

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- RAMOLISSEMENT 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 CHALAIIS- 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 (Leteruch 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.

En ce qui nous concerne, nous avons pris en considération la forme elliptique de la cépée du chêne vert et nous avons essayé de trouver parmi ses caractéristiques, celles qui peuvent expliquer aux mieux son volume.

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 :

- Etage bioclimatique : Sub-humide doux
- Température : moyenne des maxima « 29°C »
: moyenne des minima « 4.2°C »
- Précipitations annuelles : 679 mm
- Altitude moyenne : 1300m

Sur la plus grande étendue de la forêt de Mizab et à l'instar des autres yeuseraies, les empreintes d'abondant sont nombreuses. Presque partout, il s'agit d'un taillis dont la densité des cépées oscille entre 100 à 400 à l'hectare, le nombre des brins varie de 3 à 16 brins par cépée, la hauteur ne dépasse guère 6 mètres. Le prélèvement anarchique et illicite des meilleurs brins et le surpâturage constituent des preuves supplémentaires d'abondons. L'avenir même de cette forêt est inquiétant du fait de la présence d'une végétation indicatrice d'une évolution régressive des peuplements et de sa situation comme charnière entre les formations boisées et la steppe.

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.

a) Taillis haut et dense

- 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 Brott, *Amplodesma mauritanica (Pioret)* sur et schinz, *Calycotome spinosa L*, *Asparagus acutifolius L*, *Vibrunum tinus L*, *Daphne gnidium L*.

b) Taillis bas et clair

- 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* Brott, *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 nombrer 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 avions 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 parait 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 | 17 |
| | 5- 7 | | 6 | 2 | | | 8 |
| | 7- 9 | | 1 | 3 | 2 | | 6 |
| | + 9 | | 3 | | | | 3 |
| total | | 1 | 22 | 13 | 9 | 3 | 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 cm(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/dm³ (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 œuvres pour produire un bois de haute qualité technologiques, 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). Cee dégradaon catastrophi que écol og quem t 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 retombés 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, Errikson 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 du 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 valorisaon 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 quantificatifs.

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 quantificatifs, avoir une idée précise sur les rendements cités.

Les paramètres quantificatifs 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, surtout, dans le cas des peuplements naturels.

Nôtre 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 lepido – 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 Lamark 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 Lamark 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 abundance, l'un des arbres les plus importants (Peyrimhof, 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).

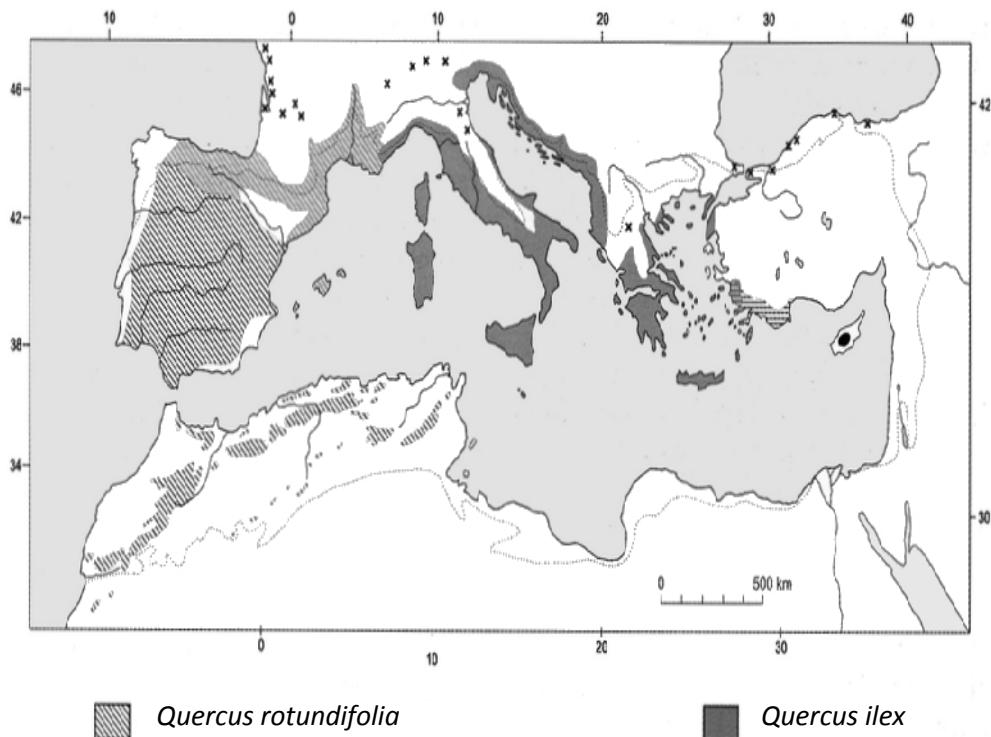


Figure 01 : Distribution du *Quercus rotundifolia* et du *Quercus ilex* dans son aire géographique méditerranéenne. Michaud et al.,(1995)

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 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 métidjien en taillis dégradés. Il forme des taillis médiocres dans les régions de Tablat et Sour-El Ghozlan, 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'affecte pas leur capacité photosynthétique. Cette résistance est liée à la sclérisation 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 compétition des espèces plus dynamiques (Migliore, 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 où 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 oxycedre (*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 culturales ; 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 moyant 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 déprécient 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 vocaon forèsre. Le tab Ø, 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 : Réparation des essences forestière pour zone

| ZONES | Superficies Totales (hectares) | Superficies forestières | | Principales essences |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------|---|
| | | (hectares) | % | |
| 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 Cyprès |
| Monts de Sebba-Chiouche | 30 800 | 580 | 0.3 | Pin d'Alep |
| Monts de Tlemcen | versant-Nord | 172 000 | 86 340 | chêne liège Chêne vert Chêne zeen thuya |
| | versant-Sud | 132 800 | 71 180 | 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.D.E.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 forestière sont situés dans la zone montagneuse des Monts de Tlemcen, avec 43% sur le versant-Nord et 36% sur le versant-Sud.
- 19 430 hectares, 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 dénommés aussi :

- Monts de Tlemcen, versant-Nord : Khemis, Hafir, Béni Boussaid, Ouled Mimoun, Zerdab, Azails (Nord).
- Monts de Tlemcen, versant-Sud : Azails (sud), Merbeuh, Ouled Nehar-Gheraba, Djebel Ourglia, 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 Nature des formations | | versant-Nord | | versant-Sud | |
|--------------------------------|--------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| | | 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 MONTS DE TLEMCEN

Les Monts de Tlemcen correspondent à la zone forestière du chêne vert occidental (Boudy, 1952). En effet ; c'est dans la foêt 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-marocaine (Letreuch, 1991). La superficie qui'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 fomations 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 pâtuage 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 clairierés. 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 répars 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 e et, 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 :

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

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 $31^{\circ} 51' \text{ N}$

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 ** |
| 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'Angoï, 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 Köppen (1939) , nous pouvons dire que la zone d'étude présente une variante thermique fraîche « $0^{\circ}\text{C} < m < 3^{\circ}\text{C}$ »

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 Mésoméditerranéen 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 connent a ité pluie et thermique. D après Daget (1977) , la zone d'étude se raccorde 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. Cee période s'étale sur 4 mois de Juin à Septembre.

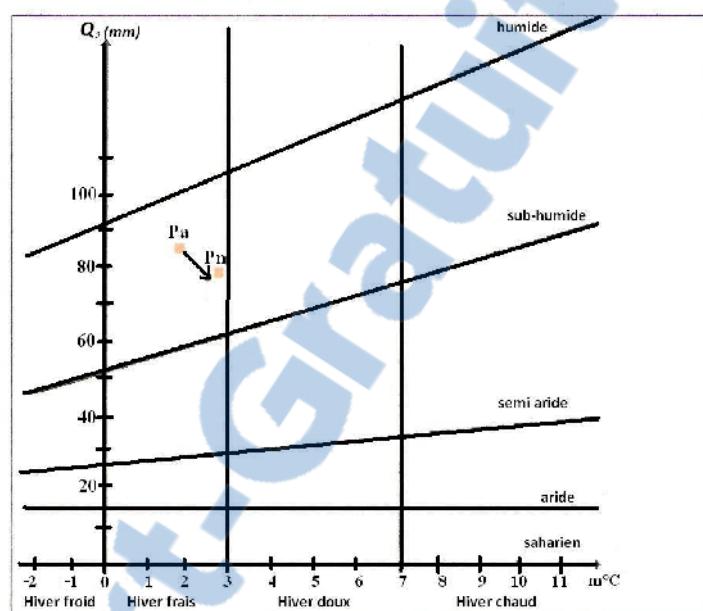


Figure 02 : Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger de la zone d'étude

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).

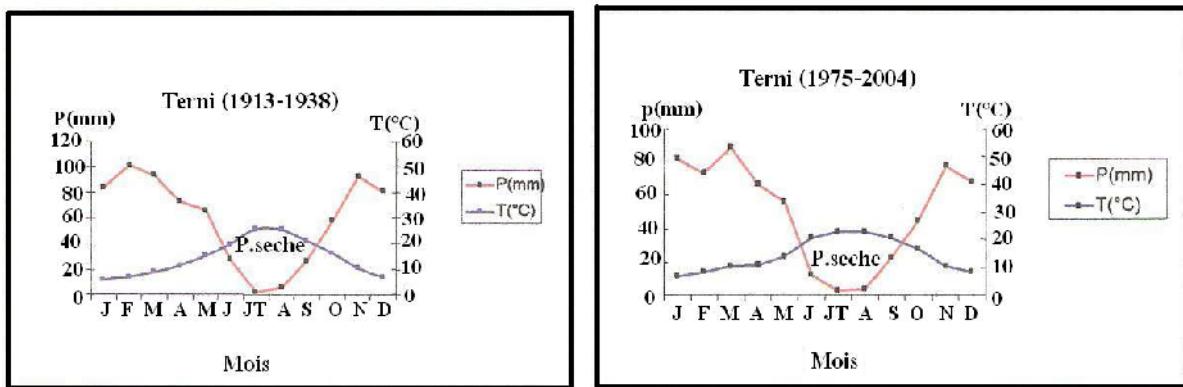


Figure 03: Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1953)

II.5.3.3 – quotient pluviométrique et climigramme 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 climigramme 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 (°C) | m(°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 inférieur 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 inférieur 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

fraîche. 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. (Benabadj 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 (Benabdelli, 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 circonference 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 au moins distinctes suivant les essences et les conditions de croissance. Le bois formé au début d'année de végétation, plus au 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 (Sachess, 1984 ; Collardet & Basset, 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 mince (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 cernes 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 tangentialles 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 constituants du 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.

