaisses.
parenchymes	longitudinal	Diffus, tangentiel, ou associé aux vaisseaux.	-biochimique. -rôle important dans la duraminisation.
	radial	Rayons ligneux unisériés, bisériés et multisériés	-biochimique. -rôle dans la duraminisation. -la conduction radiale.

Feullat et al., (1998)

III.3- PLAN LIGNEUX DU BOIS DU CHENE VERT

III.3.1- Définition

Le plan ligneux est défini comme étant l'ensemble des caractères de structure du bois tenant à la nature, à la forme et au groupement des cellules constitutives et il est précisé que ces caractères sont constants pour une essence déterminée (Detienne, 1988).

III.3.2 - Etude du plan ligneux

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 physiques, mécaniques et technologiques (Bakour, 2003). Donc pour comprendre la structure du bois, il est recommandé de l'étudier à l'aide de ces trois coupes perpendiculaires (fig.04).

III.3.2.1- Section transversale

C'est la section perpendiculaire à l'axe de la tige, D'après (Venet, 1986) l'étude macroscopique d'une section transversale met en relief les caractères suivants:

- Présence, régularité, largeur et composition des couches d'accroissement.
- Dimension, forme, importance et nature des rayons ligneux.

- Densité, importance et localisation des vaisseaux.
- Importance et localisation du parenchyme.
- Distinction éventuelle entre l'aubier et le duramen.
- Couleur, odeur, dureté du bois.
- Présence éventuelle de certaines anomalies telles que ; les fentes, excentricité ...

L'étude microscopique des bois feuillus, permet de reconnaître les caractères suivants:

- Répartition, disposition, diamètre et densité des pores des vaisseaux.
- Nature et distribution des parenchymes.
- Présence de fibres vasculaire et de thylles...

III.3.2.2 - Section radiale

La section radiale est orientée de la moelle à l'écorce, suivant les rayons du bois. L'étude macroscopique section radiale, permet de distinguer :

- La hauteur et la structure des rayons qui apparaissent sous forme de stries perpendiculaires aux vaisseaux (champ de croisement).
- L'aspect des divers tissus tels que ; les gros vaisseaux verticaux du bois de printemps des différentes cernes qui apparaissent nettement.

L'étude microscopique de la section radiale, permet de distinguer les fibres et les vaisseaux verticaux et en plus de nombreuses ponctuations qui relient les différents éléments verticaux.

III.3.2.3 - Section tangentielle

La section tangentielle est une section perpendiculaire à la section radiale, elle se trouve tangentielle aux couches d'accroissement. L'étude macroscopique de la section tangentielle fait ressortir les éléments suivants :

- Aspect des rayons et leurs tailles.
- Présence et aspect des vaisseaux et des fibres.

L'*étude microscopique* de La section tangentielle, permet de reconnaître un certains nombre de caractères nécessaires à la détermination d'un bois, en particulier :

- Présence des fibres verticales.
- Présence et nature des rayons, dont il est possible d'apprécier leurs hauteurs, leurs grandeurs et leurs dispositions.
- Présence des vaisseaux, avec la possibilité de déterminer leurs longueurs et grandeurs.

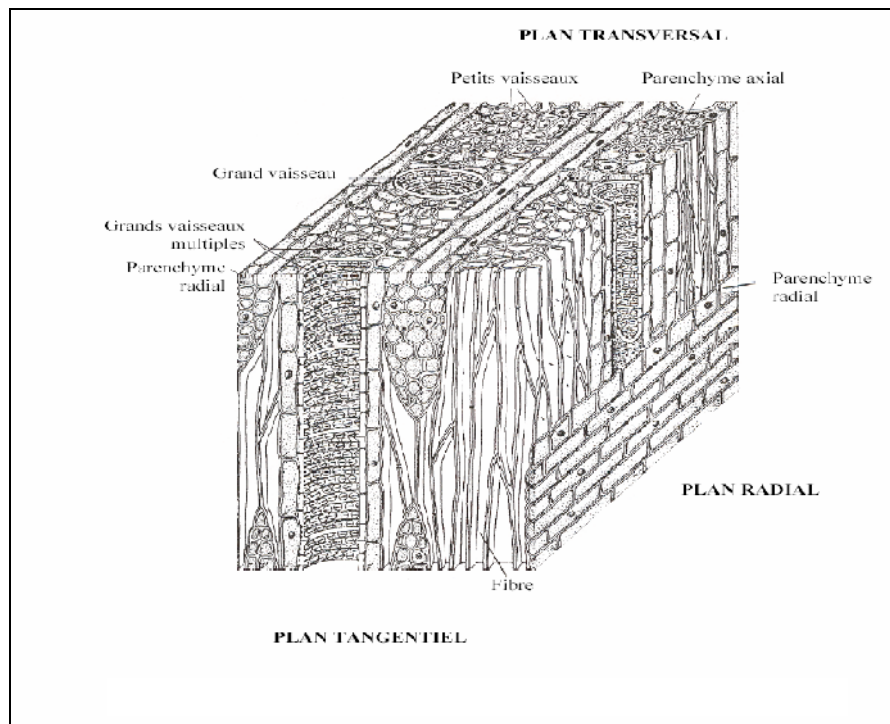


Figure 04: Structure tridimensionnelle générale des feuillus. Fahn (1990)

III.4 - OBJECTIF DE L'ETUDE DES CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES

Notre objectif, consiste à identifier, du point de vue anatomique, le bois du chêne vert, récolté de la forêt de Terni, partie intégrante des Monts de Tlemcen de l'ouest algérien, et de le rapprochement des caractères anatomiques à certaines propriétés qui lui sont liées. A cet effet, l'échantillonnage qui doit concevoir quatre niveaux :

- Echantillonnage des arbres de prélèvement en fonction de l'aire phytogéographique de l'espèce.
- Echantillonnage des arbres dans la zone choisie.
- Echantillonnage des endroits de prélèvement dans la rondelle.
- Echantillonnage des plages d'observation dans la coupe microscopique.

A cet effet, chaque paramètre anatomique mesuré, représente diverses situations intrinsèques et extrinsèques de variabilité du plan ligneux, principalement :

- La position radiale de l'échantillon dans le bois ou âge de l'arbre.
- Les conditions de croissance.
- Les différentes expositions du bois dans l'arbre.

La démarche nécessite :

- La récolte des échantillons selon les niveaux d'échantillonnage cités.
- La préparation des coupes minces selon les trois modes classiques d'observation.
- L'observation de certains caractères au microscope.
- Mesure des dimensions de certains caractères.
- Mesure des éléments liés au vaisseau et à la fibre.

- Comparaison des résultats avec les normes de classification.
- Traitements statistiques des données.

III.4.1 -Matériels d'étude

III.4.1.1 - Matériel végétal

Le travail porte sur l'étude du bois de *Quercus rotundifolia* lamk. A cet effet, il a été prélevé, à partir de quatre arbres et à une hauteur de 0.8m quatre rondelles de bois de 5cm d'épaisseur. Le tab.13, présente les caractéristiques dendrométriques des arbres échantillons.

Tableau 13 : Caractéristiques dendrométriques des arbres échantillons

caractéristiques	Arbre 1	Arbre 2	Arbre 3	Arbre 4
Hauteur (m)	5.50	3.60	4.20	4.30
Diamètre à 1.30m (cm)	19	9.5	14.5	10.2

Au laboratoire et après polissage des quatre rondelles et la vérification de la position centrale de la moelle ainsi que le comptage des couches annuelles, deux types de réglettes ont été sciées, le premier type dans le sens radial et en exposition Nord, le second type selon les directions Est-Ouest et Nord-Sud. Le tab.14 présente les principales caractéristiques des rondelles choisies et l'endroit des blocs de bois échantillons.

Tableau 14 : Caractéristiques de rondelles et des blocs de bois échantillons des arbres

caractéristiques	Rondelle « 1 »	Rondelle « 2 »	Rondelle « 3 »	Rondelle « 4 »
Nombre de cerne	86	34	39	29
Echantillon (zone & orientation)	Zone interne: 15-19 Zone externe : 56-60	15-19	Zone interne: 15-19 Zone externe : 28-32	Nord : 15-19 Sud : 15-19 Est : 15-19 Ouest : 15-19

N.B : Dans les zones arrêtées, des blocs de bois ont été prélevés dans le duramen, entre le bois juvénile et l'aubier.

III.4.1.2 - Matériel technique

- La loupe à main : elle est constituée en principe par une lentille convergente à travers laquelle se réfracte la lumière renvoyée par un objet. Elle visualise l'image sous un plus grand angle que l'œil nu. (c'est un instrument d'analyse macroscopique).
- Le micromètre: le microscope est doté d'un micromètre oculaire gradué en 100 divisions, chaque division correspond à 10µm à l'objectif 10. il permet de mesurer la longueur, la largeur et l'épaisseur des éléments ligneux (rayons, vaisseaux et fibres).
- Film gradué transparent : il comprend à gauche un cercle d'une surface de 2mm², à droite des traits d'épaisseur croissante de 1 à 4 dixièmes de millimètres, donnant des largeurs de 100 ,200 ,300 et 400 microns avec une longueur de 5 mm avec deux espaces blancs encadrés par trois tirés millimétriques.
- Le microtome : le microtome utilisé est un microtome à chariot. Le couteau est fixé et l'objet est mobile. Le porte objet glisse perpendiculairement sur le couteau. L'angle d'attaque est en fonction de la nature du bois et la section à réaliser, ainsi, L'inclinaison que le couteau forme avec la surface de la section doit être plus grande pour les bois durs (15°) que pour les bois tendres. L'épaisseur de la coupe peut être réglée 0° à 40°, dont chaque degré correspond à un (01) micron, l'épaisseur de la coupe est réglable de 0 et 40 µm.

III.4.2 -Méthodes d'investigation

III.4.2.1- Préparation des coupes microscopiques

Le but de ces coupes microscopiques est l'étude des trois coupes du bois ; tangentielle, radiale et transversale.

III.4.2.1.1 - Les petits blocs

Pour une bonne fixation sur le porte objet du microtome, des petits blocs d'une forme parallélépipédique (Longueur = 9mm, largeur = 7mm, hauteur = 15mm) ont été préparés à partir des différentes zones d'observations. La préparation des blocs doit être réalisée convenablement, selon les trois directions d'observations (tangentielle, radiale et transversale).

III.4.2.1.2- Ramollissement des petits blocs

Le ramollissement consiste à faire bouillir les petits blocs dans l'eau distillée de préférence pendant 3 à 21 jours. Le chauffage est arrêté jusqu'à ce que les blocs soient complètement imprégnés d'eau, c'est-à-dire qu'ils tombent au fond du vase. C'est à ce moment, qu'il faut les sortir et procéder à l'exécution des coupes.

III.4.2.2-Réalisation des coupes

La réalisation des coupes au microtome, est nécessaire à toute observation qualitative ou descriptive de l'anatomie du bois. L'inclinaison que le couteau de microtome forme avec la surface de la section doit être plus grande pour les bois durs (15°) que pour les bois tendres (8°). L'épaisseur optimale des coupes varie comme suit :

- Coupe transversale : en moyenne 15µm.

- Coupe radiale et tangentielle : 15 - 20µm.

III.4.2.3- Procédé de traitement des coupes

Cette opération se fait selon un ordre préalablement arrêté:

- Passage dans l'eau de javel à 10 %, pendant 10 à 15 minutes, puis on procède à un rinçage à l'eau courante jusqu'à la disparition de l'odeur de javel.
- La déshydratation qui consiste à faire chasser l'eau imprégnée dans les coupes ; par passage dans des séries d'alcools et de xylols, pour permettre à la coupe de bien recevoir la résine synthétique dans les meilleures conditions et d'éviter la formation de bulles d'air. Cette opération est effectuée en deux étapes (Huynh, 1981) :

- Première étape : Passage dans la série d'alcool

Concentrations en % / l'eau	Durée (mn)
Alcool à 50%	30 minutes
Alcool à 75%	30 minutes
Alcool à 94%	30 minutes
Alcool à 100%	60 minutes

- Deuxième étape: Passage dans la série de xylol

Concentrations en % / l'eau	Durée (mn)
Xylol à 50%	30 minutes
Xylol à 75 %	30 minutes
Xylol à 94 %	60 minutes
Xylol à 100%	60 minutes

- Coloration des coupes: les coupes sont introduites dans le bleu de méthylène, durant 10 minutes pour mettre en évidence les différents éléments anatomiques.
- Un lavage abondant par l'eau.

III.4.2.4 – Montage de coupes

Pour le montage, on utilise la technique décrite par Huynh (1981), en raison de sa simplicité et la disponibilité des produits; c'est le montage à la résine synthétique.

III.4.2.4.1 - Composition de la solution de montage

- 50 gr de la résine synthétique.
- 50 ml de xylol.

III.4.2.4.2 - Opération de montage

Après être parfaitement déshydratées, les coupes sont montées dans la solution de montage (résine synthétique + xylol) de la façon suivante:

- On prélève une goutte de la solution à l'aide de la pipette et on la dépose sur la lame.

- On étale la préparation sur cette goutte.
- On ajoute une deuxième goutte de la solution sur la préparation.
- On couvre doucement la préparation par la lamelle tout en évitant la formation des bulles d'air.
- La coupe ainsi préparée est mise à l'étuve à 50°C pendant 4 à 5 jours.

III.4.2.5 - La macération

Elle consiste à dissocier les cellules du bois par la dissolution des matières pectiques de la lamelle moyenne par des substances chimiques, sans dégrader la forme des éléments du bois (Huynh, 1981). Il est nécessaire de procéder à des macérations lorsqu'on désire mesurer la longueur des trachéides, des fibres et les éléments des vaisseaux. Les éléments de bois à macérer ayant la forme d'allumettes, de dimensions approximatives (Longueur = 25mm, largeur = 1,5mm). Pour ce procédé, on utilise l'acide acétique et l'eau oxygénée (Huynh 1981).

III.4.2.5.1 - Composition du réactif à utiliser

- 40ml d'acide acétique pur 90% à 100%
- 30ml d'eau oxygéné à volumes (30% en poids H₂O₂).
- 30ml d'eau distillée.

III.4.2.5.2 - Opération de macération

elle s'effectue en vue d'obtenir, des éléments parfaitement isolés et très purs. Cette opération se déroule en plusieurs phases :

- On introduit les fragments préparés précédemment dans un vase de pyrex de 250ml.
- On verse la solution dans le vase et on agite doucement.
- On chauffe jusqu'à ce que les fragments deviennent transparents.
- Après l'obtention des fragments transparents, le réactif est remplacé par l'eau distillée.
- On désintègre le produit par un agitateur mécanique, puis on lave abondamment à l'eau et on filtre sur un filtre mécanique.

Le montage des éléments isolés se fait à la résine synthétique.

III.4.2.6 - Méthodes des mesures

III.4.2.6.1 - Echantillonnage

les mesures ont été effectuées, en différents points des meilleures coupes sélectionnées. Les mesures de chaque paramètre de chacune des zones, sont répertoriées sur 4 secteurs de chacune des coupes. Chaque caractère a fait l'objet d'un certain nombre de mesures indiquées dans le tab.15.

Tableau 15 : Répartition des mesures sur les zones des rondelles de bois

Caractère anatomique	Mesures	
- Diamètre des pores du bois initial	540	tab.01 (a), (b), (c) & (d) de l'annexe.
- Diamètre des pores du bois final	540	tab.01 (a), (b), (c) & (d) de l'annexe.
- longueur des vaisseaux	450	tab.02 (a) & (b) de l'annexe.
- Nombre de vaisseaux / mm ²	450	tab.03 (a) & (b) de l'annexe.
- Hauteur du rayon ligneux unisériel	450	tab.04 (a), (b), (c)&(d) de l'annexe.
- Hauteur du rayon ligneux multisériés	450	tab.04 (a), (b), (c)&(d) de l'annexe.
- Largeur du rayon ligneux unisériel	450	tab.05 (a), (b), (c)&(d) de l'annexe.
- Largeur du rayon ligneux multisériés	450	tab.05 (a), (b), (c)&(d) de l'annexe.
- Nombre de rayon / mm	450	tab.06 (a) & (b) de l'annexe.
- Longueur des fibres	450	tab.07 (a), (b), (c)&(d) de l'annexe.
- largeur des fibres	324	tab.07 (a), (b), (c)&(d) de l'annexe.
- Epaisseur de la paroi des fibres	324	tab.07 (a), (b), (c)&(d) de l'annexe.

III.4.2.6.2- mensuration des éléments vasculaires

Les éléments vasculaires transcrivent tout ce qui relève des vaisseaux ; à savoir :

▪ Nombre de vaisseaux par mm²

Le nombre de vaisseaux par mm², s'effectue par un comptage des vaisseaux en section transversale. L'opération, se déroule à l'objectif « 10 », qui correspondent à 2 mm², par la suite, pour obtenir Le nombre de vaisseaux par mm², on divise le résultat par « 2 ».

▪ Longueur des vaisseaux

La mesure de la longueur des vaisseaux, est effectuée à l'objectif «10 » sur des vaisseaux isolés par macération. De chaque lame ou observation, dix vaisseaux ont été mesurés, ceci correspond à un nombre de répéon de 50 mesures par zones de chacune des rondelles de bois des quatre arbres échantillonnés.

▪ Grandeur des vaisseaux

La grandeur ou le diamètre radial des vaisseaux est mesurée, en section transversale par l'objectif « 10 » pour les gros vaisseaux du bois initial. Les petits vaisseaux du bois final, sont mesurés à l'objectif « 40 ». Les « 60 » mesures sont effectuées dans quatre endroits différents de la coupe transversale de chacune des zones de chaque rondelle.

III.4.2.6.3 – Mensuration des Rayons ligneux

La hauteur et la largeur des rayons ligneux unisériel et multisériés, ont été mesurées en section tangentielle. Le nombre de rayons par mm est compté en section tangentielle par un film gradué transparent.

III.4.2.6.4 - Mensuration des fibres

La longueur, la largeur et l'épaisseur de la paroi des fibres isolés par macération, ont été mesurés à l'objectif « 10 ».

III.4.3 - Modèle d'analyse des bois feuillus

Il s'agit d'un modèle conçu et inspiré de la littérature (Venet, 1986., Detienne 1988 & Normand 1998). Dans ce modèle, les caractères descriptifs et quantitatifs sont analysés séparément.

III.4.3.1-Etude macroscopique

- Couche d'accroissement annuel : présence, régularité, largeur et composition.
- Distinction entre l'aubier et le duramen.
- Rayons ligneux : dimension, forme, densité et nature.
- Couleur, odeur et dureté du bois
- Présence éventuelle de certaines anomalies ; excentricité du cœur, fentes...

III.4.3.2 - Etude microscopique

III.4.3.2.1 –Vaisseaux

Les caractères descriptifs relatifs aux vaisseaux des trois coupes d'observation du bois, sont :

- Nature des pores : bois à zone poreuse, bois à zone semi poreuse ou bois à pores diffus.
- Disposition des pores : ulmiforme, en files ou en plages radiales, en flammes, isolés ou accolés radialement.
- Nature des ponctuations (aréolées, simples).
- Disposition des ponctuations : étagées, dispersées, serrées, en files alternées, en tamis ou en rangés horizontales.
- Types des perforations : uniques, scalariformes, foraminés ou en réseaux.
- Présence ou absence des épaississements spiralés.
- Présence ou absence des thylles.

Tableau 16: Classes de qualification anatomique des bois feuillus

Diamètre pores « µm »	Classe « µm »	<50	50 -100	100 - 200	200 - 300	>300
	Qualification	Très fins	Fin	Moyens	Gros	Très gros
Longueur vaisseaux « µm »	Classe « µm »	<350		350-800		>800
	Qualification	Courts		Moyens		longs
Densité de vaisseaux par mm ²	Classe	<2	2 – 6	6 -20	> 20	
	Qualification	Très rares	Rares	Moyens	Nombreux	
Hauteur rayons « µm »	Classe « µm »	<500	500 -1000	1000 – 3000	> 3000	
	Qualification	Très petits	Petits	Moyens	Grands	
Largeur rayons « µm »	Classe « µm »	<25	25 -50	50 -100	>100	
	Qualification	Très étroits	Etroits	Moyens	Larges	
Nombre de rayons par mm	Classe	<4	4 – 10	10 – 15	> 15	
	Qualification	Rares	Moyens	Nombreux	Très nombreux	
Longueur fibres « µm »	Classe « µm »	0 – 700	700 -900	900 – 1600	1600 – 2200	>2200
	Qualification	Très courtes	Courtes	Moyennes	Longues	Très longues
Largeur fibres « µm »	Classe « µm »	0 – 24		24 – 40		> 40
	Qualification	Etroites		Moyennes		Larges
Epaisseur de la paroi fibres « µm »	Classe « µm »	< 5		5-10		> 10
	Qualification	Minces		Moyennes		Epaisses

Normand (1998)

Le tab.16, représente une synthèse quantitative des mensurations anatomiques, réalisées à partir des trois modes d'observations du plan ligneux.

En ce qui concerne les parenchymes, on distingue deux catégories de parenchyme ; le premier « apotrachéal », est indépendant des vaisseaux, le second « paratrachéal », est associé aux vaisseaux.

- Parenchyme apotrachéal: à cellules isolées et dispersées, en chaînettes ou en lignes, en lignes terminales, en réseau ou en bandes épaisses.
- Parenchyme paratrachéal : en manchons, en losanges, aliformes ou en bandes confluentes.

III.5 - RESULTATS ET INTERPRETATIONS

En macroscopie, les résultats et leurs interprétations portent sur l'observation des paramètres de l'ensemble des arbres consentis dans le tab.13 (cf. III.4.1.1). En ce qui concerne la microscopie, l'analyse des résultats traite dans un premier temps, de la description et de la quantification des éléments du plan ligneux dans leur diversité et par là suite tente d'apporter certaines hypothèses sur l'évolution des éléments du bois, en fonction de l'âge et en fonction des conditions de croissances

- Pour l'influence de l'âge : la zone interne et la zone externe des rondelles prélevées de l'arbre « 1 » et de l'arbre « 3 ».
- Pour l'influence des conditions de croissance, la zone interne de la rondelle de l'arbre « 1 » et la rondelle de l'arbre « 2 » et les quartes rondelles de l'arbre « 4 », pour l'influence des différentes expositions sur le plan ligneux.

III.5.1- Etude macroscopique

Les principales caractéristiques macroscopiques sont reprises dans les tableaux suivants :

Tableau 17: Caractéristiques macroscopiques du bois de chêne vert

Critères	Caractères
Couches d'accroissement	-Elles sont difficilement apparentes. -Le contour des cernes est plus ou moins circulaire. -Les cernes sont plus ou moins larges au centre, étroites à la périphérie. -Aubier et duramen peu distincts.
Rayons ligneux	-Ils sont moins réguliers. -Ils sont visibles à l'œil nu. -Ils sont nombreux.
Propriétés organoleptiques	-le bois du chêne vert est très dur. -L'odeur du bois est faible. -Couleur du bois brun rosâtre.
Anomalies	-Le bois comporte des fentes.

III.5.2-Etude microscopique

III.5.2.1- caractères descriptifs

▪ *La nature des pores*

Le bois initial du chêne vert, présente une à deux rangées de pores de taille relativement plus grosse que celles du bois final (fig. 05 et fig. 06). A cet effet, les pores sont de nature « *semi poreuse* ».

▪ *La disposition des pores*

Les pores sont isolés, ovales ou ronds, alignés en deux files radiales, parfois regroupés en flammes (fig. 05 et la fig. 06). Mais dans la tendance générale, les pores sont regroupés en file radiale dans la zone interne et s'isolent complètement en zone externe.

▪ *La disposition des ponctuations*

Les ponctuations sont dispersées, disposées en rangées horizontales (fig. 08).

▪ **Le Parenchyme**

L'observation de la fig. 05 et la fig. 06 de la coupe transversale, révèle l'existence de deux types, de parenchymes :

- Le parenchyme apotrachéal à cellules isolées et dispersées, parfois disposées en chaînettes.
- Le parenchyme paratrachéal en bandes confluentes et circumvasculaires surtout dans le bois initial.

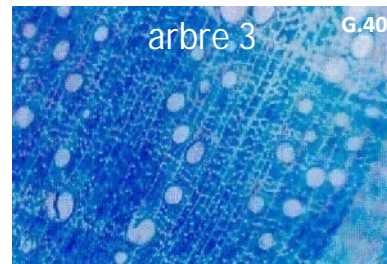
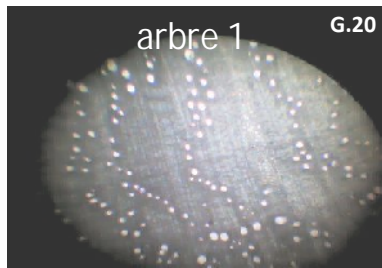


Figure 05 : Coupe transversale de la zone interne du chêne vert

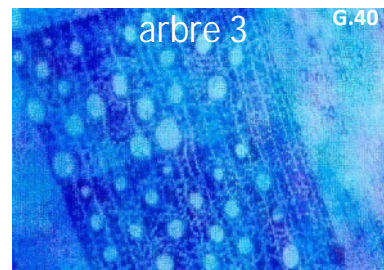
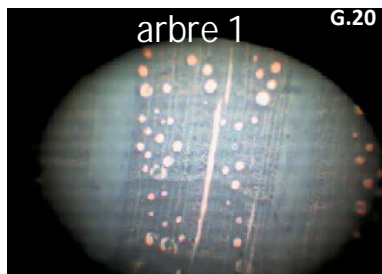


Figure 06 : Coupe transversale de la zone externe du chêne vert



zone interne

zone externe

Figure 07 : Coupe tangentielle du chêne vert

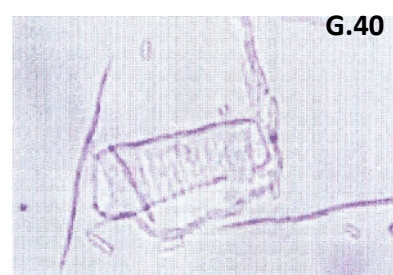


Figure 08 : Fibres isolées (G) et fibres isolées plus vaisseau du bois(D)

III.5.2.2- caractères quantitatifs

▪ vaisseaux

Le tab. 18, présente les grandeurs des vaisseaux du bois de chêne vert.

Tableau 18 : Grandeurs des vaisseaux du bois du chêne vert

Caractéristiques anatomiques	Valeur moyenne	Qualification
Diamètre des pores du bois initial (μm)	135.31	Moyens
Diamètre des pores du bois final (μm)	77.81	Fins
longueur (μm)	422.50	Moyens
Nombre de vaisseaux / mm^2	17	Moyens

La lecture du tab. 18, fait ressortir les constatations suivantes :

- Diamètre des pores du bois initial : le diamètre moyen des 540 mesures réalisées sur les pores du bois initial de nos échantillons et en se référant au tab.18 de qualification, place le bois du chêne vert dans la catégorie des bois à pores de « moyenne grandeur ». La fig.09, met en évidence, la présence de très fins pores (10%) et de gros pores (11%). Le reste des pores est réparti entre les moyens pores (46%) et les fins pores (33%).
- Diamètre des pores du bois final : le diamètre moyen des pores du bois final des 540 mesures réalisées, et selon le tab.18, est qualifié de « Fins ». La fig.10, montre une concentration de l'ordre de (62%), tout en notant la présence presque égale de très fins pores (16%) et des pores moyens « 22% ».
- Longueur des vaisseaux : les vaisseaux du chêne vert et à l'instar des bois feuillus, présentent une longueur moyenne calculée à partir des 450 mesures, qualifiée de « Moyens », mais, elle tend vers la limite inférieure de cette catégorie de longueur. La fig.11, relève ce contraste et montre la dominance des vaisseaux courts (53%). Cette situation est provoquée par l'abondance des très courts vaisseaux, attribuée à la désagrégation intense des vaisseaux lors de la macération.
- Nombre de vaisseaux / mm^2 : la densité des pores des 450 mesures, qualifie le nombre de vaisseaux par mm^2 de « Moyens ». La fig.12, montre la dominance de cette classe de densité des échantillons, à hauteur de 68%. La classe possédant un nombre de vaisseaux au mm^2 qualifié de nombreux est présente, à raison de 30%.

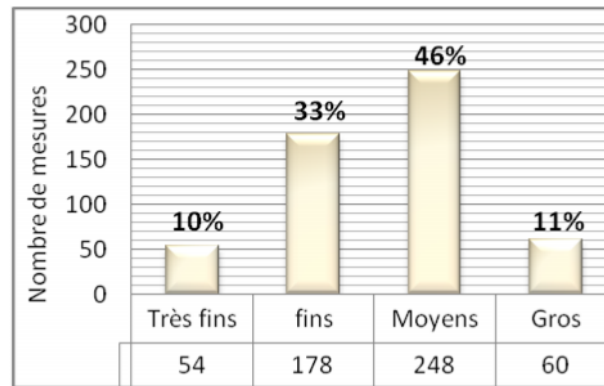


Figure 09 : Histogramme des pourcentages du diamètre des vaisseaux du bois initial

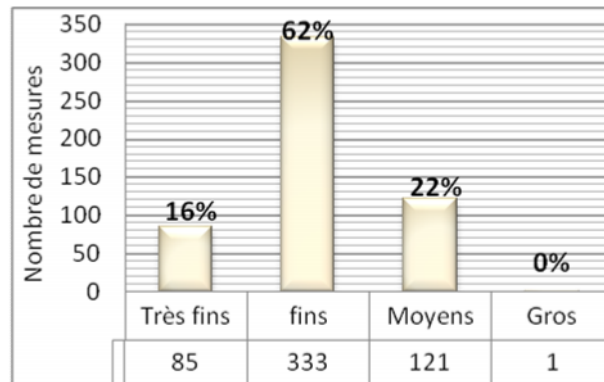


Figure 10 : Histogramme des pourcentages du diamètre des vaisseaux du bois final

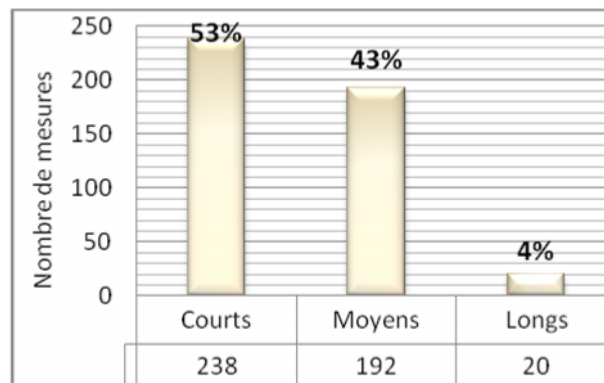


Figure 11 : Histogramme des pourcentages de la longueur des vaisseaux

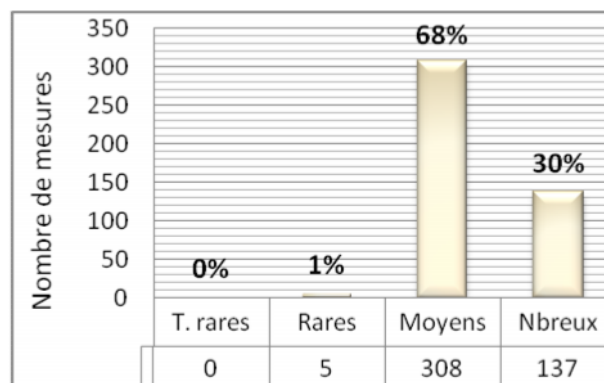


Figure 12 : Histogramme des pourcentages de la densité des vaisseaux

▪ Rayons ligneux

Le tab. 19, présente les grandeurs des rayons ligneux du bois de chêne vert, calculées à partir de la fig. 07. Seul le rayon unisériel et le rayon à plus de dix (10) cellules de largeur ont été pris en considération.

