

Doc. 634.98.04

14.09.10

INSCRI. N°	4408
Date de	
Code	14-09-10

No. P. n

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen
Faculté des Sciences de la Nature, de la Vie,
et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences Agronomiques et des Forêts

THESE

Présentée à l'effet d'obtenir

Le Grade de Docteur d'Etat es-science

Par

BOUKLI HACENE Mohamed El Kamal Mourad

Sujet :

Micro cuissons – Macro cuissons papetières – Etude préliminaire sur les bois d'essences algériennes (chêne vert, peuplier Blanc et Noir, Pin d'Alep, Pin Maritime Genévrier de phœnicie). Echantillons de bois prélevés à la Tarière de Pressler ou sous forme parallélépipédiques. Variabilité des rendements en fibres caractéristiques morphologiques et biométriques de ces fibres en fonction de l'âge. Optimisation du procédé de pâte obtenu et caractéristiques des papiers.

SOUTENUE LE : 13 juillet 2010

DEVANT LE JURY:

Mr. BENSALAH. M	Président	Pr. U.A.B.T
Mr. LETREUCH BELAROUCL. N	Directeur de thèse	Pr. U.A.B.T
Mr. LACHENAL. D	Co-directeur	Pr. I.N.P Grenoble Directeur E.F.P.G
Mr. BENHABIB. A	Examineur	Pr. U.A.B.T
Mr. BENABDELLI. K	Examineur	Pr. C.U. Mascara
Mr. MAATOUG. M	Examineur	M.C. C.U. Tiaret

Volume I

Année Universitaire : 2009 – 2010

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen
Faculté des Sciences de la Nature, de la Vie,
et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences Agronomiques et des Forêts

THESE

Présentée à l'effet d'obtenir

Le Grade de Docteur d'Etat es-science

Par

BOUKLI HACENE Mohamed El Kamal Mourad

Sujet :

Micro cuissons – Macro cuissons papetières – Etude préliminaire sur les bois d'essences algériennes (chêne vert, peuplier Blanc et Noir, Pin d'Alep, Pin Maritime Génévrier de phœnicie). Echantillons de bois prélevés à la Tarière de Pressler ou sous forme parallélépipédiques. Variabilité des rendements en fibres caractéristiques morphologiques et biométriques de ces fibres en fonction de l'âge. Optimisation du procédé de pâte obtenu et caractéristiques des papiers.

SOUTENUE LE : 13 juillet 2010

DEVANT LE JURY:

Mr. BENSALAH. M	Président	Pr.	U.A.B.T
Mr. LETREUCH BELAROUCI. N	Directeur de thèse	Pr.	U.A.B.T
Mr. LACHENAL. D	Co-directeur	Pr.	I.N.P Grenoble Directeur E.F.P.G
Mr. BENHABIB. A	Examineur	Pr.	U.A.B.T
Mr. BENABDELLI. K	Examineur	Pr.	C.U. Mascara
Mr. MAATOUG. M	Examineur	M.C.	C.U. Tiaret

Volume I

Année Universitaire : 2009 – 2010

A mon épouse, Malika
A mes enfants et petits enfants,

Meriem

Salim

Dounia

Abderrahim

Mourad

A yasmine

A tous mes Amis.....

C'est grâce à Monsieur le Professeur Letreuch- Belarouci, Directeur du laboratoire de recherche de sylviculture sur la qualité du bois, que la voie s'est ouverte pour moi à l'effet de l'étude des qualités des bois à partir de carottes de sondage, c'est-à-dire sans abattage des arbres expérimentés, que j'ai pu mener mes recherches.

C'est grâce à son enseignement, que j'ai découvert ce que peuvent apporter, à qui sait les exploiter les méthodes et les traitements sylvicoles. Il a suivi mon travail pas à pas, quelle que soit les périodes ou je l'ai sollicité, il a toujours été disponible pour moi, me faisant bénéficier de sa grande compétence et de ses conseils. Très patient à mon endroit, il a trouvé à chaque fois ce qu'il fallait dire pour me redonner confiance dans la suite de mes travaux.

Dans son laboratoire il m'a constamment fourni les moyens de travailler sur mon sujet de thèse, y ajoutant ses conseils toujours judicieux.

En acceptant la charge de rapporteur sur mon travail et de participer à ce jury, il me donne une nouvelle marque de sollicitude et ajoute une raison supplémentaire de lui exprimer mes sentiments dévoués.

Je suis sûr que sans l'aide et le concours de l'école française de papeterie, institut National polytechnique de Grenoble et à sa tête monsieur le professeur Dominique Lachenal directeur de l'école, et codirecteur de thèse, qui m'a facilité l'accès dans les laboratoires afin de réaliser mes cuissons sur les bois algériens, les essais physico mécaniques des papiers obtenus et l'analyse biométrique avec l'appareil le P.Q.M (1000) du centre technique du papier, mon travail ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui ce que j'ai appris à son contact m'a été très précieux, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je prie monsieur le professeur Bensalah directeur de laboratoire de recherche N° 25 à l'université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, faculté des sciences, d'accepter mes très vifs remerciements. Malgré ses nombreux engagements, il a accepté et me fait l'honneur de présider ce jury de thèse après m'avoir fait profiter de sa compétence.

Monsieur le professeur Benhabib de la faculté d'économie, m'a souvent ouvert son laboratoire dans lequel j'ai toujours trouvé une aide et une collaboration efficace.

Tout en lui exprimant ma gratitude pour avoir accepté de participer à ce jury et d'avoir rapporté sur mon travail, je le prie de bien vouloir agréer l'hommage de ma respectueuse reconnaissance et de mes sentiments dévoués.

Monsieur le professeur Benabdelli du centre universitaire de Mascara à fréquemment manifesté de l'intérêt pour mes travaux sur le bois, en participant à ce jury, il m'apporte un encouragement supplémentaire auquel je suis sensible. Je lui exprime ici toute ma gratitude.

Je remercie Monsieur Maatoug, maître de conférence du centre universitaire de Tiaret, pour avoir accepté de participer à ce jury, qu'il soit assuré de mes sentiments cordiaux.

Je ne saurais oublier dans mes remerciements l'ensemble du personnel de l'école Française de papeterie à Grenoble, ce que j'ai appris à leur contact dans des spécialités différentes, leur amitié et leur aide m'ont été précieux, qu'ils soient assurés de mes sentiments dévoués.

Je ne pourrai oublier mes collègues : Kaïd Slimane Lotfi, Messieurs Kazi-Tani Choukry et Mustafa, Messieurs Amrani, El Haïtoun, Bouanani, Ghezlaoui, Tefiani, Azzi et Melle Felidj Menel, qu'ils soient assurés de mes sentiments cordiaux.

Enfin c'est pour moi un agréable devoir de dire tout simplement Merci à tous ce qui directement ou indirectement et à des titres divers, m'ont apporté une aide toujours précieuse, entre autres Monsieur Kazi-Tani Omar professeur en retraite à qui j'exprime toute ma reconnaissance.

Résumé de thèse :

**Micro-cuissons – Macro-cuissons – Raffinage –
Mesure automatique de la longueur des fibres – Essais
physico mécaniques des papiers.**

Il était nécessaire de mettre en œuvre des micro-cuissons papetières pour les recherches forestières afin de permettre l'évaluation des propriétés papetières individuelles des arbres.

L'étude de la qualité des arbres sur pied, pris individuellement, s'effectue sur des échantillons de bois, les carottes de sondage, prélevées radialement dans le tronc des arbres, dont le poids varie de 1 à 6 grammes et plus.

Les travaux de Polge (1967) ont ouvert la voie aux études sur les carottes de sondage avec la mise au point d'une méthode d'analyse par radiographie aux rayons X qui fournit la densité du bois et ses variations fines, la structure et la longueur des accroissements annuels, puis une méthode de mesure des variations dimensionnelles qui donne la rétractibilité du bois et enfin des moyens d'investigation des caractéristiques mécaniques du bois. Ces méthodes sont non destructives pour les carottes de sondage qui constituent elles-mêmes un mode d'échantillonnage nouveau non destructif pour l'arbre étudié.

Nous avons appliqué à ces échantillons les techniques papetières et pour tester ce matériel végétal nouveau pour nous, il fallait employer des méthodes : les micro-cuissons papetières.

Les micro-cuissons papetières sont des méthodes adaptées aux besoins des recherches forestières. Des travaux de micro- défilage avaient été effectués par CHIAVERINA en (1966) à l'aide de Bombes de WURSCHMIDT. Ne disposant pas de ce matériel nous avons utilisé des méthodes dérivées qui ont constituées l'origine de nos travaux.

Ils comprennent dans notre travail les micro-cuissons pour déterminer rapidement les rendements en pâte (fibres) avec précision et la mesure directe ou automatique des longueurs de fibres (histogrammes) des pâtes étudiées en laboratoire ou dans l'industrie papetière.

Pour les micro- cuissons elles comprennent le raffinage des pâtes pour développer les propriétés mécaniques potentielles des fibres et donc les caractéristiques physico mécaniques des papiers.

Les résultats obtenus à l'aide de ces diverses méthodes sont les suivants :

Micro-cuissons :

Elles offrent la possibilité de traiter un grand nombre d'échantillons et de répéter ces mesures pour s'assurer de la valeur statistique des résultats. On peut aussi suivre la cinétique des réactions de défilification et tester de nouvelles conditions de cuisson.

Elles permettent de connaître les sources de variation du rendement en fibres à l'intérieur de l'arbre : hauteur dans l'arbre, nature du bois juvénile ou adulte, bois de réaction compression (résineux) ou tension (feuillus).

L'étude de la variabilité du rendement entre genres, entre espèces d'un même genre, peut conduire à des choix d'espèces meilleures du point de vue du rendement en liaison avec leur facilité de blanchiment.

Raffinage :

Nous avons utilisé pour le raffinage des fibres la pile hollandaise Valley qui donne satisfaction avec une souplesse suffisante pour se rapprocher des valeurs des résistances mécaniques des papiers produits sur machine à papier industrielle.

L'aspect particulier du comportement des fibres dans la période initiale de raffinage (existence transitoire après quelques minutes de raffinage d'un point d'écoulement singulier qui est lié à l'évolution de la longueur moyenne des fibres. En effet le raffinage d'une pâte consiste en une action mécanique sur les fibres cellulosiques en présence. Dans ces conditions il se produit des modifications morphologiques et physico-chimiques des fibres. Ainsi les fibres en suspension dans l'eau deviennent plus souples subissent des coupes, se fibrilles et laissent éclater des morceaux de parois, appelés fines qui se retrouvent en suspension dans l'eau.

Ces modifications des parois des fibres traduisent un effet de raffinage et se mesurent sur la pâte à l'aide d'indices variés comme le Schopper Riegler ou degré ($^{\circ}$ SR) et sur les papiers à l'aide de caractéristiques mécaniques : longueur de rupture sur une bande de papier éclatement ou résistance à la déchirure.

Le raffinage permettra de mieux définir les propriétés potentielles des pâtes à utiliser pour la fabrication du papier dans le domaine de la résistance à la déchirure, en liaison avec la longueur des fibres des pâtes étudiées en macro--cuissons.

Mesure direct et automatique des longueurs de fibres :

Il est nécessaire de connaître la répartition des longueurs de fibres d'une pâte papetière et son évolution éventuellement au cours des traitements pour améliorer les procédés de fabrication des papiers mais la mesure directe de ces longueurs est fastidieuse, lente et pour ces raisons, le nombre des échantillons étudiés et des fibres mesurées est limité.

Nous avons utilisé aussi la méthode de mesure automatique des longueurs de fibres qui repose sur un procédé optique et électronique. Avec l'appareil le (P.Q.M 1000) du centre technique du papier de Grenoble, nous pouvons mesurer plus de 4000 fibres par minute sur un échantillon de fibres rapidement renouvelable.

Les progrès réalisés dans le domaine de la mesure des fibres résident dans la rapidité de la mesure et dans la possibilité d'effectuer un grand nombre de mesures sur chaque échantillon.

Les domaines concernés par cette méthode plus ou moins récente sont d'une part la recherche forestière pour lesquelles nous avons montré la variabilité de longueur de fibres en fonction de l'âge, des espèces du même genre (peupliers), des genres, et des divers bois de réaction : compression (résineux) et tension (feuillues) par opposition au bois normal de chaque groupe, nous avons aussi mis dans un index de qualité les différents bois étudiés, basés sur des indices papetiers tels que l'indice de feutrage, l'indice de souplesse et le coefficient de Runckel, et d'autre part nous avons optimisé le procédé de délignification de pâte obtenue ainsi que les caractéristiques physico mécaniques des papiers.

TABLE DES MATIERES

Volume I

Introduction Générale	02
Chapitre I : <i>Situation économique des pâtes cellulosiques et du papier en Algérie</i>	08
I. Introduction	08
I.1 Etat du secteur des forêts	08
I.1.1 Coup d'œil sur l'économie forestière mondiale	08
I.1.2 Situation de l'économie forestière Algérienne	13
I.1.2.1 Consistance et caractéristiques de la forêt en Algérie	14
I.1.2.2 Volume sur pied et production :	18
I.1.2.3 Le bois	18
I.1.2.4 L'alfa	21
I.2 Production et importation des pâtes à papier en Algérie :	21
I.2.1 Origine des industries papetières Algériennes :	21
I.2.2 L'industrie de la cellulose :	25
I.2.2.1 Compétitivité et avantages des industries forestières :	25
I.2.2.2 Capacité de production installée depuis 1976.	26
I.3 Conclusion :	29
Chapitre II : <i>Caractéristiques biologiques et écologiques très succinctes des essences principales des bois utilisés</i>	33
II.1 Introduction	33
II.2 Le chêne vert (<i>Quercus ilex ssp rotundifolia L</i>)	33
II.2.1 Rappels botaniques	34
II.2.2 Air naturelle	35
II.2.3.1 Etage de végétation	35
II.2.3.2 Climat	35
II.2.3.3 Sol	35
II.2.4 Sylviculture	35
II.2.5 Utilisation du bois	36
II.3 Les peupliers : (<i>Populus ssp</i>)	36
II.3.1 Rappels botaniques	37
II.3.1.1 Le peuplier blanc (<i>Populus alba vr hickeliana</i>)	37
II.3.1.2 Le peuplier noir (<i>Populus nigra cv. « Thevestina » Dode</i>)	37

II.3.2 Systématiques	37
II.3.3 Aire de répartition	38
II.3.4 Sylviculture	38
II.3.5 Utilisation du bois	40
Chapitre III : Etude de délignification de quelques bois algériens par le procédé à la soude et à la soude et au sulfure de sodium en vue d'une analyse biométrique des fibres et des essais physiques mécaniques des papiers obtenues	
III Micro- cuissons	42
III.1 Méthode de micro- cuissons	43
III.1.1 Introduction	43
III.1.2 Définition du rendement en pâte et variation de son expression	43
III.1.2.1 Rendement en pâte utilisé dans notre travail	43
III.1.2.2 Variation de l'expression du rendement en pâte liée à l'état du bois et des fibres	44
III.1.3 Choix du type de cuisson	44
III.1.4 Matériel et méthode	45
III.1.4.1 Micro-lessiveurs	46
III.1.4.2 Macro-lessiveurs	46
III.1.4.3 Mode opératoire	46
III.1.4.3.1 Préparation et conservation de la liqueur de cuisson	46
III.1.4.3.2 Distribution de la liqueur	49
III.1.5 Contrôle de la qualité des cuissons kraft	49
III.1.5.1 Définition de l'indice kappa	49
III.1.5.2 Les incuits	49
III.2 Matériel végétal- échantillonnage	50
III.2.1 Carottes de sondage	50
III.2.1.1 Aspects forestiers	50
III.2.1.2 Aspects papetiers	51
III.2.2 Echantillon parallélépipédique	52
III.3 Influence des paramètres de cuisson	52
III.3.1 Influence de la température de palier	52
III.3.2 Influence de la concentration initiale en alcali-effectif	52
III.3.3 influence du séchage du bois sur le rendement	54
III.4 Généralités sur la fabrication des pâtes	54

III.4.1 Composition chimique et structure de la fibre	55
III.4.1.1 Structure et composition chimique du bois	55
III.4.1.2 Nature chimique de la liqueur	57
III.5 Micro- cuissons à la soude	59
III.5.1 Matériel végétal	60
III.5.1.1 Origine	60
III.5.1.2 Réserve de chasse de Moutas	61
III.5.1.2.1 Climat et relief :	61
III.5.1.2.2 Le sol	61
III.5.1.3 La zone de Mansourah	61
III.5.1.3.1 Climat et relief	62
III.5.1.3.2 Le sol	62
III.5.1.4 La zone de Honaïne	62
III.5.1.4.1 Climat et relief	62
III.5.2 Importance des bois dans la wilaya de Tlemcen	62
III.5.3 Echantillonnage retenu	63
III.5.3.1 Humidité des bois étudiés	67
III.5.3.2 Résultats de l'humidité des bois étudiés	68
III.5.4 Délignification	70
III.5.4.1 Résultats de l'action de l'agent de lessivage sur les bois étudié (procédé à la soude à chaud)	71
III.5.4.2 Comparaison des variabilités observées	74
III.5.5 Particularités anatomiques	75
III.6 Propriétés et caractéristiques des fibres	80
III.6.1 Echantillonnage retenu	80
III.6.2 Technique de mesure utilisée	80
III.6.3 Résultats	82
III.6.4 Conclusion	105
III.7 Micro- cuissons- Macro- cuissons par le procédé kraft à la soude et au sulfure de sodium	108
III.7.1 Matériel et méthodes	108
III.7.1.1 Matériel végétal	108
III.7.1.2 Micro- cuissons papetières	109

III.7.1.3 Macro- cuissons papetières	109
III.7.1.4 Conditions expérimentales de cuisson	109
III.8 Caractérisation des pâtes	110
III.8.1 Rendement brut	110
III.8.2 Indice kappa	110
III.8.3 Morphologie des fibres	110
III.8.4 Masse linéique des fibres ou quantité de matière par unité de longueur mg/m	112
III.8.5 Indice de feutrage	112
III.8.6 Résistance intrinsèque des fibres ou longueur de rupture L_{Ro} à mâchoires jointives	112
III.9 Résultats et discussion	113
III.9.1 Etude de la délignification	113
III.9.2 Cuissons optimales	117
III.9.3 Caractéristiques morphologiques des pâtes et indices de qualité	119
III.9.3.1 Caractéristiques morphologiques	119
III.9.3.2 Longueur moyenne, largeur moyenne et masse linéique des fibres	121
III.9.3.2.1 Longueur moyenne et largeur moyenne	121
III.9.3.2.2 Masse linéique des fibres	122
III.10 Caractéristiques physico mécaniques des papiers kraft obtenus	125
III.10.1 Mesure de l'indice Schopper	126
III.10.2 Raffinage des pâtes de (chêne vert, peuplier blanc et peuplier noir) pâtes de feuillues au sulfate écru	127
III.10.3 Caractéristiques physico mécaniques des papiers fabriqués	131
III.10.3.1 Relation entre le coefficient de souplesse et l'indice de feutrage	134
III.10.3.2 Relation entre le temps de raffinage des pâtes à 47°SR et le coefficient de feutrage	134
III.10.3.3 Caractéristique physico-mécaniques des papiers	135
III.10.3.3.1 Propriétés de structure	135
III.10.3.3.2 Caractéristiques mécaniques	135
III.10.4 Conclusion	136
Chapitre IV : Quelques orientations de traitement et de mise en valeur des trois espèces étudiées	141
IV. 1 Quelques considérations	141
IV. 2 Problématique de la chênaie d'yeuse	142

IV. 2.1 L'expérience dans le massif de Hassasna	143
IV. 2.2 Les principaux résultats	144
IV. 2.3 Orientations et voies de recherche pour la mise en valeur des taillis de chêne vert	144
IV. 2.3.1 Amélioration du taillis de chêne vert	145
IV. 2.3.2 Introduction d'espèces	146
IV. 3 Les peupliers étudiés	148
IV. 3.1 Stratégies de conservation des ressources	149
IV. 3.2 Renforcer la recherche	150
IV. 3.2.1 Amélioration génétique	150
IV. 3.2.2 Sylviculture et voies de recherches	150
IV. 3.2.3 Valorisation du bois	150
IV. 3.2.4 Promouvoir la culture du peuplier	150
Conclusion générale	153
Références bibliographiques	158
Volume II : Les annexes	166

Introduction générale

Introduction générale

Grâce aux fibres cellulosiques qu'il contient, le bois est la matière principale de l'industrie papetière. Les recherches papetières ont toujours concerné davantage les fibres et leur technologie que les relations entre le bois et les fibres.

Dans le bois, les fibres sont élaborées par l'assise génératrice libéro- ligneuse de chaque arbre. Elles peuvent être améliorées, il est donc intéressant de faire porter l'effort des recherches forestières sur l'étude des bois destinés à l'industrie papetière.

Par ailleurs, l'approvisionnement en bois de l'industrie papetière d'une façon régulière, satisfaisante en quantité et en qualité doit se faire par :

- Un choix judicieux d'espèce et de sélection des provenances les mieux adaptées à la production de pâte à papier.
- L'application aux reboisements des traitements sylvicoles leurs permettant de développer leurs caractéristiques papetières.

Les propriétés souhaitables concernent, la morphologie des fibres et leur rendement après cuisson [CHIAVERINA, 1966 ; BARNEOU, 1980 ; JANIN, 1981 ; PETROFF et NORMAND, 1961]

Pour pouvoir classer les bois qui possèdent les propriétés les meilleurs du point de vue papetier, il faut disposer d'une méthodologie adaptée.

Les micro-cuissons papetières applicables à un échantillonnage issu de carotte de sondage prélevées dans des arbres vivants sur pied, en forêt qui répondent bien à cette préoccupation [POLGE et MILLIER, 1967].

Les micro-cuissons permettent la détermination du rendement en pâte et de ses sources de variation sur une petite quantité de bois (1 à 6 g).

La mesure automatique des longueurs de fibres individuelles (plus de 4000 fibres) et la répartition de leurs fréquences précisent et complètent les renseignements concernant les caractéristiques morphologiques des fibres ainsi que le taux de fines particules qui composent une pâte (JANIN et al, 1989).

Les résultats conduisent à une meilleure connaissance des propriétés biologiques du bois et la possibilité d'amélioration qualitative et quantitative des caractères technologiques papetières des espèces ligneuses.

Par ailleurs, le prélèvement des carottes de sondage n'affecte pas le développement des arbres de sorte qu'il est possible de continuer à étudier l'évolution de chacun d'eux au fil des ans, en fonction de l'environnement.

La méthode est un progrès considérable par rapport aux méthodes anciennes nécessitant l'abattage des arbres à expérimenter, d'où l'utilisation de lots importants d'arbres soumis aux mêmes conditions de traitement afin de conserver des conditions statistiques convenables jusqu'à la fin du cycle de recherche.

Grâce à la méthode CHIAVERINA (1966) POLGE et MILLIER (1967) de connaissance de l'arbre par l'utilisation de carotte de sondage, des perspectives intéressantes pour améliorer le secteur de l'économie nationale s'ouvrent à l'industrie cellulosique et papetière, largement déficitaire en matière première.

Ce travail s'articule autour de quatre chapitres ayant pour objectifs :

- Le premier chapitre étudie l'environnement économique des pâtes et du papier dans un contexte Algérien. En Algérie les procédés de mise en pâte chimique, par le lessiveur Pandia ou la technique CELDECOR- POMILIO permet d'étudier les différents aspects technico- économiques.
- En fait il s'agit plus de faire un état de la situation médiocre dû aux problèmes de :
 - Disponibilité de l'eau disponibilité de matière végétale pour l'alimentation des usines.
 - Des problèmes techniques (vétusté des équipements)
- Le deuxième chapitre traite des caractéristiques sur les plans biologiques et écologiques des essences de bois principalement utilisées dans notre travail.
La connaissance des végétaux utilisés est donc indispensable afin de leur appliquer un traitement papetier approprié, afin d'arriver sur le plan industriel à situer une usine de pâte et de la dimensionner, pour cela, il est nécessaire de tenir compte du facteur principal qui est la disponibilité de la matière première d'une manière régulière et continue, l'usine de cellulose fonctionnement 24 heures sur 24.
- Le troisième chapitre présente dans une première partie les travaux de micro- défibrages que nous avons effectués sur différentes essences feuillues et résineuses qui nous ont permis l'étude biométrique des éléments fibreux par la méthode directe qui implique l'observation microscopique des fibres pour les localiser et les mesurer à l'aide d'un micromètre oculaire.
- La méthode de mesure directe conduit à des opérations de mesures lentes, fastidieuses et limitées par le nombre des observations possibles. Les travaux de micro--défibrages ont été appliqués aux carottes de sondage par un traitement en cuisson à la soude à chaud à l'aide d'un matériel rudimentaire qui a constitué l'origine de nos travaux.

- Nous avons dans cette partie identifié les fibres par leurs caractéristiques morphologiques que sont la longueur, largeur, épaisseur des parois, épaisseurs de lumen et nous avons calculé des indices de qualité tels que : l'indice de souplesse, l'indice de feutrage et l'indice de Runckel qui nous ont permis d'identifier les feuillus des résineux : nous avons aussi étudié quelques défauts anatomiques du bois de réaction tel que le bois de tension chez les feuillus et le bois de compression chez les résineux.

Dans une deuxième partie, nous avons à partir des résultats obtenus ci-dessus, choisi les essences les plus importantes soit du point de vue économique et/ou par la surface forestière qu'ils occupent soit du point de vue qualitatif de leur fibre susceptible de donner des papiers de bonne qualité.

A ces bois, nous avons appliqué un traitement chimique identique par le procédé Kraft qui utilise la soude et le sulfure de sodium pour la délignification en faisant varier le temps de lessivage en palier de température.

Les cinétiques de délignification ont été étudiées pour les trois essences utilisées (*Quercus ilex ssp rotundifolia*, *Populus alba var hickeliana*, *Populus nigra*, cv « Thevestina » Dode) afin de connaître l'optimum du temps de délignification sachant que les autres paramètres : (l'alcali-effective, la température de palier et l'hydro module sont restés constants). Dans cette partie nous avons caractérisé les pâtes par leur rendement ainsi que par l'indice kappa.

Par la suite pour pouvoir fabriquer des papiers et pour étendre les applications des micro- cuissons à l'appréciation des rendements en pâte, dans des conditions de cuissons mettant en œuvre des quantités de matières premières importantes nous avons procédé à l'étude de macro- cuisson à partir de paramètres arrêtés en micro- cuisson particulièrement l'optimum du temps de cuisson en palier pour les trois espèces énumérées.

Les pâtes obtenues ont été caractérisées par le rendement, l'indice kappa, les caractéristiques des fibres et la masse linéique.

La troisième partie de ce chapitre relate la fabrication des papiers à partir de pâte de macro- cuisson, à qui nous avons fait subir des essais physico-mécaniques et tester les corrélations qui peuvent exister entre certaines caractéristiques physicomécaniques des papiers et les indices de qualité qui découlent des caractéristiques morphologiques des fibres. Dans cette partie nous avons aussi étudié quelques propriétés fondamentales : la distribution des longueurs de fibres, largeur, indice de feutrage, masse linéique en utilisant une méthode automatique de mesure des caractéristiques biométrique des fibres.

Dans le quatrième chapitre, nous faisons ressortir quelques propositions et quelques orientations de traitement et de mise en valeur des trois espèces étudiées.

En effet, l'industrie de celluloses et papiers ainsi que celle de la trituration et de panneaux de particules, se contentent des bois de petits diamètres. On peut donc parfaitement envisager d'alimenter des usines de cellulose algériennes avec des tiges ayant quelques années d'âge 10-12 ans dans le cas des peupliers car ces essences sont suffisamment productrices pendant les premières années et 20 à 25 ans dans le cas du chêne vert qui lui nécessite une attention particulière dans les traitements sylvicoles et la conduite des peuplements afin d'arriver à une meilleure productivité.

Les trois espèces rejettent de souche et se propagent de façon simple et ont une croissance rapide comme les peupliers et peuvent servir de matière première mise à la disposition de l'industrie cellulosique un peu comme un produit agricole dont la culture doit être programmée.

La forêt méditerranéenne est constituée de nombreuses espèces d'importance économique très variable.

La production moyenne biologique est de 1.5 à 2 m³/ha/an dans les conditions des meilleurs bois Algériens.

Traditionnellement, le bois est récolté pour des forêts de production ou des reboisements industriels pour les usines de cellulose avec une rotation de 10 à 25 ans ou selon d'autres périodicités en fonction des possibilités des stations, le bois provenant du matorral méditerranéen particulièrement le chêne vert (*Quercus ilex* ssp. *rotundifolia*) est destiné au bois de feu, sans que l'on se préoccupe de lui trouver des alternatives plus valorisantes.

Le but de ces travaux reste une tentative de valorisation des espèces méditerranéennes par la production de pâte à papier présentée comme une alternative possible aux usages actuellement en vigueur : emploi comme bois de feu, fabrication de charbonnette ou de manchons d'outils.

La possibilité de transformer les espèces les plus économiques par la surface qu'ils occupent ou par la croissance rapide qu'ils peuvent avoir en pâte à papier, en les considérant comme une matière première principale, n'avait jamais été envisagée jusqu'à ce jour à notre connaissance et elle intéresse tout particulièrement l'Algérie dont les différentes espèces n'ont pas encore été testées et qui pourtant mériteraient de l'être.

Et enfin, une conclusion générale qui vient corroborer nos résultats et les quelques propositions modestes que nous étalons dans le cadre d'une orientation et d'une mise en valeur intégrée "Forêt- cellulose".

L'Algérie est donc condamnée à trouver les ressources forestières nécessaires pour alimenter une industrie moribonde du bois de pâte à papier et des panneaux de fibres, par ailleurs elle doit produire une bonne part du bois d'œuvre dont elle a besoin.

Il est important que la constitution, le traitement de la forêt, l'exploitation et la mise en œuvre industrielle de la ressource produite soit à même d'assurer les nombreuses possibilités d'emploi à la main d'œuvre disponible.

Une forêt sans débouchés économiques, n'est ni traitée, ni exploitée, laisse, à l'abandon elle meurt » en d'autres termes l'avenir de la forêt et de l'industrie du bois sont liés.

L'Algérie depuis 3 ou 4 décades envisage toujours d'augmenter le taux de boisement sous des conditions climatiques très souvent défavorables. S'il est nécessaire pour le forestier d'étudier expérimentalement pour chaque essence à développer, les facteurs de sa prospérité de sa régénération, ainsi que les causes de son extension ou de sa régression et à l'industrie papetière de montrer la variabilité de longueur des fibres en fonction du genre, des espèces, des divers défauts anatomiques comme le bois de réaction : Compression chez les résineux et tension chez les feuillus par opposition ou bois normal de chaque groupe, qui peuvent être la source de variation du rendement en pâte due à la variabilité interne de l'hétérogénéité naturelle de l'arbre, d'autres causes qui ne seront pas abordés dans ce travail peuvent être énumérer : la variabilité génétique, pourriture du bois, la provenance, la pratique sylvicole telle que la fertilisation etc...

Chapitre I :

*Situation économique des
pâtes cellulosiques et du
papier en Algérie*

Chapitre I : Situation économique des pâtes cellulosiques et du papier en Algérie

I. Introduction :

La situation forestière de l'Algérie est peu satisfaisante à cause de la dégradation et de l'altération plus ou moins profonde de nos massifs forestiers.

Dans certaines situations, il est à craindre que cette dégradation, souvent profonde, soit irréversible.

Les causes de cette dégradation sont multiples :

- A des causes naturelles de dégradation, car la forêt algérienne est comprise dans un milieu méditerranéen fragile, se sont conjugués des causes anthropiques diverses.

Ces causes se partagent la responsabilité de l'état du facies forestier actuel. Aux causes naturelles et la fragilité du milieu facteurs déterminants, l'action de l'homme ne fait qu'accentuer le caractère décisif du déséquilibre.

La forêt algérienne doit donc être reconstitué sur les bases écologiques solides afin qu'elle puisse jouer son rôle de protection du régime des eaux et de production (LETREUCH BELAROUCI, 1991).

I.1 Etat du secteur des forêts :

I.1.1 Coup d'œil sur l'économie forestière mondiale :

Des études assez poussés par la F.A.O (2003) sur l'économie forestière et les ressources en bois dans le monde ont fait le point sur les surfaces forestières des différents continents et analysé la production ligneuse.

La superficie forestière mondiale représentant 3869,5 millions d'hectares soit un peu plus de 29% de la totalité des terres émergées, à l'exclusion du Groenland et de l'antarctique.

Les couverts forestiers par continent sont : l'Afrique 649,8 millions d'hectares soit 21,8% de la surface du continent, l'Océanie 197,6 millions d'hectares ou 23,3% par rapport à la surface du continent, l'Europe 1039,3 millions d'hectares soit 46% de la surface du continent, l'Amérique du Nord est centrale 549,3 millions d'hectares soit 25,7% de la surface du continent, l'Amérique du Sud 885,6 millions d'hectares soit 50,5% de la surface du continent et l'Asie 547,8 millions d'hectares pour 17,8%.

La production de bois dans le monde et ses dérivés pour l'année 2002 s'établit ainsi (voir tableaux 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7) (F.A.O. 2003).

Les principales conclusions à partir de ces données peuvent se résumer de la façon suivante :

Les besoins en matière première bois ont connu par le passé un accroissement spectaculaire et ils continueront de s'accroître dans une mesure appréciable dans les années à venir.

Tableau 1 : Production de charbon de bois et de bois de chauffage dans le monde

(F.A.O. 2003)

Pays	Charbon de bois et bois de chauffage 10 ⁶ m ³
Inde	300,6
Chine	191
Brésil	134,5
Ethiopie	90,2
Indonésie	82,6
U.S.A	73,1
Nigeria	60,1
Russie	48,8
France	2,4

Tableau 2 : Production de bois dans le monde bois rond (F.A.O 2003)

Pays	Bois rond 10 ⁶ m ³
U.S.A	404,7
CANADA	197,4
Russie	125,4
BRESIL	103,0
CHINE	93,1
SUEDE	61,6
FINLANDE	48,5
France	33,5

Tableau 3 : Production de sciages dans le monde (F.A.O 2003)

Pays	Sciages 10 ⁶ m ³
USA	89,2
CANADA	57,6
BERSIL	21,2
RUSSIE	19,2
Allemagne	16,6
France	10,5

Tableau 4 : Production mondiale de panneaux dérivés du bois (F.A.O, 2003)

Pays	Panneaux dérivés du bois 10 ⁶ m ³
U.S.A	40,5
CHINE	24,7
CANADA	16,2
Allemagne	13,8
INDONESIE	12,6
MALAISIE	6,8
BRESIL	6,3
France	5,6

Tableau 5 : Production mondiale de pâte à papier (F.A.O, 2003)

Pays	Pâte à papier 10 ⁶ tonnes
U.S.A	52,9
Canada	25,5
Chine	18,4
Suède	11,7
Finlande	11,7
Japon	10,7
France	2,6

Tableau 6 : Production mondiale papiers et cartons (F.A.O, 2003)

PAYS	Papiers et cartons 10 ⁶ tonnes
U.S.A	81,8
Chine	37,9
Japon	30,7
Canada	20,2
Allemagne	18,5
Finlande	12,8
Suède	10,7
France	9,8

Tableau 7 : Exportation bois et dérivés du bois (F.A.O, 2003)

Pays	Bois ronds en milliards de dollars U.S	Sciages en millions de dollars U.S	Panneaux en milliards de dollars U.S
Russie	1,8		
U.S.A	1,2	1,7	
Malaisie	0,5		1,6
Canada	0,4	6,5	3,3
Allemagne	0,3		2,3
Nouvelle Zélande	0,3		
France	0,2	0,3	0,8
Suède		2,5	
Finlande		1,7	
Indonésie			2,7
Total	4,7	12,7	10,7
Pays	Pâtes de bois en milliards de dollars US	Papiers et cartons en milliards de dollars US	
Canada	4,8	8,1	
U.S.A	2,6	6,1	
Suède	1,7		
Brésil	1,1		
Allemagne		8,6	
Finlande		8,5	
France	0,2	4,5	
Total	10,4	35,8	

Cette accroissement porte sur toutes les catégories de bois, bois de feu et charbon, grumes de placages, de déroulage, sciage, autres bois ronds d'industrie, bois pour pâte à papier et panneaux, quoique de façon fort inégale pour chacune d'entre elles et selon les diverses régions du monde.

L'accroissement le plus spectaculaire concernera les pâtes de bois et papiers ainsi que les panneaux à en croire le tableau 7 concernant les exportations de bois et dérivés du bois des pays producteurs vers les pays défavorisés.

Ce tableau fait ressortir que la pâte de bois et le papier fini ont une valeur ajoutée assez importante, les pays producteurs de bois ne vendront plus de la matière première semi fini aux pays dépourvus de forêts ou en voie de développement ce qui est normal de leur point de vue.

Les surfaces forestières productives s'accroissent et s'accroîtront encore grâce aux efforts de boisement et de reboisement entrepris un peu partout, grâce aussi à la mise en exploitation de nouvelles forêts non encore exploitées.

La production annuelle de matières premières bois augmentera régulièrement suite à l'accroissement des superficies forestières à la restauration des forêts dégradées, à l'enrichissement des forêts pauvres, au progrès des techniques sylvicoles et à l'extension des aménagements forestiers.

Néanmoins, les besoins de la consommation progressent plus rapidement que la production, ce qui laisse craindre un déficit de matière première ligneuse qui va en s'accroissant.

Le déficit le plus important concernera les bois pour pâtes à papiers et panneaux, dont les besoins connaissent une évolution importante résultant à la fois de l'augmentation de la population mondiale et de ses besoins liés à l'élévation de son niveau de vie.

Des mesures seront sans doute prises pour tenter de combler ce déficit, mais si elles parviendront à l'atténuer, elles ne pourront pas le combler totalement.

Parmi ces mesures, on cite notamment une utilisation plus rationnelle de la production ligneuse (bois de petites dimensions essences encore délaissées aujourd'hui, limitation des pertes lors des abattages et débardages en forêt...).

La récupération des chutes et déchets des industries de première transformation (scierie) ainsi que l'amélioration des techniques de fabrication.

Le scénario catastrophe vers lequel on peut s'acheminer dans ce secteur est une situation de crise grave, ou l'on peut même envisager le premier choc du « pétrole vert » qui

aura une influence négative sur l'économie des pays dépourvus de forêts ou qui valorisent mal ce secteur.

L'approvisionnement des fabriques de cellulose et de papiers en matières premières connaîtra sans aucun doute de grosses difficultés et l'on assistera à un enrichissement du prix du bois, des produits semi-finis ou finis tels que pâtes cellulosiques, papiers, panneaux divers (AICHOUNI, 2000).

I.1.2 La situation de l'économie forestière Algérienne :

A la lumière de ce qui précède, il ne fait aucun doute que l'évolution de l'économie forestière Algérienne doit se faire dans le même sens.

L'accroissement rapide de la population auquel nous assistons ainsi que le développement économique du pays auront pour effet d'accroître fortement et rapidement les besoins en matière première, bois, ceci nécessite que la production actuelle très faible soit portée à un niveau satisfaisant.

Un déficit certain s'annonce déjà à la lumière de la fermeture du complexe cellulosique et papetier de Mostaganem (EN.CEL.PAP), à celui de Saida (ENE.PAC) et de Souk Ahras (EN.CEL.PAP) suite aux difficultés d'approvisionnement en Alfa et paille de ces deux plus grands complexes et ceci depuis leur mise en service ; nous incite à chercher et à trouver d'autres matières premières ligneuses afin de voir leur aptitude papetière et de les valoriser.

Par ailleurs, l'Algérie doit mettre en œuvre des moyens afin d'augmenter aussi rapidement que possible sa production de bois autochtone.

La nécessité d'une telle politique se fonde sur la difficulté de plus en plus grande qu'il y aura, à l'avenir de s'approvisionner en bois et en produits dérivés sur le marché national.

Sur la nécessité du pays de s'assurer une certaine autarcie dans son approvisionnement, en vue de pallier d'éventuelles impossibilités d'importations.

Sur la nécessité de réduire les sorties de devises, nécessaires à la poursuite de l'équipement du pays.

Sur l'opportunité de créer de très nombreux emplois nouveaux pour permettre l'occupation d'une main d'œuvre en accroissement.

Les taux de boisements actuels sont évidemment insuffisants pour assurer la conservation de l'équilibre physique et biologique dans ces écosystèmes naturels en vue de la défense du sol contre l'érosion.

L'espèce dominante est le pin d'Alep qui occupe une superficie de 800 000 hectares, et se rencontre en grande partie dans les zones semi arides. Le capital sur pied de ces pineraies

est pauvre. Le chêne liège avec 230 000 hectares se localise principalement dans le Nord-est du pays. Les chênes Zeens et afares avec 48000 hectares occupent les milieux frais dans la subéraie. Les cèdres occupent 12 000 hectares en îlots éparses dans le TELL centrale (Cherea) et les Aurès (Batna). Le pin maritime est naturel dans le Nord Est du pays et occupe une superficie de l'ordre de 32 000 hectares. Les Eucalyptus occupent 45 000 hectares et ils constituent le premier groupe économique des repeuplements artificiels avec 1167000 hectares. Le second groupe est constitué par le chêne vert, le Thuya et le genévrier, qui en zone semi-aride jouent un rôle de protection et couvrent une superficie de 473 000 hectares (GOUASSANEM, 2000) (Tableau 8 et Figure 1).

1.1.2.1 Consistance et caractéristique de la forêt Algérienne :

L'Algérie couvre une superficie de 2.381.741 Km², ce qui en fait en étendu, le deuxième pays d'Afrique après le Soudan. Le Sahara l'un des plus vastes déserts du monde occupe une superficie de 2.000.666 Km² soit 84% du territoire.

Les régions du Nord de l'Algérie où les conditions du climat et du milieu permettent le développement des formations forestières occupent à peu près 450 000 Km² soit 19% de la superficie totale. Cette zone s'étend sur une façade méditerranéenne de plus de 1200 Km, avec une profondeur moyenne de 250 Km, communément appelée la partie sylvatique, elle vient buter contre la partie Sud ou asylvatique, des piedmonts de l'Atlas Saharien (LETREUCH BELAROUCI 1991).

Les forêts et maquis couvrent 4.015.000 hectares (voir Fig. 1) soit un taux de brisement de 17% pour le Nord de l'Algérie, 9% si on intègre la superficie de la steppe et 2% à peu près si les régions Sahariennes arides sont prises en considération.

Le reste des superficies forestières s'étend sur 2 604 000 hectares et se répartit entre les reboisements de protection qui couvrent 727 000 hectares et les maquis et broussailles qui occupent une superficie de 1876000 hectares ; s'ajoutent à ces superficies forestières les nappes alfatières qui totalisent une superficie de l'ordre de 3 000 000 d'hectares (voir figure 1).

Les traits qui caractérisent ces zones sylvatiques algériennes sont :

- Une forêt de lumière, irrégulière avec des peuplements de feuillus ou résineux ouverts, formée d'arbres de toutes tailles et de tous âges en mélange et très souvent désordonnés,
- La présence d'un sous-bois composé d'un nombre d'espèces secondaires limitant la visibilité et l'accessibilité, ce qui favorise la propagation des feux,
- La faiblesse du rendement moyen en volume ligneux (voir tableau 9),

- L'existence d'un surpâturage important et l'empiètement sur les surfaces forestières par les populations riveraines.

La comparaison des données de (Boudy 1955), du (PNDF 1984) de (LETREUCH BELAROUCI 1991) et des données de (GOUSSANEM, 2000) mettent en évidence une incertitude sur l'homogénéité des définitions :

- La stabilité des surfaces de pin d'Alep imputable pour partie à l'importance des plantations auxquelles il a donné lieu sur des centaines de milliers d'hectares au cours des 3 dernières décennies ;
- La réduction de moitié des surfaces de chêne liège ;
- La réduction très forte des yeuseraies et junipérais.

Les surfaces en pin d'Alep sont donc stables ou en progression par suite de nombreux reboisements depuis 1962, celles en chêne et en cèdre sont en régression.

La réduction des espèces à couvert épais traduit la pression pastorale multiple (Caprins, ovins, bovins) qui s'exerce sur l'espace forestier en limitant fortement sa régénération.

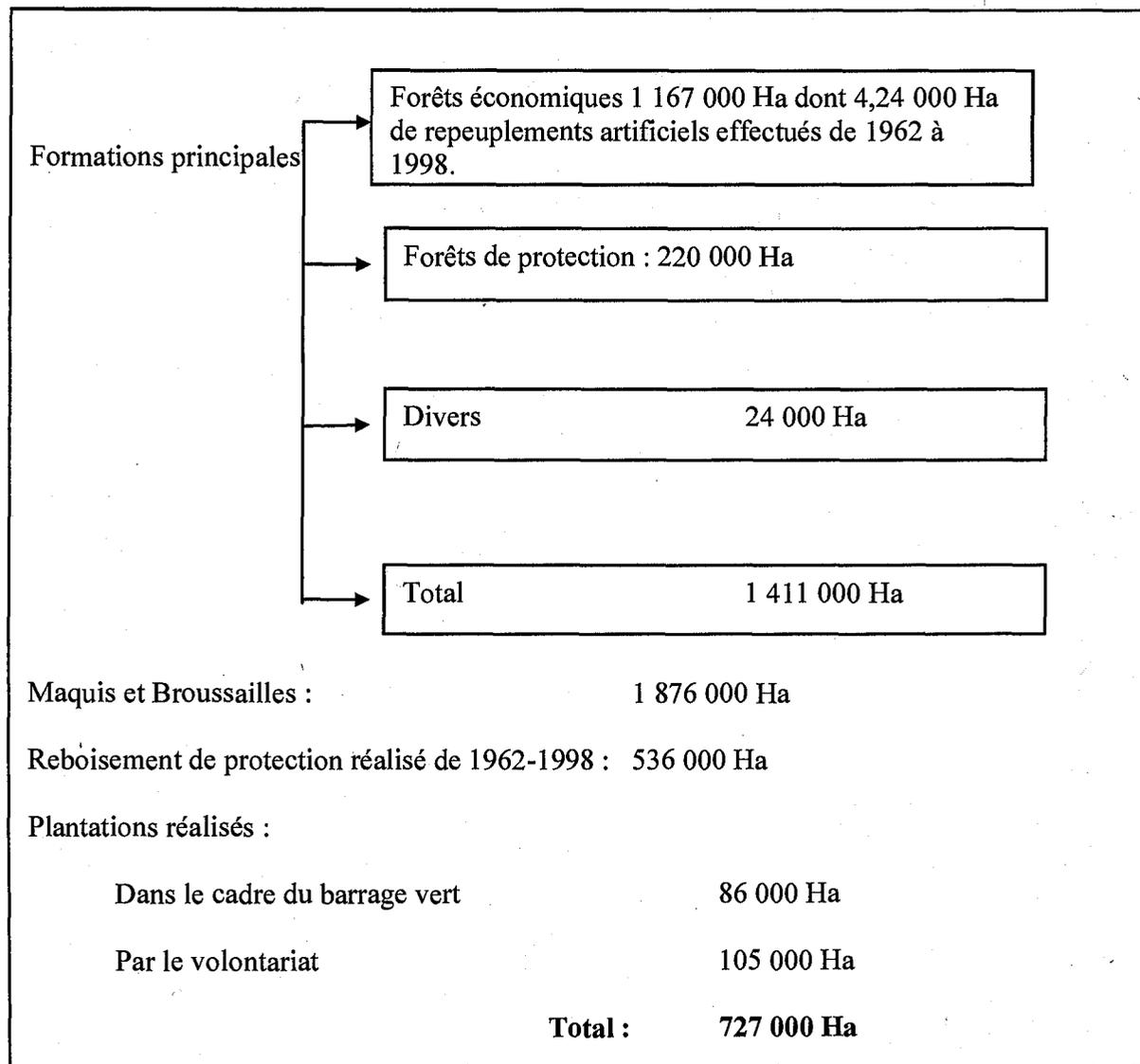
A défaut d'un inventaire forestier national récent nous nous rabattons sur celui de GOUASSANEM (2000) et qui relate une estimation des volumes sur pied (54908000m^3 dont $30400\ 000\text{m}^3$ pour le pin d'Alep) voir tableau 9 et des accroissements de ($1\ 622\ 600\text{m}^3$ dont $1\ 217\ 000\text{m}^3$ pour le pin d'Alep).

Il apparait que la forêt algérienne est une formation végétale qui lutte en permanence contre la sécheresse. Par ailleurs tous les éléments historiques qui la marquèrent et les pressions qu'exercent sur elle l'homme et son cheptel, la forêt Algérienne se glisse inexorablement et s'achemine vers une dégradation progressive des essences économiques principales et celles de protection et de son remplacement par le maquis dont le rôle reste néanmoins important pour la fixation et contre l'érosion des sols en terrain à forte déclivité.

Les forêts naturelles constituées par les essences principales couvrent une superficie de 1411000 hectares se répartissant en forêts d'intérêt économique et forêts dites de protection.

Les essences d'intérêts économiques sont constituées par le : Pin d'Alep, le pin maritime, le chêne Zeen, le chêne afarès, les eucalyptus, les peupliers et le chêne liège qui constituent le groupe de feuillus.

**Figure 1 : consistance de la forêt Algérienne
(PNDF, 1984 GOUASSANEM, 2000).**



1 876 000 + 727 000 → 2 604 000 Ha

Total formation forestières : 1 411 000 Ha + 2 604 000 Ha = 4 015 000 Ha.

Nappes alfatières : 3 000 000 hectares.