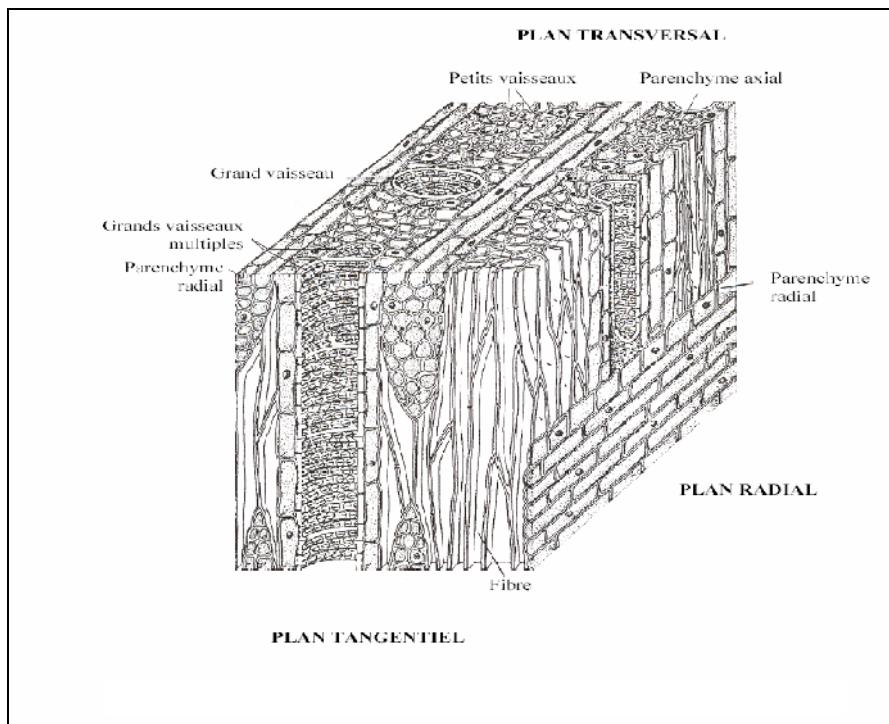


Figure 04: Structure tridimensionnelle générale des feuillus. Fahn (1990)

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 | 15-19 | Zone interne: 15-19 | Nord : 15-19 |
| | Zone externe : 56-60 | | Zone externe : 28-32 | 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 $10\mu\text{m}$ 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 2mm^2 , 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 $40\mu\text{m}$.

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 $15\mu\text{m}$.

- Coupe radiale et tangenel le : δ -20 μm .

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 déposé 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 préparer 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'allumées, 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 oxygénée 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 réalisées 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 unisérié | 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 unisérié | 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 répéton 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 unisérié 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 accolées 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 épaissements 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 | Mince | Moyennes | Épaisses | | |

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 e et 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.

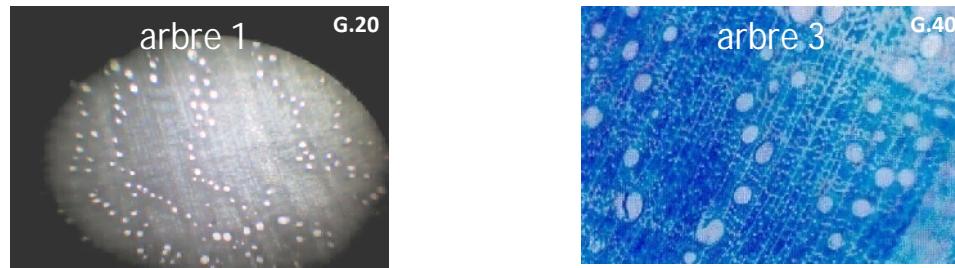


Figure 05 : Coupe transversale de la zone interne du chêne vert

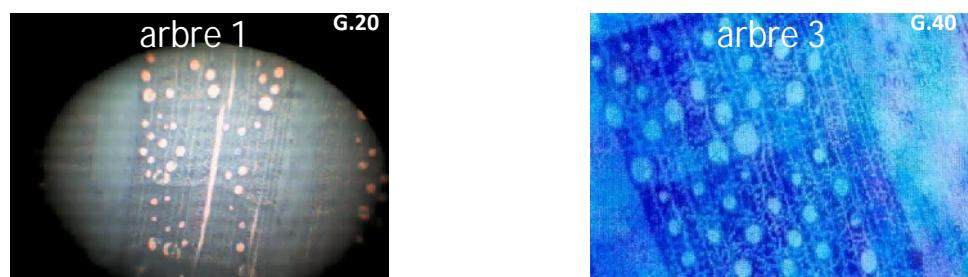
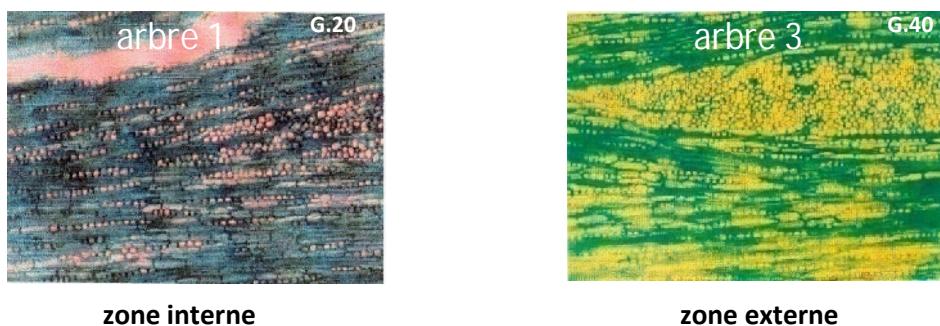


Figure 06 : Coupe transversale de la zone externe du chêne vert



zone interne

zone externe

Figure 07 : Coupe tangentielle du chêne vert

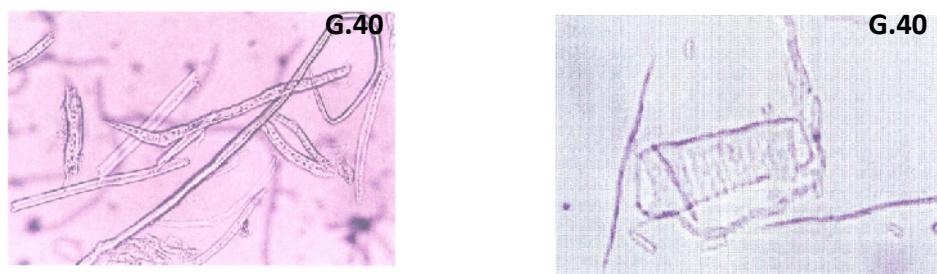


Figure 08 : Fibres isolées (G) et fibres isolées plus vaisseau du bois(D)

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%), toutefois note 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 par 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%). Cee 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 hauteurs de 68%. La classe possédant un nombre de vaisseaux au mm^2 qualifié de nombreux est présente, à raison de 30%.

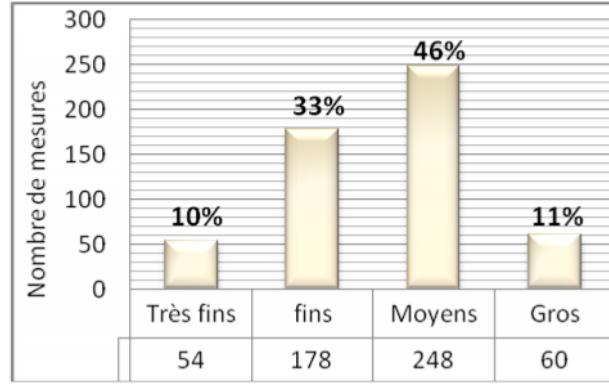


Figure 09 : Histogramme des pourcentages du diamètre des vaisseaux du bois initial

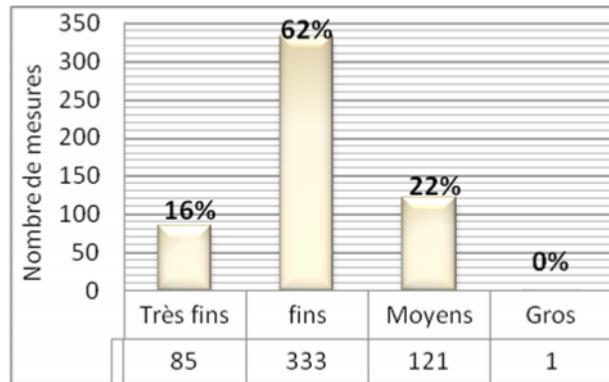


Figure 10 : Histogramme des pourcentages du diamètre des vaisseaux du bois final

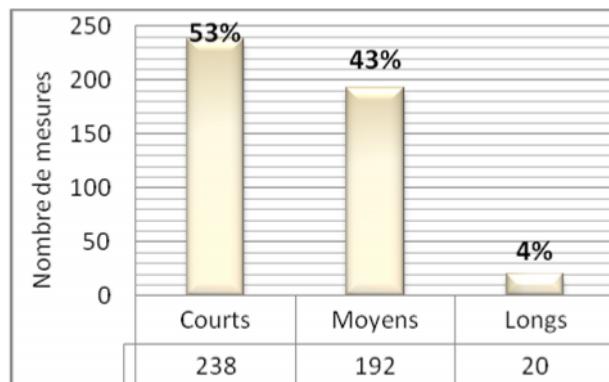


Figure 11 : Histogramme des pourcentages de la longueur des vaisseaux

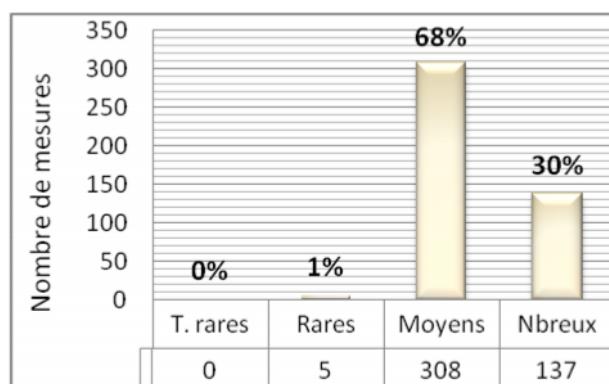


Figure 12 : Histogramme des pourcentages de la densité des vaisseaux

▪ Rayons ligneux

Le tab. 19, présente les grandeurs des rayons ligneux du bois de chêne vert, calculées à partir de la fig. 07. Seul s le rayon unisérié 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 unisérié (μm) | 197.49 | Très petits |
| Hauteur du rayon ligneux multisériés (μm) | 2235.48 | Moyens |
| Largeur du rayon ligneux unisérié (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'ultra-saison de la qualité de la fig. 07 ci-dessous, permettent de dégager les constatations suivantes :

- Nombre de rayon par mm : le nombre moyen des 450 mensurations de rayons ligneux par unité de longueur (mm), est qualifié de « Nombreux ». Sont comptabilisés, tous les types de largeurs de rayons ligneux, à savoir : l'unisérié, le bisériés, le trisériés 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 unisérié 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 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 unisérié : 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 unisérié : la largeur des rayons unisérié 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 larges 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 caractérisques des fibres du bois de chêne vert, données au tab. 20 et par l'union 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.