Tableau 19 : Grandeurs des rayons ligneux

Caractéristiques anatomiques	Valeur moyenne	Qualification
Nombre de rayon / mm	15	Nombreux
Hauteur du rayon ligneux unisériel (μm)	197.49	Très petits
Hauteur du rayon ligneux multisériés (μm)	2235.48	Moyens
Largeur du rayon ligneux unisériel (μm)	14.19	Très étroits
Largeur du rayon ligneux multisériés (μm)	251.81	Très larges

Les grandeurs des rayons ligneux du bois de chêne vert, mentionnés au tab. 19 et par l'utilisation de la qualification citée en tab 18 nous permettent de dégager les constatations suivantes :

- Nombre de rayon par mm : le nombre moyen des 450 mensurations de rayon ligneux par unité de longueur (mm), est qualifié de « Nombreux ». Sont comptabilisés, tous les types de largeurs de rayons ligneux, à savoir : l'unisériel, le bisériés, le trisériel jusqu'au multisériés à plus de dix (10) cellules de largeur. Par contre, la qualification porte du point de vue largeur et hauteur des rayons sur deux catégories ; le rayon unisériel et le rayon multisériés à plus de 10 cellules. La fig. 13, nous montre, la prépondérance des rayons ligneux «Nombreux» et «Très nombreux» à raison de 94%. C'est une caractéristique qui présente une double appréciation ; la première, c'est l'abondance des éclats éblouissants issus des différentes catégories de rayons, essentiellement les larges rayons qui occasionnent des mailles « figures décoratives » des bois débités sur quartier. la seconde c'est la susceptibilité de ce genre de bois à la formation de fentes radiales de dessiccation, d'où cette difficulté d'usinage qui nécessite un traitement spécial d'étuvage.
- Hauteur du rayon ligneux unisériel : A partir d'un même nombre de mesure que celui cité précédemment, la hauteur des rayons ligneux unisériés est qualifiée de « Très petits ». La fig. 14, montre la quasi-dominance (97%) de la catégorie citée.
- Hauteur du rayon ligneux multisériés : Dans les mêmes conditions de déroulements de l'expérimentation, la Hauteur des rayons ligneux multisériés est qualifiée de « Moyens ». La fig. 15, montre la dominance de la catégorie des hauteurs de rayons qualifiés de moyens et grands (75%).
- Largeur du rayon ligneux unisériel : la largeur des rayons unisériel est qualifiée de « Très étroits ». La fig.16, montre la dominance à raison de 98% de cette catégorie de largeur de rayons.
- Largeur du rayon ligneux multisériés : La largeur des rayons ligneux multisériés est qualifiée de « larges ». La fig. 17 montre la dominance de cette catégorie de rayons ligneux large à hauteur de 81%.

▪ Fibres

Le tab. 20, présente les grandeurs des fibres du bois de chêne vert

Tableau 20 : Grandeurs des fibres

Caractéristiques anatomiques	Valeur moyenne	Qualification
Longueur (μm)	993.44	Moyens
largeur (μm)	21.66	Etroits
Epaisseur de la paroi (μm)	6.87	Moyennes

Les caractéristiques des fibres du bois de chêne vert, citées au tab. 20 et par l'usage de la qualification (tab. 18), à mettre en exergue nous conduisent à exprimer les constatations suivantes :

- **Longueur des fibres** : Les 450 mesures de la longueur des fibres, nous permet de les qualifier de fibres de « Moyens » Longueur. La fig.18, relève l'existence de la catégorie de fibres très courtes à concurrence de 26%. C'est une reproduction de ce qui s'est déroulé avec la mesure de la longueur des vaisseaux, où on a assisté à une désagrégation des fibres lors de la macération.
- **Largeur des fibres** : les fibres sont de largeur qualifiée de « Etroits ». La fig.19, montre la présence de la catégorie de fibres étroites à hauteur de 63%. Cette situation est indicatrice de la forte proportion des fibres par unité de volume, qui va induire une densité élevée et par conséquent une dureté forte du bois du chêne vert.
- **Epaisseur de la paroi des fibres** : l'épaisseur de la paroi est qualifiée de « Moyennes ». La fig. 20 illustre la dominance de cette catégorie à hauteur de 69%. La présence de la catégorie mince à hauteur de 22% est indicatrice de la tendance à la souplesse de cette catégorie de fibre.

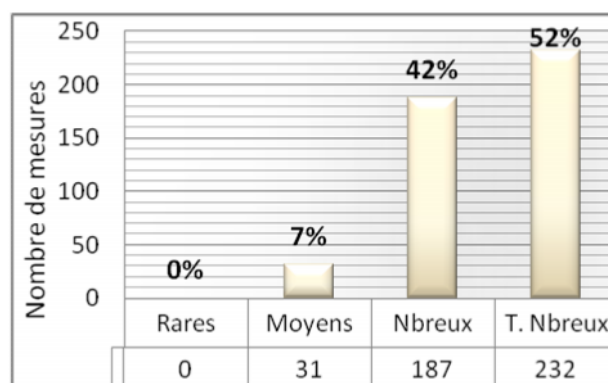


Figure 13 : Histogramme des pourcentages du nombre de rayons ligneux par mm

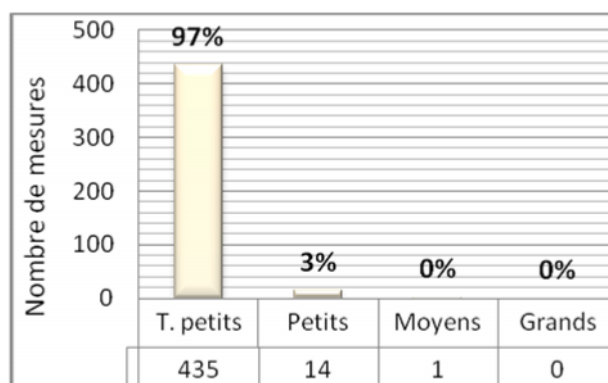


Figure 14 : Histogramme des pourcentages de la hauteur des rayons unisériés

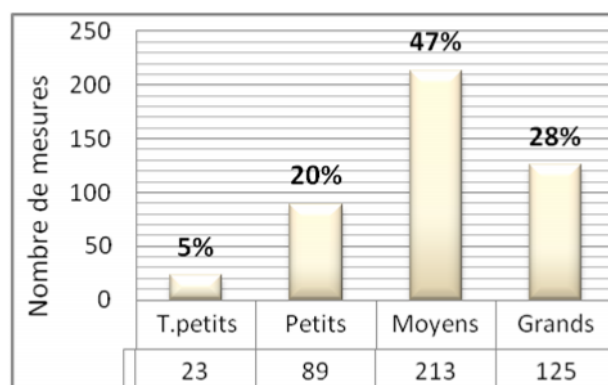


Figure 15 : Histogramme des pourcentages de la hauteur des rayons multisériés

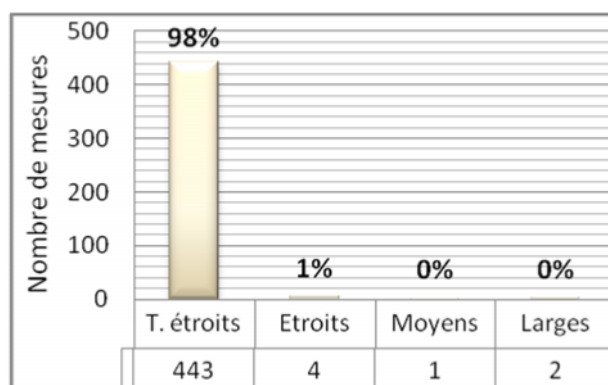


Figure 16 : Histogramme des pourcentages de la largeur des rayons unisériés

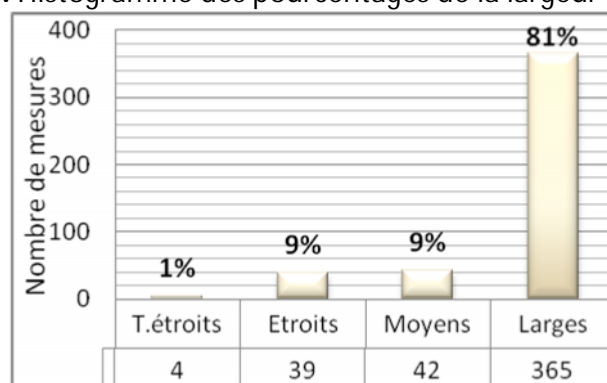


Figure 17: Histogramme des pourcentages de la largeur des rayons multisériés

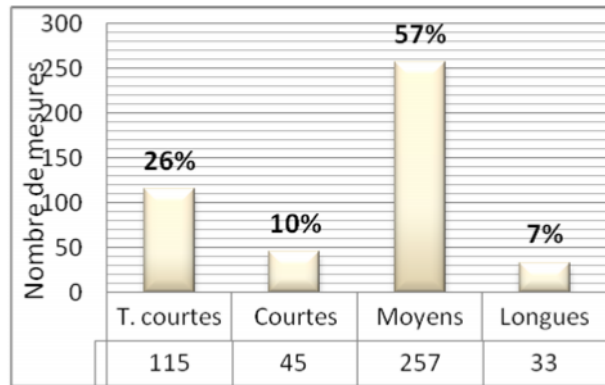


Figure 18: Histogramme des pourcentages de la longueur des fibres

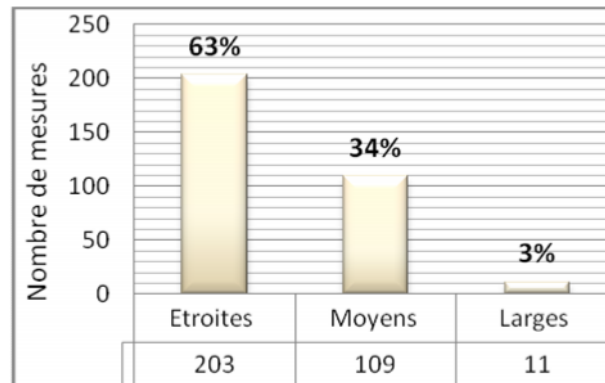


Figure 19: Histogramme des pourcentages de la largeur des fibres

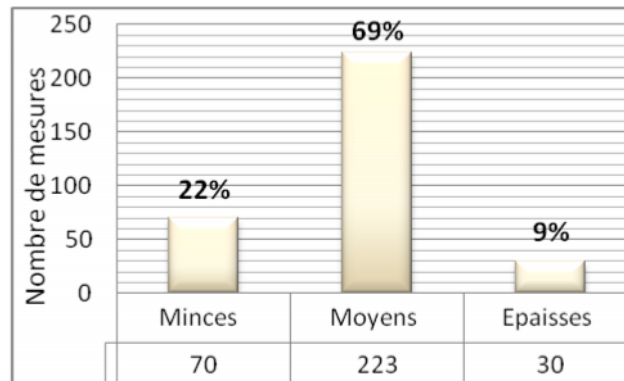


Figure 20: Histogramme des pourcentages de l'épaisseur de la paroi

III.6– INFLUENCE DE L'ANATOMIE SUR LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DU BOIS

III.6.1- Anatomie- Propriétés du bois

La littérature présente un grand nombre de travaux qui montrent, l'influence de la structure anatomique sur les propriétés du bois, c'est ainsi que :

- La résistance à la compression : d'après Leclercq (1981), la résistance à la compression est influencée positivement par la proportion, la longueur, la largeur et l'épaisseur des parois des fibres les moins poreuses. La cavité très étroite de la fibre

« 7.92 μm », des échantillons est à la faveur d'une bonne résistance à la compression. Dans ce test, l'effort est réparti sur toute la section.

- La masse volumique : la masse volumique dépend de la proportion relative des fibres par rapport aux éléments cellulaires (Jodin, 1994). Dans le cas du chêne vert, le nombre de vaisseaux par unité de surface « 17 vaisseaux par mm^2 », les fins pores « 77.81 μm » et la large proportion du bois final du chêne vert, sont en faveur d'un bon comportement aux tests mécaniques. Selon Guitard (1987), les cellules constituant les rayons ligneux induisent une amélioration de la résistance des tests sollicités dans le sens radial. Le chêne vert présente, en plus de ses larges rayons ligneux, un nombre de rayon par unité de longueur qualifié de nombreux « 15 rayons par mm ». Ce qui est, en adéquation avec les hypothèses de Guitard, on peut citer la dureté comme l'essai le plus indiqué dans le sens radial. Ces bois sont difficiles à débiter, nerveux et déformables qu'il faut étuver énergiquement au préalable.
- L'humidité : les propriétés mécaniques d'un bois séché à l'air libre chutent de 2 à 4% lorsque sa teneur en eau augmente de 1%. Reneaud et al., (1996), ont observé qu'avec un faible taux de déformation des essais de compression, les échantillons saturés sont moins rigides que les échantillons secs. Les auteurs ont attribué ce résultat à la présence de l'eau liquide dans les cavités des fibres « 7.92 μm » et des vaisseaux « 135.31 μm en bois initial et 77.81 μm en bois final », cette eau se comporte comme un solide et contribue au renforcement de la structure.
- Les mailles : les rayons ligneux sont à l'origine des fentes radiales de dessiccation, les larges rayons du bois du chêne vert, fournissent aux bois débités sur quartier des maillures. Les maillures sont très recherchées pour les qualités esthétiques qu'elles confèrent aux bois.
- Homogénéité : lorsque les grandeurs de vaisseaux, sont irrégulièrement réparties sur la couche annuelle ; le bois est qualifié d'hétérogène et c'est le cas du chêne vert. Les bois présentant cette structure, ont une bonne résistance aux charges et conviennent à la charpente.
- Grain : c'est une conséquence des dimensions de ses éléments anatomiques, on dit qu'un bois est serré, fin, grossier ou lâche. Ces éléments sont essentiels pour la finition, le bois du chêne vert avec un diamètre tangentiel moyen des vaisseaux de « 106,61 μm » est qualifié de bois à grain « fin », au travail de finition de ponçage, ne laisse pas des surfaces pelucheuses.
- Durabilité : c'est la propriété que possède le bois à résister plus ou moins longtemps aux attaques des agents atmosphériques, des champignons et des insectes. La faible proportion de l'aubier et la structure anatomique du chêne vert rendent son bois très durable, surtout, s'il est utilisé dans une atmosphère sèche. Les chênes avec d'autres bois ; comme le robinier, l'aulne et l'orme, complètement immergés peuvent durer plusieurs siècles pour les travaux hydrauliques. La résine et les produits chimiques que contient le bois, empêchent l'action des micro-organismes pathogènes. La résistance des bois peut être améliorée en les protégeant chimiquement contre la détérioration.

La méthode de traitement la plus efficace, a longtemps été l'imprégnation au chlorure de zinc.

- Conductibilité : le bois sec, est un bon isolant électrique, sa conductibilité augmente son humidité, jusqu'au point de saturation de la fibre (30 à 35 % d'humidité) où elle restera constante. Inversement, sa résistivité croît lorsqu'il sèche. La conductibilité thermique des bois en général et du bois de chêne vert en particulier est faible, grâce à sa constitution cellulaire offrant des cavités de vaisseaux « 135.31µm en bois initial et 77.81µm en bois final » remplies d'air. Toujours, en raison de sa constitution cellulaire, le bois est un mauvais conducteur acoustique.

III.6.2- Anatomie - Indices papetiers

L'indice papetier, caractérise le papier à partir de caractéristiques biométriques des fibres, il permet de classer le bois en fonction du coefficient de souplesse, du coefficient de feutrage et du coefficient de Runkel :

- Coefficient de souplesse « C.S » : c'est le rapport de l'épaisseur de lumen des fibres « C_0 » sur la largeur moyenne de cette dernière « l_0 ». Il définit le pouvoir élastique des fibres.
- Coefficient de feutrage « C.F » : c'est le rapport de la longueur moyenne des fibres « L_0 » sur la largeur moyenne de cette dernière « l_0 ». Il définit le pouvoir des fibres à se compresser et de se serrer les unes contre les autres.
- Coefficient de Runkel « C.R » : c'est le rapport de l'épaisseur des deux parois « $2p_0$ » sur la largeur moyenne de la cavité « C_0 ».

Tableau 21 : Norme de qualification des indices papetiers

coefficient de feutrage	<30	30- 50	50	50 -80	100	> 100
coefficient de souplesse	<30	30-50	50	50 - 80	<100	
coefficient de Runkel	Mauvais	Insuffisant	Moyen	Bon	Très bon	Excellent

Janin (1983)

Le chêne vert étudié, présente un coefficient de souplesse de « 36.5% », un coefficient de feutrage de 45.86 et un coefficient de Runkel de « 1.73 ». Le tab.21, de la norme de qualification des indices papetiers, montre que le bois de chêne vert, fait partie des végétaux possédant des parois de fibres relativement épaisses et un lumen peu développé. Les fibres s'aplatissent peu lors de la fabrication du papier et présentent peu de surface entres-elles.

On peut dire d'une façon globale que le bois du chêne vert est caractérisé par une mauvaise aptitude papetière, quoi que, la valeur du coefficient de feutrage de 45.86 proche de 50, nous laisse pressentir de meilleures aptitudes qu'on tentera de clarifier, lors de l'étude des « possibilités papetières du bois du chêne vert ».

III.6.3- Conclusion

Les différentes relations de l'influence de la structure anatomique, d'une part sur les propriétés du bois et d'autre part sur l'indice papetier constituent une première ébauche de

caractérisation du bois de chêne vert. Lors du traitement des propriétés physiques et mécaniques du bois ainsi que le volet papetier, les points cités avec d'autres particularités feront objet d'une profonde exploration. A ce niveau, on souhaite la concordance des propriétés actuelles avec ce qui va être démontré, comme synthèse sur les propriétés qui seront étudiées conformément aux normes.

III.7 - MODIFICATION DES CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES DES BOIS FEUILLUS

Le plan ligneux est défini, comme étant l'ensemble des caractères de structure du bois, tenant à la forme et au groupement des cellules constitutives et il est précisé que ces caractères sont constants pour une espèce déterminée. Cependant, comme tout matériel biologique, le bois ne peut avoir une structure uniforme entre sujets d'une même espèce et même entre couches d'accroissement dans le même individu. Il faut donc concilier la fixité du plan ligneux, sans laquelle, on ne peut distinguer entre un chêne et un frêne ou un hêtre et même certaines variabilités de texture, de taille et de nombre des divers éléments du bois d'une essence (Masset, 1979). La variation du plan ligneux, peut être la conséquence de la variation des facteurs extrinsèques ; c.à.d. les conditions de croissance. Les facteurs intrinsèques à la production annuelle du volume de bois ; comme l'âge de l'arbre, l'exposition, la situation axiale...sont à l'origine de la variabilité.

III.7.1- Modifications anatomiques avec l'âge

Dans une certaine mesure, le tronc d'un gros arbre peut renfermer toute la gamme des variations de structure de l'essence. Au centre, le bois nommé «Juvénile», est le plus souvent caractérisé par des éléments plus courts et plus fins, des rayons de structure plus hétérocellulaires et du parenchyme vertical plus abondant. Ensuite le bois adulte, composant la masse essentielle du tronc, peut présenter des modifications qui reflèteront plus les conditions du milieu que les caractères héréditaires (Detienne, 1988). On note en général, un accroissement en nombre ainsi qu'une augmentation du diamètre des pores et de la quantité du tissu parenchymateux axial et radial (les rayons étant souvent plus nombreux, moins hauts et beaucoup plus larges) en relation avec une diminution du tissu fibreux (Venet, 1986., Detienne, 1988 & Normand 1998).

III.7.2-Modifications anatomiques avec les conditions de croissance

D'après Normand (1998), il existe une relation étroite entre les dimensions des cellules et les conditions de croissance. Les fibres du bois final peuvent être 2 à 3 fois plus longues que celles du bois initial. D'autre part, l'éclaircissement du tronc peut également modifier la longueur de ces éléments. Les fibres du côté ensoleillé sont plus courtes d'environ 50µm chez les feuillus. Indépendamment de la nature du cerne qui est un caractère héréditaire, la largeur des cernes, liée à la vitesse de croissance de l'individu, modifie la texture .chez les feuillus, la largeur du bois final est faible lorsque la croissance est lente et elle est importante lorsque la croissance est rapide (Detienne, 1988).

III.7.3- Résultats et interprétation de la fixité du plan ligneux du chêne vert

La détermination de l'influence exercée par les facteurs de production (conditions de croissance et âge) sur la qualité du produit, constitue l'une des activités essentielles des laboratoires de technologie forestière. Le milieu où l'arbre a crû exerce sur le bois une influence considérable (Venet, 1986).

Les considérations générales de déroulement des observations microscopiques décrites en échantillonnage – méthodes de mesures- (cf. III.4.2.6), nous conduisent pour l'appréciation de l'évolution du plan ligneux, de suivre la manière suivante :

- L'influence de l'âge est donnée par la position radiale des échantillons dans les accroissements ; à savoir : la zone interne et la zone externe des deux rondelles, de l'arbre « 1 » et de l'arbre « 3 ».
- L'influence des conditions de croissance sur le plan ligneux est étudiée par la comparaison de la structure du bois d'âge équivalente (15^{ème} -19^{ème} accroissement) issue de la rondelle « 2 » et la zone interne de la rondelle « 1 ». A cet effet, les deux arbres, ont été récoltés en avril 2007, les conditions liées à la tranche (15^{ème} -19^{ème} accroissement), sont :
 - la tranche (15^{ème}-19^{ème} accroissement) L'arbre « 1 » âgé de 86 ans correspond à la période « 1936 à 1940 ».
 - la tranche (15^{ème} -19^{ème} accroissement) L'arbre « 2 » âgé de 34 ans correspond à la période « 1973 à 1977 ».
- l'effet de l'exposition testé sur un même arbre, où la tranche (15^{ème} -19^{ème} accroissement) est prélevée des expositions Nord, Sud, Est et Ouest. La tranche analysée de l'arbre « 4 », âgé de 29 ans, correspond au bois produit entre 1974 et 1978. L'abattage de l'arbre « 4 » s'est effectué en avril 2003.
- L'abattage de l'arbre « 3 » âgé de 39 ans, s'est réalisé en avril 2002. La zone interne « 15^{ème} -19^{ème} accroissement » correspond aux années (1978-1982). la zone externe « 28^{ème} – 32^{ème} accroissement » correspond aux années (1991-1995).

Le tab.22, présente les principales conditions météorologiques des périodes citées.

Tableau 22 : Conditions météorologiques des périodes d'échantillonnage

Arbre ou rondelle	Zone de prélèvement	Période	Précipitation (mm/année)
Rondelle « 1 »	15 ^{ème} -19 ^{ème} années	1936-1940	708.2
	56 ^{ème} - 60 ^{ème} années	1977-1981	665.15
Rondelle « 2 »	15 ^{ème} -19 ^{ème} années	1973-1977	809.25
Rondelle « 3 »	15 ^{ème} -19 ^{ème} années	1978-1982	620.22
	28 ^{ème} -32 ^{ème} années	1991-1995	516.77
Rondelle « 4 »	15 ^{ème} -19 ^{ème} années	1974-1978	605.66

A partir des mesures anatomiques effectuées de nos échantillons, nous avons calculé la moyenne (paramètre de position), l'écart-type et le coefficient de variation (paramètre de dispersion). Le coefficient de variation, permet de quantifier l'écart-type par rapport à la moyenne, c'est-à-dire la variation qui peut affecter moyenne (Dagnellie, 1988).

Le test statistique utilisé pour mettre en évidence les différences qui peuvent exister entre les différents échantillons est le test de student. Ce test est employé pour comparer les moyennes des échantillons utilisant la statistique suivante, au seuil de 5%. Pour un ddl de $(n_1 + n_2) - 2$ et un risque d'erreur de 5%.

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

- \bar{X} : moyenne de l'échantillon
- σ^2 : variance de l'échantillon
- n : effectif de l'échantillon

III.7.3.1- Influence de l'âge sur le plan ligneux

Les résultats de l'appréciation de l'évolution des paramètres anatomiques en fonction de l'âge, correspondent aux observations descriptives et quantitatives du passage de chaque élément anatomique de la zone interne à la zone externe, de l'arbre « 1 » à l'arbre « 2 ». Les zones internes se situent sur la même période d'accroissement (15^{ème} - 19^{ème} années), la zone externe de l'arbre « 3 » est prise d'une période prématurée (28^{ème} - 32^{ème} années) par rapport à l'arbre « 1 » (56^{ème} - 60^{ème} années). Ce choix, permet d'observer les deux cas et de voir, ce qui est arrivée à la structure définitive, de certains caractères anatomiques, mentionnés par Normand (1998) pour certaines espèces feuillues.

III.7.3.1.1- Evolution les vaisseaux

Les caractères descriptifs spécifiques à chacune des zones sont observés dans la fig. 05 et la fig. 06. L'image des pores, donnée par la section transversale, des deux échantillons diffère d'une zone à une autre. Les pores sont regroupés en file radiale dans la zone interne et s'isolent complètement en zone externe. La variabilité des éléments vasculaires du chêne vert est présentée au tab. 23.

Tableau 23 : Variabilité des éléments vasculaires du chêne vert

caractéristiques		moyenne		Ecart-type		Coéff variation		F (5 %)		
		z.int	z.ext	z.int	z.ext	z.int	z.ext	f.obs	f.the	ce
-Ø des pores du bois initial (µm)	Arbre (1)	138	212.	22.7	46.7	16.5	21.9	10.2	1.96	DS
	Arbre(3)	109.	130.	55.5	47.7	50.6	36.5	2.83	1.96	DS
		7	5	8	1	5	1			
-Ø des pores du bois final (µm)	Arbre (1)	64.4	81.7	17.7	24.7	27.6	30.2	4.03	1.96	DS
	Arbre(3)	75.7	83.3	24.0	24.3	32.9	29.6	2.83	1.96	DS
		9	4	9	9	7				
-Lg des vaisseaux (µm)	Arbre (1)	665	642.	519.	420.	77.9	65.4	0.24	1.96	DN
	Arbre(3)	253.	309.	102.	106.	40.3	34.3	2.7	1.96	DS
		6	6	2	4	7	6			
-Nbr de vaisseaux au mm ²	Arbre (1)	16.3	23.3	4.37	8.66	26.7	37.1	5.06	1.96	DS
	Arbre(3)	17.5	19.5	4.87	3.42	27.5	17.5	2.30	1.96	DS
		8	2			0	2			

Ø : diamètre, Lg : longueur, Nbr : nombre

L'analyse du tab. 23, sur l'évoluon des critères anatomiques étudiés dans les deux zones des deux arbres, fait ressortir les points suivantes :

- Largeur des vaisseaux en bois initial est qualifié de «Moyens» en zone interne et en zone externe de l'arbre « 3 » et de « Gros» dans la zone externe de l'arbre « 1 ». Les vaisseaux du bois inial sont de 20% dans l'arbre « 3 » à 50 %, dans l'arbre « 1 » plus gros dans la zone externe.
- Les pores du bois final sont qualifiés de «Fins» dans les deux zones des deux arbres, ils sont significavement plus gros en zone externe, de l'ordre de 10% dans l'arbre « 3 » à 25%. dans l'arbre « 1 ».
- La longueur des vaisseaux, des deux zones, de l'arbre « 1 » appartient à la catégorie de bois à vaisseaux « Moyens ». Dans l'arbre « 3 », les deux zones sont de la catégorie de bois à vaisseaux « Courts ». La zone externe n'est pas significativement à vaisseaux plus longs que la zone interne dans les deux arbres. A cet effet on ne peut retenir que la longueur de vaisseaux est un critère affecté par l'évolution de l'âge.
- Le nombre des vaisseaux par mm², est qualifié dans la zone interne des deux arbres de « Moyens », il est significativement moins élevé de l'ordre de 10 % dans l'arbre « 3 » et de l'ordre de 40 % l'arbre « 1 » que celui de la zone externe. La zone externe présente un nombre des vaisseaux par mm², qualifiée de « Nombreux ».

A la lumière de ces résultats, on peut affirmer, que l'augmentation de la densité, de la taille des pores et le changement observé dans leur disposition, constitue une réponse microstructurale des vaisseaux au développement physiologique de l'arbre.

Le développement est marqué, par une cime plus importante, par un feuillage plus abondant et par une plus grande prolifération des racines. Keller (1994), cite, que le diamètre

des vaisseaux, est une réponse à la succion exercée par les parties aériennes, notamment du fait de leur transpiration par l'ouverture des stomates abondantes dans la cime des arbres âgés. Les hypothèses émises par Lafon et al ., (1988) ., Deenne (1988) & Normand (1998) sont vérifiées et quantifiées sur l'aspect « augmentation du nombre et de la taille des vaisseaux avec l'âge chez les feuillus ».

III.7.3.1.2-Evolution des rayons ligneux

La quantification de l'évolution des rayons ligneux est le résultat de l'observation de la coupe transversale (fig. 05 et 06), et principalement la coupe tangentielle (fig.07)

Tableau 24 : Evolution des rayons ligneux du bois du chêne vert

caractéristiques		moyenne		Ecart-type		Coéff variation		F (5 %)		
		z.int	z.ext	z.int	z.ext	z.int	z.ext	f.obs	f.the	ce
Nbr rayon / mm	Arbre (1)	12.6 6	12.1 4	2.57	2.56	20.3 4	21.1 1	1.01	1.96	DNS
	Arbre(3)	15.5 2	15.7 2	2.67	2.38	17.2	15.1 3	1.25	1.96	DNS
Hauteur de rayon unisériel (µm)	Arbre (1)	183. 8	234. 6	11.9	151. 2	61.1	64.9	1.91	1.96	DNS
	Arbre(3)	196. 4	255. 9	107. 1	173. 2	54.6	67.6 5	2.05	1.96	DS
Hauteur de rayon multisériés (µm)	Arbre (1)	1356	804. 4	1350	394. 9	99.5	49.1	2.77	1.96	DS
	Arbre(3)	4667	2871	265. 3	2257	56.9	78.6	3.64	1.96	DS
Largeur de rayon unisériel (µm)	Arbre (1)	12.0 2	15.2	3.56	8.94	39.8 7	60.7 8	3.16	1.96	DS
	Arbre(3)	11.6 8	11.9 5	2.06	1.44	17.6 3	13.1 5	2.04	1.96	DS
Largeur de rayon multisériés (µm)	Arbre (1)	315. 8	463. 5	108. 5	155. 9	34.4 1	33.5 0	4.48	1.96	DS
	Arbre(3)	155. 3	195. 8	143	128. 6	92.0 6	65.6 8	1.47	1.96	DS

Nbr : nombre

Les résultats de l'évolution des critères anatomiques liés aux rayons ligneux, présentés au tab.24, nous amènent à faire les remarques suivantes :

Les rayons ligneux par unité de longueur des deux zones des deux arbres, sont qualifiés de « Très nombreux ». Les rayons ligneux ne sont pas affectés par l'évolution dans les deux arbres.

La hauteur des rayons ligneux unisériel, fait partie de la catégorie « Très petits ». La hauteur des rayons à plus de dix cellules est qualifiée de « Grands » en zone interne de l'arbre « 3 » et de « Petits à Moyens » dans les autres zones. La hauteur des rayons unisériel se stabilise dans le temps, même s'il elle se montre significative dans l'arbre « 3 », elle finit par

se stabiliser, c'est le cas de l'arbre « 1 ». La hauteur des rayons multisériés est significativement plus haute dans la zone interne de l'arbre « 1 » à raison de 55%, dans le cas de l'arbre « 3 » à hauteur de 65%. La largeur des rayons multisériés des deux zones de l'arbre « 3 » dépasse de loin celle de l'arbre « 1 » ; en zone interne de 4667 μm diminue à 1356 μm , en zone externe de 2871 μm diminue à 804.4 μm . Dans de pareilles circonstances, il est possible d'expliquer l'évolution des rayons ligneux en faisant appel aux données météorologiques, où l'on remarque que la période d'observations de la zone interne de l'arbre « 1 » a connu une pluviométrie de 708.2 mm /année contre 620.22mm pour l'arbre « 3 ». Dans la zone externe la même tendance se dégage, la pluviométrie annuelle passe de 516.77 mm à 665.15mm. Peut-on dire, que la hauteur de rayons multisériés (responsables de la maillure des bois) est une conséquence de l'évolution avec l'âge ou simplement une réponse à un déficit pluviométrique, chi ré à 15% en zone interne et à 28 % en zone externe.