**Tableau 8 : répartition des surfaces par essence forestière algérienne
(P.N.D.F, 1984 ; GOUASSANEM, 2000)**

Essences	Surface en hectare
Résineuses	
Pin d'Alpe	800 000
Pin maritime	32 000
Cèdre	12 000
Thuya	145 000
Genévrier	220 000
Feuillues	
Chêne liège	230 000
Chêne Zeen et afarès	48 000
Chêne vert	108 000
Eucalyptus	45 000
Peupliers	20 000
Total	1660000

**Tableau 9 : Volume sur pied des principales essences forestières algériennes
(GOUASSANEM, 2000 et PNDP, 1984)**

essences	Capital sur pied	
	En 10 ³ m ³	m ³ /ha
Pin d'Alep	30400	38,0
Cèdre	7793	649,0
Chêne Zeen et afarès	10680	222,5
Chêne vert	2848	26,5
Eucalyptus	2515	56,0
Pin maritime	672	21,0
Total	54908	-

Les essences de protection sont constituées par le chêne vert, le thuya et les genévriers. Ces essences qui constituent diverses forêts ont des traits importants en commun :

- Elles sont constituées généralement de peuplements purs d'une seule essence, rarement en mélange de 2 ou 3 essences (chêne liège et chêne Zeen ou chêne liège et pin maritime),
- Suite aux actions anthropiques (usagers et cheptel) ou aux incendies, les arbres sont souvent courts et/ou tordus, les bois sont souvent affectés de nombreuses tares et maladies (pourritures) qui réduisent fortement leur qualité ainsi que leur aptitude papetière et au sciage.
- Les forêts de pin d'Alep de plus de 800000 hectares constituent un capital sur pied assez faible de 10 à 50 m³/ha avec une moyenne de 38m³/ha et un accroissement moyen annuel de l'ordre de 2m³/ha (GOUASSANEM, 2000 et PNDP, 1984).

- Les chênes caducifoliés (Zeen et afarès) occupent une superficie de 48 000 hectares, avec une croissance rapide le chêne Zeen à tendance à recoloniser les subéraies. Les vieilles futaies occupent 55% des surfaces et les taillis et perchis 5% seulement, ils donnent un accroissement annuel de 2,5 m³/ha.
- Le pin maritime avec ses 32000 hectares est naturel dans le Nord-est de l'Algérie et s'installe dans les subéraies plus ou moins dégradées sa régénération naturelle est aisée sauf en exposition sud. L'accroissement annuelle est de l'ordre de 4m³/ha.
- Le chêne vert est surtout abondant dans le Nord-Ouest du pays ; les surfaces auraient très fortement régressées en 30 ans passant de plus de 700 000 hectares Boudy (1955) à 108 000 hectares PNDF (1984) et GOUASSANEM, (2000) et si l'on tient compte des données de LETREUCH BELAROUCI (1991) nous constatons une régression progressive entre Boudy (1955) et ce dernier, et on passe en 35 ans de 700 000 hectares à 354000 hectares, ce qui nous semble plus plausible et proche de la réalité. Le chêne vert a un accroissement moyen annuel de l'ordre de 1m³/ha.
- Le chêne Kermès occupe une surface de 46000 hectares, les peupliers divers un peu plus de 20000 hectares, les genévriers 277000 hectares et le Thuya un peu plus de 143000 hectares, auxquels nous rajoutons les 45000 hectares de reboisement artificiels d'eucalyptus constitués essentiellement d'Eucalyptus Camaldulensis et Globulus deux essences qui étaient destinées à l'origine pour l'alimentation du complexe cellulósique d'El Kalaa qui n'a jamais vu le jour.

1.1.2.2 Volume sur pied et production :

Les forêts de production couvrent un peu moins d'un tiers la surface du patrimoine forestier national soit à peine 1 200 000 hectares. Elles sont constituées de pin d'Alep, d'Eucalyptus divers, de chêne liège, de chêne divers, de pin maritime et de cèdre.

Les volumes sur pied les plus importants en proportion proviennent du pin d'Alep qui constituent une réserve de la ressource ligneuse dans le groupe des résineux, alors que chez les feuillus cette réserve est constituée par les Eucalyptus et les chênes divers (voir tableau 9).

1.1.2.3 Le bois :

La possibilité annuelle globale, toutes catégories confondues s'élève à environ 1 276 200 m³ (GOUASSANEM, 2000). L'accroissement moyen annuel s'élèverait quant à lui de 1,5m³/ha/an pour les forêts productives c'est-à-dire le pin d'Alep, les chênes et les Eucalyptus.

D'après la direction des forêts algériennes (GOUASSANEM, 2000) la superficie des forêts ayant fait l'objet d'études d'aménagement s'élève à un peu plus d'un million d'hectares toutes essences confondues (y compris les peuplements artificiels d'Eucalyptus).

Ces forêts représentent une possibilité annuelle de 450 000m³. La production de bois en Algérie a suivi un rythme très irrégulier depuis l'indépendance, faible de 1962 à 1990 avec 151 200m³ pour culminer en 1999 à 201520 m³.

Ces deux dernières décades, on a enregistré un accroissement sensible des besoins nationaux en bois, et parallèlement une diminution des importations, ce qui a engendré des tensions sur le marché.

Cette situation contraignante encourage l'exploitation des ressources locales. Le secteur des forêts devra désormais améliorer son niveau de participation au développement de l'économie nationale.

C'est ainsi qu'il se fixe l'objectif de mobiliser annuellement plus de 500 000m³, le but étant bien entendu de se rapprocher de la possibilité globale et d'atteindre plus de 1 000 000 de m³/an, ce qui paraît en l'état très difficile.

La production de bois provient de forêts aménagées et non aménagées.

Les forêts aménagées sont constituées aussi bien de résineux (pin d'Alep) que de feuillus (Chênes).

Pour le pin d'Alep il s'agit notamment de Telagh, Djelfa (Senalba chergui et gherbi) et de Khenchla (Beni-Imloul). Ces forêts sont exploitées depuis le début des années 80. En ce qui concerne les chênes, les principales forêts (Guérouch et l'Akfadou) elles sont en cours d'exploitation. Certains bois trouvent difficilement des débouchés tels que le chêne Zeen.

En ce qui concerne les forêts non aménagées, en l'absence d'un plan de gestion, l'exploitation du bois au niveau de ces forêts concerne principalement des coupes de vieux bois, des éclaircis et des coupes sanitaires. Les coupes d'assainissement dans les forêts incendiées sont également effectuées.

Cependant il est nécessaire de signaler la part des produits provenant de ces forêts qui ne représentent qu'une maigre proportion de la production totale de bois.

Par conséquent, la production de bois des forêts naturelles provient des essences suivantes par ordre décroissant :

- Pin d'Alep, cèdre, chêne Zeen, chêne Afarès, chêne vert, Eucalyptus, pin maritime. Le pin d'Alep fournit à lui seul 55 à 60% de la production totale de bois. L'Eucalyptus est essentiellement cultivé pour la production de bois de trituration, alors qu'à l'origine

les reboisements industriels plus de 25 000 hectares étaient installés pour alimenter l'industrie cellulosique et papetière.

- Les productions des chênes, du cèdre et du pin maritime représentent environ 40% de la production nationale, sont destinées essentiellement à l'usage du bois d'œuvre.
- Le bois de Pin d'Alep a pour principaux débouchés la menuiserie, le coffrage, l'Eucalyptus exploité à courte rotation (10 ans) est destiné à la trituration et les chênes trouvent difficilement des débouchés, alors qu'à courte rotation (20 ou 25ans) on pourrait avoir une certaine production qui peut être destinée à l'industrie cellulosique, comme d'ailleurs le pin d'Alep à l'âge jeune (20 à 25ans), le pin maritime et les Eucalyptus.

Il est clair que l'Algérie a d'énormes possibilités moyennant un investissement au niveau des équipements (complexe de Mostaganem) pour sauver une industrie agonisante par manque de matières premières alfa et paille.

Les revenus tirés de la forêt sont importants et l'exploitation du bois à elle seule rapporte annuellement à la direction des forêts plus de 7,5 milliards de centimes algériens.

D'après GOUASSANEM (2000), on recense pour les Eucalyptus seuls une superficie de l'ordre de 45 000 hectares avec une possibilité annuelle récoltable de 145 000 m³/an. Ces reboisements industriels ont été effectués dans le Nord du pays et surtout à l'Est (ANNABA 16300 hectares, Guelma 3950 hectares, Skikda 2850 hectares, Tizi Ouzou 6100 hectares) soit un total de 29 200 hectares.

Les espèces principalement utilisées sont Eucalyptus Camaldulensis et Globulus. De façon limitée ont été introduit : Eucalyptus grandis, gomphocephala et Leucoxydon.

En Algérie bien que des Eucalyptus aient été installées dans le semi-aride, les meilleurs résultats sont obtenus dans l'étage bioclimatique humide et subhumide doux et chaud.

Des surfaces importantes ont pratiquement disparu tel est le cas d'Eucalyptus globulus détruit par la phoracantha, notamment sur près de 6000 hectares à l'est et l'Eucalyptus grandis inadapté aux milieux où il a été planté dans un but de protection des terrains dégradés. Dans ces deux derniers cas, la production est faible, elle est inférieure à 4 m³/ha.

Dans toutes les autres stations l'espèce qui domine est Eucalyptus Camaldulensis dont l'accroissement total peut atteindre à notre avis 10 à 12 m³/ha/an dans les meilleurs stations, sur les sols moins favorisés cette accroissement varie probablement entre 8 et 10m³/ha/an à courtes rotations entre 8 et 12 ans.

D'après P.N.D.F (1984) et GOUSSANEM (2000) une bonne partie des surfaces a dépassé l'âge de 40 ans, ce qui est élevé pour une espèce qui doit être traitée en taillis à courtes rotation soit l'âge d'exploitabilité moyen de 10 ans.

I.1.2.4 l'Alfa :

D'une moyenne de 30 000 tonnes/an au début des années 70, la production alfatière a chuté rapidement pour atteindre moins de 10 000 tonnes/an en 1994.

Les principales causes de dégradation des nappes alfatières qui ont conduit à cette régression sont d'origines multiples :

- Climatique,
- Anthropique,
- Et sociopolitique.

A notre humble avis l'industrie cellulosique algérienne doit abandonner cette matière première nécessaire à la protection, à la défense et restauration du sol contre l'érosion et de la conservation de l'équilibre biologique dans ces écosystèmes naturels.

L'exploitation irrationnelle de l'alfa mènerait à une destruction rapide et irréversible du sol réduit dans ces régions arides qui provoquerait de graves modifications du relief des zones en question.

Par ailleurs même dans le meilleur des cas ou les rendements en alfa pourraient atteindre un quintal à l'hectare et par an, la production de bois dans le cas le plus pessimiste des yeuseraies (chêne vert) avec un accroissement de 1 m³/ha/an donnerait un rendement en cellulose pour ce dernier 8 à 10 fois plus important que dans le cas de l'alfa.

Il est donc plus intéressant d'utiliser du point de vue économique les essences forestières comparées à l'alfa et la paille.

I.2 Production et importation des pâtes à papier en Algérie :

I.2.1 origine des industries papetières en Algérie :

Selon certaines études établies par l'entreprise de cellulose et papier en Algérie, il apparaît que la fabrication du papier remonte à plus d'un siècle (1896) avec l'installation d'une petite unité de production de papier d'emballage située à Ain El Hadjar (commune de Saïda) à 300 kilomètres au Sud-est de Tlemcen.

Mais l'industrie cellulosique et papetière n'est véritablement apparue qu'en 1949 avec l'implantation du complexe de fabrication de pâte et papier d'alfa à Baba Ali (20 km à l'ouest d'Alger).

Ce complexe a été conçu pour exploiter les immenses nappes alfatières de zones steppiques algériennes, dont la production était auparavant exportée vers l'Angleterre et l'Ecosse, ce troc servait à payer les navires charbonniers qui alimentaient l'Afrique du Nord.

Le complexe de Baba Ali a été réalisé à la faveur des mesures financières et avantages fiscaux accordés aux entreprises pour les encourager à investir dans les colonies.

Après l'indépendance, l'industrie papetière algérienne connaît quelques investissements notamment dans la transformation du papier (sacheries, cartonneries, etc...) principalement dans le secteur privé.

Ce n'est que vers la fin des années 60 (1968) qu'on assiste au « décollage » de l'industrie cellulosique à la faveur des premiers plans de développement du pays et la création d'une entreprise publique dénommée (SO.N.I.C) chargée de promouvoir les industries de cellulose et papier en Algérie.

En moins d'une décade, près d'une dizaine d'unités de production seront implantées à travers le territoire national dans le cadre de l'équilibre régional (économique), recherché par les autorités de l'époque.

Les capacités de production installées sont de 400 000 tonnes/an tous produits confondus au début des années 80, contre à peine 45000 tonnes/an en 1962.

Cette entreprise contribuera à créer plus de 6000 emplois directs.

En dépit de cette croissance rapide de nombreux problèmes ont pesé sur l'évolution de l'industrie papetière en Algérie. Les principaux problèmes sont notamment ceux hérités de la mauvaise évaluation initiale des projets et des conditions défavorables de leurs réalisations qui entraîneront des surcoûts (57 à 145% du coût initial) (NADIR-SACI, 2006), des sureffectifs (35 à 91%) et des retards de démarrage (10 à 45 mois).

Par ailleurs, les faiblesses ou l'absence du tissu industriel ont conduit la SONIC à construire la plus part de ses unités de production « Ex nihilo » en supportant des activités et des charges qui ne concernent pas directement la production, mais qui n'en sont pas moins indispensables au démarrage des unités (aménagement de site, routes, voies ferrées, formation professionnelle, équipement sociaux, approvisionnements, etc...).

Depuis 1988, l'industrie papetière se voit contrainte de fermer ses ateliers de production de pâte, suite aux difficultés d'approvisionnement en alfa et paille, de ces deux plus grands complexes (Mostaganem et Saida).

Selon une étude de GIPEC (groupe industriel de papier et de la cellulose 2006). C'est l'exode rurale qui implique la (rareté des cueilleurs d'alfa) qui avait induit une dégradation des nappes alfatières, poussant le complexe de Mostaganem à recourir à l'importation de pâte

de bois pour assurer le fonctionnement de la machine à papier et à lancer des programmes de conservation de l'usine de cellulose et des autres ateliers annexes (électrolyse, chaudière de récupération, caséification, etc...).

Le manque de matière première paille de céréales a conduit le complexe de Saida à son tour de substituer les vieux papiers de récupération et importés, à la place de la paille suite à la décision des autorités de laisser la paille aux agriculteurs-éleveurs pour répondre aux besoins croissants de ce secteur d'activité au détriment de l'industrie.

Ces phénomènes viennent se conjuguer aux erreurs faites par le passé et concernant les études faites au profit du ministère de l'énergie et du ministère des industries légères de l'époque, et qui avaient pour but de faire ressortir les possibilités annuelles des nappes alfatières :

Des « mers » d'alfa constatées par TRABUT en 1830, aux études effectuées :

- La première par la société Française la ROCHETTE CENPA, faite pour le compte du ministère de l'industrie et de l'énergie dans le cadre des études ayant abouti à la construction du complexe de Mostaganem faisant ressortir des possibilités de 297 000 tonnes/an d'alfa à 80% de siccité.
- La deuxième en 1976 établit par le bureau d'étude SO.DETEG avec une possibilité de 170 000 tonnes/an pour la seule wilaya de Saida.
- Et les approvisionnements du complexe de Mostaganem cumulés de 1973 à 1988 n'ont guère dépassé les 200 000 tonnes, alors que le complexe de Mostaganem a été dimensionné pour consommer annuellement 240 000 tonnes d'alfa par an, il paraît clairement qu'il y a eu une surestimation des possibilités de ces nappes.

Pour ce qui concerne la paille, l'Algérie est connue pour avoir un climat du point de vue pluviométrique irrégulier, elle peut traverser des périodes de sécheresse assez longues (automne, hiver, printemps) au moment où les céréales ont un besoin en eau important.

Il ressort de ce qui précède que la production de pailles de blé va varier d'une année à l'autre et l'industrie cellulosique va être alimentée en fonction de l'excédent de production en laissant la part prioritairement au secteur des productions agricoles et animales.

Par ailleurs, le prix de la paille variant dans une large fourchette au gré des années, aucune industrie du secteur économique ne pourrait s'adapter à des fluctuations importantes de disponibilité ou de prix de matière première.

A ceci nous rajoutons le manque de pièces de rechange, le manque d'eau et les perturbations en électricité qui ont aggravé le fonctionnement des complexes qui ne peuvent

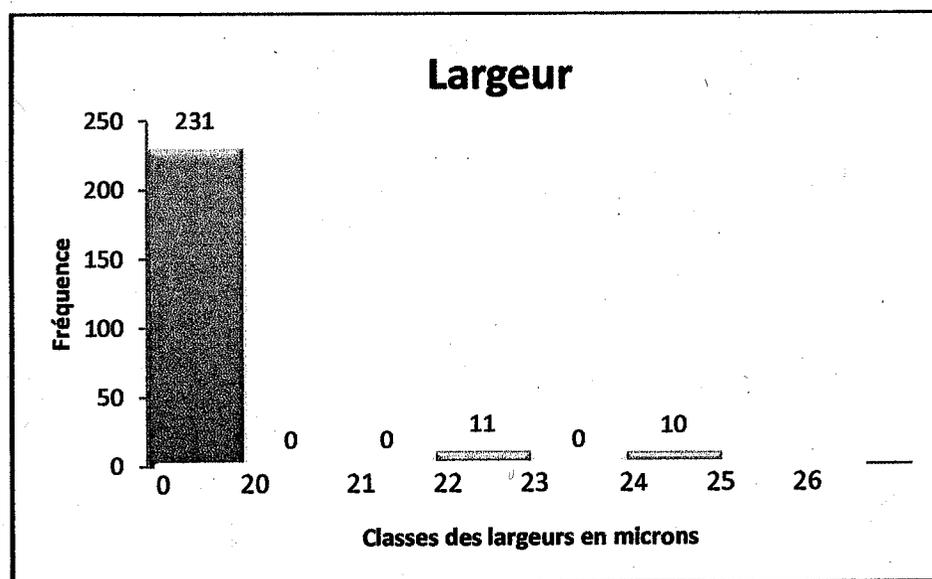
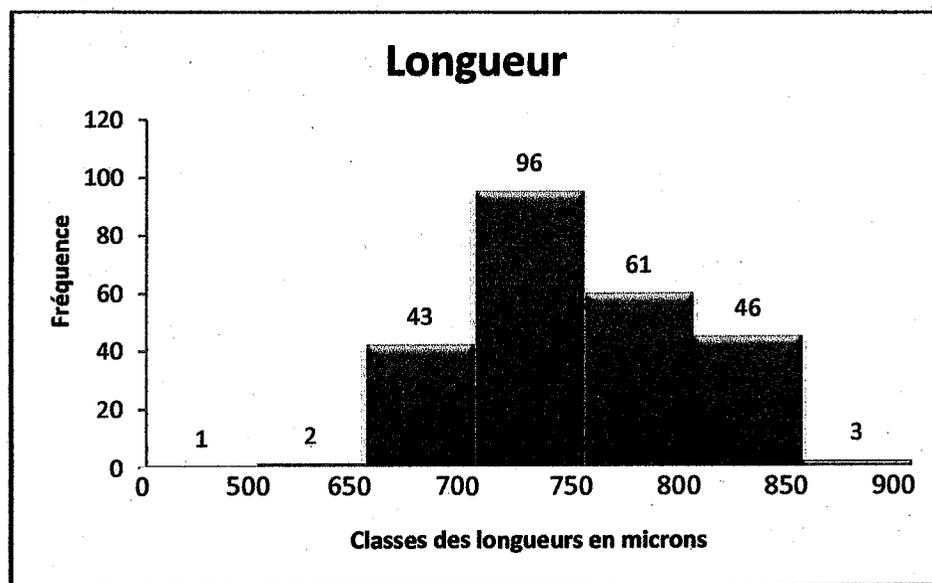


Figure 6 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres de chêne vert jeune

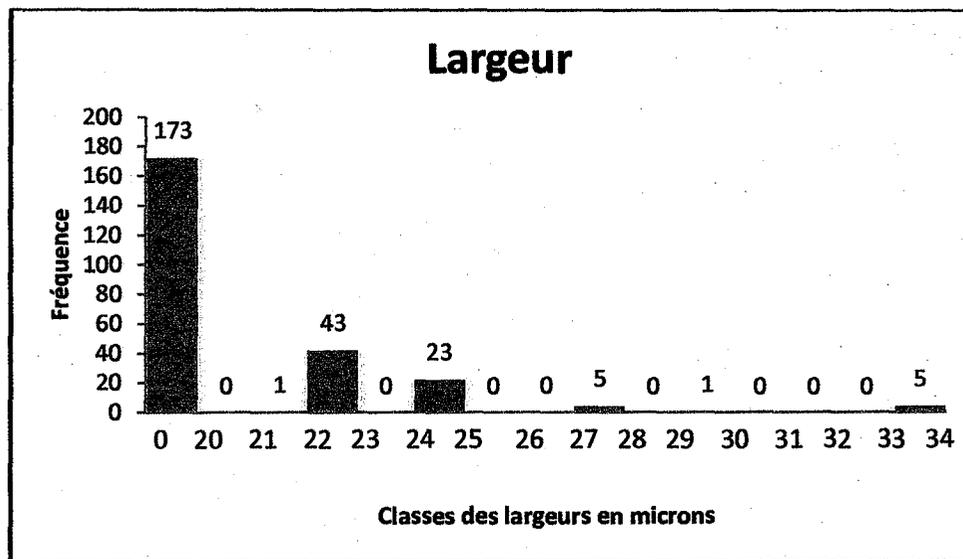
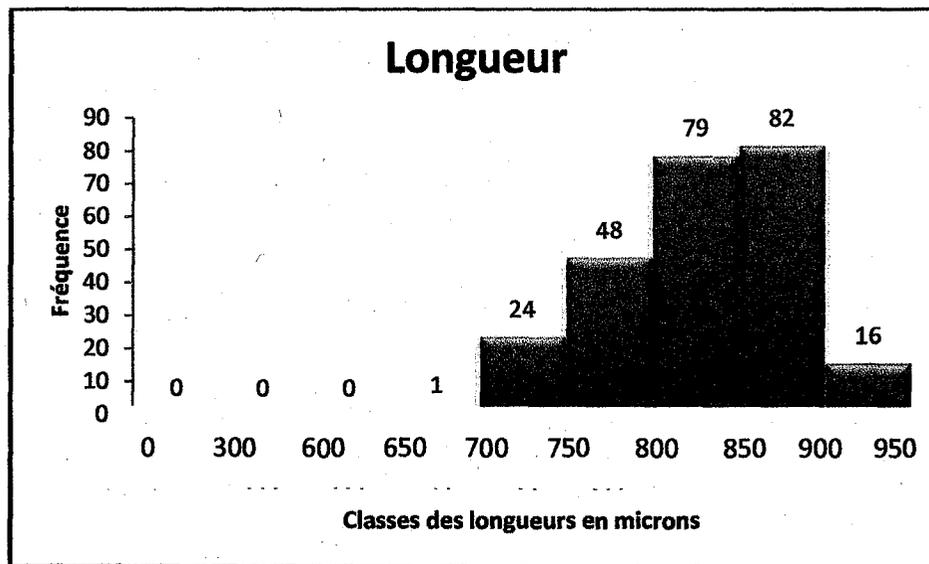


Figure 7 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres de chêne vert adulte

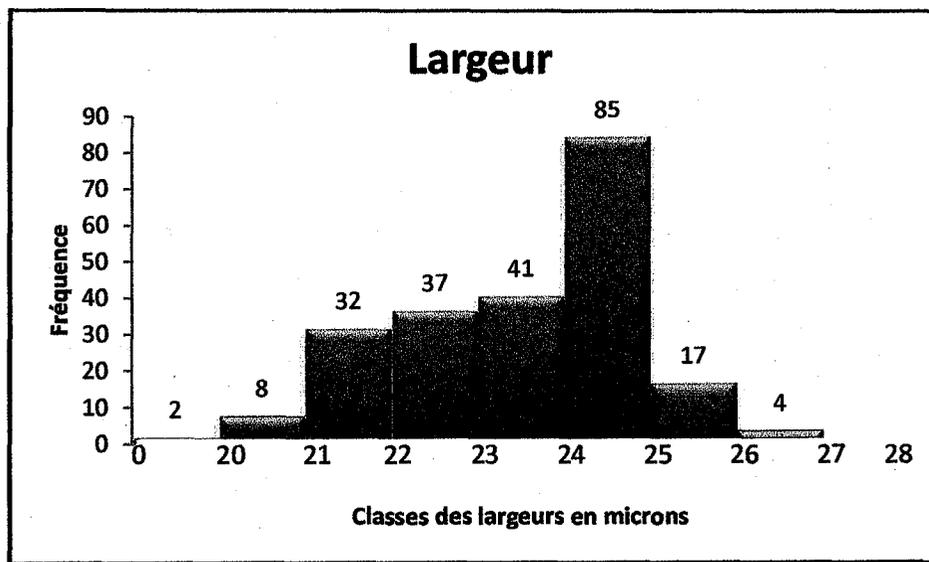
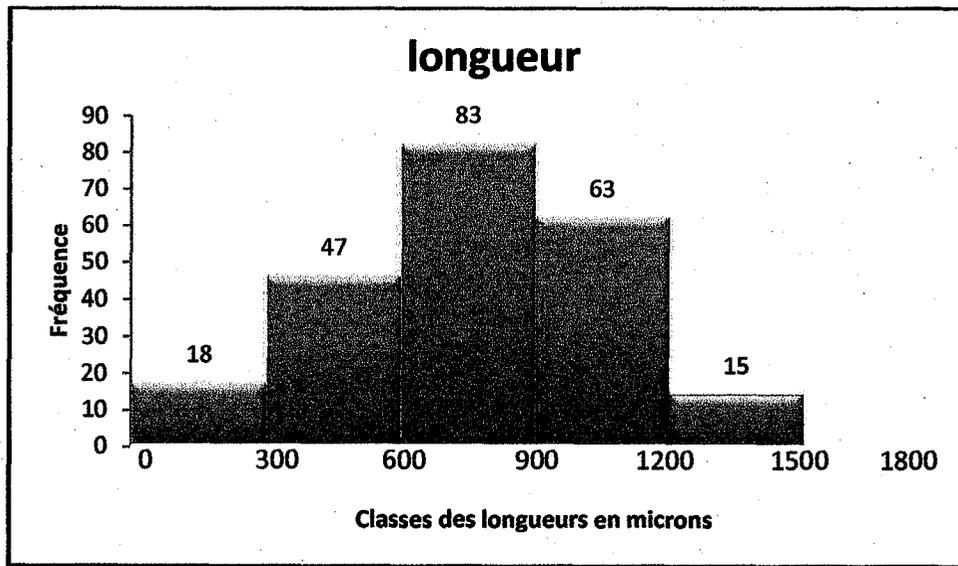


Figure 8 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres du peuplier noir jeune

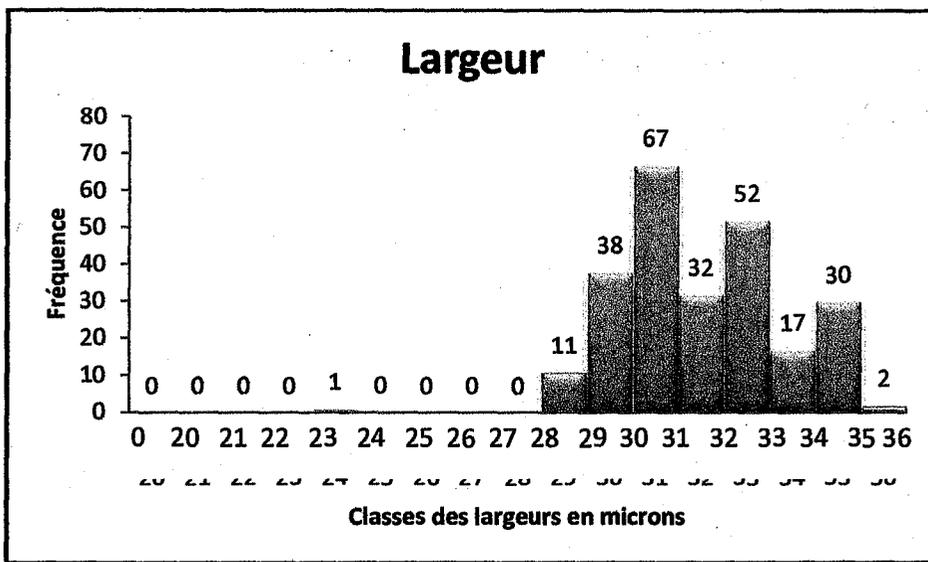
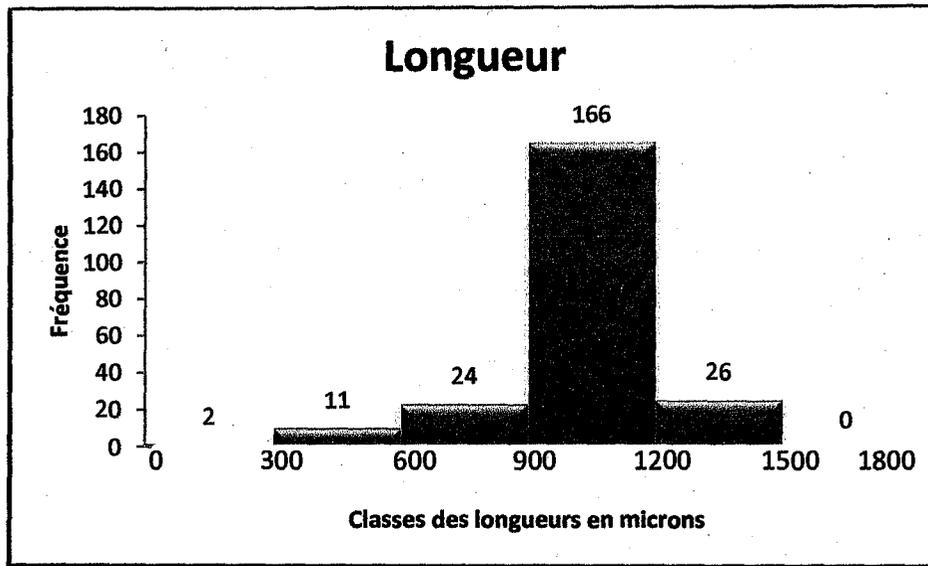


Figure 9 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres du peuplier noir adulte

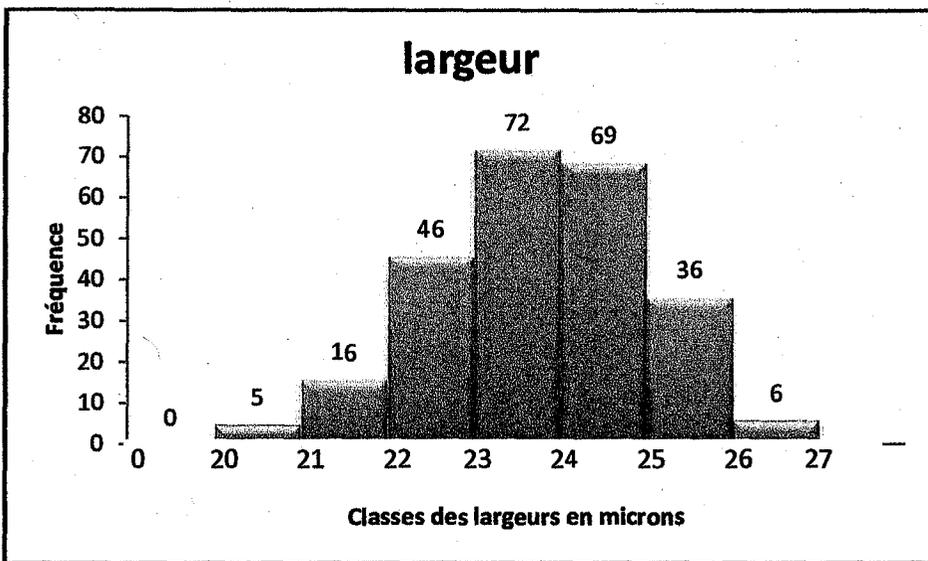
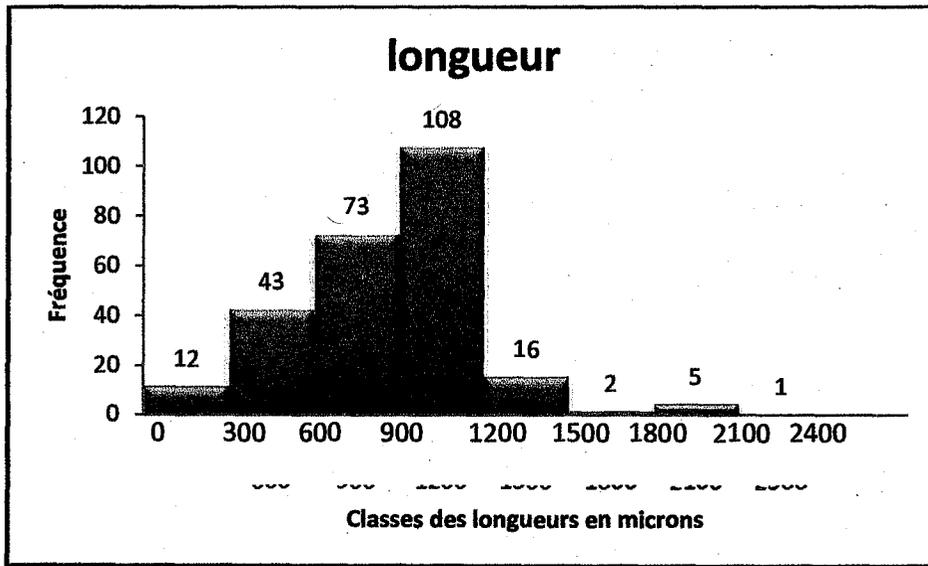


Figure 10 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres du peuplier blanc jeune

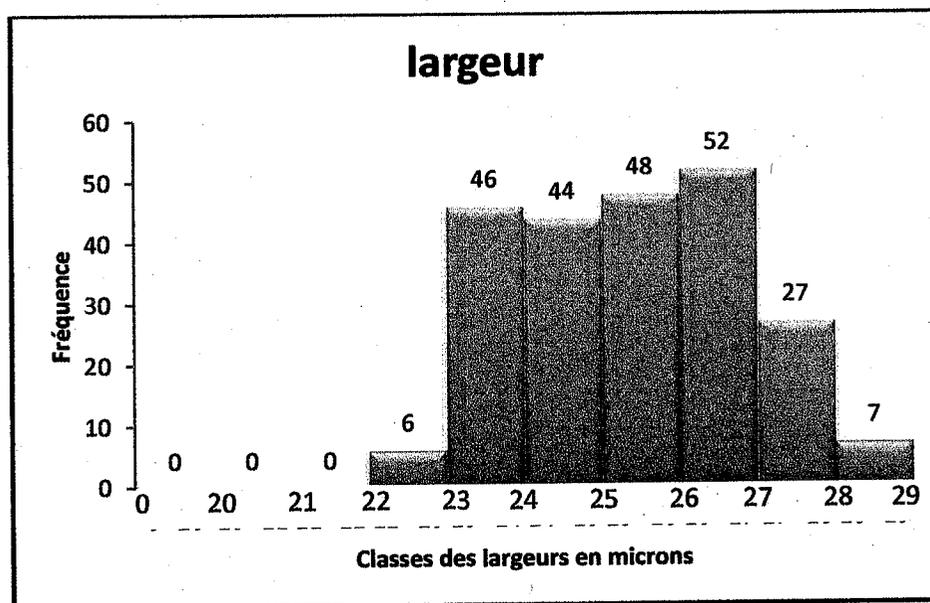
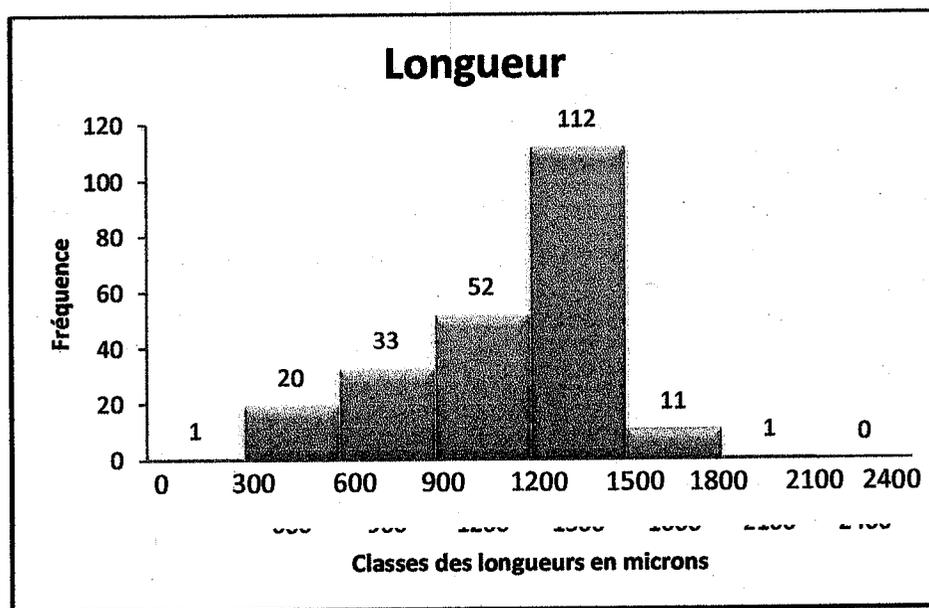


Figure 11 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres du peuplier blanc adulte

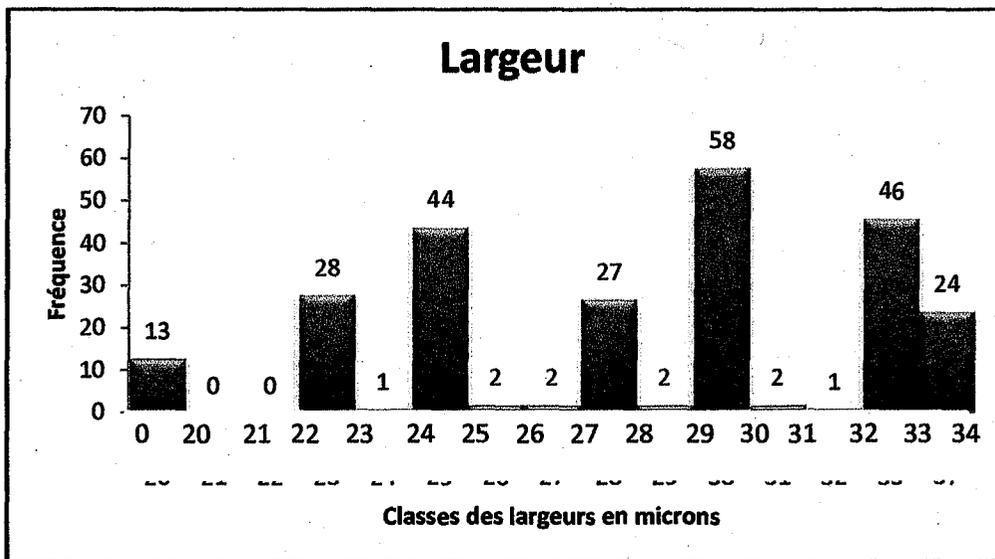
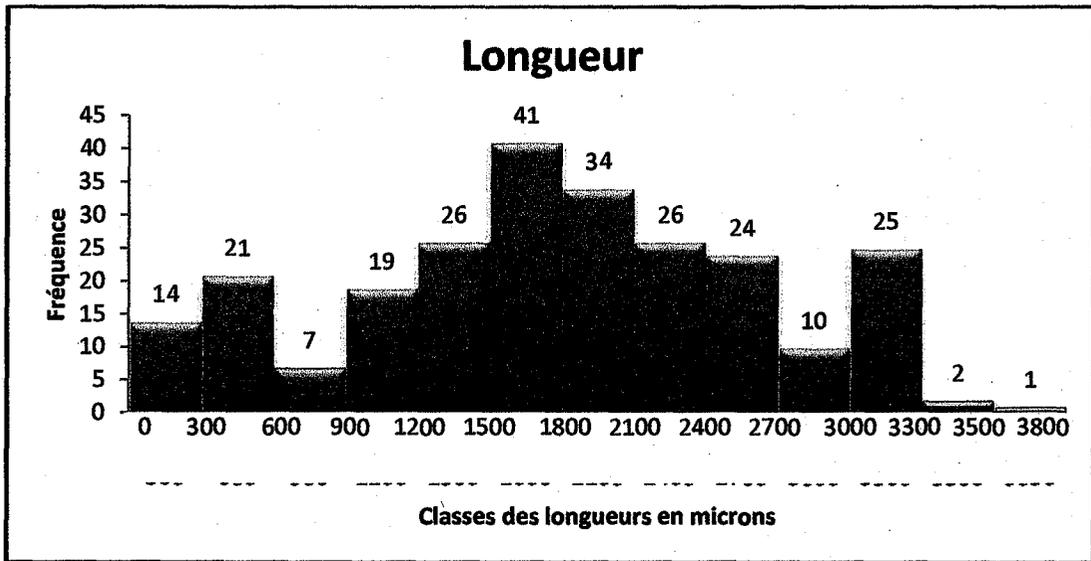


Figure 12 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres de Pinus pinaster jeune

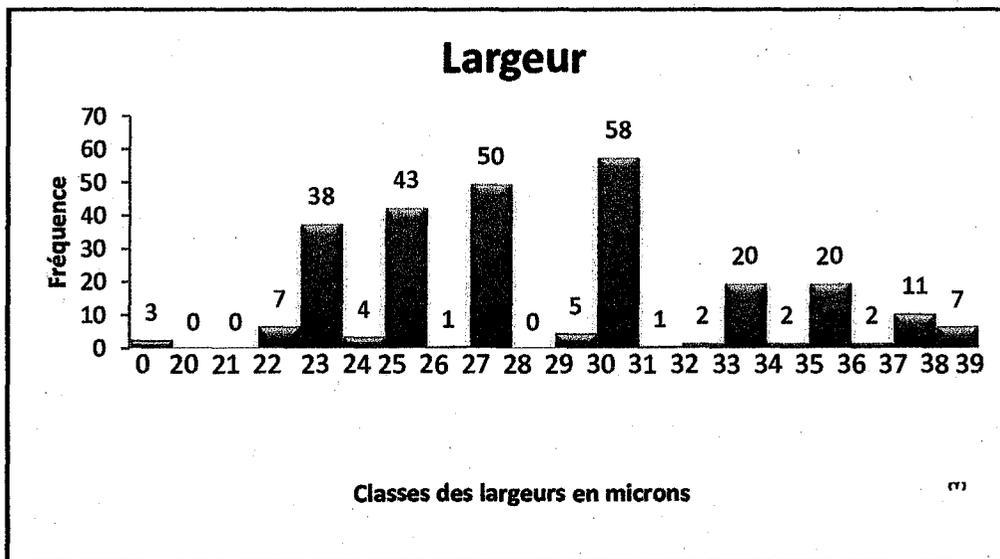
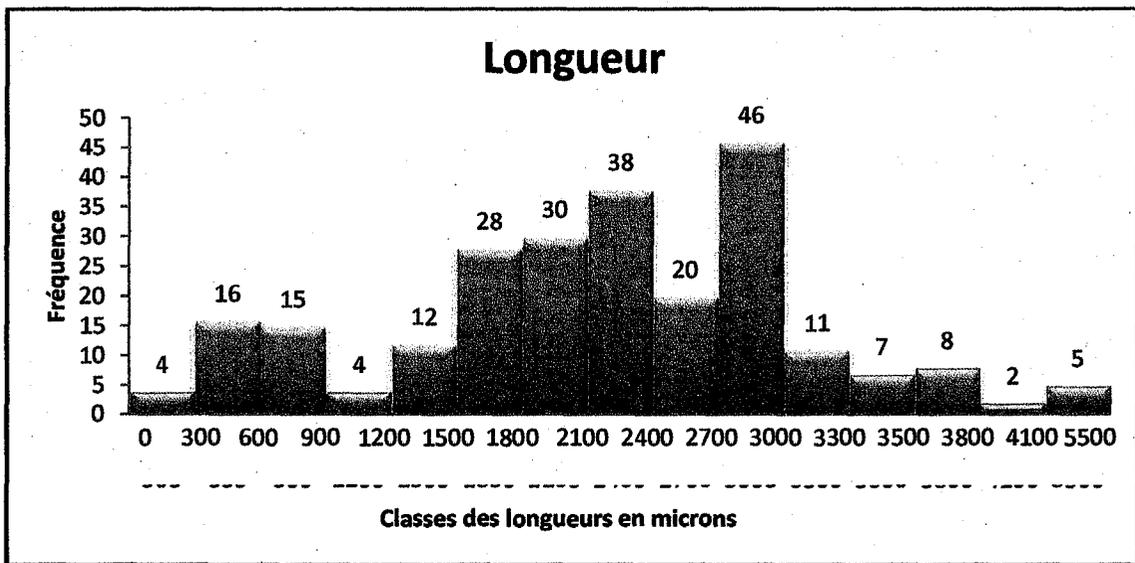


Figure 13 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres de Pinus pinaster adulte

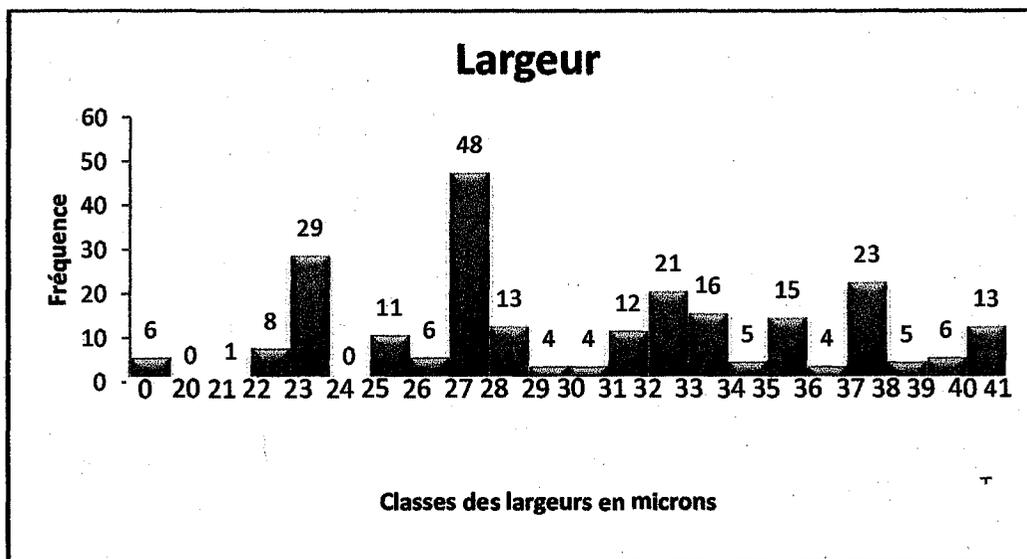
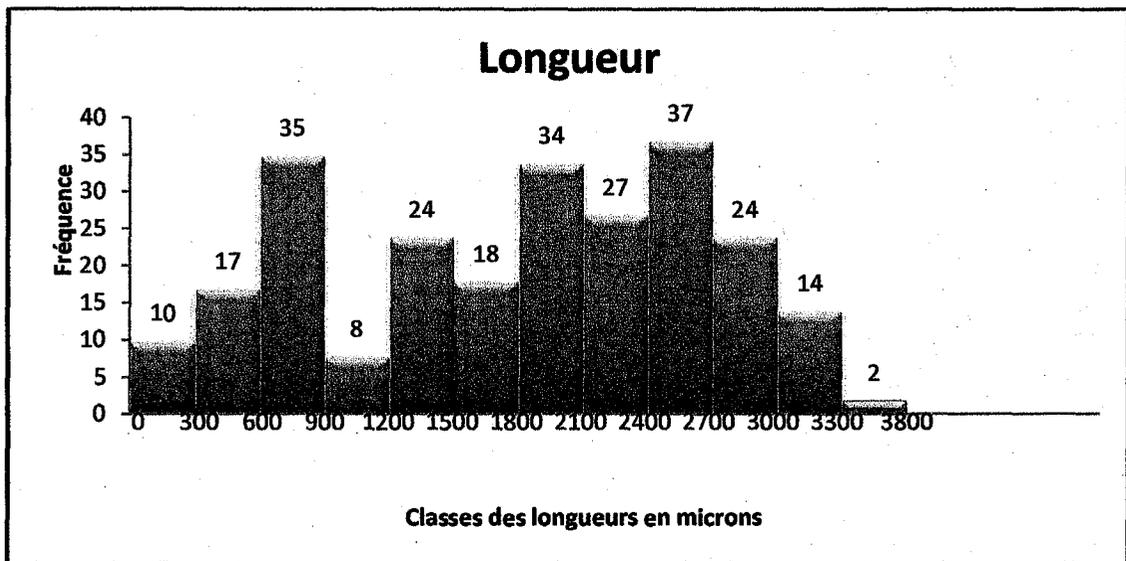


Figure 14 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres de Pinus Halepensis jeune

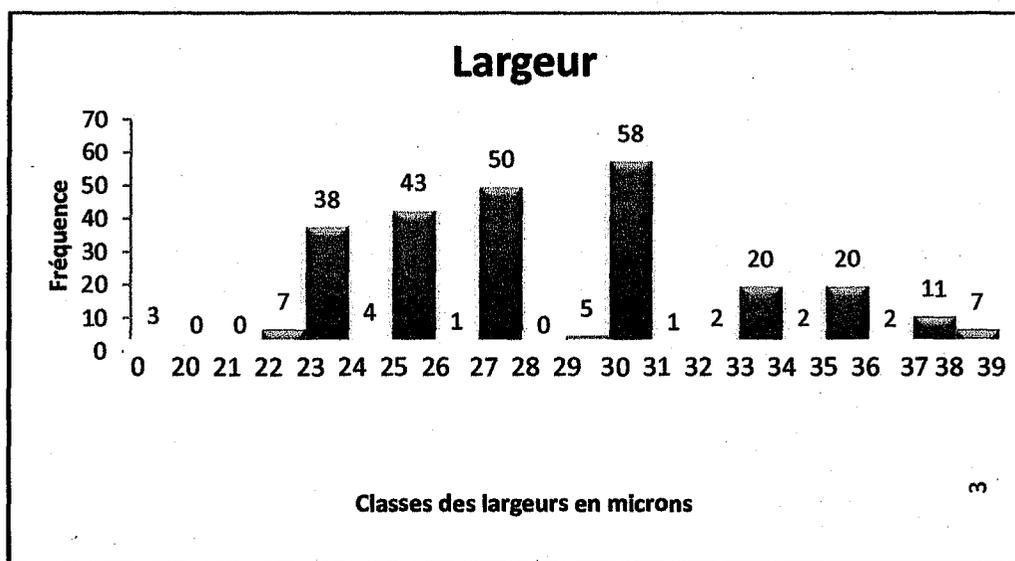
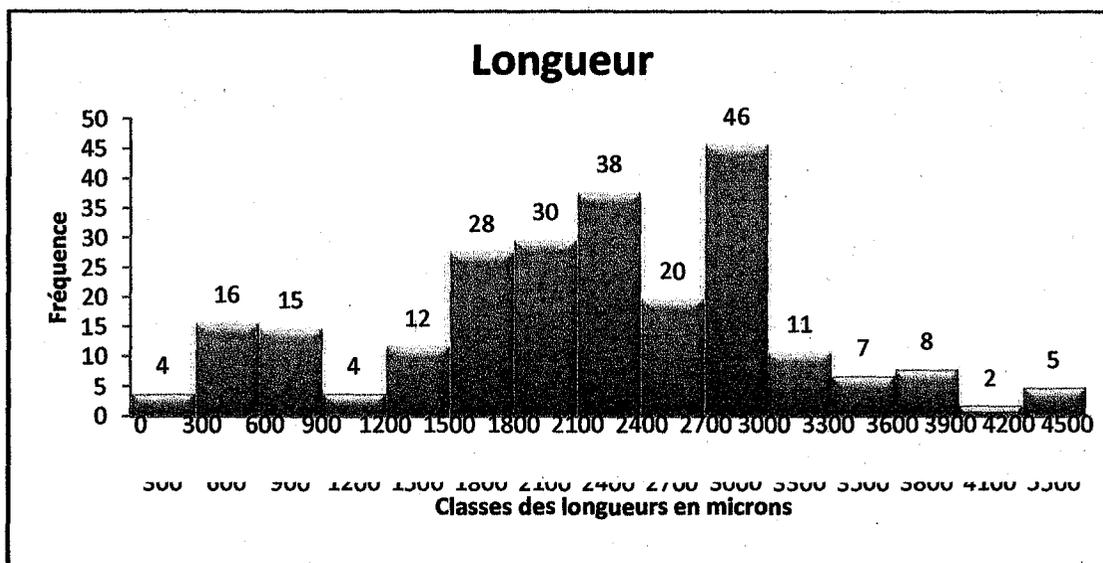