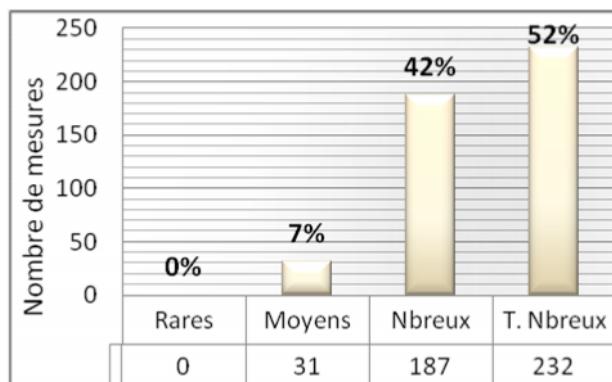


Figure 13 : Histogramme des pourcentages du nombre de rayons ligneux par mm

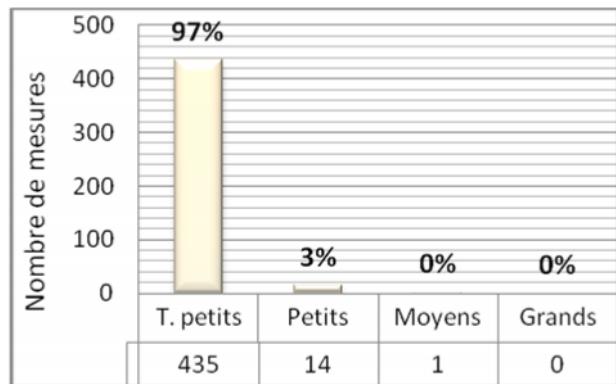


Figure 14 : Histogramme des pourcentages de la hauteur des rayons unisérié

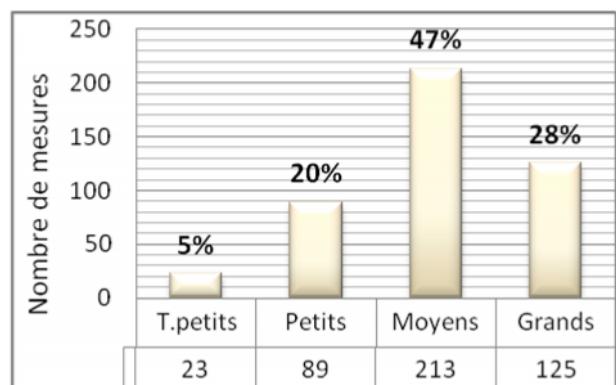


Figure 15 : Histogramme des pourcentages de la hauteur des rayons multisériés

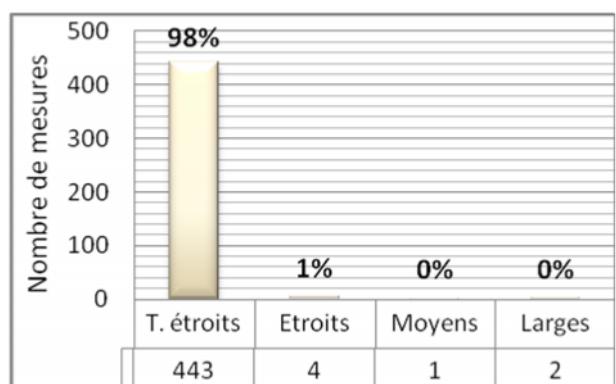


Figure 16 : Histogramme des pourcentages de la largeur des rayons unisérié

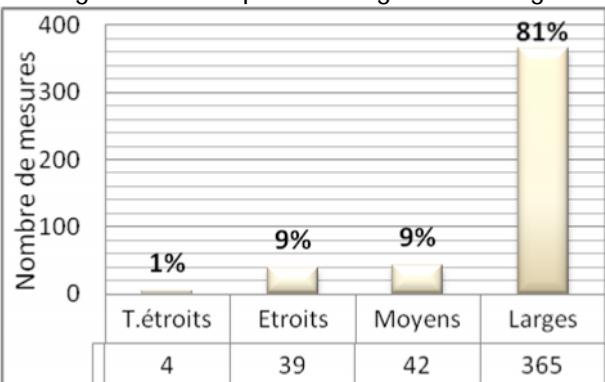


Figure 17: Histogramme des pourcentages de la largeur des rayons multisériés

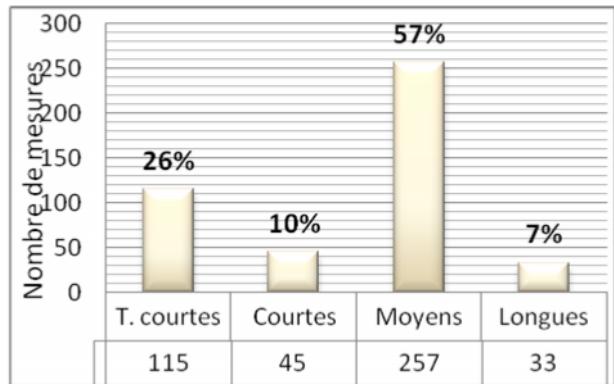


Figure 18: Histogramme des pourcentages de la longueur des fibres

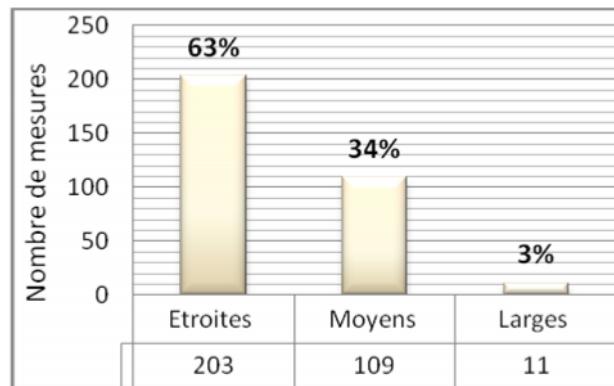


Figure 19: Histogramme des pourcentages de la largeur des fibres

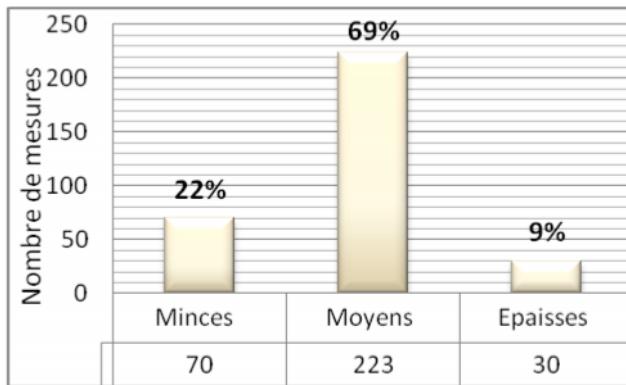


Figure 20: Histogramme des pourcentages de l'épaisseur de la paroi

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 mm² », les fins pores « 77.81µm » 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 « 135.31µm en bois initial et 77.81µm 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 immersés 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 entre 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 CARACTÉRISTIQUES 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'éclairement 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'appreciaon 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 récoltées en avril 2007, les condions 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'exposion t esté s ur un m ê me 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'abaa ge de l'arbre « 4 » s'est e ectué 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 condions r é t éor d oji ques des périodes d tées.

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 |
| | 15 ^{ème} -19 ^{ème} années | 1978-1982 | 620.22 |
| Rondelle « 3 » | 28 ^{ème} -32 ^{ème} années | 1991-1995 | 516.77 |
| | 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 mètrer en évidences 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%.

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

- \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 prématûrée (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 %) | | ce |
|--|-----------|---------|-------|------------|-------|-----------------|-------|---------|-------|----|
| | | z.int | z.ext | z.int | z.ext | z.int | z.ext | f.obs | f.the | |
| -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) | 9 | 2 | 1 | | 4 | | | | |
| -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) | 77 | 5 | 8 | 1 | 5 | 1 | | | |
| -Lg des vaisseaux (μm) | Arbre (1) | 665 | 642. | 519. | 420. | 77.9 | 65.4 | 0.24 | 1.96 | DN |
| | Arbre(3) | 9 | 4 | 9 | 9 | 7 | | | | S |
| -Nbr de vaisseaux au mm^2 | Arbre (1) | 665 | 642. | 519. | 420. | 77.9 | 65.4 | 0.24 | 1.96 | DS |
| | Arbre(3) | 253. | 309. | 102. | 106. | 40.3 | 34.3 | 2.7 | 1.96 | DS |
| -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) | 6 | 2 | 4 | 7 | 6 | 7 | | | |
| -Nbr de vaisseaux au mm^2 | Arbre (1) | 17.5 | 19.5 | 4.87 | 3.42 | 27.5 | 17.5 | 2.30 | 1.96 | DS |
| | Arbre(3) | 8 | 2 | | | 0 | 2 | | | |

Ø : diamètre, Lg : longueur, Nbr : nombre

L'analyse du tab. 23, sur l'évolution 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 initial 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 significativement 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 mm^2 , 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 mm^2 , 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 unisérié (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 4 | 804. 9 | 1350 | 394. 9 | 99.5 | 49.1 | 2.77 | 1.96 | DS |
| | Arbre(3) | 4667 3 | 2871 | 265. 3 | 2257 | 56.9 | 78.6 | 3.64 | 1.96 | DS |
| Largeur de rayon unisérié (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 unisérié, 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 unisériés 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 1356µm, en zone externe de 2871µm 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, qui 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'évolution 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 liée à la macéraon (fig. 08).