La largeur des rayons ligneux unisériés fait partie de la catégorie « Très étroits ». Les rayons multisériés appartiennent à la catégorie « *Grands* ». Dans l'arbre « 1 », nous constatons que les rayons unisériés et les rayons multisériés sont significativement plus larges dans la zone externe.

Nos résultats sur les rayons, concordent-ils avec les informations fournies par la bibliographie ?

Detienne (1988) et Normand (1998) font souvent état, comme conséquence d'évoluon de l'âge chez les feuillus, d'une augmentation de la largeur de rayons multisériés et de la diminution de leur hauteur. Les résultats que nous avons trouvés semblent être identiques pour la hauteur et la largeur.

III.7.3.1.3- Evolution des fibres

La quantification de l'évolution des fibres des bois est le liée à la macéraon (fig. Ø8) .

Le tab. 25, présente le résultat de l'évolution des éléments des fibres.

Tableau 25 : Evolution des fibres du bois de chêne vert

caractéristiques		moyenne		Ecart-type		Coéff de variation		F (5 %)		
		z.int	z.ext	z.int	z.ext	z.int	z.ext	f.obs	f.the	ce
Longueur (μm)	Arbre (1)	692	997	613.7	628	88.72	64.20	2.65	1.96	DS
	Arbre(3)	932	962	207.4	185.4	22.56	19.26	2.4	1.96	DS
Epaisseur de la paroi (μm)	Arbre (1)	5.61	5.42	1.58	1.39	28.18	25.72	2.13	1.96	DS
	Arbre(3)	7.76	6.27	1.81	1.35	23.32	21.53	2.25	1.96	DS

A la lumière des résultats du tab.25, on constate que les fibres de la zone externe sont significativement plus longues et moins épaisses que ceux de la zone interne. Cette différence est significative dans les deux arbres.

III.7.3.1.4- Conclusion

Les résultats liés à l'évolution des éléments conducteurs avec l'âge, chez le chêne vert de la forêt de Terni de l'extrême Ouest algérien, sont en relation avec la physionomie de l'arbre et seuls les besoins de circulation, de stockage et de distribution des éléments nutritifs peuvent donner une explication à leur distribution. Le bois du chêne vert, au fur et à mesure que l'on s'approche de la périphérie de son tronc acquiert les formes d'adaptations suivantes :

- Les vaisseaux s'isolent et deviennent plus longs, plus gros et plus nombreux.
- Les rayons multisériés deviennent plus larges et moins hauts.

L'évolution des paramètres liés aux vaisseaux, engendre une réduction de l'espace occupé par le tissu fibreux, les rayons ligneux et le parenchyme axial dans la zone externe par rapport à la zone interne. Si on prend en considération l'épaisseur de la paroi des fibres qui est, et dans notre cas, significativement plus épaisse en zone interne, on peut conclure que la densité du bois décroît chaque fois que l'on s'écarte de la moelle. Ceci qui confère au bois, une imprégnation facile pour la conservation. Polge et Keller (1973), montrent qu'en général la densité du bois diminue lorsque l'assise génératrice vieillit.

La tendance d'évolution des rayons ligneux avec l'âge s'explique par l'augmentation du besoin de stockage des éléments nutritifs à un âge avancé de l'arbre, et la force de succion nécessaire à leur distribution lors du développement des feuilles.

III.7.3.2- Influence des conditions de croissance sur le plan ligneux.

L'influence des conditions de croissance sur le plan ligneux est étudiée par la comparaison de la structure de deux échantillons de bois d'âge équivalent (15^{ème} -19^{ème} accroissement) de la rondelle « 2 » et la zone interne de la rondelle « 1 ».

Les deux arbres, ont été récoltés en avril 2007. Le tab.24, donne pour la zone interne de la rondelle « 1 » une pluviométrie moyenne annuelle entre 1936 et 1940 de 708.2 mm et 809.25 mm pour la rondelle « 2 » comprise entre 1973 et 1977. D'autres données relatives à la température, à l'humidité relative ou même à l'intensité des pluies nous auraient certainement aidées à mieux connaître les conditions de croissance relatives à chacune des périodes d'études. L'influence altitudinale n'est pas prise en considération, du fait qu'on ne s'est pas trop écartés lors des deux prélèvements.

III.7.3.2.1- Conditions de croissance et vaisseaux

Le tab.26, présente la réponse des éléments liés aux vaisseaux aux conditions de croissance.

Tableau 26 : Influence des conditions de croissance sur les vaisseaux

caractéristique	moyenne		Ecart-type		Coéff de variation		F (5 %)		
	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	f.obs	f.the	ce
-Ø des pores du bois initial (µm)	138	147	22.72	29.94	16.5	19.94	1.83	1.96	DNS
-Ø des pores du bois final (µm)	64.4	63.1	17.78	14.36	27.7	22.76	0.38	1.96	DNS
-Lg. des vaisseaux (µm)	665	598	519	486	77.94	81.28	0.66	1.96	DNS
-Nbr de vaisseaux au mm ²	23.32	17.54	8.66	4.56	37.17	26.04	4.17	1.96	DS

Ø : diamètre, Lg : longueur, Nbr : nombre

Le tab. 28, montre que le diamètre des pores et la longueur sont similaires dans les deux périodes. La densité des pores au mm², est significativement plus importante durant la période 1936-1940.

III.7.3.2.2- Conditions de croissance et rayons ligneux

Le tab. 27, présente la réponse des éléments liés aux rayons du bois aux conditions de croissance.

Tableau 27 : Influence des conditions de croissance sur les rayons ligneux

caractéristique	moyenne		Ecart-type		Coéff de variation		F (5 %)		
	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	f.obs	f.the	ce
Nbr rayon / mm	12.66	14.62	2.57	3.31	20.34	22.70	0.75	1.96	DNS
Hauteur de rayon unisériel (µm)	183	119.2	11.90	126.6	61.12	63.57	0.67	1.96	DNS
Hauteur rayon multisériés (µm)	1356	1049	1350	715	99.50	68.18	1.42	1.96	DNS
Largeur de rayon unisériel (µm)	12.02	14.72	3.56	8.94	29.66	60.78	1.98	1.96	DS
Largeur rayon multisériés (µm)	315	276.1	108.5	90.9	34.41	32.93	4.62	1.96	DS

Nbr : nombre

Le tab. 27, relève la stabilité du nombre de rayons ligneux par mm, la hauteur des rayons unisériés et la hauteur des rayons multisériés. La largeur des rayons ligneux unisériés est significativement moins élevée durant la période 1936-1940. Durant cette même période, où la pluviométrie est plus faible de 15%, les rayons ligneux multisériés sont moins larges.

III.7.3.2.3- Conditions de croissance et les fibres

Le tab. 28, présente la réponse des éléments liés aux fibres du bois aux conditions de croissance

Tableau 28 : Influence des conditions de croissance sur les fibres du bois

caractéristiques	moyenne		Ecart-type		Coéff variation		F (5 %)		
	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	Arbre « 1 »	Arbre « 2 »	f.obs	f.the	ce
Longueur (µm)	691	609	613	469	88.72	77.05	0.75	1.96	DNS
Largeur (µm)	22.06	19.11	8.45	8.39	38.32	43.91	1.74	1.96	DNS
Epaisseur de la paroi (µm)	5.61	5.88	15.81	1.96	28.18	33.44	0.62	1.96	DNS

Le tab. 28, montre que la Longueur, la largeur et l'épaisseur de la paroi des fibres des échantillons en provenance du 15^{ème} au 19^{ème} accroissement de la rondelle « 2 » et la zone interne de la rondelle « 1 », ne montrent aucun changement durant les deux périodes d'observations.

III.7.3.3- Influence des expositions sur le plan ligneux

L'influence des expositions sur le plan ligneux est étudiée par la comparaison de la structure anatomique de quatre échantillons de bois d'âge équivalente du 15^{ème} au 19^{ème} accroissement, prélevés de la même rondelle « 4 », selon les quatre points cardinaux : Nord, Sud, Est et Ouest.

Au terme de cette analyse, c'est seuls les critères marqués par leurs particularités ou un changement significatifs vont être mentionnés ; à savoir :

- Les rayons multisériés (supérieurs à 10 cellules en largeur), sont plus larges en expositions Sud. Il est possible de préciser, que le bois dans cette exposition est d'une dureté élevée.
- Les fibres les plus longs se trouvent en exposition Ouest.
- Les fibres les plus larges se trouvent en en exposition Nord. Cette situation provoque une baisse de la densité des bois.

Les autres critères testés pour l'influence de l'âge et les conditions de croissance ne sont pas affectés par le changement d'exposition.

CHAPITRE IV

PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANQUES DU CHENE VERT

Les essais de qualifications du bois, ont pour but de caractériser la matière bois en déterminants ses qualités intrinsèques et ses possibilités d'utilisation. Les essais sont effectués sur des éprouvettes de petites dimensions, sans nœuds ni défauts.

Les caractéristiques dépendent de l'essence, des particularités de la structure et de la composition de certains défauts (nœuds, fentes ...), c'est à dire du choix technologiques du bois. Les éprouvettes sont tirées soit sur des échantillons de bois convenablement choisis, soit sur des pièces prêtes à être mise en forme.

IV.1- COLLECTE DES ECHANTILLONS

Le bois du chêne vert, a été prélevé de la réserve de chasse « Moutas» des monts de Tlemcen. Pour éviter, tout effet d'empatement et d'enchevêtrement des fibres sur les tests, c'est à partir d'un (01) mètre de la base de l'arbre qu'on a façonné des rondelles de 0,80 m de longueur. Les conditions expérimentales, nous ont poussées à nous limiter au choix de deux rondelles.

IV.2 - PLAN DE DECOUPE DES EPROUVETTES

Chaque rondelle a été débitée en plateaux suivant les rayons médullaires de façon à en tirer le maximum d'éprouvettes. Le plateau est ensuite débité dans le sens longitudinal sur tout le diamètre de l'arbre en réglettes, afin de tirer le maximum d'éprouvettes de flexion et de résilience (fig. 22). Les éprouvettes destinées aux autres épreuves mécaniques sont à découper en dehors des zones de rupture, à une distance qui permet de prévenir les risques d'altérations mécaniques non perceptibles à l'œil nu (Leclercq, 1979 & Charron et al., 2003).

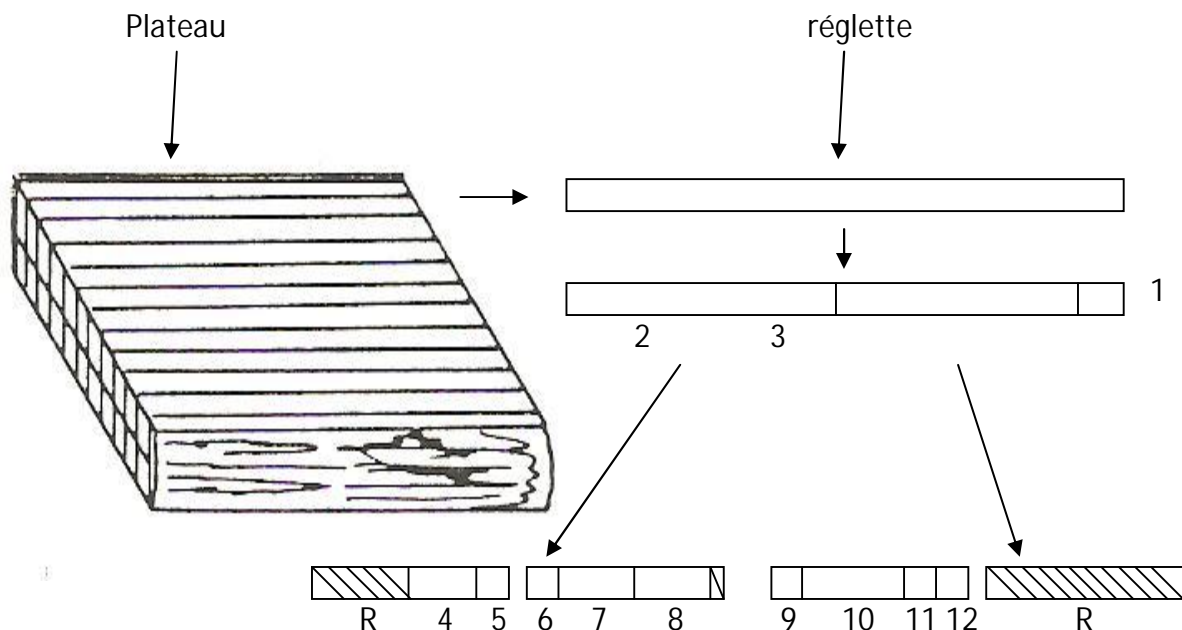


Figure 21 : Plan de découpe des éprouvettes d'essais.

1 : éprouvette de la flexion statique « 34x2x2 » cm.

2 : éprouvette de la flexion dynamique « 30x2x2 » cm.

3 : éprouvette de contrôle d'humidité au conditionnement.

4 : éprouvette de compression axiale « 6x2x2 » cm. $\frac{dy}{dx}$

5 : éprouvette de masse volumique « 2x2x2 » cm.

6 : éprouvette de contrôle d'humidité à l'essai.

7 : éprouvette de la traction perpendiculaire aux fibres « 2x2x2 » cm.

8 : éprouvette de fendage « 4,5x2x2 » cm

9 : éprouvette de déplacement « 2,5x2x2 » cm

10 : éprouvette de durabilité « 6x2x2 » cm.

11 : éprouvette de retrait volumétrique total « 2x2x2 » cm.

12 : éprouvette de masse volumique « 2x2x2 » cm

R : éprouvette réserve.

Les réglettes destinées à l'essai de la flexion statique (34x2x2) cm et à l'essai de la résilience (30x2x2) cm, ont été sélectionnées, selon les critères des normes citées, c'est-à-dire : fil droit, absence d'aubier, de nœuds et de défauts quelconques. L'abondance des nœuds dans le bois du chêne vert et la faible proportion du duramen, nous ont limités à la sélection de 12 réglettes.

Pour une dernière vérification de l'humidité, des éprouvettes de contrôle sont conditionnées dans une enceinte réglée à l'ambiance de 20°C et 65% d'humidité d'équilibre du bois (12%) (Afnor, 1985). A ce taux d'humidité on procède au tri définitif des éprouvettes pour avoir au moins douze (12) pour chaque test.

Chaque caractéristique, est analysée en fonction du tableau de classification, ce qui permet de déduire par la suite les types de comparaisons possibles. A travers les côtes de qualité, les résultats ont été examinés, pour mettre en évidence éventuellement les différentes qualifications et utilisations.

IV.3 -CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

La présence d'eau en proportion variable, agit sur le volume et sur le poids spécifique. Les principales caractéristiques, se rattachant à l'état physiques du bois sont : la densité, la dureté de flanc, l'humidité et la rétractibilité volumétrique totale.

IV.3.1- Détermination de l'humidité NF B 51-004 Sept 1985.

L'eau forme, la majeure partie de la sève et imbibe les parois de la cellule ligneuse. La teneur en eau, varie d'une espèce à une autre, et pour une même espèce, cette teneur varie, selon la partie de l'arbre considérée, selon la saison d'abattage et selon la durée d'exposition à l'air libre

La teneur en eau est minimum dans le tronc, moyenne dans les grosses branches, maximum dans les rameaux. Dans chacune de ces parties, l'aubier est plus riche en eau que le cœur. Dans les bois résineux les branches contiennent proportionnellement moins d'eau que les bois feuillus.

Les bois exposés à l'air libre, se dessèchent lentement, sans jamais se déshydrater complètement. Les bois tendres, secs à l'air ont tendance à conserver le plus d'eau, Ainsi, le chêne qui à l'abattage contient en moyenne 35 % d'eau en conservera 17%, au séchage à l'air tandis que le chêne passera de 35 à 17%

L'humidité représente la proportion d'eau contenue dans le matériau. L'essai consiste à mesurer la variation du poids d'une éprouvette, entre son état actuel et son état anhydre. La dessiccation a été obtenue dans une chambre à circulation d'air, en opérant à des températures croissantes progressivement jusqu'à 103°C±3°C, tout en se maintenant le plus près possible de la limite inférieure, afin de réduire la possibilité d'élimination d'autres matières que l'eau. Cette température est maintenue jusqu'à obtention d'un poids constant de l'éprouvette. Avant de présenter les autres résultats, il convient de rappeler que le taux d'humidité des éprouvettes au moment de l'essai avoisinait 12%, conformément à la norme citée.

P_h : poids de l'éprouvette avant dessiccation

P_0 : poids de l'éprouvette à l'état anhydre

IV.3.2 – Masse volumique NF B 51-005 (1985)

La masse volumique ou densité permet, de qualifier le bois et clarifie les propriétés qui lui sont liées. Cette corrélation a été analysée et vérifiée par de nombreux auteurs (Kollmann & Cote, 1968 ; Panshin & Zeeuw, 1970 ; Noak, 1971 ; Cailliez & Gueneau, 1972 ; Leclercq, 1980). Les relations sont suffisamment fortes entre la densité et deux des principales caractéristiques technologiques ; à savoir, la rétractibilité ou la stabilité dimensionnelle et la dureté.

Vu l'hétérogénéité du plan ligneux, la densité varie d'une espèce à une autre et varie aussi en fonction d'autres critères :

- Dans la même espèce, la densité varie suivant les conditions du climat, du sol et d'exposition.
- Dans le même bois, la densité varie suivant les diverses parties : le cœur est plus dense que l'aubier, le bois de la base de l'arbre est plus dense celui du sommet.
- Dans le même bois, la densité varie en fonction de la teneur en eau. A cet effet les normes Afnor recommandent l'adoption de 12 % d'humidité lors des différents tests de qualification.

La masse volumique d'un corps se définit par le rapport de sa masse à son volume d'eau, elle est synonyme de densité et s'exprime en g/cm^3 . Dans notre cas, et en raison de l'hétérogénéité du plan ligneux, on a utilisé le voluménomètre à mercure a été utilisé pour déterminer le volume

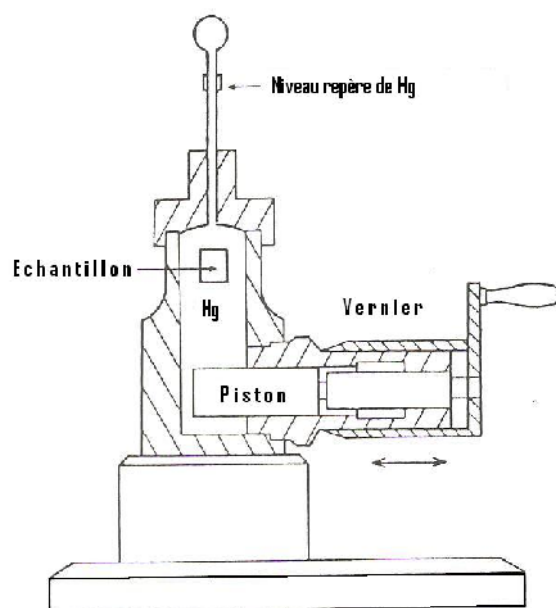


Figure 22 : Voluménomètre à mercure.

$$D \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{P}{(V.1 - V.0) \times 0.3 *}$$

P : poids de l'éprouvette (g)

V₁ : volume de l'éprouvette plongée dans le mercure (cm³)

V₀ : lecture à vide du volumétre à mercure (cm³)

* : ¼ du tour du volumétre à mercure.

Tableau 29 : Qualification de la densité « D » des bois feuillus.

Classe	Catégorie	Densité (g/cm ³)	Types de comparaison
V	Très légers	0.20 -0.50	Peuplier ordinaire
IV	Légers	0.50 -0.60	Tilleul, bouleau, chêne, hêtre fin, frêne,... : menuiserie
III	Mi-lourds	0.60 -0.80	Chêne, frêne et hêtre neveux
II	Lourds	0.80 -1.00	Buis
I	Très lourds	1.00-1.20	Bois de fer

La densité moyenne des éprouvettes donnée par le tab. 08 de l'annexe est de 0.92 g/cm³, ce qui correspond d'après le tab. 29 de qualification, à un bois de la « classe II ». A cet effet, le bois du chêne vert appartient à la catégorie des bois « *lourds* ». D'après, Kauman & Kloot (1968) le système de la classification en utilisations potentielles en fonction des bois d'une densité de (0.72 à 0.96 g/cm³) à 12% d'humidité est :

- Charpente, poteaux, traverses, ponts, construction lourde.
- Manches d'outils.
- Emplois impliquant des usures et parquet à trafic lourd.
- Durabilité naturelle de ces bois est moyenne à bonne.
- Vers la limite inférieure d'ébénisterie et menuiserie à condition d'un séchage correct.

Seulement, nous pensons que certaines propositions méritent d'autres tests de confirmation. Les traverses, sont conditionnées par une bonne arrière résistance lors de l'essai de la flexion statique. Les manches d'outils doivent être confirmés par l'essai de la résistance au choc.

IV.3.3– Détermination du Retrait Volumétrique Totale (RVT) NF B 51-006 (1985)

Le retrait volumétrique total (RVT %), représente la différence entre le volume de l'éprouvette saturée en eau et son volume anhydre, rapportée au volume anhydre conformément à la norme. Il donne une indication sur des déformations qui peuvent apparaître lors du séchage, au dessous du point de saturation de la fibre. Il détermine la stabilité dimensionnelle du matériau. Si le volume augmente, on parle de gonflement, s'il diminue de retrait.

$$R. V. T(\%) = \frac{(V_1^h - V_0^h) - (V_1^s - V_0^s)}{(V_1^s - V_0^s)}$$

Tableau 30 : Qualification du Retrait Volumétrique Totale (RVT)

Classe	Catégorie	RVT (%)	Types de comparaison
III	Fort retrait	20 – 15	Grumes à grandes fentes de dessiccation, à débiter avant séchage : charme, chêne, frêne...
II	Moyen retrait	15 -- 10	Grumes à moyennes fentes, pouvant être conservées en bois ronds de mine, poteaux, échafauds : robinier, résineux...
I	Faible retrait	10-- 05	Grumes à petites fentes, pouvant sécher avant débitage et aptes au déroulage, modelage : acajou, noyer, peuplier...

Le tab. 09 de l'annexe détermine un retrait volumétrique total de 11.92% pour le bois de chêne vert. Le tab.30 de qualification, intègre le bois de l'espèce dans la « classe II » de la catégorie de bois à « *moyen retrait* », qui représentent les grumes à moyennes fentes de dessiccations, pouvant être conservées en bois rond de mines, poteaux et échafauds. C'est le cas aussi, du robinier, du limk et des résineux.

IV.4 - CARACTERISTIQUES MECANIKES

De même que pour les propriétés physiques, il faut dans la détermination des propriétés mécanique du bois, tenir compte de sa structure particulière, fibreuse et anisotrope et des variations de son humidité. D'une part, les résistances mécaniques dépendent de la direction d'application de l'effort, d'autre part, la plupart de ces résistances varient en sens inverse de l'humidité du bois (Conçalez et al., 2002). La direction d'application de l'effort est donnée dans chaque cas en se référant aux trois directions principales.

Les essais sont effectués à une température de 20°±2°C, sur des éprouvettes dont l'humidité est aussi rapprochée que possible de 12% taux auquel, les résultats des essais sont rapportés. L'humidité des éprouvettes est déterminée immédiatement après les essais.

Les propriétés mécaniques considérées dans les conditions qui viennent d'être précisées dépendent de l'essence, mais aussi des conditions locales dans lesquelles elle a été placée, donc de l'arbre et de ces particularités de croissance. Dans un même arbre, elles dépendent de l'endroit de prélèvement (Leclercq, 1979 ; Durant, 1983). Ces diverses influences se traduisent également par des différences de poids spécifiques. Celui-ci constitue au point de vue mécanique une base d'appréciation de qualités (Nepveu, 1984).

Les machines d'essais doivent subir des tarages périodiques, l'intervalle entre deux tarages consécutifs, dépendent du type de machine et de la fréquence de son utilisation. Toute réparation ou révision des mécanismes d'une machine d'essai doit être suivie d'un tarage.

IV.4.1- Caractéristiques mécaniques de la cohésion axiale

IV.4.1.1- Essai de la résistance à la compression axiale NF B 51-007 (1985).

La résistance à la compression axiale « C », exprime la résistance du bois à l'écrasement dans le sens axial, suivant la direction parallèle aux fibres, jusqu'à rupture des éprouvettes.

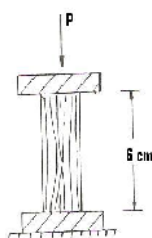


Figure 23: Test de la compression axiale

$$C \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{P}{b \cdot h}$$

P : poids de l'éprouvette (Kg)

b : base de l'éprouvette (cm)

h : hauteur de l'éprouvette (cm)

Tableau 31 : Qualification de la résistance à la compression axiale « C »

Classe	Catégorie	Tendres	Mi-durs	Durs	Très tendres
		C (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)	C (kg/cm ²)
III	Inférieure	200 - 300	275 - 375	400 - 500	500 - 600
II	moyenne	300 - 400	375 - 475	500 - 700	600 - 800
I	supérieure	400 - 600	475 - 600	700 - 800	800 - 1000

Le tab. 31 Et le tab. 10 de l'annexe, placent le bois du chêne vert et avec une résistance à la compression de 495 kg/cm² dans la « classe I » de la « catégorie supérieure » à la résistance à la compression. L'essai de la compression axiale, fournit par l'intermédiaire de la

moyenne de la densité, deux autres résultats : la cote statique de compression « $C / 100.D$ » (tab. 32) et la cote spécifique de compression « $C / 100.D^2$ », (tableau 35).

Tableau 32 : Cote statique de compression des bois feuillus.

Classe	Catégorie	Tendre	Mi-durs	Durs	Très-durs
		$C / 100.D$	$C / 100.D$	$C / 100.D$	$C / 100.D$
III	inférieure	< 7	< 6	< 6	< 7
II	moyenne	7-8	6-7	6-7	7-8
I	supérieure	> 8	> 7	> 7	> 8

D'après, les données du tab. 10 de l'annexe et le tab. 32 de la Cote statique de compression des bois feuillus, le bois du chêne vert présente un « $C / 100.D$ » de 5.36, il fait partie de la « classe III », catégorie « inférieure ».

Tableau 33 : Cote spécifique de compression des bois feuillus.

Catégorie	Tendre	Mi-durs	Durs	Très-durs
$C / 100.D^2$	$C / 100.D^2$	$C / 100.D^2$	$C / 100.D^2$	$C / 100.D^2$
	20 – 12.5	12.5 - 9	9 - 8	8

Les données du tab.10 de l'annexe et le tableau 33 de la Cote spécifique de compression des bois feuillus, le bois du chêne vert présente un « $C / 100.D^2$ » de « 12.5 » confirmant par conséquent son appartenance à la catégorie des bois feuillus « *mi-durs* », (cf. III.1.8).

IV.4.1.2 - Essai de la résistance à la flexion statique NF B 51-008 (1985)

La résistance à la flexion statique « F », détermine la résistance du bois à une charge progressive appliquée en son milieu, suivant une direction tangentielle.

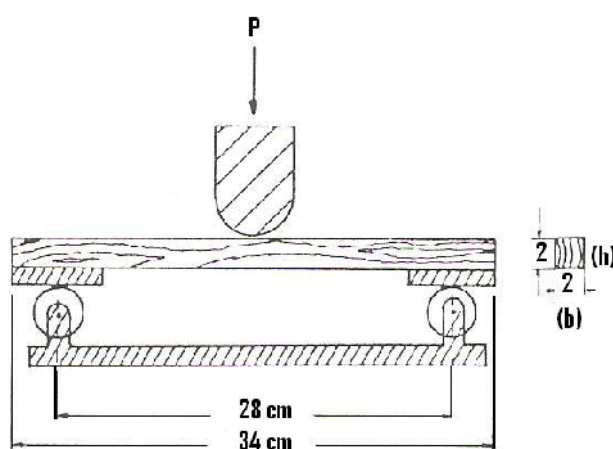


Figure 24: Test de la flexion statique

$$F \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

P : charge de rupture (Kg)

L : distance ente appuis (28 cm)

b : base de l'éprouvette (cm)

h : hauteur de l'éprouvette (cm)

Tableau 34 : Qualification de la résistance a la flexion statique des bois feuillus

Classe	Catégorie	flexion « F » (kg/cm ²)
III	inferieure	800
II	moyenne	900
I	supérieure	1000

Le tab. 34, qui détermine une résistance à la flexion statique « F » de 1083 kg/cm², et le tab. 11 de l'annexe, attribuent au bois du chêne vert une appartenance à la « classe II » avec la catégorie « supérieure ».

L'essai de la résistance à la flexion statique, fournit par l'intermédiaire de la moyenne de la densité, deux autres résultats : la cote statique de flexion « F /100.D », (tab. 35) et la cote de ténacité « F / C », (tab. 36).

Tableau 35 : Cote statique de flexion « F /100.D »

Classe	Catégorie	F /100.D	Qualification
III	faible	10 - 15	Bois inapte à la charpente
II	moyenne	15 - 20	Bois peu apte à la charpente
I	forte	20 - 25	Bois apte à la charpente

Les données du tab. de qualification attribuent au bois du chêne vert, une cote statique de flexion « F /100.D » de 11.43, le situant dans la « classe III ». C'est une classe de bois à faible cote statique de flexion et inapte à la charpente.

Tableau 36 : Cote de ténacité « F / C »

Classe	Catégorie	F/C
III	Peu tenace	< 2
II	Moyennement tenace	2 – 3
I	Très tenace	3 - 4

La cote de ténacité « F / C », permet de qualifier la ténacité d'un bois par rapport à un autre, alors que leur résistance à la compression sont semblables. Le tab. 04 de l'annexe octroi au chêne vert une cote de ténacité « F / C » de 2.19. Le tab. 36 de qualification classe ce bois dans la « classe II », catégorie des bois « moyennement tenace ».

Chaque essai de flexion est enregistré en un diagramme, le diagramme de flexion indique, la limite d'élasticité, la charge de rupture et la résistance au défibrement. C'est ainsi que l'on remarque que le bois de chêne vert, tout en supportant une grande charge sa résistance au défibrement est faible. Cette situation entrave son utilisation comme bois avertisseur pour mines ou traverses.

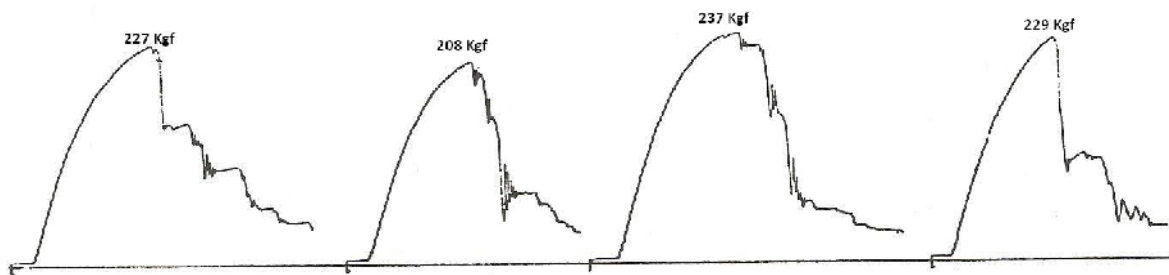


Figure 25 : Diagramme de la résistance à la flexion statique.

IV.4.1.3 - Essai de la résistance à la flexion dynamique ou résilience NF B 51-009 (1985)

La résistance à la flexion dynamique, détermine la résistance du bois à une charge appliquée brusquement en son milieu, suivant la direction tangentielle. La résistance à la flexion dynamique est appelée aussi « résistance au choc » ou « résilience ».