Figure 15 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres de Pinus Halepensis adulte

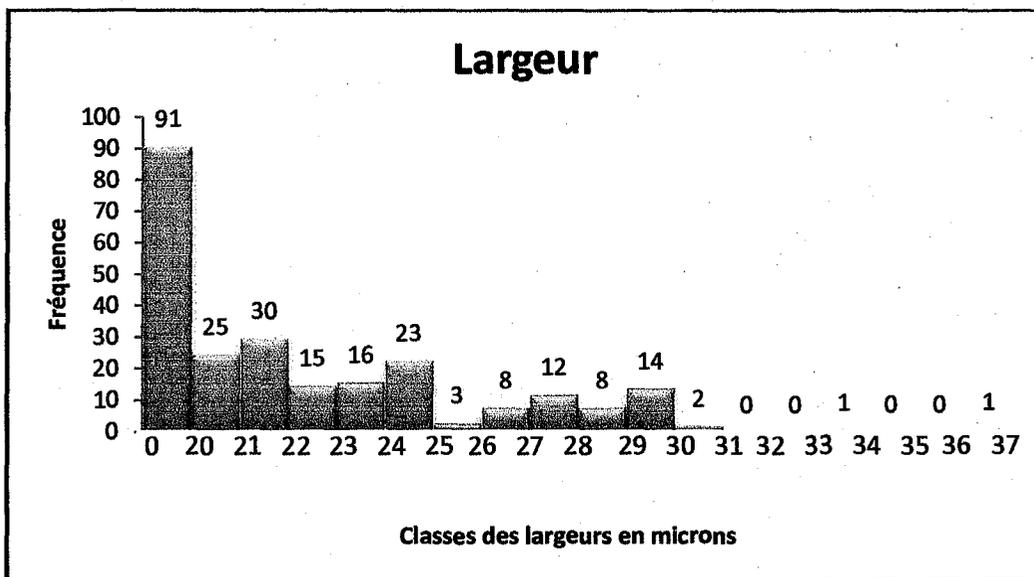
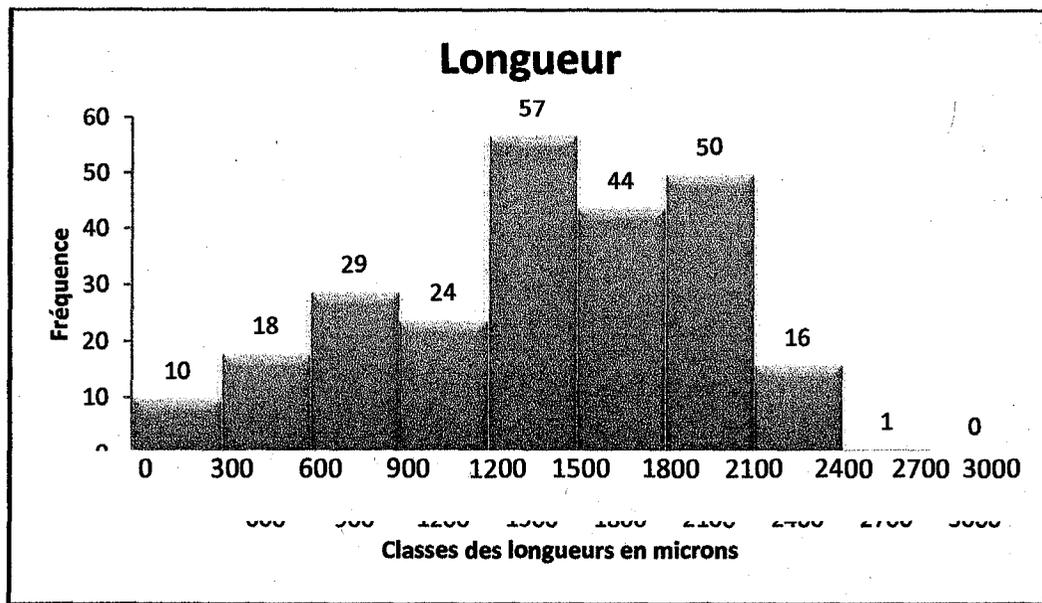


Figure 16 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres du génévrier de phoenicie jeune

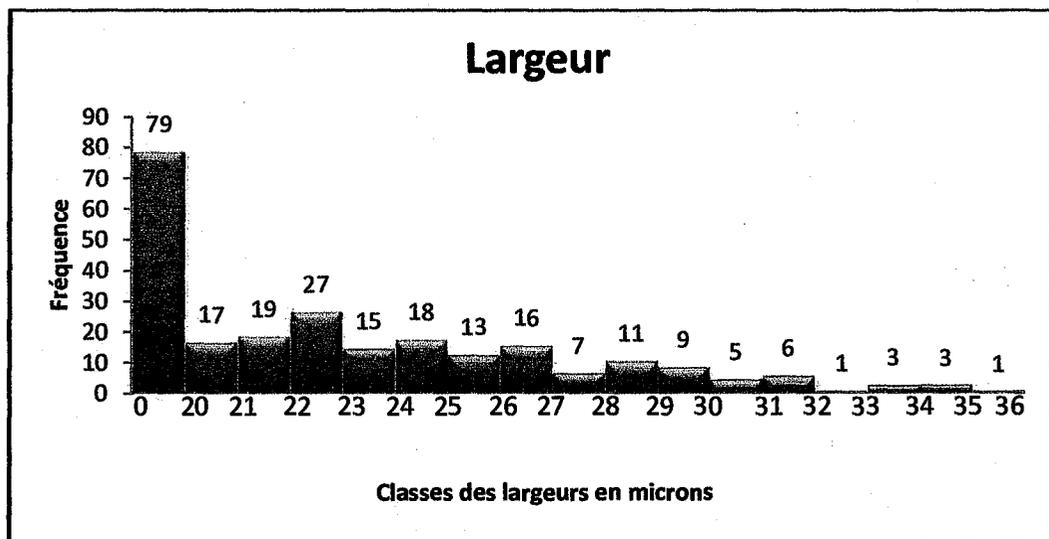
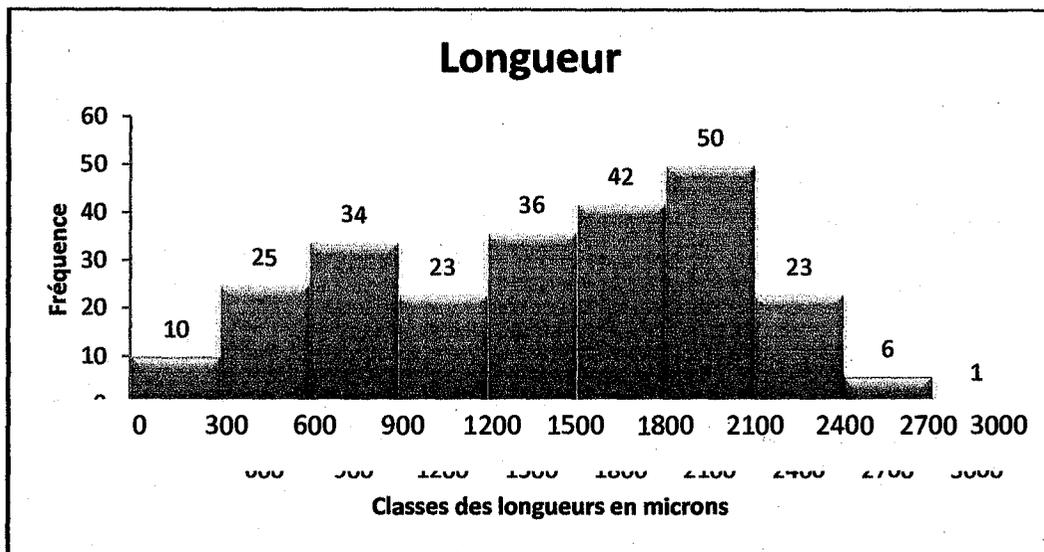


Figure 17 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres du genévrier de phoenicie adulte

L'accroissement de la consommation du bois et du papier en Algérie engendrera inévitablement l'exploitation et une extension de la gamme des essences qui pourraient être utilisés. Pour ce qui concerne l'industrie cellulosique et papetière de nombreuses pâtes de feuillues existent sur le marché international.

En Algérie l'orientation de l'industrie cellulosique et papetière vers le traitement de bois de taillis ne peut qu'élargir la gamme des bois feuillus utilisée. Si c'est envisageable dans un avenir proche l'exploitation des bois feuillus comme : (Eucalyptus, Populus, Ulmus, Alnus, Fraxinus, Quercus,...) en dehors des résineux, ce n'est plus 2 ou 3 essences, mais 1 ou 2 dizaines de variétés de bois ou de pâte de bois qui seront alors proposées à nos industriels papetiers.

Si l'on se reporte au nombre et à l'importance des études qui ont déjà été effectuées pour juger de la qualité et des possibilités d'emplois des bois actuellement utilisés en Europe, on entrevoit l'ampleur de la tâche à entreprendre en Algérie afin d'étendre les recherches à une matière première diversifiée.

Il est donc souhaitable, pour faciliter la tâche des recherches, de disposer de tests relativement simples permettant de définir des groupes de bois de caractéristiques voisines.

Il est difficile de se prononcer sur la nature de ces tests qui peuvent être d'ordre physique, chimique ou autre. En fait l'établissement de corrélation entre certaines propriétés des bois et les propriétés correspondantes des pâtes intéresse depuis longtemps le forestier et le papetier.

L'étude de ces relations n'est pas nouvelle. On s'est depuis longtemps aperçu que la longueur de fibres jouait un rôle important et semblait liée à la qualité des pâtes. On a donc fait en conséquence une distinction entre fibres longues et fibres courtes et partant de là fibres de bois résineux et celles de bois feuillus.

Mais si la longueur des fibres reste importante, elle est insuffisante pour expliquer toutes les variations de qualité d'une série de pâtes données. C'est ainsi qu'on a essayé de tirer parti de toutes les dimensions des fibres, à savoir : longueur- largeur- épaisseur des parois- largeur de lumen.

C'est pourquoi nous avons proposé comme l'on fait plusieurs auteurs avant nous, des coefficients faisant intervenir simultanément plusieurs dimensions (CHIAVERINA, 1966; PETROFF, 1961 ; RUNKEL, 1952).

Ces auteurs et bien d'autres encore ont insisté sur les possibilités d'existence d'une corrélation entre divers caractéristiques morphologiques des fibres de bois et certains propriétés papetières.

Il ne semble pas cependant que l'on ait réussi à déterminer une relation ne souffrant d'aucune exception.

D'un point de vue théorique, il est logique d'admettre que la forme et les dimensions des fibres jouent un rôle important au cours de la formation d'une feuille de papier et influent sur les caractéristiques de celles-ci.

La force de liaison entre deux fibres en contact peut être d'ordre chimique, par exemple liée à la teneur en hémicellulose ou à la présence de certains groupements fonctionnels. Elle peut être de nature physico-chimique ou physique (Théorie des ponts d'hydrogène).

Mais nous pensons que quelque soit la nature de la liaison inter-fibres pour deux fibres données la force de liaison qui les retient l'une à l'autre doit en principe être proportionnelle à la surface de contact. La nature et les dimensions des fibres cellulosiques, bien qu'insuffisantes pour expliquer toutes les propriétés d'une pâte ou d'un papier doivent donc être prises en considération car elles jouent un rôle très important.

Du point de vue pratique, les problèmes qui se posent sont plus complexes car le papier n'est pas uniquement composé de fibres, mais il peut contenir également (suivant le procédé d'obtention de pâte) tous les éléments qui confèrent au bois sa structure : cellules parenchymateuses, rayons, vaisseaux ...). Les pourcentages respectifs de ces différents éléments varient considérablement d'une essence à l'autre, conjugués à la présence de fibres courtes ou raccourcies dans une pâte, ils lui confèrent des propriétés particulières. Dans notre travail nous considérons comme fibres courtes, celles qui ont moins de 0.5 mm de longueur.

Nous n'avons pas mesuré les dimensions des éléments accessoires contenus dans les pâtes tels que les vaisseaux et comme nous l'avons expliqué plus haut leur présence pourrait expliquer certaines anomalies. Les coefficients de RUNKEL utilisé dans notre travail se rapportent uniquement aux fibres elles mêmes.

Relations entre le coefficient de souplesse et le coefficient de feutrage :

Nous n'avons pas trouvé de relation entre le coefficient de souplesse et le coefficient de feutrage.

En principe rien n'indique qu'il existe une relation entre le coefficient de souplesse et le coefficient de feutrage.

En effet une fibre peut théoriquement avoir n'importe quelle longueur associée avec n'importe quelle largeur de fibres ou de parois.

III.6.4 Conclusion :

Nous avons tenté de valoriser des espèces du matorral méditerranéen algérien par la production de pâte à papier tel est le cas de *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* et de *Juniperus phoenicea* par rapport aux usages habituels (*Quercus ilex*) qui est employé comme bois de feu, fabrication de charbon de bois ou utilisé dans la petite menuiserie pour la fabrication de manchons d'outils.

Cette possibilité d'utiliser ses espèces dans l'industrie cellulosique algérienne n'a jamais été envisagée à notre connaissance.

Toutes les espèces végétales et particulièrement les essences forestières qui occuperaient des superficies importantes en Algérie (cas du chêne vert du chêne Zeen et du chêne kermes) mériteraient d'être testées et valorisées afin de leur trouver un débouché économique, car : **"une forêt qui n'a pas de débouché économique, n'est ni traitée ni exploitée laissée à l'abandon, elle meurt"**.

Ce travail suggère d'aménager la surface forestière occupée par *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* afin d'augmenter la biomasse ligneuse et servir de matière première au moins d'appoint en tant que fibres courtes pour la fabrication de papier.

Parmi les essences étudiées, il nous semble que le genévrier de phoenicie doit être écarté pour son rendement et une longueur moyenne des fibres faibles pour un résineux.

Se basant sur les caractéristiques morphologiques des fibres il est permis de dire que le genévrier n'est pas une espèce recommandable pour la papeterie. Par contre nous estimons que le chêne vert et les peupliers étudiés ont des rendements et des fibres qui présentent toutes les caractéristiques d'une bonne pâte et partant de là de bon papier, les fibres de peupliers particulièrement sont comparables aux fibres de résineux.

Nous remarquons qu'en général les fibres de bois feuillus algériens sont plus courtes et moins larges par rapport aux fibres de résineux à l'exception des peupliers qui eux ressembleraient aux résineux et du genévrier qui lui s'apparente avec les bois feuillus.

A ces propriétés conventionnelles des fibres, il manque les caractéristiques physicomécaniques des papiers que l'on pourrait obtenir après les divers traitements appliqués aux pâtes.

C'est l'objet de cette deuxième partie. Si les espèces résineuses sont connues pour avoir des fibres ayant une aptitude papetière très intéressante, il n'en va pas de même pour les bois feuillus algériens.

Parmi ces derniers, il y a ceux qui ont un rôle économique très important à jouer par la qualité de la fibre qu'ils offrent et/ ou par la superficie forestière qu'ils occupent.

Le chêne vert (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia*) et les peupliers (*Populus alba* var *hickeliana* et *Populus nigra* L cv. "Thevestina" DODE) pourraient constituer une source de matière fibreuse papetière.

Dans cette partie nous essayons de voir le comportement de ces bois par un procédé classique le procédé dit au sulfate ayant comme agents actifs la soude et le sulfure de sodium aux fins de préparation de pâtes Kraft.

La fabrication des pâtes cellulósiques, est liée à une production de matières premières fibreuses de rendement assez élevé et une bonne tenue des fibres, à partir de végétaux de différentes espèces comme :

- Le bois d'essence forestière,
- Les végétaux pérennes comme l'alfa et le sparte,
- Le bois d'exploitation des forêts (première et deuxième éclaircie),
- Les chutes de bois de l'industrie (dosses, délignures, copeaux,.....),
- Les déchets agricoles comme : la paille, le roseau, les bagasses de canne à sucre.....

Ce large éventail de matières premières cellulósiques montre des différences non négligeables, aussi bien dans le rendement brut cellulósique des fibres, leurs longueurs, largeurs et partant de là leurs aptitudes à donner des papiers de qualité.

L'Algérie utilise comme matière première l'alfa et la paille dans l'industrie cellulósique et papetière. La dégradation des zones alfatières dues à une surexploitation ces cinq dernières décades fait que l'industrie cellulósique algérienne n'arrive pas à s'approvisionner en ces matières. Elle doit s'orienter vers un traitement énergique de bois de taillis et de son amélioration pour élargir la gamme de bois utilisés. L'industrie cellulósique algérienne doit envisager dans un avenir proche l'exploitation d'essences feuillues et ce ne sera plus une pâte spécifique mais quelques variétés de pâtes de bois qui seront alors proposées aux industriels papetiers algériens.

De nos jours, le rôle économique et social de la forêt algérienne s'affirme de plus en plus. L'évolution régressive des formations évoluant vers des matorrals et parfois vers une dégradation apparemment irréversible dans les cas extrêmes à fait prendre conscience de la gravité de la situation forestière.

Si la forêt algérienne se doit au premier examen d'être reconstituée sur de solides bases écologiques pour être à même de jouer son rôle de protection et de régulation du régime des

eaux, il ne faut pas perdre de vue sa finalité économique et sociale de production 'l'avenir de la forêt dépend de l'avenir de l'industrie du bois en général'.

Le traitement des forêts algériennes doit prendre tout son sens, tout comme l'exploitation et la mise en œuvre industrielle des ressources ligneuses produites dans un esprit de gestion durable des écosystèmes.

Parallèlement les efforts doivent aussi être déployés en direction des reboisements à l'aide d'espèces introduites ayant au préalable fait leur preuve.

En l'absence de résultats actualisés d'un inventaire national forestier les diverses essences naturelles d'intérêt économique occuperaient 1.181.000 hectares sur une superficie totale occupée par les essences forestières de 2180000 hectares et réparties comme suit (LETREUC BELAROUCI, 1991).

- **Résineux**

Pin d'Alep	792000 ha
Genévrier	277000 ha
Pin maritime	12000 ha
Cèdre	23000 ha
Thuya	143000 ha
Total résineux	124700 ha

- **Feuillus**

Chêne vert	354 000 ha
Chêne liège	468 000 ha
Chêne Zeen et afarès	65 000 ha
Chêne kermes	46 000 ha
Total feuillus	933 000 ha

A ceci il faudrait rajouter 2 millions de maquis et broussailles de sorte que l'effort de mise en valeur des peuplements forestiers devrait porter sur plus de 4 millions d'hectares. La tâche est immense et le marché algérien du bois est tributaire dans sa quasi-totalité des importations.

Il en est de même concernant les industries de la cellulose et du papier. Dans ce contexte la satisfaction relative des besoins du pays nécessite la mobilisation de tout le

potentiel de production forestier et des études très poussées des aménagements et des essences dans tous les domaines de la science.

Dans le but d'une évaluation papetière de *Quercus ilex* ssp *rotundifolia*, *Populus alba* var *hickeliana*, *Populus nigra* L. cv. "Thevestina" Dode, nous avons utilisé des micro-cuissons papetières qui permet de traiter des petits échantillons de bois voisins de quelques grammes à l'état anhydre dans des micro-lessiveurs en appliquant le procédé de cuisson Kraft.

Le plus ancien procédé d'obtention de pâtes cellulósiques à partir de végétaux utilise la soude (NaOH) en milieu aqueux comme agent actif. Les pâtes obtenues avec des rendements faibles présentent des caractéristiques physiques médiocres. Depuis quelques décades, le progrès le plus spectaculaire a été la découverte du procédé Kraft ou procédé au sulfate utilisant la soude et le sulfure de sodium qui paraît être jusqu'à nos jours le procédé universel de fabrication de pâte chimique (CHENE et ROBERT, 1968 ; LACHENAL ET DECHOUDENS, 1979 et 1980 ; LACHENAL, AITKEN et al, 1983).

Notre choix a été porté sur procédé Kraft par rapport au procédé à la soude seul, car d'après ces auteurs, les rendements et les caractéristiques mécaniques des pâtes sont améliorés. Le procédé Kraft présente l'avantage d'être applicable à tous les végétaux et nécessite un temps de cuisson relativement court (45 à 90 minutes) en palier de température.

Malgré les problèmes de pollution, qu'il pose le procédé au sulfate reste cependant encore le plus utilisé dans l'industrie papetière.

Cependant pour les bois algériens aucune donnée précise relative à ce type de délignification n'existe dans la littérature.

III.7 Micro-cuissons, Macro-cuissons par le procédé Kraft à la soude et au sulfure de sodium :

III.7.1 Matériel et Méthodes.

III.7.1.1 Matériel végétal :

Dans ce travail, nous avons utilisé des tiges de 10 à 25 cm de diamètre respectivement pour les trois essences forestières suivantes : le chêne vert (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia*), peuplier noir (*Populus nigra* L. cv. "Thevestina" Dode) et peuplier blanc (*Populus alba* var *hickeliana*) ayant respectivement pour âge 10, 20 et 35 ans.

Les tiges ont été découpées en disques de 4 cm d'épaisseur (en section transversale) puis chaque disque est débité à l'aide d'un massicot dans le sens du fil du bois, en lamelles de 4 mm d'épaisseur. Chaque lamelle est alors divisée en allumettes parallélépipédiques de 4mm

de côté (voir fig. 3 et photographie 3), cette épaisseur régulière des échantillons est nécessaire pour assurer leur homogénéité et pour comparer les résultats obtenus.

III.7.1.2 Micro-cuissons papetières :

Le procédé de cuisson mis en œuvre pour l'évaluation papetière de ces espèces est le procédé Kraft. Les cuissons papetières ont été réalisées dans deux types de lessiveurs.

En ce qui concerne les micro-cuissons, ils consistent en un système de six autoclaves d'une capacité de 1 litre chacun, chauffés électriquement, la température de délignification choisie étant régulée automatiquement.

La vitesse de montée en température dans chacun des autoclaves peut être programmée.

Ce système a été utilisé dans l'étude de la cinétique de délignification en vue de déterminer le temps optimale des différentes cuissons sachant que les autres conditions (alcali affective, hydro module, temps de montée en température, température de palier, quantité de bois) sont restées constantes (voir photographie 1).

III.7.1.3 Macro-cuissons papetières :

Le deuxième système consiste en un lessiveur rotatif de 25 litres, chauffé électriquement et dont la température est réglée manuellement.

Ce système a été utilisé, après avoir optimisé le temps de délignification par le premier système, afin d'obtenir une quantité suffisante de pâte pour fabriquer des papiers et étudier leurs caractéristiques physico-mécaniques.

La pâte obtenue après cuisson par le deuxième système est défibrée dans un appareil du type Sprout-WALDRON muni de deux disques dont l'écartement est réglable après un lavage abondant de la pâte sur tamis, le rendement de la cuisson est alors déterminé par mesure de la concentration de la pâte mise en suspension (voir annexe 27, 28, 29, 30 et 31). La pâte est ensuite classée dans un classeur à fente Weeverk (voir photo 2) doté d'une grille de 15/100 mm puis mise à sécher sur claie, après l'avoir recueillie sur un tamis doté d'une toile à ouverture de maille de 90 microns.

III.7.1.4 Conditions expérimentales de cuisson :

Les micro-cuissons sont réalisées dans des autoclaves dont la température est contrôlée automatiquement pendant toute la cuisson.

La masse de bois comptée sèche est de 30 grammes.

Les conditions appliquées pour une cuisson Kraft sont les suivantes :

→ Paramètres constants :

- Température du palier de cuisson = 165°C
- Rapport liqueur sur bois : L/B = 20

- Temps de montée en température =90 minutes
- Quantité de bois comptée sèche dans chaque cuisson=30 grammes

$$\text{Sulfidité} = \frac{Na_2S}{NaOH + Na_2S} \times 100 = 25\%$$

- Alkali effectif = $NaOH + \frac{1}{2} Na_2S = 25g/l$

→ Paramètre variable

- Durée de palier en minutes: 0, 15, 30, 45, 60 et 90.

En ce qui concerne les macro-cuissons les paramètres constants, sont la quantité de bois sec utilisée 899 grammes et ceci pour chaque espèce.

Le temps de cuisson en palier pour les trois espèces a été arrêté à partir des cinétiques de délignification en micro-cuisson (les calculs des quantités de soude et de sulfure de sodium figurent en annexes 18 et 19).

III. 8 Caractérisation des pâtes :

Les pâtes ont été caractérisées par les indices papetiers suivants :

III.8.1 Rendement brut :

Le rendement de la cuisson qui pour un traitement donné, est le rapport du poids de fibres anhydres au poids de bois anhydre constitue un indice de qualité pour les essences papetières, car pour une même biomasse récoltée, un rendement plus élevé signifie une production accrue de pâte à papier. Il est exprimé comme suit :

$$\text{Rendement brut \%} = \frac{\text{Poids de fibres anhydres obtenu}}{\text{Poids de bois anhydres utilisé}} \times 100$$

III.8.2 Indice kappa :

Cet indice correspond au volume de solution de permanganate de potassium ($KMnO_4$) N/10 réduite par un gramme de pâte anhydre.

L'indice kappa donne une indication de la teneur en lignine restante dans une pâte cellulosique. Il est déterminé sur la pâte classée au Weeverk.

III.8.3 Morphologie des fibres :

L'observation en continu des suspensions fibreuses grâce à un dispositif optique développé au centre technique du papier à Grenoble permet l'évaluation de la longueur des éléments fibreux de leur largeur de leur forme et de leur état de fibrillation éventuel.

Dans cet étude, nous avons caractérisé les longueurs et largeurs de fibres avec l'appareil le (P.Q.M.1000) qui permet à travers un écoulement capillaire d'une suspension fibreuse très

diluée, d'obtenir une répartition des fibres, une à une dans plusieurs classes de longueur (L_i) (PETIT-CONIL, 1999 ; RIOUX, 1988,).

La longueur moyenne tenant compte du nombre de fibres par classe de longueur est donnée par l'expression suivante :

$$\bar{L} = \frac{\sum n_i L_i}{\sum n_i}$$

n_i : nombre de fibres/classe de longueur

L_i : Longueur moyenne de la classe

La caractérisation des fibres papetières est devenue d'une importance primordiale pour comprendre les procédés papetiers et l'obtention de pâte chimique, mi-chimique ou mécanique.

Les dimensions des fibres longueur et largeur au moins sont importantes pour l'industrie papetière.

En effet comment peut-on distinguer entre deux pâtes chimiques, si ce n'est par les caractéristiques des fibres et donc leurs dimensions, leur comportement en raffinage et à la formation de la feuille.

A priori, nous avons vu par la méthode précédente à l'aide d'un micromètre oculaire permettant de déterminer ces propriétés, qu'elle était fastidieuse, lente, dépendait des modes opératoires nécessitant de la minutie et ne donnait pas une interprétation très satisfaisante.

De nombreux appareils sont apparus ces trois dernières décades. Ils permettent de contrôler en continu les procédés de fabrication de la pâte et du papier parmi ces appareils citons : le Pulp Quality monitor 1000 (PQM 1000) de SUNDS, le MORFE (PQM 1000) du centre technique du papier à Grenoble, le KADJANI de l'école française de papèterie à Grenoble, le CYBERDRAINAGE et FREENESS Analyzer commercialisés par CYBERMETRICS, le CYBERFLEX, le CYBER BOND.....etc.

Le PQM 1000 est un analyseur de laboratoire basé sur l'analyse d'images. Il permet d'accéder aux caractéristiques des fibres et qui sont :

- Le poids de l'échantillon en grammes.
- Nombre de fibres analysées.
- La longueur moyenne des fibres en mm.
- La largeur moyenne des fibres en microns.
- La masse linéique moyenne en mg/m, distribution continue de la longueur de fibre.
- Cinq fractions de fibres.

→ *Principe de la mesure*

La suspension fibreuse est analysée à travers une cellule de verre de 10 x 5mm illuminée par un faisceau laser émis par une diode couplée à une série de lentilles collimatrices. Les fibres passant à travers les faisceaux lumineux sont projetées sur une caméra linéaire placée à l'opposé de la source lumineuse. L'analyse des images des fibres est utilisée pour déterminer la taille et l'allure de ces éléments en suspension.

III.8.4 Masse linéique des fibres ou quantité de matière par unité de longueur en mg/m :

Cette mesure se fait habituellement en mesurant la longueur projetée d'un poids de fibres connu ou bien il suffit de mesurer la longueur moyenne et le nombre de fibres N d'une suspension de concentration déterminée, puis de diviser le poids par N x L pour obtenir la masse linéique la masse linéique est donnée par la formule :

$$m.l = \frac{M}{N.L}$$

m.l : masse linéique en mg/m

M : Masse connue de fibres

N : Nombre de fibres analysées

L : Longueur moyenne arithmétique des fibres en mm

III.8.5 Indice de feutrage :

L'indice de feutrage est le rapport entre la longueur moyenne et la largeur moyenne des fibres, il exprime le pouvoir des fibres de se compresser et de se serrer les unes contre les autres. L'indice de feutrage n'étant pas normalisé, il est nécessaire de préciser toujours le mode de calcul

$$\text{Indice de feutrage } I.F. = \frac{\bar{L}}{\bar{l}}$$

III.8.6 Résistance intrinsèque des fibres ou longueur de rupture L_{R0} à mâchoires jointives :

La mesure de la longueur de rupture (L_{R0}) est une indication de la résistance intrinsèque des fibres. Elle est mesurée à l'aide de l'appareil de traction à mâchoires jointives « Pulmac » et exprimée en mètre. Les tests sont effectués sur des échantillons de feuille de papier dont les résultats des différents essais figurent en annexe 26.

III.9 Résultats et discussion :

III.9.1 Etude de la délignification :

L'étude de la cinétique de délignification des différents bois a permis d'obtenir les résultats regroupés dans le tableau 25.

Le but des cuissons effectuées étant d'obtenir des pâtes cellulósiques avec une délignification forte et présentant des caractéristiques physiques entre autres un rendement acceptable.

L'indice kappa (I.K) permet de suivre la délignification, il est d'autant plus faible que la délignification est importante.

L'étude de la délignification des trois bois illustrée par le graphique (figure 18) :

$\ln(IK.R) = f(t)$ peut être assimilée après la phase de montée en température à la succession de 2 lois d'ordre 1 principale et finale.

Tableau 25 : Caractéristiques des pâtes et des fibres des bois algériens issues de micro-cuissons Kraft

Espèces	Paramètres								
	Temps de cuisson mn	Rendement après classage %	Indice Kappa	Ln IK x rendement	L mm	l microns	Indice de feutrage	Masse linéique mg/m	% des fines fibres <0.5 mm
Populus Alba var hickeliana	0	57,5	77,2	3,8					
	15	56,2	50,8	3,4					
	30	52,6	30,9	2,8					
	45	49,9	23,7	2,5	1,22	21,5	56,7	0,145	10,0
	60	45,1	18,9	2,1	1,20	23,3	51,5	0,124	11,8
	90	44,8	15,4	1,9	1,15	23,5	49,0	0,130	13,6
Populus nigra cv. "Thevestina" Dode	0	59,1	71,8	3,7					
	15	56,5	54,4	3,4					
	30	52,7	31,7	2,8					
	45	47,0	23,6	2,4	1,44	21,9	66,0	0,168	11,6
	60	44,1	15,6	2,0	1,38	21,7	64,0	0,151	11,6
	90	42,7	16,1	1,9	1,44	21,6	67,0	0,157	10,0
Quercus ilex ssp rotundifolia	0	62,5	53,6	3,5					
	15	60,4	37,5	3,1					
	30	55,5	24,7	2,6					
	45	50,5	22,0	2,4	1,17	23,4	50,0	0,116	13
	60	46,2	14,2	1,9	1,14	23,7	48,1	0,114	14
	90	45,5	13,9	1,8	1,14	23,9	47,7	0,114	14

Tableau 26 Caractéristiques des pâtes de bois algériens issues de macro- cuissons Kraft

Caractéristiques des pâtes Nom botanique	Rendement de cuisson (%)	Indice Kappa
Quercus ilex ssp rotundifolia	47,5	16,3
Populus alba var hickeliana	46,8	17,9
Populus nigra cv. "Thevestina" Dode	45,1	15,8

Le point de transition situé entre la délignification principale et la délignification finale correspond à l'optimum où les pâtes possèdent les meilleures caractéristiques mécaniques possibles et peuvent se blanchir facilement.

L'optimum du temps de cuisson en palier pour les trois espèces semble correspondre au temps de 60 minutes, soit un total de cuisson de 150 minutes.

La délignification du bois en milieu alcalin comporte trois phases avec des cinétiques nettement différentes.

La première phase de délignification dite initiale : elle correspond à celle de la diffusion des produits actifs à l'intérieur de la structure du bois et son gonflement. L'élimination de la lignine se produit à partir d'une température de 100°C dans la phase de montée en température. Elle conduit à l'élimination de 20% de lignine. Cette étape n'est pas représentée sur nos courbes.

La deuxième phase dite principale : cette étape prend place dès que le palier de température est atteint. Pendant cette phase 70 à 75% de lignines initiales sont extraites.

La sélectivité pour la délignification atteint son maximum pendant cette phase.

La troisième phase correspond à une délignification lente ou délignification finale, elle intervient lorsque plus de 90% de lignines totales ont été extraites.

La figure 18 fait ressortir que les bois étudiés se délignifient aisément avec des conditions modérées de temps de cuisson.

Il apparaît aussi pour les trois bois étudiés des caractéristiques communes assez singulières.

L'influence de ce paramètre reste d'une grande importance. En effet la délignification est importante durant le temps de palier.

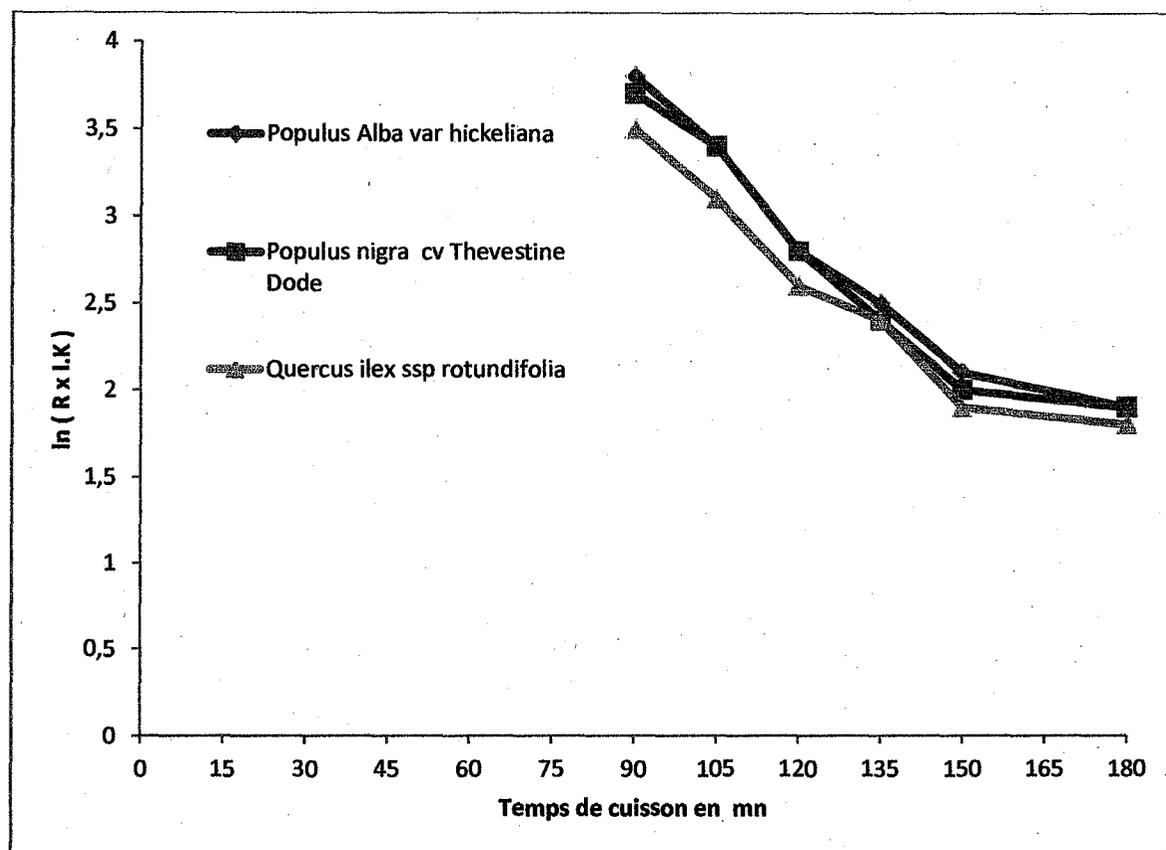


Fig. 18 : Populus alba, Populus nigra, Quercus rotundifolia $\ln(R \times I.K)$ = fonction du temps phase de délignification principale.

Ainsi nous constatons que pour un alcali effectif de 25 g/l et une température de palier de 165 °C, l'indice kappa pour les trois espèces respectives (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia*, *Populus nigra* L cv. « Thevestina » Dode, *Populus alba* var *hickeliana*) varie entre zéro et quatre vingt dix minutes de palier de (40 points, 55 points et 62 points)

Il ressort que le chêne vert se délignifie plus facilement que le peuplier noir et le peuplier blanc.

Les trois espèces étudiées présentent un comportement très intéressant pour l'industrie papetière, l'indice Kappa étant inférieur à 20 pour les trois espèces

Le rendement le plus élevé est noté dans le cas du chêne vert dont le bois est lourd par rapport aux bois de peupliers.

A priori ceci est logique dans la mesure où un bois léger se laisse difficilement imprégner par la liqueur de cuisson l'exemple de *Quercus rotundifolia* est très révélateur comparé aux peupliers connus pour être des bois légers.

Une étude bibliographique comparative concernant les cinétiques de délignification et des caractéristiques physiques des pâtes avec nos résultats n'est possible et n'aura de sens que si les bois sont traités par les mêmes procédés et dans des conditions de cuisson identiques ou bien alors étudier des pâtes issues de bois différents et ayant un même degré de délignification.

Dans nos recherches bibliographiques nous n'avons pas trouvé des pâtes issues de bois algériens ayant subi les mêmes conditions expérimentales que nos délignifications.

Dans le procédé kraft, les fibres sont libérées dans l'opération de cuisson par dissolution de la lignine et d'une partie des hémicelluloses dans la solution chimique de cuisson, qui contient de l'hydroxyde de sodium et du sulfure de sodium comme produits chimiques actifs.

L'opération de cuisson est exécutée dans des lessiveurs, où la cuisson se fait à température de palier élevée et constante, sous une pression élevée et à des temps de cuisson variables.

Lorsque le temps de cuisson souhaité est atteint nous dosons la teneur de lignine résiduelle qui est mesurée entant qu'indice Kappa.

D'après UHLMANN, (1991), on peut déterminer approximativement la quantité de lignine qui reste dans la pâte en multipliant l'indice Kappa par le facteur 0.165. D'après toujours le même auteur pour les bois feuillus l'indice Kappa peut être de 14 à 22.

L'indice, Kappa est le volume permanganate réduit par une quantité de pâte anhydre. Il est directement lié au taux de lignine résiduelle de l'échantillon testé comme le montre la

figure (18bis) et annexe 25, qui font ressortir la relation liant le taux de lignine résiduelle à l'indice Kappa (HATTON, 1975).

Nous remarquons sur la figure la tendance linéaire qui conduit à la relation :

$$\text{Lignine résiduelle \%} = 0.165 \cdot \text{IK}$$

Ce qui est remarquable c'est qu'elle est valable pour les trois espèces d'essences étudiées.

La mesure de l'indice Kappa est un moyen de suivi rapide et efficace des essais de cuisson et de blanchiment, largement utilisé dans l'industrie papetière.

III.9.2 Cuissons optimales :

Afin d'étudier les caractéristiques physico-mécaniques des papiers obtenus, nous avons été amenés à reproduire les trois cuissons de même type sur une plus grande quantité de bois (899 grammes de bois sec, chacun) à l'aide d'un lessiveur rotatif d'une capacité de 25 litres.

Pour chaque espèce de bois, nous avons réalisé une cuisson dite optimale ou les paramètres de cuisson sont identiques à ceux arrêtés en micro-cuisson avec un temps de palier fixé à 60 minutes et qui correspond au temps de défibrage « point de transition » situé entre la phase principale et la phase finale.

Sur les pâtes obtenues, il est effectué la détermination du rendement et l'analyse de l'indice Kappa après classage pour pouvoir faire une comparaison de ces résultats avec ceux obtenus en micro-cuisson au même temps de palier.

Par ailleurs, ces cuissons nous permettaient de disposer d'une plus grande quantité de pâte, ce qui faciliterait l'obtention de papier pour la réalisation des essais physicomécaniques.

Les résultats des rendements et des indices Kappa obtenus en cuisson optimale figurent dans le tableau 26.

En comparant les résultats figurant au tableau 26 avec ceux du tableau 25 au temps de palier de 60 minutes de cuisson, pour les paramètres rendement et indice Kappa, il ressort que les espèces étudiées fournissent des rendements en pâte très différents et sont supérieurs par rapport à ceux obtenus en micro-cuisson avec des indices Kappa très favorable. Les indices kappa ont été calculé suivant la norme (N.FT 12-018) voir annexe 21.

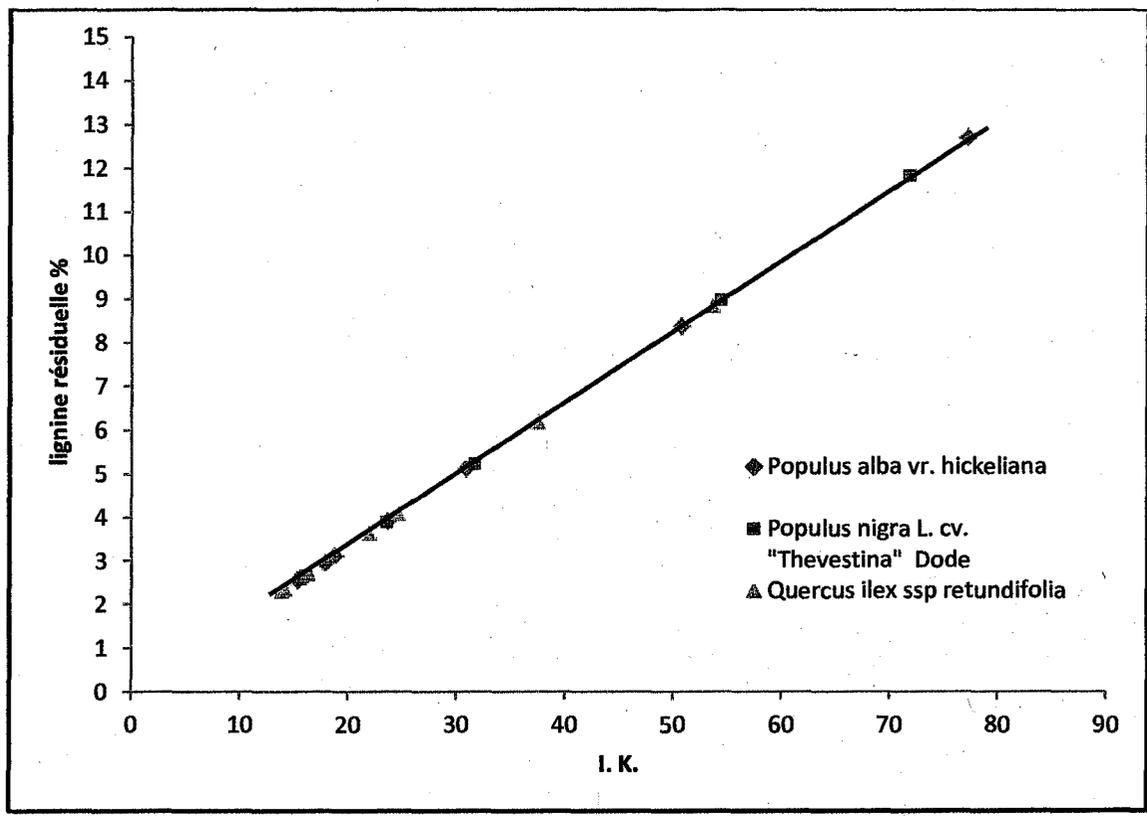


Fig. 18 bis : lignine résiduelle % = 0,165 I.K

III.9.3 Caractéristiques morphologiques des pâtes et indices de qualité :

III.9.3.1 Caractéristiques morphologiques :

Les pâtes de feuillus sont constituées par un mélange en proportion variable de fibres, de vaisseaux, et de cellules parenchymateuses.

La morphologie des fibres de feuillus varie généralement peu d'une pâte à une autre et les fibres d'automne ne se différencient pas de celles de printemps.

Elles sont fusiformes, régulièrement effilées, avec des extrémités arrondies, un lumen généralement large voir photographies 4a et 4b respectivement pour *Populus alba* et *Populus nigra*.

Les fibres n'ont pas de nœuds, mais elles sont caractérisées par quelques plis de flexion peu accusés et de petites ponctuations (visibles particulièrement chez les peupliers). Ces ponctuations formant des communications avec les rayons médullaires ou quelque fois les fibres voisines.

Les fibres du chêne vert sont presque cylindriques, très fines et très courtes ; elles ont des plis de flexion peu marqués (photo 4c). Le lumen très réduit atteint rarement 30% de la largeur des fibres.

La longueur moyenne des fibres de peupliers est comprise généralement entre 1.15-1.44 mm. Leur largeur varie de 21 à 23.5 microns alors que la longueur moyenne des fibres de chêne dépasse rarement 1.17 mm et celles de la largeur moyenne 24 microns (voir tableau 25).

Pour reconnaître les feuillus on fait largement appel aux éléments accessoires, c'est-à-dire les vaisseaux, car les autres cellules ligneuses restant dans les pâtes, généralement rares, n'ont rien de caractéristique.

Chez les peupliers, les vaisseaux ont un appendice marqué, un pore terminale non grillagé, sur ces vaisseaux existent des ponctuations en nids d'abeilles et des fenêtres groupées en plages. Pour certains cultivars de peupliers il peut arriver que le vaisseau n'ait pas de ponctuations.

Les vaisseaux du chêne vert sont à pore terminal non grillagé, avec un appendice bien marqué des ponctuations moyennes, des fenêtres groupées par plages.

Les vaisseaux de peupliers sont plus importants par leurs tailles que ceux du chêne vert.

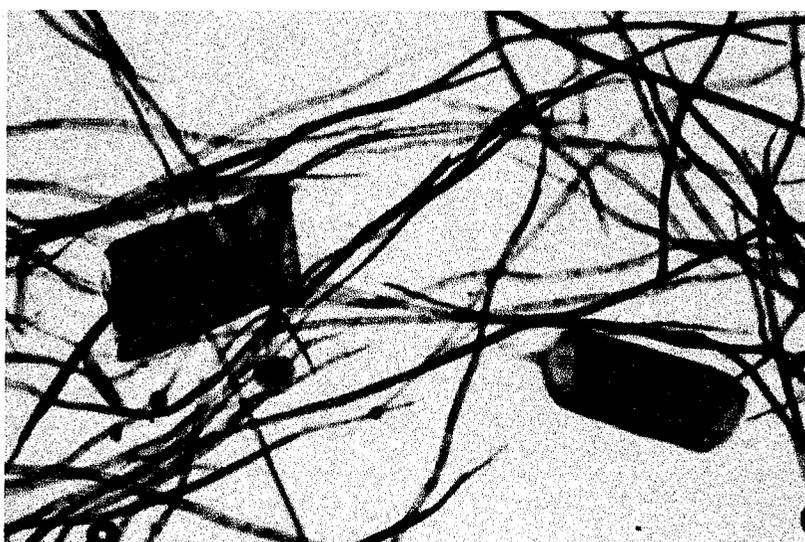
Remarquons la présence de trachéides et de fibres trachéides chez le chêne vert ce qu'on n'a pas observé chez les peupliers (photo 4a et b).



(a)



(b)



(c)

Photo 4 Micro-photos de fibres de :

(a) POPULUS alba vr. Hickeliana (b) POPULUS nigra cv. "Thevestina" Dode

(c) QUERCUS ilex ssp rotundifolia L.

III.9.3.2 Longueur moyenne largeur moyenne et masse linéique des fibres

III.9.3.2.1 Longueur moyenne et largeur moyenne :

La mesure est effectuée habituellement à partir d'un nombre de mesures de 250 fibres au minimum. A cet effet, une partie de la suspension très diluée est déposée entre lame et lamelle et observée à l'aide d'un microscope doté d'un micromètre oculaire qui permet de réaliser la mesure sur chaque fibre suivie individuellement.