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 variation | | de 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. | 628 | 88.7 | 64.2 | 2.65 | 1.96 | DS |
| | Arbre(3) | | | 7 | | 2 | 0 | | | |
| Epaisseur de la paroi (µm) | Arbre (1) | 932 | 962 | 207. | 185. | 22.5 | 19.2 | 2.4 | 1.96 | DS |
| | Arbre(3) | | | 4 | 4 | | 6 | | | |
| | Arbre (1) | 5.61 | 5.42 | 1.58 | 1.39 | 28.1 | 25.7 | 2.13 | 1.96 | DS |
| | Arbre(3) | | | | | 8 | 2 | | | |
| | Arbre (1) | 7.76 | 6.27 | 1.81 | 1.35 | 23.3 | 21.5 | 2.25 | 1.96 | DS |
| | Arbre(3) | | | | | 2 | 3 | | | |

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 variation | | de | 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 mm^2 , 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 variation | | de | F (5 %) | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------|---------|-----|
| | Arbr e « 1 » | Arbr e « 2 » | Arbr e « 1 » | Arbr e « 2 » | Arbr e « 1 » | Arbre « 2 » | f.obs | f.the | ce |
| Nbr rayon / mm | 12.6 | 14.6 | 2.57 | 3.31 | 20.3 | 22.70 | 0.75 | 1.96 | DNS |
| Hauteur de rayon unisérié (μm) | 6 | 2 | | | 4 | | | | |
| Hauteur de rayon multisériés (μm) | 183 | 119. | 11.9 | 126. | 61.1 | 63.57 | 0.67 | 1.96 | DNS |
| Hauteur de rayon multisériés (μm) | | 2 | 0 | 6 | 2 | | | | |
| Largeur de rayon unisérié (μm) | 1356 | 1049 | 1350 | 715 | 99.5 | 68.18 | 1.42 | 1.96 | DNS |
| Largeur de rayon unisérié (μm) | | | | | 0 | | | | |
| Largeur de rayon multisériés (μm) | 12.0 | 14.7 | 3.56 | 8.94 | 29.6 | 60.78 | 1.98 | 1.96 | DS |
| Largeur de rayon multisériés (μm) | 2 | 2 | | | 6 | | | | |
| Largeur de rayon multisériés (μm) | 315 | 276. | 108. | 90.9 | 34.4 | 32.93 | 4.62 | 1.96 | DS |
| Largeur de rayon multisériés (μm) | | 1 | 5 | | 1 | | | | |

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 6 | 609 1 | 613 5.61 | 469 1 | 88.7 2 | 77.05 38.3 | 0.75 1.74 | 1.96 1.96 | DNS DNS |
| Largeur (μm) | 22.0 6 | 19.1 1 | 8.45 15.8 | 8.39 1.96 | 43.91 28.1 | 33.44 8 | | | |
| Epaisseur de la paroi (μm) | | | | | | | 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 celles en largeur), sont plus larges en exposition 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 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 MECANIQUES DU CHENE VERT

Les essais de qualifications du bois, ont pour but de caractériser la matière bois en déterminant 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'empattement 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 façonnée 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 et 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).

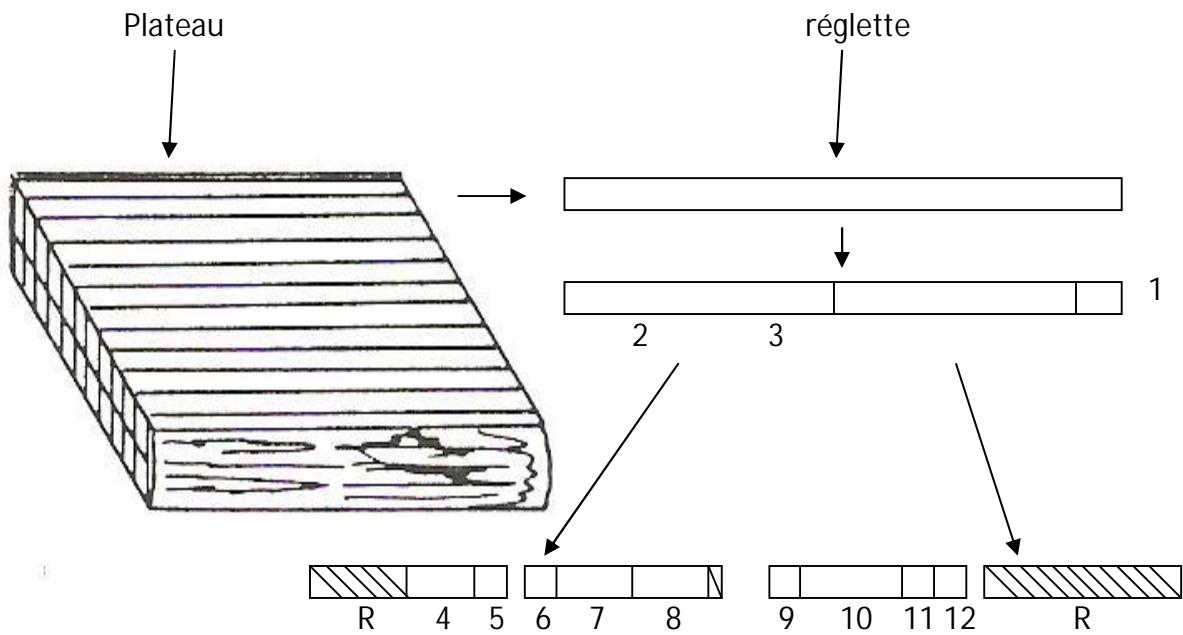


Figure 21 : Plan de découpe des éprouvettes d'essais.

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 « 6x22 » 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 défaillance « 2,5x2x2 » cm

10 : éprouvette de duré « 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. À 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 gosses 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 $103^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, 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/cm³. 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

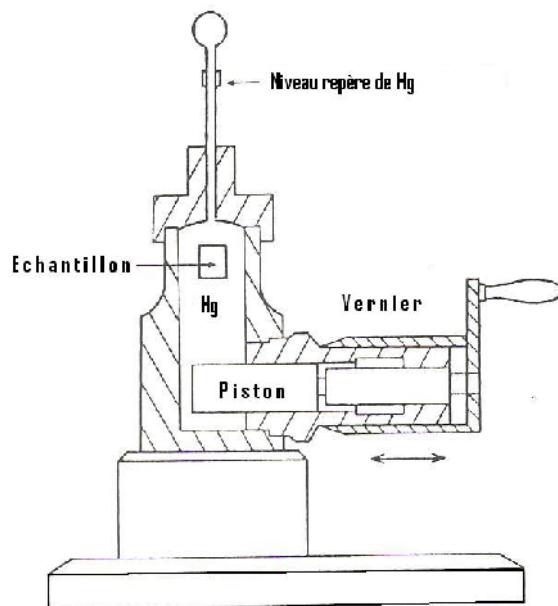


Figure 22 : Voluménomètre à mercure.

$$D \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{P}{(V_1 - V_0) \times 0.3} *$$

P : poids de l'éprouvette(g)

V_1 : volume de l'éprouvette plongée dans le mercure (cm^3)

V_0 : lecture à vide du voluménomètre à mercure (cm^3)

* : $\frac{1}{4}$ du tour du voluménomètre 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/cm^3 , 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 (0.72 à 0.96 g/cm^3) 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 dessiccati ons, 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 MECANIQUES

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 $20^\circ\pm2^\circ\text{C}$, 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, dépendant 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.

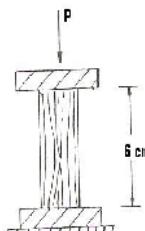


Figure 23: Test de la compression axiale

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

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) |
| III | Inferieure | 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.D² », (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 | inferieure | < 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 « inferieure ».

Tableau 33 : Cote spécifique de compression des bois feuillus.

| Catégorie C /100.D ² | Tendre | Mi-durs | Durs | Très-durs |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | 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.D² » de « 12.5» confirment 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.

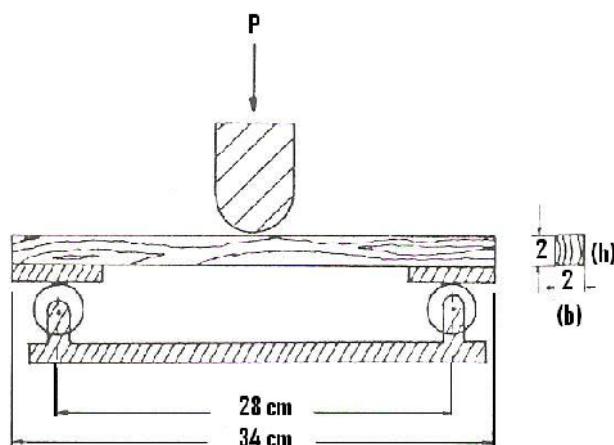


Figure 24: Test de la flexion statique

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

P : charge de rupture (Kg)

L : distance entre appuis (28 cm)

b : base de l'éprouvette (cm)

h : hauteur de l'éprouvette (cm)

Tableau 34 : Qualification de la résistance à 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 octroie 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.

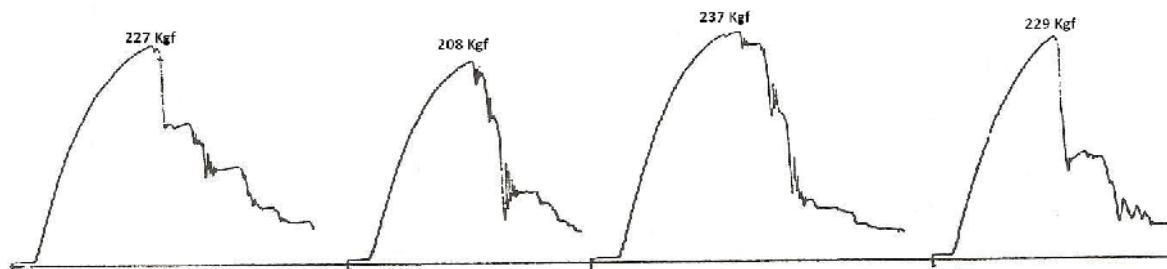


Figure 25 : Diagramme de la résistance à la flexion statique.

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 ».

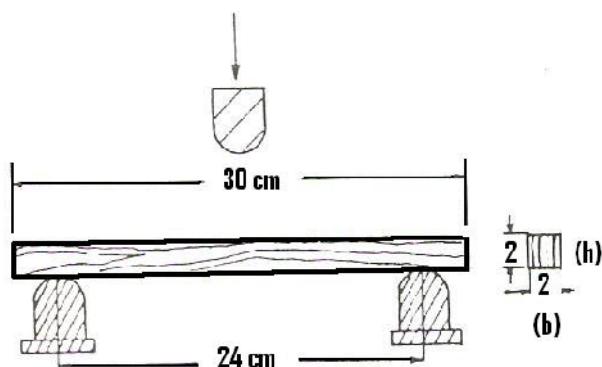


Figure 26 : Test de la flexion dynamique

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

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 MECANIQUES 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.

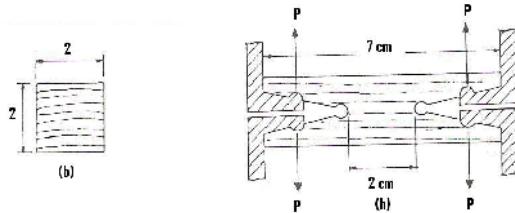


Figure 27 : Test la traction perpendiculaire aux fibres

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

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 $44 \text{ Kg}/\text{cm}^2$. 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.

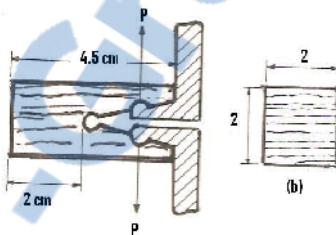


Figure 28 : Test de fendage

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

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.