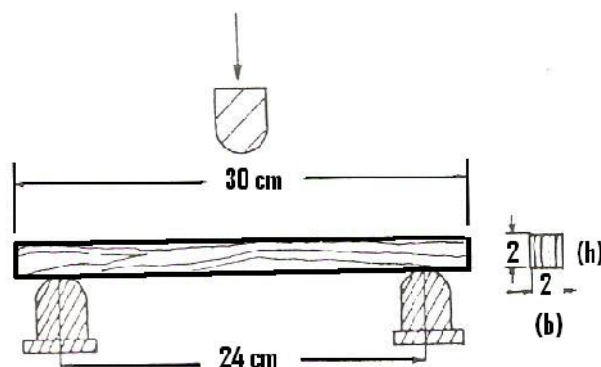


Figure 26 : Test de la flexion dynamique

$$K \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{W}{b \cdot h^2}$$

W : travail de rupture (Kg)
 b : base de l'éprouvette (cm)
 h : hauteur de l'éprouvette (cm)

Tableau 37 : Qualification de la résistance à la résilience

Classe	Catégorie	résilience (kg/cm ³)
III	Peu résistant	0.4
II	Moyennement résistant	0.4 – 1.0
I	Très résistant	>1

Cet essai est nécessaire lorsque le bois est soumis à des emplois mobiles. C'est ainsi et suivant les résultats du tab.12 de l'annexe, qui donne une résilience « k » de 0.59 kg/cm³ que le bois de chêne vert (tab. 37) s'est illustré comme un bois « *moyennement résistant* » à des emplois comportant des chocs, appartenant à la « classe II ».

L'essai de la résistance à la flexion dynamique, fournit par l'intermédiaire de la moyenne des résultats de la densité : la cote dynamique « k / D² » (tab. 38), qui sert à connaître la résistance du bois exposé au choc par rapport à son poids, en effet à poids égal, le bois qui aura la meilleure cote, sera celui qui résistera le mieux au choc.

Tableau 38 : Cote dynamique « k / D² »

Classe	Catégorie	k / D ²	Qualification
III	Bois cassant	0.2 – 0.8	Bois inapte aux emplois mobiles
II	Bois moyen	0.8 – 1.2	Bois apte aux emplois comportant des chocs et vibrations (wagon, traverses, pavés, carrosserie...)
I	Bois résilient	> 1.2	Bois pouvant résister à des chocs violents (aviation, manches d'outils, skis,...)

Le bois du chêne vert, possède une cote dynamique « k / D^2 » de 0.71 (tab. 12 de l'annexe) fait partie et d'après le tableau de qualification à la catégorie des « *bois cassant* », inaptes aux emplois mobiles.

IV.5-CARACTERISTIQUES MECANQUES DE LA COHESION TRANSVERSALE

IV.5.1-Essai de la résistance à la traction perpendiculaire aux fibres NF B 51-010 (1985)

La résistance à la traction perpendiculaire aux fibres « T », exprime l'adhérence interne du bois, soumis à des contraintes perpendiculairement opposées. L'essai consiste à rompre l'éprouvette par extension, s'exerçant suivant la direction radiale ou tangentielle.

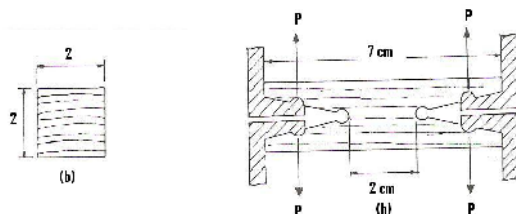


Figure 27 : Test la traction perpendiculaire aux fibres

$$T \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{P}{b \cdot h}$$

P : charge de rupture (Kg)

b : largeur de la section en extension (cm)

h : longueur de la section en extension (cm)

Tableau 39 : Qualification de la résistance à la traction perpendiculaire aux fibres « T »

Classe	T (Kg/cm ²)	Qualification
III	<25	Faible
II	25 - 45	Moyenne
I	>45	Forte

Le tab. 13 de l'annexe, montre une résistance à la traction perpendiculaire aux fibres, de 44 Kg/cm². A cet effet, le tab. 39 de qualification, situe le bois du chêne vert dans la catégorie des bois à « *moyenne résistance* » appartenant à la « classe II ». L'essai de la résistance à la traction perpendiculaire aux fibres, permet par l'intermédiaire de la moyenne des résultats de la densité de calculer la cote d'adhérence « $T / 100.D$ », cette cote indique l'adhésion des fibres les unes dans les autres.

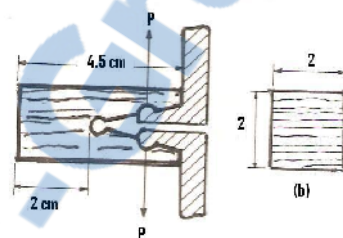
Tableau 40 : Cote d'adhérence « T /100.D »

Classe	Catégorie	T /100.D	Qualification
III	Peu adhérent	0.15 - 0.30	Bois de fente (tous les résineux, chênes, châtaignier...)
II	Moyennement adhérent	0.30- 0.45	Bois d'usage courant
I	Très adhérent	0.45- 0.60	Bois de travail (caisserie, crosses de fusil, saboterie...)

Le chêne vert ayant une cote d'adhérence de 0.47 (tab.13 de l'annexe), se range dans la catégorie des bois, très adhérent, utilisé en caisserie, crosses de fusil et en saboterie (tab. 40).

IV.5.2-Essai de la résistance au fendage : NF B 51-011(1985)

La résistance au fendage caractérise le degré de fissilité du bois.

**Figure 28** : Test de fendage

$$Fd \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}} \right) = \frac{P}{P.b}$$

P : charge de rupture (Kg).

b : base de l'éprouvette (cm).

Tableau 41 : Qualification de la résistance au fendage « Fd »

Classe	Fd (kg/cm)	Qualification
III	<15	Faible
II	15 - 30	Moyenne
I	>30	Forte

Le bois du chêne vert a une résistance au fendage de 24.31 kg/cm (tab. 13 de l'annexe). Le tab.41 de qualification de l'annexe, le situe dans la « classe II » de la catégorie des bois à « *moyen fendage* ». L'essai de fendage, fournit par l'intermédiaire de la moyenne des

résultats de la densité la cote de fissilité « Fd/100.D ». La cote de fissilité, permet d'estimer la qualité du bois en vue de la fente. Chez les feuillus, des fibres droites et longues engendrent un bois plus fissile (Polge & Illy, 1967 ; Nepveu, 1990)

Tableau 42: Cote de fissilité « Fd/100.D »

Classe	Catégorie	Fd/100.D	Qualification
III	Très fissile	0.10-0.20	Bois de fente
II	Moyennement fissile	0.20-0.30	Bois d'usage courant
I	Peu fissile	0.30-0.40	Bois de travail pour usage spéciaux

Le tab. 13 de l'annexe, montre une cote de fissilité de 0.26. A cet effet, ce bois appartient à la catégorie des bois moyennement fissile d'usage courant.

IV.5.3-Essai de la résistance au cisaillement NF B 51-012 (1985)

L'essai de la résistance au cisaillement, par rupture longitudinal de l'éprouvette, définit la résistance du bois au glissement des trachéides et des fibres les unes sur les autres.

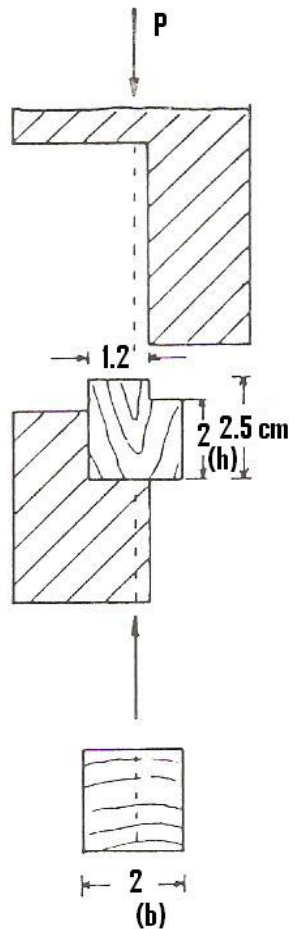


Figure 29 : Test de cisaillement

$$C_s \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{P}{b \cdot h}$$

P : charge de rupture (Kg).

b : largeur de la section cisailée (cm).

h : hauteur de la section cisailée (cm).

Tableau 43 : Qualification de la résistance au cisaillement « Cs »

Classe	Cisaillement « Cs » (kg/cm ²)	Qualification
III	50 -- 70	Faible résistance
II	70 --100	Résistance moyenne
I	100 -- 160	Forte résistance



Les résultats du tab. 14 de l'annexe et les classes de qualification du tab. 43 de l'annexe, montrent que le chêne vert a un cisaillement 175.43 kg/cm^2 , qui lui permet de se situer dans la « classe I », catégorie des bois à « *forte résistance* » au cisaillement.

L'essai au cisaillement, fournit avec la densité la cote du cisaillement « Cs/100.D ».

Tableau 44 : Cote du cisaillement « Cs/100.D »

classe	Cs/100.D	Qualification
III	0.8 - 1.2	Faible
II	1.2 - 1.6	Moyenne
I	1.6 - 2.0	Forte

La cote du cisaillement « Cs/100.D » du chêne vert est de 1.90 (tab. 14 de l'annexe), ce qui lui permet, d'après le tab.44 de qualification, de se ranger dans la « classe I », qualifiée de bois à « *forte cote du cisaillement* ».

IV.5.4- Essai de dureté de flanc Chalais- Meudon NF B 51-01(1985)

La dureté de flanc, qui est une caractéristique mi- physique, mi-mécanique, détermine la résistance du bois à la pénétration d'un corps dur, exprimée par la somme des largeurs d'empreintes rapportées au tableau de dureté. Elle traduit les difficultés d'usinage, joue un rôle fondamental dans la classification commerciale du bois, elle varie avec les proportions des fibres, l'épaisseur et le degré de lignification de leurs parois (Zobel & Spargue, 1998). Il en résulte que le bois est d'autant plus dur que ces fibres sont plus abondantes et que leurs parois sont plus épaisses.

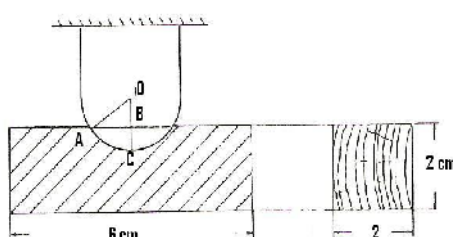


Figure 30 : Test de dureté

Tableau 45 : Qualification de la dureté « N » des bois feuillus

Classe	Catégorie	Dureté« N »	Types de comparaison
V	Très tendres	0.2 – 1.5	Peuplier ordinaire
IV	Tendres	1.5 -- 03	Tilleul, bouleau, chêne, hêtre fin, frêne,... : menuiserie
III	Mi-durs	03 --06	Chêne, frêne et hêtre neveux
II	Durs	06 -- 09	Buis
I	Très durs	09 --20	Bois de fer

Le tab. 15 de l'annexe et le tab.45 de qualification, donnent pour le chêne vert une dureté « N » de 5.58, ce qui nous permet de le situer dans la « classe III », catégorie de bois « *mi-durs* ». L'essai de dureté, fournit avec la densité la cote de dureté « N/D^2 ».

Tableau 46: Cote de dureté « N/D^2 »

classe	N/D^2	Qualification
III	3 – 6	Faible
II	6 -- 9	Normale
I	9 -- 12	Forte

D'après le tab. 15 de l'annexe, et le tab. 46, la cote de dureté « N/D^2 » de chêne vert d'une valeur de 6.38 est qualifiée de normale.

IV.6 – CONCLUSION

Les résultats énumérés ci-dessus, montrent que les caractéristiques physiques du bois de chêne vert, sont celles d'un bois mi-durs à retrait volumétrique moyen. Soumis aux épreuves de la résistance à la cohésion axiale, le chêne vert s'est révélé et à l'exception d'une résistance moyenne à la résilience, d'une résistance supérieure à la compression et à la flexion. Les cotes de qualités sont faibles. Signalons que parmi les caractéristiques de la traction, du fendage et du cisaillement, le chêne vert se révèle moyen à l'exception d'une cote de cisaillement élevée.

Les caractéristiques physiques et mécaniques du chêne vert, sont des résultats stationnels, liés aux conditions de croissance et de compétitivité des espèces, au génotype de l'espèce ainsi qu'à son phénotype. L'état du relief ainsi que la fréquence des vents dans la zone d'étude, influent certainement sur les caractéristiques des espèces. Les résultats nous semblent valables et peuvent être étendus à une grande région, à condition de prélever un échantillon plus important.

Les résultats concordent-ils avec ce qui a été conclu sur les propriétés à partir de l'étude anatomique ? Les essais réaffirment :

- Le bon comportement à la compression condition par l'arrangement des éléments anatomiques axiaux.
- le bon comportement aux tests mécaniques est lié à La densité qui est en relation avec, la taille et la distribution des pores ainsi qu'avec une bonne proportion du bois d'été.
- La dureté du bois est en relation avec la grande fréquence des larges rayons ligneux. Ces mêmes rayons sont à l'origine des maillures et nécessitent un traitement particulier d'étuvage pour éviter les fentes de dessiccations.
- le bon comportement à la résistance aux charges et à la charpente est favorisé par la structure hétérogène du bois de chêne vert.

IV.7- ETUDE COMPARATIVE

Le tab. 47, met en exergue, d'une part la synthèse des caractéristiques étudiées du bois du chêne vert et d'autre part les compare aux mêmes caractéristiques d'autres bois du genre *Quercus*, *Pinus* et *Picea*.

Tableau 47 : Comparaison des caractéristiques étudiées avec d'autres bois

bois caractéristiques	1*	2*	3*	4	5	6	7*	8*
Densité (g/cm ³)	<u>0.92</u>	0.70	0.90	0.50	0.48	0.56	0.66	0.43
Retrait (%)	11.12	15.39	<u>9.97</u>	/	18.66	/	12.02	10.21
Flexion (Kg/cm ²)	<u>1083</u>	747	880	841	924	1031	1571	577
Compression (Kg/cm ²)	<u>495</u>	397	400	398	396	382	415	338
Traction (Kg/cm ²)	<u>44</u>	29	39	18.16	12.30	18.40	26.25	15.85
Fendage (Kg/cm ²)	24.31	19.53	<u>29.53</u>	9.36	6.66	9.18	14.76	9.94
Résilience (Kg/cm ²)	0.59	0.39	<u>0.93</u>	0.64	0.33	0.26	0.27	0.17
Cisaillement (Kg/cm ³)	<u>175</u>	152	163	/	/	/	140	90
Dureté N	<u>5.58</u>	3.95	4.58	1.67	1.32	1.40	4.96	3.10

* : (1) chêne vert, (2) chêne liège, (3) chêne zeen, (7) pin d'Alep, (8) pin marime . Berrichi et al., (2010)

4 : pin sylvestre. Fouarge et Sacre (1943)

5: *Picea abies*. Fouarge et Sacre (1953)

6: pin laricio. Fouarge (1938)

Le bois du chêne vert est plus dense, à retrait volumétrique total moyen, pour cette propriétés, le tab. 47 montre une bonne stabilité dimensionnelle du chêne zeen. Ce bois est plus durs que les autres espèces.

Le chêne vert, se révèle de qualité supérieure aux autres espèces en résistance à la compression, en résistance à la flexion statique, en résistance à la résistance à la traction perpendiculaire aux fibres et en résistance au cisaillement. D'après le tab. 47, on note la bonne tenue du chêne zeen à la résistance au fendage et à la résilience. Les caractéristiques citées, sont définies par l'arrangement, la cohésion et la longueur des fibres.

Les résultats des caractéristiques physiques et mécaniques du chêne vert, du chêne liège, du chêne zeen, du pin d'Alep et du pin maritime ont fait objet d'une publication qui est annexée à ce travail.

CHAPITRE V

ETUDE PAPETIERE DU CHENE VERT

La valorisation technologique du bois de chêne vert, nous impose d'étudier entre autres les caractéristiques papetières de l'espèce. Grâce à la fibre cellulosique qu'il contient, le bois occupe une place prépondérante dans la fabrication de la pâte et du papier dans le monde. A cet effet, il serait intéressant d'intégrer à l'aide d'une recherche, la possibilité d'utiliser le bois du chêne vert en papeterie par un traitement alcalin « POMILIO ». Cette approche permettra un regain d'intérêt des bois des taillis en général et du bois de trituration en particulier.

V.1-CHOIX DU PROCEDE

Malgré qu'il a été inventé pour le traitement de la paille, le choix du procédé « POMILIO » se justifie par :

- Son emploi dans la papeterie en Algérie.
- Le moins polluant ; il permet de traiter les eaux usées pour récupérer la soude.
- Ne nécessite pas l'importation du chlore et de la soude, qui sont obtenues localement par électrolyse du zinc.

V.1.1-Conditions générales d'essais

Le bois du chêne vert utilisé, a été prélevé à proximité de la réserve de chasse de Moutas, partie intégrante des monts de Tlemcen versant Nord, il est sain et ne présente aucune manifestation d'agents parasites. Le bois découpé en rondelles de 20 cm de largeur, a été acheminé au laboratoire de technologie forestière de l'Université de Tlemcen. Après polissage d'une rondelle et dénombrement de 42 couches annuelles, le bois est séché (séchage naturel) durant 2 mois, par la suite et à l'aide d'une hachette, les rondelles de bois ont été écorcées.

A l'usine papetière de Mostaganem de l'ouest algérien, lieu de l'expérimentation, le bois écorcé a été mis en copeaux dans une déchiqueteuse électrique. En raison de la dureté du bois de chêne vert, les copeaux sont de 15 à 25 mm de longueur et de 2 à 4 mm d'épaisseur. Afin d'éviter toute sorte d'absorption d'humidité, les copeaux sont mis dans un sachet en plastique.

Après détermination de l'humidité des copeaux « 23.1% » et la siccité « 79.9% », c'est la phase de la préparation de la pâte qui est mis en œuvre.

V.1.2-Paramètres de la cuisson

La cuisson a été réalisée dans un lessiveur rotatif à chauffage électrique, les paramètres de la cuisson sont :

- l'hydromodule ou le rapport liqueur / copeaux « $L/C = 4$ ».
- température maximale maintenue durant la cuisson « 170°C ».
- pression maximale de service « 8 bars ».
- la concentration en NaOH varie d'une cuisson à une autre de 20%, 22% et 24%

Le diagramme de la cuisson, comprend les trois phases suivantes :

- « montée » de température et de pression respectivement à 170°C et 8 bars pendant 1 heures 30 minutes.
- « palier » de température et de pression respectivement de 170°C et 8 bars pendant 2 heures.
- « descente » de température et de pression 70°C et 0 bars pendant 1 heures 30 minutes.

Avant de procéder à ce diagramme, on effectue un préchauffage jusqu'à atteindre une température de 60°C avec une pression de 0 bars, cette opération permet une bonne imprégnation de la lessive au niveau des copeaux. 400 g de bois purement sec, ont été utilisés pour chaque concentration en NaOH : 20%, 22% et 24 %.

V.2 -LA PATE BRUTE

Après cuisson, la pâte liquide est traitée selon, les opérations indiquées en fig. 31 :

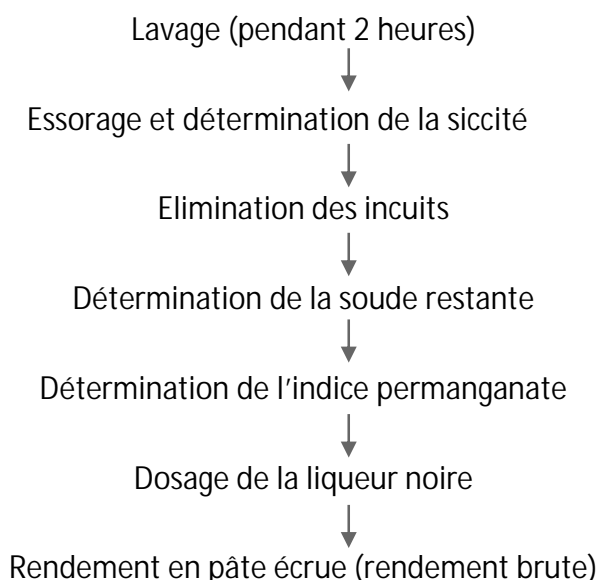


Figure 31 : Etapes d'obtention de la pâte écrue

Le tab. 48, présente les indices KMnO_4 obtenus pour chaque concentration en NaOH :

Tableau 48 : Variation de l'indice KMnO_4 en fonction des trois cuissons

Cuissons	Indice KMnO_4	Ecart-type
20%	16.75	0.73
22%	16.65	0.58
24%	16.03	0.61

L'indice KMnO_4 est lié à la délignification résiduelle; plus il est élevé plus l'indice est faible, dans le cas présent, l'indice est de l'ordre de 16 dans les 3 cuissons. Janin et al., (1989) définissent les pâtes qui ont un indice KMnO_4 compris entre 10 et 20 comme facile à blanchir.

Le Tab.49 illustre les rendements bruts des trois cuissons.

Tableau 49 : Variation des rendements bruts en fonction des trois cuissons

Cuissons (%)	20	22	24
Rendements bruts(%)	49.1	47.4	45.6

On remarque que, le rendement en pâte écrue ou le rendement brut diminue en fonction de l'augmentation de la concentration en NaOH .

V.3 -LA PATE BLANCHIE

Le but du blanchiment et l'obtention d'une pâte blanchie, de bonne stabilité et dont les propriétés ont subi le minimum d'altération, la fig. 32 montre le schéma de l'obtention des pâtes blanchies.

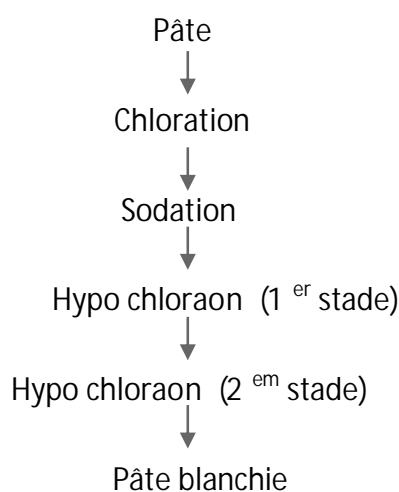


Figure 32 : Etapes d'obtention de la pâte blanchie

Le tab. 50, présente le rendement net de la pâte blanchie des trois concentrations.

Tableau 50 : Evolution du rendement net en fonction du NaOH

Cuissons (%)	20	22	24
Rendements nets(%)	47.6	45.4	44.7

Au même titre que Le rendement brut, Le rendement net, diminue en fonction de l'augmentation de la concentration en NaOH. Les deux résultats mettent en évidence l'effet du blanchiment sur l'amélioration du rendement.

V.4 - LE RAFFINAGE

Selon Janin (1983), le raffinage a pour effet de rompre, par une action mécanique, la paroi primaire des fibres et de libérer les fibrilles. Cette technique est effectuée au moyen d'une raffineuse (pile Hollandaise). Pendant le raffinage, se produit un engraissement de la fibre ; la liaison fibrille-eau remplace la liaison fibrille-fibrille (Martin, 1976). Cette action, améliore la flexibilité de la fibre et des caractéristiques mécaniques qui lui sont liées. Le raffinage se produit en deux phases :

- Un pré raffinage pendant 30 minutes.
- Un raffinage proprement dit jusqu'à obtenir un degré SHOPPER de 40 SR.

Tableau 51 : Evolution du degré SHOPPER en fonction du temps de raffinage et de NaOH

Type de pâte	Temps de raffinage (mn)	Cuissons		
		à 20%	à 22%	à 24%
Pâte écrue	0	14	16	13
	10	18	21	16
	15	19	25	19
	20	23	30	24
	25	28	32	26
	30	34	35	35
	35	40	40	39
	40	43	43	43
Pâte blanchie	0	13	13	14
	10	20	19	25
	20	32	34	39
	25	37	41	42
	30	43	46	44
	35	45	49	46

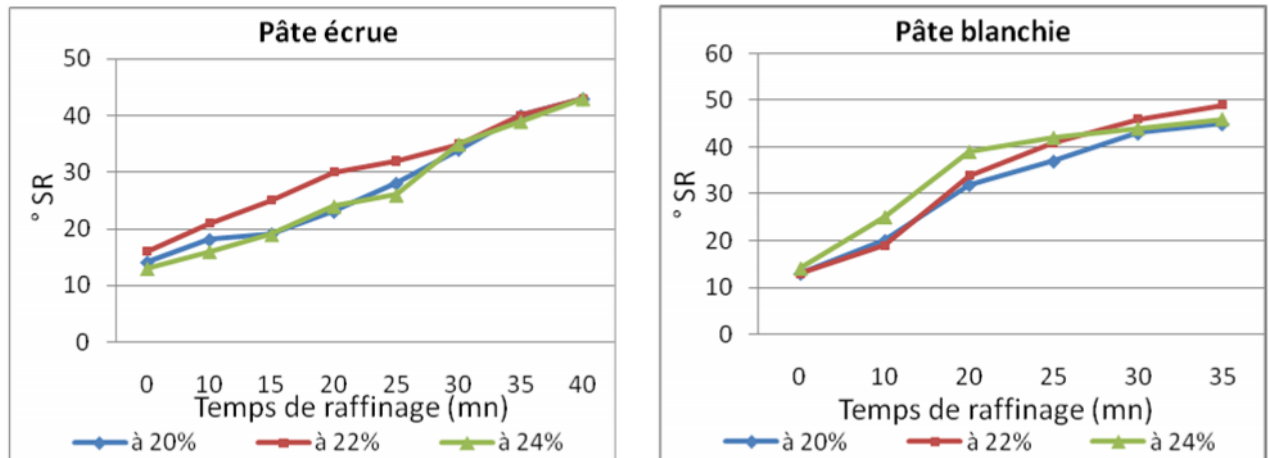


Figure 33 : Evolution du degré SHOPPER en fonction du temps de raffinage et de NaOH

Les résultats du tab. 51 et la fig. 33, montrent que le degré SHOPPER, augmente en fonction du temps de raffinage dans les deux pâtes, ceci s'explique par le fait que les deux pâtes au début s'égouttent facilement et rapidement, car elles étaient maigres, mais après écoulement d'un certain temps, les fibrilles apparaissent et le taux de finesse augmente, ce qui entraîne le colmatage de la pâte qui s'engraisse au fur et à mesure.

La fig.33, indique que La vitesse de raffinabilité qui exprime le temps nécessaire pour atteindre 40°SR de la pâte écrue à 22% et de la pâte blanchie à 24% est supérieure aux deux autres cas.

V.5 - LA MISE EN FORMETTE

La mise en formettes permet de rassembler les fibres-fibrilles et de les mettre en contact les unes aux autres pour obtenir une feuille de papier homogène. L'opération se déroule dans l'appareil « FRANK » qui donne des formées de 200 mm de diamètre. La formée obtenue est séchée par passage dans un séchoir à 140°C pendant 5 mn.

De chaque temps de raffinage, on prélève cinq formettes qui subiront ultérieurement les tests physico-chimiques.

V.6 - PROPRIETES PHYSIQUES, MECANIQUES ET OPTIQUES DU PAPIER

Les propriétés physiques et mécaniques, sont effectuées dans le but de s'assurer que les qualités des papiers obtenues, correspondent aux exigences définies par les normes et pour classer le papier du chêne vert et définir les catégories possibles d'utilisation. Durant les tests, on s'est basé sur les normes et les méthodes d'Afnor « Association Française de Normalisation ».

V.6.1- Propriétés physiques

On qualifie les tests physiques, l'ensemble des caractéristiques qui, lors de leur détermination ne sont pas soumises à un effort ou un travail énergétique.

V.6.1.1- Grammage Pn Q 03 019 (1968)

Le grammage exprime la masse au mètre carré du papier, c'est une caractéristique fondamentale ; qui permet :

- De calculer toutes les autres propriétés.
- Au transformateur de connaître la surface dont on dispose tout en achetant au poids.

$$G = \frac{P}{S}$$

G : grammage en g/m²

P : poids de la formette en grammes.

S : surface de la formette en m².

L'analyse des tab. 16 et 17 de l'annexe et la fig. 34, montrent que le bois du chêne vert, âgé de 42 ans, présente un grammage, qui est en grande partie dans toutes les concentrations de la soude et dans les différentes phases de raffinage est supérieur à 63.69 g/m², ceci s'explique et à notre avis par l'abondance dans les formettes des fibres du bois d'été et peut être le mauvais fonctionnement du désintégrateur. La norme Pn Q 03 019 (1968) considère que le grammage des échantillons est presque constant, vu que le poids recherché des formettes est de 2 grammes. Il faut prendre en considération également les erreurs faites au cours des prélèvements pour la mise en formettes et les erreurs de la pesée.

V.6.1.2- L'épaisseur Pn Q 03 016 (1960)

La détermination de l'épaisseur d'une formette, s'effectue à l'aide d'un micromètre et elle exprimée en microns.

L'examen des tab. 18 et 19 de l'annexe et la fig. 35 indiquent que l'épaisseur diminue au cours du raffinage, car les fibres deviennent plus flexibles, elles perdent leurs aspects tubulaires et s'écrasent à la formation de la feuille. On remarque aussi que la feuille est plus mince dans les fortes concentrations, dans les plus longues périodes de raffinage et dans le cas de la pâte blanchie.

V.6.1.3- La main Pn Q 03 017 (1960)

La main représente le volume qu'occupe un gramme de papier.

e : épaisseur μm
 G : grammage en g/m^2

Marn (1976), qualifie le papier de « bouffant », lorsqu'il a une main élevée et c'est un papier qui connaît des emplois limités, car il n'accepte pas l'écriture manuelle et n'admet que quelques types d'impressions. L'analyse des tab.20 et 21 de l'annexe et la fig. 36 montrent que la main moyenne de chaque concentration de la soude et de chaque temps de raffinage, pour la pâte écrue et la pâte blanchie suit la même évolution que le grammage.