La mesure automatique à l'aide du P.QM (1000) fournit des résultats en quelques minutes. Le P.QM (1000) du centre technique du papier permet un gain de temps important et fait ressortir plusieurs paramètres fondamentaux et qui sont :

- La longueur moyenne des fibres en mm
- La largeur moyenne des fibres en microns
- La masse linéique en mg/m
- Le coefficient de souplesse
- Et le nombre de fibres par gramme.

L'analyse de longueurs de fibres permet la détermination de la longueur moyenne des fibres, leur largeur moyenne, ainsi que la distribution des longueurs, ces valeurs sont regroupés au tableau 25 et représentées sur les figures 20,21 et 22 respectivement pour le peuplier blanc , le peuplier noir est le chêne vert pour un temps de cuisson de 60 minutes (pour les temps de cuisson de 45 mn et 90 mn, les distributions de longueur figurent en annexe 32, figures 1 à 9).

Ces figures montrent la répartition de la longueur des fibres analysée et les cinq fractions de fibres et leur pourcentage.

L'analyseur P.Q.M (1000) donne une répartition des 5 fractions de fibres où seule la longueur des fibres intervient.

Deux distributions sont données :

La répartition des 5 populations représentée par le pourcentage du nombre de fibres par classe soit $n_i/\sum n_i$

Et la distribution cumulative qui représente le pourcentage des longueurs de fibres mises bout à bout par classe soit $n_i.L_i / \sum n_i.L_i$

La distribution des longueurs de fibres et les pourcentages par classe font ressortir l'importance de la longueur :

- Dans la mesure d'égouttage ou degré Schopper de raffinage des pâtes (le pourcentage d'éléments fins inférieure ou égal à 0.5 mm)

- Sur les propriétés mécaniques des papiers (pourcentage de fibres longues).

Ces valeurs sont représentées dans le tableau 25 pour les espèces étudiées et sur les figures 20, 21, 22.

Dans le tableau 25 figure aussi les indices de feutrage calculés à partir de la longueur et de la largeur et fait ressortir aussi la prédominance du peuplier noir sur le blanc pour cet indice.

Le coefficient de souplesse calculé par le PQM(1000) est différent du coefficient de souplesse que nous avons utilisé dans la partie « procédé à la soude » que nous avons défini en tenant compte de la largeur moyenne du lumen ou cavité centrale rapportée à la largeur moyenne de la fibre.

Le P.Q.M (1000) mesure à la fois la longueur projetée des fibres (LP) et la longueur réelle (L). Le coefficient de souplesse est défini dans ces conditions comme étant égale à :

$$C.S\% = \left(\frac{L}{L.P} - 1 \right) \times 100$$

Ou L= Longueur réelle en mm.

L.P= Longueur projetée en mm.

C.S= Coefficient de souplesse en %.

Par ailleurs le tableau 25 montre bien que la longueur des fibres varie selon les différents temps de cuisson (45,60 et 90 minutes) pour l'ensemble des espèces étudiées et cette longueur diminue, sachant que la pâte peut subir des séquences de blanchiment et qu'elles peuvent être assimilés à une continuation de la cuisson, il faudrait donc faire attention quant à l'intensité des différentes séquences de blanchiment à appliquer.

Le tableau 25 fait ressortir aussi que les autres caractéristiques telles que largeur et masse linéique varient peu au cours des différents temps de cuisson.

Pour une pâte donnée, plus les fibres sont longues, plus nombreuses sont les liaisons et meilleure sera la résistance à la traction.

III.9.3.2.2 Masse linéique des fibres :

La masse linéique ou quantité de matière par unité de longueur des fibres obtenues à 45, 60 et 90 minutes du temps de palier de cuisson est consignée dans le tableau 25 et représentées sur la figure 19.

Il ressort que la masse linéique traduit l'état de la délignification des pâtes pour une espèce donnée et que les fibres les plus longues ont généralement une masse linéique plus élevée que celle des particules plus courtes.

A l'issue il apparaît que le chêne possède des fibres ayant des longueurs relativement courtes avec un nombre élevé de fibres par gramme par rapport aux deux autres espèces du genre *Populus* (Tableau 27).

Un nombre élevé de fibres courtes à paroi épaisse (cas du chêne) limite la flexibilité et le coefficient de souplesse (voir Tableau 25) et par conséquent une faiblesse des liaisons inter fibres et est confirmé par la longueur de rupture à mors jointif LRo ou résistance intrinsèque des fibres qui est inférieure de 40 % à celle des peupliers (Tableau 27).

Par ailleurs le tableau 25 fait apparaître la faible variation de la masse linéique en fonction du temps de cuisson.

Les caractéristiques morphologiques des fibres contribuent pour une part essentielle à la qualité des pâtes et papiers. L'indice de souplesse des fibres facilite l'enchevêtrement en créant un réseau très dense avec de nombreux points de contacts entre éléments voisins, ce qui va favoriser les liaisons inter fibres et par conséquent la cohésion et la résistance du réseau.

L'appréciation de la qualité papetière des bois étudiés par l'indice de feutrage (indice morphologique) et la résistance intrinsèque de la fibre longueur de rupture à mors jointifs (indice physique), traduisent respectivement le pouvoir à l'enchevêtrement ou de cohésion et la résistance des fibres, confirment bien la supériorité des caractéristiques papetières des peupliers par comparaison à celles du chêne vert.

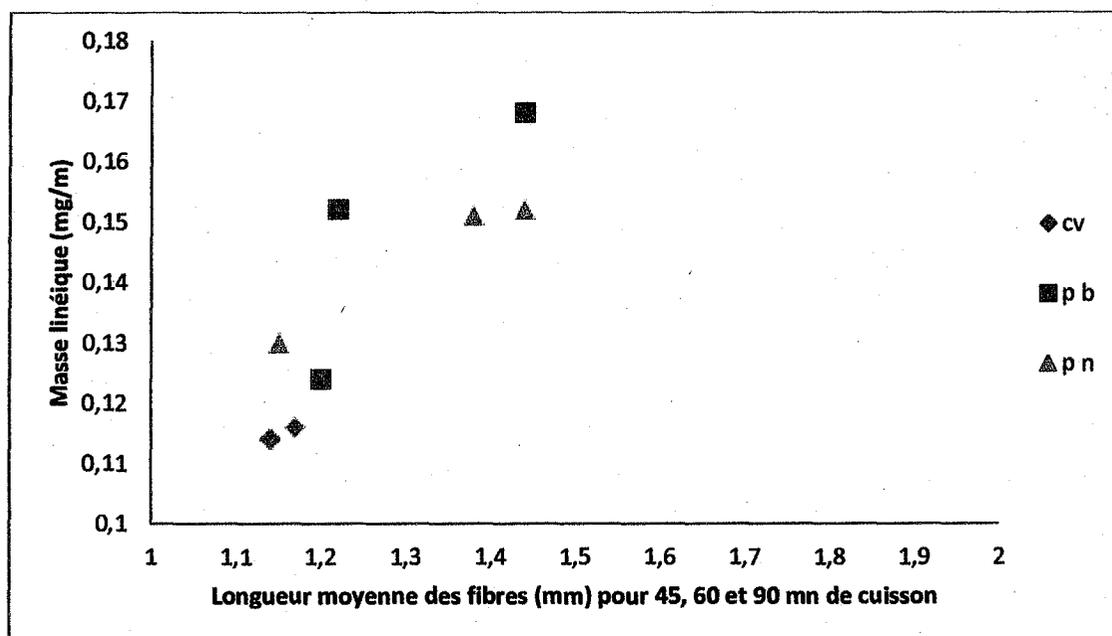
L'ensemble des caractéristiques des pâtes issues des bois étudiés est résumé dans les tableaux 25 et 26.

Au terme de ces travaux menés à propos de l'aptitude papetière des trois bois feuillus : chêne vert (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia*), peuplier blanc (*Populus alba* var. *hickeliana*), peuplier noir (*Populus nigra* L cv. "Thevestina" Dode), il apparaît que leur délignification s'est produite facilement par le procédé alcalin dit Kraft, fournissant globalement des rendements acceptables en moyenne de 45 % et des indices Kappa (inférieurs à 20). Dans le même cadre, la cinétique de délignification a permis de situer le temps de cuisson pour les trois essences de 150 minutes à une température de 165°C et un alcali effectif de 25 g/l.

Tableau 27 : Caractéristiques physiques des pâtes chimiques entières des bois étudiés

Nom botanique	Populus	Populus	Quercus
Caractéristiques des pâtes	Alba L	nigra	Rotundifolia
Longueur moyenne, mm	1,20	1,38	1,14
Largeur moyenne, mm	0,0233	0,0217	0,0237
Poids échantillon, g	2,006	2,000	2,017
Nombre de fibres analysées x 10 ⁴	6,5805	4,7949	7,8606
Masse linéique, mg/m	0,124	0,151	0,114
Indice de feutrage, L/l	51,50	63,60	48,10
Longueur de rupture a mors jointif L _{Ro} , m	10000	10000	6000

Fig 19 : Masse linéique en fonction de la longueur moyenne en (mm)



cv : Quercus ilex ssp rotundifolia

pb : Populus alba cv hickeliana

pn : Populus nigra vr « Thevestina » Dode

Toutefois, sur le plan morphologique les espèces en question se différencient par les caractéristiques de leurs fibres, du nombre de fibres par gramme ainsi que de la composition des pâtes en éléments fins. Ces différences auront certainement des conséquences sur les qualités papetières. En effet le chêne possède des fibres ayant des longueurs relativement inférieures aux deux autres espèces du genre *Populus* avec un nombre d'éléments fins inférieures ou égal à 0,5 mm plus élevé que ceux des peupliers. Ces caractéristiques donnent à priori l'avantage aux bois des peupliers pour la fabrication d'une bonne pâte chimique, en s'attendant à de meilleures propriétés physiques du papier. Ces résultats semblent être confirmés par l'indice de feutrage et la longueur de rupture des fibres qui traduisent respectivement le pouvoir de cohésion et leurs résistances intrinsèques.

Par ailleurs la mesure des longueurs de fibre à l'aide d'analyseur automatique permet de connaître rapidement la courbe biométrique d'une pâte ou d'un mélange de pâte, et d'en exprimer les proportions de fibres longues par rapport aux fibres courtes ou raccourcies.

Cette manière de faire montre le rôle joué par les fines particules (inférieures à 0,5 mm).

Car leur présence inévitable est sous-estimés dans les pâtes et a une forte influence sur la longueur moyenne des fibres d'une pâte.

En foresterie, la possibilité de mettre en évidence de très faibles différences de longueur moyenne et de fréquence de répartition des longueurs de fibres entre échantillons, donne l'espoir de sélectionner des provenances du point de vue de la longueur des fibres et de mieux connaître les influences des facteurs naturels de la production forestière sur la longueur des fibres.

Du point de vue papetier, la connaissance du rendement d'un bois en pâte ne suffit pas pour déterminer la qualité papetière de celui-ci, car le papier est fabriqué à partir de fibres dont il faut savoir à la fois leurs dimensions et leur comportement face aux traitements physicochimiques qu'elles subissent entre autres le raffinage.

Ce dernier permet de suivre l'évolution progressive des principales caractéristiques physicomécaniques des papiers.

III.10 Caractéristiques physico-mécaniques des papiers Kraft obtenus :

La plus grande partie des propriétés du papier s'acquière au cours du raffinage des pâtes cellulosiques.

Dans le but de contrôler l'opération du raffinage nous regroupons en trois tableaux distincts les propriétés principales de la pâte et du papier :

- L'aptitude des pâtes à l'égouttage en fonction du temps de raffinage, et la résistance à l'état humide.
- Les caractéristiques morphologiques des fibres et les indices papetiers correspondants.
- Les propriétés du papier après séchage des feuilles fabriquées par l'appareil "Paper laboratoire", c'est-à-dire, la main, l'épaisseur, la densité, l'allongement à la rupture, la longueur de rupture, l'indice d'éclatement, l'indice de déchirement, la perméabilité à l'air ainsi que la porosité des papiers.

Le contrôle du raffinage doit permettre d'évaluer les propriétés de la pâte, son aptitude à l'égouttage, ainsi que celles du papier, Résistance à la traction, à la déchirure, à l'éclatement, à la perméabilité à l'air ainsi qu'à la porosité.

D'après SILVY (1968) et NOE (1984 et 1987), la définition d'un état de raffinage nécessite de contrôler séparément plusieurs paramètres tels que la coupe, l'hydratation des fibres et la proportion des particules fines dans la pâte.

Un seul et même indice apparaît a priori, insuffisant pour caractériser de manière précise l'évolution de ces propriétés.

Les facteurs en jeu sont multiples et l'on doit considérer à la fois, la longueur moyenne de la fibre, sa rigidité, sa courbure, la proportion d'éléments fins dans la pâte.

Le degré Schopper RIEGLER, s'est imposé depuis longtemps dans la pratique industrielle pour le contrôle du raffinage.

Dans l'étude qui suit nous contrôlons le raffinage au moyen d'un seul paramètre l'indice Schopper RIEGLER.

III.10.1 Mesure de l'indice Schopper :

D'après SILVY (1968), l'indice d'égouttage Schopper RIEGLER permet de quantifier un débit sans en mesurer la durée d'écoulement.

La mesure est définie par la norme Française NFQ 50-003 (C.T.P., 1980) :

- Matériel : Appareil Schopper RIEGLER.
- Durée de mesure : Quelques secondes.
- Séchage de la galette : 5 à 10 mn.
- Précision de la mesure : $\pm 0,5^\circ\text{SR}$.

Si l'on ne prend pas soin de contrôler très soigneusement le tarage de l'appareil, la température et la qualité de l'eau, les résultats des mesures seront des valeurs relatives (voir annexe 20 NF.Q 50-003).

III.10.2 Raffinage des pâtes de chêne vert, de peuplier blanc et de peuplier noir, pâtes de feuillus au sulfate écrues :

Nous avons choisi des pâtes non différenciées par le procédé de cuisson ainsi que la morphologie de la fibre, toutes les trois provenant de bois de la Wilaya de Tlemcen dans l'ouest Algérien.

Les pâtes ont été raffinées dans les mêmes conditions :

- Elles ont été trempées à l'eau froide pendant 14 heures.
- Puis elles ont subi un raffinage standard à la pile Hollandaise VALLEY.

Pour des raisons de quantités de pâtes insuffisantes les raffinages ont été conduits avec :

- 427 grammes de pâtes diluées dans 21,5 litres d'eau dans le cas de *Quercus ilex ssp rotundifolia*.
- 421 grammes de pâtes diluées dans 21,5 litres d'eau dans le cas de *Populus alba vr. hickeliana*.
- Et 405,5 grammes de pâtes diluées dans 20,5 litres d'eau dans le cas de *Populus nigra L cv. Thevestina Dode*.

La concentration au niveau du raffineur était de :

- Pour le chêne vert de 19,9 g/l ;
- Pour le peuplier blanc de 19,6 g/l ;
- Pour le peuplier noir de 19,8 g/l.

Cette concentration a été maintenue pendant toute la période de raffinage c'est-à-dire 47°SR.

La galette de pâte obtenue après l'essai d'égouttage Schopper Riegler était remise dans la pile de raffinage.

Après une durée d'effleurage c'est-à-dire platine non chargée de 5 minutes, on a commencé à suivre le degré Schopper toutes les 5 minutes.

On n'a pas prélevé les échantillons pour les essais et la mise en feuille au cours du raffinage du fait d'une part des raisons évoquées plus haut et d'autre part ces raisons conjuguées à la faible capacité de la pile de raffinage auraient modifiées les conditions du raffinage au fur et à mesure des prélèvements.

Dans ces conditions la comparaison de l'aptitude au raffinage des pâtes en fonction du temps aurait été impossible.

Les résultats des différents indices d'égouttage Schopper Riegler des pâtes étudiées figurent dans le tableau 28 et auquel correspondent les courbes de l'évolution du degré

Schopper en fonction du temps de raffinage à la figure 23. Elle montre la comparaison des raffinages des pâtes étudiées et leur aptitude très peu différente à l'engraissement.

Il faut 30 minutes pour atteindre un degré Schopper de 47 dans le cas du chêne vert, 31 minutes dans le cas du peuplier blanc et 37 minutes dans le cas du peuplier noir.

Les vitesses d'engraissement de ces pâtes sont légèrement différentes.

L'examen des courbes du degré Schopper en fonction du temps de raffinage montre une évolution similaire et remarquable pour les trois pâtes étudiées.

D'après SILVY (1968) et NOE (1984 et 1987), la résistance à la filtration est relativement faible pendant une première partie du raffinage, puis elle croit brutalement dans une deuxième phase. Le point anguleux qui sépare ces deux régimes d'écoulement se situe à 15 minutes de raffinage pour l'ensemble des espèces étudiées. La valeur du degré Schopper est sensiblement différente pour les trois pâtes elle est respectivement pour le chêne vert, le peuplier blanc et le peuplier noir de 23,5°SR, 22°SR et 18°SR.

L'existence de ce point singulier est inhérente au processus du raffinage. Il caractérise les fibres ainsi que la quantité de fines fibres présentes dans la pâte avant raffinage.

Les résultats figurant dans le tableau 25 montrent que :

Le chêne vert contient 14% de fines fibres inférieures à 0,5 mm (voir figure 22) elle est de 11,2% pour le peuplier blanc (Figure 20) et 11,6% pour le peuplier noir (Figure 21).

Cette différence de la teneur de fines particules et la longueur moyenne des fibres chez le chêne vert expliquerait peut être la différence d'égouttage qui est plus faible chez ce dernier que chez les peupliers, la même explication est valable pour le peuplier blanc et noir.

Tableau 28 : Evolution du degré Schopper en fonction du temps de raffinage.

Pâtes utilisées	Degré Schopper RIEGLER ° SR										
	Avant effleurage	Effleurage 0 mn	5'	10'	15'	20'	25'	30'	31'	35'	37'
Quercus ilex ssp rotundifolia	20	20,5	21	22	23,5	30,5	37,5	47	-	-	-
Populus alba vr hickeliana	17,5	18	19	19	22	27	34,5	45,5	47,5	-	-
Populus nigra L cv "Thevestina" Dode	13,5	14,5	15	16,5	18	24	31	37	-	44	47

Le raffinage d'une suspension fibreuse est le traitement mécanique de la pâte, où l'on confère aux fibres leurs propriétés papetières.

Les changements structurels de la fibre affectent la surface ainsi que la paroi cellulaire des fibres.

La suspension fibreuse est caractérisée par des variables d'état constitutionnelles, sur lesquelles le papetier ne peut pas agir dans cette partie on peut inclure les propriétés des fibres.

Au cours du raffinage une quantité importante de la paroi primaire est éliminée, ce qui facilitera d'une part la fibrillation ultérieure des particules et d'autre part augmentera la surface spécifique des fibres et donc les surfaces de contact qui vont participer aux liaisons.

Au cours du raffinage, les fragments de parois primaires et les crills vont former les fines ainsi que les fragments de fibres résultant de la coupe.

Les fines contribuent de façon sensible aux propriétés mécaniques de la feuille de papier, et ce d'autant plus que la pâte est plus raffinée. Nous avons vu plus haut qu'elles avaient une influence considérable sur les propriétés d'égouttage de la pâte. C'est pour ces raisons que nous avons raffiné la pâte au même degré SCHOPPER.

Par ailleurs la concentration de la pâte et le type de raffineur influencent fortement l'évolution du raffinage.

Les quantités de pâtes mises à notre disposition étaient inférieures à la quantité nominale dans une pile Hollandaise qui doit être de 440 g de pâte pour 22 litres d'eau d'où une concentration dans le raffineur de 20g/l.

Ainsi pour ne pas fausser l'évolution du degré Schopper des différentes pâtes étudiées nous avons travaillé à une concentration variant entre 19.6g/l et 19.9 g/l approchant la concentration nominale.

D'après NOE (1984) plus la concentration de la pâte dans le raffineur est élevée, moins celle-ci sera fibrillé.

Notons enfin que l'influence de l'épaisseur des parois de fibre sur la coupe lors du raffinage peut être très importante.

En effet nous pensons que les fibres rigides et épaisses sont plus fragiles de ce point de vue que les fibres les plus souples.

En d'autres termes, les fibres issues de bois jeune sont moins fragiles que les fibres issues de bois adultes.

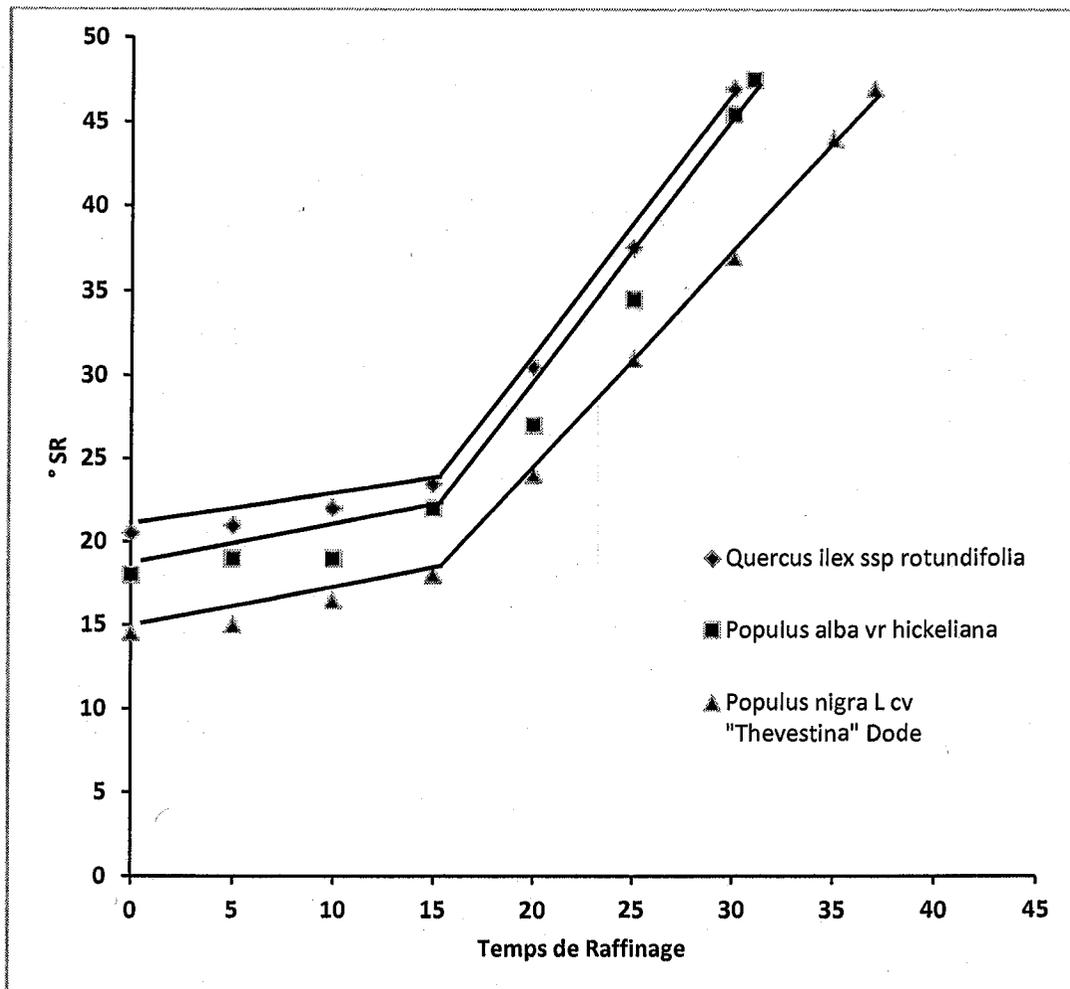


Figure 23 : Evolution du degré Schopper en fonction du temps de raffinage pour les 3 pâtes

III.10.3 Caractéristiques physico- mécaniques des papiers fabriqués :

Nous rappelons que les essais de cuisson ont été tous conduits dans des conditions identiques telles qu'elles figurent dans le paragraphe (III.7) et notre publication (BOUKLI HACENE, 2008).

Dans ces conditions on obtient une gamme de pâtes de duretés variable, l'indice Kappa pouvant varier dans de larges proportions, mais la gamme de pâtes obtenues est telle que l'une d'elles se situe autour d'un indice Kappa de 15 à 20. On a ainsi la possibilité soit d'étudier les pâtes à un même degré de délignification soit d'étudier les pâtes dont le degré de délignification est différent mais dans les conditions de cuisson sont identiques.

C'est donc dans des conditions identiques de cuisson dans un lessiveur rotatif de 25 litres que les essais ont été effectués.

Par ailleurs pour pouvoir comparer les caractéristiques physico- mécaniques des papiers obtenus, nous avons raffiné les pâtes au même degré Schopper tournant autour de 47.

La mise en feuille s'est effectuée dans un appareil semi automatique dénommée le "Sheet former" et les essais physico- mécaniques des papiers obtenus ont été réalisés en appareil automatique le "Paper Lab".

Les papiers ont été caractérisés par les paramètres physico- mécaniques suivant les normes françaises (C.TP, 1980 et AFNOR, 1985) (voir annexe 20)

Les caractéristiques physico- mécaniques sont les suivantes :

Degré Schopper Riegler (°SR) (N.F. Q50-003)

Epaisseur moyenne (N.F. Q03-016)

Grammage moyen (N.F. Q03-019)

Masse volumique ou densité des papiers (grammage/épaisseur) g/cm^3

Volume massique ou main ou indice de bouffant (1/masse volumique) = $e/g : cm^3/g$

Longueur de rupture (L.R) (N.F.Q 03004)

Résistance d'éclatement (N.F.Q03-053)

Indice d'éclatement (I.E) (N.F.Q03-053)

$$\frac{\text{Résistance à l'éclatement}}{\text{grammage}} \quad \frac{K. Pa}{g/cm^2}$$

Résistance au déchirement (N.F.Q03-011)

Indice de déchirement (I.D) (N.F.Q03-011)

$$\frac{\text{Résistance au déchirement}}{\text{grammage}} \quad \frac{m. N}{g/m^2}$$

Tableau 29 : caractéristiques des pâtes, des fibres et indices papetiers des trois espèces de bois étudiées.

Nom Botanique Caractéristiques	Quercus ilex ssp rotundifolia	Populus nigra cv. 'Thevestina' Dode	Populus alba var. hickeliana
Longueur moyenne en mm	1.14	1.38	1.20
Largeur moyenne en mm	0.0237	0.0217	0.0233
Nombre de fibres analysées 10 ⁴	7,86	4,795	6,88
Masse linéique mg/100m	11.4	15.1	12.4
Indice Kappa	16.3	15.8	17.9
° S.R	47	47	47.5
Temps raffinage en mn	30	37	31
Indice de Feutrage L/l	48	64	52
Rendement en pâte classée %	47.5	45.1	46.8

Tableau 30 : caractéristiques physico-mécaniques des papiers obtenus

Nom botanique Paramètres	Quercus ilex ssp rotundifolia	Populus nigra cv. 'Thevestina' Dode	Populus alba var. hickeliana
Temps de raffinage en mn	30	42	31
Degré Schopper, ° S.R	47	47	47.5
Grammage, g/m ²	78.9±6.7	75.4±1.5	77.1±2.0
Epaisseur, en microns	130±1.0	100±2.0	110±2.0
Main ou volume massique, cm ³ /g	1.65±0.07	1.32±0.03	1.42±0.03
Densité ou masse volumique, g/cm ³	0.61±0.02	0.75±0.03	0.70±0.01
Allongement à la rupture %	2.3±0.3	3.2±0.3	3.3±0.3
Longueur de rupture L.R, en m	4300±330	8600±350	9580±450
Indice d'éclatement, en K. Pa. m ² /g	1.90±0.20	4.38±0.20	4.02±0.30
Energie spécifique à la rupture, J/g	0.60±0.10	1.90±0.20	2.00±0.20
Indice de déchirement m. N. m ² /g	4.31±1.80	7.03±2.0	8.43±5.0
Perméabilité à l'air Bendtsen, ml/mn	994±210	70±30	50±8
Porosité, % = (1-0.65 / main)	60.60	50.80	54.20
Longueur de rupture à mors jointifs sur papier humide LR ₀ , en m	6600	10000	10000
Degré de liaisons (L.R/L.R ₀) x 100	65	85	95
Résistance d'éclatement K. Pa	150±30	330±20	310±20
Résistance au déchirement m. N	340±150	530±20	650±30
Résistance à la rupture en N	49.90	94.40	108.70

Longueur de rupture à mors jointifs

(L.R₀) mesurée sur papier humide en m.

Perméabilité à l'air Bendtsen, NFQ03-075

$$P = \frac{V_{air} \text{ en } cm^3}{S_{m^2} \Delta P_{Pa} t_s}$$

Définitions et principes des normes sont donnés en annexe 20. Les essais physico-mécaniques sont effectués en atmosphère à 58.8% d'humidité relative et 26.8°C.

III.10.3.1 Relation entre le coefficient de souplesse et l'indice de feutrage :

Dans le tableau 29 figurent les résultats des caractéristiques morphologiques des fibres et des indices papetiers avant raffinage.

Nous rappelons qu'aucune loi n'indique qu'il existerait une relation entre le coefficient de souplesse et l'indice de feutrage. Théoriquement une fibre peut avoir n'importe quelle longueur associée avec n'importe quelle largeur de paroi ou de cavité du lumen.

Ceci est d'autant plus vrai que les fibres sont issues de bois différents.

Si l'on examine le tableau 29, on remarque que les fibres ont un indice de feutrage assez élevé particulièrement pour le peuplier noir et le peuplier blanc supérieur à 50, il est plus faible dans le cas du chêne vert de 48.

Les peupliers noir et blanc étudiés présentent des indices de feutrage élevés et à ce titre ils ressembleraient aux résineux.

On peut conclure qu'à quelques exceptions près comme dans le cas des peupliers, ces coefficients permettent de différencier les bois feuillus des bois résineux.

III.10.3.2 Relation entre le temps de raffinage des pâtes à 47°SR et le coefficient de feutrage :

Nous avons mesuré le temps de raffinage nécessaire des différentes pâtes pour les amener à un degré Schopper Riegler de 47 environ, en les raffinant en pile Valley de laboratoire. Il n'existe pas une corrélation entre le temps de raffinage et l'indice de feutrage.

Par contre il est intéressant de remarquer qu'au tableau 28, le temps de raffinage est variable, il est d'autant plus court que l'indice de feutrage est faible.

Il ya donc intérêt à utiliser des fibres à coefficient de feutrage faible si l'on désire un raffinage rapide.

La proportion différente des éléments fins pour les pâtes de chêne vert, peuplier blanc et peuplier noir respectivement pourrait expliquer ce comportement différent au raffinage.

III.10.3.3 Caractéristiques physico- mécaniques des papiers :

III.10.3.3.1 Propriétés de structure :

Le tableau 30 fait ressortir que le volume massique ou main diminue respectivement pour le chêne vert, de peuplier blanc et le peuplier noir il est de 1.65 ; 1.42 et 1.32.

Le volume massique caractérise le degré de liaison des fibres ainsi que la longueur de rupture à mors jointifs ($L.R/L.R_0$). Ils caractérisent la surface liée d'un papier.

Pour une même pâte quand le volume massique diminue, les caractéristiques mécaniques diminuent elle aussi.

En comparant les peupliers entre eux, il apparait que les caractéristiques des papiers diminuent quand le volume massique diminue. Le papier fabriqué avec le peuplier noir est plus perméable et plus poreux que le peuplier blanc.

On pense que la formation de la feuille a une influence sur la perméabilité des papiers.

III.10.3.3.2 Caractéristiques mécaniques :

Les caractéristiques morphologiques des pâtes, hormis le raffinage des pâtes (solidité de liaisons) et la formation de la feuille (structure du réseau des fibres), jouent un rôle important sur les propriétés physico- mécaniques des papiers.

Les caractéristiques mécaniques sont fonctions de la surface liée, de la résistance des liaisons, de la résistance propre des fibres, de la structure de la feuille (qualité de formation, épair), de la longueur moyenne des fibres et la distribution des longueurs,....

Du point de vue de la longueur : la formation de la feuille et l'uniformité de la distribution sont influencées par celle-ci. Plus les fibres sont courtes, plus la structure est fermée et uniforme. La résistance de la feuille et sa rigidité sont également influencées en particulier la déchirure qui diminue avec le raccourcissement des fibres.

Du point de vue de la largeur des fibres et l'épaisseur des parois : les fibres aux parois minces donnent un papier plus dense avec un éclatement meilleur et une déchirure moins bonne que les fibres à parois épaisses (tableaux 29 et 30).

Du point de vue de la résistance intrinsèque de la fibre : elle est mesurée par la résistance à mâchoires jointives. Elle donne la valeur maximale de la résistance de la feuille, qui est limitée par le degré de liaison inter fibres.

Dans ce cas la force de liaison inter fibre est plus importante respectivement pour le peuplier blanc, le peuplier noir et le chêne vert.

Du point de vue de la teneur en élément fins ou du degré de fibrillation : La présence d'éléments fins influence considérablement les propriétés d'égouttage de la pâte, mais aussi les caractéristiques physiques de la feuille. Suivant la proportion d'éléments fins dans la pâte

avant raffinage, il existe deux régimes d'écoulement de l'eau à travers le matelas de fibres poreux.

Les pâtes de chêne vert, de peuplier blanc et de peuplier noir ayant respectivement un degré Schopper de 23.5, 22 et 18 au même temps de raffinage laissent entrevoir une production de fines fibrilles par le raffinage pour les pâtes énumérées conjugué aux teneurs de fines particules présents dans la pâte avant raffinage de 14 %, 12% et 11.5% montrent que la pâte de peuplier blanc se raffine plus facilement que le peuplier noir.

La densité de la feuille est l'un des indicateurs de la souplesse des fibres (voir fig. 20, 21 et 22). Des fibres souples facilitent la formation de la feuille.

III.10.4 Conclusion :

Sur le plan théorique, cette étude montre l'importance de la forme et de la dimension des fibres pour expliquer les propriétés des pâtes et des papiers.

Certes, la morphologie des fibres n'explique pas tout et il faut faire appel à des hypothèses complémentaires d'ordre physique, chimique pour arriver à une interprétation vraiment cohérente des phénomènes observés.

Mais inversement, il serait vain de vouloir expliquer les propriétés des pâtes et des papiers en négligeant d'attribuer une place très importante à la morphologie des fibres, c'est du moins ce que nous avons essayé de montrer au cours de ce travail.

Ce travail d'une tentative de valorisation des essences du matorral algérien par la production de pâte à papier est présenté comme une alternative possible aux usages actuellement en vigueur : pour le chêne vert employé comme bois de feu, fabrication de charbonnette et l'usage en petite menuiserie et au tournage, il en est de même pour le genévrier de phoenicie.

La possibilité de transformer ces espèces en pâtes à papier en les considérant comme des matières d'appoint, n'avait jamais été envisagée en Algérie jusqu'à ce jour à notre connaissance. Elle intéresse notre pays dont les espèces arbustives ou arborées n'ont pas encore été testées et qui pourtant métreraient de l'être.

A notre avis et pour les raisons citées plus haut le genévrier de phoenicie doit être écarté, ceci implique de pratiquer des essais préliminaires sur le plus grand nombre d'espèces pour en évaluer les utilisations papetières possibles par l'appréciation de la longueur moyenne des fibres, leurs largeurs, l'épaisseur des parois et des indices de qualité qui en découlent.

Figure 20 : PQM 1000 - Histogramme de répartition des fibres du peuplier blanc à 60 minutes de cuisson en palier

Echantillonnage	18 PA5 60' 165°C	No de fibres	65805	Unité
Type pâte	18 Pulp type 18	Longueur	1.20	mm
Pds échant	2.000 g	Largeur	23.3	µm
Prélevé	97-11-24 10:14	Masse liné	0.124	mg/m
Analyse	97-11-24 10:14	Souplesse	8.2	%

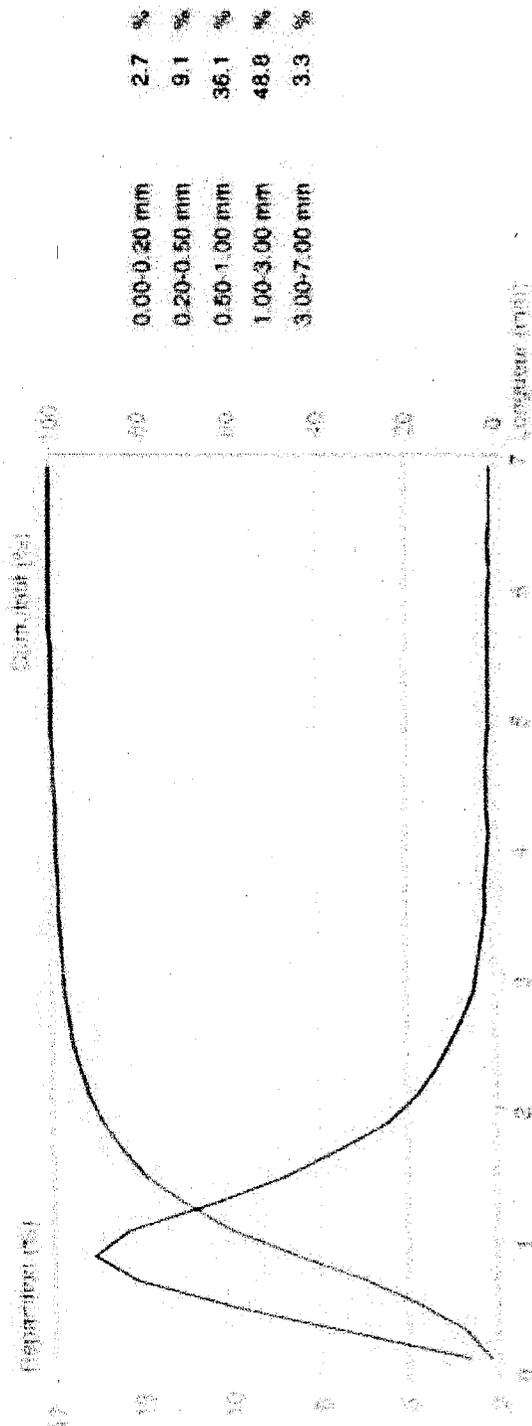


Figure 21 : PQM 1000 - Histogramme de répartition des fibres du peuplier noir à 60 minutes de cuisson en palier

Echantillonnage	: 18	PN5 60' 165°C	No. de fibres	: 47949	Unité
Type Pâte	: 18	Pulp type 18	Longueur	: 1.38	mm
Pds échant	: 2.006	g	Largeur	: 21.7	µm
Prélevé	: 97-11-24	09:39	Masse liné.	: 0.151	mg/m
Analysé	: 97-11-24	09:39	Souplesse	: 6.1	%

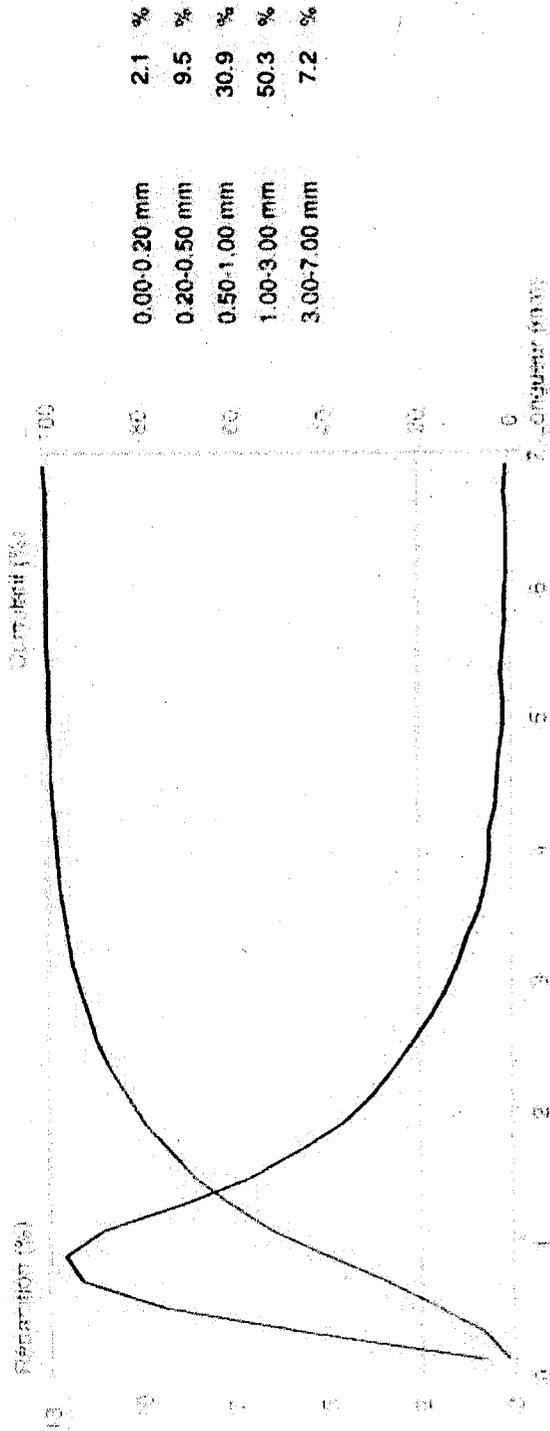
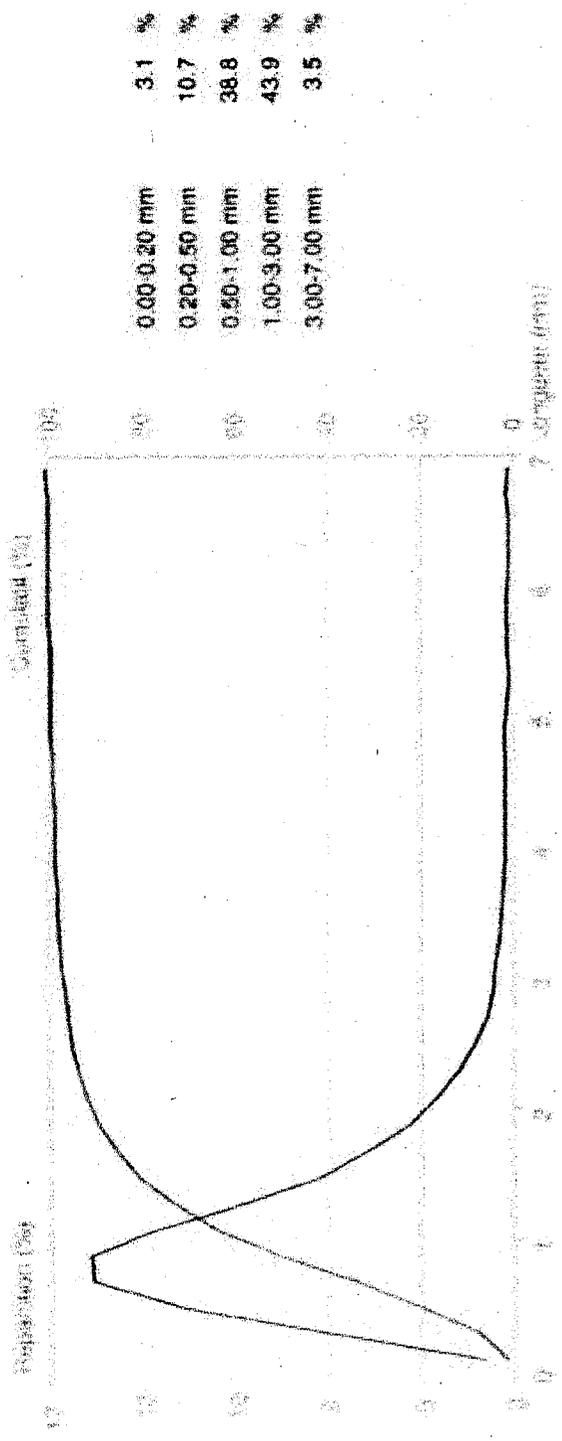


Figure 22 : PQM 1000 - Histogramme de répartition des fibres de chêne vert à 60 minutes de cuisson en palier

Echantillonnage	18	CV5 60' 185°C	No de fibres	78606	Unité
Type Pâte	18	Pulp type 18	Longueur	1.14	mm
Pds échant	2.017	g	Largeur	23.7	µm
Prélevé	97-11-24	10:50	Masse ind.	0.114	mg/m
Analysé	97-11-24	10:50	Scaplesse	10.0	%



Chapitre IV

**Quelques orientations de traitement et
de mise en valeur des trois espèces
étudiées**

Chapitre IV : Quelques orientations de traitement et de mise en valeur des trois espèces étudiées

IV.1. Quelques considérations :

En cette époque de plein développement du pays, il est vital que les forêts soient reconstituées sur de solides bases écologiques pour jouer tous les rôles qui lui sont reconnues.

Mais il est évident aussi que cette reconstitution autant que faire se peut se fasse avec une finalité économique et sociale marquée.

Même si nous savons qu'il ne nous est pas possible de satisfaire les besoins en bois pour alimenter en totalité l'industrie notamment l'industrie cellulosique et papetière, nous sommes convaincus qu'il est possible de produire une part non négligeable de bois de diverses aptitudes et participer à l'augmentation de la production et de la productivité forestière.

Le tout étant d'atténuer le déficit dans le large éventail des productions.

Notre travail a ainsi porté sur les trois espèces :

- Chêne vert (QUERCUS ilex ssp rotundifolia),
- Peuplier Blanc (Populus alba Var hickeliana),
- Peuplier Noir (Populus nigra Cv. "Thevestina" Dode),

Par rapport à l'alimentation de l'industrie cellulosique et papetière en matière première bois.

Cependant nous nous apercevons bien souvent que l'emploi ou l'utilisation des bois de manière générale se heurte beaucoup plus à la **forme**, aux **dimensions** et la **quantité de matière première**.

C'est parfaitement ici le cas du chêne vert dont on pense après examen de la situation de ces formations qu'il faille axer tous les efforts sur les traitements à appliquer.

Si sous sa forme typique, la chênaie verte se présente sous une futaie basse et dense, ce n'est pas le cas pour les 354 000 hectares qui composent cette formation.

Dans sa majorité, elle est dégradée et se présente sous la forme d'un taillis bien entendu à plusieurs faciès géographiques, et par conséquent climatiques.

Quant aux deux espèces de peuplier qui ont fait l'objet de notre étude ceux-ci font partie d'un groupe d'espèces indéniablement de haute production qui se prête à une ligniculture accélérée dont on a grand besoin.

Les deux espèces du genre Populus : Peuplier Blanc (Populus alba var. hickeliana L) et Peuplier Noir (Populus nigra cv. "Thevestina"), sont pourtant spontanées dans les dépressions,

vallées et ravins mais n'ont pas fait l'objet d'une intensification de leur production. D'ailleurs populi culture et agriculture peuvent dans bien des cas s'associer directement.

L'utilisation en brise-vent, alignement et bien entendu en plein livrerait de grandes quantités de bois de ces deux espèces mais aussi de bien d'autres cultivars et hybrides reconnus pour leur sélection poussé. Mais pour ce qui nous concerne nous proposons une prospection de l'aire naturelle de ces deux peupliers dans le pays, d'étudier les différentes provenances en établissant un véritable parc à clone conservatoire.

Toutes ces suggestions sont fondées simplement sur les divers mérites des essences algériennes parfois de forte production et qui peuvent en tous cas s'intégrer harmonieusement dans des aménagements agro-sylvicoles ou agro-sylvo-pastoraux.

L'utilité des trois espèces étudiées nous en sommes convaincus, est grande c'est pourquoi que nous voulons donner à ce travail des orientations qui en fait relèvent des traitements à appliquer, de la mise en valeur et de la restauration de ces formations et ce bien sûr dans un souci de protection et restauration de l'environnement.

C'est de cette harmonie dont il s'agit finalement sans laquelle il n'est pas possible de produire.

IV.2. Problématique de la chênaie d'yeuse :

C'est une formation d'intérêt écologique et socio-économique immense dont l'aménagement et la restauration appelle à des mesures urgentes car en bien des endroits la forêt est détruites ou plus ou moins profondément dégradée. Cette chênaie dans son ensemble peut produire des bois durs ayant divers aptitudes mais elle joue un rôle aussi prépondérant dans l'alimentation du bétail et donc dans l'économie pastorale d'une grande partie du pays.

Tout ceci constitue le cadre générale de la situation de cette espèce.

Nous allons voir qu'ici la question de l'utilisation du bois, si elle doit bien évidemment être résolue, ne se pose pas de manière directe. C'est toute la question de la mise en valeur des différents types de forêts de chêne vert qui doit être traitée.

En fait des solutions pratiques selon les diverses situations reconnues doivent être apportées à travers les objectifs que l'on s'assigne.

L'objectif par exemple de production ligneuse est traitée à travers la restauration et la reconstitution de la yeuseraie dégradée.

Mais il y a aussi l'objectif de protection de l'environnement qu'il faut considérer au plus haut point.

La question devient ainsi complexe à résoudre mais combien exaltante. Ainsi nous allons exposer les principaux résultats d'une recherche effectuée par une équipe dirigée par (LETREUCH-BELAROUCI et CERAG 1985) dans le cadre des possibilités de fabrication de manches d'outils, pelles, pioches dans la région de HASSASNA. Auparavant nous pouvons émettre quelques observations provenant de différents déplacements sur le terrain. Elles sont de type descriptif et relatif à l'état général de ce que l'on appelle parfois improprement « Peuplements ».

De très vieille occupation humaine, les formations à chêne vert ont été profondément influencées par des pratiques diverses et malheureusement très altérées.

Cette action de l'homme trop souvent imprudente s'est trouvée aggravée par le jeu d'éléments climatiques, en sorte qu'en beaucoup d'endroits la dégradation des sols et de la végétation est extrême. D'ailleurs on ne peut percevoir ces phénomènes que lors d'inventaires précis aussi bien de la végétation que des peuplements de chêne vert.

Cette formation a été totalement incendiée, sur pâturée et maltraitée de plusieurs façons qu'elle est souvent remplacée par des maquis clairières dont la densité des cépées n'est plus que de 30 à 50 cépées par hectare en certains endroits.

Au cours du temps, la suppression de la végétation climacique (futaie pleine de chêne vert) a eu pour effet d'accentuer l'aridité du milieu. C'est d'ailleurs pour cela, d'une manière générale il y aurait eu glissement des végétations d'un étage bioclimatique ou d'un de ses niveaux, vers celles du niveau ou de l'étage suivant dans le sens d'une aridité plus grande (LETREUCH-BELAROUCI, 1991).