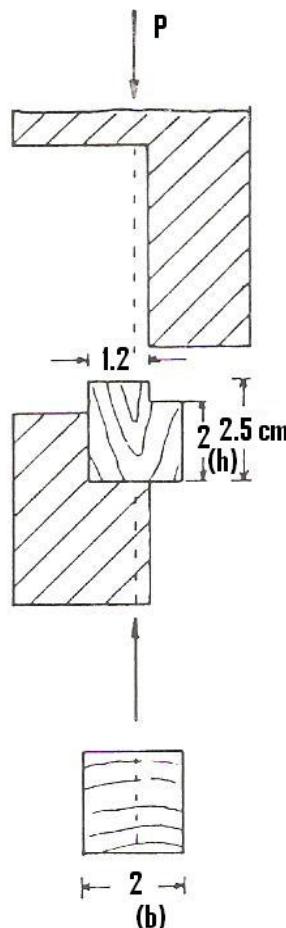


Figure 29 : Test de cisaillement

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

P : charge de rupture (Kg).

b : largeur de la section cisaillée (cm).

h : hauteur de la section cisaillée (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.

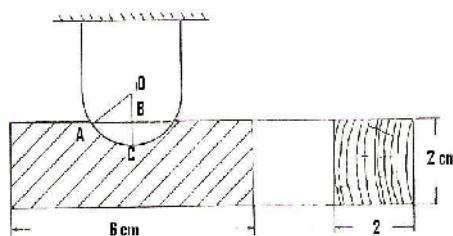


Figure 30 : Test de dureté

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 qualificaon , 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) | 0.92 | 0.70 | 0.90 | 0.50 | 0.48 | 0.56 | 0.66 | 0.43 |
| Retrait (%) | 11.12 | 15.39 | 9.97 | / | 18.66 | / | 12.02 | 10.21 |
| Flexion (Kg/cm ²) | 1083 | 747 | 880 | 841 | 924 | 1031 | 1571 | 577 |
| Compression (Kg/cm ²) | 495 | 397 | 400 | 398 | 396 | 382 | 415 | 338 |
| Traction (Kg/cm ²) | 44 | 29 | 39 | 18.16 | 12.30 | 18.40 | 26.25 | 15.85 |
| Fendage (Kg/cm ²) | 24.31 | 19.53 | 29.53 | 9.36 | 6.66 | 9.18 | 14.76 | 9.94 |
| Résilience (Kg/cm ²) | 0.59 | 0.39 | 0.93 | 0.64 | 0.33 | 0.26 | 0.27 | 0.17 |
| Cisaillement (Kg/cm ³) | 175 | 152 | 163 | / | / | / | 140 | 90 |
| Dureté N | 5.58 | 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 maritime . 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 révèlent de qualité supérieure aux autres espèces en résistance à la compression, en résistance à la flexion statique, en 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 PAPETERIE 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'aaques parasi taires. 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 cuison 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 à 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 :

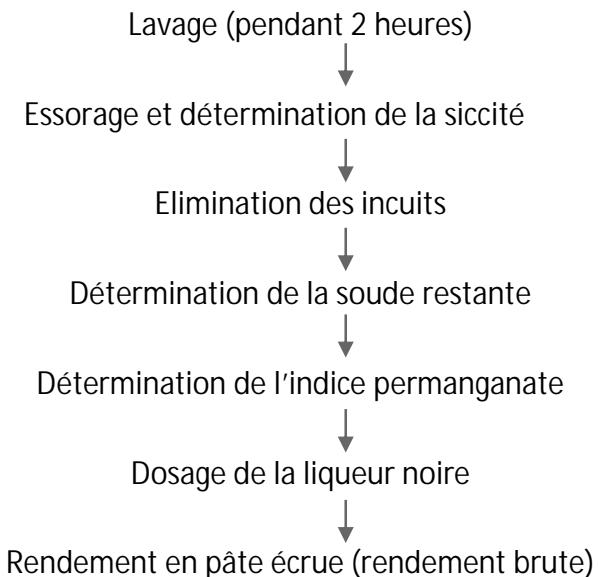


Figure 31 : Etapes d'obtention de la pâte écrue

Le tab. 48, présente les indices KMnO₄ obtenus pour chaque concentration en NaOH :

Tableau 48 : Variation de l'indice KMnO₄ 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 KMnO₄ 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 KMnO₄ 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 blanche, 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.

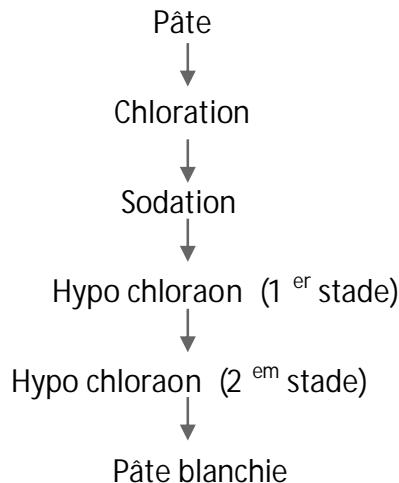


Figure 32 : Etapes d'obtention de la pâte blanche

Le tab. 50, présente le rendement net de la pâte blanche 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 engrassement de la fibre ; la liaison fibrille-eau remplace la liaison fibrille-fibrille (Martin, 1976). Celle-ci augmente la flexibilité de la fibre et des caractéristiques mécaniques qui lui sont liées. Le raffinage se produit en deux phases :

- Un préraffinage 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 |

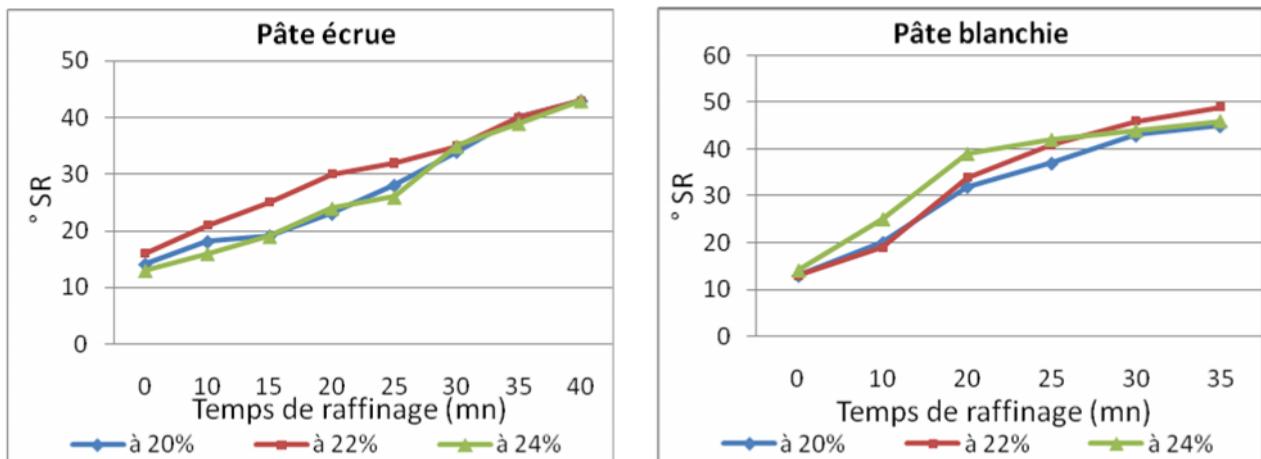


Figure 33 : Evolution du degré SHOPPER en fonction du temps de raffinage et de NaOH

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'engrasse 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 2% et de la pâte blanche 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 de formées de 20 mm de diamètre la formée obtenu est séchée par passage dans un séchoir à 140°C pendant 1h.

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

V.6 - PROPRIÉTÉS PHYSIQUES, MÉCANIQUES 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 il 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 formées 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 est 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/m²

Marn(1976) , qualifie le papier e 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 cm², 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/m²

V : volume d'air écoulé en cm³

S : surface d'essai =10 cm²

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 indicateurs 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 soit pas excessive, améliore l'absorption d'encre lors de l'impression

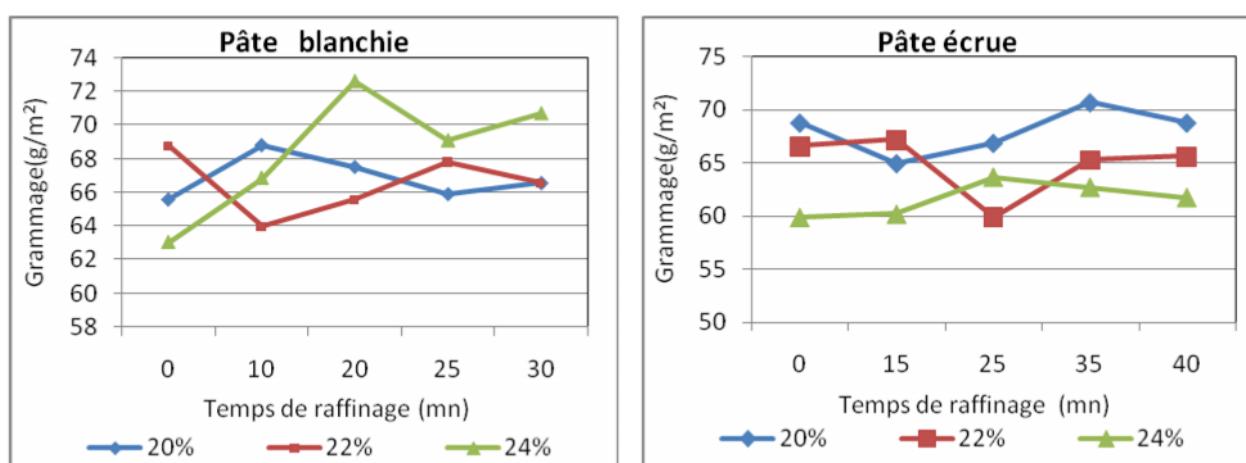


Figure 34 : Variation du grammage en fonction du temps de raffinage et de la soude