V.6.1.4 - La porosité Pn Q 03 001 (1958)

La porosité exprime le volume d'air qui traverse en une seconde une éprouvette de 1 cm^2 , sous une pression ou dépression de 1 cm d'eau. Ce volume d'air est une mesure de l'état poreux du papier.

$$P = \frac{G \cdot V}{t \cdot S \cdot h}$$

P : porosité

G : grammage en g/m^2

V : volume d'air écoulé en cm^3

S : surface d'essai $= 10\text{ cm}^2$

h : pression ou dépression en cm d'eau

t : temps d'écoulement en secondes

Les tab.22 et 23 de l'annexe et la fig. 37 indiquent que la porosité ou la perméabilité à l'air diminue avec le temps de raffinage. Ceci s'explique par le fait, que durant le raffinage l'épaisseur de la formette diminue et la densité augmente et le colmatage de la texture, d'où la diminution de la porosité la pâte à 24% présente des indices de porosité plus faible par rapport aux deux autres pâtes, que ce soit écrue ou blanchie

Selon Reinsco (1983), une porosité élevée, à condition qu'elle ne soit pas excessive, améliore l'absorption d'encre lors de l'impression

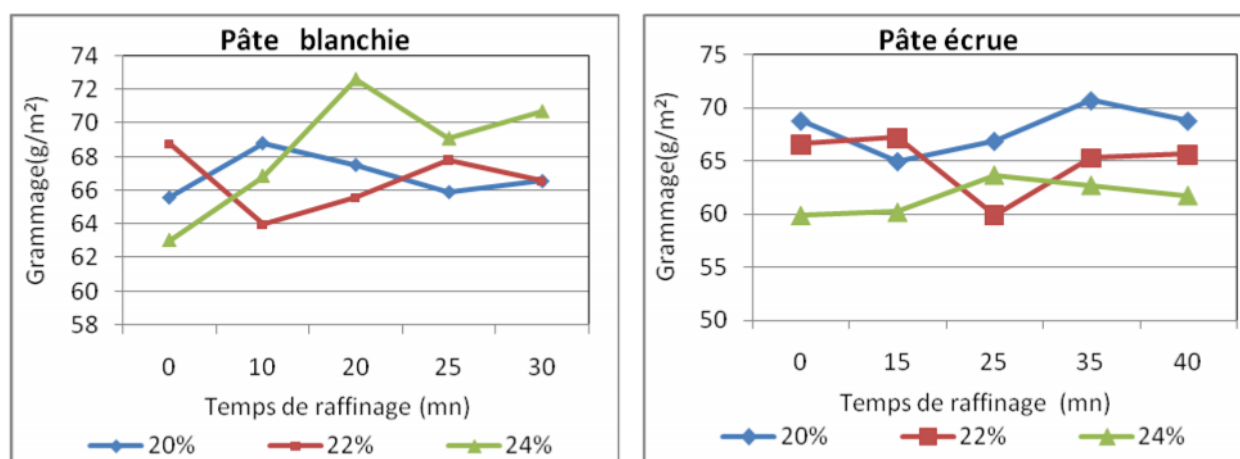


Figure 34 : Variation du grammage en fonction du temps de raffinage et de la soude

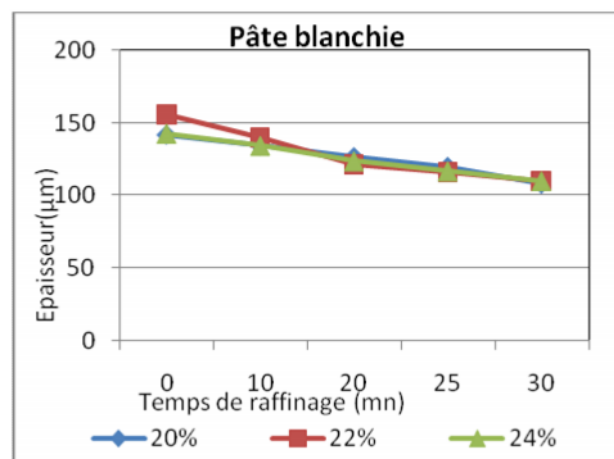
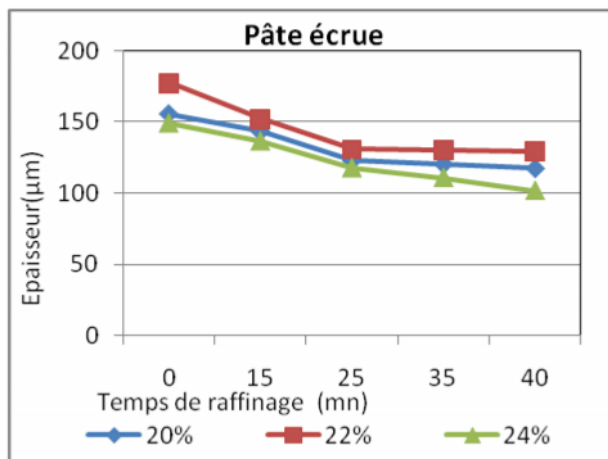


Figure 35 : Variation de l'épaisseur en fonction du temps de raffinage et de la soude

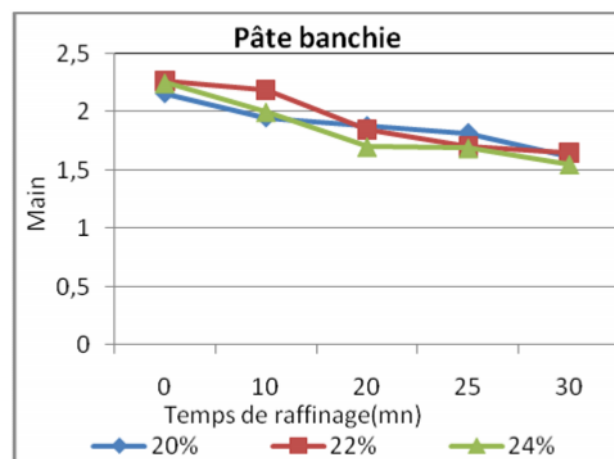
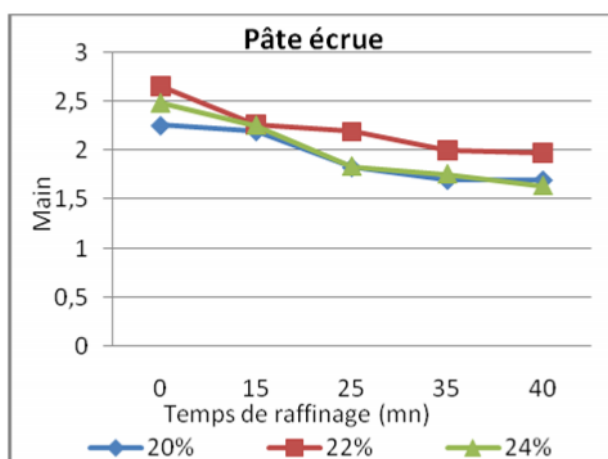


Figure 36 : Variation de la main en fonction du temps de raffinage et de la soude

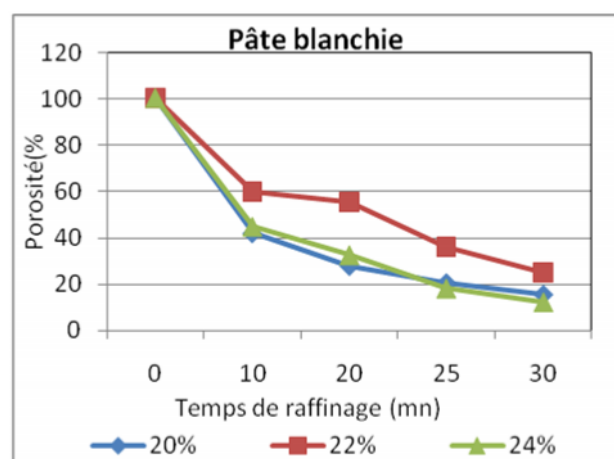
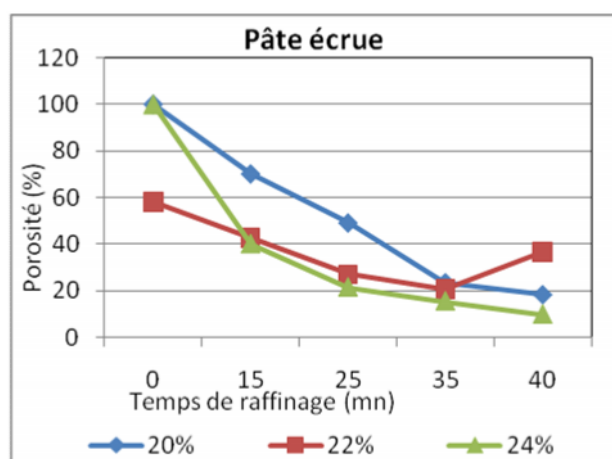


Figure 37 : Variation de la porosité en fonction du temps de raffinage et de la soude

V.6.2- Propriétés mécaniques

Les tests physiques, sont l'ensemble des caractéristiques qui, lors de leur détermination sont soumises à un effort ou à un travail énergétique.

V.6.2.1- Resistance à la rupture Pn Q 03 004 (1958)

La résistance à la rupture par traction est la résistance limite d'une éprouvette de papier soumise à une traction exercée sur chacune de ses extrémités jusqu'à rupture.

$$L_r = \frac{F}{G.l.106}$$

L : longueur de rupture en mètre

G : grammage en g/m²

l : largeur de l'éprouvée = 15 mm

F : charge de rupture en kgf

L'examen des tab. 24 et 25 de l'annexe et la fig. 38, montrent que le raffinage améliore la longueur de rupture, ceci s'explique qu'au cours du raffinage, le phénomène d'hydratation et de gonflement a eu son effet d'aplatir la surface de contact entre les fibres, il s'est créé de nouvelles liaisons inter fibrilles qui s'adhèrent plus facilement et donne une bonne résistance à la rupture. Lors du test, ce sont ces liaisons qui se fracturent et non les fibres.

Dans notre cas, la longueur de rupture augmente avec le temps de raffinage, pour les deux types de pâtes à différentes concentrations. On constate alors que la pâte à 24% atteint la valeur de longueur de rupture la plus élevée. Pour la pâte écrue de l'ordre de 50009.87 avec une erreur de ± 61.02 et un risque de 1.2% et pour la pâte blanchie 4433.9m ± 102.6 avec 2.31%. La longueur de rupture de la pâte à 22% a tendance de se stabiliser à partir de la 20^{ème} minutes jusqu'à la fin du raffinage.

V.6.2.2- Allongement Pn Q 03 004 (1971)

L'allongement représente la quantité dont s'étire l'éprouvée de 15 mm de large pendant l'essai de traction.

$$Al\% = \frac{Ae.100}{L}$$

Ae : allongement à la rupture en mm.

L : longueur de l'éprouvée (180mm) .

L'allongement est lié à la longueur des fibres et à leur souplesse, lors de l'essai, les fibres ont tendance à se dresser dans le sens de longueur jusqu'à rupture. Les tab. 26 et 27 de

l'annexe et la fig. 39, montrent une augmentation de l'allongement avec le temps de raffinage pour les deux pâtes et à différentes concentrations en NaOH.

V.6.2.3- Résistance à la déchirure Pn Q 03 011 (1971)

L'essai de déchirement est un essai dynamique où est mesuré le travail absorbé pour provoquer la déchirure d'une éprouvette sur une longueur déterminée.

$$Id = \frac{D}{G \cdot n} \cdot 16 \cdot 100$$

D : déchirure en g cm/cm

G : grammage en g/m²

n : nombre de feuilles

Id : indice de déchirure

16 : lié au nombre normalisé de la feuille

La résistance au déchirement, dépend de la longueur des fibres, de leur entrelacement et de la souplesse des liaisons interfibrilles. L'examen des tab. 28 et 29 de l'annexe et la fig. 40, indiquent que l'indice de déchirure, dans les deux types de pâtes et à différentes concentrations, augmente avec le temps de raffinage jusqu'à la 20^{ème} minutes pour les concentrations de 20% et de 22% et à la 25^{ème} minutes pour la concentration de 24%. Par la suite on remarque une chute, qui s'explique par la réduction de la longueur des fibres dû à la rupture qui se produit lors du raffinage. On peut ainsi dire qu'il existe un seuil qu'au-delà, le raffinage aura un effet négatif sur l'indice de déchirure.

Chene (1963), explique qu'il existe un nombre relativement restreint de liaisons interfibrilles et lorsque ce nombre dépasse une certaine valeur, la résistance au déchirement décroît.

V.6.2.4 - Résistance à l'éclatement Pn Q 03 053 (1972)

La mesure de la résistance à l'éclatement, est un essai statique destiné à simuler la détérioration fréquente des papiers. Elle détermine la résistance d'un papier soumis à une pression uniforme exercée perpendiculairement à la surface.

$$I.e = \frac{F}{G \cdot 1000}$$

I.e. : indice d'éclatement

F : résistance à l'éclatement (kg/cm²)

G : grammage en g/m²

Le raffinage dont l'une des trois caractéristiques essentielles est la fibrillation, permet grâce à cette propriété la formation d'un nombre accru de contact de fibres d'où l'augmentation de l'indice d'éclatement avec le raffinage. Les tab. 30 et 31 de l'annexe et la fig. 41, nous permettent de voir que l'augmentation du temps de raffinage entraîne une

augmentation de la résistance à l'éclatement. A 40° SR, la pâte qui présente le meilleur indice est celle de 24%, valeur proche à celle de 20% (39.5 ± 1.5).

Sous l'effet du raffinage, l'indice d'éclatement varie comme la longueur de rupture, il dépend du nombre de liaisons entre les fibres, de leur longueur et de la mise en feuille (Chene, 1963).

V.6.2.5 - Résistance au pliage Pn Q 03 011 (1958)

La résistance au pliage, est un essai qui présente un intérêt pour certaines utilisations du papier (billets de banque, couvertures de cahiers...). Les tab. 32 et 33 de l'annexe et la fig. 42, montrent que pour les deux pâtes, la résistance au pliage augmente avec le temps de raffinage et les concentrations. En effet la résistance au pliage dépend du nombre de liaisons entre les fibres qui augmente lors du raffinage.

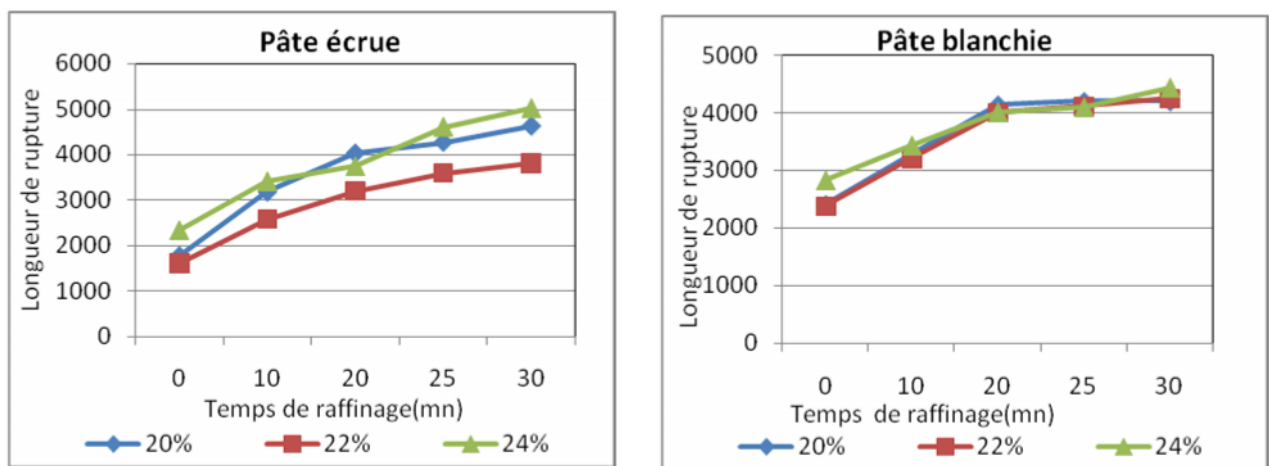


Figure 38 : Variation de la longueur de rupture en fonction du temps de raffinage et de la soude

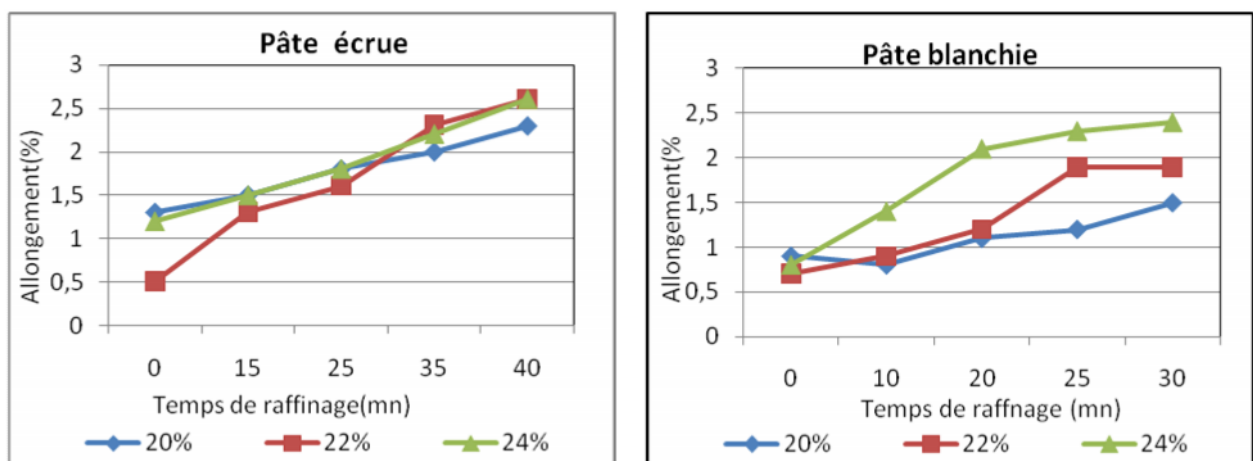


Figure 39: Variation de l'allongement en fonction du temps de raffinage et de la soude

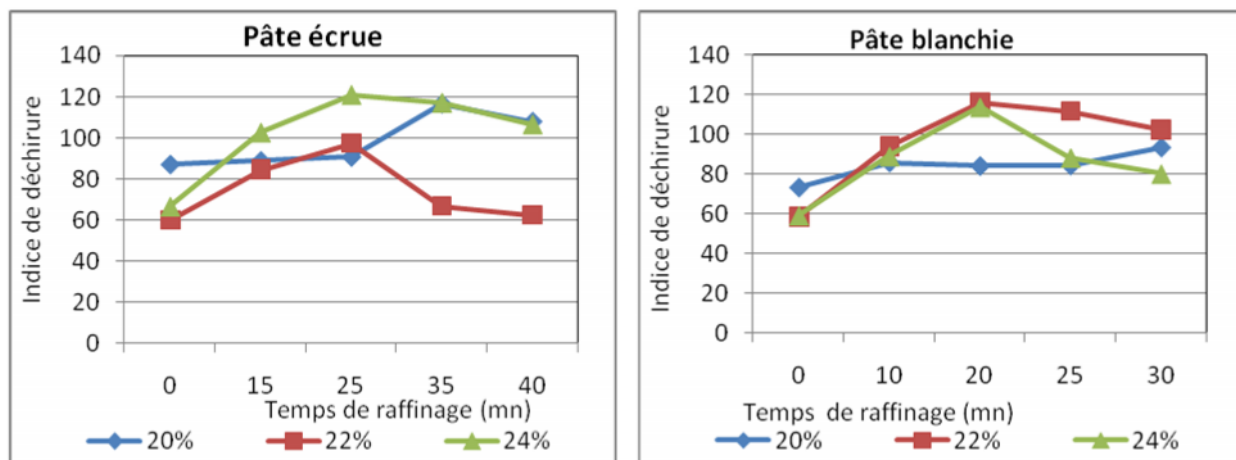


Figure 40 : Variation de l'indice de déchirure en fonction du temps de raffinage et de la soude

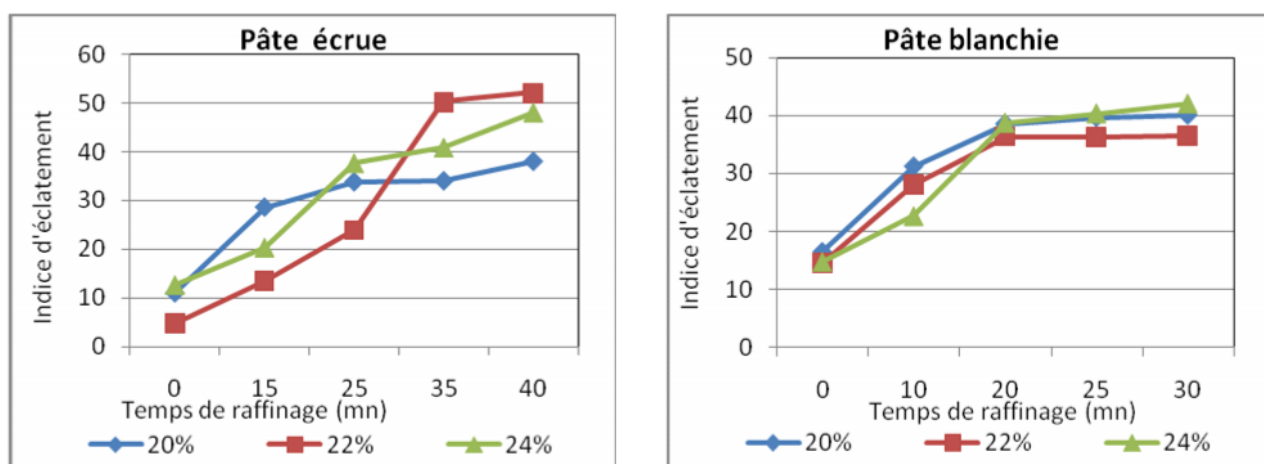


Figure 41 : Variation de l'indice d'éclatement en fonction du temps de raffinage et de la soude

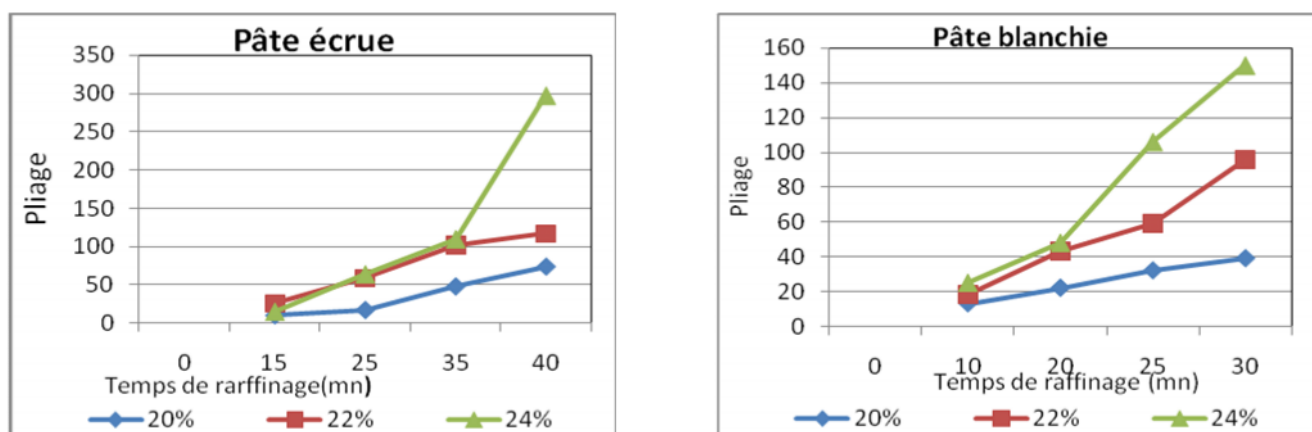


Figure 42 : Variation du pliage en fonction du temps de raffinage et de la soude

V.6.3 - Propriétés optiques

Le degré de blancheur et l'opacité des formettes sont déterminés, selon les normes AF Q 03 006 et Q 03 008 (1958) et à l'aide de l'appareil ELREPHO, (Tab. 52).

Tableau 52 : Variation de l'opacité et du degré de blancheur en fonction du raffinage et de la concentration de la soude

[NaOH]%	Temps de raffinage (mn)	degré de blancheur(%)	Opacité(%)
20%	0	78.5	91.5
	10		91.2
	20		90,0
	25		89,2
	30		88,0
22%	0	84.7	94.2
	10		93.7
	20		92.6
	25		91.8
	30		90.7
24%	0	80.3	87.1
	10		86.4
	20		84.2
	25		80.7
	30		80.1

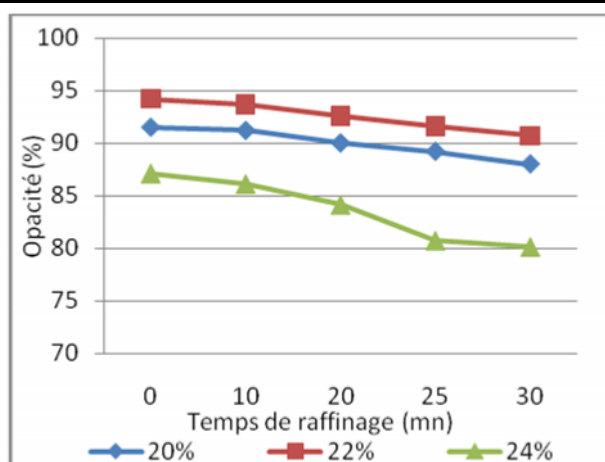


Figure 43: Variation de l'opacité en fonction du temps de raffinage et de la soude

Le tab.52 et la fig. 44, présentent une diminution de l'opacité, dans le cas de l'augmentation du temps de raffinage et des concentrations de la soude, cette diminution est liée à l'effet du raffinage sur les fibres. La pâte à 22% possède le degré de blancheur le plus élevé.

V.7 - EVALUATION DES QUALITES PAPETIERES DU CHENE VERT

Le tab.53, présente les indices papeter s du chêne vert à 40°SR et à différents temps de raffinage.

Tableau 53: Evaluation des résultats à 40°SR

cuissons Nature des pâtes	20%		22%		24%	
	écru	blanchie	écru	blanchie	écru	blanchie
°SR	40°SR	40°SR	40°SR	40°SR	40°SR	40°SR
Temps de raffinage (mn)	35mn	35 mn 40 sec	35mn	24 mn 20 sec	36mn 20sec	21 mn 40 sec
Longueur de rupture(m)	4280	3820	3700	3600	4700	3620
Indice d'éclatement	34	39.25	50	36.25	42.5	39.5
Indice de déchirure	116.5	83.5	66.5	111	115	105

La lecture du tab. 53, indique bien que Longueur de rupture de la pâte écru est supérieure à la pâte blanchie, les normes nous permettent de concevoir une utilisation, comme papier impression-écriture et Papier dessin. Les deux pâtes, et en raison du bon indice d'éclatement et de l'indice de déchirure, peuvent être employées notamment pour la fabrication du papier emballage.

Afin d'ordonner la meilleure cuisson, nous avons utilisé la formule de l'indice papetier donnée par PETROFF :

$$I_{\text{papetier}} = \sqrt{E \cdot D} \frac{R_{\text{net}}}{I_{\text{KMnO4}}}$$

Ip : indice papetier.

D : indice de déchirure

E : indice d'éclatement

Le tab.54 présente les indices papetiers des trois concentrations de la soude.

Tableau 54: Variation de l'indice papetier en fonction de la cuisson

cuissons	indice papetier
20%	163
22%	174
24%	179

Parmi les trois cuissons, la pâte à 24% donne le meilleur indice papeer . En vue d'évaluer les qualités papetières du chêne vert, les actuels résultats menonnés au tab. 55 , sont supérieurs à d'autres travaux que nous avons réalisés, sur la même espèce, mais à des âges différents avec les mêmes paramètres de cuissons,(10 ans, 20 ans et 42 ans).

Tableau 55 : Variation de l'indice papetier en fonction de la cuisson et l'âge du chêne vert

Cuisson/âge	10 ans à 22%	20 ans à 22%	42 ans à 24%
indice papetier	63	157	179

Le tab. 56, présente l'effet du traitement au sulfate, sur les qualités papetières comparé à la pâte du chêne vert traitée à la soude.

Tableau 56 : Comparaison du traitement à la soude et au sulfate (chêne vert)

Traitement	sulfate	soude
propriétés		
Longueur de rupture	4150	3620
Indice de déchirure	146.7	105
Indice d'éclatement	22.1	39.5

Les résultats du tab. 56, nous montre que le traitement au sulfate offre de meilleures propriétés mécaniques que le traitement à la soude, sauf pour l'indice d'éclatement.

Le tab. 57, présente les normes des caractéristiques mécaniques pour les différents papiers, les normes nous permettent d'envisager les possibles emplois du chêne vert en papeterie.

Tableau 57 : Normes des caractéristiques mécaniques des différents papiers

Caractéristiques	Longueur de rupture	Indice d'éclatement	Indice de déchirure
Types de papiers			
Papier écritures	3500	12-15	--
Papier machine à écrire	4500	18-20	--
Papier duplicata	3500	12-17	--
Papier dessin	4000	12-20	--
Papier support couche	5000	18-20	70

Afnor (1976)

L'analyse du tab. 57, montre que le chêne vert peut être utilisé comme papier impression-écritures et Papier duplicata, notamment pour la fabrication du papier emballage à l'état écoré puisque ce dernier offre des caractéristiques plus performantes que la pâte blanchie.

V.8- Conclusion

L'approche montre qu'il est possible de fabriquer du papiers à base du chêne vert avec une concentration en MOH à 24%, le rendement brut de 45.6 % et le rendement net de 44.7% sont acceptables, mais il serait souhaitable d'améliorer certaines caractéristiques, par un mélange avec les pâtes à fibres longues, ce qui permettra par exemple l'élévation de la longueur de rupture, ou en variant les paramètres de température. Il est possible, d'ajouter des adjuvants en petites quantités, par exemple l'Anthraquinone afin d'améliorer les rendements.

La caractérisation du papier à partir de caractéristiques biométriques des fibres, traitée dans la partie « anatomie – papeterie » du troisième chapitre correspondant à l'anatomie, a montré que le bois de chêne vert, fait partie des végétaux possédant des parois de fibres relativement épaisses et un lumen peu développé. Les fibres s'aplatissent peu lors de la fabrication du papier et présentent peu de surface entres-elles, c'est un bois de mauvaise aptitude papetière. Seulement, le coefficient de feutrage proche de 50, nous laisse pressentir de meilleures aptitudes. Les normes des caractéristiques mécaniques des différents papiers du tab.57, donnent des résultats supérieurs à celles déduites de la morphologie des fibres.

CONCLUSION GENERALE

Les taillis de chêne vert en Algérie et leur adaptation aux diverses agressions, constituent des formations dont les impacts écologiques ne sont plus à démontrer. Il faut à tout prix les protéger par une valorisation économique reposant sur l'utilisation de la matière ligneuse, induisant une prise en charge par l'aménagement basé sur des concepts nouveaux.

Sur la plus grande étendue de la chênaie verte, les peuplements sont pauvres et portent bien l'empreinte de la dégradation due à l'homme et au bétail. Presque partout, il s'agit d'un taillis dont la densité des cépées varie de 100 à 400 par hectare. Quant aux brins, leur nombre moyen oscille de 3 à 16 par cépée. La hauteur de ces taillis est peu élevée, de 2 à 6 m, dans les meilleures des cas, elle ne dépasse guère 6 m pour les brins les plus hauts. La consistance irrégulière, fait que ce type de taillis, peut être parcouru en tout sens.

C'est en fonction de toutes ces données et en fonction de situations diverses et reconnues que se pose, le problème de l'utilisation de ce type de taillis en tenant compte des impératifs socio-économiques de la région. Les suggestions à ce propos peuvent être variées. Toutefois nous écartons, en raison des incertitudes et des risques inconnus, l'utilisation de techniques qui amèneraient un bouleversement du milieu naturel.

La première suggestion serait de maintenir le peuplement actuel, tout en s'efforçant d'augmenter sa productivité surtout dans les parties du taillis hauts et denses, hauts et clairs, bas et denses. Toutes les actions consistent à appliquer les règles classiques de la sylviculture de cette essence en insistant sur les éclaircies des cépées afin de ne laisser arriver à des dimensions intéressantes que 2,3 ou 4 brins par cépée.

Ces taillis ne peuvent rester en l'état d'improductivité. Nous pensons que cette approche, implique au départ une orientation précise et une définition claire des objectifs, à savoir « *la détermination des propriétés technologiques et par conséquent les aptitudes d'utilisation du bois de chêne vert* ». Une sylviculture appropriée et une méthode d'aménagement élaborée sur des bases écologiques solides.

Les principales conclusions, auxquelles nous sommes parvenues se situent à différents niveaux :

- Sur le plan de l'anatomie du bois du chêne vert

Du point de vue macroscopique, les observations effectuées sur les différents échantillons, authentifient la distinction difficile des couches d'accroissements annuels et leur contour sinueux. Au même titre, l'aubier se distingue mal du duramen. Les larges rayons ligneux, sont visibles à l'œil nu par leurs éclats et sont à l'origine des fentes médullaires de dessiccation. Ce sont ces rayons qui donnent les maillures dans les planches sciées sur quartier.

Du point de vue microscopique, la description et la quantification des éléments du plan ligneux des différents échantillons, fait ressortir les points suivants :

- Les pores sont de nature « *semi poreuse* », groupés en file radiale dans la zone interne du bois et s'isolent complètement en zone externe.
- Les ponctuations sont dispersées, disposées en rangées horizontales
- Il existe de deux types de parenchyme ; Le parenchyme apotrachéal à cellules isolées et dispersées, parfois disposées en chaînettes et le parenchyme paratrachéal en bandes confluentes et circumvasculaires surtout dans le bois initial.
- Les pores du bois initial sont d'un diamètre de « 135.31µm », sont qualifiés de « Moyens » grandeur. Les pores du bois final ont un diamètre de « 77.81µm », qualifiés ainsi de « Fins ».
- Les vaisseaux du chêne vert d'une longueur de « 422.50 », sont qualifiés de « moyens ». Les vaisseaux sont 17 par mm², conférant au bois une densité de vaisseaux moyenne.
- Le nombre de rayons ligneux par mm est « Nombreux », on comptabilise 15. La hauteur des rayons ligneux unisériés de « 197.49 µm » est qualifiée de « Très petits », la Hauteur du rayon ligneux multisériés « 2235.48µm » est qualifiée de « Moyens ». la largeur des rayons unisérié est de « 14.19µm », est qualifiée par conséquent de « Très étroits ». Les rayons ligneux multisériés sont qualifiés de « Larges ».
- Les fibres de bois de chêne vert, sont de moyenne longueur « 993.44 µm », d'étroite largeur « 21.66µm » et d'épaisseur moyenne de la paroi « 6.87 µm ».