Dans de telles conditions et à cette échelle nous sommes loin de savoir si le chêne vert peut alimenter une industrie quelconque.

IV.2.1. L'expérience dans le massif de HASSASNA :

Ce massif est immense, 100000 hectares située à l'est de la ville de Saïda composé dans sa majorité d'un taillis de chêne vert.

La zone pilote d'expérimentation est de 5000 hectares et a fait l'objet d'un aménagement (CERAG, 1985). L'Etude devait permettre de répondre essentiellement à deux questions :

- Est-il possible de fabriquer industriellement des manches d'outils ?
- Quelles sont les autres possibilités d'utilisations de ce matériau ?

"Après la connaissance du terrain, des observations et des renseignements bibliographiques, les premières conclusions étaient frappantes".

En fait la possibilité d'emploi de ces taillis de chêne vert est bien moins liée à la qualité intrinsèque du bois, qu'aux formes, dimensions, défauts et quantité de brins existant.

Autrement dit cette expérimentation devenait plus dendrométrique que technologique.

En fait, mise à part l'étude des principales propriétés physiques du bois (densité, humidité et retrait) et du séchage à l'air la recherche a porté sur des points tel que :

- Inventaire des peuplements,
- Mesure de la distribution des brins par classe de grosseur et de hauteur,
- Etude de la décroissance métrique ou défilement des brins,
- Etablissement d'un tarif de cubage à entrées simples et d'usage facile.

On s'est vite aperçu que les notions de dimension et de qualité sont deux éléments indissociables pour envisager les utilisations possibles du bois et que finalement dans l'état des peuplements de HASSASNA le facteur dimension des brins était même primordial car c'est lui qui limiterait les possibilités d'utilisation. Très vite l'étude était orientée vers la connaissance du matériel sur pied et de ses dimensions.

C'est donc l'inventaire qui a été la base et la réponse à ces questions.

IV.2.2 Les principaux résultats :

- Hétérogénéité des peuplements.
- Faibles dimensions des brins.
- Cubage traditionnel difficile pour évaluer le volume sur pied de ces types de végétation.
- Variabilité très grande dont le coefficient dépasse parfois 100 %.
- Volume sur pied calculé pour 60 % des cépées entre 0 et 1,25 m³/ha.
- Densité des cépées basses (150 cépées/ha).
- Hauteur inférieure à 2,50 m pour 32 % des cépées en moyenne la hauteur est de 1,70 m.

IV.2.3 Orientations et voies de recherche pour la mise en valeur des taillis de chêne vert :

La question donc de la mise en valeur est assez complexe, le tout dépendra du projet en lui-même et de la zone à étudier. D'une part il est indiqué que nous puissions trouver les ressources dont on a besoin (on prévoit uniquement pour les papiers et cartons à l'horizon 2020, des importations qui s'élèveraient à 1,5 milliard de dollars ; d'autre part nous sommes confrontés à des problèmes de choix à opérer tels que :

- Le pâturage forestier qui souvent commande ce choix.

- L'introduction d'essences de substitution à fin d'enrichir par certains endroits le taillis de chêne vert, mais la mise en défens stricte devient obligatoire.
- La conversion du patrimoine et son amélioration.

L'amélioration et l'extension du chêne vert, introduction d'arbres et arbustes fourragers, production de bois, ceux sont là autant de voies de recherche qu'il faut expérimenter dans le cadre d'un projet de terrain bien défini.

Nous sommes en mesure néanmoins de proposer des solutions concrètes et tout au moins d'orienter notre choix pour la mise en valeur des forêts de chêne vert et leur restauration.

Il conviendrait en premier examen de songer aussi à préserver le sol contre l'érosion en créant des forêts dites de protection d'autant qu'en raison de la relative sécheresse du climat et des sols, le potentiel de production est plus restreint.

C'est en fonction des situations reconnues sur le terrain que devront s'inscrire les actions à mener.

IV.2.3.1. Amélioration du taillis de chêne vert :

Devant la fragilité des taillis et leur production faible, il est évident que toutes les éventualités de mise en valeur sont à prendre au sérieux.

En général, le maintien du peuplement actuel, tout en procédant à son enrichissement semble être une solution qui bouleverse le moins possible ce type de peuplement.

La conversion aurait deux optiques :

- Transformation en futaie sur souches du taillis en bon état.
- Transformation en futaie résineuse de zones dégradées.

Le recépage et le dépressage en tant qu'opérations nécessaires du rajeunissement du taillis de chêne vert se feront bien sûr selon un protocole de recherche approprié.

- Possibilité d'introduire des arbres et arbustes fourragers selon plusieurs modalités.
- Possibilité aussi d'extension du pin d'Alep en futaie bien conduite.

En fait nous sommes là en présence d'un développement d'une zone de manière harmonieuse. Le développement est en fait l'idéal même de l'aménagement.

Pour ce qui est du chêne vert la reconnaissance des divers types de taillis est nécessaire et va constituer la base de toute la sylviculture à appliquer et aux enrichissements à proposer.

Ceci peut se résumer ainsi :

a) Taillis haut et dense :

C'est la poursuite de la sylviculture du taillis avec ses opérations de rajeunissement :

- Recépage à 1, 2, 3 ou 4 brins.
- Dépressage qui est en fait une éclaircie dans les cépées.

b) Taillis haut et clair :

Il s'agit là de compléter la densité du taillis et de poursuivre l'effort de sylviculture.

c) Taillis bas et dense :

Ils ont le mérite de couvrir le sol.

- Amélioration.
- Introduction.

d) Taillis bas et clair :

Introduction d'essences résineuses et feuillues.

e) Taillis tout à fait dégradés à densité très faible :

Enrichissement par introduction d'essences exotiques résineuses, feuillues et autochtones. C'est la mise en valeur de massif dégradé.

En tout état de cause il convient de toujours tenir compte de l'importance de la régénération par rejet mais aussi de la régénération naturelle des taillis vieillissants dont la multiplication végétative va disparaître progressivement.

La conversion des taillis bien venant en futaie sur souche doit être envisagée, ce qui permettrait d'augmenter la production.

IV.2.3.2 Introduction d'espèces :

Au sujet de l'introduction d'essences toute la prudence est recommandée pour que celle-ci se fasse sur des bases écologiques sûres.

En tout état de cause puisqu'il s'agit de mettre en valeur un massif par l'utilisation de groupes d'essences à intérêts divers dans le cadre de l'aménagement à partir d'un parcellaire géométrique lorsque le terrain est plus ou moins plat (GRIM, 1989). En terrain trop accidenté il est évident que le parcellaire classique lui sera préféré.

L'idée qui a prévalu dans le massif de HASSASNA (LETREUCH-BELAROUCI 1985) d'entamer des actions qui vise à enrichir le matériel existant sans aucun bouleversement du paysage actuel est basée sur le fait que même à moyen terme, il ne faut pas s'attendre à une production élevée en bois de taillis de chêne vert.

Détermination des 5 grandes catégories d'essences :

- Essences de grandes productions potentielles (résineuses et feuillues).
- Essences à but cultural et écologique,

- Essences de production fourragère et fruitière,
- Essences de création de zones de détente,
- Essences de protection contre les incendies notamment des parcelles de chêne vert.

Bien évidemment, le choix des espèces des différentes catégories se fera sûr la base des données écologiques, socio-économiques, pédologiques du projet dont il est question.

Que peut-on dire en guise de conclusion de ces formations :

La plupart d'entre elles sont réduites à un taillis plus ou moins clair du chêne vert. Les semenciers de pin d'Alep sont très rares. Cet état bien sur est peu réjouissant mais fort heureusement, les essences résistantes sont présentes pour ne citer que celles-ci comme essences de grande taille et rustiques :

- *Juniperus oxycedrus* L,
- *Juniperus phoenicea* L,
- *Tretaclinis articulata* Master.

Ces essences les plus stables de la forêt du semi-aride sont susceptibles non seulement de maintenir la forêt mais surtout de permettre la remontée biologique vers des stades plus productifs écologiquement et économiquement.

Elles rejettent de souche ce qui signifie que même si leur vigueur est diminuée, elles peuvent après deux ou trois ans recouvrir le sol. Pour le chêne vert de nombreuses actions militent en faveur du recépage sélectif dans les meilleurs cépées afin d'accélérer le passage à la futaie sur souche qui protège mieux la fertilité du sol et fournit des perches qui ont des aptitudes certaines par exemple à la fabrication de manches d'outils ou mieux valoriser encore par la fabrication de pâtes cellulosiques.

Le pin d'Alep a sa place dans les vides là où le sol est nu. Ceci est valable pour d'autres essences de substitution.

Finalement tout peut être essayé tellement le champ d'expérimentation est vaste. Le tout est de bien cerner les buts et objectifs que l'on s'assigne :

- Production de matière ligueuse exploitable ?
- Production de viande (Dehesas) donc forêt fourragère.

Ceux sont là des axes de réflexion qui méritent d'être étudiés car l'étude économique faite par le CERAG (1985) a bien montré à HASSASNA (SAÏDA) qu'il était nécessaire d'élever ce taillis en futaie sur souche pour d'une part conserver la forêt et d'autre part permettre un élevage qui reste quand même l'activité dominante.

s'adapter aux fréquents arrêts intempestifs et ont engendré une marche en dents de scie, provoquant ainsi l'usure prématurée des équipements.

Cette situation a fait que les autorités d'alors ont tenté de mettre en place une usine de production de cellulose à partir de matière première bois (l'Eucalyptus) à partir de reboisements industriels pendant le début des années 70 afin d'alimenter le complexe d'El KALAA, un projet qui a été vite étouffé.

Fortement tributaire de l'extérieur pour ses approvisionnements en matière première et pièces de rechange, l'industrie papetière algérienne a toujours connu une régression marquée depuis 1962.

Malgré d'importants investissements, ce secteur a fortement décliné.

Le groupe GIPEC (Groupe Industriel de Papier et de la Cellulose) relevant du secteur public a été créé en Novembre 1998 par la fusion des EX-ENEPAC-ENCELPAP, elle mêmes nées de l'entreprise mère SONIC en 1985.

D'après (MERZOUK, 2005), la capacité théorique de production est de 300 000 tonnes de papier par an. Le groupe GIPEC dispose de 13 usines dont un réseau de distribution et un autre de récupération. Cette entreprise éligible à la privatisation a produit en 2005 des sacs de grandes contenances (industries des ciments, aliments du bétail) ainsi que des sacs de petite et moyenne contenance destinés à l'agroalimentaire. Elle a produit aussi des caisses en cartons ondulés, des boîtes en carton compact, du papier d'emballage et des produits chlorés et sodiques.

Selon la direction de GIPEC, ses unités assurent 40% environ du marché national ; alors que le taux d'utilisation des capacités du groupe n'est que d'environ 40 à 45% soit 120 000 à 135 000 tonnes par an sur les 300 000 tonnes théoriques.

L'Algérien consomme 15Kg de papier et cartons par an. Le niveau de consommation de papier par habitant est un indice révélateur du développement économique et social d'un pays, l'Algérien et de ce fait loin d'être papivore. En effet si aux USA la consommation annuelle en papiers et cartons est de 300 Kg par habitant, l'Algérien n'en consomme que 15Kg, derrière le Marocain 17Kg, le Tunisien 20Kg, alors que le Français consomme quelques 180Kg annuellement.

La consommation du papier accompagne sans doute le développement d'un pays, car elle constitue un support indispensable à la culture et la communication, c'est un facteur de promotion commercial, un produit favorisant le confort et le respect environnemental.

L'industrie Algérienne est encore à ses balbussions, elle n'arrive pas à satisfaire les besoins nationaux.

En effet, l'Algérie importe près de la moitié de ses besoins en papier, 275 000 tonnes de papiers et cartons sont importés annuellement selon les chiffres communiqués par (GIPEC 2005).

Selon toujours cette dernière, rien que dans le domaine de l'édition dominé par le livre scolaire dont les besoins sont évalués entre 40 et 50 millions d'unités par an, le coût moyen annuel des quantités consommées par le marché national a atteint 600 millions de dollars US. La facture globale est évaluée à 684 millions de dollars US et il faut s'attendre à ce qu'elle dépasse 1 milliards de dollars US d'ici 2010.

Relativement récente en Algérie, l'industrie papetière se contente de produits récupérés comme matières premières à défaut d'exploitation forestière.

La superficie de la forêt productive est de 140 000 hectares pour une production de 140 000m³ en 1993 alors que les possibilités sont de l'ordre de 450 000 m³ l'objectif pour la direction des forêts est celui d'atteindre la possibilité globale soit plus de 1 000 000 m³/an.

Pour pallier au manque de matière première et en attendant que l'industrie cellulosique soit dotée d'équipements nécessaires pour le lessivage du bois, elle doit développer l'activité de récupération qui reste modeste comparativement à ce qui se fait dans l'autre pays.

Le groupe GIPEC récupère environ 34 000 tonnes par an de vieux papiers, soit 10% par rapport à la consommation nationale.

Tableau 10 : Capacités de production des unités de celluloses existantes en Algérie
GI.PEC 2005

Usines	Type de produit	Capacité t/an
BABA-ALI	Pâte d'Alfa	10900
BABA-ALI et autres usines de transformation	Papier impression écriture	67500
Bordj Bou Ariredj	Papier carton compact	21500
El Harrach	Papier emballage	66500
Total		166400

I.2.2 l'industrie de la cellulose :

I.2.2.1 compétitivité et avantages des industries forestières :

En matière d'industries du bois, le niveau de production est faible à peine 50% par rapport aux capacités installées.

Les différentes unités de production et de transformation souffrent depuis quatre décades du manque de matière première en l'occurrence le bois, l'alfa, la paille, le papier de récupération ainsi que de la vétusté ou de l'obsolescence des équipements.

La sous utilisation des capacités installées de transformation ne rend pas cette dernière évidemment compétitive. Les performances de l'industrie cellulosique en particulier restent médiocres.

En matière de pâte à papier, sur des besoins estimés à 520 000 tonnes/an, l'industrie nationale ne fournit à partir de l'alfa que 10 à 12000 tonnes/an et satisfait le marché à hauteur de 2,30%. (G.I.P.E.C. 2006).

Ce marché est satisfait à 55% par l'importation, soit 280 000 tonnes/an, ce qui nécessite une augmentation importante des capacités de production installées (GIPEC, 2006).

L'industrie cellulosique et papetière bien qu'elle n'utilise pas en Algérie la matière première bois mérite d'être examinée en égard aux besoins qu'elle appelle pour satisfaire une demande sans cesse croissante de l'ordre de 3 à 4% par an.

Il existait en Algérie trois usines de production de pâte à papier (Alger, Mostaganem, Saida) utilisant l'Alfa et la paille de blé comme matières premières.

La société nationale de l'industrie cellulosique (SONIC) créée en 1968, restructurée en deux entreprises filles CELPAP et ENEPAC en 1985, puis regroupées par la fusion de ces dernières sous le nom GIPEC, groupe relevant du secteur public en 1998 éligible en 2005 à la privatisation détient le monopole de fabrication de l'industrie des papiers et cartons. (GIPEC, 2006).

Les importations sont d'un coût très élevé de l'ordre de 2 à 3 fois plus chères que la production à partir de matière végétale locale.

Par ailleurs, le bois de l'industrie cellulosique tels que : (pin d'Alep, chêne vert, pin maritime, peupliers, Eucalyptus) et dans les cas extrêmes, dans les stations les plus faibles, même avec un accroissement de $2\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ en bois et avec un rendement de un quintal d'alfa par hectare, les rendements celluloses en pâte à papier provenant du bois sont 8 fois supérieurs à ceux issus de l'alfa et de la paille.

1.2.2.2 Capacités de production installées depuis 1976 :

Les capacités de productions installées sont les productions maximales que les usines peuvent atteindre en fonctionnement normal tenant compte des arrêts programmées pour l'entretien du matériel.

Tableau 11 : Capacités installées en pâte à papier

Tonnes/an (SONIC, 1979)

Lieu	Pâte fibres longues	Pâte fibres courtes
Mostaganem (Alfa)	0	66000
Baba-Ali (Alfa)	0	19000
Saida (paille de blé et recyclage vieux papiers)	0	25000
Total		110 000

Tableau 12 : Capacités installées en papier Tonnes / ha (SONIC, 1979)

Lieu	Papier impression écriture	Papier emballage	Papier hygiénique et sanitaire	Papiers pour cartons industriels et divers
Mostaganem	33 000	-	-	-
Baba-Ali	19 000	-	-	-
Souk Ahras	-	5000	5000	-
El Harrah	-	55 000	-	-
Saida	-	33 000	-	-
Total	52 000	93 000	5 000	150 000

La capacité totale installée en pâte est de 110 000 tonnes par an de fibres courtes à partir de l'alfa et la paille de blé, celle du papier est de 150 000 tonnes/an.

L'Algérie ne produisant pas de pâtes fibres longues à partir de bois de résineux importe en totalité celles-ci soit 40 000 tonnes/an depuis le fonctionnement de tous les complexes et ceci jusqu'à nos jours.

Signalons que le complexe d'El Kalaa qui devait fonctionner à partir de 1985 utilisant comme matière première le bois provenant des reboisements industriels d'Eucalyptus camaldulensis et globulus n'a jamais vu le jour.

Ce complexe devait alimenter l'ensemble des usines de papier de l'entreprise en fibres courtes pour parer à l'importation et produire 55 000t/an.

Par ailleurs, le complexe de Mostaganem qui devait produire 66 000 tonnes de pâte d'alfa sur lesquelles 44 000 tonnes/an étaient destinées à l'exportation, n'a jamais pu satisfaire ses besoins internes de la machine à papier.

Les tableaux précédents 11, 12 et 13 illustrent les capacités de production installées en pâte et papier, mais en réalité la production réelle est bien inférieure, car les usines n'ont pas fonctionné à leurs maximums de capacité pour différentes raisons citées en page supra.

Le tableau 13 illustre à juste titre pour différents types de produits fabriqués, la production en pourcentage de la capacité installée des principales usines de pâte et de papier ainsi que les usines de transformation. Ce qui est remarquable c'est qu'aucune usine n'ait atteint sa vitesse de croisière pour une production installée.

Tableau 13 : Production installée en tonnes et production en % de la capacité installée (SONIC 1979)

Lieu	Capacités installée en tonnes		Production maximale en % de la capacité installée
	Pâte	papier	
Mostaganem	66 000 alfa	33 000	15* 48,5**
El Harrach	Fibres longues importées et vieux journaux	22 000 Kraft 25 000 carton	50**
Souk Ahras	Pâte importée	5000 papier mince 5000 serviettes	50**
Saida	25 000 pailles	33 000 papiers et cartons ondulés	40* 45**
Baba-Ali	19 000 pâtes alfa	19 000	60* 60**
Bordj Bou Ariredj		15 000 sacs 10 000 boîtes	75**
Oued Smar		12 000 sacs	80**
Oran		5 000 sacs	80**
Total	110 000	183 000	

*pâte

**papier

Tableau 14 : capacités de production actuelle (GIPEC 2006) tonnes/an

Intitulés	2006
Pâte à papier Alfa	11 000
Papier impression écriture	67 500
Papier cartons compact	21 500
Papier emballage	66 500
Total	166 500

La capacité totale de production de papier est de 166 500 tonnes par an. L'Algérie pour satisfaire partiellement ses besoins en papier doit importer la totalité de ses fibres papetières.

Les besoins totaux en papier seraient de l'ordre de 520 000 tonnes d'ici 2010 d'après (GIPEC, 2006).

Ainsi, compte tenu de la production et de la consommation actuelle et dans le futur et à condition bien sûr que toutes les unités existantes et celles qui ont été fermé (Mostaganem,

Saida et Souk Ahras) soient réhabilitées, la demande totale en pâte à papier sera de l'ordre de 415 000 tonnes que l'Algérie doit importer annuellement ce qui représenterait une facture globale aujourd'hui de l'ordre de 684 millions de dollars, un montant susceptible de dépasser à court terme le milliard de dollars annuellement, selon les prévisions de (GIPEC, 2006).

I.3 Conclusion :

Face à cet énorme déficit et suite à une augmentation très rapide de la consommation en papier, il est facile d'imaginer les immenses efforts nécessaires que l'Algérie doit déployer pour augmenter la production nationale ligneuse.

La justification économique n'est plus à démontrer.

L'intégration forêt-cellulose s'impose de plus en plus si l'on veut éviter les importations massives. La création de reboisements industriels notamment en résineux et une populi culture ainsi que l'aménagement de tous les massifs forestiers peuvent contribuer pour une grande partie à atténuer d'une manière significative de déficit dans le cadre d'une politique forestière soutenue.

Aussi afin d'éviter les importations massives et des pertes en devises la satisfaction relative des besoins du pays nécessitera la mobilisation partielle du potentiel de production forestier.

Les besoins en bois ronds industriels tous secteurs confondus qui sont actuellement de l'ordre de 1 300 000 m³ ne sont couverts qu'à hauteur de 15% soit un peu plus de 200 000 m³ par la production locale. En l'an 2020 on estime que les besoins dépasseront plus de 2 600 000 m³. Il est raisonnable de penser que la production locale augmentera dans des proportions significatives pour atteindre le million de m³ soit un taux de couverture de l'ordre de 38%.

Il serait tout à fait aléatoire de faire des projections sur la production et les besoins en pâte à papier tant il est difficile de disposer d'une base de données pouvant fournir des informations vérifiables.

Les importations ne sont pas déterminées sur la base de besoins réels mais sur la base de la disponibilité de moyens de paiements en devises.

Si pour le liège, le pays est autosuffisant et peut même dégager un surplus important à l'exportation, il n'en est pas de même pour le bois rond et les fibres en particulier, ou un effort très important reste à faire pour augmenter la production pour la fourniture de matières premières, et ceci pour atteindre, une certaine sécurité dans le domaine de la disponibilité de celles-ci.

Un plan national de reboisement destiné à améliorer l'équilibre physique du pays et à augmenter sensiblement la production ligneuse et prévoyant le reboisement sur 20 ans de 1 200 000 hectares a été entamé en l'année 2000, (GOUASSANEM, 2000).

Il est à signaler que des retards sont observés puisque de 2000 à 2006 il n'y a eu que 100 000 hectares de reboisé.

Mais plus que tout, les objectifs de tous ces reboisements doivent être clairement définis.

En ce qui concerne le développement industriel papetier et ses effets sur la foresterie, trois faits marquants peuvent avoir des effets sur le secteur forestier. Le premier est le faible développement des activités non agricoles, particulièrement industrielles, donc la faible création d'emplois.

Il est peu probable que le développement industriel sera suffisant dans les deux décennies à venir pour résorber le chômage actuel et fournir du travail à la population entrant chaque année dans l'âge d'activité.

Le deuxième fait est la croissance encore forte de la population rurale, croissance qui va sans doute se maintenir pendant de nombreuses années du fait de la lenteur des changements démographiques dans le milieu rural.

Le troisième fait est l'exigüité des terres agricoles disponibles : l'Algérie dispose d'un peu plus de 8 millions d'hectares de terres cultivables pour plus de 35 000 000 d'habitants et le niveau de productivité est par ailleurs faible.

La combinaison de ces trois faits peut entraîner une pression des populations rurales sans ressources, sur les forêts et surtout sur les terres dites à vocation forestière.

Si l'extension des clairières défrichées et cultivées est relativement assez bien maîtrisée jusqu'à maintenant, grâce à une forte présence de l'administration forestière sur le terrain, à l'avenir, les populations riveraines, pressées par la nécessité de survie, risquent d'être plus offensives vis-à-vis des forêts.

Déjà certaines sont fortement exploitées en tant que lieux de pâturage, pour les bovins et il est difficile pour les agents forestiers d'agir dans ce contexte.

Le développement industriel du bois, de la pâte et du papier faisant appel aux matières premières ligneuses locales a connu quelques réalisations dans le passé (fabrication de la cellulose d'alfa, de paille, de papier et fabrication de panneaux de fibres) pour ne citer que ceux là.

Mais il est peu probable qu'il continue du fait de la concurrence des matières premières étrangères beaucoup plus compétitives en ce qui concerne la pâte de bois.

Le point de vue sur l'utilisation de fibres non ligneuses pour la fabrication de pâte et de papier, leurs disponibilités peuvent être sans doute immenses, mais en pratique les quantités offertes à l'industrie papetière sont très limitées c'est le cas ici de l'alfa et de la paille.

L'alfa et la paille, par exemple, ont de nombreux usages et ne laissent que de faibles quantités disponibles pour d'autres fins.

Par ailleurs, ces matières premières sont encombrantes et donc coûteuses à transporter, ce qui limite le rayon d'une collecte rentable autour d'une usine projetée.

Les coûts sont autant plus élevés que les sources de matières premières sont dispersées. En outre, le fait que la récolte de fibres non ligneuses (pérennes ou annuelles) se fait généralement sur une courte période de l'année impose le stockage de ces matières premières en grandes quantités ce qui est onéreux.

Leur utilisation par l'industrie papetière n'est donc pas une solution aussi simple qu'il paraîtrait à première vue, nonobstant que les rendements en pâte cellulosiques pour le bois dans le cas le plus pessimistes sont 8 fois plus importants que ceux de l'alfa ou de la paille. Il faut donc rassembler de très nombreuses données avant de pouvoir formuler un jugement valable.

L'installation d'usines de pâtes à papier utilisant le bois dans notre pays est possible, à condition de les intégrer à des industries de transformation mécanique des bois, par exemple des scieries ou des fabriques de contre-plaqué.

Des usines intégrées, outre qu'elles permettent une exploitation plus rationnelle des forêts, offrent les avantages suivants :

- La rentabilité accrue des investissements dans les industries de transformation mécanique des bois relève de celle d'une usine intégrée.

- La construction plus rapide des usines de transformation mécanique des bois fait qu'elles engendrent un profit avant que l'ensemble du complexe intégré ne soit terminé, donnant une certaine souplesse d'autofinancement qui améliore la rentabilité globale de l'entreprise.

- Les résidus fournissent à l'usine de pâte une matière première fibreuse bon marché.
- L'approvisionnement de l'usine intégré en grumes de sciage, de déroulage et de trituration permet un meilleur classement et une utilisation plus rationnelle de ces bois, d'où une réduction des coûts globaux de production.

Chapitre II

**Caractéristiques biologiques et
écologiques très succinctes des
essences principales des bois
utilisés**

II.1 Introduction :

La description des essences de bois utilisés sera brève et il ne s'agit ici que d'un bref rappel de quelques caractéristiques ; les ouvrages spécialisés étant si nombreux qu'il nous paraît inutile de détailler ces questions dans le cadre précis de notre sujet.

La forêt algérienne se caractérise par des formations le plus souvent naturelles, parfois dégradées, très étroitement adaptées à des conditions de sol et de climat particulières, et dont l'aménagement nécessite que l'on recourt à des techniques forestières originales, différentes de celles pratiquées dans d'autres régions du monde.

Au cours de ces dernières années, l'état a engagé un programme conséquent de reboisement et de travaux pour protéger, améliorer ou reconstituer les espaces naturels méditerranéens algériens les plus sensibles. Cet effort important est fait grâce à l'appui financier de l'état et au soutien local des collectivités territoriales compétentes.

Ici plus qu'ailleurs, réussir un reboisement ou mener à bien une opération sylvicole nécessite un soin tout particulier, dès le stade de l'élaboration du projet. Car le personnel forestier affecté dans ces régions n'a en général, pas reçu de formation vraiment spécifique pour s'y préparer.

II.2 Le chêne vert (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L) :

Les chênes sempervirents, considérés comme des espèces reliques constituent des éléments majeurs des végétations sclérophylles méditerranéennes.

Nos connaissances sur l'histoire paléogéographique de *Quercus ilex* L et de *Quercus coccifera* L et l'établissement de leur structuration génétique en corrélation avec les changements climatiques et l'anthropisation du milieu devraient être enrichies par des études de la variabilité des éléments constitutifs du bois et de la variabilité morphologique des feuilles.

À l'heure actuelle en anthracologie, il est impossible de discriminer le bois de chêne vert de celui de chêne kermès sur la base de critères anatomiques qualitatifs.

Ainsi, une nouvelle méthode, l'éco anatomie quantitative, résidant en la mesure de la taille des éléments vasculaires du bois et de leur réponse à des paramètres écologiques et/ou liés au développement naturel ou anthropique, est appliquée aux charbons de bois de ces deux chênes.

L'homme par ces diverses actions, aurait contribué à la préservation de deux sous-espèces de chêne vert, l'une dans la péninsule ibérique et au nord de l'Afrique : *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L et l'autre dans les péninsules italienne et Balkanique *Quercus ilex* ssp *ilex* L.

Ces sous-espèces de chêne se caractérisent par des formes de feuilles différentes (QUEZEL, 1974).

Divers représentants du genre *Quercus* jouent un rôle plus ou moins important dans la constitution des forêts méditerranéennes. Dans ce genre l'interprétation taxinomique précise est souvent délicat. Nous citerons quelques espèces à ce propos.

Parmi celles-ci on distingue d'habitude les chênes à feuilles persistantes ou chênes sclérophylles des chênes à feuilles caduques ou chênes caducifoliés et aussi des chênes semi-caducifoliés c'est-à-dire que les feuilles de l'année précédente restent plus ou moins en place jusqu'au débourrement printanier (QUEZEL, 1974).

Les chênes sclérophylles participent ou constituent à eux seuls, divers types de paysages hautement caractéristique du monde méditerranéen.

On peut ramener à 3 espèces principales les chênes sclérophylles caractéristiques de la région méditerranéenne. Ceux sont :

- Le chêne liège (*Quercus suber*) présent en méditerranée occidentale.
- Le chêne kermès (*Quercus coccifera*) qui possède l'aire de répartition la plus vaste.
- Et enfin le chêne vert (*Quercus ilex*) répandu en méditerranée occidentale et centrale, espèce relativement stable individualisant certains types notables tels que *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L qui nous intéresse dans ce travail et se trouvant dans les zones continentales semi arides, Espagne, Maroc et Algérie ou encore *Quercus ballota* ou chêne à glands doux présent surtout en Afrique du Nord et en Espagne.

II.2.1 Rappels botaniques :

- **Systematique :**

Le chêne vert est une essence que l'on appelle fréquemment la yeuse.

Il fait partie du sous embranchement des angiospermes de la famille des fagacées, tribu des quercoides, genre *Quercus*, espèce *ilex* sous espèce *rotundifolia*.

- **Morphologie :**

Arbre ou arbrisseau à port dont le houppier large et sombre avec un fût assez souvent tortueux branchu. Son écorce d'abord gris-vert et lisse, puis crevassée et noirâtre. Essence à feuillage persistant dont les feuilles alternes, entières coriaces, d'un vert foncé et luisante dessus, blanchâtres dessous de formes très variables et piquantes (parfois à bord presque lisse et non piquants). Elles sont souvent petites et ovoïdes et ressemblent à la feuille de houx (*ilex aquifolium*). Les fleurs mâles en chatons, jaunes verdâtres sont pendantes et bien visibles. Les rameaux sont tomenteux et blanchâtres les premières années, puis gris vert. Il porte des fruits

dont les glands sont petits et allongés, avec un sommet pubescent. L'arbre peut atteindre une hauteur de 10-15 mètres et plus.

II.2.2 Aire naturelle :

On le trouve dans les zones méditerranéennes, dans les endroits où les hivers ne sont pas trop rudes : les façades sud-méditerranéennes.

II.2.3 Ecologie :

C'est une essence plastique disait (Boudy 1955) dont la limite de l'aire d'extension a parfois été considéré comme caractéristique de la région méditerranéenne.

Cependant cette qualification de plastique n'est pas tout à fait vraie puisque nous verrons que le chêne vert ne s'accommode pas en réalité de tout type de sol.

C'est surtout sa présence « un peu partout » qui a caractérisé cette essence de « plastique ».

II.2.3.1 Etage de végétation :

C'est une espèce qui occupe l'étage méso méditerranéen mais aussi supra méditerranéen. Dans ce dernier cas, le chêne vert occupe les stations les plus sèches (sommet, versants sud...). Son altitude est inférieure à 1 500 mètres.

II.2.3.2 Climat :

C'est une espèce du climat méditerranéen, elle est très résistante à la sécheresse. Le chêne vert arrive à survivre sous une pluviosité annuelle de 400mm. Son optimum de croissance se situe vers 1000mm. C'est une espèce qui craint le froid hivernal.

II.2.3.3 Sol :

Présent sur de nombreux substrats, on peut le retrouver sur sols calcaires ou siliceux, parfois très caillouteux et superficiels, sauf sur sols compacts, asphyxiants ou engorgés, où ses racines ne peuvent s'enfoncer en profondeur.

II.2.4 Sylviculture :

Le chêne est à croissance très lente, sa longévité est de plusieurs siècles. Sa glandée est abondante et régulière, mais sa régénération naturelle est rare, en raison de nombreux facteurs tels que surpâturage, les incendies répétés qui font que dans bien des cas les brins de taillis dégradés n'arrivent pas à maturité.

En ce qui concerne les reboisements, il faut récolter les glands sur les peuplements les plus proches possibles du site à reboiser possédant les mêmes caractéristiques écologiques.

II.2.5 Utilisation :

La productivité des écosystèmes à chênes sclérophylles, n'a été encore qu'ébauchée. La raison majeure est sans doute due au désintéressement vis-à-vis des forêts à chênes sclérophylles en tant que producteur de bois.

D'après CASTELLANI, (1973) et QUEZEL, (1974) il semble que dans de bonnes conditions édaphiques et climatiques, la productivité de la forêt de chêne vert est loin d'être négligeable. En Italie selon ces auteurs, on avance des valeurs dépassant $3\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ pour un taillis de chêne vert de 30 ans et plus de $2\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ pour un maquis de chêne vert même si ces évaluations ne sauraient s'appliquées à l'ensemble des peuplements de chêne vert, elles ont le mérite néanmoins de fixer les idées. D'après QUEZEL (1974) et à titre de comparaison, en Afrique du Nord en dehors de la zone littorale, la productivité de chêne vert atteint une valeur proche de $1\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ en reboisement clair. Ce chiffre reflète la possibilité de l'exploitation du chêne vert qui est de $0,8\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ selon (PNDF, 1984 et GOUASSANEM, 2000).

Cependant de nombreuses mesures effectuées dans le massif de HASSASNA (Saida) ne laissent pas espérer une telle production (LEUTREUCH – BELAROUCCI et CERAG 1985).

Le bois de chêne vert ressemble au bois de chêne commun (zone initiale poreuse à gros rayons ligneux), mais avec un grain fin, et un bois dense et dur. Son utilisation comme bois de feu, pour la production de charbonnette et la production de manchons d'outils est très répandue dans les Maghreb.

C'est pour ces raisons qu'on a essayé de voir l'aptitude papetière de cette espèce du matorral méditerranéen à fin de la valoriser.

Par ailleurs, en forêt méditerranéenne, le chêne vert est très apprécié dans le cadre de la D.F.C.I (défense des forêts contre les incendies), pour son ombre fraîche.

II.3 Les peupliers : (Populus ssp)

L'importance des peupliers en Algérie par la surface qu'ils occupent est mal connue. On estime à peu près 40 000 hectares la surface occupée par les peupliers disséminés en bouquets ou en alignement.

Exigeants de bons sols bien alimentés en eau les peupliers se développent sur les terrains dans les vallées alluviales.

En populi culture, plantés à densité définitive sur les sols qui leur conviennent, ils produisent du bois de qualité à condition de bien choisir le cultivar et de prodiguer les soins intensifs qu'ils demandent.

Le peuplier compte de nombreuses espèces originaires de différents continents.

Les variétés de peupliers cultivés ou "cultivar de peuplier" sont des clones d'arbres sélectionnés dans la nature ou issus de la recherche.

II.3.1 Rappels botaniques :

II.3.1.1 Le peuplier blanc (*Populus alba* L) :

Arbre à port dont le tronc est souvent flexueux, l'écorce longtemps lisse, blanc grisâtre se fendant longitudinalement à la base des arbres âgés. Les cicatrices des branches mortes laissent des traces noires caractéristiques. Les feuilles sont de 3 à 5 lobes pubescents sur les deux faces, face inférieure et pétiole blancs, face supérieure verte. Les rameaux sont pubescents et verts (BARNEOUD, 1982).

II.3.1.2 le peuplier noir (*Populus nigra* L) :

Arbre à cime large et étalée. L'écorce d'un gris foncé et précocement fissurée. Les feuilles sont glabres et vertes sur les deux faces en forme de losange. Les rameaux sont cylindriques et glabres.

L'hybridation est possible entre toutes les espèces du genre et elle est à la base de nombreux clones sélectionnés à travers le monde (BARNEOUD, 1982).

II.3.2 Systématique :

Le peuplier appartient au genre *Populus* et à la famille des salicacées. Il comprend au moins trente espèces réparties en cinq sections botaniques : *Leuce*, *Aigeiros*, *Tacamahaca*, *Leucoides* et *Turanga*.

En Algérie, le peuplier est représenté à l'état spontané par trois espèces :

- **Le peuplier blanc (*Populus alba* L) :**

Il forme avec les trembles la section *leuce*. Il appartient aux groupes des peupliers blancs du bassin sud-ouest de la méditerranée (F.A.O, 1989) décrits sous le nom de *Populus alba* var *Hickeliana* Dode, *Subintegerrina* Laugee et *Mycrophylle* Maire :

- La variété *Hickeliana* Dode est de loin la plus répandue. Elle est reconnaissable par son port pleureur, par ses feuilles oblongues puis blanches lorsqu'elles débourrent.
- La variété *subintegerrina* Laugee est plutôt méridionale et peut se localiser dans le Nord de l'Atlas Saharien.

- Le peuplier blanc se bouture relativement bien et offre une bonne résistance à de nombreuses maladies.

- **Le peuplier noir (*Populus nigra* L.cv. Thevestina) :**

Le *Populus nigra* forme avec *Populus deltoïdes* de l'Amérique du Nord la section des Aigeiros. Il est répandu essentiellement dans les vallées.

Il est représenté en Algérie par au moins deux espèces :

Populus nigra L. cv. « Thevestina » Dode et *Populus nigra* néapolitana.

- **Le peuplier de l'Euphrate (*Populus euphratica*) :**

Le peuplier de l'Euphrate est rencontré là où l'humidité des sols est suffisante en zones arides et désertiques.

II.3.3 Aire de répartition :

La plus grande partie de l'aire des peupliers est dans le pourtour méditerranéen. Ils sont pour la plupart originaires, des régions chaudes et sèches. *Populus alba* L. supporte les hautes températures et un certain niveau d'alcalinité du sol ou de l'eau. Il se trouve en Algérie dans les vallées à sol frais et à fertilité moyenne. On a pu le trouver même au Sahara et ne dépasse guère l'altitude de 2000 mètres ; par contre *Populus nigra* L. cv. "Thevestina" est répandu essentiellement dans les vallées. Il offre une bonne vigueur et une faible sensibilité à *Marssonina Brunnea* MAGN (champignon foliaire). On peut le rencontrer sous forme de petits peuplements le long des berges d'oueds. Les deux espèces autochtones sont bien venant en Algérie dans le secteur des hauts plateaux ORANO-algérois, en boisement et en alignement sur sol siliceux, schisteux, limoneux, argilo-limoneux ou marneux. Dans le secteur des hauts Plateaux constantinois les sols calcaires et marneux ne semblent pas leur convenir (LETREUCH-BELAROUCI 1991).

En ce qui concerne le peuplier de l'Euphrate en zones arides et désertiques, il peut s'accommoder facilement dans la région de Beni Ounif jusqu'à Bechar et peut être dans la vallée de la ZOUSFNA.

Le peuplier de l'Euphrate présente un intérêt majeur dans les zones arides et désertiques en raison de sa rusticité, de sa grande résistance à la sécheresse et de sa tolérance à la salinité du sol.

II.3.4 Sylviculture :

Comme nous l'avons signalé ci-dessus, les peupliers comprennent des espèces spontanées et des espèces cultivées (cultivars), la plupart d'origine hybride.

Parmi le genre *Populus*, on recense, ou recense trois espèces spontanées :

- *Populus alba* L. (peuplier blanc),

- *Populus nigra* L. (peuplier noir),
- *Populus tremula* L. (tremble),

Avec des races géographiques à l'origine des cultivars.

Les peupliers hybrides sont d'origine génétique variée, ils sont apparus fortuitement ou au contraire ils sont artificiels et plus ou moins récents. (Chevallier, 2000).

Les peupliers artificiels sont créés à partir de trois espèces (les peupliers noirs, les peupliers deltoïdes originaires de l'Est de l'Amérique du Nord et les peupliers baumiers originaires de l'ouest de l'Amérique du Nord) et de leur hybridation.

L'hybridation de ces espèces entre elles permet de créer de nouvelles variétés (cultivars) qui conservent les caractéristiques intéressantes de leurs parents tout en éliminant les caractères jugés indésirables par le sylviculteur (F.A.O 1989).

Les critères recherchés sont ainsi :

- Rapidité de croissance,
- Rectitude du tronc,
- Plasticité vis-à-vis des conditions de sol, d'humidité, et de salinité,
- Qualité du bois,
- Faible sensibilité aux maladies,
- Résistance au vent.

Généralement les zones alluviales rassemblent beaucoup de conditions favorables à la culture de peuplier ; réserve en eau, richesse du sol. La récolte de bois se fera entre 10 et 20 ans environ. En dehors des vallées, la production sera toujours inférieure à celle enregistrée dans les zones alluviales.

Un labour préalable, une fertilisation à la plantation, des entretiens superficiels dans les premières années sont nécessaires pour limiter la concurrence pour l'eau en période estivale. En effet moins les conditions sont favorables plus la nécessité de travaux se fait sentir. La récolte de bois ne se fera pas avant 20 à 25 ans.

Dans le cas d'une plantation en alignement on utilise alors en priorité des essences résistantes au vent, faciles à conduire en taille de formation (pour la rectitude du tronc) et élagage (pour limiter la présence de nœuds).

Du point de vue esthétique et paysager, comme tout peuplement forestier, la peupleraie permet d'observer un étalement des couleurs dans le temps en fonction des saisons. Plus précisément la juxtaposition de peupleraies à l'intérieur d'un massif et la présence de variétés différentes, créent une mosaïque intéressante de couleurs (en termes de précocité, de

couleurs de floraison, de couleurs de débourrement), particulièrement en zones méridionales par rapport aux zones septentrionales.

II. 3.5 Utilisation du bois :

Les peupliers constituent un genre d'essences de haute production se prêtant facilement à une populi culture accélérée. La populi culture a pris naissance dans les régions à climat tempéré de l'Europe occidentale, centrale et du sud-est. Leur culture s'est ensuite étendue à d'autres continents et sous d'autres climats plus chauds, Turquie, Iran, Argentine (SOULERES, 1992).

La populi culture a reçu un début d'application en Algérie dans les années 70. Deux espèces du genre sont spontanées chez nous et manifestent un bon comportement : Le peuplier Blanc (*Populus alba* var *Hickeliana* Dode et le peuplier Noir dit « HAMOUI » (*Populus nigra* L. cv *Thevestina*) dont le nom évoque la région de Tébessa.

Les deux espèces se rencontrent dans les étages bioclimatiques subhumide et semi-aride, pour autant que le sol leur assure l'alimentation en eau dont ils ont besoin. On les trouve dans les dépressions, les vallées ou encore dans les ravins.

Le peuplier est utilisé principalement :

- En Déroulage : Panneaux contreplaqués, il est à la base de nombreux conditionnements (cageots, cagettes et caisses pour l'exportation des fruits et légumes) ainsi que les boîtes de camembert...
- En sciage : utilisé pour parties de meubles, menuiserie intérieures, planches, poutres, chevrons ... et dans les techniques modernes de façonnage de bois charpentes en lamellées collées.
- En trituration : il est l'une des matières premières pour la fabrication de pâte et de papiers de différents types, pour la fabrication de panneaux de particules, l'industrie cellulosique et papetière s'adaptant avec les tiges de faible diamètre de déchets d'exploitation et d'entretien des forêts (1^{er} et 2^{ème} éclaircie), des chutes de sciages (dosses).

Les produits de conditionnement peuvent être recyclés pour de nouvelles utilisations particulièrement pour la fabrication de pâte et de papier mais aussi pour la fabrication de panneaux de fibres et de particules.

Chapitre III

Etude de délignification de quelques bois algériens par le procédé à la soude et le procédé Kraft en vue d'une analyse biométrique des fibres en fonction de l'âge et des essais physicomécaniques des papiers obtenus

Chapitre III : Etude de délignification de quelques bois algériens par le procédé à la soude et le procédé kraft en vue d'une analyse biométrique des fibres et des essais physicomécaniques des papiers obtenus.

III. Micro--cuisson :

Les méthodes de cuissons du bois et les matériels qui servent à l'amélioration des procédés dans l'industrie et dans les recherches papetières font partie des contrôles et des essais nécessaires pour suivre la régularité des approvisionnements en bois, et de la qualité des pâtes produites, ces méthodes sont mises en œuvre dans un contexte où le bois, matière première en copeaux, et la pâte, produit transformé, sont toujours en quantités suffisantes à tous les stades des essais à entreprendre.

La méthode de micro--cuisson papetière dans le cadre des recherches forestières sur la qualité des bois, s'applique au traitement des carottes de sondage prélevées à l'aide de la tarière de la PRESSLER sur les arbres vivants afin de déterminer leurs qualités papetières. Dans la mise au point de la micro--cuisson nous avons dû tenir compte du faible poids de bois disponible par échantillons du 1 gramme à 6 grammes, de l'étendue de l'échantillonnage à traiter, des conditions précises nécessaires à la reproductibilité, en fin, utiliser un matériel de micro-lessiveurs adapté à ces traitements.

Des travaux de micro-défilages avaient été effectués par (CHIAVERINA, 1966) à l'aide de bombes de Wurzschildt pour le besoin de la micrographie papetière et pour l'étude biométrique des éléments fibreux.

Lorsque l'on ne dispose pas de ce matériel, on peut employer diverses méthodes dérivées de celles utilisées pour déterminer les rendements en cellulose. L'une des plus rapides rappelle la méthode "CROSS et BEVAN".

L'échantillon de bois (1 à 6g) réduit en courtes allumettes parallélépipédiques (5mm x 5mm) ou carottes de sondage, est immergé dans un grand excès de solution de soude, dans un bécher forme haute, bouché par une capsule de porcelaine, ou verre à fond rond pleine d'eau froide que l'on renouvelle de temps en temps.

On chauffe à ébullition pendant un temps t en maintenant constant le volume de solution, ce qui est facilité par la condensation de la vapeur en contact avec le fond de la capsule de verre.

Nous avons donc appliqué aux carottes de sondages ou aux échantillons parallélépipédiques, un traitement en cuisson à la soude à l'aide d'un matériel rudimentaire qui a constitué l'origine de nos travaux.

Divers auteurs KEAYS et al, (1969), KEAYS et al, (1970) ; MANVILLE et al, (1977) se sont intéressés à la reproductibilité des rendements en pâte et à la précision des méthodes à partir d'échantillons de quelques grammes de bois (1 à 6g).

Nous avons repris et développé, des travaux analogues, mais en leurs donnant une orientation en amont plus forestière, à partir d'échantillons de bois (carottes de sondage ou parallélépipédiques), pour leur amélioration quantitative et qualitative. Cela nous a conduits à utiliser des micro-cuissons, des macro-cuissons, des raffinages de pâte et des essais physicomécaniques sur papiers.

III. 1 Méthode de micro-cuisson :

III .1.1 Introduction :

La méthode de micro-cuisson est une méthode de laboratoire qui a été mise en œuvre pour reproduire, à une échelle réduite, les procédés industriels de cuisson de bois ou de tous autres végétaux pour la fabrication de la pâte à papier.

Elle permet de déterminer le rendement en pâte de chaque échantillon étudié.

La détermination du rendement en pâte de nombreux échantillons de bois de petite taille, souvent inférieur à 5 grammes, prélevés de façon non destructive dans des arbres vivants à l'aide de la tarière de PRESSLER de 5 mm de diamètre nécessite pour tenir compte de la variabilité individuelle des arbres, une fiabilité et une bonne reproductibilité des conditions opératoires afin de s'affranchir de toutes les sources de variations autres que celles concernant la nature et l'origine des échantillons examinés lors des comparaisons entre genres, espèces en fonction de l'âge.

III.1. 2 Définition du rendement en pâte et variation de son expression :

Les différents états dans lesquels peuvent se trouver le bois ou les fibres entraînent des différences dans l'expression du rendement.

III.1.2.1 Rendement en pâte utilisé dans notre travail :

Le rendement en pâte, c'est le rapport du poids total de pâte écrue anhydre obtenue par le traitement choisi, au poids total de bois anhydre dont il provient.

Le poids total anhydre se détermine après passage de l'échantillon pendant 12 heures minimum à l'étuve à $102^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ jusqu'à poids constant, ceci concerne nos essais préliminaires.

Pour avoir une bonne précision il faut contrôler le taux d'humidité DURAND, (1975), une bonne homogénéité de la forme des échantillons KEAYS, (1969) et s'assurer une bonne reproductibilité des conditions de cuisson (KEAYS et al, 1970).

III.1.2.2 Variation de l'expression du rendement lié à l'état du bois et des fibres :

Les expressions variées du rendement proviennent de l'état dans lequel se trouve le bois avant lessivage et des propriétés des fibres qui, elles découlent du type de cuisson imposé (JANIN, 1983).

Le bois peut se présenter :

- sous forme de parallélépipèdes réguliers,
- Sous forme de carotte de sondage,
- Avec écorce ou sans écorce,
- Extrait ou non avec différents solvants,
- A des taux de siccité variables, sec à l'air ou anhydre.

Il est de plus précisé pour chaque échantillonnage :

- Sa provenance géographique,
- Son espèce et les traitements sylvicoles subis,
- L'âge de l'arbre et la localisation précise de l'échantillon dans l'arbre.

Les fibres sont souvent décrites en fonction :

- Du groupe végétal dont elles proviennent : plantes annuelles, bois résineux ou feuillus,
- Du type de cuisson choisi, des réactifs utilisés, des traitements thermiques ou mécaniques appliqués,
- De l'état écru, semi-blanchi ou blanchi,
- De sa teneur résiduelle en lignines, de sa teneur en cellulose brute et éventuellement en hémicellulose,
- De leur humidité : Suivant les usages de sa commercialisation et pour son transport.

Ainsi, lors de l'expression quantitative du rendement, la mention de toutes ces particularités permet de situer la valeur relative du rendement en pâte, par comparaison avec d'autres conditions d'expérience.