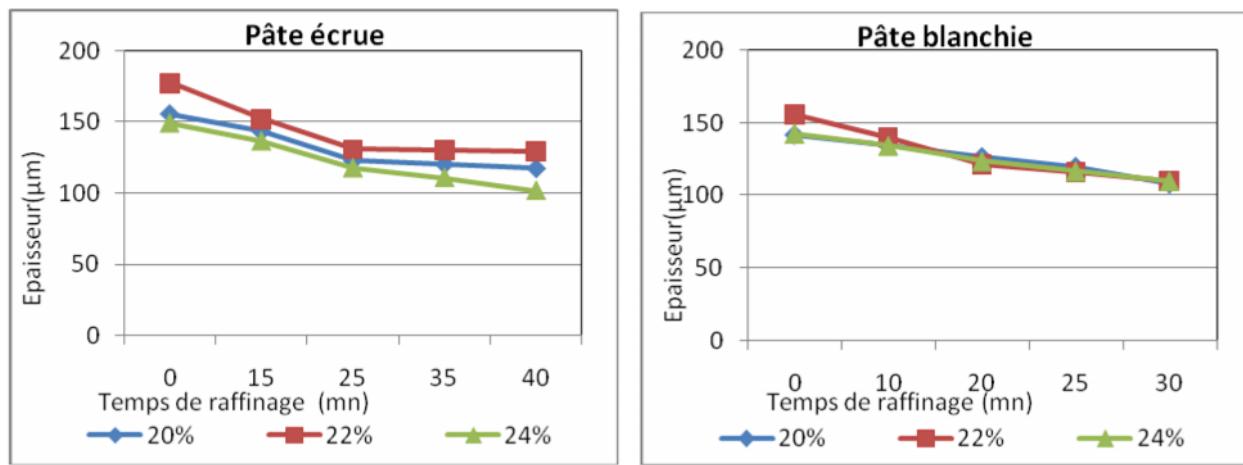


Figure 35 : Variation de l'épaisseur en fonction du temps de raffinage et de la soude

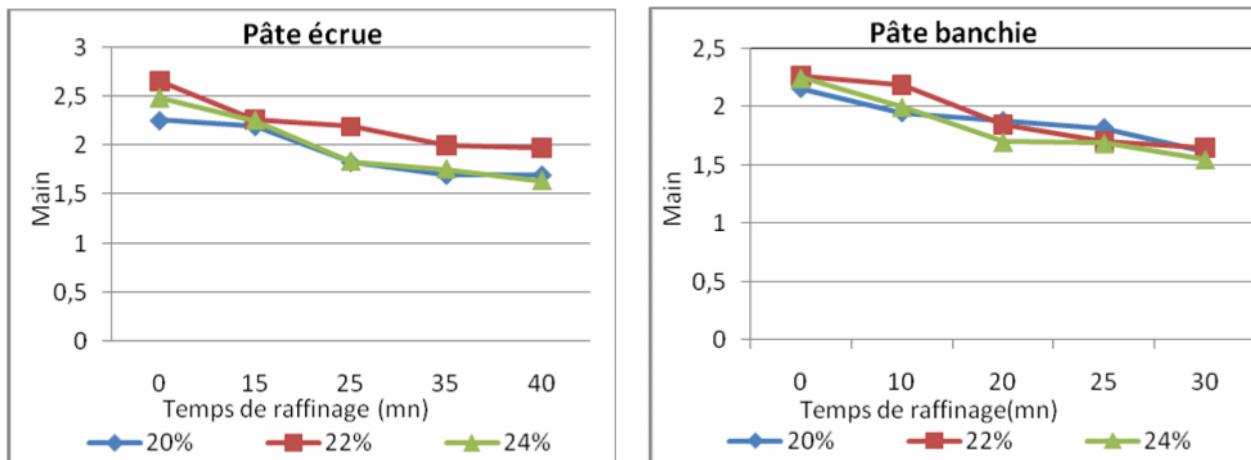


Figure 36 : Variation de la main en fonction du temps de raffinage et de la soude

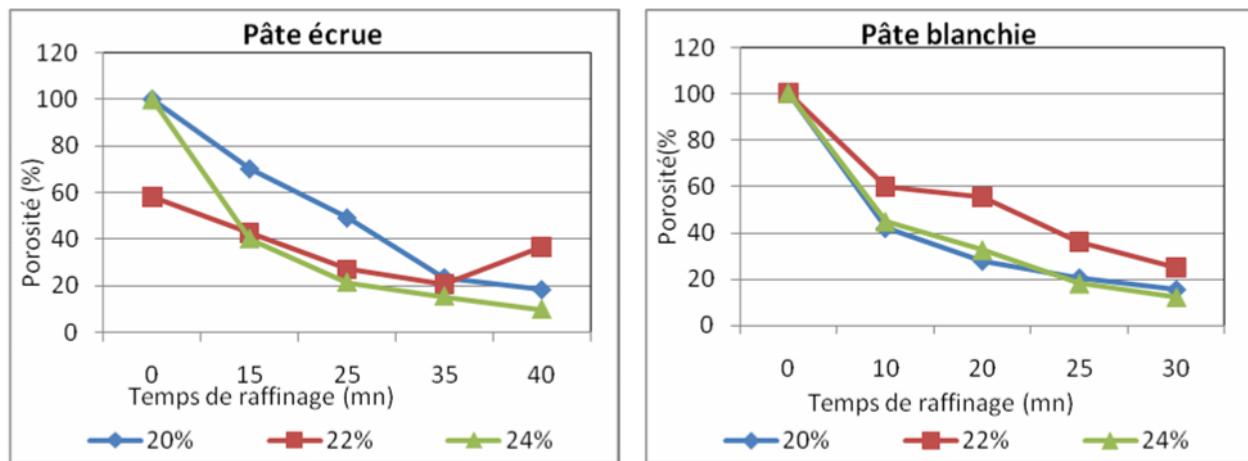


Figure 37 : Variation de la porosité en fonction du temps de raffinage et de la soude

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 soumises à une traction exercée sur chacune de ses extrémités jusqu'à rupture.

$$L_r = \frac{F}{G \cdot I \cdot 10^6}$$

L : longueur de rupture en mètre

G : grammage en g/m²

I : largeur de l'éprouvette = 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'est allongée une éprouvette de 15 mm de large pendant l'essai de traction.

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

Ae : allongement à la rupture en mm.

L : longueur de l'éprouvette (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.

$$Id = \frac{D}{G \cdot n} \cdot 16.100$$

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 interfibrillaires. 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 interfibrillaires 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 (billet 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.

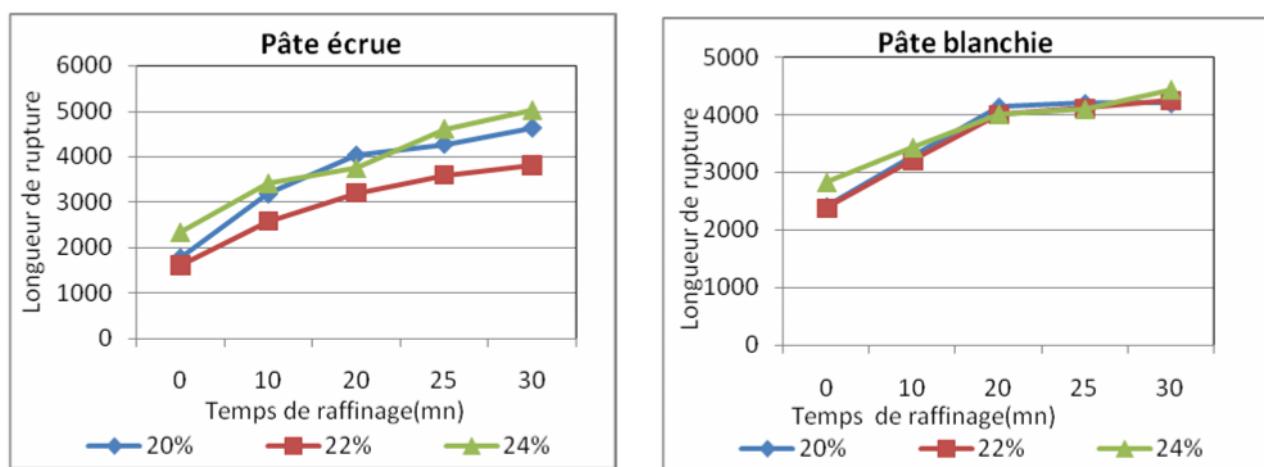


Figure 38 : Variation de la longueur de rupture en fonction du temps de raffinage et de la soude

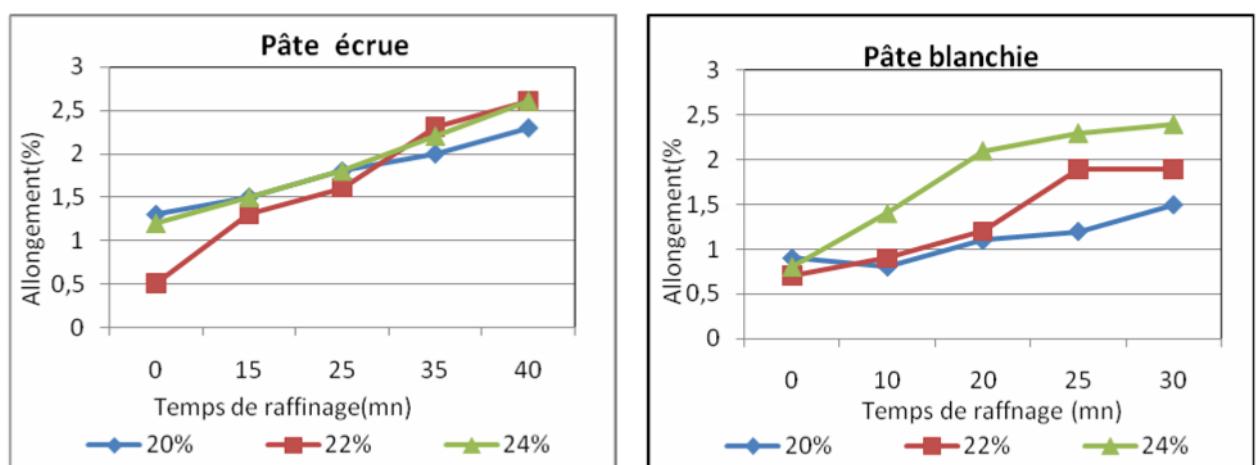


Figure 39: Variation de l'allongement en fonction du temps de raffinage et de la soude

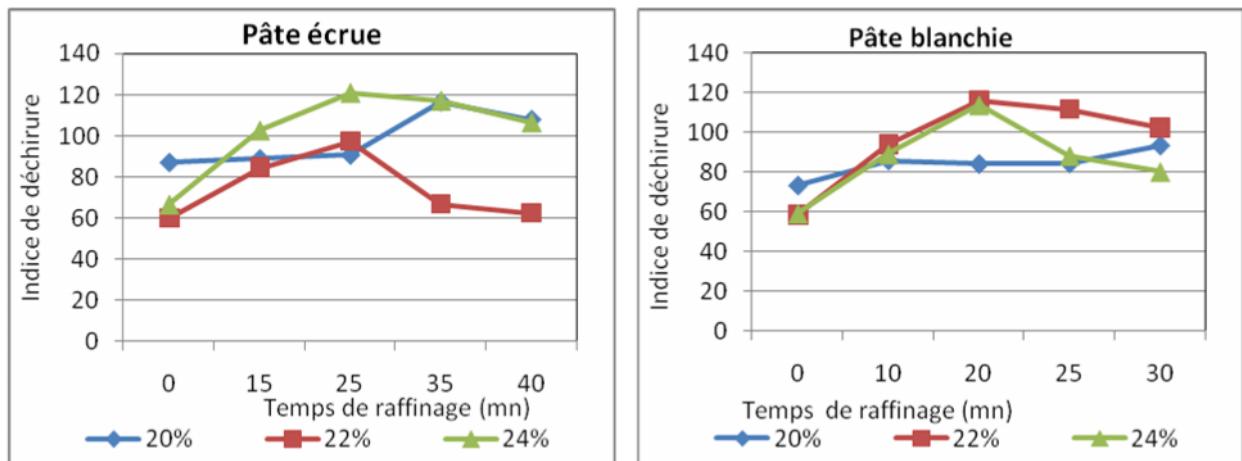


Figure 40 : Variation de l'indice de déchirure en fonction du temps de raffinage et de la soude