La littérature présente un grand nombre de travaux qui montrent, l'influence de la structure anatomique sur les propriétés du bois, c'est ainsi que, nos résultats, ont démontré que:

- La résistance à la compression est influencée positivement par la proportion, la longueur, la largeur et l'épaisseur des parois des fibres les moins poreuses. La cavité très étroite de la fibre « 7.92 µm », du bois du chêne vert est à la faveur d'une bonne résistance à la compression. Dans ce cas, l'effort est réparti sur toute la section.
- La densité du bois dépend de la proportion relative des fibres par rapport aux éléments cellulaires. Le nombre de vaisseau par unité de surface « 17 vaisseaux par mm² », et les fins pores « 77.81µm » de la large proportion du bois final du chêne vert, sont en faveur d'un bon comportement aux tests mécaniques.
- Les cellules des larges rayons ligneux du bois de chêne vert et le nombre élevé des rayons par unité de longueur « 15 rayons / mm » induisent une amélioration de la résistance des tests sollicités dans le sens radial. C'est le cas de la dureté. Ces bois difficiles à débiter, nerveux et déformables doivent être étuvés énergiquement au préalable.
- L'eau liquide des cavités des fibres « 7.92 µm », des vaisseaux « 135.31µm en bois initial et 77.81µm en bois final » et l'eau liée se comportent comme un solide et contribuent au renforcement de la structure du plan ligneux.
- les larges rayons médullaires, fournissent aux bois débités sur quartier des maillures. Les maillures sont très recherchées pour les qualités esthétiques qu'elles confèrent aux bois. Le bois hétérogène du chêne vert, offre une bonne résistance aux charges et convient à la charpente.

- Ce bois avec un diamètre tangentiel moyen des vaisseaux de « 106,61 μm » est qualifié de bois à grain « fin », au ponçage cette catégorie de bois ne laisse pas des surfaces pelucheuses.
- La faible proportion de l'aubier et la structure anatomique du chêne vert rendent son bois très durable, surtout, s'il est utilisé dans une atmosphère sèche. La conductibilité thermique des bois des chênes en général et du bois de chêne vert en particulier est faible. Sa constitution cellulaire offre des cavités de vaisseaux « 135.31 μm en bois initial et 77.81 μm en bois final » remplies d'air. Toujours, en raison de sa constitution cellulaire, le bois est un mauvais conducteur acoustique.

L'indice papetier, caractérise le papier à partir des mesures biométriques des fibres, il permet de classer le bois en fonction du coefficient de souplesse, du coefficient de feutrage et du coefficient de Runkel. Le chêne vert présente un coefficient de souplesse de « 36.5% », un coefficient de feutrage de 45.86 et un coefficient de Runkel de « 1.73 ». Ainsi, le bois de chêne vert, fait partie des végétaux possédant des parois de fibres relativement épaisses et un lumen peu développé. Les fibres s'aplatissent peu lors de la fabrication du papier et présentent peu de surface entres-elles.

Le second objectif recherché par l'étude de la structure anatomique, consiste en la détermination de l'influence exercée par les facteurs de production (conditions de croissance et âge) sur la qualité du produit. L'influence de l'âge est donnée par la position radiale des échantillons dans les accroissements ; à savoir la zone interne et la zone externe. Les caractères descriptifs font état de pores regroupés en file radiale dans la zone interne et isolés complètement en zone externe.

Les résultats de la variabilité anatomique des éléments vasculaires du chêne vert, montrent une augmentation en zone externe, de la densité, de la taille des pores. Ce changement descriptif et quantitatif observé chez les pores, constitue une réponse microstructurale des vaisseaux au développement physiologique de l'arbre. Le développement est marqué, par une cime plus importante, par un feuillage plus abondant et par une plus grande prolifération des racines. L'augmentation du diamètre des vaisseaux, est une réponse, à la succion exercée par les parties aériennes. Les résultats sont conformes avec ceux de la littérature, à savoir « augmentation du nombre et de la taille des vaisseaux avec l'âge chez les feuillus ».

Les résultats, sur les rayons ligneux correspondent aux hypothèses émises par les auteurs cités, qui font souvent état, comme conséquence d'évolution de l'âge chez les feuillus, d'une augmentation de la largeur de rayons multisériés et de la diminution de leur hauteur. Les fibres de la zone externe sont significativement plus longues et moins épaisses que celles de la zone interne.

Les résultats liés à l'évolution des éléments conducteurs avec l'âge, sont en relation avec la physiologie de l'arbre et seuls les besoins de circulation, de stockage et de distribution des

éléments nutritifs peuvent donner une explication à leur distribution. Le bois du chêne vert et au fur et à mesure qu'on s'approche de la périphérie de son tronc, acquiert les formes d'adaptations suivantes :

- Les vaisseaux s'isolent et deviennent plus longs, plus gros et plus nombreux.
- Les rayons multisériés deviennent plus larges et moins hauts.

L'évolution des paramètres liés aux vaisseaux, engendre une réduction de l'espace occupé par le tissu fibreux, les rayons ligneux et le parenchyme axial dans la zone externe par rapport à la zone interne. Si on prend en considération l'épaisseur de la paroi des fibres qui est, et dans notre cas, significativement plus épaisse en zone interne, on peut conclure que la densité du bois décroît chaque fois qu'on s'écarte de la moelle. Ceci confère au bois du chêne vert, une imprégnation facile pour la conservation. La tendance d'évolution des rayons ligneux avec l'âge s'explique par l'augmentation du besoin de stockage des éléments nutritifs à un âge avancé de l'arbre, et la force de succion nécessaire à leur distribution lors du développement des feuilles.

L'influence des conditions de croissance sur le plan ligneux analysée dans les conditions citées en (III.7.3.2) est marquée par une augmentation significative du nombre de vaisseaux au mm^2 , une diminution significative de la largeur des rayons unisériés et une augmentation significative de la largeur des rayons multisériés. Ces changements, sont considérés comme réponse du plan ligneux, de deux échantillons de bois prélevés dans les mêmes accroissements (15^{ème} à la 19^{ème} année), de deux périodes différentes, la première période (1936-1940) et seconde (1973 – 1977), donc réponse à une réduction de la pluviométrie de l'ordre de (15%) durant la première période.

Les résultats de l'influence des expositions sur le plan ligneux, de quatre échantillons de bois d'âge équivalente, prélevés de la même rondelle, selon les quatre points cardinaux ; Nord, Sud, Est et Ouest, font état d'un changement significatif au niveau des particularités suivantes :

- Les rayons multisériés (supérieurs à 10 cellules en largeur), sont plus larges en expositions Sud. Les billes de bois du chêne vert, exposées au Sud sont plus nerveux.
- Les fibres les plus longs se trouvent en exposition Ouest.
- Les fibres les plus larges se trouvent en exposition Nord, il s'agit là d'un bois dur.

- Sur le plan propriétés du bois du chêne vert

Les caractéristiques physiques du bois du chêne vert, sont celles d'un bois lourd, mi-dur à retrait volumétrique moyen. Soumis à des épreuves de la résistance à la cohésion axiale, le chêne vert s'est révélé, à l'exception de la résistance moyenne aux chocs, d'une résistance supérieure à la compression et à la flexion. Les cotes de qualités sont faibles. Il faut signaler

que parmi les caractéristiques de la traction, du fendage et du cisaillement, le chêne vert se révèle moyen à l'exception d'une bonne cote de cisaillement.

Les caractéristiques citées, nous ont permis de faire le point sur des éventuelles utilisations :

- Dimensions importantes et sans nœuds
- Sa situation dans la limite inférieure du retrait moyen, offre au chêne vert le possible emploi en menuiserie extérieure : porte, cadre de fenêtres (retrait faible à moyen).
- La résistance moyenne à forte à la flexion et à la compression, confère au bois de chêne vert l'utilisation en charpente de moyenne portée (moins de 10 mètres).
- Sa forte dureté et sa bonne stabilité dimensionnelle, lui accordent l'utilisation en planchers.
- Dimensions faibles et avec nœuds

Lames de parquets, caisserie pour emballage (cageot bien durs), manches à outils.

- Longueur importante, diamètre faible et présence de nœuds

Poteaux électriques et tuteurs.

- Sur le plan possibilités papetières du bois du chêne vert

L'approche montre qu'il est possible de faire du papier à base du chêne vert avec une concentration en MOCH à 24% le rendement brut de 45.6 % et le rendement net de 44.7% sont acceptables. Mais, il serait indiqué d'améliorer certaines caractéristiques, par un mélange avec les pâtes à fibres longues. Ceci permettra par exemple d'augmenter de la longueur de rupture. Les tests de longueur de rupture, d'indice d'éclatement et de l'indice de déchirure montrent que le bois du chêne vert peut être utilisé comme papier impression-écritures et papier duplicata, notamment pour la fabrication du papier emballage à l'état écru puisque ce dernier offre des caractéristiques plus performantes que la pâte blanchie. Il est possible, d'ajouter des adjuvants en petites quantités, par exemple l'Anthraquinone afin d'améliorer les rendements.

Les différents résultats étant chiffrés, et face à la faible fréquence des brins de dimensions importantes, il demeure capital d'appliquer des traitements permettant la transformation en futaie de chêne vert, en vue d'obtenir des dimensions appréciables en diamètre et en hauteur. A cette condition, il sera beaucoup plus aisé de déterminer les différentes actions à entreprendre en fonction de situations reconnues, telles que production, conservation,...

La situation du marché du bois reste bien aigue. La balance commerciale déficitaire, nous incite à une gestion intensive du capital boisé. Il en est de même du marché de la pâte à papier. La technique forestière doit aujourd'hui assurer le maximum de productivité de forêts, dans le cadre d'une politique d'aménagement soutenue, cohérente mais basée sur l'écologie.

Les taillis de manière générale doivent attirer notre attention, car il n'est pas possible de les laisser en l'état, même si les conditions du milieu sont dites sévères. Au même titre que les terres agricoles, les terres forestières doivent absolument être travail

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- ACHERAR, M., RAMBAL, S., LEPART J. 1991.** Evolution des potentiels hydriques foliaire et de la conductivité stomatique de quatre chênes méditerranéens, lors d'une période de sécheresse. *Annale des sciences forestières* 48 : 561-573.
- ACHHAL, A. 1975.** Le chêne vert dans le haut Atlas du Maroc. Thèse du 3^{ème} cycle. Faculté de Saint Jérôme. Marseille. 116p
- ACHHAL, A. 1980.** Valeur bioclimatique et dynamique pour quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia mediterranea* n°5 : 211-249.
- AFNOR. 1976.** Association de normalisation française. Recueil des normes des papiers, cartons et pâtes. Méthodes d'essais, 1^{ère} édition. Edité par afnor : 30-103.
- AFNOR. 1985.** Normes françaises d'essais du bois datées du 20-sep 1985 en remplacement de la norme homologuée en FEV. 1942. Paris : AFNOR, 53 p.
- ALCARAZ ,C. 1977.** Carte de la végétation de l'ALGERIE / ORAN. CNRZA. ONRS. Alger Approche phytosociologique et phytoécologiques. Thèse de Doctorat du 3^{ème} cycle. Université D'Alger. 238p.
- AUCLAIR, D., METAYER S. 1980.** Méthodologie de l'évaluation de la biomasse aérienne sur pied et de la production des taillis
- B.N.E.D.E.R . 1979.** Etude d'inventaire des terres et des forêts de l'Algérie du Nord : Wilaya de Tlemcen.
- BABA,D. 1989.** Possibilités de valorisation technologique du chêne vert par sciage. Mémoire de l'ENGREF(1989)
- BAGNOULS ,F., GAUSSEN H . 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin de sociétés et d'histoires naturelles.* Toulouse .88.(3-4) : 193-239.
- BAKOUR, R. 2003.** Influence de l'espèce et de la provenance des deux principaux chêne Français (*Quercus robur* L. *Quercus petraea* Liebel) sur la structure anatomique et les propriétés physiques du bois de Merain. Thèse de doctora. Ecole nationale du Génie rural , des Eaux et des Forêts , centre de Nancy : 150-156
- BARBARO, M., LOISEL, R., QUEZEL, P. 1992.** Biogéography ,ecology and history of méditerranea *Quercus ilex* ecosystems .*Vegetatio* 99 -100: 19-34.
- BARBERO, M ., LOISEL, R. 1980.** Le chêne vert en région méditerranéenne. *Revue Forestière Française.* 32p.
- BARRY, J ., PONS ,A., REILLE, M., TRIAT H. 1976.** Notice de la carte internationale du tapis végétal et les conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/100000000. ORBT. Alger. 42P
- BELLON, S., CABANES, B., DIMANCHE, N., GUERIN, G., MSAKA B. 1996.** Les ressources sylvo-pastorales des chênaies méditerranéennes. *Forêts méditerranéennes.* XVII.3 : 197-209.

- BEN AMOR, S. 1998.** Valorisation en parquet et en tournerie des chênes verts. Mémoire de l'ENGREF(1998)
- BENABADJI, N., BOUAZZA, M., MAHBOUBI, A . 2001.** L'impact de l'homme sur la forêt dans la région de Tlemcen (Oranie- Algérie). Revue Forêt méditerranéenne .XXII n°3. La forêt de Tlemcen. Algérie : 264-274.
- BENABDELI, K. 1996.** Aspects physionomico-structural et dynamique des écosystèmes forestiers face à la pression Anthropozoogène dans les Monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya (Algérie septentrionale occidentale). Thèse d'état. Université de Sidi Bel Abbès.356 p et annexes.
- BERRICHI M .1993.** Contribution à l'étude de la production et de la qualité de trois espèces du genre *Quercus*, des Monts de Tlemcen.Thèse de magistère. Alger.120p
- BERRICHI, M., LETREUCH BELAROUCI, N., HADDAD, A. 2010.** Caractéristiques mécaniques et physiques des principaux bois algériens. Phys. Chem. News. 51(2010) : 136-141.
- BOUAZZA ,M ., MAHBOUBI, A., LOISEL, R., BENABADJI, N . 2001.** Bilan de la flore de la région de Tlemcen (Oranie- Algérie). Revue Forêt méditerranéenne .XXII n°2 : 130-136.
- BOUDY P. 1952.** Guide du forestier en Afrique du Nord. Maison rustique. Paris.505p.
- BOUDY P. 1955.** Économie forestière nord africaine. Tome (IV) : description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Larose. Paris.483p
- BOUDY P.1950.** Économie forestière nord africaine. Monographie et traitement des essences forestières. Larose. Paris 525 p
- CAILLIEZ , F., GUENEAU, P.1972.** Analyse en composantes principales des propriétés technologiques des bois malgaches. Cahiers scientifiques. n° 2 CFT. Ml gen.
- CAMPREDON J., 1980.** Le bois. Que sais-je ? Presses universitaires. Paris.128p.
- CARLQUIST S. 1988.** Comparative wood anatomy ; systematic, ecological and evolutionary, aspect of dicotyledon wood, springer Verlag.436p.
- CASPERSONG. 1967.** Über die Bildung von Zellwänden bei Laubholzen Mi. 4 Untersuchungen an Eiche. Holzforschung. 21(1) : 1-6.
- CHARRON ,S., JOUREZ, B., MARCHAL, M., HUBERT, J. 2003.** Étude comparative des caractéristiques physiques et mécaniques du bois des mélèzes d'Europe (*Larix decidua* Mill), du Japon et de leurs hybrides ». Biotech.. Agron. Soc. Environ. 7 (1) : 5-16.
- CHENE, M. 1963.** Notions de chimie. Fabrication des pâtes cellulósiques. Collage du papier.216p.
- COLLARDET, J., BESSET,J. 1992.** Bois commerciaux. Feuillis des zones tempérés. Tome II.Vial H. Centre technique du bois et de l'Ameublement. Dourdon.400p
- CONÇALEZ, C., ZERBINI, J., JANIN, G. 2002.** Caractérisation technologiques des bois amazoniens immergés dans le barrage du tucurui au Brésil. Bois et forêts des tropiques n°274(4) : 45-56.

CONSERVATION DES FORETS DE LA WILAYA DE TLEMCEM . 1985. Rapport de présentation des superficies. 3p.

DAGET, P. 1977. Les bioclimats méditerranéens : caractères généraux, modes de caractérisation de la végétation. 3(1) : 521-527.

DAGNELLIE, P.1988 - Statistique théorique et appliquée. Tom1, P.A. GEMBLoux, 31P .

DAHMANI, M. 1984. Contribution à l'étude des groupements du chêne vert des Monts de Tlemcen. Ouest algérien.

DAHMANI, M. 1997. Le chêne vert en Algérie. Syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse de Doctorat Es-sciences. Écologie. Institut des sciences naturelles. USTHB. Alger.329P

DE LILLIS, M., FONTANELLA, A.1992. Comparative phenology and growth in different species of mediterranean maquis of central Italy. Vegetation 9/ 100 :83-96.

DEBRACH, J.1953. Note sur le climat du Maroc occidental. Maroc médical. 32 (342).pp.1122-1134.

DEL VILLAR ,E. 1947. Les *Quercus* de l'herbier d'Algérie. Bulletin de l'Afrique du Nord : collection du globe .I :92-100.

DETTIENNE, P. 1988 –Cours illustré d'anatomie du bois. CTFT. Paris. 47p.

DILEM, A.1995. Etude de quelques propriétés du bois du chêne vert (*Quercus ilex* L). Dans la forêt de Hassasna (Saida - Algérie). Forêt méditerranéenne. XVI, I: 74-78.

DONADIEU, Y. 1977. Le rôle de la foresterie dans la lutte contre la désertification. Cahier FAO. Conservation. 21.

DUPONT, P.1982. Les qualités du bois du chêne vert et ses possibilités d'emplois. Proposition d'aménagement pour les taillis d'EL Hassasna. CERAG. Alger.20p

DURANT, Y.1983. Vers une utilisation rationnelle des essences secondaires de forêt naturelle et une maîtrise technologiques des bois. Revue bois des tropiques. n°202(4) : 35-52.

EMBERGER, L. 1939. Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1 :500000. Verof Geobot Institut. Eiden Tech Hochschule RUBEL.Zurich.14 : 40-157.

FAHN ,A.1990. Plant anatomy. Fourth edition Pergamon Press. Oxford 500p

FAMIRI, A. 2005. Contribution à la caractérisation et à la valorisation du bois de la forêt marocaine. Cas des eucalyptus et du chêne vert. Thèse d'état. Université Mohamed V. Agdal.

FECHTAL, M., KERROUANI, H. 1997. Caractéristiques technologiques du bois du chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lamk) et la possibilité de son utilisation dans le parquet. Annales de recherche forestière du Maroc. Tome (XXX) :112-126.

FENGEL, N., WEGENER, R. 1989. Wood : chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter Berlin-New York.613p.

FEUILLAT, F., KILLER, R., HUBER, F. 1998 – "Grain" et qualité du chêne de tonnellerie (*Quercus robur* L, *Quercus petraea* Liebl.) : Mythe ou réalité? (première partie). Revue des CEnologues N° 87 : 11-13.

FOUARGE, J., SACRE, E. 1943. Analyse physique, mécanique et anatomique du bois de pin sylvestre. Extrait du bulletin de l'institut agronomique et des stations de recherches de Gembloux 22p

FOUARGE, J., SACRE, E. 1953. Analyse physique, mécanique et anatomique du bois de l'épicéa (*Picea abies* k). Extrait du bulletin de l'institut agronomique et des stations de recherches de Gembloux : 261-262.

FOUARGE, J. 1938. Analyse physique, mécanique et anatomique du bois de pin laricio. Extrait du bulletin de l'institut agronomique et des stations de recherches de Gembloux : 388-389.

GARTNER, B. 1995. Patterns of xylem variation within a tree and their hydraulic and mechanical consequence. Dans : plant stems physiology and functional morphology (BL Gartner, Ed). Academic press. San Diego: 125-149.

GRANIER, A., ANFODILLO, T., SABATTI, M., COCHARD, H., DREYER, E., TOMASSI, M., VALENTINI, R., BREDA, N. 1994 – Axial and radial water flow in the trunks of oak trees : a quantitative and qualitative analysis. Tree physiology, 14: 1383-1396.

GROSSER D., 1977. Die Holzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer. Lehratlas. Springer Verlag. Verlag. Berlin Heidelberg. New York.

GUITARD, D. 1987. Le bois matériau d'ingénierie. Annals of Forest Sciences. Volume 56 : 467-478.

HUBER, B. 1935. Die physiologische Bedeutung der Ring- und zerstreutporigkeit. Berlm., Deutsche Botanische Gesellschaft. 53 : 711-719.

HUYNH, V. 1981. Anatomie du bois, technique de préparation de coupes. M.B. Bruxelles. 16 p.

JANIN, G. 1983. Microrests papetiers- Micro cuisson- Micro classage- micro raffinage-mesure automatique de la longueur des fibres. Thèse de Doctorat d'état Sciences. Gembloux 236p

JANIN, G., ORY, M., DUMAS, D., LAVISCI P. 1989. Colimétrie de la pâte écrue. Mesure automatique de la longueur des fibres avec l'appareil histofibre. Revue. P.P.I. n°2 : 63-74.

JAQUIOT, C., TRENARD, Y., DIROL, D. 1973. Atlas d'anatomie des bois des Angiospermes (essences feuillues). Tome I, Centre Technique du bois, Paris, 175p

JODIN, P. 1994. Le bois matériau d'ingénieries. Association pour la recherche sur le bois en Lorraine. ARBOROL. Nancy. 433p.

JOLAIN, P., 1961. Essai sur les taillis du chêne vert et du pubescent. Rev Forest Fra: 81-85

KAUMAN, W., KLOOT, N. 1968. Technological appraisal of little known or unused timber species. 9th. commonwealth.conf.

KELLER, R. 1994. La construction du bois. Chapitre I de l'ouvrage « le bois matériaux d'ingénierie » ARBOROL. Nancy. 433p

KOLLMANN, F., COTE, W. 1968. Principles of wood science and technology. Vol1. Springer. Verlag. New York

LAFON J.P., THARAUD ,C., LEVY, G. 1988. Biologie des plantes cultivées, tome 1, organisation, physiologie de la nutrition. Lavoisier, 288p.

LE HOUEROU. 1980. Impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne. Forêt méditerranéenne. Tome II (I) : 31-34.

LECLERCQ ,A. 1981. Influence entre la structure anatomique du bois du hêtre (*Fagus sylvatica* L) et ses propriétés physiques et mécaniques. Bulletin de Recherches Agronomiques de Gembloux. 16 (I) : 3-26.

LECLERCQ, A. 1979. Influence du milieu et du traitement sur les qualités du bois du hêtre. Thèse doctorat. Fac. Sci. Agron. De Gembloux. Belgique. 304 p.

LETREUCH BELAROUCI N., 1981. Etude de l'aménagement forestier de 500 ha, zone pilote dans la forêt de Hassasna (W de Saida). MERS-ONRS- CERAG. Rapport n°1.

LETREUCH BELAROUCI, N. 1991. Les reboisements en Algérie et leur perspective d'avenir. Volume .I. OPU. Alger .294p

LETREUCH BELAROUCI, N. 1995. Réflexion autour du développement forestier : les zones à potentiel de productions. Les défis. OPU Alger 69p

MAIRE, R. 1926. Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Gouvernement Général d'Algérie. Services des cartes Alger. 78p

MARCHAL, R. 1989. Valorisation par tranchage et déroulage des bois méditerranéens. Thèse Ecole nationale supérieure des techniques industrielles et des Mines d'Alsace France.

MARTIN, G. 1976. Le papier. 3^{ème} édition. Que sais-je ? 126p. Presses universitaires de France.

MASSET, P. 1979. Etude sur la relation entre la qualité technologique du bois de merisier (*Prunus avium* L) et la station. Revue Forestière Française. XXXI (6) : 491-502.

MICHAUD, H., TOUMI, L., LUMARET, R., LI, T., ROMANE, X., DI GIUSTO, F. 1995. Effect of geographic discontinuities of genetics variation in the holm oak (*Quercus ilex* L). Heredity. 74 : 590-606

MIGLIORETTI . 1986. Evolution comparée des architectures et structures des peuplements mélangés à chêne vert et à chêne pubescent en forêt domaniale de la Gardiole de Rians (Var). Ecologia mediterranea. XII (3 et 4) : 133-147.

NANSON .A. 1967. L'étude des tests précoces, en particulier au moyen des corrélations et régression multiples. Station de recherches des eaux et forêts. Belgique. 6p

NEPVEU ,G .1984. Variabilité. In le bois, le matériau d'ingénierie. Nancy, France. Arbolor : 128-182.

NEPVEU, G. 1990. Les facteurs influençant les qualités du bois des chênes. revue forestière française. XLH.2: 129-133.

- NOAK, D. 1971.** Evaluation of proprieties of tropical timbers-in : proprieties and utilisation of tropical wood-symp.IUFRO.Humburg..
- NORMAND, D.1998-** Manuel d'identification des bois commerciaux. 2^{ème} Ed. CIRAD. Montpellier. CEDEX .France.175p.
- OFFICE NATIONAL DE LA METEOROLOGIE. 2005.** Bulletin météorologique. Janvier 2006.
- PANSIN, A., ZEEUW, C. 1970.** Text book of wood technology.Vol.I.MC.Craw.Hill.New York
- PERRIN, H. 1964.** Le traitement des forêts, théories et pratiques de techniques sylvicoles. Sylviculture. Tome (II).ENEF. Nancy : 364-365.
- PEYERIMHOF, P., 1941.** Carte forestière de l'Algérie et de la Tunisie : 1/1.500.000. Noe 70 : 1-7
- POLGE, H., ILLY, G.1967.** Observation sur l'anisotropie du pin maritime des landes ». Ann. Sci. For. France. 24 : 205-231.
- POLGE, H., KELLER, R. 1973.** Qualité du bois et largeurs d'accroissements en forêt de Tronçais. Ann. Sci. For ,30 (2) : 91-126.
- PONS, A., VERNET, J. 1971.** Une synthèse nouvelle de l'histoire du chêne vert (*Quercus ilex* L). Bulletin de la société botanique de France.118 : 841-850.
- POPOV, B.1980.** Anatomie et des sciences des bois. Cours polycopié. I NA. Alger.152p
- QUEZEL, P . 2000.** Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéens. Eol.Ibis press. Paris.117p.
- QUEZEL, P.1976.** Les forêts du pourtour méditerranéen. In forêts et maquis méditerranéens : écologie, conservation et aménagements. Note techniques .MAB.2 : 9-39.UNESCO. Paris.
- REINSCO, E. 1983.** Utilisation de la pâte d'Eucalyptus dans la fabrication du papier. Édition centre technique du papier. 55p.
- RENEAUD, M., RUEFF, M., ROCABOY, A . 1996.** Mechanical behavior of saturated wood under compression. Part 2 : behavior of wood at low rats of strain some effects of ciompression on wood structure. Wood Science and Technology. Tome (XXX): 237-243.
- ROLLAND, B., CABANNES, S. 1981.** Méthodes simples pour l'estimation pour d'un taillis forêt de France et acons for es èr es n° 247 : 44-47.
- RONDEUX, J. 1972.** Principes de construction des tarifs de cubage mathématique et de traitement d'observations dendrométriques. Faculté des sciences agronomiques de l'état. Gembloux : 166-177.
- SACHESS, H.1984.** Einheimiche Nutzholzer und ihre Bestimmung nach makroshischen Merkmalen . Pareysstudientexte 44.160p. Verlag Paul Pareys.Humburg und Berlin.
- SALMON, Y. 2004.** Déphasages, phénologiques chez le chêne vert (*Quercus ilex* L.) et conséquences fonctionnelles. Rapport de DEA Biologie de l'évolution et écologie, Montpellier II.
- SAVAGE, C.,1969.** Fichier des espèces climax. (*Quercus ilex* L). Alawania.20: 103-124.

SCHWEINGRUBER, F. 1978. Mikroskosche Holz anatomie. Kmmision Verlag Zurcher. Ag. Zug. Suisse.

SELTZER, P. 1946. Le climat de l'Algérie. La Typo-lito. Alger. 249p

SHOENENBERGER, S. 1967. Carte phytoécologique de la Tunisie septentrionale, notice détaillée. Carte au 1/200000. Feuilles 2,3,4 et 5. Annales INRA Tunis. Volume 40. Fascicule 1. 340 p et Fascicule 2. 426p.

TRABAUD, L., METHY, M. 1994. Stress thermique des feuilles et aire de répartition de (*Quercus ilex L.*). Ecologia mediterranea. 20 : 77-85.

VANSTEENKISTE, D., BREDA, N . 2002. Caractéristiques anatomiques du cerne de chêne et perspectives d'interprétation écophysiologique et climatiques .Séminaire «Biologie hivernale » groupe d'étude de l'Arbre .Saint- Flour 21-22 mars 2002, 12p

VENET, J. 1974. Identification et classement des bois français. 1^{ème} édition. ENGREF. Nancy. 308p.

VENET, J. 1986. Identification et classement des bois français. 2^{ème} Edition revue par Keller. ENGREF. Nancy. France. 308p.

ZIMMERMANN, M. 1983. Xylem structure and ascent of sap. Springer serie in wood science. Springer. Verlag. 139p

ZOBEL, B., SPRAGUE, J. 1998. Juvenile wood in forest trees. Berlin: Springer-Verlag. 300 p.