III.1.3 Choix du type de cuisson :

Bien que tous les types de cuisson puissent s'employer pour nos micro-cuissons, nous pratiquons presque exclusivement des cuissons alcalines à la soude pour nos premiers essais rudimentaires et des cuissons alcalines dites aux sulfates du type kraft, c'est-à-dire dans ce cas avec un mélange de soude et de mono-sulfure de sodium avec les caractéristiques suivantes :

• A la soude :

- Alkali actif (NAOH) exprimé en g/l de NAOH,
- Le rapport de dilution : volume du liquide en millilitres sur poids de bois en gramme qui règle la concentration des produits actifs,

- La température,
- Et le temps de cuisson.

• **Au sulfate :**

- Alkali effective ($\text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}$) exprimé en g/l de Na_2O ,
- La sulfidité qui est le rapport ($\text{Na}_2\text{S}/\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$),
- Le rapport de dilution : volume du liquide en ml sur poids de bois en gramme qui règle la concentration des produits actifs,
- Le diagramme température- temps variable de cuisson.

Ces types de cuisson s'appliquent de façon générale à l'ensemble des végétaux lignifiés susceptibles de posséder des fibres de qualités papetières.

En effet notre méthode de micro-cuisson, pour évaluer les aptitudes papetières des différentes espèces ne pouvaient tenir compte que d'un seul type de traitement afin de pouvoir, d'une part intéresser les améliorateurs forestiers aux diverses espèces étudiées et traitées dans les mêmes conditions et d'autres part étendre les comparaisons entre genres.

Par ailleurs nous avons effectué ce choix pour deux raisons essentielles :

- Le premier type de cuisson a été choisi parce que l'industrie papetière algérienne utilise la soude dans les différentes phases de cuisson.
- La deuxième type de cuisson au sulfate est très intéressant parce qu'il s'applique à tous les végétaux, permet la récupération des produits chimiques sortant des lessiveurs et ne sont pas rejetés dans le milieu naturel, donne des pâtes plus faciles à blanchir avec des caractéristiques physico-mécaniques des papiers plus intéressantes.

III.1.4 Matériel et Méthode :

En dehors, de nos essais de cuisson rudimentaires à la soude qui ont constitués l'origine de nos travaux, le procédé de cuisson mis en œuvre pour l'évaluation papetières des espèces feuillues (*Quercus ilex*, *Populus alba* et *Populus nigra*) est le procédé kraft.

Les cuissons papetières ont été réalisées dans deux types de lessiveurs :

- Le premier consiste en un système de six autoclaves d'une capacité de un litre chacun, chauffés électriquement, la température choisie étant réglée automatiquement. La vitesse de montée en température dans chacun des autoclaves peut être programmée (voir photographie 1).

Ce système a été utilisé dans l'étude de la cinétique de délignification en vue de déterminer le temps optimal des différentes cuissons sachant que les autres conditions sont restées constantes.

- Le deuxième système consiste en un lessiveurs rotatif de 25 litres chauffé électriquement et dont la température n'est pas régulée automatiquement.

Nous avons utilisé le deuxième système, après avoir optimisé le temps de délignification par le premier système, afin de comparer les rendements et les indices kappa des pâtes issues du premier système.

Par ailleurs l'objectif était aussi d'obtenir une quantité suffisante de pâte afin de fabriquer des papiers et étudier leurs caractéristiques.

Les pâtes après cuisson sont défibrées dans un appareil du type Sprout-waldron muni de deux disques dont l'écartement est réglable, après un lavage abondant de la pâte sur tamis.

Le rendement de la cuisson est alors déterminé par mesure de la concentration de la pâte mise en suspension voir annexes 27, 28, 29, 30 et 31. La pâte est ensuite classée dans un classeur à fentes Weeverk dotée d'une grille de 15/100 mm puis mise à sécher sur claie, après l'avoir recueillie sur un tamis munie d'une toile à vide de maille de 90 microns (voir photographie 2).

III.1.4.1 Micro-lessiveurs :

Les micro-lessiveurs d'un volume utile de un litre permettent de traiter de petites quantités de bois (1 à 40g) (voir photographie 1).

III.1.4.2 Macro-lessiveur :

Le macro-lessiveur d'un volume utile de 25 litres peut contenir plus de trois kilogrammes de bois sec, et est comparable à ceux des laboratoires de contrôle industriels. Il sert à établir éventuellement la relation avec les micro-cuissons.

III.1.4.3 Mode opératoire :

III.1.4.3.1 Préparation et conservation de liqueurs de cuisson :

La préparation de la liqueur de cuisson se fait en une seule fois pour le volume nécessaire à une expérience comportant 6 traitements journaliers de 6 micro-lessiveurs.

Les réactifs utilisés sont des produits purs de laboratoire :
NAOH en pastilles et Na₂S, 9H₂O cristallisé. On procède par pesées des quantités nécessaires et ajustage des titres des solutions.

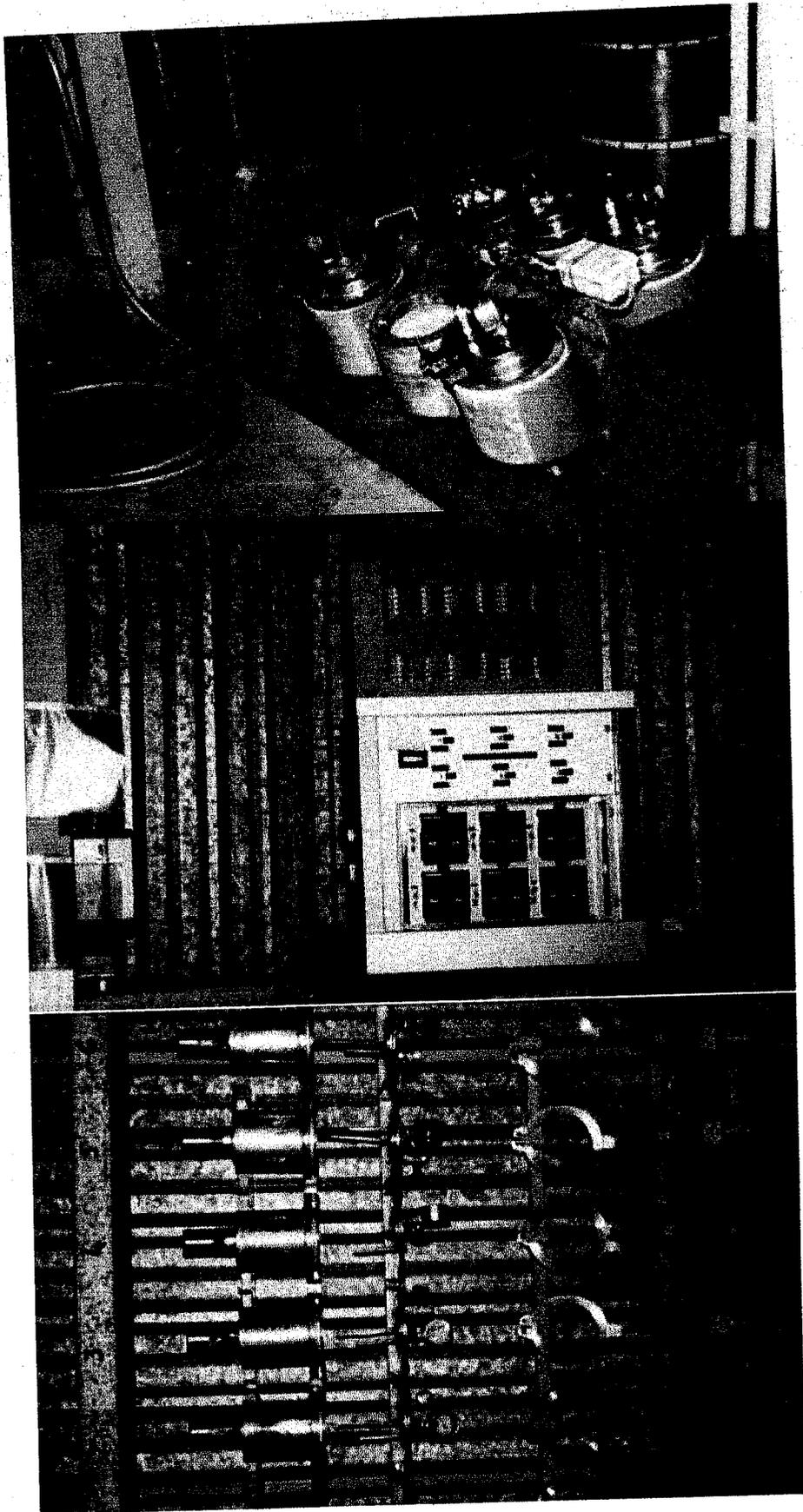


Photo 1 : Micro-lessiveurs de laboratoire (Ecole Française de papeterie-Grenoble)

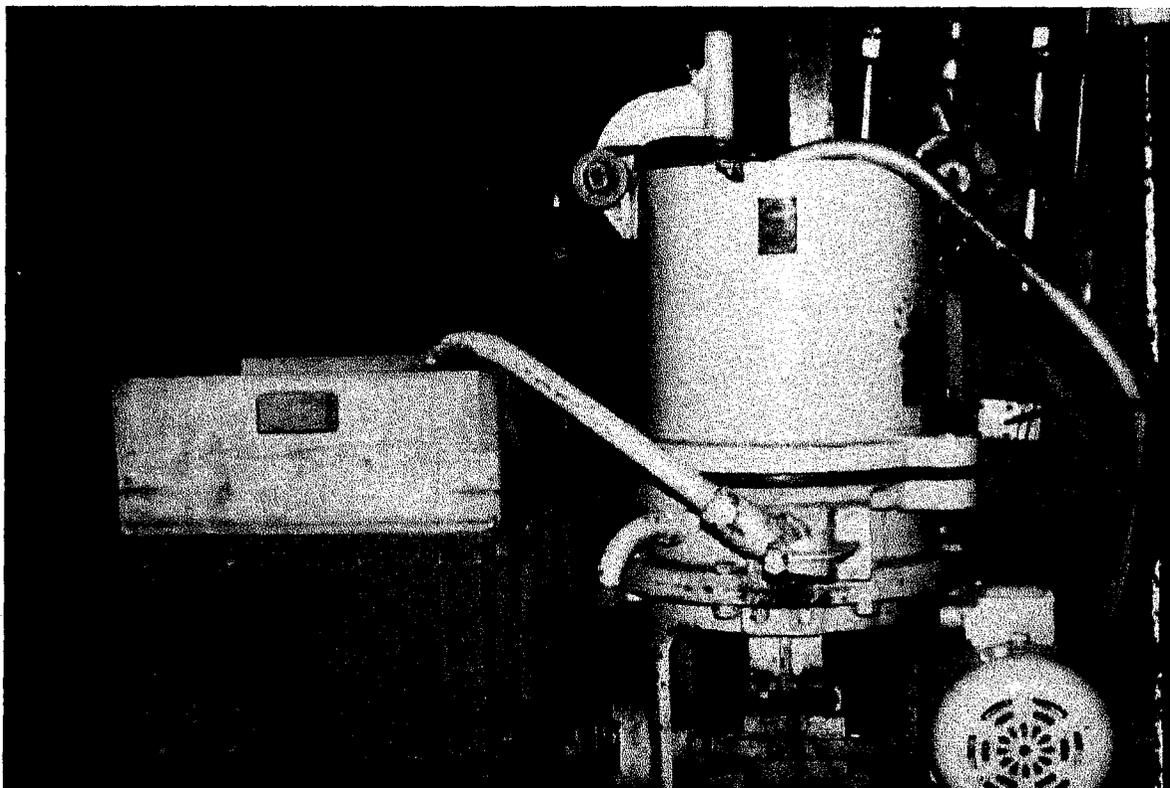


Photo 2 : Classeur Weeverk (Ecole Française de papèterie-Grenoble)

Nous avons procédé ainsi pour éviter l'oxydation des sulfures et la carbonatation de la soude dans le temps et la conservation de la liqueur qui doit se faire à -5°C , ce qui nous aurait obligé à contrôler et à doser la soude et le sulfure après avoir ramené le flacon à la température du laboratoire avant son emploi et son dosage.

III.1.4.3.2 Distribution de la liqueur :

Une des constantes du procédé de cuisson kraft est le rapport liquide / bois (L/B) qui fixe la quantité de réactifs introduits et leur concentration au contact du bois. Dans la pratique courante L/B est égale à 4.

III.1.5 Contrôle de la qualité des cuissons kraft :

L'indice kappa des pâtes est une indication sur le degré de délignification (dureté) ou l'aptitude de blanchissement des pâtes. Notons qu'il n'y a pas de relation générale et précise entre l'indice kappa et la teneur en lignine d'une pâte. La relation varie en fonction de l'espèce du bois et du procédé de délignification. L'Indice kappa suivant la norme française (N.F. T 12-018) est une méthode de détermination de l'indice kappa des pâtes. Elle est applicable à toutes les pâtes non blanchies produites avec un rendement inférieur à environ 60%.

La limite inférieure pratique de cette méthode est un indice kappa de 5 (E.F.P., 1997).

III.1.5.1 Définition de l'indice kappa :

Dans le cadre de la norme Française T12-018, la définition suivante est applicable :

L'indice kappa d'une pâte est le nombre de millilitres de solution de permanganate de potassium déci normale (à 0,2 mole/l) consommés dans les conditions spécifiées, par gramme de masse de pâte (calculée sur la base sèche à l'étuve). Les résultats sont ramenés à une valeur correspondant à celle obtenue lorsque 50% du permanganate est consommé lors de l'essai.

Les détails relatifs aux réactifs, à l'appareillage utilisé, à la préparation des échantillons, au mode opératoire et au calcul et expression des résultats, sont donnés dans l'annexe. (Voir annexe 21 méthode de calcul et annexes 22, 23 et 24).

III.1.5.2 Les incuits :

On appelle incuits les parties du bois qui, après cuisson, ne sont pas défibrées. Les incuits peuvent provenir, soit d'un défaut de pénétration de la liqueur de cuisson dans le bois par suite de la présence d'un nœud, du voisinage d'un départ de branche, d'une accumulation ponctuelle de résines ou d'une surépaisseur locale dans un copeau de bois, soit d'un incident de manipulation : introduction d'un volume de liqueur insuffisant, température, ou alcali trop faible, défaut accidentel d'étanchéité au joint de fermeture des micro-lessiveurs.

D'après JANIN (1981), lorsqu'ils se produisent, les incuits faussent l'expression du rendement et empêchent toute comparaison ultérieure.

Aussi en plaçant les échantillons dans les mêmes conditions et en rejetant les carottes de sondages ou les échantillons parallélépipédiques présentant des défauts apparents, la présence d'incuits devient tout à fait exceptionnelle et fortuite.

Dans le cas des micro-cuissons à la soude ou au sulfate, les carottes de sondage ou les échantillons parallélépipédiques présentent l'avantage unique, jamais réalisé dans d'autres traitements en Algérie, de l'identité des dimensions des échantillons. Ceci entraîne la régularité du mécanisme d'imprégnation des liqueurs et de la vitesse de dissolution des lignines et des hémicelluloses, et renforce la validité des comparaisons des rendements.

III.2 Matériel Végétal : Echantillonnage :

Les échantillons de bois de faible poids (1 g à 6g) que l'on peut traiter en micro-cuisson se présentent sous la forme soit de parallélépipèdes, soit de carottes de sondage.

III.2.1 Carottes de sondage :

Les forestiers utilisent les carottes de sondage obtenues avec la tarière de PRESSLER, pour étudier les caractéristiques du bois, physiques, anatomiques, mécaniques et aussi papetières (BUCUR, 1981 ; EL RHAZI, 1981 ; EL RHAZI, 1978 ; FERRAND, 1981 ; POLGE, 1967 ; POLGE et MILLIER, 1967 ; POLGE et KELLER, 1970 ; SESBOU, 1981).

III.2.1.1 Aspects forestiers :

Dans l'usage le plus courant la carotte de sondage prélevée à 1.30 m perpendiculairement à l'axe de l'arbre, sert à évaluer l'accroissement des arbres sur le rayon en mesurant la largeur des cernes annuels, en vue d'estimer la production des peuplements.

Cet échantillon constitue la base de nos études.

En effet il tient compte de tous les événements de la vie de l'arbre, il est non destructif pour l'individu étudié et le prélèvement accompagné de précautions opératoires n'apporte pas de dommages très importants à l'arbre en cause. La cicatrisation et la formation des accroissements annuels après le sondage s'effectuent régulièrement dans le temps. Pour les espèces à croissance rapide comme les peupliers, 3 à 4 années suffisent, tandis que pour les espèces à croissance plus lente comme le hêtre et le chêne 6 à 8 années sont nécessaires (THIERCELIN et POLGE, 1970 ; THIERCELIN et POLGE, 1972).

La carotte de sondage a été très vite utilisée pour diverses déterminations des caractéristiques du bois :

- Le couple de torsion mesuré lors du prélèvement qui est en relation avec la dureté et la densité,
- L'enregistrement des courbes de densité du bois,

- Les variations dimensionnelles en fonction de la teneur en eau c'est-à-dire le retrait et aussi le collapse,
- La longueur des fibres,
- Le module de Young,
- Les contraintes de croissance,
- La xylochronologie, la dendrochronologie et la dendroclimatologie.

Ajoutons que la rapidité du prélèvement est un avantage sur la préparation d'éprouvettes de bois normalisées de grandes dimensions, qui demandent par ailleurs, du fait de leurs dimensions, une très longue période de séchage avant d'être façonnées

Le grand nombre d'échantillons, souvent important, qui peut être récolté au cours, d'une campagne de mesures en forêt, permet d'estimer la variabilité individuelle d'un caractère de la qualité du bois

Les carottes de sondage permettent encore de tirer un meilleur parti de l'implantation, très onéreuse, sur le terrain de dispositifs d'expériences : Tests de qualité sur des plants de différents âges.

L'inconvénient quelquefois reproché aux carottes de sondage est leur défaut de représentativité par rapport à la section de l'arbre à la hauteur de son prélèvement.

III.2.1.2 Aspects papetiers :

Les avantages qu'il faut reconnaître aux carottes de sondage pour leur traitement en micro-cuisson concernent :

- La périodicité de leur prélèvement : L'arbre n'étant pas abattu il peut être sondé à nouveau,
- La localisation précise de l'échantillon, qui permet de prendre en compte les variations anatomiques, comme la présence du bois de réaction c'est-à-dire de compression chez les résineux, de tensions chez feuillus et leur confère : les diagrammes polaires de rendements.
- Leur faible dimension qui permet de repérer ceux qui sont défectueux : zone de proximité d'une branche, inclusion d'écorces, partie d'un nœud ancien ... et de les éliminer avant la cuisson ; ainsi les incuits s'il y en a, ne sont dus qu'aux conditions de traitements ;
- L'identité de leur forme cylindrique de 5 mm de diamètre qui favorise leur imprégnation identique par la liqueur de cuisson et régularise la cinétique de délignification (KEAYS, 1970 ; KORAN, 1974),
- Leur facilité d'identification ;

- Leur conditionnement à l'état anhydre obtenu après passage à l'étuve à $(102^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C})$ qui les place à un même niveau de comparaison du point de vue teneur en eau,
- La possibilité, vu leur faible poids (1 à 6 g), de traiter l'échantillon en totalité pour déterminer leur siccité.

III.2.2 Echantillon parallélépipédique :

Lorsque l'on dispose d'arbres déjà abattus, on débite des échantillons dans des disques ou des planches (voir photo 3 et 3bis).

Le façonnage d'éprouvettes de forme géométrique définie de 4 mm x 4 mm sont découpés dans des disques de 4 cm d'épaisseur (en section transversale) puis chaque disque est débité dans le sens du fil du bois en lamelles de 4 mm d'épaisseur, elles même divisées en parallélépipèdes de 4 mm de côté ce qui nous donne des échantillons de (4 cm x 4 mm x 4 mm) et permet l'étude d'échantillons de bois très précisément localisé dans l'arbre.

Cette épaisseur régulière dans les directions parallèles et perpendiculaires aux fibres offre à la liqueur de cuisson les mêmes possibilités d'imprégnation.

Ainsi, cette source de variation des rendements en pâte en fonction des conditions de cuisson qui a été largement étudiée (WORSRER et BARTELES, 1977 ; STEFFES, 1978; MARTIN Mc LEOD, 1977) est écartée.

III.3 Influence des paramètres de cuisson :

Une des commodités, parmi d'autres du matériel de cuisson réside dans le fait que l'on peut prélever en cours de cuisson un ou plusieurs micro-lessiveurs à un moment donné, et ainsi établir les variations du rendements en fonction du temps de traitement, et de la nature de la liqueur de cuisson.

III.3.1 Influence de la température de palier :

Pour le rendement en pâte la température demeure le facteur prépondérant.

Plus la température appliquée est importante, les autres paramètres étant constants plus le rendement en pâte est faible.

D'après JANIN, (1983), la température de palier accentue la délignification et la dissolution des hémicelluloses ainsi que les parois des cellules juvéniles.

Dans les cuissons kraft la température de palier est de 165° - 170°C .

III.3.2 Influence de la concentration initiale en alcali-effective:

Le plus ancien procédé d'obtention de pâtes cellulósiques à partir de végétaux utilisés est la soude en milieu aqueux comme agent actif.

Les pâtes obtenues avec des rendements faibles présentent des caractéristiques physiques médiocres. Depuis quelques décades, le progrès le plus spectaculaire a été, la découverte du procédé "kraft" ou procédé au sulfate utilisant la soude et le sulfure de sodium comme agent délignifiant, il est resté jusqu'à nos jours le procédé universel de fabrication de pâte chimique (CHENE et al, 1968 ; LACHENAL et al, 1979,1980, 1983, ROBERT et al, 1983).

Les essais de cuisson que nous avons menés et ceci quelque soit le procédé ont été effectués dans les conditions semblables.

Dans ces conditions on obtient une gamme de pâte de duretés variables, l'indice kappa pouvant varier dans de larges proportions, mais la gamme de pâte obtenue est telle que l'une d'elle se situe autour d'un indice kappa de 15 à 20. On a ainsi la possibilité soit d'étudier les pâtes à un même degré de délignification soit d'étudier les pâtes dont le degré de délignification est différent mais dont les conditions de cuisson sont identiques.

C'est donc dans des conditions identiques de cuisson dans des micro-lessiveurs ou dans des lessiveurs que les essais ont été effectués.

La concentration initiale en alcali actif est identique pour l'ensemble de nos essais de plus, nous n'avons pas cherché à déterminer le taux d'alcali actif initial le plus approprié à une espèce ou à une série d'échantillons à comparer.

Par ailleurs l'hydro module qui représente le rapport liquide / bois et donc qui règle la concentration de l'alcali-actif initial tourne autour de 4 à 8 dans les cuissons classiques.

D'après JANIN, (1983), la délignification est forte pour un rapport de 1 et elle diminue rapidement lorsque le rapport L/B s'élève au dessus de 6. D'après ce même auteur les bois traités avec des rapports L/B supérieurs à 8 doivent être soumis après cuisson à un défibrage mécanique pour être défibrés.

Dans la suite de nos travaux, nous utilisons le rapport L/ B = 20 qui donne un bon compromis entre un rendement en pâte satisfaisant avec une délignification convenable.

Par ailleurs compte tenu du peu de matière première qui était à notre disposition il n'était pas possible de réaliser des cuissons "normales" tenant compte de tous les paramètres, en fonction de (la variation de l'alcali, en fonction de la température, de l'hydro module). Nous avons donc effectué des cuissons à concentration en alcali effective sensiblement constantes soit (25 g/l) grâce à l'utilisation d'un rapport L/B très élevé de 20.

Cette façon de procéder permet de ne pas doser les liqueurs noires puisque on était forcément en excès de réactif et aussi de prévenir une consommation importante possible d'alcali.

III.3.3 Influence du séchage du bois sur les rendements :

Pour connaître le poids de végétal utilisé dans une micro-cuisson pour les raisons de méthodologie et de précisions des résultats, nous devons sécher à l'état anhydre l'échantillon à soumettre à la cuisson, lorsque nous ne pouvons pas disposer de couples de prélèvements contigus.

Dans une étude portant sur des échantillons d'Abies grandis sous forme de carottes de sondage, de parallélépipèdes et de plaquettes de bois conventionnelles traitées en macrolessiveurs DURAND (1975) a montré l'influence du séchage anhydre du bois sur le rendement en pâte. D'après cet auteur, il existe un effet dû au séchage anhydre à $102^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, et cet effet diminue le rendement en pâte de 1% en moyenne par rapport à l'état sec à l'air, ce qui est significatif, c'est sa constance.

Cependant, compte tenu de la difficulté de déterminer le taux d'humidité de chaque lot de bois ou de chaque échantillon, le passage par l'état anhydre des échantillons permet de les placer dans les conditions comparables avant le traitement de cuisson.

Lors de l'exploitation des résultats on devrait tenir compte de cette différence de rendement de 1 % induite par la méthode de micro-cuisson, à cause du séchage préalable des échantillons quand c'est le cas.

Avant de faire état de nos résultats sur la morphologie des fibres, les rendements et les teneurs en eau du bois, par le procédé à la soude, issus d'essais rudimentaires qui ont constitués l'origine de nos travaux ; il est nécessaire de corroborer ce travail par des généralités sur la fabrication des pâtes.

III.4 Généralités sur la fabrication des pâtes :

Les pâtes cellulosiques sont produites généralement à partir de matières premières végétales, principalement le bois. Elles constituent l'élément de base de la fabrication du papier, du carton ou de produits plus élaborés comme la rayonne, la soie viscosée, le cellophane ... Elles sont obtenues suivant deux types de procédés :

L'un appelé "mécanique" qui consiste en un simple broyage du végétal, l'autre "chimique" qui consiste à cuire le bois dans une solution aqueuse acide ou basique. Un composant du bois la lignine, se dissout pendant la cuisson, ce qui provoque une destruction aisée du bois et la séparation des fibres après une simple agitation ou par action mécanique très faible.

Pour le procédé chimique, la consommation d'énergie est plus faible mais également le rendement en pâte n'est que de 50 % environ.

Cependant, la pâte obtenue par voie chimique est toujours de meilleure qualité.

La liqueur de cuisson est faiblement acide dans le cas des procédés au bisulfite. Elle est fortement alcaline dans le cas des procédés kraft. Ce dernier présente les avantages suivants : Il s'applique sans problème à tous les végétaux et les temps de cuisson sont plus courts.

Afin d'assurer une meilleure pénétration de la liqueur d'une manière homogène dans toutes les directions, le bois est réduit au préalable en échantillons parallélépipédiques ou de carottes de sondage ayant des dimensions régulières.

A de rares exceptions près, toutes les essences de bois sont utilisables pour la fabrication de la pâte. Elles peuvent être classées en deux catégories principales selon qu'elles sont à feuilles caduques (feuillus) ou à feuilles persistantes (résineux). Les bois résineux dont la fibre est longue conduisent à des pâtes appréciées pour les caractéristiques mécaniques des produits finis (papiers d'emballage etc...) tandis que les feuillus sont d'une grande utilité dans la fabrication des papiers d'impression.

Au préalable, il convient d'apporter quelques précisions sur :

- La composition chimique et la structure physique du bois.
- Le procédé kraft proprement dit, nature chimique de la liqueur et réactivité des composés du bois.

III.4.1 Composition chimique et structure de la fibre végétale:

III.4.1.1 Structure et composition chimique du bois :

Un arbre est constitué de 3 grandes parties :

- Le haut, partie branchue, s'appelle la cime ou le houppier.
- Le tronc ou le fût est constitué de la partie non branchue.
- Le système racinaire.

Une coupe d'un tronc ou d'une branche nous permet d'observer trois parties : le bois, le cambium et l'écorce.

Le bois a une structure plus dense à l'intérieur (bois de cœur) qu'à l'extérieur (aubier).

Son rôle est de supporter la cime et de stocker les réserves nutritives et de véhiculer les éléments nutritifs des racines jusqu'aux feuilles.

Le bois est constitué d'anneaux concentriques qu'on appelle cernes et qui correspondent à la croissance annuelle de l'arbre en largeur.

+ Le bois initial (ou de printemps) : tissus formés au printemps lorsqu'il y a abondance d'eau et de lumière. Leur structure est lâche, avec des fibres larges à parois minces pour

permettre la circulation des éléments de la sève (qui est montante dans cette zone), et de couleur claire pleine d'eau.

+ Le bois final (ou d'automne) : Tissus durs et résistants qui se forment en été lorsque le manque d'eau se fait sentir. Les fibres sont plus denses et d'une couleur plus foncée.

Le nombre d'anneaux permet de déterminer l'âge de l'arbre, mais ce nombre varie en fonction de la hauteur de la prise d'échantillon. Il est donc nécessaire de connaître cette hauteur et d'estimer la partie inférieure.

+ Le cambium (ou assise générative cambiale) est relativement fin en épaisseur. C'est ici que vont se créer les nouvelles cellules du bois et donc l'accroissement de l'arbre.

Notons qu'en plus, l'arbre va se développer en longueur au niveau des extrémités des branches et des racines.

+ L'écorce située en périphérie du tronc possède une partie intérieure mince et claire (liber) qui permet la circulation descendante de la sève élaborée et une partie extérieure foncée (liège), constituée de cellules mortes ayant appartenu auparavant au liber.

L'écorce a un rôle de protection, de conduction et de stockage.

+ La fibre ; selon l'essence, le bois est constitué de tissus de même nature et groupés de la même façon ce qui permet leur identification.

Le bois possède de multiples composants, dont certains sont de hauts polymères.

Les constituants principaux sont :

- 40 à 50 % de cellulose.
- 20 % d'hémicellulose.
- 20 à 30 % de lignine
- 0.5 à 4 % de sels minéraux, résines, tanins,...

Et les constituants restants sont des cires, graisses des substances protéiques, ou peptiques présentes en faible quantité.

• La cellulose :

C'est une macromolécule, stable chimiquement. Elle contient entre 1500 et 4000 motifs d'un sucre à structure hexagonale $C_6H_{12}O_6$. Ces motifs forment des chaînes qui sont associées en fibrilles, lesquelles sont associées en fibres.

• Les hémicelluloses :

Ce sont des hydrates de carbones qui ont une structure voisine de la cellulose mais dont les chaînes beaucoup plus courtes et la composition plus hétérogène, leur confère une moindre résistance aux agents chimiques acides ou basiques.

• La lignine :

Il s'agit d'une macromolécule encore mal définie, de structure amorphe et qui, par ses liaisons entre les chaînes cellulosiques donne au bois sa rigidité.

• Structure de la fibre :

Les différents composés cellulosiques du bois se trouvent dans la fibre ou trachéides qui sont la structure de base du bois.

Elle se présente sous forme d'un cylindre creux percé d'orifices latéraux. Le lumen désigne le canal central de la fibre, la partie pleine de la fibre se compose de trois couches distinctes appelées couche primaire, secondaire et tertiaire. Le tout étant entouré d'une sorte de gangue ligneuse appelée lamelle mitoyenne qui assure la cohésion des fibres entre elles. (Voir FIG, 2).

La cellulose est surtout présente dans les couches secondaire et tertiaire de la fibre ou elle se trouve sous la forme de micro-fibrilles cristallines.

L'ensemble des trois couches primaire, secondaire et tertiaire forme ce que l'on appelle les parois de la fibre. L'épaisseur des parois de la fibre a une influence sur certains paramètres de qualité de celle-ci et que nous verrons plus loin.

La lamelle mitoyenne concentre une part importante de la lignine totale du bois entre 50 et 80 % selon les essences (VOILOT et al, 1988).

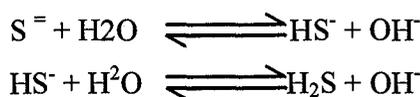
C'est la raison pour laquelle une attaque chimique de la lignine entraîne au cours de la cuisson une disparition progressive de la lamelle et permet la séparation des fibres.

III.4.1.2 Nature chimique de la liqueur:

La liqueur de cuisson, dans le procédé kraft est essentiellement une solution aqueuse de soude (NaOH) et de sulfure de sodium (Na₂S).

En solution, la soude est totalement dissociée en ions sodium Na⁺ et hydroxyle OH⁻ tandis que le sulfure de sodium donne l'ion sulfure S⁼ et l'ion hydrosulfure HS⁻.

Les réactions d'hydrolyse conduisent à la formation supplémentaire d'ions OH⁻. Elles correspondent aux équilibres suivants :



Durant toute la cuisson, la concentration en ions HS⁻ reste faible et l'espèce sulfure est surtout présente dans la forme S⁼.

L'alcalinité des liqueurs kraft est caractérisée dans la pratique courante par la concentration en soude effective ou par la concentration en soude active.

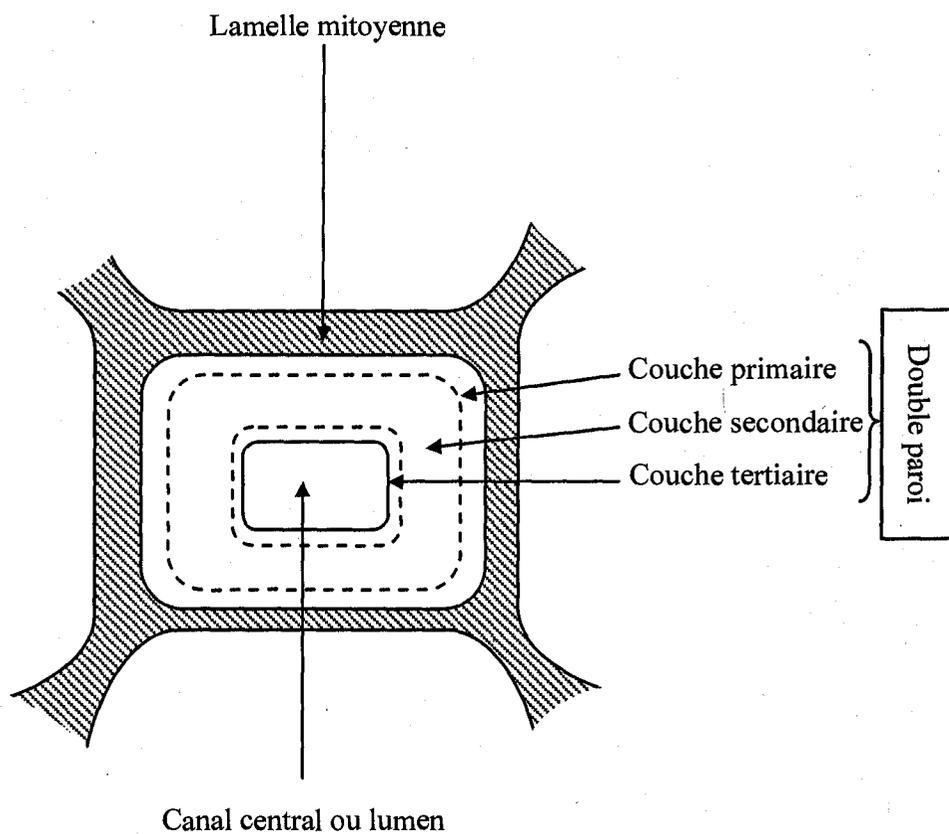


Fig. 2 : structure de la fibre cellulosique.

La concentration en soude effective exprime le nombre d'équivalent OH^- / litre de la quantité $\text{NaOH} + 1/2 \text{Na}_2\text{S}$ totalement dissociée.

La concentration en soude active exprime le nombre d'équivalent OH^- / litre de la quantité $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$ totalement dissociée.

La sulfidité caractérise la teneur en sulfure de la liqueur de départ appelée liqueur blanche.

Elle se définit ainsi :

$$\text{Sulfidité \%} = 100 \frac{\text{Na}_2\text{S} \text{ (}\acute{\text{e}}\text{q OH}^-/\text{litre)}}{\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} \text{ (}\acute{\text{e}}\text{q OH}^-/\text{litre)}}$$

Dans la pratique courante, la sulfidité est comprise entre 15 et 30 %.

Pour ce qui suit, il n'est pas dans notre intention de développer ou d'expliquer les différents mécanismes de réaction entre les produits actifs et les différents constituants du bois (cellulose, hémicellulose, lignine...).

Néanmoins nous rappelons qu'en fin de cuisson, le pourcentage de dégradation est beaucoup plus important pour les hémicelluloses que pour la cellulose qui est beaucoup plus résistante.

En ce qui concerne la lignine sous l'action des réactifs alcalins, celle-ci est dégradée et passe en solution en donnant rapidement à la liqueur une teinte fortement opaque et noire.

A l'issue d'une cuisson, la presque totalité de la lignine est passée en solution sauf une petite partie, la lignine résiduelle qui représente environ 1 à 2 % de la masse de bois sec initiale et n'est extractible que par les procédés habituels de blanchiments de la pâte à l'aide de réactifs chlorés ou non.

III.5 Micro-cuissons à la soude :

Dans le cas du bois, matière première dévolue à de multiples usages, la qualité (aptitude à satisfaire un besoin) doit répondre aux attentes des différents acteurs de la filière forêt – bois – papier.

La production de bois de qualité est destinée partie pour l'industrie du bois d'œuvre et partie pour l'industrie de la trituration (pâte, papier, panneaux). Ces deux grands types de valorisation, qui prennent en compte des propriétés du bois communes ou spécifiques plus ou moins différentes.

Les attentes qualitatives de l'industrie papetière sont dirigées vers la composition chimique du bois et la résistance des fibres.

Ces attentes correspondent à des caractères complexes mettant en jeu une multitude de caractéristiques anatomiques et chimiques. Citons la densité du bois, de par son influence sur les propriétés mécaniques des matériaux et ses relations avec la plupart des caractéristiques papetières est sans aucun doute le caractère clé de la qualité du bois (ZOBEL et KELLISON 1972). De plus sa variabilité intra-arbre (bois juvénile et bois adulte) est avec la rectitude du fût une composante essentielle de l'homogénéité du bois.

Les critères de branchaison (nombre de verticilles et de branches par verticille, diamètre et angle d'insertion des branches) sont également importants, du point de vue mécanique (module de rupture) et la présence des nœuds qui font partie du bois. Leur nombre, leur taille et leur forme dépendent des espèces utilisées et des élagages naturels ou artificiels qu'elles ont subis au cours de leur existence. Les nœuds s'il y en a sont constitué d'une zone externe, comprenant plusieurs couches annuelles très dures, comprimées dans la région de l'insertion de la branche, dont les fibres n'ont plus la même orientation que celles de la tige principale, et d'une zone interne, dure, très lignifiée, formée par le départ de la branche. Ces deux zones sont très difficiles à imprégner par les réactifs de cuisson (KELLER, 1979, POLGE et KELLER 1973).

Enfin, de par leur importance dans la qualité de la pâte cellulosique, la composition chimique :

Les teneurs en lignines et cellulose, et notamment les caractéristiques morphologiques des fibres (longueur, largeur, épaisseur des parois, épaisseur du lumen, masse linéique) constituent jusqu'à nos jours des caractères incontournables.

Ces derniers critères sont essentiellement ciblés pour l'utilisation majeure du bois dans l'industrie de la pâte et du papier. Ces propriétés sont en effet considérées comme les caractères de base du bois, or ces connaissances de bases seront toujours utiles mêmes dans le cas où les cibles de la sélection deviennent beaucoup plus pointues.

La composition chimique élémentaire résulte de l'analyse brute du bois abattu dans les conditions normales (c'est-à-dire en hiver dans notre pays).

III.5.1 Matériel végétal :

III.5.1.1 Origine :

(*Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L ; *Populus alba* var. *Hickeliana* Dode, *Populus nigra* L.cv. "Thevestina" Dode, *Pinus pinaster* AIT, *Pinus halepensis* MILL, *Juniperus phoenicea*).

Les différentes espèces de bois ci-dessus proviennent toutes de la wilaya de Tlemcen : le chêne vert provient de la réserve de chasse de Moutas, les peupliers de Mansourah, le

genévrier de Honaïne, le pin maritime de Maghnia et le pin d'Alep du parc National de Tlemcen (Mansourah).

III.5.1.2 Réserve de chasse de Moutas :

Pour ce qui concerne la réserve de chasse de Moutas, elle est située dans une partie de la forêt d'Ahfir à environ 26 km au sud de la ville de Tlemcen et à 10 km de ville de Sabra.

Sur le plan géographique, la réserve relève de la commune de TAMEKSALET, elle est limitée :

- Au nord par les terres agricoles de la vallée de Sidi Ouriache.
- Au sud par la crête et les versants sud de Djebel Ras Moutas jusqu'aux terres labourables d'el Mnakher.
- E l'est par le sommet de Aïn djadj.
- Et à l'ouest par Djorf El Biode, les versants de Djebel Boumedrer jusqu'au pied du versant ouest de Djorf El Guelaa.

III.5.1.2.1 Climat et relief :

Le massif montagneux de TAMEKSALET présente un relief hétérogène. La réserve de Moutas se trouve dans la zone la plus élevée, l'altitude oscille entre 1303 m et 1017m, il confère à la zone un relief typiquement montagneux.

La réserve de Moutas se situe dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver frais. Il est caractérisé par un été chaud de juin à Octobre et c'est en Juillet – Août que la chaleur est excessive avec une température de 32°C. La période froide s'étale de Décembre jusqu'à Avril avec un minimum de 20°C, l'amplitude thermique est de 30°C ce qui explique des gelées fréquentes et la chute de neige. La pluviosité annuelle est de 600 mm de pluie, de répartition irrégulière d'une année à l'autre.

III.5.1.2.2 Le sol :

Le sol est peu profond (30 à 50 cm). Il est lourd, mal aéré et de composition argilo-sableuse.

III.5.1.3 La zone de Mansourah :

Les échantillons de bois de peuplier blanc et noir ont été prélevés sur des arbres en alignements de route entre Mansourah et Terny.

Pour ceux du bois de pin d'Alep, Ils proviennent du parc national de Tlemcen (Lala Setti). Les échantillons de différents diamètres ont été récoltés par les services du parc national.

III.5.1.3.1 Climat et relief :

Le relief est formé par les monts de Tlemcen (secteur de TZARIFET), au sud des pentes importantes allant jusqu'à 20%, l'extrême ouest de la commune est caractérisé par des monticules qui rendent le relief plus ou moins accidenté, avec des pentes comprises entre 10 et 20 % ; l'altitude varie entre 850 m au nord et 1060 m au sud.

La zone de prélèvement est caractérisée par un climat méditerranéen dont la hauteur pluviométrique est irrégulière d'une année à l'autre et marquée par un déficit hydrique important.

III.5.1.3.2 Le sol :

Les sols au sud de la commune de Mansourah sont iso humiques des zones à climat chaud, ils sont caractérisés par une fertilisation (liée à la formation d'hématite) de la fraction minérale de l'horizon dont la couleur est rouge sombre.

III.5.1.4 La zone de Honaïne :

Les échantillons du genévrier de phoenicie d'âge juvénile et adulte proviennent de la forêt de Honaïne située à un kilomètre au sud du chef lieu de commune et à une quarantaine de kilomètres au nord ouest de la ville de Tlemcen.

III.5.1.4.1 Climat et relief :

La zone de prélèvement d'échantillons présente un relief homogène. L'altitude oscille entre 30 et 40 mètres. La zone est située dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver doux. Elle est caractérisée par une température moyenne annuelle de 17.5°C avec un minimum de 13°C et un maximum de 22°C.

L'amplitude thermique est de 9°C, ce qui explique l'absence de gelée et d'enneigement de la zone. La proximité de la mer et son influence par les brises marines déterminent le caractère de la zone.

III.5.2 Importance des bois dans la wilaya de Tlemcen :

Selon LETREUCH-BELAROUCI, (1991), le chêne est très répondu dans la wilaya de Tlemcen, la superficie forestière est de 199000 ha, soit 21 % de la surface de la wilaya. La superficie occupée par le chêne est de 82000 ha soit 41 % de l'aire forestière comparée à celle du pin d'Alep qui est de 86000 ha, celle du genévrier de 13000 ha, celle du Thuya de berbérie de 16000 ha et le chêne liège et le chêne Zeen occupent 2000 ha et quelques ilots de pins maritimes particulièrement dans la zone de Honaïne-Ghazaouet. Les peupliers noirs et blancs se trouvent disséminées ou en alignement de route et de brise-vent.

III.5.3 Echantillonnage retenu :

Il est très important de présenter l'échantillonnage d'arbres afin de bien connaître les caractéristiques que l'on a à comparer sur le plan des propriétés de base de leur bois.

Le choix des arbres a été identique pour l'ensemble des espèces étudiées à l'âge adulte et à l'âge juvénile.

Nous avons choisi les arbres en fonction de leur diamètre à 1.30m. Le premier groupe d'arbres dont le diamètre est compris entre 12 et 14 cm et le deuxième groupe dont le diamètre est compris entre 16 et 20 cm. Ceci nous permettait d'avoir deux sortes d'arbres, les uns d'âge juvénile, les autres d'âge adulte.

Les arbres que nous avons choisis sont voisins et situés dans la fourchette dimensionnelle indiquée ci-dessus et proviennent d'une superficie reboisée de un hectare et plus et donc d'un seul peuplement.

Pour des raisons de variations climatiques importantes rencontrées dans les différentes zones, l'aire d'échantillonnage prise en compte était faible.

Pour chaque arbre, nous avons prélevé 16 carottes de sondage de 5 mm de diamètre à 1.3 mètre de hauteur et de quelques centimètres de longueur.

L'orientation des prélèvements était aléatoire, le seul critère d'acceptation était l'absence de trace de branche sur la carotte. Il s'agit bien d'un bois sans défaut (FIG 3) et photos 3 et 3bis.

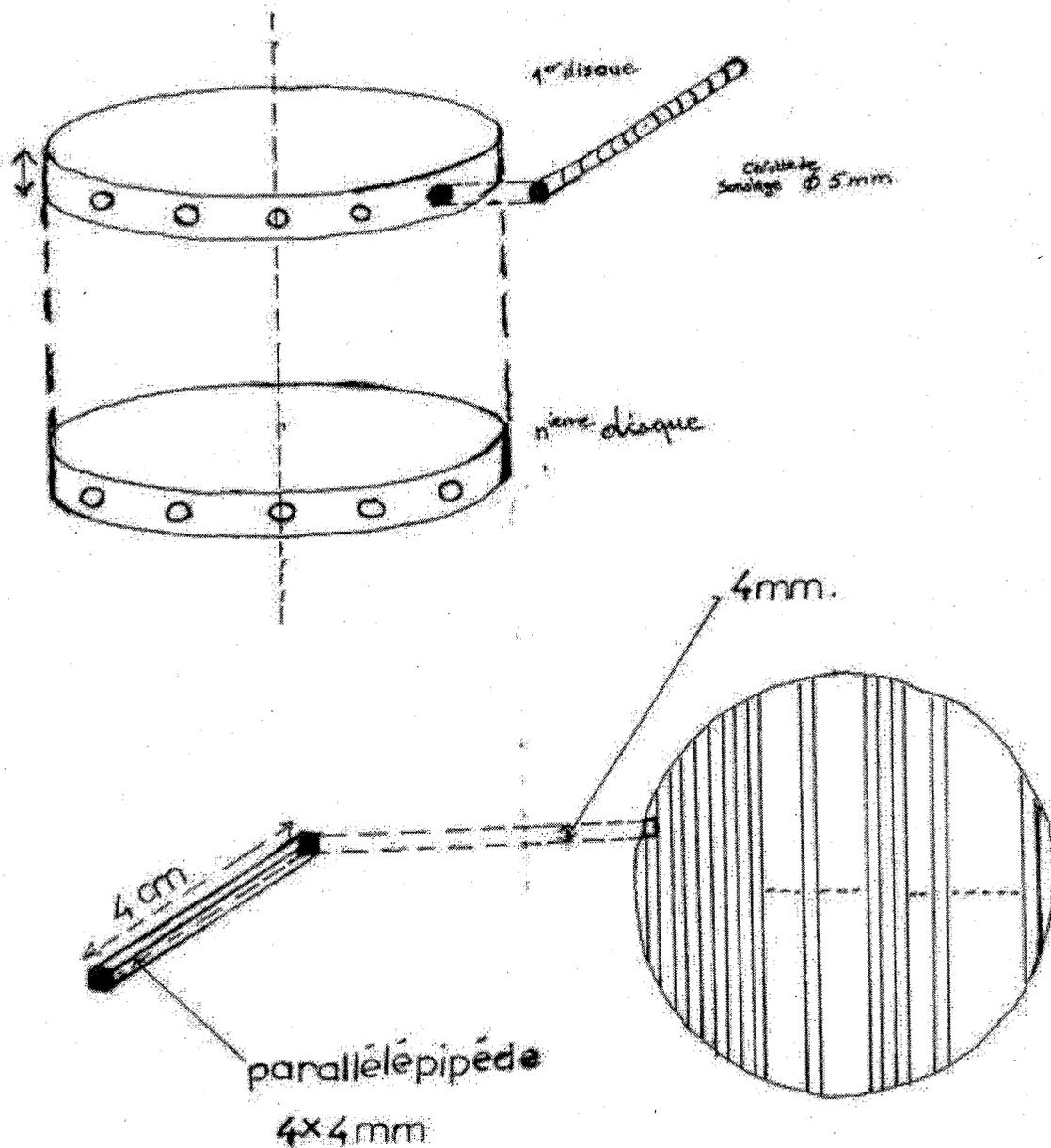


FIG 3 : schéma du prélèvement d'échantillonnage dans chaque disque de chaque espèce étudiée.