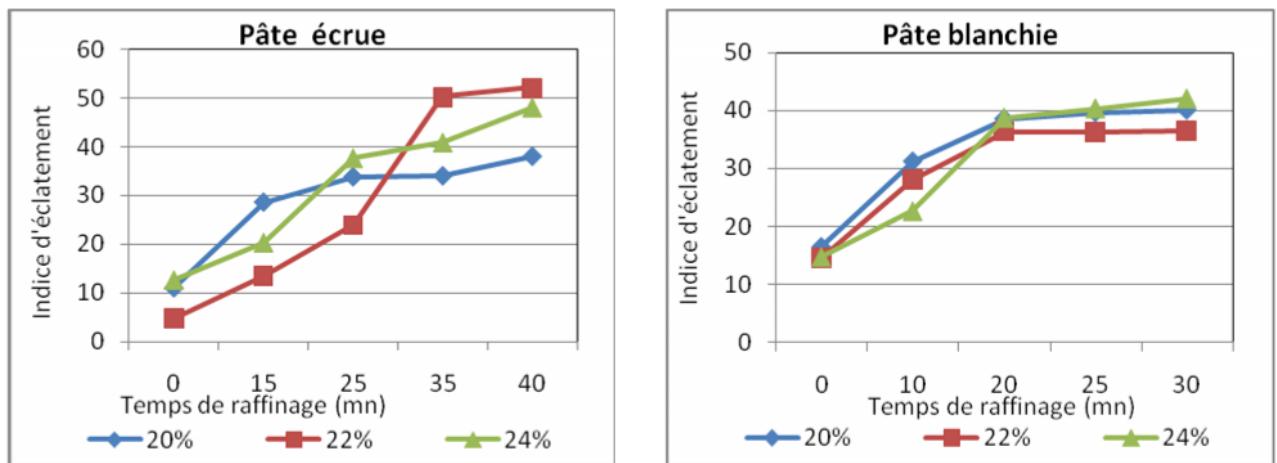


Figure 41 : Variation de l'indice d'éclatement en fonction du temps de raffinage et de la soude

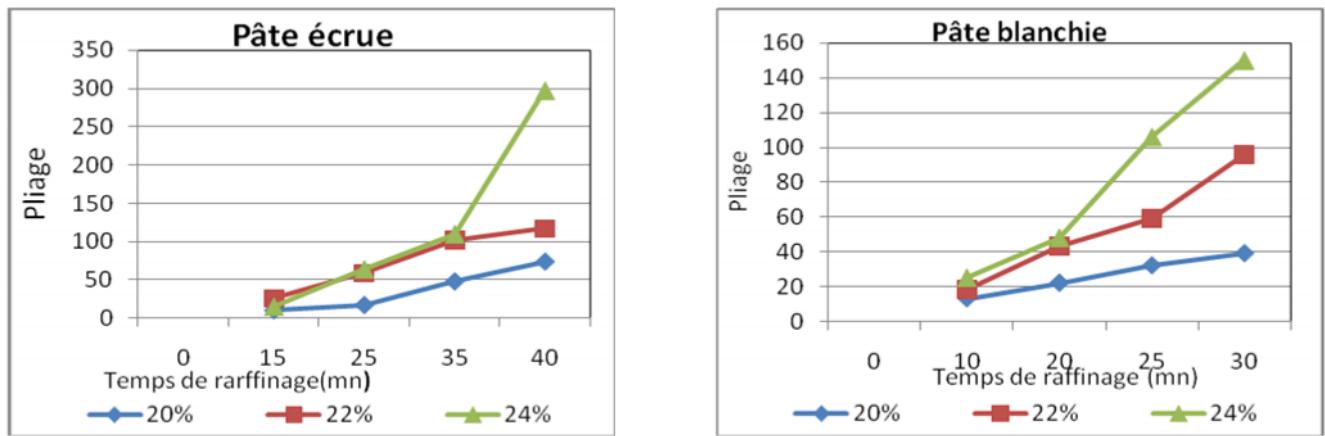


Figure 42 : Variation du pliage en fonction du temps de raffinage et de la soude

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 | | 91.5 |
| | 10 | | 91.2 |
| | 20 | 78.5 | 90,0 |
| | 25 | | 89,2 |
| | 30 | | 88,0 |
| 22% | 0 | | 94.2 |
| | 10 | | 93.7 |
| | 20 | 84.7 | 92.6 |
| | 25 | | 91.8 |
| | 30 | | 90.7 |
| 24% | 0 | | 87.1 |
| | 10 | | 86.4 |
| | 20 | 80.3 | 84.2 |
| | 25 | | 80.7 |
| | 30 | | 80.1 |

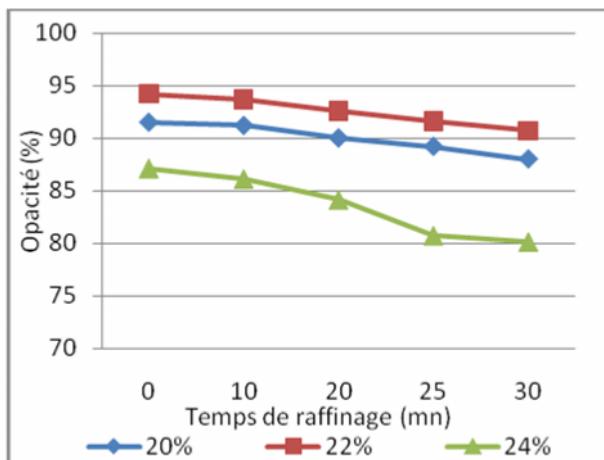


Figure 43: Variation de l'opacité en fonction du temps de raffinage et de la soude

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 papeers 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% | |
|------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| | écrue | blanchie | écrue | blanchie | écrue | blanchie |
| °SR | 40°SR | 40°SR | 40°SR | 40°SR | 40°SR | 40°SR |
| Temps de raffinage (mn) | 35mn 40 sec | 35 mn 20 sec | 35mn 20 sec | 24 mn 20sec | 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 écrue 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 :

$$I_{\text{papetier}} = \sqrt{E \cdot D} \frac{R_{\text{net}}}{I_{KMnO_4}}$$

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 propriétés | sulfate | soude |
|-----------------------|---------|-------|
| 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 Types de papiers | Longueur de rupture | Indice d'éclatement | Indice de déchirure |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 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 écru 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 NaOH 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 entre 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 c'est 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 apotrichéal à cellules isolées et dispersées, parfois disposées en chaînettes et le parenchyme paratrichéal 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« 135.31µm 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.

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 entre 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 phisyonomie 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 mm², 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 celles 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 NAOH 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 travai

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 Gérôme. 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 Merrain.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* ecosystèmes .Vegetao 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 condions éol ogiques. Feuille d'Algier au 1/100000000. CRBT. Algier. 4P
- BELLON, S., CABANES, B., DIMANCHE, N., GUERIN, G., MSIKA 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 Abbes.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 foresières. larose. Paris 525 p

CAILLIEZ , F., GUENEAU, P.1972. Analyse en composantes principales des propriétés technologiques des bois malgaches. Cahiers scientifiques . n° 2 CFT. M 1 gen.

CAMPREDON J., 1980. Le bois. Que sais-je ? Presses universitaire. 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 Zellwandfilz bei Laubholzen Mit. 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 cellulaires. Collage du papier.216p.

COLLARDET, J., BESSET,J. 1992. Bois commerciaux. Feuilles des zones tempérées. 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 immersés dans le barrage du tucurui au Brésil. Bois et forêts des tropiques n°274(4) : 45-56.

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

DAGET, P. 1977. Les bioclimats méditerranéens : caractères généraux, modes de caractérisation de la végétation. 34(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, phytocécologie 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.

DETINNE, 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. Conservaon. 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 maitrise 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 Inst ur t. Rei ñen Tech Hochsch RUBEL.Zurich.14 : 40-157.

FAHN ,A.1990. Plant anatomy. Fourth edion ïrgana n ïress. Q fñd 50p

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 mikrophotographischher. Tehratlas. Springer Verlag. Verlag.Berlin Heildeberg.New York.

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

HUBER, B. 1935. Die physiologsche Bedeutung der Ring- und zerstreutporigkeit. Berlmi,- Deutshe.Botanissche Geseischa. 53 : 711-719.

HUYNH, V. 1981. Anatomie du bois, technique de préparaon de coupes .III B. bruxel les. 16 p.

JANIN, G. 1983. Microrests papetiers- Micro cuisson- Micro classage- micro raffinage-mesure automaque de la longueur des fibres. Thèse de Doctorat d'état Es sciences. Genobl e 26p

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 feuillus).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 know or unused timber species.9th.commenwealth.conf.

KELLER, R. 1994. La construction du bois. Chapitre I de l'ouvrage « le bois materiaux d'ingenierie » ARBOLOR. Nancy.433p

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

LAFON J.P., THARAUD ,C., LEVY, G. 1988. Biologie des plantes cultvées, tome 1, organisaon, physiologie de la nutrion. lavoi si e, 28p.

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 les de producons. Les djeufs. OPU Al ger 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'Ales 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*). Heridity.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 précoce, 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 : proprietes 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.