ANNEXE

Tableau 01 (a): Grandeurs des vaisseaux du bois de chêne vert en (µm)

Diamètre des pores (µm)					
Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final
160	70	130	72	118	48
110	80	140	30	225	50
130	60	155	35	132	31
120	80	115	52	215	29
140	50	123	93	123	40
115	70	140	67	121	69
100	85	180	53	43	79
90	60	183	97	24	80
145	75	167	77	87	75
123	77	143	96	75	95
105	40	173	65	55	83
110	55	200	100	65	75
135	45	150	80	125	90
125	88	140	90	105	78
145	60	165	100	112	105
120	40	145	82	100	100
130	85	210	95	235	102
110	75	190	70	219	100
100	73	240	75	195	130
144	82	200	95	210	50
133	80	230	50	200	49
140	44	260	60	50	25
165	73	220	70	39	40
140	50	190	80	90	45
150	66	180	95	75	50
170	72	210	100	59	75
175	52	255	110	75	82
166	71	220	130	80	57
135	43	155	100	76	79
135	45	160	100	90	65
152	67	170	110	205	69
153	31	175	66	100	75
150	33	235	130	108	80
146	66	220	98	165	80
130	75	195	61	115	90
160	55	193	75	100	105
151	95	250	131	187	110
956	61	310	41	165	100
145	53	245	45	150	100

Tableau 01(b) : Grandeurs des vaisseaux du bois de chêne vert en (µm)

Diamètre des pores (µm)					
Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final
118	48	135	105	125	135
225	50	200	100	173	108
132	31	40	50	215	122
215	29	25	35	205	49
123	40	56	50	165	50
121	69	90	49	126	35
43	79	78	45	119	45
24	80	60	79	48	43
87	75	73	73	80	40
75	95	75	55	98	92
55	83	87	75	95	75
65	75	65	80	108	80
125	90	73	84	165	85
105	78	89	65	87	52
112	105	180	90	92	90
100	100	145	95	141	70
235	102	115	105	81	88
219	100	197	100	90	81
195	130	108	110	205	87
210	50	225	102	159	110
200	49	156	110	162	105
50	25	175	49	175	100
39	40	105	35	134	110
90	45	135	50	150	113
75	50	49	50	155	115
59	75	50	48	142	100
75	82	45	60	139	40
80	57	54	79	119	50
76	79	69	65	50	50
90	65	73	80	95	50
205	69	85	82	176	48
100	75	90	53	142	59
108	80	70	85	75	73
165	80	63	83	73	82
115	90	65	65	88	89
100	105	79	78	92	78
187	110	82	105	99	73
165	100	155	110	81	96
150	100	176	100	90	98

Tableau 01(c) : Grandeurs des vaisseaux du bois de chêne vert en (µm)

Diamètre des pores (µm)					
Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final
198	107	73	91	140	52
210	115	87	86	130	70
200	100	97	113	130	63
159	125	103	100	140	53
173	103	142	115	150	75
165	115	155	110	170	66
160	108	118	1203	185	85
172	102	108	100	153	80
132	110	125	119	142	60
175	113	120	50	141	63
49	50	218	49	121	70
125	49	200	45	201	80
95	50	215	45	212	61
98	50	112	97	145	30
208	69	49	90	130	41
79	79	98	80	90	64
58	72	89	59	120	75
180	54	210	75	173	73
98	78	187	79	135	53
86	60	223	100	149	55
166	80	182	105	165	67
173	85	195	100	211	35
105	120	108	115	175	60
126	105	102	100	190	45
100	108	225	102	145	50
133	100	220	100	160	80
195	101	138	119	135	60
172	105	125	85	100	45
150	100	116	68	166	75
149	101	190	70	142	63
126	40	180	80	122	73
48	50	210	60	132	56
50	61	140	75	133	66
78	65	150	85	112	90
89	94	153	50	120	75
195	80	191	83	125	43
119	65	142	55	120	40
95	72	130	65	140	71
135	91	110	35	110	62

Tableau 01(d) : Grandeurs des vaisseaux du bois de chêne vert en (µm)

Diamètre des pores (µm)					
Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final	Bois initial	Bois final
102	155	109	92	80	68
75	72	63	87	80	63
60	48	37	80	68	48
120	109	29	55	63	45
55	42	35	73	48	21
20	28	100	25	45	71
71	143	32	62	21	80
50	36	39	57	71	59
65	155	28	107	80	160
38	60	50	92	59	68
154	132	40	29	160	75
45	59	59	45	68	69
109	35	70	108	75	85
48	43	81	97	69	59
75	58	110	52	85	100
100	30	92	80	53	68
34	101	87	80	112	82
82	86	80	68	85	172
55	50	55	63	88	105
48	70	73	48	155	50
60	112	25	45	175	50
98	69	62	21	197	145
93	80	57	71	86	113
106	108	107	80	92	40
75	74	92	59	167	118
97	111	29	160	35	49
33	97	45	68	52	79
37	117	108	75	32	68
112	80	97	69	12	72
29	90	52	85	35	32
35	92	172	100	55	70
80	92	215	85	180	95
72	100	81	102	67	76

Tableau 02(a) : Longueur des vaisseaux du bois de chêne vert en (µm)

Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)
590	520	670	199	182	328
350	470	370	162	503	330
580	700	550	416	495	360
370	570	590	327	225	390
470	370	750	407	243	280
400	490	230	314	212	250
600	580	1050	199	176	210
550	2000	240	221	195	350
640	2120	1920	147	395	490
530	220	1750	183	362	370
650	520	210	345	347	360
380	540	200	175	409	1700
550	410	700	217	482	620
545	670	2160	122	217	520
530	470	500	186	297	650
290	1520	700	315	430	3480
410	1700	150	387	162	450
300	480	540	304	187	420
510	310	850	217	381	360
610	700	900	195	215	230
650	450	510	474	209	740
310	550	177	482	393	610
320	710	183	316	352	550
590	340	178	308	176	690
280	530	247	165	459	560
270	400	326	175	410	330
210	540	278	167	194	880
550	330	415	166	312	510
400	440	310	194	343	530
370	600	160	134	305	4650
610	450	161	383	281	950
680	650	308	495	209	770
560	320	267	409	169	970
2380	480	206	353	304	790
2100	700	147	467	388	780
1880	430	320	429	474	440
1450	720	125	332	225	775
710	570	173	167	279	410
570	420	375	295	175	370
510	450	173	214	267	400

Tableau 02(b) : Longueur des vaisseaux du bois de chêne vert en (µm)

Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)	Long (µm)
791	250	300	415	187	210
300	222	315	254	162	185
500	310	325	220	347	192
470	440	510	225	154	105
610	215	432	310	314	193
480	225	180	220	154	157
540	415	190	175	408	316
730	252	310	279	338	199
445	306	300	388	267	215
240	212	315	196	486	160
510	376	180	209	280	
310	121	270	456	360	
300	312	430	176	492	
425	328	270	209	376	
404	421	385	215	373	
320	315	430	297	367	
435	254	320	483	421	
420	277	290	347	276	
521	430	450	345	214	
390	335	200	392	328	
380	270	220	488	448	
410	230	345	410	199	
260	345	250	510	169	
320	360	300	340	309	
330	340	400	230	206	
310	510	345	322	175	
318	275	465	306	277	
302	335	455	315	262	
395	500	292	455	308	
428	240	320	122	325	
265	335	282	440	415	
240	510	222	492	455	
215	468	192	267	256	
332	300	410	225	247	
415	225	322	474	410	
265	200	260	304	254	
256	290	248	281	510	
300	240	360	194	212	
280	250	345	352	124	
200	218	420	293	206	

Tableau 03(a) : Nombre des vaisseaux par mm² du bois de chêne vert

Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²
28	33	18	17	15	19
21	16	13	20	24	18
22	17	24	15	19	19
17	25	26	21	23	16
18	21	23	14	14	11
25	13	17	23	17	15
23	19	13	20	17	21
19	28	20	13	14	11
28	28	16	9	21	13
35	24	12	18	15	16
44	13	14	18	19	27
42	13	22	13	17	15
24	15	21	21	20	17
13	12	14	20	23	18
23	15	14	14	19	21
20	18	15	17	17	16
17	10	17	15	19	20
30	11	18	22	23	21
26	26	15	20	22	12
39	16	12	18	14	13
38	12	17	13	18	23
21	13	21	20	24	22
15	14	20	17	20	14
27	24	16	10	15	24
10	20	21	15	23	18
20	11	26	21	24	19
11	13	24	19	18	21
20	18	22	15	16	12
14	16	15	9	23	15
31	24	20	19	25	11
36	15	16	17	23	10
22	9	21	21	28	17
34	17	15	18	19	16
39	23	12	25	24	17
16	14	13	19	16	12
20	14	24	14	18	16
18	15	26	17	22	11
12	22	20	19	20	18
14	19	16	18	23	22
10	12	26	15	18	13

Tableau 03(b) : Nombre des vaisseaux par mm² du bois de chêne vert

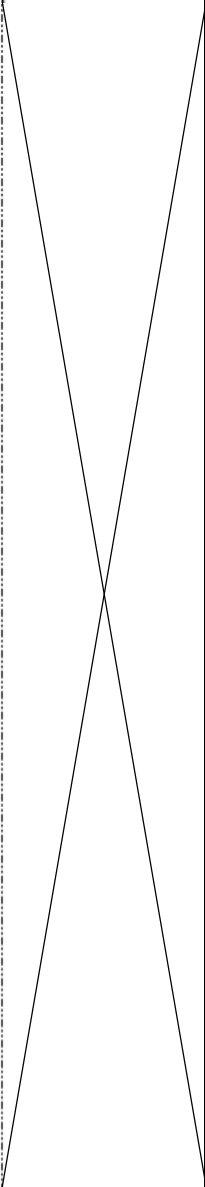
Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²	Nbr/mm ²
19	10	14	22	16	21
20	15	9	17	24	13
19	17	18	8	12	9
21	12	22	20	21	17
21	19	14	9	17	14
14	14	9	5	13	18
17	20	18	20	15	10
31	18	22	19	9	10
13	22	15	7	22	23
26	17	10	11	7	16
15	21	17	21	21	
15	21	13	13	11	
15	24	9	16	18	
9	16	10	10	6	
16	9	12	15	13	
18	5	7	16	13	
10	18	5	19	15	
19	13	12	21	6	
22	18	15	24	17	
18	13	10	7	19	
15	18	10	17	21	
9	16	7	12	12	
14	13	13	15	20	
24	16	10	10	18	
22	7	15	13	13	
13	14	10	17	16	
15	22	12	21	9	
23	16	9	22	12	
8	12	8	11	14	
10	10	5	6	18	
10	12	10	15	23	
22	12	15	18	20	
18	15	13	10	7	
17	17	7	12	10	
15	19	12	18	17	
10	10	12	23	6	
13	8	14	20	5	
13	15	9	22	12	
14	13	17	18	15	
11	22	10	9	17	

Tableau 04(a) : Hauteur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

Hauteur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
282	5967	250	2208	300	1150
192	3038	450	1400	255	740
352	2650	200	600	170	400
195	1506	160	1300	100	480
209	1008	130	1200	110	500
223	2175	200	800	175	850
76	4621	100	650	85	1030
111	2080	260	1320	150	860
166	1776	135	600	125	720
408	1987	165	850	110	660
72	5875	90	790	160	740
173	2371	470	1250	120	2100
209	1009	40	1350	200	2200
96	881	80	1560	120	2750
204	2047	110	650	170	1205
396	1250	290	490	140	3450
176	2807	440	790	100	1475
321	5147	295	780	100	3465
429	1905	140	950	150	2500
508	2025	60	970	140	2775
277	1115	70	1680	150	2750
285	3751	120	2000	80	1950
204	9500	83	1320	115	3250
101	4205	310	2100	85	2790
513	2707	140	600	110	2460
463	1239	410	1100	125	1825
83	3091	170	760	90	1000
361	2225	210	1000	105	3015
617	965	300	1400	135	870
99	2100	150	1300	210	2345
143	1557	50	620	85	1530
55	1850	220	660	85	1925
733	3827	630	1250	170	1910
166	2409	320	610	150	2835
442	8009	75	950	225	2440
287	1189	315	300	175	2635
78	987	350	2010	250	2105
182	783	170	600	170	1725
505	5008	242	500	240	6630
92	3007	70	1010	175	3905

Tableau 04(b) : Hauteur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

Hauteur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
215	6515	75	1110	145	2810
210	880	515	2450	305	3530
305	6520	100	4005	85	1765
200	4530	185	5300	180	2435
120	1440	200	4015	250	2675
175	1010	160	2450	320	3510
150	1915	200	2775	175	1330
140	2275	70	2500	120	1020
150	1015	125	2750	90	3855
90	3885	100	2950	150	1520
110	880	220	1825	260	1420
95	1560	185	2375	280	1600
125	1345	150	1600	215	2000
105	2430	260	1515	310	3055
135	4315	280	1925	200	2120
220	2430	215	1845	215	3540
175	1645	310	868	100	3150
135	1340	200	3210	165	5540
70	3545	215	1612	75	2145
125	2420	100	2550	515	3265
100	995	170	3015	100	4120
220	3365	280	1915	235	2360
185	3400	320	2583	200	950
260	2895	220	215	160	3090
155	2725	220	3460	200	3540
180	2405	275	3250	70	8650
100	2650	80	4370	110	2450
162	3055	110	1205	95	3210
230	2800	155	2865	125	2140
120	3855	100	2855	105	3540
100	880	108	1120	135	2450
85	1010	130	875	220	3210
180	2355	160	2765	175	1515
150	1205	95	2555	135	1120
135	895	250	1215	70	3210
55	810	320	875	125	2750
200	3075	175	3350	100	4200
245	1355	120	1210	220	3205
250	1250	90	3245	160	3610
165	2150	135	4225	130	2140

Tableau 04(c) : Hauteur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

Hauteur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
220	550	60	410	30	710
50	1100	315	850	20	350
100	1200	65	490	380	450
260	880	110	660	220	400
80	900	130	740	310	1150
280	940	30	1280	110	450
330	1050	71	750	60	1250
340	700	100	1000	150	550
300	1400	230	1920	290	900
170	480	160	3000	300	500
120	760	340	550	140	650
350	4000	510	1100	220	350
40	2550	350	1050	400	450
130	3300	260	1100	120	550
265	2300	270	1400	270	1000
60	1150	60	1500	630	500
84	1520	150	1000	360	450
220	3500	250	1500	690	450
265	1155	400	1500	430	400
55	650	70	650	480	1150
553	760	120	560	135	1040
170	1050	230	690	273	7015
210	1350	140	750	54	3350
330	480	340	400	325	3725
310	680	110	870	82	6651
120	1060	220	350	410	4345
70	1000	160	450	108	3265
240	820	230	550	208	4522
110	1170	100	750	123	1587
80	720	300	1500	283	4015
50	900	120	850	523	1026
315	740	55	1650	127	2160
215	1000	75	850	223	3005
160	1530	360	710	104	5090
170	2000	200	750	97	1696
270	2200	100	1750	134	4096
40	885	190	550	172	8547
265	520	150	350	150	8650
190	1200	160	650	283	1807
280	570	80	350	217	2047

Tableau 04(d) : Hauteur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

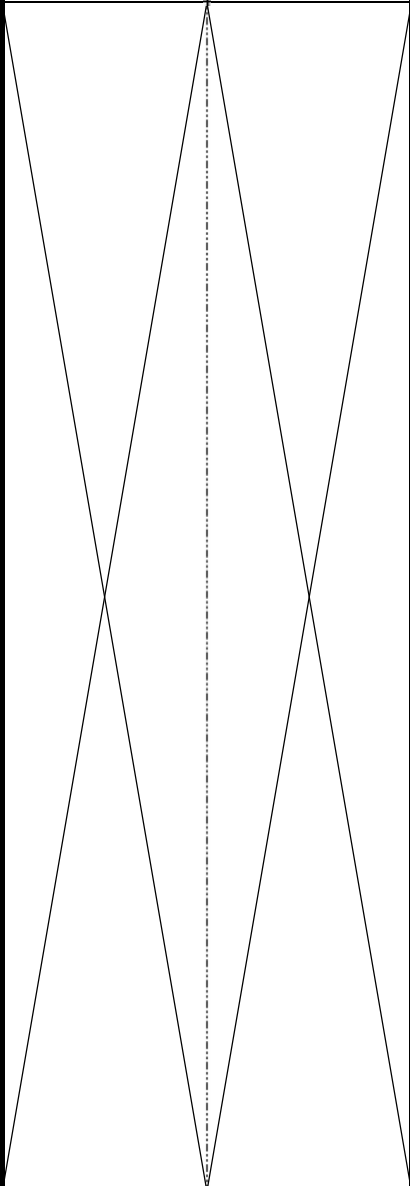
Hauteur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
282	3009	220	2030	200	2900
100	4250	145	4850	100	2540
155	4500	150	4630	260	1450
240	2007	225	1850	135	2150
415	3608	150	3515	165	990
148	976	230	5130	90	3060
85	5125	175	5005	470	1355
78	3095	245	2650	40	5260
174	1047	185	4620	80	3465
123	1055	225	5495	110	1200
158	3007	150	3170		
1406	9070	220	4100		
271	6600	170	8610		
284	2076	170	1405		
150	3510	170	5340		
498	4790	175	4010		
99	6129	230	3050		
172	3978	200	1015		
276	4225	205	3855		
243	8020	210	2275		
111	3105	230	3365		
71	813	215	2025		
174	4022	215	2655		
266	3920	150	1550		
293	1707	135	3255		
220	7825	225	2005		
95	3297	105	1675		
135	6958	275	900		
187	3009	55	3890		
167	2600	100	4000		
250	1840	80	1640		
100	1200	170	1250		
48	1240	220	1540		
230	3455	120	1000		
148	596	320	1250		
155	3156	280	3205		
760	7572	170	1565		
320	1960	95	2655		
240	1054	230	6265		
63	663	120	995		

Tableau 05(a) : Largeur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

Largeur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
15	270	14	371	21	260
11	250	16	180	20	383
10	200	17	314	20	330
14	280	9	150	32	322
9	300	10	352	30	263
11	370	20	260	12	630
12	420	9	274	11	332
8	283	9	400	15	490
15	410	9	410	15	670
14	220	8	210	14	460
10	210	10	520	17	400
20	450	13	580	15	220
11	500	13	550	15	600
10	415	9	400	10	300
15	490	15	700	9	700
8	390	14	800	30	350
9	470	12	620	20	725
6	425	8	290	22	570
12	330	12	550	10	500
10	320	12	410	20	620
13	390	11	260	12	25
9	330	15	220	10	22
12	350	13	450	13	20
6	270	9	470	14	19
14	287	8	600	7	28
13	355	15	550	11	29
10	327	14	400	8	29
11	416	12	350	10	35
9	450	13	520	15	33
13	400	11	440	11	32
13	780	10	710	13	31
15	279	10	280	12	36
12	321	17	530	14	36
14	370	14	500	9	38
14	400	9	240	15	41
7	375	20	330	7	42
10	420	32	600	10	43
20	300	22	270	13	51
20	220	10	360	12	49
15	275	11	320	12	47

Tableau 05(b) : Largeur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

Largeur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
12	35	10	158	15	234
14	42	14	210	9	245
13	29	13	160	14	190
11	59	15	250	13	184
12	52	11	255	11	271
12	275	10	80	16	242
13	321	10	650	14	200
10	315	70	360	13	285
10	196	11	230	21	260
11	271	13	300	22	400
13	392	6	270	17	355
10	24	8	250	14	330
10	62	20	280	13	312
10	38	20	350	15	164
10	86	15	275	11	49
10	45	12	210	10	53
9	346	10	255	8	222
9	256	8	220	123	220
9	149	10	200	11	300
9	283	14	210	9	180
9	32	12	320	9	270
11	38	11	253	13	200
11	27	9	340	14	262
11	43	9	188	7	351
10	48	13	225	8	268
12	276	14	240	8.5	154
10	391	20	215	11	187
12	222	10	222	9	305
10	165	20	310	9	260
11	231	12	210	12	340
12	48	12	290	12	320
11	63	14	223	11	170
11	54	15	184	13	120
12	25	15	220	9	280
11	30	13	250	8	270
11	405	17	322	14	110
12	293	22	310	10	185
9	195	20	230	11	260
10	242	19	212	10	334
10	166	8	220	9	50

Tableau 05(c) : Largeur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

Largeur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
12	70	6	415	14	115
8	153	7	30	10	330
8	410	9	240	11	275
14	320	8	305	15	120
12	400	11	400	13.5	215
8	180	12	390	13	220
12	90	10	245	9	120
15	350	13	85	15	115
11	280	9	315	14	220
9	300	12	280	12	325
12	345	15	95	8	75
11	140	9	270	11	80
12	100	10	185	13	120
7	175	11	345	13	90
11	60	12	430	8	120
13	205	6	120	10	220
6	160	15	115	14	220
10	110	11	205	10	120
14	345	9	70	15	215
15	250	9	180	9	125
15	195	14	190	12	120
13	270	13	175	8	280
7	160	8	80	9	315
12	1602	14	250	14	85
11	90	12	190	9	240
8	175	8	175	12	390
10	285	13	160	12	400
9	85	9	230	17	305
10	240	13	350	16	260
12	155	11	90	8	100
11	150	10	220	8	465
7	170	11	90	10	150
10	190	7	120	9	165
12	300	6	90	12	240
10	465	14	110	12	90
15	305	15	310	8	175
10	325	8	220	12	160
8	280	12	185	8	275
11	115	11	245	18	200
9	175	9	200	7	345

Tableau 05(d) : Largeur des rayons ligneux du bois de chêne vert en (µm)

Largeur des rayons (µm)					
multisériés	unisériés	multisériés	unisériés	multisériés	unisériés
13	46	8	235	9	120
9	53	13	120	8	168
9	55	13	70	9	345
10	58	11	40	15	120
11	62	10	305	11	170
10	114	10	35	8	390
12	93	7	98	11	175
13	89	11	245	12	150
11	78	13	260	13	265
14	141	7	275	11	340
13	183	6	270		
12	199	8	200		
11	207	9	335		
15	263	14	260		
9	248	7	190		
11	243	15	305		
11	267	12	180		
10	277	10	300		
12	291	8	90		
7	293	8	65		
14	306	10	125		
13	315	14	90		
10	332	12	465		
13	335	15	95		
12	373	11	380		
15	382	11	180		
12	407	905	260		
10	485	8	70		
13	454	10	45		
11	423	13	430		
11	32	12	125		
13	82	9	390		
8	45	15	300		
11	26	13	605		
9	39	9	100		
10	330	11	115		
13	305	13	320		
12	162	15	455		
10	305	13	300		
12	365	11	120		

Tableau 06(a) : Nombre des rayons ligneux par mm du bois de chêne vert

Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm
13	12	10	20	15	19
14	8	11	16	21	15
12	9	11	16	17	20
11	11	9	13	14	18
13	13	8	17	13	11
9	15	9	18	19	24
13	12	14	15	15	24
12	11	10	17	12	12
13	8	17	15	15	16
14	12	12	13	21	17
15	13	13	19	16	9
11	12	12	15	18	9
12	12	14	13	21	14
8	14	13	12	22	15
10	10	14	15	17	14
16	14	15	18	21	17
15	9	17	12	13	19
20	8	14	13	19	20
17	10	12	12	18	15
17	13	11	15	14	16
13	12	23	13	19	11
15	13	18	19	19	23
14	10	14	15	17	10
11	15	20	12	18	19
10	9	16	17	19	20
11	9	19	15	17	16
15	17	18	18	17	26
12	14	18	15	19	11
8	14	15	14	15	23
14	10	17	15	17	18
12	16	18	20	15	16
11	12	16	21	18	16
15	14	15	19	18	16
11	16	16	18	21	12
15	12	13	19	20	9
17	11	14	21	19	20
12	10	16	16	16	8
13	8	12	13	18	20
14	8	10	15	18	21
14	10	13	16	20	11

Tableau 06(b) : Nombre des rayons ligneux par mm du bois de chêne vert

Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm	Rayon/mm
14	25	14	22	22	12
22	12	7	14	23	14
8	19	13	15	16	13
20	20	19	15	11	13
20	18	12	22	25	14
23	13	12	13	18	15
13	22	8	18	13	14
19	14	11	20	12	13
20	21	10	19	12	20
24	14	17	21	15	22
18	12	14	15	10	
18	10	15	17	11	
9	23	18	17	14	
15	11	20	19	13	
16	15	15	14	10	
18	26	11	23	13	
15	20	22	18	10	
15	9	12	24	14	
14	17	12	26	11	
19	12	23	23	16	
21	16	14	13	14	
14	18	21	16	15	
22	12	19	11	14	
17	10	16	8	13	
11	16	11	10	12	
19	20	22	18	13	
16	11	14	8	10	
10	10	17	22	13	
12	15	24	16	12	
14	9	19	19	11	
15	9	13	15	17	
22	13	12	15	15	
18	13	24	10	12	
11	11	13	9	14	
20	10	12	12	16	
18	10	14	24	12	
20	9	18	24	10	
24	8	21	13	15	
21	15	17	17	13	
14	10	16	20	14	

Tableau 07 (a): Caractéristiques des fibres du bois de chêne vert en (µm)

Dimensions des fibres (µm)					
Longueur	largeur	Ep de paroi	Longueur	largeur	Ep de paroi
850	21	5.2	780	15	10.5
830	19	4.9	4030	16	10.8
580	11	4.4	700	17	10.1
790	35	4.5	1080	30	6.5
700	20	4.5	1530	28	6.7
888	29	5.2	926	35	9.9
1133	21	5.4	1040	20	10.2
525	15	8.1	1013	21	10.2
246	12	7.9	450	19	10.3
220	9	6.7	320	16	6.3
540	42	6.7	590	10	6.3
220	25	5.9	1270	15	5.7
280	16	6.2	710	11	6.5
580	17	8.3	750	20	7
500	22	6.7	1050	21	5.3
490	28	6.6	1170	20	8.6
340	30	6.3	1000	22	6.2
360	25	9.2	1200	25	5.7
200	31	8.2	1030	30	7.5
310	19	5.9	1350	31	8.5
210	19	7.2	460	27	8.2
210	20	7.4	2700	29	6.3
506	23	8	760	40	6.4
350	15	7.8	390	18	7
270	40	7.8	2000	24	4.6
280	10	7.7	360	12	5.5
360	40	7.5	1050	35	4.5
490	12	8.3	1190	45	7.2
230	16	8.6	770	50	9.2
200	17	8.9	1130	42	6.3
1300	25	9.1	410	21	6.5
440	32	9.2	290	8	8.6
540	20	9.3	1100	16	6.2
550	32	9.4	300	24	7.1
330	31	9.5	370	8	11
440	29	9.6	270	18	4.8
1350	7	9.6	2250	26	9.5
1450	20	9.7	1750	7	6
1510	21	10	950	25	7.8
1120	10	10	190	31	4.3

Tableau 07 (b): Caractéristiques des fibres du bois de chêne vert en (µm)

Dimensions des fibres (µm)					
Longueur	largeur	Ep de paroi	Longueur	largeur	Ep de paroi
1320	20	7.7	675	28	8.12
970	35	5.6	980	35	9
490	39	5.3	1105	20	6
290	44	4.6	930	15	2
280	70	9	1310	31	3.5
340	23	9.8	1105	30	8
650	26	6.6	765	33	10
1310	31	9.2	665	25	2.5
380	33	6.2	980	22	9
2280	19	7.5	820	27	5.5
1980	17	5.7	885	24	8.75
900	29	9.5	915	15	3.92
1000	20	6	1010	17	7.55
240	25	4.8	1335	9	5.35
1050	9	8.3	615	10	6.2
350	10	8.5	710	11	5.62
1290	11	6.3	1225	15	6.85
2300	17	9.2	715	16	4.6
1840	17	6.9	985	22	3.5
810	16	7.1	1205	23	2.4
1320	18	47.7	1005	21	2.5
895	8	9.8	815	11	8.75
910	25	7.5	870	32	5
1000	7	6.87	990	18	7.5
760	8	6.25	1110	22	6.87
795	8	10.2	590	23	6.25
990	15	6.75	1000	23	4.37
1195	17	9.5	780	17	7.5
1205	20	8.5	680	24	2.5
612	23	8.25	1250	19	6.42
1105	25	5.62	1110	17	4.1
600	21	5.5	1325	16	4.8
685	13	2.5	560	17	6.25
935	5	5	1025	21	7.5
1325	9	10	1240	27	10.5
1010	15	5.5	995	19	2.5
605	16	7.5	980	28	9.5
980	32	6.87	790	18	6
910	25	6.25	1235	36	4.8
1075	26	7.5	1305	20	2.5

Tableau 07 (c) : Caractéristiques des fibres du bois de chêne vert en (µm)

Dimensions des fibres (µm)					
Longueur	largeur	Ep de paroi	Longueur	largeur	Ep de paroi
695	22	5	680	16	6
880	15	4.32	425	37	8.12
1115	31	6.75	500	23	2.5
970	17	6.57	335	35	10.1
1075	17	9.5	420	32	3
1125	37	5.43	475	28	9.49
995	28	5.9	655	26	1.42
750	19	8.75	415	16	8.12
1250	26	5	422	27	6.25
675	22	8.12	355	25	10
600	14	6.85	1000	14	6.25
1060	18	4.37	515	10	5.62
1135	20	8.75	470	19	7.5
1305	22	2.85	975	28	7.5
1100	30	8.75	390	14	6.85
965	35	6.75	275	27	7.5
930	18	6.25	550	25	6.25
875	23	6.5	575	10	9.1
745	37	2.7	280	15	7.76
915	15	3.92	475	22	7.53
1090	16	5	380	15	5.6
875	25	2.41	435	23	4.33
1140	26	5	430	15	7
925	24	10.2	2190	23	9.1
670	13	5.5	2045	22	6.85
875	22	7.5	1410	26	4.6
1270	32	4.8	470	16	4.8
1400	18	7.42	650	17	8.8
1159	35	9.9	525	18	6
975	27	10.2	560	22	3.36
1250	16	4.65	375	18	5.62
1230	16	4.6	1365	24	2
1145	24	7.5	205	16	2.5
1325	17	7.52	615	15	7.5
965	33	6.25	150	17	6.32
905	17	8.76	2015	25	3.34
1360	24	2.14	370	35	7.5
1205	14	5	485	19	5.62
890	17	3.14	380	26	6.25
1060	18	7.5	270	25	6.87

Tableau 07 (d) : Caractéristiques des fibres du bois de chêne vert en (µm)

Dimensions des fibres (µm)					
Longueur	largeur	Ep de paroi	Longueur	largeur	Ep de paroi
120	15	8.12	1902	25	2
720	32	6.34	930	10	5
270	14	6.5	900	15	10.2
330	16	7.7	1150	22	9.9
1000	19	9.2	880	15	4.3
1225	12	6.23	1330	23	7.32
550	10	4.8	650	15	2.5
500	23	7.5	1550	23	3
500	17	8.61	2100	22	2.5
175	26	9.26	1015	26	2.8
250	14	3.33	1235	16	4.2
1010	17	2.5	910	17	2.5
975	26	2.5	85	18	9.5
910	28	3.9	980	22	5.53
1550	17	4	1195	27	9.2
1390	18	9.5	1150	16	4.3
1325	27	6.25	1195	16	7.61
990	14	8.12	980	24	8.92
1115	18	7.55	995	17	7.5
565	35	9.1	1045	33	8.31
1800	25	4.9	1330	17	6
1300	12	2.5	1260	24	8.31
1800	24	5	1070	16	6.25
800	19	5.2	975	16	7.5
2000	18	7.5	985	24	8.12
1215	27	7.5	1025	17	9
975	22	3.4	1195	33	6
1085	14	8.5	1220	17	2
1140	24	10	1130	24	3.5
1105	23	5.53	1150	14	8
1295	15	9.52	1255	17	10
1075	40	9.01	970	18	2.5
1100	10	6.2	1150	16	9
1230	40	6.41	995	37	10
1115	12	10.44	1250	32	10
995	16	6.2	1220	31	10.5
1235	17	4.33	1330	29	10.8
1215	25	6.8	1095	7	10.1
985	32	10	1240	20	6.5
1086	27	4.5	1100	21	6.7

Tableau 08 : Caractéristiques de la densité « D » du chêne vert.

N°*	Poids* (gr)	Volume*(cm ³)		D (gr/ cm ³)
		V.1	V.0	
01	7.5210	43.523	15.940	0.91
02	7.7578	42.880	15.940	0.96
03	7.2671	41.975	15.940	0.93
04	7.4280	43.898	15.845	0.88
05	6.9335	42.205	15.945	0.98
06	7.0585	40.425	15.950	0.96
07	6.9524	39.845	15.930	0.97
08	6.9611	39.048	15.865	1.00
09	6.6900	40.485	15.860	0.90
10	7.3002	43.648	15.830	0.87
11	6.8235	41.075	15.832	0.90
12	6.9647	40.718	15.820	0.93
Moy	/			0.92

* : éprouvette.

Tableau 09: Caractéristiques du retrait volumétrique total« RVT % » du chêne vert.