Photo 3 : Echantillons de bois découpé parallèlement

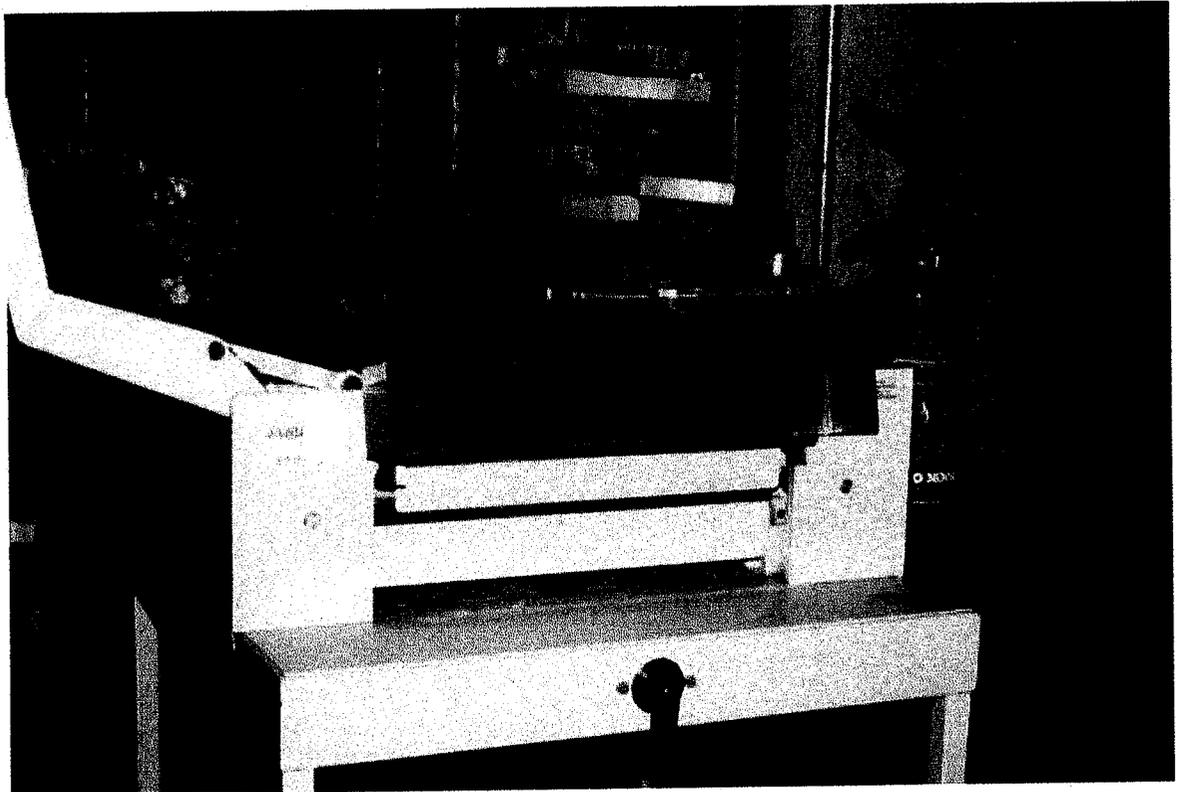


Photo 3bis : Massicot de découpe du bois

Nous n'avons pas relevé le nombre de cernes visibles sur chaque carotte de sondage. Nous avons appelé âge juvénile tous les arbres dont le diamètre varie entre 12 et 14 cm et âge adulte tous ceux dont le diamètre varie entre 16 et 20 cm.

Les propriétés de base considérées dans ce travail sont l'humidité du bois ainsi que le rendement brute en fibres et leurs caractéristiques morphologiques et biométriques : Longueur, largeur, épaisseur des parois, épaisseur du lumen.

III.5.3.1 Humidité des bois étudiés :

L'eau forme la majeure partie de la sève, mais elle imbibe également la paroi des cellules. L'humidité conditionne en grande partie les propriétés mécaniques du matériau ainsi que le rendement en pâte.

La teneur en eau est variable d'une espèce à une autre. Des mesures effectuées sur des arbres à la même époque et dans des zones climatiques à peu près semblables (Nord-ouest de la Wilaya de Tlemcen), échantillon, carottes de sondage prélevées à la tarière de Pressler ont été pesées à l'état humide puis passé à l'étude à l'étuve à $102^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, jusqu'à poids constant, ce qui nous permettait d'obtenir :

- La masse humide après carottage,
- La masse anhydre après étuvage.

Il importe de bien déterminer ce que l'on entend par degré ou taux d'humidité d'un bois et de savoir comment l'on peut faire cette détermination et de connaître l'influence du taux d'humidité ou du taux de siccité que le matériau peut avoir après sa mise en œuvre pour ce qui nous intéresse ici le rendement sans oublier un paramètre important du bois sa densité.

Nous savons qu'au moment de l'abattage ou d'une prise d'échantillon (carotte de sondage), le bois contient par rapport à sa masse totale verte 30 à 40 % d'eau. Ce pourcentage est calculé en fonction du poids total, c'est-à-dire du poids du bois vert, nous dirons désormais du bois humide (Bh). C'est d'ailleurs le plus souvent que l'on s'exprime dans l'industrie.

Cependant, si l'on se conforme aux prescriptions de la norme AFNOR B 51004, on doit mesurer le taux d'humidité d'un bois en pourcentage du poids du bois anhydre c'est-à-dire absolument sec (Bs). Evidemment les résultats seront d'autant plus différents que le titre d'humidité est plus élevé.

D'après la norme Afnor B 51004, l'humidité est calculée ainsi :

$$H \% = \frac{B_h - B_s}{B_s} \times 100$$

Si nous rapportons au contraire le poids de l'eau perdue au poids de l'éprouvette humide nous aurons

$$H \% = \frac{B_h - B_s}{B_h} \times 100$$

III.5.3.2 Résultats de l'humidité des bois étudiés :

Les tableaux 15 et 16, nous renseignent pour les essences étudiées en fonction de l'âge, de la teneur en eau du bois.

La teneur en eau de bois varie avec l'essence, les conditions de végétation, de la saison d'abattage, et pour une même espèce avec l'âge, les diverses parties de l'arbre, et la durée d'exposition à l'air libre.

La détermination de l'humidité du bois est importante lorsque l'on connaît son impact sur les propriétés, le conditionnement et les emplois du bois.

Les résultats figurant dans le tableau 15 concernent les bois feuillus algériens. Ils montrent que quelque soit l'espèce et le genre, les échantillons issus de bois jeunes ont une teneur en eau plus élevée que ceux des bois adultes, et que les bois lourds à mi-lourds ont une humidité plus importante que les bois légers. Ceci concerne *Quercus ilex ssp rotundifolia* en comparaison avec les peupliers.

L'hygroscopicité et la teneur en eau du bois influencent en tout premier lieu sa densité et ses variations dimensionnelles.

Ainsi le bois des peupliers blanc et noir ont une densité plus faible que celle du chêne vert.

Ceci présage d'un rendement en pâte plus élevé chez le chêne vert que le peuplier blanc et le peuplier noir.

Les mêmes remarques sont à faire pour les valeurs d'humidité figurant dans le tableau 16, concernant les bois résineux, les bois jeunes ayant une teneur en eau plus élevée que les bois adultes.

Il est utile de rappeler que toutes les essences étudiées étaient d'âge juvénile et d'âge adulte, l'âge pouvant influencer les caractéristiques physiques, morphologiques des fibres et leurs aptitudes papetières.

Par ailleurs les tableaux 15 et 16 font ressortir une différence entre les bois résineux et les bois feuillus, ces derniers contiennent proportionnellement plus d'eau que les bois résineux.

D'un autre côté les tableaux 15 et 16 font ressortir les équivalences qui montrent bien l'utilité de préciser si le titrage s'entend sur bois sec ou sur bois humide.

Tableau 15 : Humidité des bois feuillus étudiés d'âge juvénile et adulte.

Non Botanique	Age	Provenance	Humidité suivant norme AFNOR 51004	Humidité rapporté au poids vert
			$\frac{B_h - B_s}{B_s} \times 100$	$\frac{B_h - B_s}{B_h} \times 100$
Quercus ilex ssp rotundifolia L	Jeune	Tlemcen (Moutas)	41.80 %	29.50 %
	Adulte	//	28.70 %	22.30 %
Populus alba var hickeliana	Jeune	Tlemcen (Mansourah)	20.85 %	17.25 %
	Adulte	//	16.21 %	13.95 %
Populus nigra L cv. "Thevestina" Dode	Jeune	Tlemcen (Mansourah)	23.46 %	19.00 %
	Adulte	//	18.69 %	15.75 %

Tableau 16 : Humidité des bois résineux étudiés d'âge juvénile et adulte.

Nom Botanique	Age	Provenance	Humidité suivant norme Afnor, B 51004	Humidité rapporté au poids vert
			$\frac{B_h - B_s}{B_s} \times 100$	$\frac{B_h - B_s}{B_h} \times 100$
Pinus Pinaster Ait	Jeune	Maghnia (Sidi m'djahed)	9.71 %	8.85 %
	Adulte	//	7.93 %	7.35 %
Pinus Halepensis Mill	Jeune	Tlemcen (Mansourah)	10.31 %	9.35 %
	adulte	//	9.05 %	8.30 %
Juniperus Phoenicea	Jeune	Tlemcen (Honaïne)	13.13 %	10.90 %
	Adulte	//	11.05 %	9.95 %

Bh : Poids du bois vert ou du bois humide.

Bs : poids du bois sec ou anhydre.

(Voir en annexe 1 les valeurs de Bh et de Bs).

III.5.4 Délignification :

Parmi les arbres pris en compte pour les mesures de l'humidité, on a tiré un certain nombre de carottes de sondage.

On a prélevé pour chaque espèce et pour chaque âge 16 carottes de sondage, allant jusqu'à la moelle. Les carottes toujours de 5 mm de diamètre sont prélevées entre 1.20 et 1.30mm sur des disques superposés et donc contigus.

Le nombre d'échantillons que nous avons traité étant de plusieurs carottes de sondage provenant d'un seul arbre (sur pied ou déjà abattu) pour chaque cuisson papetière que nous avons répété 5 fois.

Ceci nous mettait en mesure d'éliminer d'éventuels effets dû à la cuisson, du fait que chaque cuisson était statistiquement représentée par les mêmes échantillons.

Notons enfin, que l'échantillonnage considéré ici est représentatif de celui étudié pour l'humidité du bois.

Les échantillons qui ont servi à mesurer l'humidité du bois ont été utilisés dans les cuissons papetières.

Cinq cuissons mi-chimiques alcalines, dites à la "soude à chaud" ont ensuite été réalisées pour chacune des espèces en fonction de l'âge avec les conditions de cuissons papetières suivantes :

Tableau 17 : Paramètres de cuisson par le procédé à la soude à chaud pour tous les bois étudiés.

Durée de montée en température	20 – 25 minutes
Température de palier	99-100°C
Durée de palier	3 h
Poids de bois sec utilisé	5 g
Concentration de la solution mère NaOH	50 g/l
Hydro module L/B	50
Alcali actif	30 %
Volume de NaOH	30 ml
Volume d'eau à rajouter	220 ml

Le poids de fibres anhydre obtenu rapporté au poids anhydre de bois avant cuisson donne le rendement brut en fibres que nous exprimons en pourcentage. Il s'agit du rendement "classique".

Le rendement est exprimé :

$$\text{Rendement brut \%} = \frac{\text{poid des fibres anhydre obtenus}}{\text{poid de bois anhydre utilisé}} \times 100$$

Le type de cuisson proposé s'applique de façon générale à l'ensemble des végétaux lignifiés susceptibles de posséder des fibres de qualité papetière.

En effet, notre méthode de micro-cuisson (utilisant un bêcher à la température d'ébullition) méthodologie définie par CHIAVERINA, (1966) mise en œuvre pour évaluer les qualités papetières, de nombreux échantillons, ne pouvait tenir compte que d'un seul type de traitement afin de les traiter dans les mêmes conditions pour pouvoir faire des comparaisons.

Le choix des procédés mi-chimiques concernent les pâtes à haut rendement et viennent au devant de l'emploi des feuillus et des végétaux en général car ceux-ci conviennent mieux à la transformation par ce groupe de procédés que, ceux des cuissons traditionnelles, avec les procédés chimiques on perd trop de matières particulièrement en ce qui concernent les bois juvéniles.

Dans nos essais préliminaires, le procédé que nous avons choisi est le procédé mi-chimique à la soude à chaud, car l'ensemble de l'industrie cellulosique algérienne utilise pour la délignification de l'alfa et de la paille la soude (NaOH) produite par cette industrie elle-même au niveau des électrolyses de Mostaganem et Bab-Ali ainsi que par l'industrie nationale.

III.5.4.1 Résultats de l'action de l'agent de lessivage sur les bois étudiés, (procédé mi chimique à la soude à chaud) :

Dans le but d'une évaluation papetière de quelques essences feuillues et résineuses algériennes nous avons utilisé une méthode de micro-cuisson papetière de laboratoire rudimentaire et qui a été assez développé par (CHIAVERINA, 1966).

Cette méthode permet de traiter de petits échantillons de bois ayant un poids variant entre 1g et 6g à l'état anhydre utilisant un bêcher à la température d'ébullition et à la pression atmosphérique.

Habituellement les cuissons mi chimiques à la soude à chaud se passent à une température variant entre 115°C et 120°C en palier de cuisson.

Le matériel rudimentaire que nous avons utilisé ne nous permettait pas cette montée en température, nous avons cherché à palier ce handicap en travaillant avec un volume de lessive en excès.

En effet, pendant toute la durée de cuisson nous avons maintenu le volume de lessive de cuisson constant. Tous les échantillons de bois quelque soit l'espèce et leur provenance ont été traités dans les mêmes conditions de température, de concentration en soude et de temps de cuisson pour 5 grammes de bois anhydre, ces conditions figurent dans le tableau 17 et en annexe 1.

Après cuisson la pâte issue de chaque échantillon a été lavée, puis défibrée à l'aide d'un pilon et d'un creuset en céramique, doucement pour ne pas endommager les fibres.

Les résultats des rendements bruts obtenus figurent dans les tableaux 18 et 19, respectivement pour les bois feuillus et les bois résineux et en annexes 2 et 3.

L'étude des bois feuillus a été entreprise pour tenter de montrer que leurs qualités du point de vue du rendement en pâte pouvaient les faire prendre en considération comme appoint dans la fabrication des pâtes à papier. S'il est connu que les bois de peuplier ont une aptitude papetière intéressante, il ne va pas de même pour le bois de *Quercus ilex ssp rotundifolia* qui était voué à la fabrication de charbon de bois, de bois de feu et de manchons d'outils.

Le procédé mi-chimique à la soude à chaud a été appliqué à tous les bois figurant aux tableaux 18 et 19, le résultat pour chaque bois correspond à la répétition de 5 essais.

Le même schéma de lessivage a été employé pour les différents échantillons.

Le schéma comporte une montée en température de 18°C à la température d'ébullition qui tournait autour de 100°C, le temps de montée en température varié entre 15 et 20 minutes et un palier de cuisson de 3 heures à la température d'ébullition.

Tableau 18 : Rendement en pâte brute des bois feuillus algériens étudiés par le procédé à la soude.

Nom botanique	Paramètres	Bois adulte	Bois jeune
Quercus ilex ssp rotundifolia	Rendement %	52.00	42.00
	Ecart - type	0.9	± 1.5
	Coefficient de variation	1.7 %	3.6
Populus alba vr hickeliana	Rendement %	58.00	50.30
	Ecart - type	± 0.8	± 0.50
	Coefficient de variation	1.4 %	1.0 %
Populus nigra L cv. "Thevestina" Dode	Rendement %	56.50	49.30
	Ecart - type	± 0.50	± 0.60
	Coefficient de variation	0.6 %	1.2 %

Tableau 19 : rendement en pâte brute des bois résineux algériens étudiés par le procédé mi-chimique à la soude.

Nom botanique	Paramètres	Bois adulte	Bois jeune
Pinus Pinaster Ait	Rendement %	56.70	52.70
	Ecart - type	± 2.40	± 1.00
	Coefficient de variation %	3.60	1.60
Pinus Halepensis Mill	Rendement %	48.50	44.80
	Ecart - type	± 1.60	± 1.80
	Coefficient de variation %	0.33	0.40
Juniperus Phoenicea	Rendement %	45.50	43.90
	Ecart - type	± 1.90	± 1.60
	Coefficient de variation %	2.90	2.50

Le mode de cuisson que nous avons adopté dans nos essais préliminaires ne répond peut être pas aux conditions idéales de traitement pour toutes les espèces étudiées. Il présente l'avantage de permettre une comparaison des propriétés papetières des différentes pâtes obtenues.

Le travail a été orienté essentiellement vers l'obtention de pâte brute écrue afin d'en apprécier les rendements, les caractéristiques biométriques des fibres et les indices de qualité qui en découlent.

Tous les bois que nous avons testés se lessivent bien par le procédé mi-chimique à la soude à chaud dans nos conditions expérimentales.

Le rendement en pâte écrue, calculé par rapport au poids de bois anhydre utilisé est le plus élevé pour les peupliers en moyenne 58 % pour *Populus alba* var *hickeliana* ; 56,50 % pour *Populus nigra* L.cv. "Thevestina" Dode, il est par contre bas pour *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* à l'âge adulte. Les mêmes observations sont à faire pour les bois jeunes le peuplier blanc l'emportant sur le peuplier noir, à l'exception du chêne vert qui lui présente, un rendement trop faible pour un procédé mi-chimique et l'augmentation de production de pâte entre l'âge juvénile et adulte est de 10 %. L'espèce *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* à l'âge juvénile présente une trop grande perte de matière par dissolution.

Par contre pour les bois résineux, le meilleur rendement à l'âge adulte est détenu par *Pinus Pinaster* Ait. 56.7 %, *Pinus Halepensis* Mill. 48.50 % et *Juniperus phoenicea* 45.5 %, les mêmes remarques sont à faire pour les bois juvénile à l'exception du genévrier de phoenicie qui donne un rendement de 43.9 %, ce qui est pour le procédé mi-chimique utilisé un rendement faible.

Les rendements des pâtes écrues obtenues pour les bois feuillus et les bois résineux ne sont pas comparables et ceci quelque soit l'âge.

III.5.4.2 Comparaison des variabilités observées :

La variabilité observée en terme de coefficient de variation est faible pour les bois résineux, elle est légèrement supérieure pour les bois feuillus et elle varie respectivement de 0.33 % à 3.6 % pour le premier groupe et de 0.6 % à 3.6 % pour le deuxième groupe, ceci est dû à la part de la variance qui est relativement faible.

Le coefficient de variation des rendements pour chaque groupe d'échantillons est faible et traduit l'uniformité des réactions en cours de cuisson. La sensibilité de la méthode est mise en évidence par ces résultats.

L'examen des données concernant les deux espèces de peuplier montre qu'en fonction de l'âge les rendements varient pour les deux espèces selon des rythmes de croissance différents. Le peuplier blanc a un rythme relativement plus rapide d'augmentation de production de pâte à papier, par rapport au peuplier noir qui lui suit une progression plus lente et qui sont respectivement de 7.7 % et 7.2 %.

Du point de vue de l'industriel papetier, ces gains relatifs en rendement sont de nature à être pris en considération pour les approvisionnements en bois de papeterie. Un gain en rendement aussi faible que 0.5 % nous semble perceptible dans le prix de revient d'une tonne de pâte. Cette faible variation est importante dans la mesure où elle est susceptible de modifier l'équilibre des coûts de production.

Rappelons que les rendements obtenus l'ont été avec des conditions de traitements identiques.

III.5.5 Particularités anatomiques :

L'hétérogénéité des rendements varie aussi en fonction de l'orientation dans l'arbre. En effet, un peuplement peut se trouver sous l'influence de la pente ou d'un éclaircissement lié à l'orientation.

Ces sollicitations naturelles entraînent une réaction des arbres pour conserver une position verticale ou pour profiter plus largement d'un éclaircissement orienté.

Le bois de réaction apparaît du côté inférieur des troncs inclinés chez les résineux, Il est alors dit, bois de compression alors qu'il apparaît du côté supérieur chez les bois feuillus ou il constitue le bois de tension.

Le bois de réaction se développe plus vite que le bois normal, il s'ensuit que la moelle de l'organe devient excentrique.

On peut évaluer l'importance de ces zones de réactions par l'influence qu'elles ont sur les divers caractères définissant la qualité du bois et en particulier le rendement en pâte.

Le bois de compression donne un faible rendement en pâte alors que le bois de tension donne un meilleur rendement en pâte, par rapport au bois normal qui leur est opposé.

Si ces phénomènes sont connus, leur détermination sur une section entière d'un tronc d'arbre divisé en secteur, permet de mettre en évidence les variations du rendement (JANIN, 1973).

L'analyse des rendements polaires sert à montrer l'hétérogénéité des propriétés papetières d'un arbre affecté par ces phénomènes anatomiques. Nous pensons qu'elle constitue un critère pour déterminer la qualité d'un individu.

Nous avons retenu l'analyse des rendements de deux espèces : Une résineuse le pin d'Alep (*Pinus Halepensis* Mill) et une feuillue le peuplier blanc (*Populus alba* var. *hickeliana*).

L'espèce résineuse étudiée permet de faire les observations suivantes :

- Diminution du rendement moyen en pâte entre le bois normal et le bois de compression de 4.5 % ce qui pour conséquence un raffinage et un blanchiment de la pâte plus difficile que celle issue du bois normal.

- Les proportions de bois de compression à l'intérieur d'un arbre qui, si elles sont importantes contribuent à l'augmentation de l'hétérogénéité des pâtes à papier. (tableau 20).

Sur les figures 4 et 5 sont représentés les diagrammes polaires des rendements respectivement pour le pin d'Alp et le peuplier blanc. Ils sont la représentation graphique sur un plan gradué en degrés de rendement $R(\Theta^\circ)$ déterminé dans chaque direction repérée sur un disque. Pour des raisons de commodités le tracé du diagramme polaire est un tracé différentiel entre la valeur du rendement $R(\Theta^\circ)$ sur le secteur considéré et une valeur constante R_0 inférieures à la plus faible des valeurs des rendements observés dans l'expérience.

Le rayon R est égal en valeur absolue à :

$$[R] = [R(\Theta^\circ) - R_0]$$

On joint ensuite les extrémités des tous les $R(\Theta^\circ)$ déterminés pour obtenir le tracé du digramme.

La construction du diagramme polaire des rendements sert à montrer l'homogénéité ou l'hétérogénéité des propriétés papetière d'un bois.

Elle constitue un nouveau critère pour déterminer la qualité papetière d'un arbre.

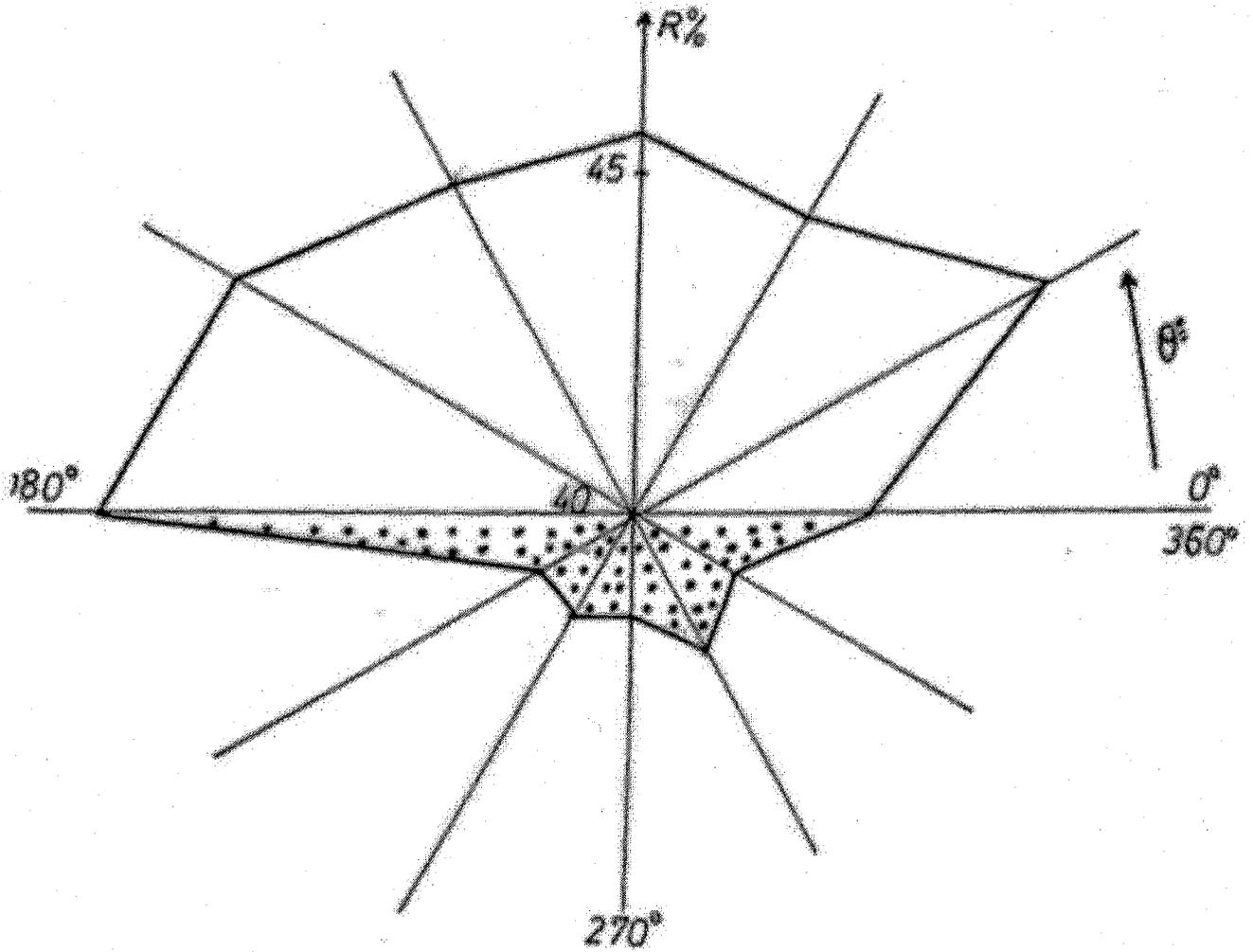
L'excentricité qui se manifeste par rapport à la moelle d'un disque prélevée d'un arbre présentant du bois de tension ou du bois de compression est en étroite relation avec l'hétérogénéité du rendement en pâte, comme il apparaît dans les tableaux 20 et 21. Nous avons pratiqué sur un arbre déjà abattu (*Pinus Halepensis* Mill) l'étude d'un disque pris à hauteur d'homme : 1.30 m pour 12 directions de 30° , le même schéma de prélèvement a été appliqué dans le cas de (*Populus alba* var. *hickeliana*), dans le cas du bois feuillu nous avons limité le bois de tension par observation de la zone qui donne une surface rugueuse par rapport au bois normal qui lui est opposé.

Le même schéma de lessivage figurant dans le tableau 17 a été appliqué pour l'ensemble de nos échantillons. Les disques ont été découpés avec une épaisseur de 4 mm.

Les résultats mentionnés dans le tableau 21 et figure 5 montrent que la zone de tension riche en cellulose par la très grande différence des rendements qui se manifeste jusqu'à 9 % d'écart maximum entre deux échantillons sur le disque alors qu'elle est de 6.4 % dans le cas du résineux.

L'analyse du bois de réaction par rapport au bois normal est bien révélatrice d'une hétérogénéité donnée pour les espèces résineuses comme pour les espèces feuillues.

Figure 4 : Diagramme Polaire Différentiel Des Rendements
(cas de *PINUS Halepensis* Mill.)



 Bois de compression

 Bois normal

Figure 4

Figure 5 : Diagramme Polaire Differentiel des Rendements
(cas de POPULUS Alba L., Juvenil)

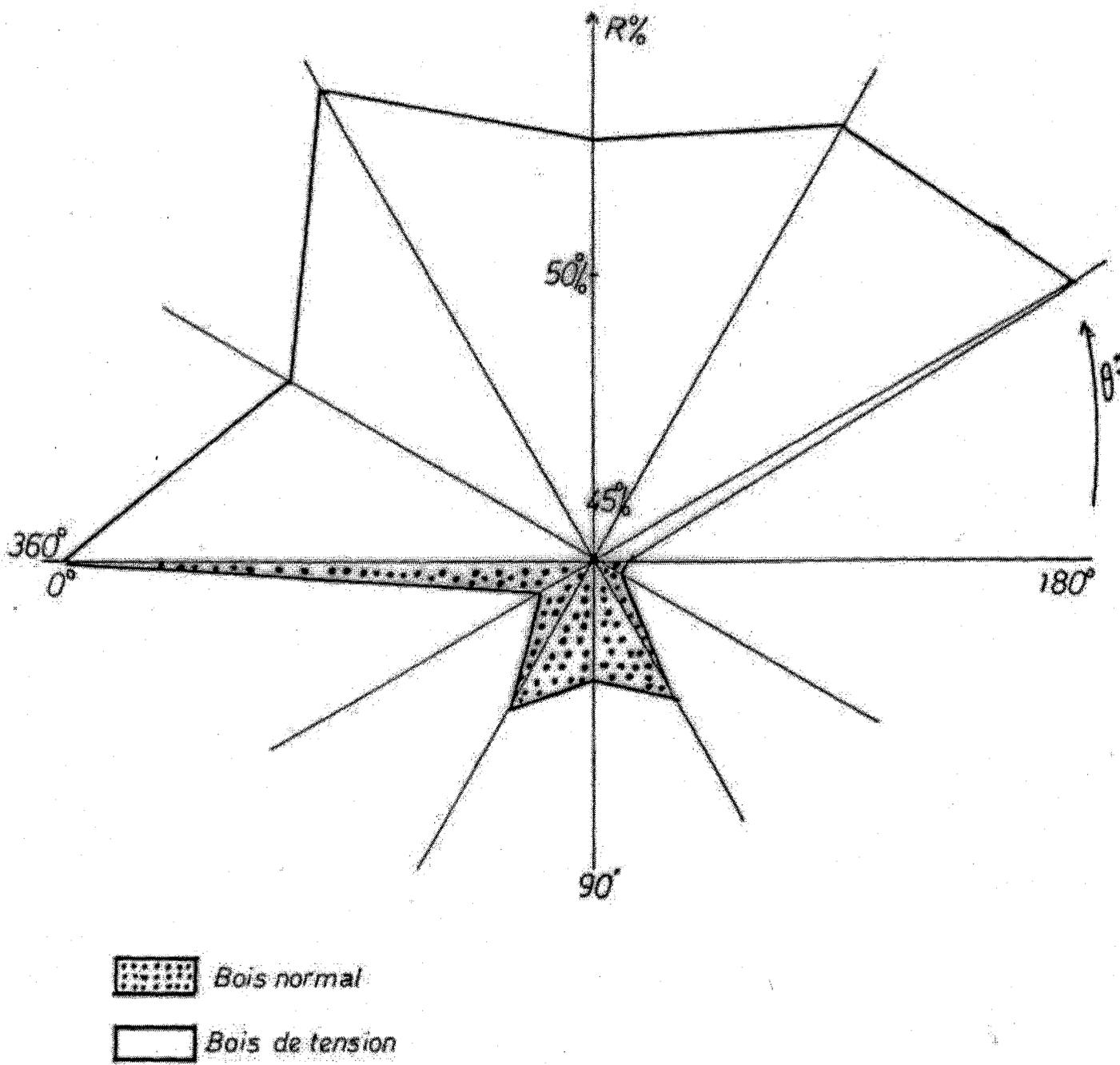


Figure 5

Tableau 20 : Rendement en fonction de la direction angulaire cas de (*Pinus Halepensis* Mill).

Bois	N°	1	2	3	4	5	6	moyenne	variance	Ecart type	Coefficient de variation
	D.A	30	60	90	120	150	180				
Bois normal	R %	47.0	46.0	45.6	45.6	46.9	47.9	46.50	1.51	1.23	2.65
	D.A	210	240	270	300	330	360	moyenne	variance	écart	Coefficient de variation
Bois de compression	R %	41.5	41.7	41.5	42.3	41.7	43.5				

Tableau 21 : Rendement en fonction de la direction angulaire cas de (*Populus alba* var. *Hickeliana*).

Bois	N°	1	2	3	4	5	6	moyenne	variance	Ecart type	Coefficient de variation
	D.A	30	60	90	120	150	180				
Bois normal	R %	46.00	48.0	47.00	47.70	45.50	45.50	46.50	1.52	1.23	2.65
	D.A	210	240	270	300	330	360	moyenne	variance	Ecart type	Coefficient de variation
Bois de tension	R %	54.50	53.50	52.30	54.50	51.10	54.00				

D.A : Direction angulaire.

R : Rendement.

Observation :

L'espèce résineuse étudiée permet de faire les observations suivantes sur les plans méthodologiques et pratiques :

- La méthode que nous avons utilisé conduit à des coefficients de variations du rendement faible 2.65 % pour le bois normal et 2.64 % pour le bois de compression, ce qui confirme la précision avec laquelle est déterminé le rendement pour chaque échantillon. Dans le cas du

bois feuillu cette variation du rendement est de 2.65 % pour le bois normal et de 2.65 % pour le bois de tension.

- Du point de vue pratique, la grande hétérogénéité qui résulte dans une pâte papetière de la présence du bois de compression ou du bois de tension conduit à :

- Une diminution du rendement entre le bois normal et le bois de compression dans le cas des résineux, alors que le rendement augmente entre le bois normal et le bois de tension chez les feuillus.

L'importance de ces zones de réaction chez les résineux et chez les feuillus et particulièrement leur proportion par rapport au bois normal à l'intérieur de chaque arbre contribue dans une large mesure à l'augmentation de l'hétérogénéité des pâtes à papier.

III.6 Propriétés et caractéristiques des fibres :

III.6.1 Echantillonnage retenu :

Un échantillon de fibres de chaque individu a été prélevé dans le but de faire l'analyse des caractéristiques morphologiques des fibres.

L'échantillon 1 à 2 mg de fibres mis en suspension dans 50 ml d'eau nous permettait de déposer une goutte de la dite suspension entre lame et lamelle et qu'on soumettait à l'observation microscopique, les fibres étant préalablement saturées d'eau et non raffinées à l'état écrud.

III.6.2 Technique de mesure utilisée :

L'objectif recherché étant de mesurer la longueur (L), la largeur (l), l'épaisseur des deux parois (2 P) et l'épaisseur du lumen ou cavité centrale (C) des fibres.

Nous avons pour cette étude, utilisé le microscope optique doté d'un micromètre oculaire étalonné au préalable.

Les observations se faisaient aux grossissements 10 et 40, le microscope nous permettant au passage d'effectuer l'étude histologique des fibres et leurs caractéristiques dimensionnelles qui figurent dans les tableaux 22 et 23 respectivement pour les bois feuillus et les bois résineux.

Nous avons effectué pour chaque échantillon en fonction de l'âge 250 mesures et pour chaque caractéristique énumérée ci-dessus.

Ceci nous permettait de calculer la variance, l'écart type et le coefficient de variation, (voir annexe 4, tableaux 1 à 12 et annexes 5 à 16).

Du point de vue papier, la connaissance de rendement en pâte d'un bois ne suffit pas pour déterminer la qualité papetière d'un produit : ce sont les fibres qui font le papier. Aussi

faut-il savoir de celles-ci à la fois leur comportement face aux traitements physicochimiques qu'elles subissent, et leurs dimensions. La mesure des caractéristiques morphologiques des fibres, est utile à la connaissance des espèces végétales, pérennes ou annuelles, dans l'industrie papetière et en sylviculture.

Dans le domaine de la sylviculture on s'intéresse aux choix des arbres qui possèdent les fibres les plus longues dans les espèces étudiées, ainsi qu'aux facteurs naturels qui influence la longueur des fibres : âge du bois, particularités anatomiques des tiges (branches, nœuds, bois de réaction), environnement et traitements sylvicoles.

Dans l'industrie papetière, on classe généralement les pâtes à papier obtenues, à partir de ces végétaux en pâte à fibres longues supérieures à 2.0 mm en moyenne et à fibres courtes inférieures à 2.0 mm.

Pour mieux définir une pâte, on détermine la longueur moyenne, la courbe de répartition des longueurs de fibres, et aussi le taux de fines particules qui la composent.

La morphologie des fibres, longueur, largeur, épaisseur des parois, influence les caractéristiques mécaniques des papiers et intervient dans les indices de qualité des pâtes à papier (ISTAS et RAEKELBOOM, 1967 et 1970), on appelle :

$\frac{L}{l}$: Coefficient de feutrage.

$\frac{c}{l} \times 100$: Coefficient de souplesse.

$\frac{2P}{c}$: Coefficient de RUNKELL.

Ainsi, toutes choses étant égales par ailleurs, en modifiant la longueur moyenne d'une population de fibres par le mélange de fibres longues et de fibres courtes, on peut obtenir des papiers dont les caractéristiques mécaniques et optiques souhaitées ont été arrêtées.

Il est donc nécessaire de pouvoir mesurer la longueur des fibres ou des éléments fibreux qui existent dans la pâte à papier en "l'état" ou après un traitement particulier, et aux divers stades de la fabrication du papier.

La mesure des fibres se pratique suivant les méthodes directes ou indirectes.

La méthode directe implique comme on l'a vu plus haut l'observation microscopique des fibres pour les localiser et les mesurer à travers un micromètre oculaire, préalablement étalonné (voir annexe 17).

Ce procédé conduit à des opérations de mesures lentes, fastidieuses et limitées par le nombre des observations possibles.

Il nécessite l'emploi d'un micromètre oculaire dont le système est dirigé manuellement sur le contour de l'image des fibres.

Nous verrons plus loin dans le procédé au sulfate, la méthode automatique actuelle de mesure des longueurs de fibres par l'appareil P.Q.M 1000.

III.6.3 Résultats :

Les pâtes de feuillus sont constituées par un mélange en proportion variable de fibres, de vaisseaux et de cellules parenchymateuses. La morphologie des fibres du peuplier varie généralement peu d'une espèce à une autre, tel est le cas du peuplier blanc et noir.

Les fibres sont fusiformes, régulièrement effilées avec des extrémités un peu arrondies, un lumen généralement large, avec des parois peu épaisses mais variables, d'une espèce à l'autre en fonction de l'âge.

L'épaisseur des parois représente à peu près le cinquième de la largeur dans le cas des peupliers alors qu'elle est de $3/5^{\text{ème}}$ dans le cas du chêne vert. La longueur maximale observée dépasse rarement 2.5 mm dans le cas des peupliers alors qu'elle n'atteint jamais la valeur de 1.00 mm dans le cas du chêne vert. La longueur moyenne des espèces étudiées varie entre 0.76 mm et 1.16 mm. La largeur moyenne varie entre 15 microns et 32 microns.

Nous n'avons pas observé de ponctuations, ni de vaisseaux.

Le tableau 22 fait ressortir une augmentation relativement importante de la longueur moyenne des fibres dans la même espèce en fonction de l'âge et entre espèces du même âge le peuplier blanc l'emportant sur le peuplier noir.

La caractéristique principale des fibres du bois de peuplier est de posséder des parois minces ; elles auront des conséquences sur la qualité du papier et des pâtes.

Les fibres à parois minces proviennent du bois de faible densité et les fibres à parois épaisses provenant du bois relativement de forte densité. Pour le même âge le bois de peuplier blanc a une densité plus forte que le peuplier noir.

La comparaison entre les caractéristiques morphologiques moyennes des fibres de résineux et des bois feuillus, tableaux 22 et 23 fait ressortir la qualité fibreuse très différente des deux catégories de bois. Elle permet aussi d'apprécier leurs aptitudes papetières très différentes.

En effet par rapport aux bois de résineux les bois feuillus possèdent des fibres :

- Beaucoup plus courtes, ce qui confèrera au papier fabriqué à partir de ces fibres, une résistance moindre à la déchirure ;
- Généralement, moins souples, à l'exception des peupliers, entraînant la formation d'un papier ayant plus d'opacité, de bouffant ainsi que des résistances moindres à la rupture et à l'éclatement.

Inversement le rapport longueur / largeur ou indice de feutrage lui, est de nature à justifier un papier plus homogène.

Au cours de la formation d'une feuille de papier, les caractéristiques morphologiques des fibres jouent un rôle important et influent sur les caractéristiques physicomécaniques des papiers obtenus.

Il est donc logique d'admettre et on explique aisément que la surface de contact de deux fibres est liée à l'épaisseur des parois et à celle de la cavité interne ou lumen. En effet, la surface de contact entre deux fibres écrasées et d'autant plus importante que les fibres sont larges et les parois peu épaisses offrant ainsi plusieurs points de contact ou de liaison. A l'inverse des fibres à parois épaisses et de faible largeur s'écraseront mal ou pas du tout offrant ainsi une surface de contact ne donnant qu'un point de liaison.

L'indice de RUNKEL ou indice de rigidité défini par le rapport épaisseur des parois sur épaisseur du lumen ($2P/C$) et figurant dans les tableaux 22 et 23 montre bien la différence qui peut exister entre les deux groupes de bois étudiés. A l'exception des peupliers chez les feuillus qui présentent un indice favorable variant entre 0.22 et 0.28 en fonction des espèces et de l'âge, le chêne vert offre l'indice le plus défavorable.

Les espèces de conifères étudiés offrent un indice de RUNKEL plus intéressant que le chêne vert.

Les fibres ayant un indice de Runckel inférieur à un ont un pouvoir d'adhérence fibre à fibre fort, il est d'autant plus fort que cet indice est faible et la forme rubané (fibre s'aplatissant totalement) est maintenue.

Inversement les fibres ayant un indice de Runckel supérieur à un ont une faible qualité d'adhérence, plus cet indice augmente, plus la forme cylindrique des fibres est maintenue, plus le pouvoir d'adhérence inter-fibres diminue.

A notre avis quelque soit la nature des liaisons inter fibres, la force de liaison qui les retient l'une à l'autre doit être proportionnelle à la surface de contact.

Les tableaux 22 et 23 montrent les différents coefficients calculés pour chaque espèce étudiée, le coefficient de souplesse exprimé par le rapport $100 \times C/l$ et l'indice de feutrage qui exprime le rapport entre la longueur de la fibre et sa largeur.

Pour une largeur donnée plus l'épaisseur des parois diminue, plus grand est le coefficient de souplesse. A titre de comparaison, les peupliers étudiés ont un coefficient de souplesse qui varie entre 77 et 83, les fibres de bois jeune ayant le coefficient le plus important alors que le chêne vert a un coefficient de souplesse qui n'atteint pas 38 et ceci quelque soit l'âge.

L'ensemble des bois résineux que nous avons étudiés ont un coefficient de souplesse supérieur à 50, ainsi que le coefficient de feutrage.

L'ensemble des bois feuillus présente des indices de feutrage variant entre 28 et 50 alors qu'ils sont compris entre 58 et 80 pour les bois résineux.

La comparaison entre les caractéristiques des fibres des bois feuillus et celles des bois résineux permet de les classer en quatre groupes :

- Le premier groupe comprend les bois dont le coefficient de souplesse et l'indice de feutrage sont inférieure à 30. A ce groupe appartiennent les bois très lourds, ils sont médiocres. Leurs fibres ont une paroi épaisse, un lumen très réduit, et une longueur et une largeur des fibres relativement faibles. Les fibres sont très rigides et conservent leur forme cylindrique. Elles ont donc entre elles une surface de contact très réduite, le papier fabriqué à partir de ces fibres présentera des résistances mécaniques faibles. Aucun bois que nous avons étudié n'appartient à ce groupe.
- Le deuxième groupe est constitué par les bois ayant des fibres dont le coefficient de souplesse et l'indice de feutrage sont compris entre 30 et 50 (Tableau 22 et 23). Leurs fibres ont des parois relativement épaisses et un lumen peu développé. Elles s'aplatissent peu et présentent peu de surface de contact entre elles. Elles développent des résistances à l'éclatement et la rupture légèrement favorable par rapport au 1^{er} groupe, dans ce groupe figurent les bois lourds à mi-lourds développant des aptitudes papetières insuffisantes à très moyennes. Le bois de chêne vert quelque soit son âge appartient à ce groupe.
- Le troisième groupe comprend les bois possédant des fibres à coefficient de souplesse compris entre 50 et 80 et un indice de feutrage variant entre 20 et 40. Les fibres ont un lumen assez développé et s'aplatissent bien lors de la fabrication des papiers, elles offrent une bonne surface de contact fibre à fibre. Les bois de ce groupe ont une aptitude papetière bonne. Tous les peupliers étudiés appartiennent à ce groupe.
- Le quatrième groupe est représenté par les bois à fibres très souples. Les fibres ont un lumen développé et des parois relativement fines. Elles s'aplatissent très bien lors de la fabrication des papiers et donneront de bonnes résistances à la rupture et à l'éclatement. Ces fibres ont un coefficient de souplesse et un indice de feutrage supérieurs à 50 et inférieur à 80. Tous les bois de résineux étudiés appartiennent à ce groupe. Les fibres de ces bois ont une aptitude papetière très bonne. Sur la base du coefficient de souplesse et de feutrage des fibres que nous venons d'établir, le bois de

chêne vert reflète bien le groupe ou il est classé, ainsi que le genévrier de phoenicie, qui lui a un coefficient de Runckel proche de 1 et on peut le classer dans le deuxième groupe en raison surtout de la longueur moyenne des fibres relativement faible pour un résineux et qui s'apparente beaucoup plus des bois feuillus. En nous basant sur les caractéristiques morphologiques des fibres il est permis de qualifier le chêne vert et le genévrier de phoenicie comme des essences forestières peu intéressantes pour la fabrication de pâte mi-chimique et ceci en raison surtout :

- D'un rendement en pâte bas,
- Une longueur moyenne des fibres faibles,
- Et une épaisseur des parois relativement importante la longueur des fibres a pendant longtemps été la seule caractéristique déterminante. On attribuait à celle-ci une importance décisive sur les propriétés de résistance. Elle reste toujours une des caractéristiques dominantes.

Néanmoins l'épaisseur des parois et du lumen des fibres constituent, elles aussi un facteur important pour caractériser l'aptitude papetière d'un bois.

L'épaisseur des parois et son rapport avec la largeur du lumen apparaît donc comme un critère important de la convenance d'une matière première à la fabrication du papier.

Des fibres à parois épaisses avec des lumens étroits donnent des fibres en forme de tube, des surfaces de contact moindre, inférieures à celle des fibres à parois minces avec de grands lumens qui se rassemblent sous forme de rubans et permettent de grandes surfaces de contact.

Dans le tableau 24, nous avons réuni l'ensemble des bois étudiés jeunes et adultes dotés de leur coefficient de RUNKEL qui est le rapport entre l'épaisseur des parois et la cavité centrale ou lumen, par ordre croissant de l'indice et qui signifie une aptitude papetière qui diminue. A l'aide de cet indice nous avons classé les bois dont les caractéristiques des fibres sont assez voisines.

Tableau 22 : Caractéristiques morphologiques et indices de qualité des fibres de bois feuillus étudiées.

Nom Botanique	Age	Longueur moyenne des fibres L en microns	Largeur moyenne des fibres l en microns	Epaisseur moyenne des deux parois 2 P en microns	Epaisseur moyenne du lumen C en microns	Coefficient de souplesse c/l x 100	Indice de feutrage L / l	Indice de RUNKEL 2 P / C
Quercus ilex ssp rotundifolia	J	760.0 ± 54.6	15.0 ± 3.5	10.1 ± 2.6	5.0 ± 1.7	33.30	50.67	2.02
	A	841.0 ± 52.4	18.5 ± 5.3	11.6 ± 3.7	6.9 ± 2.4	37.60	45.60	1.70
Populus nigra cv. "Thevestina" Dode	J	801.0 ± 317.4	28.5 ± 1.3	5.7 ± 1.0	22.8 ± 2.1	80.00	28.11	0.25
	A	1035.2 ± 208.9	31.8 ± 1.1	6.5 ± 1.0	25.3 ± 1.7	79.60	32.60	0.25
Populus alba var hickeliana	J	904.5 ± 354.9	29.1 ± 1.3	5.4 ± 0.8	24.2 ± 2.0	63.20	31.10	0.22
	A	1162.0 ± 327.0	32.5 ± 1.4	7.2 ± 1.2	25.3 ± 2.4	77.85	35.80	0.28

J : jeune

A : Adulte.

Tableau 23 : Caractéristiques morphologiques et indices de qualité des fibres des bois résineux étudiés.

Nom Botanique	Age	Longueur moyenne des fibres L en microns	Largeur moyenne des fibres l en microns	Epaisseur moyenne des deux parois 2 P en microns	Epaisseur moyenne du lumen C en microns	Coefficient de souplesse c/l x 100	Indice de feutrage L / l	Indice de RUNKEL 2 P / C
Pinus pinaster Ait	J	1776.0 ± 869.0	28.3 ± 4.5	13.8 ± 3.8	14.6 ± 4.2	51.60	62.75	0.95
	A	2409.0 ± 1018.0	30.1 ± 4.2	14.7 ± 2.3	16.0 ± 2.8	53.20	80.03	0.91
Pinus Halepensis mill	J	1920.0 ± 884.0	32.8 ± 5.9	15.2 ± 4.5	17.6 ± 5.1	53.70	58.50	0.86
	A	2782.0 ± 1207.0	36.0 ± 7.4	16.6 ± 5.7	19.5 ± 6.0	54.20	77.30	0.85
Juniperus phoenicea	J	1392.0 ± 549.0	21.7 ± 4.9	10.7 ± 2.9	11.0 ± 2.8	50.70	64.20	0.98
	A	1513.0 ± 657.0	23.8 ± 5.2	11.2 ± 2.4	12.6 ± 3.7	52.90	63.60	0.89

J : jeune.

A : adulte.

Tableau 24 : Classement des bois en fonction de l'indice de RUNKEL

Nom Botanique	Age	Indice de RUNKEL 2p/c	Observations
Populus alba var hickeliana	J	0.22	$0.20 \leq \frac{2\bar{p}}{c} \leq 0.50$ Parois assez minces lumen large, aplatissement de la fibre, bonne liaison fibre à fibre
Populus alba var hickeliana	A	0.28	
Populus nigra cv « Thevestina » DODE	J	0.25	
Populus nigra cv « Thevestina » DODE	A	0.25	
Pinus Halepensis Mill	A	0.85	$0.50 \leq \frac{2\bar{p}}{c} \leq 1.00$ Epaisseur moyenne des parois ainsi que la largeur du lumen, perte de la qualité d'adhérence des fibres.
Pinus Halepensis Mill	J	0.86	
Juniperus phoenicea	A	0.89	
Pinus pinaster Ait	A	0.91	
Pinus pinaster Ait	J	0.95	
Juniperus phoenicea	J	0.98	
Quercus ilex ssp rotundifolia	A	1.70	$1.00 \leq \frac{2\bar{p}}{c} \leq 2$ Faible pouvoir d'adhérence
Quercus ilex ssp rotundifolia	J	2.02	$\frac{2\bar{p}}{c} \geq 2$ Forme cylindrique très faible pouvoir d'adhérence.

Dans une étude approfondie des propriétés papetières, il faudrait étudier aussi la répartition des longueurs et largeurs des fibres comme on peut le voir sur les figures 6 à 17.

Ces figures montrent que les espèces résineuses présentent un bon étalement des longueurs sur l'histogramme ce qui caractérise bien le type des espèces résineuses.