PANSHIN, 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. Noce 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 rates of strain some effects of compression 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 forès n° 24 : 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. Einheimische Nutzholzer und ihre Bestimmung nach makroskopischen Merkmalen . Pareysstudentexte 44.160p. Verlag Paul Pareys.Hamburg 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^{ère} edion. 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 structureand ascentof sap. Springer serie in wood science. Springer. Verlag.139p

ZOBEL, B., SPRAGUE, J. 1998. Juvenile wood in forestrees. 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 |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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 |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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/cm²) | C/100.D | C/100.D² |
|-----|-----------|--------------|------------|------------|-------------|--------------|----------|
| 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/cm²) | 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

Tableau 16 : Variation du grammage en fonction du temps de raffinage et de la soude

| [NaOH] | Tps (min) | P A T E | | | | | B L E C H E | | | |
|--------|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------------|------|-------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | MOY | | 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 | | 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 |

| | 0 | 147.8 | 142.2 | 187.6 | 145.6 | 155.8 | 155.8 | 16.5 | 272.6 | 10.6 |
|--------|----|-------|-------|-------|---------|-------|---------|------|-------|------|
| 20 % | 0 | 121.3 | 135.6 | 148.0 | 140.6 | 171.5 | 143.4 | 16.5 | 273.6 | 11.5 |
| | 15 | 113.2 | 121.6 | 122.5 | 122.4 | 133.0 | 122.5 | 6.3 | 39.4 | 5.1 |
| [NaOH] | 25 | 119.8 | 120.2 | 132.6 | P A T E | 114.2 | C R U E | 6.1 | 36.7 | 5.0 |
| | 35 | 113.2 | 120.6 | 114.4 | 120.8 | 116.9 | M O Y | 3.2 | 9.5 | 2.6 |
| | 40 | | | | | | | | | |
| | 0 | 162.2 | 185.0 | 172.6 | 170.8 | 197.7 | 177.6 | 12.4 | 153.3 | 6.9 |
| 22 % | 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 |
| | 0 | 146.4 | 155.7 | 14.2 | 153.0 | 119.3 | 149.3 | 4.76 | 22.6 | 3.2 |
| 24 % | 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

Tableau 19: 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 | 2.8 |
| | 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 | 10.8.8 | 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

| | 0 | 2.12 | 2.03 | 2.90 | 2.12 | 2.17 | 2.26 | 0.32 | 0.10 | 14.1 |
|--------|-----------|------|------|------|---------|------|-----------|------|-------|------|
| 20 % | 0 | 2.11 | 1.97 | 2.21 | 2.08 | 2.66 | 2.20 | 0.24 | 0.05 | 10.9 |
| | 15 | 1.74 | 175 | 1.83 | 2.04 | 1.81 | 1.83 | 0.10 | 0.01 | 5.4 |
| | 25 | 1.72 | 1.75 | 1.78 | 1.55 | 1.67 | 1.70 | 0.18 | 0.006 | 4.7 |
| | 35 | 1.60 | 1.91 | 1.67 | P A T E | 1.61 | E C R U E | 0.11 | 0.01 | 6.4 |
| [NaOH] | Tps (min) | 2.47 | 2.67 | 2.58 | 2.42 | 2.38 | MOY | 0.13 | 0.02 | 5.75 |
| 22 % | 0 | 2.19 | 2.26 | 5.28 | 2.28 | 2.30 | 2.26 | 0.04 | 0.001 | 1.77 |
| | 15 | 1.93 | 3.01 | 2.16 | 2.00 | 1.90 | 2.19 | 0.41 | 0.17 | 18.7 |
| | 25 | 1.89 | 2.16 | 2.12 | 1.89 | 1.95 | 2.00 | 0.11 | 0.01 | 5.5 |
| | 35 | 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 | 7.2 |
| | 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 >100 | 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 |
| | 20 | 25.6 | 29.8 | 30.1 | 27.4 | 26.5 | 27.9 | 1.8 | 3.2 |
| | 25 | 18.9 | 23.0 | 18.1 | 21.4 | 21.6 | 20.6 | 1.8 | 3.3 |
| | 30 | 13.3 | 16.7 | 16.9 | 17.1 | 14.3 | 15.6 | 1.5 | 9.9 |
| 22 % | 0 | / | / | / | / | / | >100 | / | / |
| | 10 | 58.7 | 63.3 | 61.4 | 59.3 | 58.3 | 60.2 | 1.9 | 3.5 |
| | 20 | 58.3 | 50.2 | 53.4 | 56.7 | 60.4 | 55.8 | 3.6 | 1.2 |
| | 25 | 38.0 | 36.3 | 37.4 | 34.8 | 35.5 | 36.4 | 1.2 | 1.4 |
| | 30 | 22.6 | 27.1 | 24.8 | 26.6 | 24.9 | 25.2 | 1.6 | 2.5 |
| 24 % | 0 | / | / | / | / | / | >100 | / | / |
| | 10 | 47.3 | 45.8 | 47.2 | 42.9 | 41.8 | 45.0 | 2.2 | 5.1 |
| | 20 | 34.6 | 30.4 | 29.8 | 36.2 | 32.5 | 32.7 | 2.4 | 5.9 |
| | 25 | 16.1 | 18.7 | 17.6 | 20.6 | 18.5 | 18.3 | 1.5 | 2.1 |
| | 30 | 13.6 | 12.4 | 10.7 | 14.7 | 10.6 | 12.4 | 1.6 | 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 |
| [NaOH] 20 % | 15 | 3299.2 | 3256.8 | 2975.7 | P A T E | 3094.5 | 3289.8 | 3183.2 | 127.4 | 16225 |
| | 25 | 4060.4 | 4155.6 | 3969.8 | | 4150.4 | 3535.0 | 4032.2 | 121.7 | 14825 |
| | 35 | 4343.6 | 4404.9 | 4387.6 | | 4245.0 | 4000.5 | 4276.3 | 148.7 | 22102 |
| | 40 | 4484.7 | 4601.7 | 4645.5 | | 4725.5 | 4738.5 | 4632.0 | 104.6 | 10951 |
| | 0 | 1621.1 | 1628.4 | 1566.9 | | 1754.6 | 1509.7 | 1616.2 | 81.3 | 5619 |
| 22 % | 15 | 2496.6 | 2642.6 | 2644.2 | | 2729.9 | 2424.8 | 2587.6 | 110.7 | 6535 |
| | 25 | 3286.9 | 3237.2 | 3246.5 | | 3015.9 | 3246.3 | 3206.6 | 96.8 | 16330 |
| | 35 | 3653.4 | 3721.8 | 3543.1 | | 3432.5 | 3660.2 | 3602.2 | 102.5 | 14130 |
| | 40 | 3957.5 | 4025.3 | 3600.4 | | 3876.5 | 3631.7 | 3818.3 | 171.9 | 3723 |
| | 0 | 2245.9 | 2333.3 | 2287.4 | | 2387.4 | 2463.3 | 2341.1 | 74.9 | 5619 |
| 24 % | 15 | 3440.2 | 3485.7 | 3490.3 | | 3298.4 | 3325.4 | 3408.0 | 80.8 | 6535 |
| | 25 | 3721.4 | 3750.7 | 3926.1 | | 3851.8 | 3554.8 | 3740.9 | 127.8 | 16330 |
| | 35 | 3514.3 | 4781.4 | 4703.6 | | 4488.4 | 4515.1 | 4600.6 | 118.9 | 14130 |
| | 40 | 4937.4 | 5085.7 | 5022.1 | | 5062.7 | 4941.4 | 5009.8 | 61.0 | 3723 |
| | 0 | | | | | | | | | |

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 | | | | | | | | V | CV |
|--------|--------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | MOY | | | | |
| 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

| | 0 | 1.1 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 0.12 | 0.014 | 5.21 |
|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|------|
| 20 % | 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 |
| Tps | 35 | 2.3 | 1.8 | 1.9 | 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 % | T_{PS} | 89.0 | 92.0 | 89.2 A | T 92.2 | 90.6 R | U 150 | 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 |
| | 0 | 71.9 | 74.6 | 74.7 | 71.6 | 73.2 | 1.45 | 2.10 | 1.98 |
| 20 % | 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 | 9.18 |
| | 15 | 27.8 | 26.9 | 29.3 | 30.4 | 28.6 | 1.34 | 4.68 |
| | 25 | 35.8 | 34.9 | 31.7 | 32.8 | 33.8 | 1.62 | 4.79 |
| | 35 | 33.6 | 34.8 | 32.6 | 35.0 | 34.0 | 0.96. | 2.82 |
| | Tps [min] | 316 | 229 | 634 | 643 | 458 | MOY | CV |
| 22 % | 15 | 16.2 | 11.6 | 12.7 | 13.5 | 13.5 | 1.69 | 2.85 |
| | 25 | 25.2 | 26.3 | 21.3 | 23.2 | 24.0 | 1.91 | 3.64 |
| | 35 | 47.7 | 50.4 | 51.6 | 51.1 | 50.2 | 1.50 | 2.25 |
| | 40 | 51.8 | 53.6 | 51.1 | 51.9 | 52.1 | 0.91 | 1.74 |
| | 0 | 9.4 | 14.9 | 13.6 | 12.5 | 12.6 | 2.03 | 16.1 |
| 24 % | 15 | 22.1 | 18.7 | 19.9 | 20.5 | 20.3 | 1.22 | 6.0 |
| | 25 | 35.4 | 39.0 | 36.7 | 39.3 | 37.6 | 1.62 | 4.30 |
| | 35 | 38.8 | 40.7 | 39.4 | 44.3 | 40.8 | 2.13 | 5.22 |
| | 40 | 40.7 | 50.3 | 49.3 | 44.7 | 48.0 | 2.11 | 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 | 14.2 |
| | 10 | 33.8 | 29.7 | 30.9 | 30.8 | 31.3 | 1.51 | 4.82 |
| | 20 | 38.9 | 37.8 | 39.4 | 38.3 | 38.6 | 0.6 | 1.55 |
| | 25 | 37.4 | 42.4 | 41.4 | 37.9 | 39.7 | 4.41 | 5.28 |
| | 30 | 38.8 | 42.4 | 40.1 | 39.3 | 40.1 | 1.87 | 3.41 |
| 22 % | 0 | 12.7 | 16.6 | 15.3 | 13.8 | 14.6 | 2.16 | 10.1 |
| | 10 | 26.3 | 29.3 | 28.6 | 28.2 | 28.1 | 1.23 | 3.95 |
| | 20 | 36.6 | 33.4 | 39.7 | 35.9 | 36.4 | 5.01 | 6.15 |
| | 25 | 32.4 | 35.5 | 36.7 | 40.5 | 36.3 | 8.41 | 7.98 |
| | 30 | 37.7 | 33.3 | 36.5 | 38.9 | 36.6 | 4.32 | 5.68 |
| 24 % | 0 | 12.7 | 15.6 | 15.3 | 15.6 | 14.8 | 1.46 | 8.17 |
| | 10 | 22.8 | 20.7 | 24.0 | 23.3 | 22.7 | 1.51 | 5.41 |
| | 20 | 36.4 | 38.4 | 39.9 | 40.5 | 38.8 | 2.49 | 4.07 |
| | 25 | 39.2 | 43.2 | 40.8 | 38.4 | 40.4 | 3.34 | 4.52 |
| | 30 | 41.6 | 39.7 | 43.6 | 43.5 | 42.1 | 2.52 | 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 |