N°*	Volume humide*(cm ³)		Volume sec*(cm ³)		RVT (%)
	V.1	V.0	V.1	V.0	
01	42.855	5.810	36.970	3.760	11.50
02	43.925	5.810	38.110	3.695	10.70
03	41.645	5.812	35.970	3.695	11.02
04	43.645	5.810	37.440	3.612	12.00
05	43.240	5.815	37.020	3.498	11.60
06	41.908	5.815	36.090	3.465	10.60
07	41.430	5.575	35.920	3.460	9.90
08	43.638	5.755	36.985	3.422	12.80
09	44.490	5.750	37.300	3.418	14.30
10	44.660	5.752	36.805	3.405	16.50
11	43.485	5.725	36.875	3.2100	12.20
12	40.065	5.725	36.935	3.955	9.90
Moy	/				11.91

* : éprouvette

Tableau 10 : Caractéristiques de la compression « C » du chêne vert

N°*	Base* (cm)	Hauteur* (cm)	Charge (Kg)	Nbre cerne	C (kg/cm ²)	C/100.D	C/100.D ²
01	2.03	2.02	1961	6.5	478	5.25	13.92
02	2.01	2.02	2007	2.5	494	5.14	11.59
03	2.02	2.02	2230	2.5	546	5.87	14.03
04	2.03	2.01	2086	3.5	511	5.80	15.15
05	2.03	2.02	1971	4.5	481	5.46	14.86
06	2.02	2.00	2020	4	500	5.20	10.83
07	2.00	1.98	2110	5.5	533	5.49	12.58
08	2.00	2.01	1871	3	465	4.65	11.82
09	1.99	2.02	1842	2.5	451	5.01	11.06
10	2.02	1.99	2098	5.5	521	5.99	11.69
11	2.03	2.02	1909	5.5	465	5.16	14.78
12	2.03	2.01	2015	5.5	494	5.31	10.37
Moy	/				495	5.36	12.50

* : éprouvette

Tableau 11 : Caractéristiques de la flexion statique« F » du chêne vert

N°*	Poids* (gr)	Long* (cm)	Base* (cm)	Hauteur* (cm)	Charge (Kg)	Nbr cerne	F (kg/cm ²)	F/100.D	F/C
01	127.53	33.9	2.03	2.02	227.5	7	1153	12..67	2.41
02	134.12	33.9	2.01	2.02	208.5	2.5	1068	11.12	2.16
03	129.73	33.9	2.03	2.01	237	2.5	1214	13.05	2.22
04	121.25	33.9	2.03	2.01	229	3	1173	13.33	2.29
05	126.88	33.9	2.03	2.02	227	4.5	1151	13.08	2.39
06	135.17	33.9	2.01	2.01	193	4	998	10.39	1.99
07	134.45	34.0	1.99	1.98	220	5	1184	12.20	2.22
08	131.40	34.0	2.01	2.02	231	3	1182	11.82	2.54
09	118.05	34.0	2.01	2.00	171.5	2	896	9.95	1.98
10	113.17	34.0	2.02	1.99	168.5	5.5	885	10.17	1.69
11	129.41	33.9	2.03	2.02	236	5.5	1197	13.30	2.57
12	129.96	34.0	2.03	2.02	177	4.5	897	9.64	1.81
Moy	/						1083	11.43	2.19

* : éprouvette

Tableau 12 : Caractéristiques de la flexion dynamique« K » du chêne vert

N°*	Poids* (gr)	Long* (cm)	Base* (cm)	Hauteur* (cm)	Travail (Kg)	Nbr cerne	K (Kg/cm ³)	K/D ²
01	107.01	30.2	2.04	2.01	2.00	5	0.24	0.28
02	116.03	30.2	2.03	2.01	4.80	4.5	0.58	0.63
03	113.37	30.1	2.03	2.01	4.50	5	2.55	0.63
04	116.00	30.2	2.04	2.02	5.25	2.5	0.63	0.82
05	115.86	30.2	2.02	2.03	4.72	2.5	0.57	0.73
06	109.90	30.2	2.03	2.01	5.00	3.5	0.61	0.66
07	110.63	30.1	2.03	2.02	3.40	8.5	0.41	0.43
08	114.61	30.0	2.02	1.99	3.80	7	0.47	0.47
09	123.12	30.0	2.00	1.99	8.00	3	1.01	1.24
10	126.44	30.1	2.00	1.98	8.00	3	1.02	1.34
11	110.76	30.0	2.01	2.00	6.90	3	0.86	1.06
12	98.47	30.1	2.03	2.00	1.20	6.5	0.15	0.17
Moy	/							0.71

* : éprouvette

Tableau 13 : Caractéristiques de la traction« T » et du fendage « Fd » du chêne vert

N°*	Base* (cm)	Haut* (cm)	charge (Kg)	T (Kg/cm ²)	T/100.D	Base* (cm)	Charge (Kg)	Fd (Kg/cm)	Fd/100.D
01	2.00	2.00	173	43.20	0.47	2.03	41.5	20.4	0.22
02	2.00	2.01	256	63.70	0.66	2.02	45.5	22.5	0.23
03	2.00	2.01	256	63.70	0.68	2.02	40.0	19.8	0.21
04	2.01	2.00	170	42.30	0.48	2.02	39.0	19.3	0.22
05	2.03	2.01	172	42.10	0.48	2.03	51.0	25.1	0.28
06	2.03	2.01	181	44.50	0.46	2.01	62.5	31.1	0.32
07	2.00	2.01	214	53.30	0.54	2.00	76.5	38.2	0.39
08	2.01	2.01	128	31.70	0.51	2.01	47.5	23.6	0.23
09	2.00	2.01	171	42.50	0.347	2.01	38	18.9	0.21
10	2.02	2.01	102	25.10	0.28	2.01	37	18.4	0.21
11	2.02	2.00	180	44.70	0.49	2.01	62.5	30.5	0.34
12	2.02	2.00	126	31.30	0.33	2.02	47.5	23.5	0.25
Moy	/			44.00	0.47	/		24.31	0.26

* : éprouvette

Tableau 14 : Caractéristiques du cisaillement« Cs» du chêne vert

N°*	Base* (cm)	Haut* (cm)	charge (Kg)	Nbr cerne	Cs (Kg/cm ²)	Cs/100.D
01	2.02	2.00	776	5	194	2.13
02	2.03	2.01	709	5	174	1.81
03	2.01	2.01	675	5	167	1.79
04	2.02	2.00	546	3	160	1.81
05	1.99	2.00	760	3	191	2.17
06	2.03	2.00	683	3.5	168	1.75
07	2.01	1.99	968	8	243	2.50
08	2.02	2.00	640	8	158	1.58
09	2.00	2.01	592	3.5	149	1.65
10	1.99	2.00	836	3	210	2.41
11	2.00	2.01	629	3.5	156	1.73
12	2.02	2.00	547	4	135	1.45
Moy	/				175	1.90

* : éprouvette

Tableau 15 : Caractéristiques de la dureté« N » du chêne vert

N°*	Largeur d'empreinte (mm)			(L ₁ + L ₂ + L ₃) (mm)	N	N/D ²
	L ₁	L ₂	L ₃			
01	7.822	4.855	/	12.677	6.68	8.06
02	8.905	5.592	/	14.497	5.10	5.53
03	10.755	5.352	/	16.107	4.13	4.77
04	9.022	4.200	/	13.222	6.14	7.92
05	10.675	5.315	/	15.990	4.19	5.41
06	9.695	5.225	/	14.920	4.81	5.21
07	10.782	6.760	/	17.542	3.48	3.70
08	10.165	4.430	/	14.595	5.03	5.03
09	8.160	5.250	/	13.410	5.96	7.36
10	10.060	4.172	/	14.332	5.29	5.90
11	8.300	3.980	/	12.280	7.12	8.79
12	8.880	4.358	/	13.238	6.12	7.07
Moy					5.58	6.32

* : éprouvette

Tableau16 : Variation du grammage en fonction du temps de raffinage et de la soude

Tableau16 : Variation du grammage en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	60.82	66.56	67.51	60.19	72.92	65.60	4.69	22.05	1.52
	10	65.60	70.06	68.15	71.33	68.78	68.78	1.93	3.73	1.45
	20	66.87	66.56	69.42	68.47	66.24	67.51	1.22	1.49	1.80
	25	64.33	36.05	67.83	67.19	57.19	65.92	1.88	3.52	2.85
	30	67.19	46.96	65.60	69.42	65.60	66.56	1.61	2.59	1.50
22 %	0	69.10	71.65	64.33	65.92	72.92	68.78	3.27	10.69	1.45
	10	65.60	67.19	62.73	61.14	63.37	64.01	2.14	4.58	1.56
	20	66.56	67.83	63.37	64.01	66.24	65.60	1.66	2.76	1.52
	25	69.42	63.69	66.87	70.06	69.10	67.83	2.42	5.86	1.47
	30	67.83	68.15	64.01	64.96	67.83	66.56	1.56	2.45	1.50
24 %	0	64.33	65.60	60.19	60.28	64.33	63.05	2.14	4.58	1.58
	10	67.51	69.10	64.01	64.64	69.10	66.87	2.16	4.70	1.49
	20	73.24	68.47	71.65	75.65	74.52	72.61	2.39	5.74	1.37
	25	69.74	66.56	71.33	70.06	67.83	69.10	1.69	2.87	1.44
	30	71.97	68.78	69.74	71.01	71.97	70.70	1.26	1.58	1.41

Tableau 17 : Variation du grammage en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E E C R U E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	147.8	142.2	187.6	145.6	155.8	155.8	16.5	272.6	10.6
	15	121.3	135.6	148.0	140.6	171.5	143.4	16.5	273.6	11.5
	25	113.2	121.6	122.5	122.4	133.0	122.5	6.3	39.4	5.1
	35	119.8	120.2	132.6	114.2	114.2	120.2	6.1	36.7	5.0
	40	113.2	120.6	114.4	120.8	116.9	117.2	3.2	9.5	2.6
22 %	0	162.2	185.0	172.6	170.8	197.7	177.6	12.4	153.3	6.9
	15	142.2	148.7	158.6	160.0	152.6	152.4	6.5	42.5	4.3
	25	107.6	165.0	131.2	140.8	111.1	131.1	20.5	420.2	15.6
	35	128.0	134.4	136.2	124.2	131.2	130.8	4.2	17.6	3.2
	40	143.5	111.8	140.5	122.2	122.5	129.5	12.4	146.4	9.3
24 %	0	146.4	155.7	14.2	153.0	119.3	149.3	4.76	22.6	3.2
	15	132.4	137.1	140.0	133.2	140.3	136.6	3.3	11.0	2.4
	25	120.2	121.8	114.0	114.2	118.3	117.7	3.1	9.8	2.6
	35	110.1	68.4	114.1	120.2	111.2	110.8	7.1	50.5	6.4
	40	88.8	107.2	102.6	106.0	103.8	101.7	6.6	43.9	6.5

20 % [NaOH]	0	147.8	142.2	187.6	145.6	155.8	155.8	16.5	272.6	10.6
	15	121.3	135.6	148.0	140.6	171.5	143.4	16.5	273.6	11.5
	25	113.2	121.6	122.5	122.4	133.0	122.5	6.3	39.4	5.1
	35	119.8	120.2	132.6	114.2	114.2	120.2	6.1	36.7	5.0
	40	113.2	120.6	114.4	120.8	118.9	119.2	3.2	9.5	2.6
P A T E B L A N C H I E										
22 %	0	162.2	185.0	172.6	170.8	197.7	177.6	12.4	153.3	6.9
	15	142.2	148.7	158.6	160.0	152.6	152.4	6.5	42.5	4.3
	25	107.6	165.0	131.2	140.8	111.1	131.1	20.5	420.2	15.6
	35	128.0	134.4	136.2	124.2	131.2	130.8	4.2	17.6	3.2
	40	143.5	111.8	140.5	122.2	122.5	129.5	12.4	146.4	9.3
24 %	0	146.4	155.7	14.2	153.0	119.3	149.3	4.76	22.6	3.2
	15	132.4	137.1	140.0	133.2	140.3	136.6	3.3	11.0	2.4
	25	120.2	121.8	114.0	114.2	118.3	117.7	3.1	9.8	2.6
	35	110.1	68.4	114.1	120.2	111.2	110.8	7.1	50.5	6.4
	40	88.8	107.2	102.6	106.0	103.8	101.7	6.6	43.9	6.5

Tableau 18 : Variation de l'épaisseur en fonction du temps de raffinage et de la soude

Tableau19: Variation de l'épaisseur en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	144.0	139.6	145.4	140.4	141.4	142.1	2.2	4.8	1.5
	10	130.6	140.8	134.0	137.2	130.6	134.6	3.9	15.4	2.9
	20	154.8	118.8	114.4	126.0	121.2	127.0	14.4	206.4	11.3
	25	118.0	124.2	121.4	122.4	115.9	120.3	3.0	8.9	2.5
	30	100.2	111.0	105.6	116.6	108.8	108.4	5.4	29.8	5.2
22 %	0	147.2	157.2	168.8	150.4	157.4	156.2	7.4	55.0	4.7
	10	153.2	141.3	142.4	138.8	144.3	140.4	3.1	9.9	2.2
	20	117.4	119.8	118.2	131.4	121.4	121.6	5.0	25.0	4.1
	25	110.8	114.2	118.2	120.0	118.0	116.2	3.0	10.7	2.8
	30	98.8	115.4	113.4	107.8	116.4	110.1	6.5	42.4	5.9
24 %	0	132.0	149.8	151.4	150.2	128.6	142.4	9.9	99.0	7.0
	10	130.2	140.2	130.6	133.2	136.8	134.2	3.8	14.5	28
	20	124.4	127.2	124.4	119.4	123.1	123.7	2.5	6.4	2.0
	25	117.8	126.2	110.6	113.6	116.5	116.9	5.2	27.5	4.5
	30	110.0	114.2	112.4	108.8	106.4	110.2	2.5	6.5	2.3

Tableau 20 : Variation de la main en fonction du temps de raffinage et de la soude

20 %	0	2.12	2.03	2.90	2.12	2.17	2.26	0.32	0.10	14.1
	15	2.11	1.97	2.21	2.08	2.66	2.20	0.24	0.05	10.9
	25	1.74	1.75	1.83	2.04	1.81	1.83	0.10	0.01	5.4
	35	1.72	1.75	1.78	1.55	1.67	1.70	0.18	0.006	4.7
	40	1.60	1.91	1.67	1.74	1.61	1.70	0.11	0.01	6.4
[NaOH] 22 %	0	2.17	2.67	2.58	2.72	2.88	2.68	0.13	0.02	5.75
	15	2.19	2.26	5.28	2.28	2.30	2.26	0.04	0.001	1.77
	25	1.93	3.01	2.16	2.00	1.90	2.19	0.41	0.17	18.7
	35	1.89	2.16	2.12	1.89	1.95	2.00	0.11	0.01	5.5
	40	2.14	1.72	2.03	2.03	1.82	1.97	0.15	0.15	7.6
	24 %	0	2.55	2.38	2.22	2.64	2.72	2.49	0.18	0.038
	15	2.05	2.32	2.41	2.24	2.32	2.26	0.12	0.01	5.3
	25	1.83	2.02	1.83	1.75	1.80	1.84	0.09	0.008	4.9
	35	1.72	1.71	1.74	2.00	1.66	1.76	0.12	0.01	6.8
	40	1.38	1.77	1.72	1.74	1.63	1.64	0.14	0.002	8.5

Tableau 21: Variation de la main en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	2.36	2.09	2.15	2.33	1.93	2.16	0.16	0.02	7.4
	10	1.99	2.00	1.96	1.92	1.89	1.95	0.04	0.001	2.0
	20	2.31	1.78	1.64	1.84	1.82	1.88	0.22	0.05	11.7
	25	1.83	1.96	1.78	1.81	1.72	1.82	0.08	0.006	4.4
	30	1.49	1.70	1.60	1.67	1.65	1.62	0.07	0.005	4.3
22 %	0	2.13	2.19	2.62	2.28	2.15	2.27	0.18	0.03	7.9
	10	2.06	2.10	2.27	2.27	2.27	2.19	0.09	0.008	4.1
	20	1.76	1.76	1.86	1.05	1.83	1.85	0.10	0.01	5.4
	25	1.59	1.79	1.76	1.71	1.70	1.71	0.07	0.004	4.1
	30	1.45	1.69	1.77	1.65	1.71	1.65	0.11	0.11	6.6
24 %	0	2.05	2.28	2.58	2.46	1.99	2.25	0.13	0.016	5.7
	10	1.92	2.02	2.02	2.06	1.85	2.00	0.05	0.002	2.5
	20	1.69	1.85	1.75	1.58	1.67	1.70	0.09	0.008	5.3
	25	1.68	1.89	1.59	1.60	1.71	1.69	0.10	0.01	5.9
	30	1.52	1.66	1.66	1.51	1.47	1.55	0.07	0.004	4.7

Tableau 22 : Variation de la porosité en fonction du temps de raffinage et de la soude

20 %	0	/	/	/	/	/	>100	/	/	/
	15	66.7	75.3	77.3	68.9	62.8	70.2	5.4	28.9	7.6
	25	55.5	44.3	48.6	52.3	44.6	49.1	4.3	18.9	8.8
	35	26.2	22.1	22.5	24.4	21.7	23.4	1.7	2.8	7.2
	40	21.6	20.9	16.7	16.3	16.1	18.3	2.4	5.8	13.1
	Tps	/	/	/	P A T E	/	E<COR U E	/	/	/
22 %	15	55.3	64.8	56.4	55.8	58.7	58.2	3.5	12.2	6.0
	25	42.7	45.3	40.8	41.7	42.6	42.6	1.5	2.2	3.5
	35	31.3	25.6	27.2	25.8	24.4	26.9	2.4	5.7	8.9
	40	17.9	22.3	22.7	19.8	19.3	20.4	1.8	3.3	8.9
24 %	0	/	/	/	/	/	>100	/	/	/
	15	38.7	42.6	42.8	39.2	37.7	40.2	2.1	4.3	5.2
	25	19.6	22.3	21.7	20.3	24.1	21.6	1.6	2.4	7.2
	35	12.9	18.4	17.7	14.4	14.6	15.6	2.1	4.3	13.4
	40	7.9	11.2	10.4	8.7	11.1	9.9	1.3	1.7	13.4

Tableau 23 : Variation de la porosité en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	/	/	/	/	/	>100	/	/	/
	10	43.4	44.6	37.8	40.7	43.5	42.0	2.4	6.0	5.8
	20	25.6	29.8	30.1	27.4	26.5	27.9	1.8	3.2	6.4
	25	18.9	23.0	18.1	21.4	21.6	20.6	1.8	3.3	8.8
	30	13.3	16.7	16.9	17.1	14.3	15.6	1.5	2.4	9.9
22 %	0	/	/	/	/	/	>100	/	/	/
	10	58.7	63.3	61.4	59.3	58.3	60.2	1.9	3.5	3.1
	20	58.3	50.2	53.4	56.7	60.4	55.8	3.6	1.2	6.4
	25	38.0	36.3	37.4	34.8	35.5	36.4	1.2	1.4	3.2
	30	22.6	27.1	24.8	26.6	24.9	25.2	1.6	2.5	3.9
24 %	0	/	/	/	/	/	>100	/	/	/
	10	47.3	45.8	47.2	42.9	41.8	45.0	2.2	5.1	5.0
	20	34.6	30.4	29.8	36.2	32.5	32.7	2.4	5.9	5.9
	25	16.1	18.7	17.6	20.6	18.5	18.3	1.5	2.1	2.1
	30	13.6	12.4	10.7	14.7	10.6	12.4	1.6	2.5	2.5

Tableau 24 : Variation de la longueur de rupture en fonction du temps de raffinage et de la soude

		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
	0	1668.5	1934.2	1804.9	2061.4	1926.8	1778.1	180.4	32540	10.1
20 % [NaOH]	15	3299.2	3256.8	2975.7	3094.5	3289.8	3183.2	127.4	16225	4.0
	25	4060.4	4155.6	3969.8	4150.4	3535.0	4032.2	121.7	14825	3.0
	35	4343.6	4404.9	4387.6	4245.0	4000.5	4276.3	148.7	22102	3.5
	40	4484.7	4601.7	4645.5	4725.5	4738.5	4632.0	104.6	10951	2.2
22 %	0	1621.1	1628.4	1566.9	1754.6	1509.7	1616.2	81.3	5619	5.0
	15	2496.6	2642.6	2644.2	2729.9	2424.8	2587.6	110.7	6535	4.3
	25	3286.9	3237.2	3246.5	3015.9	3246.3	3206.6	96.8	16330	3.0
	35	3653.4	3721.8	3543.1	3432.5	3660.2	3602.2	102.5	14130	2.8
	40	3957.5	4025.3	3600.4	3876.5	3631.7	3818.3	171.9	3723	4.5
24 %	0	2245.9	2333.3	2287.4	2387.4	2463.3	2341.1	74.9	5619	3.2
	15	3440.2	3485.7	3490.3	3298.4	3325.4	3408.0	80.8	6535	2.4
	25	3721.4	3750.7	3926.1	3851.8	3554.8	3740.9	127.8	16330	3.4
	35	3514.3	4781.4	4703.6	4488.4	4515.1	4600.6	118.9	14130	2.6
	40	4937.4	5085.7	5022.1	5062.7	4941.4	5009.8	61.0	3723	1.2

Tableau 25 : Variation de la longueur de rupture en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	2399.0	2281.4	2585.4	2468.8	2277.2	2402.4	116.8	13644	4.8
	10	3342.8	3277.2	3176.5	3243.6	3278.6	3263.8	54.2	2934	1.6
	20	3995.7	4251.7	4169.2	4112.5	4144.3	4134.7	83.4	6954	2.0
	25	4229.1	4296.3	4156.2	4336.9	3988.3	4195.9	119.2	14201	2.8
	30	4257.4	4169.1	4120.3	4091.8	4352.9	4198.3	95.5	9132	2.3
22 %	0	2467.36	2254.5	2277.5	2385.9	2490.0	2375.1	95.8	9189	4.0
	10	3173.9	3092.6	3295.6	3153.5	3281.7	3199.5	77.6	6031	2.4
	20	4052.3	3853.9	3927.4	4032.2	4156.2	4004.6	104.6	10949	2.6
	25	3997.5	4176.5	4148.6	3950.9	4292.9	4113.3	124.3	1545	3.0
	30	4321.1	4185.9	4082.0	4195.9	4405.4	4243.1	114.6	13144	2.7
24 %	0	2785.3	2893.4	2695.2	2919.6	2882.9	2835.3	83.5	6974	2.9
	10	3452.1	3233.1	3375.8	3484.4	3631.3	3435.3	130.8	17106	3.8
	20	4034.7	3841.2	4035.8	4112.1	4036.4	4012.0	90.4	8170	2.2
	25	4154.0	4035.7	4241.2	4141.9	3914.7	4097.5	112.3	12613	2.7
	30	4412.4	4323.0	4452.1	4362.5	4619.5	4433.9	102.6	10527	2.3

Tableau 26 : Variation de l'allongement en fonction du temps de raffinage et de la soude

20 %	0	1.1	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	0.12	0.014	5.21
	15	1.6	1.5	1.7	1.4	1.5	1.5	0.12	0.014	8.5
	25	2.1	1.8	1.6	1.7	1.8	1.8	0.19	0.036	10.0
	35	2.3	1.8	1.7	2.0	2.0	2.0	0.19	0.036	6.66
	40	2.1	2.5	2.2	2.4	2.3	2.3	0.16	0.025	5.90
22 %	0	0.6	0.3	0.6	0.7	0.3	0.5	0.17	0.028	34.0
	15	1.2	1.2	1.4	1.5	1.3	1.3	0.15	0.022	11.5
	25	1.4	1.5	1.4	1.9	1.8	1.6	0.21	0.044	13.1
	35	2.5	2.4	2.5	2.1	2.0	2.3	0.20	0.044	9.13
	40	2.6	2.5	2.4	2.7	2.8	2.6	0.15	0.022	5.76
24 %	0	0.9	1.3	1.2	1.3	1.1	1.2	0.15	0.022	12.5
	15	1.4	1.7	1.5	1.3	1.6	1.5	0.14	0.019	9.33
	25	1.6	1.8	1.7	2.0	1.9	1.8	0.14	0.019	7.77
	35	2.1	2.0	2.4	2.4	2.1	2.2	0.18	0.032	8.18
	40	2.4	2.5	2.5	2.8	2.8	2.6	0.16	0.025	6.15

Tableau 27: Variation de l'allongement en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	1.1	0.9	0.8	1.0	0.7	0.9	0.14	0.019	15.55
	10	0.7	1.0	0.9	0.8	0.6	0.8	0.14	0.019	17.5
	20	1.0	1.3	1.2	0.9	1.1	1.1	0.15	0.022	13.63
	25	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	0.11	0.012	9.16
	30	1.3	1.6	1.7	1.6	1.7	1.5	0.17	0.028	11.33
22 %	0	0.6	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.14	0.019	20.0
	10	0.8	1.2	1.0	0.8	0.9	0.9	0.18	0.032	20.0
	20	1.3	1.2	1.0	1.1	1.2	1.2	0.14	0.019	11.66
	25	1.6	1.2	1.7	1.7	1.9	1.9	0.23	0.052	12.10
	30	2.3	2.0	1.7	1.7	1.9	1.9	0.23	0.052	12.10
24 %	0	1.1	0.9	0.7	0.7	0.8	0.8	0.18	0.032	22.5
	10	1.3	1.7	1.7	1.0	1.4	1.4	0.27	0.072	19.28
	20	2.1	1.9	2.2	2.3	2.1	2.1	0.14	0.019	6.66
	25	2.4	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3	0.11	0.012	4.78
	30	2.6	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	0.11	0.012	4.58

Tableau 28 : Variation de l'indice de déchirure en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	(min)	1	2	3	4	MOY		V	CV
	0	87.5	87.8	86.7	86.0	87.0	0.70	0.49	0.80
	15	90.5	88.0	88.2	88.5	88.8	0.99	0.98	1.11
20 %	25	89.0	92.0	89.2	92.2	90.6	1.50	2.25	1.65
	35	115.6	116.7	116.1	117.2	116.4	0.60	0.36	0.51
	40	105.9	108.3	106.1	110.9	107.8	2.02	4.08	1.87
22 %	0	58.6	60.7	59.3	61.4	60.0	0.85	0.72	1.41
	15	82.7	84.0	86.2	83.5	84.6	1.35	1.82	1.18
	25	95.9	98.0	98.2	97.4	97.4	0.92	0.84	0.94
	35	65.6	68.7	65.1	67.8	66.8	1.49	2.22	2.23
	40	63.9	60.7	62.3	62.7	62.4	1.14	1.29	1.82
24 %	0	68.4	65.9	66.3	66.6	66.8	0.95	0.90	1.42
	15	102.5	103.8	101.7	102.4	102.6	0.75	0.56	0.73
	25	122.3	118.9	121.0	121.0	120.8	1.21	1.46	1.00
	35	117.4	116.1	118.4	116.1	117.0	0.96	0.92	0.82
	40	102.9	107.3	108.5	207.7	106.6	2.17	4.70	0.93

Tableau 29 : Variation de l'indice de déchirure en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E							
		1	2	3	4	MOY		V	CV
20 %	0	71.9	74.6	74.7	71.6	73.2	1.45	2.10	1.98
	10	82.3	82.0	80.7	81.4	85.6	0.61	0.37	1.22
	20	85.1	8.6	82.3	85.2	83.8	1.35	1.82	2.00
	25	81.96	85.6	85.9	83.0	84.1	1.69	2.87	3.38
	30	80.7	84.8	85.6	80.9	93.0	2.21	4.48	2.66
22 %	0	59.3	59.9	56.8	56.8	58.2	1.41	1.98	1.71
	10	95.6	91.7	92.3	95.2	93.7	1.71	2.92	1.06
	20	117.3	115.6	113.8	116.5	115.8	1.30	1.69	1.12
	25	108.6	111.3	112.0	110.1	111.5	1.29	1.66	1.16
	30	99.8	104.2	101.9	102.9	102.2	1.60	2.56	1.56
24 %	0	59.2	58.1	56.7	57.2	58.8	0.97	0.94	1.67
	10	87.8	89.3	87.1	91.0	88.8	1.39	1.93	1.12
	20	115.2	145.5	112.3	112.4	113.6	1.27	1.61	1.11
	25	88.8	89.2	87.1	86.9	88.0	1.01	1.02	1.13
	30	80.9	78.3	81.3	79.1	79.9	1.24	1.53	1.55

Tableau 30 : Variation de l'indice d'éclatement en fonction du temps de raffinage et de la soude

		1	2	3	4	MOY		V	CV	
20 %	0	9.6	12.4	10.7	11.3	11.0	1.01	1.02	9.18	
	15	27.8	26.9	29.3	30.4	28.6	1.34	1.79	4.68	
	25	35.8	34.9	31.7	32.8	33.8	1.62	2.62	4.79	
	35	33.6	34.8	32.6	35.0	34.0	0.96	0.92	2.82	
	40	35.8	42.1	40.7	37.4	38.0	3.58	12.46	8.81	
[NaOH]	(min)	3.6	2.9	6.4	6.3	4.8	MOY	2.46	3.7	CV
22 %	15	16.2	11.6	12.7	13.5	13.5	1.69	2.85	12.5	
	25	25.2	26.3	21.3	23.2	24.0	1.91	3.64	7.95	
	35	47.7	50.4	51.6	51.1	50.2	1.50	2.25	2.98	
	40	51.8	53.6	51.1	51.9	52.1	0.91	0.82	1.74	
	24 %	0	9.4	14.9	13.6	12.5	12.6	2.03	4.12	16.1
15		22.1	18.7	19.9	20.5	20.3	1.22	1.48	6.0	
25		35.4	39.0	36.7	39.3	37.6	1.62	2.62	4.30	
35		38.8	40.7	39.4	44.3	40.8	2.13	4.53	5.22	
40		40.7	50.3	49.3	44.7	48.0	2.11	4.45	9.27	

Tableau 31 : Variation de l'indice d'éclatement en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E							
		1	2	3	4	MOY		V	CV
20 %	0	16.7	13.6	15.9	20.2	16.6	2.36	5.56	14.2
	10	33.8	29.7	30.9	30.8	31.3	1.51	2.28	4.82
	20	38.9	37.8	39.4	38.3	38.6	0.6	0.36	1.55
	25	37.4	42.4	41.4	37.9	39.7	4.41	19.44	5.28
	30	38.8	42.4	40.1	39.3	40.1	1.87	3.50	3.41
22 %	0	12.7	16.6	15.3	13.8	14.6	2.16	4.66	10.1
	10	26.3	29.3	28.6	28.2	28.1	1.23	1.51	3.95
	20	36.6	33.4	39.7	35.9	36.4	5.01	25.10	6.15
	25	32.4	35.5	36.7	40.5	36.3	8.41	70.72	7.98
	30	37.7	33.3	36.5	38.9	36.6	4.32	18.66	5.68
24 %	0	12.7	15.6	15.3	15.6	14.8	1.46	2.13	8.17
	10	22.8	20.7	24.0	23.3	22.7	1.51	2.28	5.41
	20	36.4	38.4	39.9	40.5	38.8	2.49	6.20	4.07
	25	39.2	43.2	40.8	38.4	40.4	3.34	11.15	4.52
	30	41.6	39.7	43.6	43.5	42.1	2.52	6.35	3.77

Tableau 32 : Variation du pliage en fonction du temps de raffinage et de la soude

20 %	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	15	15	8	13	7	7	10	3.3	11.1	33.4
	25	15	18	22	41	16	17	2.8	7.9	16.6
	35	32	45	95	46	46	48	9.0	81.2	18.8
	40	70	60	84	80	70	74	6.8	46.4	9.2
22 %	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	15	27	30	22	24	27	26	3.4	11.5	13.1
	25	66	51	49	67	62	59	7.5	57.1	12.8
	35	100	110	108	91	101	102	6.7	45.1	6.6
	40	118	113	125	119	110	117	5.2	26.7	4.4
24 %	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	15	9	10	18	20	18	15	4.5	20.8	30.4
	25	66	74	56	54	70	64	7.8	60.7	12.2
	35	121	117	90	95	127	110	14.7	216.4	13.4
	40	302	288	291	307	302	298	6.9	47.5	2.3

Tableau 33: Variation du pliage en fonction du temps de raffinage et de la soude

[NaOH]	Tps (min)	P A T E B L A N C H I E								
		1	2	3	4	5	MOY		V	CV
20 %	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	10	10	17	14	8	16	13	3.4	11.9	26.6
	20	21	18	26	20	25	22	3.0	9.2	13.86
	25	34	39	26	29	32	32	4.4	19.5	13.8
	30	47	31	31	50	36	39	8.0	64.3	20.5
22 %	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	10	16	15	27	14	18	18	4.7	22.0	26.0
	20	45	38	34	51	47	43	6.2	37.9	14.3
	25	58	62	69	50	56	59	6.3	39.9	10.7
	30	109	87	98	83	103	96	9.7	94.3	10.1
24 %	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	10	20	33	21	27	24	25	4.7	22.0	18.7
	20	53	41	39	58	49	48	7.2	51.1	14.9
	25	105	117	95	98	115	106	8.8	77.4	8.3
	30	163	148	141	151	147	150	7.3	52.7	4.8