Les variations des longueurs de fibres en fonction de l'âge ont été établies pour les bois d'âge juvénile et adulte et ceci pour chaque espèce étudiée.

On remarque sur les figures 6 à 17 que l'étendue des classes de longueur de fibres augmente avec l'âge dans le groupe feuillu comme dans le groupe résineux.

Par contre quand on compare les espèces de même âge mais appartenant à deux groupes différents, les différences apparaissent plus dans la fréquence des différentes classes de fibres et dans la longueur moyenne de celle-ci.

En conclusion de cette première partie du chapitre trois nous pouvons dire que la morphologie des fibres permet de se faire une opinion quand aux propriétés des pâtes fabriquées à partir de bois feuillus, à condition de déterminer et d'apprécier les caractéristiques obtenues des éléments fibreux.

L'épaisseur des parois des trachéides et des fibres constitue un facteur très important pour la caractérisation de l'aptitude papetière d'un bois.

Les bois dont les fibres ont une paroi relativement épaisse fournissent généralement par rapport à ceux possédant les fibres à paroi fine, un meilleur rendement en pâte, un papier moins dense et moins homogène, plus poreux, assez résistant à la déchirure, mais moins résistant à l'éclatement et à la rupture.

Cette constatation vaut pour les propriétés d'essences différentes mais appartenant au même groupe et de même âge.

La comparaison entre les caractéristiques morphologiques moyennes des fibres de bois feuillus et des trachéides des résineux en provenance de la Wilaya de Tlemcen, fait ressortir une qualité fibreuse très différente des deux catégories de bois.

En effet par rapport au bois de conifères les bois feuillus possèdent des fibres :

- Beaucoup plus courte ; ils fournissent donc par la suite un papier nettement moins résistant à la déchirure.
- Généralement moins souples (exception pour le peuplier) entraînant la formation d'un papier possédant plus d'épaisseur, d'opacité et de bouffant.

Les tableaux (1 à 12, annexe 4) faisant ressortir les valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques montrent les résultats obtenus et la grande homogénéité dans la répartition des populations : Aux valeurs moyennes de longueurs, largeurs ou épaisseur du lumen et des parois, les plus élevées, correspondant des écarts-type plus élevées, donc des répartition plus large ce qui se traduit par des coefficients de variations peu différents les uns des autres pour des espèces appartenant au même genre mais d'âge différent.

Les histogrammes de répartition des populations des fibres en longueurs et en largeurs (fig. : 6 à 17) des différentes espèces étudiées montrent des courbes biométriques plus étalées dans le cas des résineux, les longueurs moyennes y sont les plus élevées et les écarts-types, plus importants.

Longueur moyenne des fibres :

Chez le chêne vert (*Quercus ilex* ssp *rotundifolia*) et le genévrier de phœnicie (*Juniperus phoenicea*) les différences entre les fibres de bois juvénile et celles de bois adulte sont peu sensibles.

Dans le cas du chêne vert les fibres de bois jeune sont plus courtes de 10% par rapport aux fibres de bois adulte ; alors qu'elles sont plus courtes de 8% chez le genévrier de phœnicie.

Coefficient de souplesse et de feutrage :

Les tableaux (22, 23, et 24) donnent les valeurs des dimensions des fibres et de leurs coefficients de feutrage, de souplesse et de RUNKEL pour les espèces étudiées.

Comme l'ont signalé beaucoup d'auteurs LONNBERG (1975), ZOBEL (1972), Taylor (1976), VOILLOT (1980), pour un grand nombre d'espèces feuillus comme pour les espèces résineuses, les longueurs moyennes de fibres augmentent avec l'âge et ceci est remarquable chez les résineux. Les largeurs et épaisseurs de parois croissent parallèlement mais les variations observées étant moins nettes dans le cas du chêne et du genévrier particulièrement (MANWILLER 1974).

Un coefficient de feutrage élevé augmente l'indice de déchirure alors que la largeur de rupture et l'indice d'éclatement sont favorisés par un coefficient de souplesse supérieur à 50.

IV.3. Les Peupliers étudiés :

Les deux espèces de peupliers étudiées *Populus alba* et *Populus nigra* sont à notre avis d'une grande importance. De manière générale les bois de peupliers sont utilisés en Algérie, mais la demande en produits finis :

- Allumettes,
- Cageots,
- Caisses californiennes,
- Boîtes de camembert,
- Contreplaqués, sciage,
- Pâte à papier,

Est loin d'être satisfaite et le recours à l'importation a toujours lieu tant bien que mal.

Pour le peuplier blanc, il est admis que son bois convient bien à la fabrication des produits cités ci-dessus mais donne aussi une excellente pâte à papier journal par les procédés Thermomécaniques et chimiques.

Le bois de peuplier noir convient aux mêmes usages mais représente la supériorité de la rectitude de la tige. En Turquie cette essence assure une grande partie de la production de bois d'œuvre.

Ce que l'on peut dire sans risque de se tromper c'est que les peupliers constituent un troisième grand groupe d'essences de production après le groupe des Eucalyptus et des Conifères, qui se prête à une ligniculture intensive autant que l'on puisse déterminer les zones de cultures possibles, les objectifs clairs et les cultivars recommandables.

Pour faire face à la demande croissante en bois tendre pour les emballages, le sciage, le déroulage, la production de pâte à papier, le besoin de constituer des brises vents dans les périmètres irrigués, ainsi que la production d'un feuillage fourrager d'une part et le développement d'essences ligneuses à croissance rapide hors forêt d'autre part, l'Algérie doit accordé un intérêt particulier au développement du peuplier (BIGUE, 2006).

La recherche forestière doit entreprendre, la création d'une collection de clones locaux et introduits, des plantations comparatives de l'ensemble de ces clones doivent être installées dans différentes régions là où les conditions situationnelles sont conformes aux exigences de l'espèce. Dans ces essais, le comportement des différents clones vis-à-vis des facteurs limitant, ainsi que des considérations générales sur les problèmes phytosanitaires doivent être étudiés.

L'un des objectifs prioritaire est l'examen des possibilités de culture de cette essence et de sa productivité dans les conditions climatiques particulières des différentes zones en allant de l'ATLAS SAHARIEN au Nord-Tellien.

Les résultats permettront de recommander une liste de clones performants du point de vue adaptation et croissance.

Par la suite sur la base des résultats obtenus, des pépinières doivent être créés pour la production, la diffusion et la vulgarisation de la populi culture.

La nature de la répartition naturelle du peuplier (localisé sous forme de petits peuplements très espacés autour des oueds et des vallées) ne permet pas d'inventorier ces superficies d'une manière précise.

Par ailleurs, il est à signaler que l'évolution de ces peuplements dépend de leur situation en montagne ou en plaine :

En montagne les peuplements sont relativement mal conservés, car ils ne bénéficient pas d'une surveillance, de traitements sylvicoles (élagages, arrosages) pendant les grandes chaleurs. Ces peuplement sont souvent dégradés et réduits à des peuplements en voie de disparition.

En plaine les peuplements qui subsistent sont représentés par de petits îlots reliques ou par des individus dont la dégradation est avancée.

IV.3.1. Stratégies de conservation des ressources :

D'autres aspects de recherche dans les domaines d'amélioration génétique, de sylviculture et de la valorisation des bois de peupliers restent encore à développer.

L'utilisation d'un nombre réduit de génotypes en matière de reboisement, la disparition de peuplements suite à la surexploitation ou à la mortalité due à la sécheresse de ces deux dernières décennies, le risque de dépérissement qui menace les peupliers algériens ; sont autant de facteurs qui conduisent à se préoccuper de la conservation des ressources génétiques. Dans ce sens, des mesures de conservation devront être envisagées :

La première concernant la conservation in situ qui est une mesure destinée à garantir une adaptation continue aux conditions locales. Une étude de la variabilité inter et intra provenances devra être entreprise afin d'identifier les peuplements à conserver. Ces peuplements seront représentatifs de l'essentiel de la variabilité génétique (MENETRIER, 2007 ; CHEVALIER, 2000 ; SOULERES, 1992).

La deuxième concerne les peuplements disséminés qui sont présents naturellement sous forme de petits bouquets qui ne se prêtent guère à la conservation in situ ; la création de

collections conservatoires ex situ, sur des sites si proches que possible des conditions écologiques d'origine doit être alors envisagée.

IV.3.2 Renforcer la recherche :

IV.3.2.1 Amélioration génétique :

- Prospector l'aire naturelle de répartition des espèces en Algérie à fin de sélectionner de nouveaux clones plus adaptés aux conditions locales.
- Introduire de nouvelles espèces jugées hautement qualifiés pour leur intégration dans un programme national de reboisement.
- Comparer les différents clones sur la base de critères d'adaptation de croissance (hauteur, circonférence) et de qualité (densité, retrait et pourcentage de bois de tension).
- Entreprendre des croisements inter et intra spécifiques dans le but de constituer une population de base d'hybrides de peupliers performants.
- Compléter l'étude de la variabilité intra et interspécifique réalisé sur la base des observations morphologiques par des analyses chimiques du bois.

IV.3.2.2 Sylviculture et voies de recherche :

- Etudier les techniques de propagation des différentes espèces de peuplier.
- Entreprendre des études sur les techniques de plantation des peupliers pour les différentes régions en Algérie.
- Installer des essais de fertilisation, espacement, irrigation,...
- Elaborer un guide sur la conduite des peuplements (itinéraire technique).

IV.3.2.3 Valorisation du bois :

- Etudier les caractéristiques technologiques des bois des différents clones.
- Optimiser leurs utilisations.

IV.3.2.4 Promouvoir la culture du peuplier :

- Installer des plantations de démonstration.
- Sensibiliser les particuliers (propriétaires privés) et le public sur la sauvegarde des peupleraies naturelles et les avantages de la populi culture.
- Renforcer la coopération internationale par l'intégration de l'Algérie dans les réseaux internationaux de peuplier.

Nous pouvons dire que, face à l'hémorragie de devise engendrée par l'importation du bois tendre et compte tenu des possibilités d'extension de la culture du peuplier particulièrement là où les sols conviennent, l'Algérie dans sa lutte contre la désertification

doit accorder une attention particulière à ce secteur par la création d'un centre spécialisé en matière de populi culture doté de moyens humains et matériels nécessaires à la mise en œuvre de ce programme.

Par ailleurs, les travaux de recherche sur le peuplier auront pour principal but le développement de la populi culture, qui permettent d'accumuler un savoir faire et un matériel génétique de base précieux, toutes les disciplines génétique, sylviculture, technologie et chimie du bois...etc. ; doivent concourir à la réalisation d'objectifs claires escomptés.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Dans un premier chapitre nous avons essayé de décrire la situation forestière algérienne qui est peu satisfaisante en raison de la dégradation et de l'altération de nos massifs forestiers. La forêt algérienne doit être reconstituée afin qu'elle puisse jouer son rôle de protection, de régulation du régime des eaux et de production et tout ceci dans le respect de l'Ecologie.

L'industrie de cellulose et papier algérienne est moribonde, plusieurs unités de production ont fermé leurs portes définitivement tel est le cas de : [CELPAP Mostaganem, CELPAP Souk-Ahras, ENEPAC Saïda] et dans un proche avenir vrai semblablement le reste des unités.

Les causes de ces fermetures sont de plusieurs ordres : Manque de matière première alfa, paille et vieux papiers, manque d'eau, manque de pièces de rechange, arrêts intempestifs dus aux coupures d'électricité, toutes ces causes ont fait que les unités ont fonctionné en dents de scie et ont eu raison des équipements ; usés prématurément et donc devenus obsolètes.

Pour parer à la demande de papier l'Algérie importe plus de 600 millions de dollars U.S par an et à très court terme plus de 1 milliard de dollars U.S.

L'Algérie est donc condamnée à trouver les ressources forestières nécessaires et augmenter la production pour la fourniture de matières premières et ceci pour atteindre une certaine sécurité dans le domaine de la disponibilité de celles-ci.

L'étude d'un végétal en vu de son utilisation en papèterie doit comprendre un ensemble de recherche. L'étude économique d'un végétal et des besoins en bois et papiers sont nécessaires pour satisfaire la demande, et la production de pâte et papier.

En effet dans un deuxième chapitre nous avons essayé de faire ressortir quelques caractéristiques biologiques et écologiques des espèces étudiées afin de les placer dans un contexte géographique et socio-économique qui lui revêt une grande importance.

Un quatrième chapitre vient corroborer nos résultats par quelques orientations et quelques propositions de traitement sylvicole et de mise en valeur des trois espèces économiques étudiées.

Notre travail avait comme but initial, en tant que forestier d'utiliser des méthodes simples, non destructives de l'arbre pour déterminer la valeur papetière des espèces étudiées.

En utilisant les méthodes de micro-cuissons en série sur des carottes de sondage prélevées à la tarière de Pressler sur de petits échantillons de 1 à 6 grammes, ou des échantillons parallélépipédiques, il est possible de pouvoir tester des centaines d'individus

dans un temps relativement court même si dans nos essais préliminaires, la méthode de micro-cuisson était archaïque.

Elle permet dans les mêmes conditions de traitement de suivre par exemple une année sur l'autre l'action sur le rendement et sa variation ainsi que la variation des caractéristiques morphologiques des fibres en fonction de l'âge par exemple.

Nous avons fait une étude systématique de la variabilité selon l'âge ; suivant les particularités anatomiques du bois : Bois de réaction ou bois normal.

Du point de vue forestier, nous avons comparé des espèces de différents genres, des espèces du même genre, mais de provenance géographique identique.

Du point de vue statistique nous avons interprété les variabilités observées par le coefficient de variation, l'écart-type et la variance.

Du point de vue papetier, la connaissance du rendement d'un bois en pâte ne suffit pas pour déterminer la qualité papetière d'un produit : ce sont les fibres qui font le papier. Aussi faut-il savoir de celles-ci à la fois leur comportement face aux traitements chimiques, physiques (raffinage) qu'elles subissent, et leurs dimensions.

Pour connaître la valeur papetière des pâtes étudiées il faut les raffiner au même degré Schopper afin de suivre l'évolution progressive de l'indice d'égouttage ou degré Schopper et par la suite de pouvoir comparer les principales caractéristiques physico-mécaniques des papiers.

La mesure des dimensions des fibres par les méthodes directes impliquent une observation microscopique des fibres pour les localiser et de les mesurer à l'aide d'un micromètre oculaire. Ces procédés conduisent à des dispositifs et des opérations de mesures lentes, fastidieuses et limitées par le nombre des observations possibles.

Seule une détermination en continu des longueurs des fibres peut faire connaître leurs évolutions dimensionnelles tout au long de la vie de la plantes ou en cours de fabrication et satisfaire les besoins des recherches forestières et des industriels papetiers.

La mesure des longueurs de fibres issues des cuissons Kraft ainsi que la largeur, la masse linéique, l'indice de flexibilité a été faite à l'aide de l'appareil P.Q.M (1000) qui permet de connaître rapidement la courbe biométrique d'une pâte d'en connaître les proportions de fibres courtes par rapport aux fibres longues.

Nous avons considéré les fibres courtes dans les pâtes Kraft celles qui sont inférieures à 0,5 mm de long. Le rôle des fines particules inévitables dans les pâtes a été toujours sous-estimé : Elles ont une influence sur le calcul de la longueur moyenne arithmétique des fibres d'une pâte.

L'appareil permet aussi en quelques secondes de compter le nombre de fibres contenues par unité de poids de pâte.

Du point de vue des recherches forestières la possibilité de mettre en évidence de très faibles différences de longueur moyenne, et de fréquence de répartition des longueurs de fibres entre échantillons, permet de sélectionner des provenances du point de vue de la longueur des fibres, et de mieux connaître les influences des facteurs naturels de la production forestière sur la longueur des fibres.

Un quatrième chapitre vient couronner nos résultats par quelques orientations et quelques propositions de traitement sylvicole et de mise en valeur des trois espèces économiques étudiées.

Lors de l'évaluation de la qualité d'un bois en vue de son utilisation en papeterie, les principaux points à considérer sont :

Il faut tout d'abord déterminer, de préférence au moyen d'un inventaire toute ressource potentielle et choisir la matière première. Il s'agira aussi en général dans des opérations, commerciales intégrées des bois restant après extraction des grumes de sciage, de placage et de déroulage de plus grande valeur et qui pourront comprendre des petits arbres, des essences non marchandes (tels que chêne vert et chêne Zeen), des arbres ou parties d'arbres défectueux des résidus de coupe et des déchets de scierie. Une fois déterminées les quantités disponibles, il importe d'étudier avec soin quels sont les types de produits demandés et de savoir s'il y a suffisamment de matière première pour les fabriquer. Aucun des étapes suivantes, qui sont coûteuses, ne devra être amorcée tant que cette estimation n'aura pas été faite, l'Algérie dans ce domaine étant très en retard (pas d'inventaire forestier - Pas de traitement sylvicole, peu ou pas d'exploitation forestière et donc pas d'estimation des quantités disponibles après les opérations commerciales) et peu d'information ou de statistiques concernant les besoins et les types de produits demandés.

Une fois les quantités disponibles établies, on recueillera un échantillon pour les essais par les techniques de sondage qui doivent viser à fournir un échantillon aussi représentatif que possible au coût minimal. Le sondage aléatoire est à éviter car il amène à récolter plus d'échantillon qu'il ne convient.

En laboratoire, on peut, à partir d'échantillons effectuer des essais de réduction en pâte avec une gamme de procédés chimiques, mi-chimiques et mécaniques, on effectue des analyses morphologiques des fibres et chimiques, au besoin pour chaque essence seule ou en mélange de bois à pâte de différentes espèces, pour en faciliter la meilleur utilisation.

L'information ainsi acquise permet d'identifier, et éventuellement à écarter, les essences ayant une aptitude papetière médiocre sur la base du rendement en pâte et/ou la longueur moyenne des fibres.

En laboratoire, l'utilisation rationnelle des bois feuillus exemple (chênes et/ou peupliers) pour leur réduction en pâte à papier a nécessité une évaluation des caractéristiques papetières des diverses espèces étudiées. Si pour les peupliers les caractéristiques sont bonnes, il ne va pas de même pour le chêne vert (*Quercus ilex ssp rotundifolia*) dont les caractéristiques sont médiocres et qui nécessite un autre programme de fabrication, l'utilisation en mélange avec des fibres résineuses pour améliorer d'une manière générale les caractéristiques physico mécaniques des papiers. Cette démarche s'impose pour parvenir à une utilisation optimale de cette espèce.

Etant donné que notre pays connaît une pénurie en alfa et en paille et du bois à pâte, l'importation de copeaux de bois pourrait devenir pratique courante dans un avenir prévisible, si on n'améliore pas la productivité de nos forêts.

Si la recherche sur la chimie de la mise en pâte et du blanchiment est indispensable pour l'utilisation rationnelle des ressources fibreuses par l'industrie de la pâte et du papier, il y a d'autres exigences aussi importantes aux quelles on accorde souvent trop peu d'attention. Il s'agit de dresser un inventaire sérieux des ressources en matières premières, de connaître les besoins en pâtes et papiers (tous types confondus), qui permet d'apprécier si les disponibilités sont suffisantes pour le développement envisagé, et satisfaire les besoins, tout en garantissant la protection de l'environnement et l'exécution de toutes les opérations d'une manière durable au mieux des intérêts futures de nos populations.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- ✦ AÏCHOUNI M. (2000) : Le secteur forestier en Afrique du Nord, analyse critique de la situation et défis de développement à l'horizon 2020.
<http://fao.org/docrep/fao/005/y8673f/y8673foo.pdf>
- ✦ AÏTKEN Y., CADEL F et VOILOT C., (1988) : Constituants fibreux des pâtes, papiers et cartons pratiques de l'analyse. *C.T.P.-E.F.P.G.* Grenoble, 1^{ère} Edition, 272 p.
- ✦ ATACK D. (1979) : Le Progrès du raffinage - Première partie. *ATIP*, vol. 33, N°6 PP 265-277 et deuxième partie. *ATIP* (Association Technique de l'Industrie Papetière) Bordeaux, France, vol. 33, N°7, PP 328-337.
- ✦ BAREOU C., (1980) : Les taillis à courtes révolution. *ATIP*, vol. 34, N°9 PP 449-454.
- ✦ BARNEOU C., BONDUELLE P et DU BOIS J. M., (1982) : Manuel de populi culture. *AFOCEL*. Domaine de l'Etançon 77370 Nangis, 319 p.
- ✦ BIGUE B., (2006) : Lignes et cultures. *Bulletin du réseau ligniculture* Québec, Canada, vol. 5, N°1.
- ✦ BOUDY P., (1948) : Economie Forestière Nord Africaine, volume I, *Edit. La Rose*, 878 p.
- ✦ BOUDY P., (1948) : Economie Forestière Nord Africaine, volume II *Edit. La Rose*, 688 p.
- ✦ BOUDY P., (1955) : Economie Forestière Nord Africaine, volume IV *Edit. La Rose*, 483 p.
- ✦ BOUKLI HACENE M. K. M., (2008) : Valorisation de certaines essences forestières Algériennes : Etude de la délignification par le procédé Kraft. *Revue Sci. Techno. Dév. ANDRU*, Algérie, n°3, PP. 19-32.
- ✦ BUCUR V., (1981) : Détermination du module de YOUNG du bois par une méthode dynamique sur carottes de sondages. *Annales des sciences forestières*, vol. 38, N°32, PP 282-298, Nancy, France.
- ✦ CASTELLANI C., (1973) : TAVOLE stereometriche ed alsonometriche costruite per i boschi Italiani. *Ann. Inst. Sper. Ass. For. E Alpid.*, I-II, trento-70-72. Italie.
- ✦ CHENE M., ROBERT A., (1968) : le rôle croissant de la chimie dans les industries papetières. *ATIP*, (Association Technique de l'Industrie Papetière) Bordeaux, France, vol. 22, N°2.
- ✦ CHEVALLIER H., (2000) : Populi culture et gestion des espaces alluviaux. Fédération nationale des syndicats de propriétaires forestiers sylviculteurs. *Le courrier de l'environnement de l'INRA*. Vol. 40 PP 57-62. www.inra.fr

- ✦ CHIAVERINA J., (1966) : Micrographie et biologie papetière. Notion sur l'étude des pâtes à papier. Etude d'un végétal -Biométrie- Qualité des fibres courtes -Relation entre les caractéristiques physiques des papiers. *Polycopié Inédit* – 300 p.
- ✦ CLARCK J., (1962) : Weight average fiber length. A quick visual method. *TAPPI*, (Association Technique de l'Industrie Technique des Pâtes et Papiers), Montréal, Canada, vol. 45, N° 1 PP. 38-45.
- ✦ C.T.P. Grenoble, (1980) : Unités et essais physiques du papier - Aide mémoire. *ATIP*, (Association Technique de l'Industrie Papetière) Bordeaux, France, vol. 34, N° 9, PP 435-447.
- ✦ DURAND A., (1975) : Influence du séchage sur le rendement en pâte et diverses autres caractéristiques papetières. *La Papeterie* N°2, PP 78-82.
- ✦ Ecole Française de la Papeterie, Grenoble (1997) : Manipulations de chimie. 24p. *Inédit*.
- ✦ EL RHAZI M., (1978) : Etude des effets de la sylviculture sur les caractéristiques papetières et physiques du bois d'Eucalyptus camaldulensis traité en taillis à courte révolution. *Mémoire de D.E.A. Ecole Française de Papeterie*, Grenoble.
- ✦ ELRHAZI M., (1981) : Etude des effets des éclaircies sur la qualité du bois de cedrus atlantica (Manetti). *Thèse de docteur ingénieur. Ecole Française de Papeterie*, Grenoble.
- ✦ F.A.O., (1980) : Peupliers et sols dans la production du bois et l'utilisation des terres, *Collection F.A.O : Forêts*, n° 10, 443 p.
- ✦ F.A.O., (1989) : Ressources Phylogénétiques. Leur conservation in situ et leur utilisation au service des besoins humains - ROME, 38 p.
- ✦ F.A.O., (2003) : La Forêt dans le monde. Production de bois et dérivés du bois, PP. 1-2, www.Fibranet/upload/pdf/memento_foret_2005.pdf. www.sagpya.mecon.gov.ar
- ✦ FERRAND J. CH., (1981) : Recherche des solutions pratiques à apporter aux problèmes posés par les contraintes de croissance des arbres forestiers. *Thèse de Docteur ingénieur, E.F.P. Grenoble, Science du bois, I.N.P.L.*
- ✦ NADIR-SACI M. (GIPEC), (2006) : Les besoins du Marché Algérien en papier et carton estimés à 500000 t/an. PP.1. *Inédit*.
- ✦ GRIM S., (1989) : Le pré-aménagement forestier volume 1, 369p. ; volume 2, 152p, Ministère de l'Hydraulique, Alger.
- ✦ GOUASSANEM M., (2000) : Prospective du secteur forestier Algérien - *Direction Générale des forêts (F.O.S.A)*, 60p. Archives F.A.O, <http://www.fao.org>
- ✦ HATTON J. V., (1975) : Kappa number permanganate number relationship for softwoods and hardwoods. *TAPPI*, Montréal, Canada, vol. 58, N°10, PP. 150-151.

- ✦ ISTAS J. R., RAEKELBOOM E. L., (1967) : Etude Biométrique, chimique et papetière de quelques conifères exotiques en provenance de l'arboretum de TERVUREN (Belgique). NANCY-Qualité du Bois-12352. PP 205-218.
- ✦ ISTAS J. R., RAEKELBOOM E. L., (1970) : Etude Biométrique, chimique et papetière de quelques essences feuillues en provenance de l'arboretum de TERVUREN (Belgique). NANCY-Qualité du Bois-12352. PP 110-129.
- ✦ JANIN G., (1973) : Détermination des diagrammes polaires des rendements et des indices de permanganate sur carottes droites et obliques. Essai de micro-classage sur carottes obliques. Doc. Interne, Nancy, France, *Inédit*.
- ✦ JANIN G., (1981) : Techniques de micro-cuissons papetières : Perfectionnement et précisions des rendements en pâte. *Annales des sciences forestières*, vol. 38, N°1, PP 107-126. Versailles, France
- ✦ JANIN G., (1983) : Micro-tests papetiers. Micro-cuisson-Micro-classage-Micro-raffinage-Mesure automatique de la longueur des fibres. *Thèse de Docteur d'Etat es science. E.F.P.*, Grenoble, France, 266 p.
- ✦ JANIN G., MORY J., DUMAS D et LAVISCI P., (1989) : Colorimétrie de la pâte écrue, mesure automatique de la longueur des fibres, avec l'appareil histofibre. *ATIP*, Bordeaux, France. vol. 43, N°2, PP. 63-74.
- ✦ KEAYS J. L., HATTON J. V. et CORTEZ R. R., (1969): The precision of laboratory Kraft pulp yield determination. *TAPPI*, Montréal, Canada, vol. 52, N°5, PP 903-912.
- ✦ KEAYS J. L., BAGLEY J. M., (1970) : Digester assembly for precision pulping studies. *TAPPI*, Montréal, Canada, vol. 53, N°10, PP 1936-1940.
- ✦ KELLER R., (1979) : Premiers résultats d'une expérience d'élagage du peuplier I₂₁₄ . *Annales des sciences forestières*, Versailles, vol. 36, N° 1, PP 59-92.
- ✦ KORAN Z. (1974) : Intertracheïd pitting in the radial Walls of black spruce tracheïds. *Wood Science*, vol 7, N°2, PP 111-116.
- ✦ LACHENAL D., DECHOUDENS C et MONZIE C., (1979) : Cuisson soude anthraquinone. (1) cas des bois feuillus. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 33, N°5, PP 213-220.
- ✦ LACHENAL D., DECHOUDENS C et MONZIE C., (1979) : Cuisson alcalines en présence d'additifs. (2) Etude de la cuisson soude anthraquinone des bois résineux. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 33, N° 6, PP. 260-268.
- ✦ LACHENAL D., DECHOUDENS C., (1980) : Evolution des procédés dans l'industrie des pâtes. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 34, PP. 236-275.

- ✦ LACHENAL D., DIONIS M. L et AÏTKEN Y., DECHOUDENS C et MONZIE C., (1983) : Valorisation des petits bois. Etude d'écorce des bois feuillus et résineux français. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 37, N°1, PP. 13-19.
- ✦ LEUTREUCH-BELAROUCI N., et C.E.R.A.G. (1985) : proposition d'aménagement d'un parcellaire de 3000 hectares de chêne vert dans la forêt de HASSASNA. Saida, Algérie. *Inédit*.
- ✦ LEUTREUCH-BELAROUCI N., (1991) : Le reboisement en Algérie et leurs perspectives. *O.P.U. Alger*, Algérie, vol. 1, P. 294. Vol. 2, 346 p.
- ✦ LONNBERG B., (1975) : Short rotation hardwood species as Whole-tree raw materials for pulp and paper. *Paper och trä*, PP. 513-516.
- ✦ MANVILLE J. F., HUNT K., (1977) : Precision kraft pulping of small douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) Wood samples. *TAPPI*, Montréal, Canada, vol. 60, N°4, PP. 137-139.
- ✦ MANVILLER F. G., (1974) : Fiber lengths in stems and branches of small hardwoods on southern pine sites (22 species). *Wood sciences*, vol. 7, N°2, PP. 130-132.
- ✦ MARTI Mc LEOD J., (1977) : Critical chip thickness in oxygen alcali pulping of Wood. *TAPPI*, Montréal, Canada, vol. 60, N°2, PP. 128-129.
- ✦ MENETRIER J., (2007) : Ligniculture, le peuplier hybride : histoire, Evolution, avenir.
- ✦ MERZOUK M., (2005) : Directeur Général (GIPEC) Filière papetière en Algérie. Industries lourde pour produits...Légers, PP 1-2.
- ✦ NOE P., (1984) : Le raffinage des pâtes chimiques. Revue bibliographique. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 38, N°1, PP. 19-26.
- ✦ NOE P., (1987) : Pâtes chimiques-Effet du raffinage. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 41, N°1, PP. 27-34.
- ✦ P.N.D.F., (1984) : Répartition des surfaces et des volumes par essence, Doc. Direction des Forêts, Alger.
- ✦ PETIT-CONIL M. (1999) : Caractéristique des fibres mieux comprendre leur comportement aux différents stades des procédés de préparation de pâtes vierges recyclés : Les outils, les méthodes, quelques exemple. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 53, N°3, PP. 95-104.
- ✦ PETROFF G., NORMAND D., (1961) : Relations entre les caractéristiques morphologiques des fibres de quelques bois feuillus tropicaux et leurs caractéristiques papetières. *ATIP*, Bordeaux, France, *Bull.* N°5, PP. 353-371.

- ✦ PIIRAINEN R., (1985) : Optical method provide quick and accurate analysis of fibers length. *Pulp and Paper*, Canada vol. 59, N°11, PP. 69-71.
- ✦ POLGE H., MILLIER C., (1967) : Etude de la longueur des fibres sur échantillons prélevés à la tarière de Pressler de 5 mm de diamètre. *Annales des sciences forestières*, Versailles, France, vol. 24, N°2, PP. 107-119.
- ✦ POLGE H., KELLER R et THIERCELIN F., (1973) : Influence de l'élagage des branches vivantes sur la structure des accroissements annuels et sur quelques caractéristiques du bois de DOUGLAS et de GRANDIS. *Annales des sciences forestières*, Versailles, vol. 30, N°3, PP. 307-328.
- ✦ QUEZEL P., (1974) : Les chênes sclérophylles en région méditerranéenne. *CIHEAM-options méditerranéennes*, Montpellier, N°35, PP. 25-29.
- ✦ Recueil de normes Françaises, (1985) : Papiers et cartons et pâtes méthodes d'essais. Tome 1, 675p. *Edition AFNOR*, Paris, France.
- ✦ RIOUX P., (1988) : Caractérisation du potentiel papetier des pâtes à haut rendement en vue de leur utilisation dans les papiers impression écriture. *Thèse de doctorat, EFP, INP Grenoble*, P 154.
- ✦ ROBERT A., DUMENU et ROUGER J., (1983) : Délignification d'un bois feuillu tropical ; par le procédé Kraft et soude-anthraquinone. *ATIP*, Bordeaux, France, vol. 37, N°1.
- ✦ RUNKEL O. H., ROLLAND R., (1952) : Development of chemical and semi chemical processes for decisions trees with special consideration of tropical woods of Western Africa, 80p.
- ✦ SILVY J., ROMATIER G et CHIODI R., (1968) : Méthodes pratiques de contrôle de raffinage. *ATIP*, Bordeaux, France, Vol. 22, N°1, PP. 31-53.
- ✦ S.O.N.I.C, (1979) : Statistiques et capacités de production de l'entreprise. Document Interne, Alger, *Inédit*.
- ✦ SOULERES G., (1992) : Les milieux de la populi culture. PARIS, *I.D.F.* 309 p.
- ✦ SESBOU A., (1981) : Etude de la variabilité génétique de la qualité du bois et du collapse chez *Eucalyptus camaldulensis* (Dehn). *Thèse de docteur-Ingénieur*, NANCY I.
- ✦ TAYLOR F. W., (1976) : Fiber length variation within growth rings of certain angiospermes. *Wood and fiber, summer*, U.S.A, vol. 8 (2) PP. 116-119.
- ✦ THIERCELIN F., POLGE H., (1970) : Dégâts occasionnés par les sondages à la tarière. *Revue forestière française XXII* N°6.

- # THIERCELIN F., POLGE H., (1972) : Altération du bois provoquée par les sondages à la tarière. Leur contrôle. *Annales des sciences forestières*. Versailles, PP. 107-133, vol. 29, N°1.
- # UHLMANN R., (1991) : Processus et techniques employés pour déterminer la quantité de lignine qui reste dans la pâte, www.cprac.org
- # VOILLOT C., (1980) : Contribution à l'étude des caractéristiques de bois feuillus de petits diamètres en fonction de leur âge. Cas particulier du charme. *Thèse de Docteur-Ingénieur*. Institut National polytechnique de Grenoble, Ecole Française de Papèterie.
- # ZOBEL B. J., KELLISON R. C., (1972) : Sort rotation forestry in the southeast. *TAPPI*, Montréal, Canada, vol. 55, N°8, PP. 1205-1208.
- # WORSTER H. E., Mc CANDLESS D. L et BARTELS M. S., (1977): Some effects of chips size on pulping of southern pine of linerboard. *TAPPI*, Montréal, Canada, vol. 60, N°2, PP. 100-103.

Liste des Tableaux

- Tableau 1- Production de charbon de bois et de bois de chauffage dans le monde
- Tableau 2- Production de bois ronds dans le monde.
- Tableau 3- Production du sciage dans le monde.
- Tableau 4- Production mondiale de panneaux dérivés du bois.
- Tableau 5- Production mondiale de pâte a papier.
- Tableau 6- Production mondiale de papiers et cartons.
- Tableau 7- Exportations de bois et dérivés du bois dans le monde.
- Tableau 8- Répartition des surfaces par essence forestière algérienne.
- Tableau 9- Volume sur pied des principales essences forestières algériennes.
- Tableau 10- Capacités de production des unités de cellulases existantes en Algérie.
- Tableau 11- Capacités installées en pâte à papier en Algérie.
- Tableau 12- Capacités installées en papiers en Algérie.
- Tableau 13- Production installé en tonnes de pâte et papier et production en % de la capacité installée.
- Tableau 14- Capacités de production actuelle.
- Tableau 15- Humidité des bois feuillus étudiés d'âge juvénile et adulte.
- Tableau 16- Humidité des bois résineux étudiés d'âge juvénile et adulte.
- Tableau 17- Paramètres de cuisson par le procédé à la soude à chaud pour tous les bois étudiés.
- Tableau 18- Rendement en pâte brute des bois feuillus algériens étudiés par le procédé à la soude.
- Tableau 19- Rendement en pâte brute des bois résineux algériens étudiés par le procédés à la soude.
- Tableau 20- Rendement en fonction de la direction angulaire cas de (*Pinus Halepensis* Mill)
- Tableau 21- Rendement en fonction de la direction angulaire cas de *Populus alba* var *hickeliana*).
- Tableau 22- Caractéristiques morphologiques et indices de qualité des fibres de bois feuillues étudiés.
- Tableau 23- Caractéristiques morphologiques et indices de qualité des fibres de bois résineux étudiés.
- Tableau 24- Indices de Runckel de tous les bois étudiés en fonction de l'âge.

Tableau 25- Caractéristiques des pâtes et des fibres de bois feuillues algériens issues de micro-cuissons Kraft.

Tableau 26- Caractéristiques des pâtes et des fibres de bois feuillues algériens issues de macro-cuissons Kraft.

Tableau 27- Caractéristiques physiques des pâtes chimiques entières des bois étudiés.

Tableau 28- Evolution de degré Schopper en fonction du temps de raffinage.

Tableau 29- Caractéristiques des pâtes des fibres et indices papetiers.

Tableau 30- Caractéristiques physicomécaniques des papiers obtenus.

Liste des figures et photographies :

- Figure 1 : Consistance de la forêt Algérienne
- Photographie 1 : Micro-lessiveurs de laboratoire (Ecole Française de papeterie-Grenoble)
- Photographie 2 : Classeur Weeverk (Ecole Française de papeterie-Grenoble)
- Figure 2 : Structure de la fibre cellulosique
- Figure 3 : Schéma de prélèvement d'échantillon dans chaque disque de chaque espèce étudié
- Figure 4 : Diagramme polaire différentiel des rendements (Cas de Pinus Halepensis Mill)
- Figure 5 : Diagramme polaire différentiel des rendements (Cas de Populus alba var. hickeliana)
- Photographie 3 : Echantillons de bois découpé parallélépipédiquement.
- Photographie 3 bis : Massicot de découpe du bois
- Figure 6 : Histogrammes des longueurs et largeurs de fibres (chêne vert jeune)
- Figure 7 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (chêne vert adulte)
- Figure 8 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (peuplier blanc jeune)
- Figure 9 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (peuplier blanc adulte)
- Figure 10 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (peuplier noir jeune)
- Figure 11 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (peuplier noir adulte)
- Figure 12 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (genévrier de phoenicie jeune)
- Figure 13 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (genévrier de phoenicie adulte)
- Figure 14 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (pin de maritime jeune)
- Figure 15 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (pin de maritime adulte)
- Figure 16 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (pin d'Alger jeune)
- Figure 17 : Histogramme des longueurs et largeurs de fibres (pin d'Alger adulte)
- Figure 18 : Cinétiques de délignification des bois étudiés $\ln(R \times I.k) = f(t)$
- Figure 18 bis : Lignine résiduelle = $f(I.K)$

Photographie 4 : Micro- photos des fibres étudiées a, b et c.

Figure 19 : Masse linéique en fonction de la longueur moyenne arithmétique des fibres des bois étudiés

Figure 20 : Histogramme de répartition des fibres de peuplier blanc

Figure 21 : Histogramme de répartition des fibres de peuplier noir

Figure 22 : Histogramme de répartition des fibres de chêne vert

Figure 23 : Evolution du degré Schopper en fonction du temps de raffinage pour les trois pâtes étudiées.

Liste des abréviations utilisées dans le texte :

° S R :	Degré Schopper Riegler
m ³	Mètre cube
km ²	Kilomètre carré
Ha	Hectare
Km	Kilomètre
SONIC	Société nationale des industries cellulosiques
GIPEC	Groupe industriel de papier et de la cellulose
ENEPAC	Entreprise nationale des emballages papiers et cartons
ENCELPAP	Entreprise nationale de cellulose pates et papiers
kg	Kilogramme
t/an	Tonne par an
mm	Millimètre
G	Gramme
°C	Degré Celsius
ml	Millilitre
EFP	Ecole Française de papeterie
NF	Norme française
cm	Centimètre
Bh	Bois humide
Bs	Bois sec
H	Heure
R (θ°)	Rendement dans la direction angulaire considérée
N°	Numéro de l'échantillon dans le disque
R%	Rendement en pourcentage
mg	Milligramme
L	Longueur
l	Largeur
2P	Epaisseur des parois
C	Epaisseur du lumen
\bar{L}	Longueur moyenne des fibres

\bar{l}	Largeur moyenne
L_{RO}	Résistance intrinsèque des fibres
Ln	Log népérien
IK	Indice kappa
LP	Longueur projetée
CTP	Centre technique du papier à Grenoble
/	Minute
g/l	Gramme par litre
g/m ²	Gramme par mètre carré
cm ³ /g	Centimètre cube par gramme
%	Pourcentage
L.R	Longueur de rupture en mètre
K Pa m ² /g	Kilo Pascal mètre carré par gramme
J/g	Joule par gramme
m Nm ² /g	Milli newtons mètre carré par gramme
ml/mn	Millilitres par minute
K Pa	Kilo pascal
mN	Milli newtons
N	Newton
V	Volume
S	Surface en mètre carré
ΔP	Pression différentielle en pascalle
t	Temps en seconde
Na ₂ S	Sulfure de Sodium
PSI	Poiseuille
IE	Indice d'éclatement
ID	Indice de déchirement

Listes des Annexes :

- Annexe 1 : Valeurs du poids de bois sec, des différentes espèces de bois étudiées jeunes et adultes après étuvage à $102^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$. L'échantillon de bois humide étant toujours de 2 gramme.
- Annexe 2 : Quantités de pâte obtenues et rendements des différents échantillons des essences feuillus utilisées
- Annexe 3 : Quantités de pâte obtenue et rendements des différents échantillons des essences résineuses utilisées
- Annexe 4 : Tableau 1 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Quercus ilex ssp rotundifolia* L jeune (procédé à la soude).
Tableau 2 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Quercus ilex ssp rotundifolia* L adulte (procédé à la soude).
Tableau 3 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Populus nigra* cv « Thevestina » Dode jeune (procédé à la soude).
Tableau 4 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Populus nigra* cv « Thevestina » Dode adulte (procédé à la soude).
Tableau 5 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Populus alba* var *hickeliana* jeune (procédé à la soude).
Tableau 6 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Populus alba* var *hickeliana* adulte (procédé à la soude).
Tableau 7 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Pinus Halepensis* Mill, jeune (procédé à la soude).
Tableau 8 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Pinus Halepensis* Mill, adulte (procédé à la soude).
Tableau 9 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Juniperus phoenicea* jeune (procédé à la soude).
Tableau 10 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Juniperus phoenicea* adulte (procédé à la soude).
Tableau 11 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Pinus pinaster* ait jeune (procédé à la soude).

Tableau 12 valeurs statistiques des différentes caractéristiques biométriques des fibres de *Pinus pinaster* ait adulte (procédé à la soude).

- Annexe 5 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L à l'âge jeune, exprimées en microns
- Annexe 6 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L à l'âge adulte, exprimées en microns
- Annexe 7 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Populus nigra* cv. « Thevestina » Dode à l'âge jeune, exprimées en microns
- Annexe 8 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Populus nigra* cv. « Thevestina » Dode à l'âge adulte, exprimées en microns
- Annexe 9 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Populus alba* vr *hickeliana* à l'âge jeune, exprimées en microns
- Annexe 10 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Populus alba* vr *hickeliana* à l'âge adulte, exprimées en microns
- Annexe 11 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Juniperus phoenicea* à l'âge jeune, exprimées en microns
- Annexe 12 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Juniperus phoenicea* à l'âge adulte, exprimées en microns
- Annexe 13 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Pinus pinaster* Ait à l'âge jeune, exprimées en microns
- Annexe 14 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Pinus pinaster* Ait à l'âge adulte, exprimées en microns
- Annexe 15 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Pinus Halepensis* Mill à l'âge jeune, exprimées en microns
- Annexe 16 : Valeurs des différentes caractéristiques morphologiques des fibres de bois de *Pinus Halepensis* Mill à l'âge adulte, exprimées en microns
- Annexe 17 : Technique d'étalonnage du micromètre oculaire à différents grossissements utilisé dans nos essais
- Annexe 18 : Calcul des quantités de soude (NaOH) et de sulfure de sodium (Na₂S) en micro-cuissons
- Annexe 19 : Calcul des quantités de soude et de sulfure de sodium et les volumes de solutions correspondant pour les macro-cuissons
- Annexe 20 : Les normes AFNOR des différentes caractéristiques physico mécanique

- Annexe 21 : Détermination de l'indice kappa suivant norme NF.T12-018
- Annexe 22 : Analyse de l'indice kappa. Paramètres d'analyse pour le bois de *Populus nigra* cv « Thevestina » Dode.
- Annexe 23: Analyse de l'indice kappa. Paramètres d'analyse pour le bois de *Populus alba* var *hickeliana*
- Annexe 24 : Analyse de l'indice kappa. Paramètres d'analyse pour le bois *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L.
- Annexe 25 : Tableau des valeurs du % de Lignine résiduelle en fonction de l'indice kappa des différentes pâtes étudiées
- Annexe 26 : Tableau des valeurs des différents essais de la longueur de rupture à mors jointifs des pâtes étudiées
- Annexe 27 : Calcul des rendements en pâte pour les micro- cuissons et macro- cuissons des différents espèces de bois étudiées
- Annexe 28 : Tableau des valeurs des quantités de pâte obtenues et rendements à différents temps en micro- cuissons (cas de *Populus alba* var *hickeliana*)
- Annexe 29 : Tableau des valeurs des quantités de pâte obtenues et rendements à différents temps en micro- cuissons (cas de *Populus nigra* cv « Thevestina » Dode)
- Annexe 30 : Tableaux des valeurs des quantités de pâte obtenues et rendements à différents temps en micro- cuissons (cas de *Quercus ilex* ssp *rotundifolia* L.)
- Annexe 31 : Tableau des valeurs des quantités de pâte obtenues et rendements à 60 minutes en palier des trois espèces étudiées (procédé Kraft, macro- cuissons)
- Annexe 32 : Figure 1 : PQM (1000) Fibres/répartition, Chêne vert à 45 minutes de cuisson en palier
Figure 2 : PQM (1000) Fibres/répartition, Chêne vert à 90 minutes de cuisson en palier
Figure 3 : PQM (1000) Fibres/répartition, Peuplier noir à 45 minutes de cuisson en palier
Figure 4 : PQM (1000) Fibres/répartition, Peuplier noir à 90 minutes de cuisson en palier

Figure 5 : PQM (1000) Fibres/répartition, Peuplier Blanc à 45 minutes de cuisson en palier
Figure 6 : PQM (1000) Fibres/répartition, Peuplier Blanc à 90 minutes de

cuisson en palier

Figure 7 : PQM (1000) Fibres/répartition, chêne vert à 45, 60 et 90 minutes de cuisson en palier

Figure 8 : PQM (1000) Fibres/répartition, Peuplier noir à 45, 60 et 90 minutes de cuisson en palier

Figure 8 : PQM (1000) Fibres/répartition, Peuplier Blanc à 45, 60 et 90 minutes de cuisson en palier

Annexe 33 Echantillons de Papier, fabriqué avec des fibres :

- 1) Chêne Vert
- 2) Peuplier Blanc
- 3) Peuplier Noir

Micro cuissons – Macro cuissons papetières – Etude préliminaire sur les bois d'essences algériennes (chêne vert, peuplier Blanc et Noir, Pin d'Alep, Pin Maritime Genévrier de phœnicie). Echantillons de bois prélevés à la Tarière de Pressler ou sous forme parallélépipédiques. Variabilité des rendements en fibres caractéristiques morphologiques et biométriques de ces fibres en fonction de l'âge. Optimisation du procédé de pâte obtenu et caractéristiques des papiers.

Résumé :

Parmi les bois feuillus algériens, le chêne vert et le peuplier ont un rôle économique très important à jouer et pourraient constituer une source de fibres cellulosiques. Le présent travail porte sur l'étude du comportement à la délignification de ces bois par le procédé au sulfate « procédé kraft », utilisant la soude et le sulfure de sodium comme réactifs de cuisson.

Globalement, ces bois manifestent un comportement très intéressant pour l'industrie cellulósique en regard aux rendements en pâte et aux indices kappa obtenus par rapport à un temps de défilage optimal.

Ainsi, il ressort que le bois de *Quercus rotundifolia* donne un rendement plus élevé comparé à ceux de genre *Populus* connus pour avoir un bois de faible densité.

Les pâtes sont aussi caractérisées sur le plan morphologique en termes de longueur des fibres, largeur, masse linéique ainsi que par un indice de feutrage dans le but d'une valorisation complète des fibres de chacune de ces espèces.

Mots Clés :

Procédé kraft, cuisson, bois, genre, rendement, indice kappa, fibre, masse linéique, longueur, largeur.

Abstract :

Among woods of algerian broadleaves trees there are some which can play a very important economic role, mainly, Oak, and popular that may constitute a source of cellulosic fibres.

The present study deals with the behaviour of these, during the process of sulphide cooking, the so-called Kraft process, using soda and sodium sulphide as cooking agents.

Oak and the popular show a very interesting behaviour for the cellulosic industries in comparison with the pulp yield and the kappa index obtained in relation of the optimal cooking time.

Thus, it follows that the *Quercus rotundifolia* wood gives higher yield compared to the genus *Populus* known for its low density.

The pulps have are characterised at the morphological level on the basis of their fibres length, fibres width, coarseness as well as their felting index with the aim of a complete valuation of the fibres of each of these species.

Key-Words:

Kraft process, cooking, wood, genus, yield, kappa index, fibres, coarseness, length, width.

الملخص:

يوجد من بين أخشاب الأشجار النفضية الجزائرية من يمكن أن يلعب دورا إقتصاديا جد هام. فالبلوط والصفصاف بإمكانهما أن يكونا مصدا لألياف الورق. لقد حاولنا أن ندرس تصرف هذه الأخشاب من خلال طريقة الطبخ الكلاسيكي، فطريقة الكبريات تستخدم كعامل فعال للصودا وكبريتيد الصوديوم من أجل تحضير عجينة الكرافط.

إن هذه الأخشاب تظهر تصرفا مثيرا للإهتمام للصناعة السلولوزية لأنها تجمع ما بين مردود مرتفع نسبيا و دليل كبا ضعيف.

إن الأخشاب التي تعطي مردود مرتفع هي التي تصدر من الأنواع ذات كثافة عالية *Quercus rotundifolia*

هو المثال أكثر توضيحا لهذه الظاهرة مقارنة بأشجار الصفصاف المعروفة بكثافتها الضعيفة.

تميز الألياف بطولها، عرضها، كتلتها الطولية و معامل تبلدها.

الكلمات الدليلية:

طريقة كرافط، طبخ، خشب، جنس، مردود، دليل كبا، ألياف، وزن طولي، طول، عرض.